

MÓDULO 8 — ACTUADORES DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE

Saturado · Peak & Hold · GDI · Common Rail solenoide y piezoeléctrico ·
Codificación IMA/IQA · Bomba de alta

Índice

PRESENTACIÓN DEL MÓDULO	4
Las cinco familias de inyector	4
Fórmulas maestras del módulo	4
8.1 · INYECTOR SATURADO (ALTA IMPEDANCIA)	5
Principio de funcionamiento	5
1 · Valores en ralentí (~750 RPM)	5
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	6
3 · Rango de funcionamiento normal	6
4 · Síntomas de falla	6
5 · Posibles soluciones y reparaciones	7
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso	7
7 · Valores comunes de resistencia	10
8 · Alimentaciones y tierras	10
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	10
10 · Nomenclatura de cableado	11
11 · Simbología y diagrama de conexión	12
12 · Análisis de oscilogramas	12
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	13
14 · Análisis de corriente	13
15 · Preguntas de autoevaluación — Inyector saturado	14
8.2 · INYECTOR PEAK & HOLD (BAJA IMPEDANCIA)	16
Principio y por qué existe	16
1 · Valores en ralentí	16
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	17
3 · Rango de funcionamiento normal	17
4 · Síntomas de falla	17
5 · Posibles soluciones y reparaciones	18
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado	18
7 · Valores comunes de resistencia	18
8 · Alimentaciones y tierras	18
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	19
10 - 14 · Puntos restantes	19

15 · Preguntas de autoevaluación — Peak & Hold	20
8.3 · INYECTOR GDI (INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA)	21
Principio y por qué necesita alta tensión	21
ADVERTENCIA DE SEGURIDAD	22
1 · Valores en ralentí	22
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	22
3 · Rango de funcionamiento normal	22
4 · Síntomas de falla	23
5 · Posibles soluciones y reparaciones	23
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado	23
7 · Valores comunes de resistencia	24
8 · Alimentaciones y tierras	24
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	25
10 · Nomenclatura de cableado	26
11 · Simbología y diagrama de conexión	26
12 · Análisis de oscilogramas	27
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	27
14 · Análisis de corriente	28
15 · Preguntas de autoevaluación — Inyector GDI	28
8.4 · INYECTOR COMMON RAIL SOLENOIDE (DIÉSEL)	29
Principio	29
1 · Valores en ralentí	29
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	30
3 · Rango de funcionamiento normal	30
4 · Síntomas de falla	30
5 · Posibles soluciones y reparaciones	31
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado	31
7 · Valores comunes de resistencia	32
8 · Alimentaciones y tierras	32
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	33
10 · Nomenclatura de cableado	33
11 · Simbología y diagrama de conexión	34
12 · Análisis de oscilogramas	34
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	35
14 · Análisis de corriente	35
15 · Preguntas de autoevaluación — Common Rail solenoide	35
8.5 · INYECTOR PIEZOELÉCTRICO	36
Principio: una carga capacitiva, no inductiva	36
1 · Valores en ralentí	36
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	37
3 · Rango de funcionamiento normal	37
4 · Síntomas de falla	37
5 · Posibles soluciones y reparaciones	38
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado	38
ADVERTENCIA DE SEGURIDAD	38
7 · Valores comunes de resistencia	39
8 · Alimentaciones y tierras	39
9 · Aplicación de la Ley de Ohm y de la física del condensador	39

10 · Nomenclatura de cableado	40
11 · Simbología y diagrama de conexión	41
12 · Análisis de oscilogramas	41
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	42
14 · Análisis de corriente	42
15 · Preguntas de autoevaluación — Inyector piezoeléctrico	42
8.6 · CODIFICACIÓN IMA / IQA Y CORRECCIÓN POR CILINDRO	43
Por qué existe la codificación	43
Nomenclatura por fabricante	43
Procedimiento de codificación	44
Corrección por cilindro: la verificación posterior	44
Tabla de decisión	45
Puntos 1 – 15 aplicados a la codificación	45
Preguntas de autoevaluación — Codificación	46
8.7 · BOMBA DE ALTA PRESIÓN Y VÁLVULA REGULADORA	47
Los dos conceptos de regulación	47
La distinción que decide el diagnóstico: normalmente abierto vs cerrado	47
1 · Valores en ralentí	48
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	48
3 · Rango de funcionamiento normal	48
4 · Síntomas de falla	49
5 · Posibles soluciones y reparaciones	49
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado	49
7 · Valores comunes de resistencia	50
8 · Alimentaciones y tierras	50
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	51
10 · Nomenclatura de cableado	51
11 · Simbología y diagrama de conexión	52
12 · Análisis de oscilogramas	52
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	52
14 · Análisis de corriente	53
15 · Preguntas de autoevaluación — Bomba y regulador	53
CUESTIONARIO INTEGRADOR — MÓDULO 8	54
HOJA DE REFERENCIA RÁPIDA — MÓDULO 8	55

PRESENTACIÓN DEL MÓDULO

Con este módulo comienza la segunda mitad del curso. Hasta aquí, todos los componentes **informaban** a la ECU. A partir de ahora, la ECU **ordena** y el componente **ejecuta**. Eso cambia por completo la metodología de diagnóstico:

	Sensores (Módulos 1 - 7)	Actuadores (Módulos 8 - 14)
Pregunta central	¿La señal es correcta?	¿Llegó la orden y se ejecutó?
Herramienta principal	Osciloscopio de voltaje	Osciloscopio + pinza amperimétrica
Prueba definitiva	Comparación con referencia externa	Rampa de corriente
Caída de voltaje	Casi siempre inválida (μA)	Casi siempre válida (A)

El principio que gobierna todo el módulo: el voltaje demuestra que la ECU dio la orden. **Solo la corriente demuestra que el actuador la ejecutó.** Un inyector con el pin pegado presenta un oscilograma de voltaje perfecto.

Las cinco familias de inyector

Familia	Resistencia	Voltaje de mando	Corriente pico	Sección
Saturado (alta impedancia)	12 - 17 Ω	12 - 14 V	0.8 - 1.2 A	§8.1
Peak & Hold (baja impedancia)	1.5 - 4 Ω	12 - 14 V	4 - 6 A	§8.2
GDI gasolina	1 - 3 Ω	50 - 90 V	8 - 12 A	§8.3
Common Rail	0.15 - 0.6 Ω	40 - 80 V	15 - 22 A	§8.4
solenoides				
Piezoeléctrico	No medible (capacitivo)	110 - 200 V	5 - 15 A (pulso)	§8.5

Fórmulas maestras del módulo

$$\text{Ciclo de trabajo (\%)} = \frac{PW \text{ (ms)} \times RPM}{1200} \quad (\text{inyección secuencial})$$

$$I(t) = \frac{V}{R} (1 - e^{-t/\tau}) \quad \tau = \frac{L}{R}$$

$$E_{\text{bobina}} = \frac{1}{2} L I^2 \quad F_{\text{solenoides}} \propto I^2$$

8.1 · INYECTOR SATURADO (ALTA IMPEDANCIA)

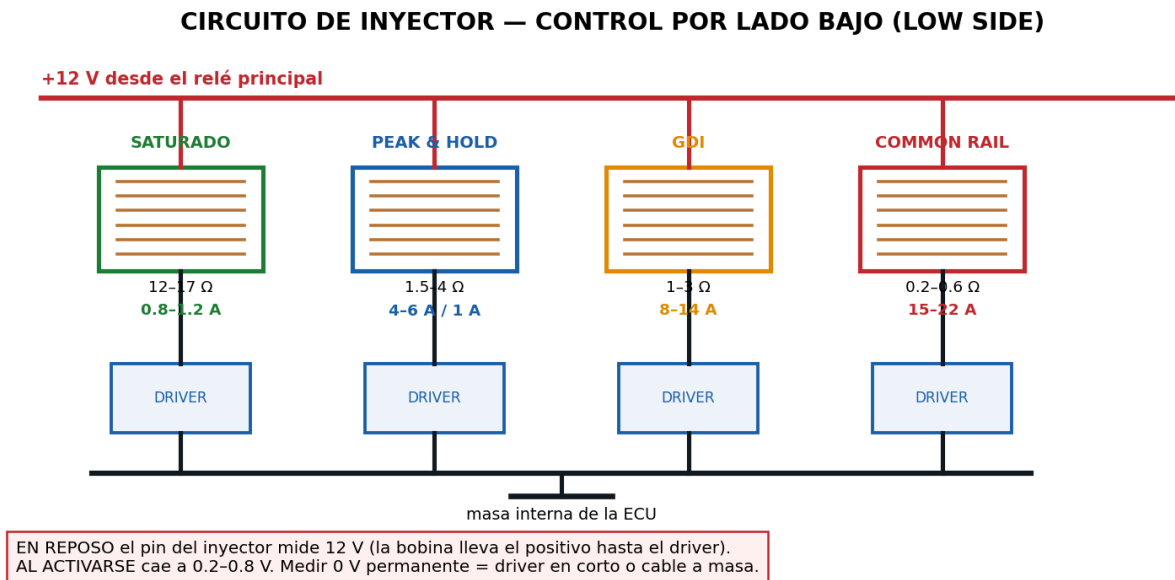


Figura 1: Circuito de control del inyector

Principio de funcionamiento

Un solenoide levanta una aguja (*pinle*) contra el resorte y contra la presión del combustible. Al ser de **alta impedancia** (12 - 17 Ω), la propia resistencia del bobinado limita la corriente a un valor seguro, por lo que el driver de la ECU puede simplemente **conectar y desconectar la masa** sin ningún control de corriente. De ahí el nombre: la corriente llega a **saturación** y se queda ahí.

$$I_{max} = \frac{V_{sistema}}{R_{inyector}} = \frac{14.0}{14.5} = 0.97 \text{ A}$$

Control por lado bajo (low side): el positivo llega permanentemente desde el relé principal; la ECU conmuta la masa. Es la configuración del 95 % de los inyectores de puerto.

1 · Valores en ralentí (~750 RPM)

Parámetro	Valor esperado
Ancho de pulso (PW)	2.0 - 4.0 ms (típico 2.5 - 3.5)
Voltaje en reposo (driver abierto)	12.0 - 14.5 V
Voltaje con el driver activo	0.2 - 0.8 V
Corriente pico	0.80 - 1.20 A
Pico inductivo al corte	55 - 80 V
Ciclo de trabajo	1.5 - 2.5 %
Frecuencia de disparo	6.25 Hz (una inyección cada 720°)

Cálculo del ciclo de trabajo (750 RPM, PW de 3.0 ms):

$$DC = \frac{3.0 \times 750}{1200} = 1.88 \%$$

(El periodo entre inyecciones es $120/750 = 160$ ms; 3 ms sobre 160 ms = 1.88 %.)

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Condición	Ancho de pulso	Ciclo de trabajo	Corriente
2000 RPM sin carga	2.5 - 4.5 ms	4.2 - 7.5 %	0.80 - 1.20 A
2000 RPM carga media	5 - 9 ms	8.3 - 15 %	igual
2000 RPM plena carga	10 - 16 ms	17 - 27 %	igual

La corriente pico NO cambia con las RPM ni con la carga. Solo cambia el ancho del pulso. Si la corriente pico varía entre capturas, hay un problema eléctrico, no de estrategia.

3 · Rango de funcionamiento normal

Condición	Ancho de pulso	Ciclo de trabajo
Arranque en frío (−10 °C)	15 - 40 ms	Muy alto (enriquecimiento)
Arranque en caliente	3 - 8 ms	—
Ralentí	2.0 - 4.0 ms	1.5 - 2.5 %
Crucero 2500 RPM	3 - 6 ms	6 - 12 %
WOT a 6000 RPM	12 - 18 ms	60 - 90 %
Corte en desaceleración (DFCO)	0 ms	0 %

Límite práctico: por encima del **85 % de ciclo de trabajo** el inyector está prácticamente abierto de forma continua y ya no puede entregar más combustible. Es el “límite estático” del inyector.

Parámetro constructivo	Valor
Inductancia del bobinado	12 - 20 mH
Constante de tiempo $\tau = L/R$	0.8 - 1.4 ms
Retardo de apertura	0.5 - 1.0 ms
Retardo de cierre	0.3 - 0.6 ms
Ancho de pulso mínimo operativo	≈ 1.2 ms

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Inyector obstruido parcialmente	Falla de encendido en ese cilindro bajo carga, LTFT positivo, ralentí irregular

Falla	Síntoma
Inyector con fuga (no cierra)	Arranque difícil en caliente, olor a combustible, humo negro al arrancar, bujía mojada
Bobinado abierto	Cilindro muerto, P0201 - P0208
Espiras en corto	Corriente excesiva, riesgo de dañar el driver de la ECU, P026x
Resistencia parásita en el circuito	Corriente reducida → apertura tardía → mezcla pobre en ese cilindro sin código
Pin pegado mecánicamente	Voltaje perfecto, corriente sin joroba, cilindro muerto
Driver de la ECU degradado	Voltaje de saturación elevado, corriente reducida

Códigos: P0200 (circuito de inyectores, general), **P0201 - P0212** (circuito del inyector del cilindro 1 al 12), P0261/P0262 (cilindro 1 bajo/alto), P0264/P0265, P0267/P0268, P0270/P0271, P2146 - P2149 (alimentación del grupo de inyectores), P0300 - P0312 (fallo de encendido).

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Verificar antes la presión de combustible** (Módulo 6, §6.1). Un inyector sano con presión insuficiente da los mismos síntomas.
2. **Limpieza por ultrasonido con banco de prueba**, que además entrega el caudal y el patrón de pulverización medidos. La limpieza “en el vehículo” con aditivos no cuantifica nada.
3. **Reemplazar los sellos (O-rings) y los filtros-canasta** en toda intervención.
4. **Reparar el circuito** si la corriente pico es inferior a la calculada (punto 9).
5. **Verificar el driver de la ECU** midiendo el voltaje de saturación.
6. Reemplazar el inyector cuando el banco de prueba confirme caudal o patrón fuera de tolerancia.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso

Fase A — Verificación de resistencia

Óhmetro entre los dos pines **del inyector**, desconectado y frío.

Resultado	Diagnóstico
12 - 17 Ω (según especificación)	Bobinado correcto
Infinito (OL)	Bobinado abierto — inyector muerto
Muy por debajo (ej. 8 Ω)	Espiras en corto — reemplazar de inmediato para proteger el driver
Diferencia > 1 Ω entre inyectores del mismo motor	Sospechar del que se desvía

Corrección por temperatura: el cobre sube 0.39 % por °C. Un inyector de 14.5 Ω a 20 °C mide $\approx$ 16.0 Ω a 90 °C. **Es normal.** Compare siempre a la misma temperatura.

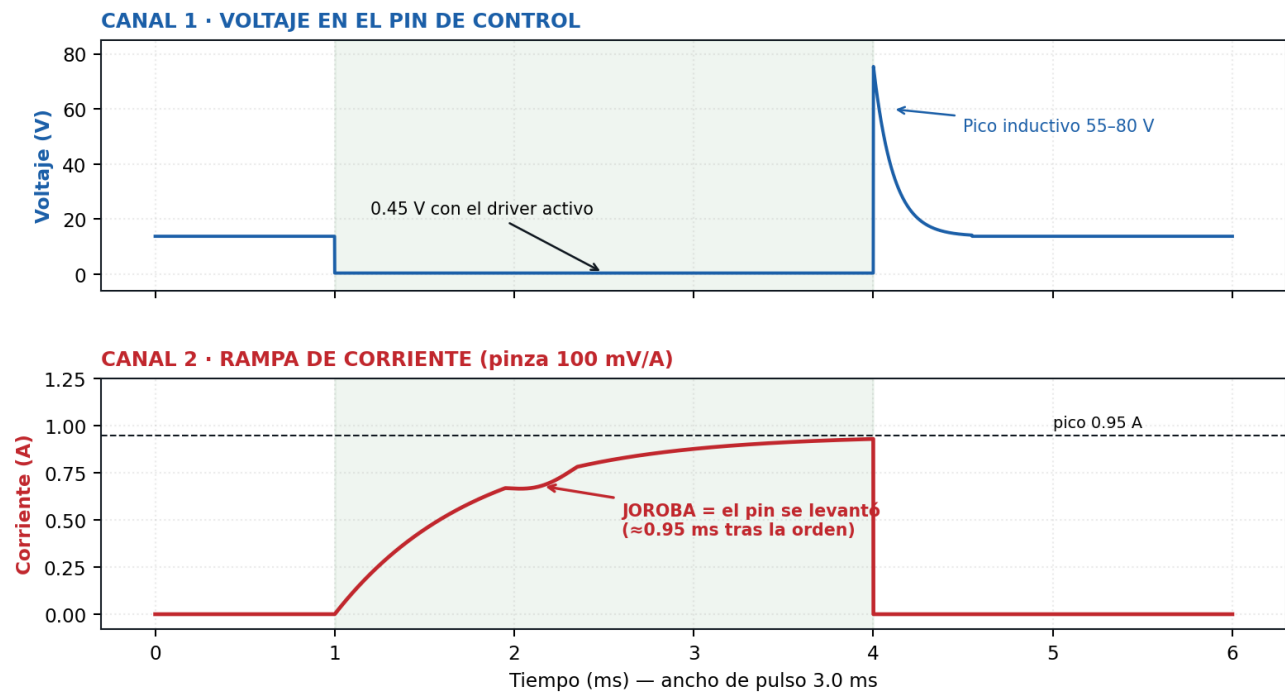
INYECTOR SATURADO (ALTA IMPEDANCIA) — 14.5 Ω · CAPTURA DE 2 CANALES

Figura 2: Oscilograma del inyector saturado

Fase B — Verificación con osciloscopio de 2 canales

Canal	Señal	Configuración
CH1	Voltaje en el pin de control	DC · 20 V/div · referencia en masa de batería
CH2	Corriente con pinza de baja corriente	100 mV/A · 0.2 A/div

Ajustes: 1 ms/div · trigger en CH1, flanco de bajada, nivel 6 V · *single shot*.

Los seis criterios de aprobación:

Criterio	Valor correcto	Falla que indica
Voltaje en reposo	12.0 - 14.5 V	Bajo = caída en la alimentación
Voltaje con driver activo	0.2 - 0.8 V	> 1.5 V = driver degradado o resistencia parásita
Pico inductivo	55 - 80 V	Bajo = espiras en corto · Ausente = bobinado abierto
Corriente pico Joroba (hump)	Igual a V/R calculada $\pm 10\%$ Presente , a 0.8 - 1.2 ms	Baja = resistencia parásita Ausente = el pin NO se movió

Criterio	Valor correcto	Falla que indica
Ancho de pulso	Igual en todos los cilindros ± 5 %	Desigual = compensación por desequilibrio

La joroba es el hallazgo más valioso de todo el módulo. Es la firma mecánica de que la aguja se levantó: al moverse, la masa del pin induce una fuerza contraelectromotriz que interrumpe momentáneamente la subida de la corriente. **Sin joroba, el inyector no abrió,** aunque el voltaje sea perfecto y la resistencia correcta.

Fase C — Prueba de caída de tensión (aquí SÍ es válida)

A diferencia de todos los sensores de los Módulos 1 a 7, por el inyector circula ~1 A. La prueba de caída de voltaje del Módulo 0 se aplica con sus límites normales, con **una excepción crítica.**

Circuito	Corriente	Límite	Nota
Alimentación (relé → inyector)	~1 A	0.20 V	Prueba estándar
Masa del relé / grupo de inyectores	4 – 6 A (todos juntos)	0.10 V	Prueba estándar
Driver de la ECU (pin del inyector ↔ masa)	~1 A	0.20 - 0.80 V es NORMAL	Ver advertencia

ADVERTENCIA — no aplique el límite de 0.1 V al driver de la ECU. El transistor de salida tiene una **tensión de saturación** propia de 0.2 a 0.8 V. Eso no es una falla: es el comportamiento normal de un semiconductor. **Por encima de 1.5 V** sí indica driver degradado.

Fase D — Prueba de equilibrio de inyectores (*balance test*)

Es la prueba funcional que cuantifica el caudal real de cada inyector **sin desmontarlos**.

Método de caída de presión:

1. Instale un manómetro en el riel y desactive la bomba tras presurizar.
2. Con el escáner o un pulsador de inyectores, active **un solo inyector** con un pulso fijo (típicamente 500 ms o 100 pulsos de 5 ms).
3. Registre la **caída de presión**.
4. Repita en todos los cilindros, represurizando entre cada uno.

Resultado	Diagnóstico
Caídas iguales ± 5 %	Todos los inyectores entregan lo mismo
Un inyector con caída menor	Obstruido — entrega menos
Un inyector con caída mayor	Desgastado o con asiento erosionado — entrega más

Resultado	Diagnóstico
Caída nula	inyector muerto o sin señal

Método de balance de cilindros con el escáner: corte un inyector a la vez y registre la caída de RPM. Un cilindro que no produce caída ya estaba aportando poco.

Fase E — Prueba de estanqueidad

Presurice el riel, apague la bomba y observe el manómetro. **La presión debe conservar al menos el 80 % a los 20 minutos** (Módulo 6, §6.1). Una caída rápida con la válvula de retención de la bomba descartada indica **inyector con fuga**.

7 · Valores comunes de resistencia

Aplicación	Resistencia a 20 °C
Inyector saturado estándar	12 - 17 Ω (típico 14 - 16)
GM (la mayoría)	11.4 - 12.6 Ω
Ford	13 - 16 Ω
Toyota / Denso	13.4 - 14.2 Ω
Honda	10 - 13 Ω
VW / Audi (Bosch EV6)	14 - 16 Ω
Aislamiento pin ↔ carcasa	> 10 MΩ
Diferencia máxima entre inyectores del mismo motor	±1 Ω

8 · Alimentaciones y tierras

Pin	Función	Valor
1	Alimentación 12 V desde el relé principal	12.0 - 14.5 V respecto a masa de batería
2	Control (lado bajo) hacia el driver de la ECU	12 - 14.5 V en reposo · 0.2 - 0.8 V activo

Configuración de alimentación: en la mayoría de los motores todos los inyectores comparten un mismo cable de alimentación (o dos, por bancos). Una falla en ese cable **afecta a todos los inyectores del grupo** y produce los códigos P2146 - P2149.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Cálculo 1 — Corriente esperada

$$I = \frac{V_{sistema}}{R_{inyector}} = \frac{14.0}{14.5} = 0.966 \text{ A}$$

La pinza debe leer 0.95 - 1.00 A en el pico. Cualquier valor menor tiene una explicación medible.

Cálculo 2 — Deducción de la resistencia parásita a partir de la corriente

Si la pinza lee 0.71 A con 14.0 V de sistema:

$$R_{total} = \frac{14.0}{0.71} = 19.7 \, \Omega \quad R_{par} = 19.7 - 14.5 = 5.2 \, \Omega$$

5.2 Ω de resistencia parásita. El óhmetro sobre el inyector sigue midiendo 14.5 Ω y “aprueba” la prueba; la corriente lo delata.

Cálculo 3 — Consecuencia sobre el caudal entregado

La constante de tiempo del circuito cambia:

$$\tau_{sano} = \frac{L}{R} = \frac{0.015}{14.5} = 1.03 \, \text{ms}$$

$$\tau_{falla} = \frac{0.015}{19.7} = 0.76 \, \text{ms}$$

La corriente sube más rápido, **pero alcanza un valor máximo menor**. Como la fuerza del solenoide es proporcional al **cuadrado** de la corriente:

$$\frac{F_{falla}}{F_{sano}} = \left(\frac{0.71}{0.97} \right)^2 = 0.536$$

Pérdida del 46 % de la fuerza de apertura. El pin se levanta más tarde y de forma incompleta, y cierra antes. El resultado es **menos combustible en ese cilindro**: LTFT positivo, fallo de encendido bajo carga, y **ningún código de circuito** porque eléctricamente hay continuidad.

Cálculo 4 — Energía almacenada y pico inductivo

$$E = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2} \times 0.015 \times 0.97^2 = 7.06 \, \text{mJ}$$

Esa energía se libera al cortar la corriente y produce el pico inductivo. Un pico **bajo** (por ejemplo 25 V en lugar de 65 V) indica menos energía almacenada, es decir, **menos inductancia**: espiras en corto.

Cálculo 5 — Potencia disipada

$$P_{inst} = V \times I = 14.0 \times 0.97 = 13.6 \, \text{W}$$

$$P_{media} = 13.6 \times DC = 13.6 \times 0.019 = 0.26 \, \text{W en ralentí}$$

A plena carga con 85 % de ciclo de trabajo, la potencia media sube a 11.6 W. Por eso los inyectores se calientan bajo carga sostenida y por eso su resistencia sube en operación.

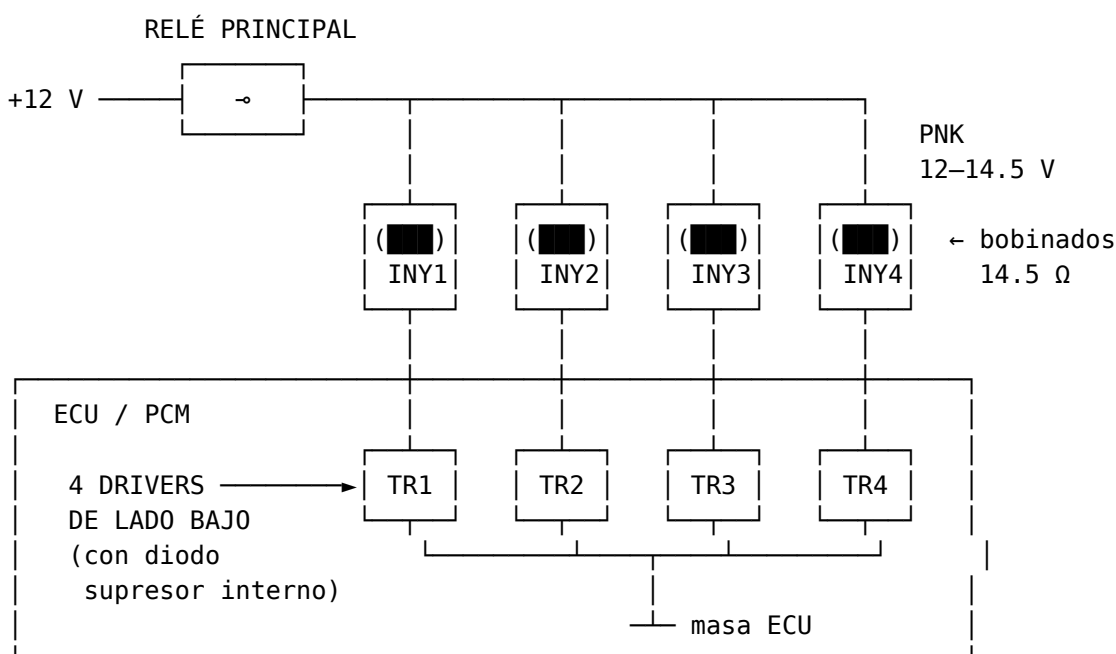
10 · Nomenclatura de cableado

Marca	Alimentación 12 V	Control (a la ECU)
GM	PNK, RED	LT BLU, DK GRN, YEL, BRN (uno por cilindro)

Marca	Alimentación 12 V	Control (a la ECU)
Ford	RED, RED/ORN	WHT/BLU, TAN/LT BLU, BRN/LT BLU
Chrysler	DK BLU/YEL	WHT/DK BLU, TAN/BLK
Toyota	+B (B/R)	#10, #20, #30, #40 (o INJ1-INJ4)
Honda	YEL/BLK	BRN/YEL, RED/BLU, BLU/RED, YEL/RED
VW / Audi	rt/sw	gn/ws, gn/ge, gn/br, gn/bl

Convención Toyota: los pines de control se identifican como #10, #20, #30, #40 — el número corresponde al cilindro, no al pin del conector.

11 · Simbología y diagrama de conexión



REPOS0: el pin del inyector mide 12-14.5 V (el bobinado lo alimenta)
 ACTIVO: el pin mide 0.2 – 0.8 V (saturación del transistor)
 CORTE: pico inductivo de 55 – 80 V

SÍMBOLO DEL INYECTOR: —(■)→ (solenoides + aguja)

12 · Análisis de oscilogramas

Tabla maestra de interpretación de la rampa de corriente:

Forma de la rampa	Diagnóstico
Subida suave con joroba definida	Inyector sano
Sin joroba , rampa lisa	El pin no se movió: obstruido, pegado o presión excesiva
Joroba muy tardía (> 1.5 ms)	Pin lento: depósitos o resorte fatigado
Joroba doble o irregular	Pin que rebota; asiento desgastado

Forma de la rampa	Diagnóstico
Pico más alto y rampa más vertical	Espiras en corto — menor R y menor L
Pico más bajo y rampa más lenta	Resistencia parásita en el circuito
Pico truncado plano	Limitación de corriente del driver (normal en P&H, anormal en saturado)
Rampa que desaparece intermitentemente	Conexión intermitente o driver defectuoso

Comparación entre cilindros: capture los 4 inyectores superpuestos. Las 4 rampas deben ser prácticamente idénticas. Cualquiera que se desvíe señala al cilindro problemático **antes de cualquier prueba mecánica**.

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

El inyector **no es un actuador PWM de frecuencia fija**: es un actuador de **ancho de pulso sincronizado con el ciclo del motor**. La frecuencia la impone el motor:

$$f_{iny} \text{ (Hz)} = \frac{RPM}{120} \quad (\text{secuencial})$$

RPM	Frecuencia de disparo	Periodo
750	6.25 Hz	160 ms
2 000	16.7 Hz	60 ms
4 000	33.3 Hz	30 ms
6 000	50 Hz	20 ms

Tabla de ciclo de trabajo ($DC = PW \times RPM/1200$):

RPM	PW	Ciclo de trabajo
750	3.0 ms	1.9 %
2 000	4.0 ms	6.7 %
3 000	7.0 ms	17.5 %
5 000	12.0 ms	50 %
6 000	17.0 ms	85 % (límite estático)

Criterio de dimensionamiento: si a plena carga el ciclo de trabajo supera el 85 %, el inyector está en su límite y el motor entrará en mezcla pobre. Es el hallazgo típico de un motor modificado con inyectores insuficientes, o de un juego de inyectores obstruidos.

14 · Análisis de corriente

Ésta es la medición central del módulo.

Parámetro	Valor esperado
Corriente pico	0.80 - 1.20 A (calcular con V/R)

Parámetro	Valor esperado
Tiempo hasta el pico	3 - 5 ms ($\approx 4\tau$)
Posición de la joroba	0.8 - 1.2 ms tras el inicio
Diferencia entre cilindros	< 5 %
Corriente del grupo completo (4 cilindros)	3.5 - 4.5 A pico simultáneo

Método: pinza de baja corriente en el cable de control del inyector, escala 100 mV/A, puesta a cero antes de cada captura (Módulo 0, §0.8).

Las tres preguntas que responde la rampa de corriente:

1. **¿Llegó la orden?** → hay rampa.
2. **¿El circuito está sano?** → el pico coincide con V/R .
3. **¿El actuador se movió?** → **hay joroba**.

15 · Preguntas de autoevaluación — Inyector saturado

P1. Un inyector especifica 15.8Ω . Con 14.2 V de sistema, la pinza mide 0.74 A en el pico. Calcule la resistencia total real, la resistencia parásita, y el porcentaje de pérdida de fuerza de apertura del solenoide.

P2. Un motor de 4 cilindros presenta P0302 (fallo del cilindro 2). El oscilograma de voltaje del inyector 2 es idéntico al de los otros tres, y la resistencia mide 14.6Ω (especificación 14 - 16 Ω). En la rampa de corriente, el pico es correcto pero **no aparece la joroba**. Emita el diagnóstico y explique por qué las otras dos pruebas no lo detectaron.

P3. Calcule el ciclo de trabajo de un inyector con 11 ms de ancho de pulso a 5 500 RPM en inyección secuencial. Determine si el inyector está dentro de su capacidad y explique qué ocurriría si el motor exigiera 15 ms a ese régimen.

LAS CUATRO RAMPAS QUE HAY QUE SABER RECONOCER

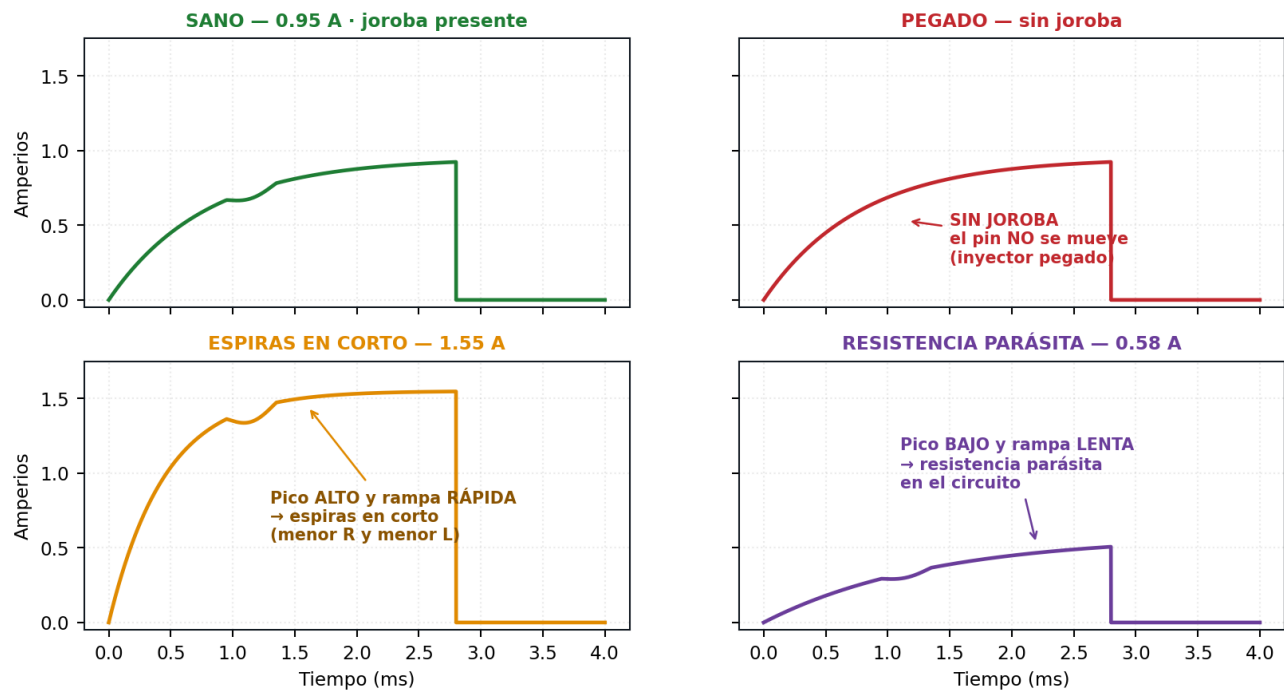


Figura 3: Patologías de la rampa de corriente

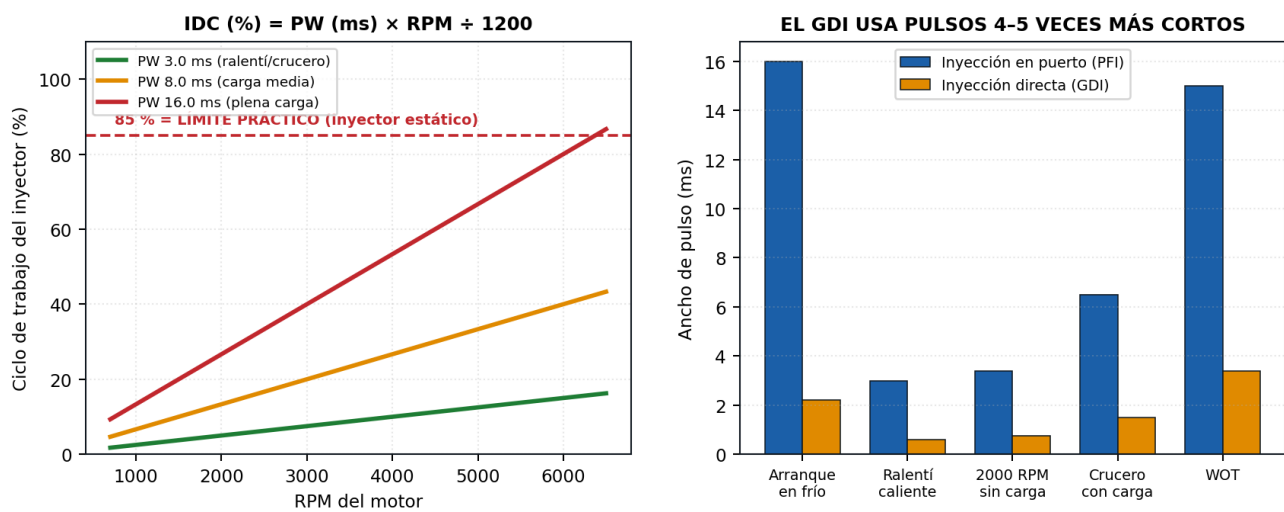


Figura 4: Ancho de pulso en función del régimen y la carga

8.2 · INYECTOR PEAK & HOLD (BAJA IMPEDANCIA)

INYECTOR PEAK & HOLD (BAJA IMPEDANCIA) — 2.2 Ω

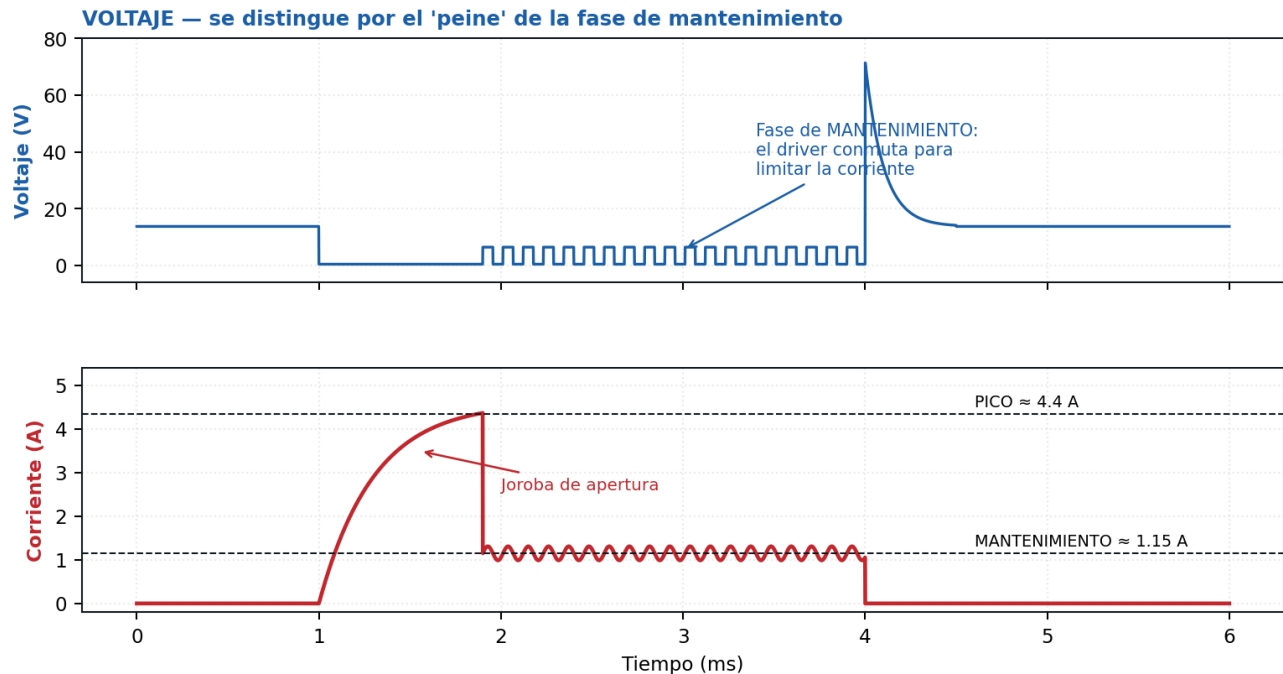


Figura 5: Rampa de corriente Peak & Hold

Principio y por qué existe

Un inyector de baja impedancia ($1.5 - 4 \Omega$) alcanzaría, sin control, $14/2.5 = 5.6 \text{ A}$ de forma continua — suficiente para quemar el bobinado en segundos. A cambio, esa corriente alta produce una **apertura mucho más rápida**.

La solución es el control **Peak & Hold**: el driver deja subir la corriente hasta un **pico** que garantiza la apertura rápida y luego la **limita** a un valor de mantenimiento, suficiente para conservar el pin arriba pero seguro térmicamente.

Fase	Corriente	Duración	Función
Peak (pico)	4 - 6 A	0.7 - 1.2 ms	Apertura rápida y energética
Hold (mantenimiento)	1.0 - 1.5 A	Resto del pulso	Mantener el pin arriba

Aplicaciones: inyección monopunto (TBI) de gran caudal, motores de alta potencia, algunos diésel de inyección indirecta, y aplicaciones que requieren tiempos de apertura muy cortos.

1 · Valores en ralentí

Parámetro	Valor
Resistencia	1.5 - 4.0 Ω (típico 2.0 - 3.0)
Corriente de pico	4.0 - 6.0 A
Corriente de mantenimiento	1.0 - 1.5 A
Duración de la fase de pico	0.7 - 1.2 ms
Ancho de pulso total	2.0 - 4.5 ms
Voltaje con driver activo	0.3 - 1.0 V
Pico inductivo al corte	40 - 70 V

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Condición	Ancho de pulso	Pico	Mantenimiento
2000 RPM sin carga	2.5 - 5.0 ms	Sin cambio: 4 - 6 A	Sin cambio: 1.0 - 1.5 A
2000 RPM plena carga	8 - 14 ms	igual	igual

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Valor
Inductancia	2 - 5 mH
Constante de tiempo	1.0 - 2.0 ms
Relación pico/mantenimiento	$\approx 4 : 1$
Retardo de apertura	0.2 - 0.5 ms (la mitad que un saturado)
Rizado durante el mantenimiento	Visible, es el troceado del driver

El rizado durante la fase de mantenimiento es normal y esperado. El driver conmuta rápidamente para mantener la corriente en el valor objetivo. Confundir ese rizado con ruido eléctrico es un error frecuente.

4 · Síntomas de falla

Los mismos del inyector saturado (§8.1, punto 4), más estos específicos:

Falla	Síntoma
Fase de pico ausente	Apertura lenta o nula; el driver no está entregando el pico
Mantenimiento demasiado alto	Calentamiento del inyector y del driver
Inyector de alta impedancia montado en un circuito P&H	Corriente insuficiente, inyector que no abre
Inyector de baja impedancia montado en un driver saturado	Sobrecorriente: destruye el driver de la ECU
Resistencia balastro abierta (sistemas con balastro)	Cilindro muerto

Advertencia de sustitución: nunca instale un inyector de baja impedancia ($2\ \Omega$) en un circuito diseñado para alta impedancia ($14\ \Omega$). La corriente pasaría de 1 A a 7 A y **destruiría el driver de la ECU en minutos**. Verifique siempre la resistencia del inyector nuevo antes de montarlo.

5 · Posibles soluciones y reparaciones

Las mismas del §8.1, más:

1. **Verificar las resistencias balastro** (si el sistema las usa): típicamente **5 - 6 Ω** , una por inyector, en serie con la alimentación.
2. Verificar que la ECU esté entregando la fase de pico.
3. **Confirmar la impedancia del inyector de repuesto** antes de instalarlo.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

Idéntica al §8.1 (Fases A a E), con estos criterios adicionales en la Fase B:

Criterio específico P&H	Valor correcto
Corriente de pico	4 - 6 A
Corriente de mantenimiento	1.0 - 1.5 A
Relación pico/mantenimiento	$\approx 4:1$
Transición pico $\rightarrow$ mantenimiento	Nítida, en 0.7 - 1.2 ms
Rizado en el mantenimiento	Presente y regular
Joroba	Presente en la fase de pico

Ajuste de la pinza: escala **10 mV/A** (no 100 mV/A) para no saturar con los 6 A de pico. V/div: 1 A/div.

7 · Valores comunes de resistencia

Aplicación	Resistencia
Peak & Hold estándar	1.5 - 4.0 Ω
GM TBI (monopunto)	1.2 - 1.6 Ω
Ford de alto caudal	2.0 - 3.0 Ω
Bosch de baja impedancia	2.0 - 2.5 Ω
Resistencia balastro (si existe)	5 - 6 Ω
Aislamiento pin $\leftrightarrow$ carcasa	> 10 M Ω

8 · Alimentaciones y tierras

Idénticas al §8.1: alimentación de 12 V desde el relé principal y control por lado bajo. **Diferencia:** el driver incorpora un **circuito limitador de corriente** con realimentación, no es un simple interruptor.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Cálculo 1 — Corriente sin control (la razón del Peak & Hold)

inyector de 2.4 Ω a 14.0 V, sin limitación:

$$I = \frac{14.0}{2.4} = 5.83 \text{ A} \quad P = 14.0 \times 5.83 = 81.6 \text{ W}$$

81.6 W disipados en un componente del tamaño de un dedo. Sin el control de corriente, el bobinado se destruiría en segundos.

Cálculo 2 — Potencia real con Peak & Hold

Durante el mantenimiento (1.2 A):

$$P = I^2 \times R = 1.2^2 \times 2.4 = 3.46 \text{ W}$$

Reducción del 96 % respecto al caso sin control, conservando la ventaja de la apertura rápida.

Cálculo 3 — Ventaja de fuerza en la apertura

$$\frac{F_{P\&H}}{F_{saturado}} = \left(\frac{5.0}{0.97} \right)^2 = 26.6$$

Más de 26 veces la fuerza de apertura durante la fase de pico. Por eso el retardo de apertura baja de 0.8 ms a 0.3 ms, y por eso el P&H permite anchos de pulso mucho más cortos y precisos.

Cálculo 4 — Verificación del circuito con balastro

Con inyector de 2.4 Ω y balastro de 5.6 Ω en serie:

$$R_{total} = 2.4 + 5.6 = 8.0 \Omega \quad I = \frac{14.0}{8.0} = 1.75 \text{ A}$$

El sistema con balastro convierte un inyector de baja impedancia en una carga compatible con un driver saturado. **Si el balastro se abre, el cilindro muere;** si se pone en corto, el driver recibe 5.8 A.

10 - 14 · Puntos restantes

Punto	Contenido
10 · Cableado	Idéntico al §8.1. En sistemas con balastro, verifique el cable adicional hacia la caja de resistencias
11 · Simbología	Igual al §8.1, con el driver representado como limitador de corriente en lugar de simple interruptor
12 · Oscilograma	Escala de corriente 1 A/div. Verificar pico, mantenimiento, relación 4:1 y joroba dentro del pico

Punto	Contenido
13 · PWM	Frecuencia impuesta por el motor. La fase de mantenimiento sí es PWM interna del driver, a 10 - 20 kHz
14 · Corriente	Pico 4 - 6 A · mantenimiento 1.0 - 1.5 A · diferencia entre cilindros < 5 %

15 · Preguntas de autoevaluación — Peak & Hold

P1. Un técnico instala inyectores de 2.2Ω en un motor cuyo circuito está diseñado para inyectores de 14.5Ω . Calcule la corriente que circulará y la potencia disipada, y explique qué ocurrirá con la ECU.

P2. En una captura de un inyector P&H, la fase de pico alcanza 5.2 A pero el mantenimiento se estabiliza en 2.9 A en lugar de 1.2 A. Calcule la relación pico/mantenimiento, compárela con la especificación y determine la consecuencia térmica sobre el inyector.

P3. Explique, con el cálculo de fuerza, por qué un inyector Peak & Hold puede trabajar con anchos de pulso de 0.8 ms mientras que un saturado necesita al menos 1.2 ms.

8.3 · INYECTOR GDI (INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA)

INYECTOR GDI — TRES FASES: BOOST · PICO · MANTENIMIENTO

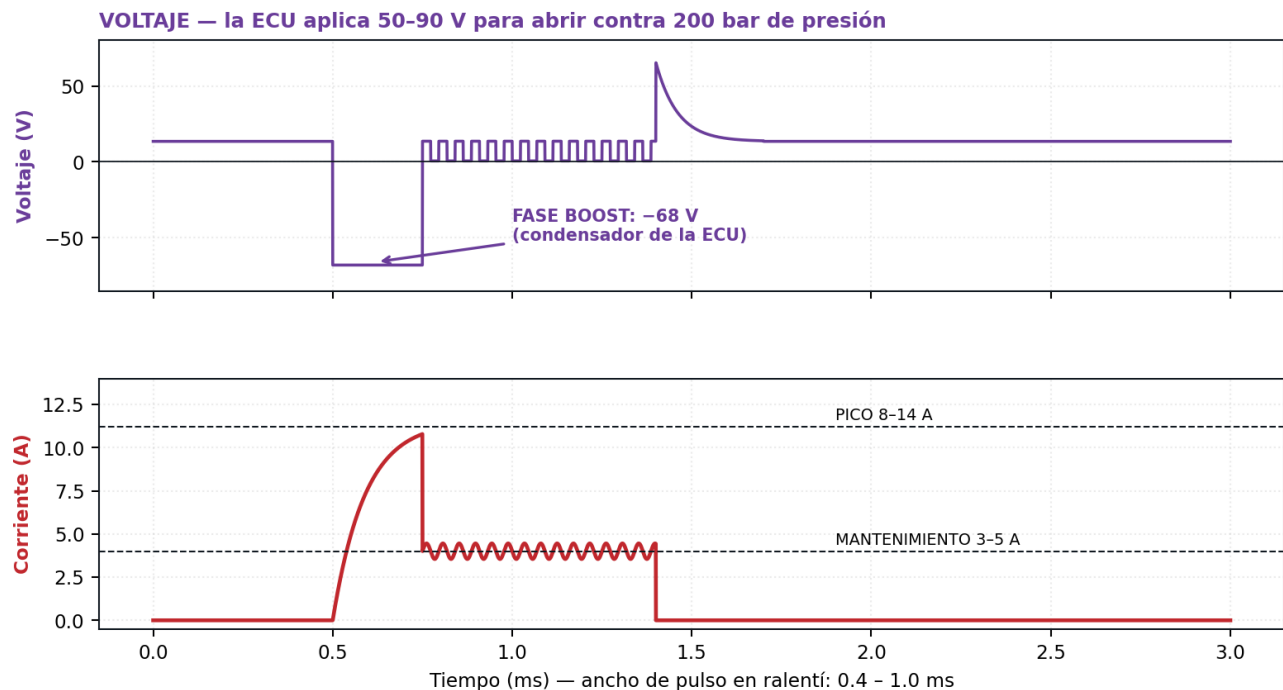


Figura 6: Inyector GDI con voltaje de refuerzo

Principio y por qué necesita alta tensión

El inyector GDI abre **contra la presión del cilindro** (hasta 60 bar durante la compresión) y contra la presión del riel (30 - 200 bar). La fuerza necesaria es enorme y el tiempo disponible, mínimo. La única forma de conseguirla es inyectar corriente muy rápidamente, y para eso hace falta **tensión de refuerzo (boost)**.

$$\frac{di}{dt} = \frac{V}{L}$$

Con 14 V sobre 1.5 mH, la corriente sube a 9.3 A/ms. Con **65 V**, sube a **43 A/ms**: casi cinco veces más rápido.

El circuito de refuerzo es un convertidor elevador dentro de la ECU (o en un módulo driver separado) que carga un condensador a 50 - 90 V y lo descarga sobre el inyector al inicio de cada pulso.

ADVERTENCIA DE SEGURIDAD

En el conector del inyector GDI hay entre 50 y 90 V durante el funcionamiento. No es letal en condiciones normales, pero produce una descarga desagradable y puede causar una reacción refleja peligrosa cerca de partes en movimiento.

- No manipule los conectores con el motor en marcha.
- Espere 60 s tras apagar para que los condensadores se descarguen.
- Use puntas de prueba aisladas y sondas con atenuador **×10 o ×20**.

1 · Valores en ralentí

Parámetro	Valor
Resistencia del bobinado	1.0 - 3.0 Ω (típico 1.5 - 2.5)
Voltaje de refuerzo (boost)	50 - 90 V (típico 65)
Corriente de pico	8 - 12 A
Corriente de mantenimiento	3 - 5 A
Ancho de pulso	0.3 - 1.0 ms (mucho más corto que en puerto)
Presión de riel en ralentí	30 - 60 bar (Módulo 6, §6.2)
Inyecciones por ciclo	1 (algunos 2 en arranque en frío)

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Condición	Ancho de pulso	Presión de riel	Inyecciones/ciclo
2000 RPM sin carga	0.5 - 1.2 ms	40 - 80 bar	1
2000 RPM carga media	1.2 - 2.5 ms	80 - 130 bar	1 - 2
2000 RPM plena carga	2.5 - 4.5 ms	120 - 200 bar	1 - 2
Arranque en frío	1.0 - 2.0 ms	30 - 50 bar	2 - 3 (estratificada)

La corriente pico y de mantenimiento no cambian con la carga. Lo que cambia es el ancho del pulso y, en algunos casos, el número de inyecciones por ciclo.

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Valor
Presión de riel	30 - 200 bar (algunos sistemas hasta 350 bar)
Ancho de pulso mínimo	0.25 ms
Ancho de pulso máximo	5 - 6 ms
Tiempo de subida al pico	0.15 - 0.30 ms
Inductancia	1.0 - 2.0 mH
Frecuencia del troceado de mantenimiento	15 - 25 kHz

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Depósitos de carbón en la punta	Pulverización deficiente, fallo bajo carga, LTFT positivo, humo
Inyector con fuga	Arranque difícil en caliente, humo blanco/azul, dilución de aceite
Circuito de refuerzo degradado	Voltaje de boost bajo → apertura lenta → falla en varios cilindros a la vez
Bobinado abierto	Cilindro muerto, P0201 – P0208
Sellos de teflón dañados	Fuga de compresión al exterior, ruido de silbido, P0300
Resistencia parásita	Corriente reducida, apertura tardía
Presión de riel insuficiente	Todos los cilindros pobres (Módulo 6, §6.2)

Códigos: P0201 – P0208, **P062B (fallo del módulo interno de control de inyectores)**, P0300 – P0308, P0087/P0088 (presión de riel), P2146 – P2149 (alimentación del grupo), P1xxx específicos del fabricante.

La firma diagnóstica del circuito de refuerzo: si el voltaje de boost cae, **todos los inyectores alimentados por ese condensador se ven afectados simultáneamente**. Un fallo de encendido aleatorio en varios cilindros con inyectores nuevos apunta al circuito de refuerzo, no a los inyectores.

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Verificar la presión de riel** antes que nada (Módulo 6, §6.2).
2. **Limpieza por ultrasonido en banco especializado** con la presión de trabajo correcta. La limpieza de inyectores GDI requiere equipo específico: no se pueden probar en un banco de inyectores de puerto.
3. **Reemplazar SIEMPRE los sellos de teflón y el anillo de apoyo** al desmontar. Los sellos de teflón requieren una herramienta de calibrado para recuperar su diámetro antes del montaje.
4. **Descarbonizar la admisión** — en GDI no hay combustible lavando las válvulas, así que el carbón se acumula en los conductos y las válvulas de admisión (limpieza por medios abrasivos o química).
5. Verificar el **voltaje de refuerzo** con osciloscopio y atenuador.
6. Reemplazar el inyector cuando el banco confirme caudal o patrón fuera de tolerancia.
7. **Recodificar** el inyector nuevo si el fabricante lo requiere (§8.6).

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

Paso 1 — Resistencia. 1.0 – 3.0 Ω , con diferencia máxima de 0.3 Ω entre inyectores del mismo motor.

Paso 2 — Captura de voltaje con atenuador.

Ajuste	Valor
Sonda	×10 o ×20 obligatorio
V/div	20 V/div (rango 0 - 100 V)
Time/div	0.2 - 0.5 ms/div
Acoplamiento	DC
Trigger	Flanco de bajada, <i>single shot</i>

Verificar: el escalón de refuerzo debe alcanzar **50 - 90 V** de forma nítida y repetible en todos los eventos.

Paso 3 — Captura de corriente.

Ajuste	Valor
Pinza	Baja corriente, escala 10 mV/A
A/div	2 A/div
Verificar	Pico 8 - 12 A · mantenimiento 3 - 5 A · joroba presente

Paso 4 — Comparación entre cilindros. Superponga los cuatro. Diferencias superiores al 5 % en el pico señalan al cilindro problemático.

Paso 5 — Prueba de contribución de cilindros. Con el escáner, corte cada inyector y registre la caída de RPM y la corrección de combustible.

Paso 6 — Caída de voltaje.

Circuito	Corriente	Límite
Alimentación de refuerzo	8 - 12 A en pulsos	0.30 V
Masa del módulo driver	8 - 12 A	0.15 V
Driver (saturación)	8 - 12 A	0.5 - 1.5 V es normal

7 · Valores comunes de resistencia

Fabricante	Resistencia
GDI genérico	1.0 - 3.0 Ω
Bosch HDEV5	1.2 - 1.8 Ω
Bosch HDEV6	1.0 - 1.5 Ω
Denso (Toyota D-4S)	1.5 - 2.5 Ω
Delphi	1.5 - 2.0 Ω
Continental	1.8 - 2.5 Ω
Aislamiento pin ↔ carcasa	> 10 MΩ
Diferencia máxima entre inyectores	±0.3 Ω

8 · Alimentaciones y tierras

Circuito	Descripción
Línea de refuerzo (boost)	50 - 90 V generados por el convertidor elevador; compartida por varios inyectores
Línea de 12 V	Alimenta la fase de mantenimiento en algunos diseños
Control (lado bajo)	Un driver por inyector
Masa de potencia del módulo driver	Alta corriente; límite 0.15 V

Arquitecturas: algunos vehículos usan un **módulo driver de inyectores independiente** (Ford, Mazda), que genera el refuerzo y recibe la orden de la ECU por una señal lógica. En esos casos, el diagnóstico debe distinguir entre la orden de la ECU al módulo y la salida del módulo al inyector.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Cálculo 1 — Por qué hace falta el refuerzo

Velocidad de subida de la corriente en un inductor:

$$\frac{di}{dt} = \frac{V}{L}$$

Voltaje aplicado	L = 1.5 mH	Tiempo hasta 10 A
14 V	9.3 A/ms	1.07 ms
65 V	43.3 A/ms	0.23 ms
90 V	60.0 A/ms	0.17 ms

Con 14 V, el inyector tardaría más de 1 ms solo en alcanzar la corriente de apertura — más que el ancho de pulso completo en ralentí. El refuerzo no es un lujo: es un requisito físico.

Cálculo 2 — Fuerza de apertura comparada

$$\frac{F_{GDI}}{F_{saturado}} = \left(\frac{10}{0.97} \right)^2 = 106$$

Más de cien veces la fuerza de un inyector de puerto. Es lo que hace falta para abrir contra 200 bar de riel más la presión del cilindro.

Cálculo 3 — Energía del condensador de refuerzo

Con un condensador de 100 µF cargado a 65 V:

$$E = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times 100 \times 10^{-6} \times 65^2 = 0.211 \text{ J}$$

Esa energía debe reponerse entre disparos. A 6 000 RPM con 4 cilindros hay 200 inyecciones por segundo:

$$P_{recarga} = 0.211 \times 200 = 42 \text{ W}$$

Por eso el módulo driver disipa calor y por eso una **masa deficiente** (0.5 V de caída con 10 A = 5 W adicionales) degrada el refuerzo progresivamente hasta que la ECU no puede mantener los 65 V. **Síntoma: fallo de encendido que aparece solo a alto régimen**, cuando la demanda de recarga es máxima.

Cálculo 4 — Deducción de resistencia parásita

Con el pico especificado en 10 A y una medición de 7.2 A a 65 V de refuerzo:

$$R_{tot,ap} = \frac{65}{7.2} = 9.03 \, \Omega$$

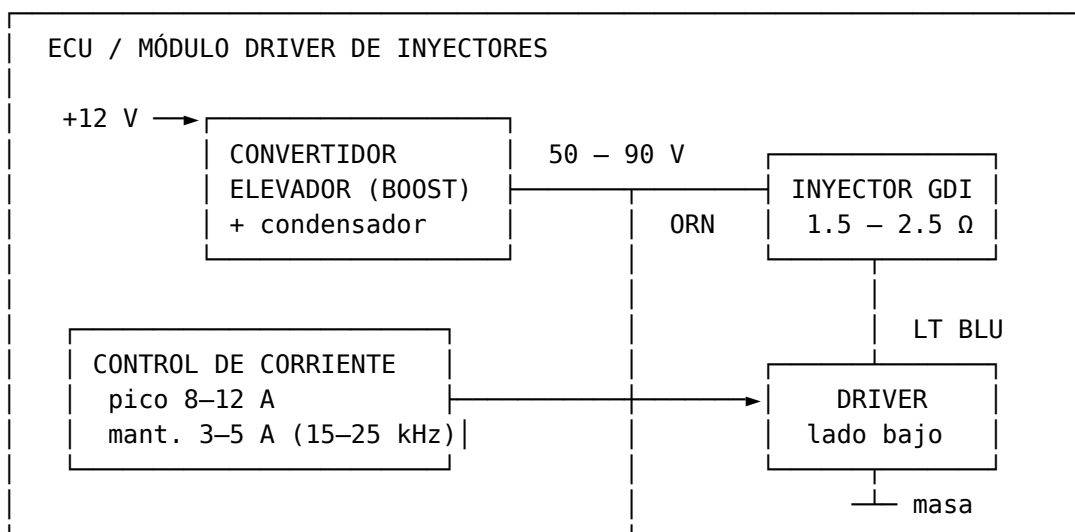
Como el inyector mide 1.8 Ω , la diferencia corresponde a la limitación del driver o a resistencia parásita. **En circuitos con limitación activa de corriente, la Ley de Ohm no basta:** hay que comparar con un inyector sano del mismo motor.

10 · Nomenclatura de cableado

Marca	Refuerzo / alimentación	Control
GM	ORN/BLK, RED	LT BLU, DK GRN, YEL, BRN
Ford (módulo driver)	RED/BLU	WHT/GRN, GRY/YEL (señal lógica ECU→módulo)
VW / Audi (Bosch)	rt/sw	gn/ws, gn/ge, gn/br, gn/bl
Toyota (D-4S)	+B	#10 - #40 (directos) y #11 - #41 (de puerto)
Hyundai / Kia	RED	BLU, GRN, YEL, ORN

Toyota D-4S es un sistema dual: cada cilindro tiene **dos inyectores**, uno directo y uno de puerto. Los códigos y las pruebas deben distinguir entre ambos: #10 – #40 para los directos y #11 – #41 para los de puerto.

11 · Simbología y diagrama de conexión



SECUENCIA DE UN DISPARO:

1. Se aplica el refuerzo de 65 V → la corriente sube a 43 A/ms
2. Al alcanzar 10 A, se corta el refuerzo y se pasa a 12 V
3. El driver trocea a 15–25 kHz para mantener 3–5 A
4. Al final del pulso, corte total → pico inductivo

✗ 50–90 V EN EL CONECTOR. Sonda ×10 obligatoria. Esperar 60 s tras apagar.

12 · Análisis de oscilogramas

Criterio	Valor correcto	Falla que indica
Escalón de refuerzo	50 - 90 V, nítido	Bajo = convertidor o masa del módulo
Corriente de pico	8 - 12 A	Baja = resistencia parásita o refuerzo insuficiente
Tiempo hasta el pico	0.15 - 0.30 ms	Largo = refuerzo bajo o inductancia alterada
Corriente de mantenimiento	3 - 5 A con troceado	Sin troceado = driver en modo continuo
Joroba	Presente en el flanco de subida	Ausente = pin pegado
Repetibilidad entre eventos	Idéntica	Variable = condensador de refuerzo débil
Comparación entre cilindros	±5 %	Mayor = ese inyector

Configuración: DC · sonda ×10 · 20 V/div (voltaje) · 2 A/div (corriente) · **0.2 ms/div** · trigger en flanco de bajada · *single shot*.

La captura que revela el circuito de refuerzo: dispare en modo continuo a 5 000 RPM y observe la altura del escalón de refuerzo **evento tras evento**. Si va decayendo con el régimen, el condensador o la alimentación del módulo no pueden seguir el ritmo de recarga.

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

Elemento	Modulación
Disparo del inyector	Ancho de pulso sincronizado con el motor
Fase de mantenimiento	PWM interna a 15 - 25 kHz
Frecuencia de disparo	RPM/120 por inyector

Ciclo de trabajo del inyector GDI: mucho menor que el de un inyector de puerto para la misma carga, porque la presión de inyección es entre 10 y 60 veces mayor.

$$DC_{GDI} = \frac{PW \times RPM}{1200} = \frac{3.5 \times 6000}{1200} = 17.5 \%$$

Frente al 85 % de un inyector de puerto en las mismas condiciones.

14 · Análisis de corriente

En el GDI, la rampa de corriente es la única prueba que distingue las cuatro causas posibles de un fallo de encendido:

Hallazgo en la rampa	Diagnóstico
Pico correcto con joroba	inyector abre correctamente → buscar en chispa, compresión o combustible
Pico correcto sin joroba	Inyector pegado o con presión excesiva
Pico bajo, subida lenta	Refuerzo insuficiente o resistencia parásita
Sin corriente	Bobinado abierto, driver o alimentación

Parámetro	Valor
Pico	8 – 12 A
Mantenimiento	3 – 5 A
Diferencia entre cilindros	< 5 %
Corriente media del módulo driver	3 – 8 A a alto régimen

15 · Preguntas de autoevaluación — Inyector GDI

P1. Un inyector GDI de 1.6 mH recibe 70 V de refuerzo. Calcule la velocidad de subida de la corriente en A/ms y el tiempo necesario para alcanzar los 10 A de apertura. Repita el cálculo con 14 V y explique por qué el sistema no podría funcionar sin refuerzo.

P2. Un motor GDI presenta fallo de encendido aleatorio en varios cilindros solo por encima de 4 500 RPM. Los inyectores son nuevos, la presión de riel es correcta y la bujías están en buen estado. En la captura, el escalón de refuerzo mide 66 V a 2 000 RPM pero solo 41 V a 5 000 RPM. Emita el diagnóstico y explique el mecanismo con el cálculo de energía de recarga.

P3. Calcule la relación de fuerza de apertura entre un inyector GDI que alcanza 11 A y un inyector saturado que alcanza 0.95 A, y explique por qué esa diferencia es necesaria.

8.4 · INYECTOR COMMON RAIL SOLENOIDE (DIÉSEL)

Principio

En un inyector common rail el solenoide **no abre la aguja directamente**: abre una **válvula piloto** que descarga la cámara de control situada sobre la aguja. Al caer la presión en esa cámara, la presión del riel actuando sobre el asiento levanta la aguja. Es un **servo hidráulico**, y por eso el solenoide puede ser pequeño aunque la presión sea de 2 000 bar.

Consecuencia práctica: el combustible que descarga la válvula piloto sale por el **retorno (leak-off)**. Ese caudal de retorno es la variable diagnóstica más importante del inyector diésel (Módulo 6, §6.2).

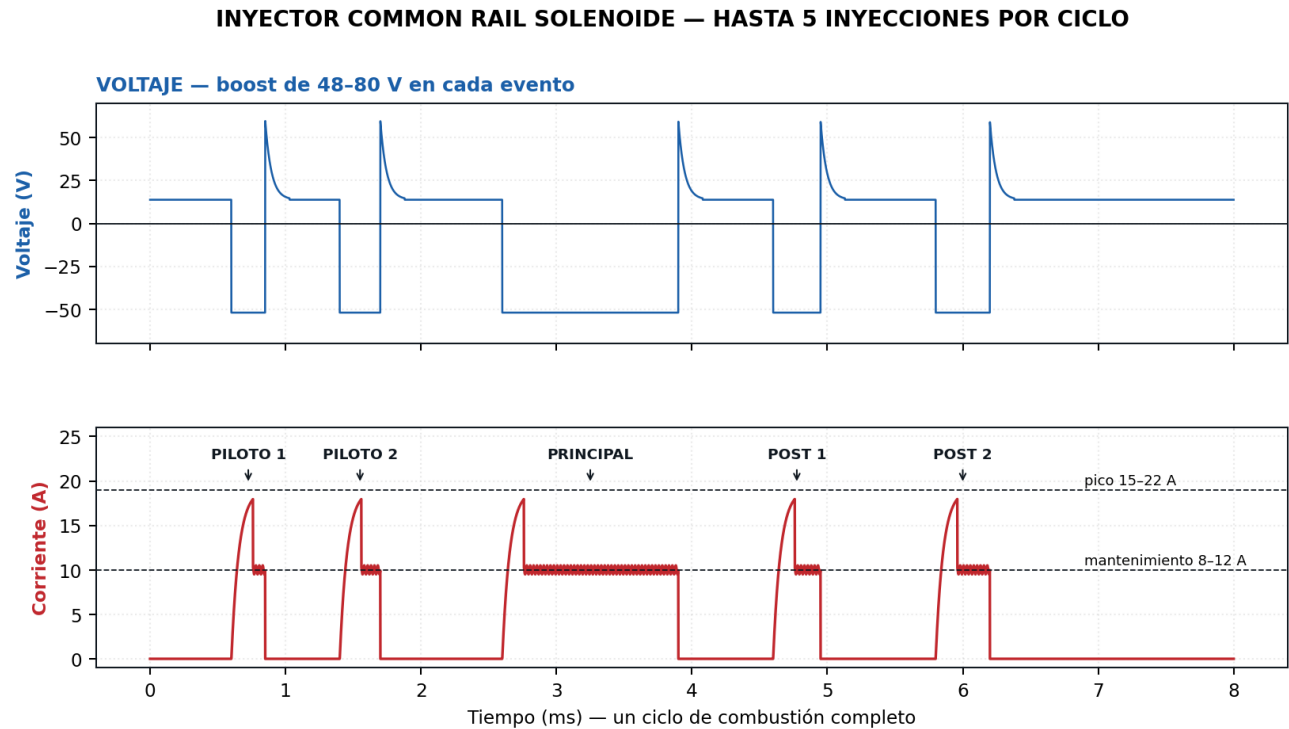


Figura 7: Inyector common rail con múltiples inyecciones

1 · Valores en ralentí

Parámetro	Valor
Resistencia del solenoide	0.15 - 0.60 Ω
Voltaje de refuerzo	40 - 80 V
Corriente de pico	15 - 22 A
Corriente de mantenimiento	8 - 12 A
Duración del pico	0.2 - 0.4 ms
Presión de riel en ralentí	250 - 400 bar (Módulo 6, §6.2)
Inyecciones por ciclo en ralentí	2 - 4 (1 - 2 pilotos + principal + a veces post)
Ancho del pulso piloto	0.15 - 0.35 ms
Ancho del pulso principal	0.4 - 0.9 ms

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Condición	Inyecciones/ciclo	Principal	Presión de riel
2000 RPM sin carga	2 - 3	0.5 - 0.9 ms	350 - 550 bar
2000 RPM carga media	3 - 4	0.8 - 1.4 ms	700 - 1 100 bar
2000 RPM plena carga	2 - 3	1.2 - 2.0 ms	1 400 - 2 000 bar
Durante regeneración del DPF	4 - 5	+ post-inyecciones	600 - 900 bar

A plena carga el número de inyecciones disminuye. Las pilotos existen para suavizar la combustión en carga parcial; a plena carga la prioridad es el caudal y la ECU concentra el combustible en la principal.

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Valor
Inyecciones por ciclo	1 a 7 según estrategia
Ancho de pulso mínimo (piloto)	0.12 ms
Ancho de pulso máximo	2.5 ms
Inductancia del solenoide	0.1 - 0.3 mH
Caudal de retorno por inyector	10 - 40 ml/min según fabricante
Desviación máxima de retorno entre cilindros	±20 %
Corrección de caudal aprendida por cilindro	±3 mg/carrera

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Retorno excesivo	P0087: la presión de riel no alcanza el objetivo, arranque prolongado, falta de potencia
Inyector con fuga al cilindro	Humo blanco, golpeteo, dilución de aceite, arranque difícil
Codificación IMA/IQA incorrecta	Ralentí irregular, humo, correcciones por cilindro extremas (§8.6)
Solenoide abierto	Cilindro muerto, P0201 - P0208
Espiras en corto	Corriente excesiva, riesgo para el driver
Aguja pegada	Cilindro muerto o inyección continua
Depósitos en la tobera	Humo, pérdida de potencia, ruido de combustión

Códigos: P0201 - P0208, P0263/P0266/P0269/P0272 (contribución/equilibrio de cilindros), **P0087/P0088** (presión de riel), P1xxx específicos, P2146 - P2149, P0611 (módulo de control de inyectores).

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Prueba de retorno (*leak-off*)** antes que cualquier otra cosa: identifica el inyector culpable en 5 minutos.
2. Verificar la **presión de riel** y el sistema de baja presión (Módulo 6).
3. **Reemplazar las arandelas de cobre (*copper washers*)** en toda intervención. Una arandela reutilizada produce fuga de gases y depósitos de carbón.
4. Reconstruir o reemplazar el inyector en un **banco especializado** con certificación del fabricante.
5. **CODIFICAR el inyector nuevo o reconstruido** (§8.6). Omitir este paso hace inútil el reemplazo.
6. Ejecutar el **aprendizaje de corrección por cilindro** tras la codificación.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

Fase A — Prueba de retorno (*leak-off test*)

La prueba diagnóstica más eficiente del inyector diésel.

1. Desconecte los tubos de retorno de cada inyector y conecte probetas graduadas individuales.
2. Haga girar el motor durante **30 segundos** (o arránquelo 60 s si arranca).
3. Compare los volúmenes recogidos.

Resultado	Diagnóstico
Volúmenes similares, dentro de especificación	Inyectores correctos
Un inyector con volumen muy superior	Ese inyector consume la presión del riel
Todos con volumen excesivo	Bomba de alta desgastada o presión excesiva
Un inyector con volumen casi nulo	Válvula piloto pegada

Fase B — Captura de corriente multi-inyección

Ajuste	Valor
Pinza	Baja corriente, escala 10 mV/A
A/div	5 A/div
Time/div	0.5 - 1 ms/div
Canal 2	Voltaje con sonda $\times 10$, 20 V/div
Trigger	Flanco de bajada del primer evento

Verificar en cada evento:

- Pico de **15 - 22 A** alcanzado en 0.2 - 0.4 ms.
- Meseta de mantenimiento en **8 - 12 A** con troceado visible.
- **Todos los eventos del ciclo presentes** (pilotos, principal, post).
- La misma forma en todos los cilindros.

Fase C — Prueba de contribución y corrección por cilindro

Registre el PID de **corrección de caudal por cilindro** (*fuel correction, IMV correction, balance rate*).

Valor	Interpretación
±3 mg/carrera	Normal
±3 a ±6 mg/carrera	Desviación significativa; investigar
> ±6 mg/carrera	Inyector, compresión o codificación incorrecta

La corrección por cilindro no acusa solo al inyector. Una compresión baja en ese cilindro produce exactamente el mismo patrón. Realice una compresión relativa (Módulo 1, §1.9) antes de condenar el inyector.

Fase D — Caída de voltaje

Circuito	Corriente	Límite
Línea de refuerzo	15 - 22 A en pulsos	0.40 V
Masa del módulo driver	15 - 22 A	0.20 V
Driver (saturación)	15 - 22 A	0.8 - 2.0 V es normal

7 · Valores comunes de resistencia

Fabricante	Resistencia del solenoide
Bosch CRI 1 / CRI 2	0.15 - 0.30 Ω
Bosch CRI 3	0.20 - 0.40 Ω
Delphi	0.20 - 0.50 Ω
Denso	0.30 - 0.60 Ω
Siemens/Continental (solenoide)	0.20 - 0.45 Ω
Aislamiento pin ↔ carcasa	> 10 MΩ

Advertencia sobre la medición: con valores de 0.2 Ω, **la resistencia de las puntas del multímetro (0.1 - 0.3 Ω) es del mismo orden que la del componente.** Es obligatorio usar la función de **puesta a cero relativa (REL)** del multímetro, o restar la resistencia de las puntas. Sin ese paso, la medición no significa nada.

8 · Alimentaciones y tierras

Circuito	Descripción
Línea de refuerzo	40 - 80 V, compartida por bancos de inyectores
Control (lado bajo)	Un driver por inyector
Masa de potencia	Muy alta corriente: límite 0.20 V

Agrupación: los inyectores suelen agruparse en pares que no disparan consecutivamente (por ejemplo 1-4 y 2-3 en un 4 cilindros), para repartir la carga del condensador de refuerzo.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Cálculo 1 — Por qué la resistencia es tan baja

Para alcanzar 20 A rápidamente con una inductancia mínima:

$$\frac{di}{dt} = \frac{V}{L} = \frac{60}{0.0002} = 300 \text{ A/ms}$$

Los 20 A se alcanzan en **0.067 ms**. Esta velocidad es lo que permite pulsos piloto de 0.15 ms.

Cálculo 2 — El problema de medir 0.2 Ω

Un multímetro con puntas de 0.25 Ω midiendo un solenoide de 0.22 Ω leerá:

$$R_{med} = 0.22 + 0.25 = 0.47 \Omega$$

Un error del 114 %. Si el técnico compara ese valor con la especificación de 0.15 - 0.30 Ω, condenará un inyector sano.

Procedimiento correcto: 1. Junte las puntas del multímetro y anote la lectura (por ejemplo 0.25 Ω), **o** pulse la función REL/ZERO. 2. Mida el inyector. 3. Reste la resistencia de las puntas si no usó REL.

Cálculo 3 — Potencia disipada durante el mantenimiento

$$P = I^2 \times R = 10^2 \times 0.22 = 22 \text{ W}$$

Durante los ~1.5 ms de mantenimiento acumulados por ciclo. La energía por ciclo:

$$E = 22 \times 0.0015 = 33 \text{ mJ}$$

A 3 000 RPM (25 ciclos/s por inyector):

$$P_{media} = 0.033 \times 25 = 0.83 \text{ W}$$

Manejable. Pero si la resistencia parásita añade 0.3 Ω, la corriente cae y el driver debe compensar aumentando el troceado, con lo que aumenta la disipación en el propio driver.

Cálculo 4 — Deducción de la resistencia parásita por corriente

Con refuerzo de 60 V, solenoide de 0.22 Ω y corriente de pico especificada en 20 A, la limitación la impone el driver, no la Ley de Ohm. **En estos circuitos, la comparación entre cilindros del mismo motor es más fiable que el cálculo absoluto.**

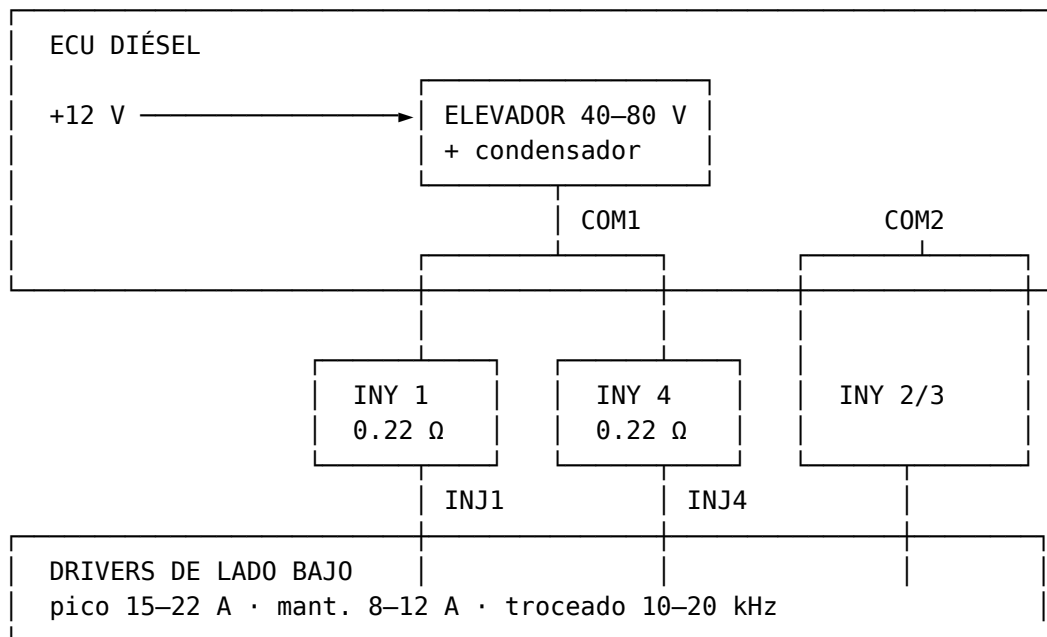
10 · Nomenclatura de cableado

Marca	Refuerzo	Control
Bosch (VAG, PSA, BMW)	rt/sw, br/rt	gn/ws, gn/ge, gn/br, gn/bl
Delphi (Ford, PSA)	RED/BLU	GRY/YEL, BRN/WHT, VIO/WHT, GRN/WHT
Denso (Toyota, Nissan)	COM1 / COM2	INJ1 - INJ4
GM Duramax	RED	LT BLU, DK GRN, PPL, TAN

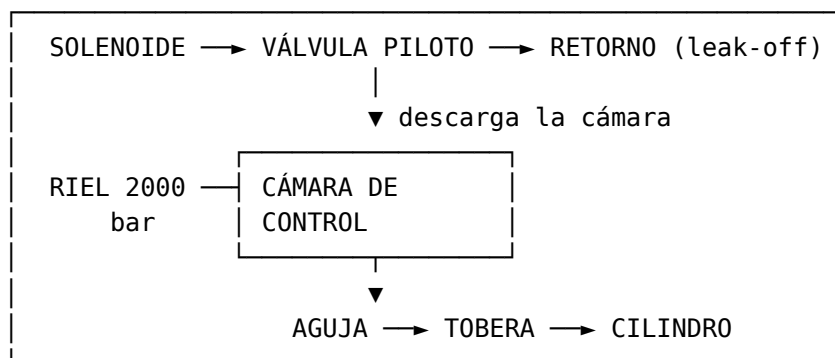
Marca	Refuerzo	Control
-------	----------	---------

Nomenclatura Denso: COM1 y COM2 son las líneas comunes de refuerzo (una por cada par de inyectores); INJ1 a INJ4 son los controles individuales.

11 · Simbología y diagrama de conexión



ESTRUCTURA HIDRÁULICA DEL INYECTOR



△ NUNCA aflojar tuberías con el motor en marcha (Módulo 6, §6.2)

12 · Análisis de oscilogramas

Criterio	Correcto	Falla
Número de eventos por ciclo	2 - 5 según carga	Faltante = estrategia degradada

Criterio	Correcto	Falla
Pico de cada evento	15 - 22 A	Bajo = refuerzo o resistencia parásita
Meseta de mantenimiento	8 - 12 A con troceado	Sin meseta = driver en fallo
Refuerzo	40 - 80 V en cada evento	Decreciente = condensador insuficiente
Ancho del piloto	0.15 - 0.35 ms	—
Comparación entre cilindros	Idéntica	Diferente = ese inyector

Configuración: DC · sonda $\times 10$ · 20 V/div · pinza 10 mV/A, 5 A/div · **1 ms/div** para ver el ciclo completo de inyecciones · trigger en el primer evento.

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

Elemento	Modulación
Eventos de inyección	Ancho de pulso, múltiples por ciclo
Fase de mantenimiento	PWM a 10 - 20 kHz
Frecuencia de eventos	$(\text{RPM}/120) \times \text{n.º de inyecciones por ciclo}$

A 2 000 RPM con 4 inyecciones por ciclo, cada inyector dispara $16.7 \times 4 = 67$ eventos por segundo.

14 · Análisis de corriente

Parámetro	Valor
Pico	15 - 22 A
Mantenimiento	8 - 12 A
Tiempo hasta el pico	0.2 - 0.4 ms
Diferencia entre cilindros	< 5 %

Método: pinza de baja corriente en el cable de control, escala 10 mV/A. Para capturar el ciclo completo se necesita **memoria profunda** y al menos 500 kS/s.

15 · Preguntas de autoevaluación — Common Rail solenoide

P1. Un multímetro con puntas de 0.28Ω mide 0.51Ω en un inyector Bosch cuya especificación es $0.15 - 0.30 \Omega$. Calcule la resistencia real del solenoide y determine si el inyector está dentro de especificación. Describa el procedimiento correcto de medición.

P2. Un motor diésel presenta P0087 con la bomba de alta y el filtro verificados. Describa la prueba de retorno paso a paso, indique los valores de referencia y explique cómo identifica el inyector culpable.

P3. El PID de corrección de caudal del cilindro 3 marca $+8.4 \text{ mg/carrera}$ mientras los otros tres están dentro de ± 1.5 . Enumere las tres causas posibles y describa qué prueba de un módulo anterior del curso realizaría antes de condenar el inyector.

8.5 · INYECTOR PIEZOELECTRICO

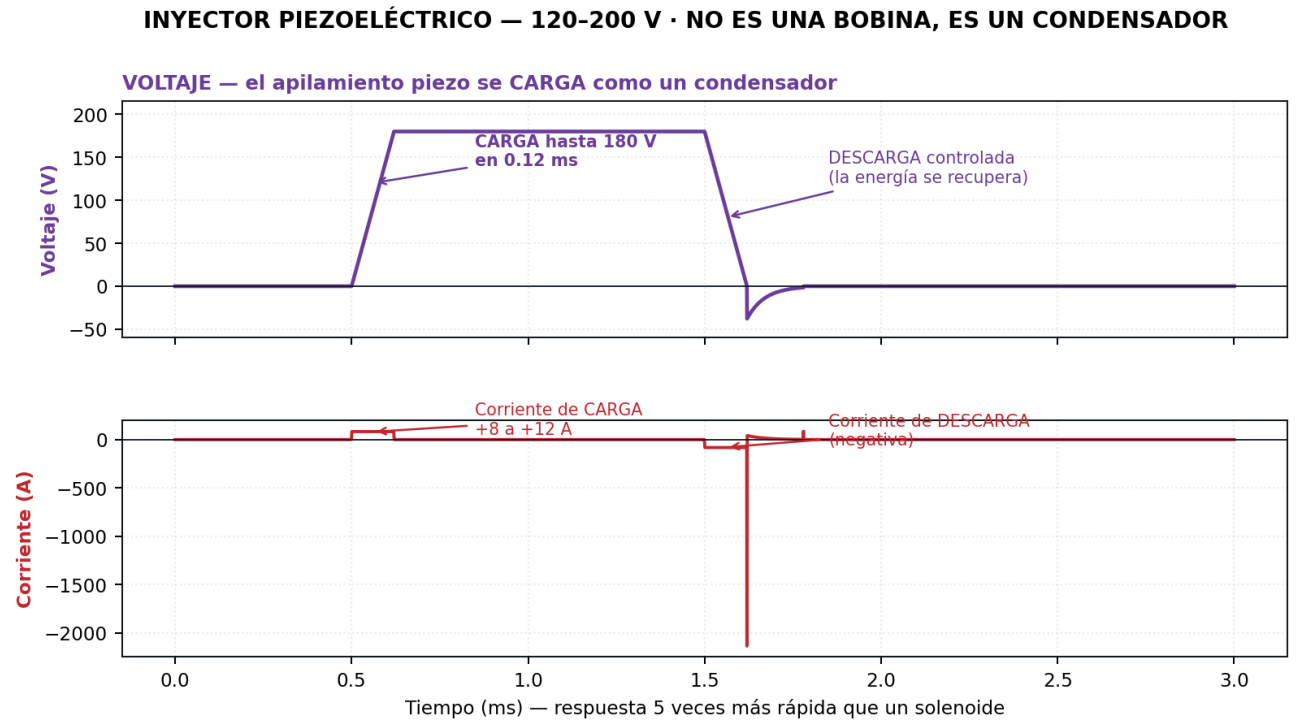


Figura 8: Inyector piezoeléctrico: carga capacitiva

Principio: una carga capacitiva, no inductiva

Un apilamiento de cientos de láminas piezoeléctricas se **alarga** al aplicarle tensión (efecto piezoeléctrico inverso, el contrario al del sensor de detonación del Módulo 5). Ese alargamiento —de apenas 40 - 80 μm — acciona la válvula.

La diferencia conceptual que cambia todo el diagnóstico: un solenoide es una bobina (inductivo). Un actuador piezoeléctrico es un condensador (capacitivo). Todas las reglas de la rampa de corriente se invierten.

	Solenoide (inductivo)	Piezo (capacitivo)
Modelo eléctrico	L (inductancia)	C (capacitancia 3 - 10 μF)
Corriente al aplicar tensión	Sube gradualmente (rampa)	Pico instantáneo que decae
Al cortar	Pico inductivo de alta tensión	Corriente negativa de descarga
Resistencia medible	Sí	NO — mida capacitancia
Tiempo de respuesta	0.3 - 0.5 ms	0.1 ms (4 - 5 veces más rápido)
Inyecciones por ciclo	Hasta 5	Hasta 7 - 9

1 · Valores en ralentí

Parámetro	Valor
Voltaje de mando	110 - 200 V (típico 130 - 160)
Capacitancia del apilamiento	3 - 10 μF
Corriente de carga (pico)	5 - 15 A durante 50 - 150 μ s
Corriente de descarga	Pico negativo de magnitud similar
Resistencia de aislamiento	> 10 MΩ
Inyecciones por ciclo en ralentí	3 - 5
Ancho del pulso piloto	0.10 - 0.25 ms

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Condición	Inyecciones/ciclo	Voltaje	Presión de riel
2000 RPM sin carga	3 - 5	130 - 160 V	400 - 600 bar
2000 RPM carga media	4 - 6	140 - 170 V	800 - 1 300 bar
2000 RPM plena carga	2 - 3	150 - 200 V	1 600 - 2 200 bar

El voltaje aplicado modula la carrera del apilamiento, y por tanto la apertura de la válvula. A mayor presión de riel, mayor voltaje necesario. Esto no ocurre en los inyectores solenoide, donde el voltaje de refuerzo es fijo.

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Valor
Voltaje de trabajo	110 - 200 V
Capacitancia	3 - 10 μ F (consultar especificación exacta)
Variación máxima de capacitancia entre inyectores	± 10 %
Alargamiento del apilamiento	40 - 80 μ m
Tiempo de respuesta	0.1 ms
Inyecciones por ciclo	hasta 7 - 9
Ancho de pulso mínimo	0.08 ms

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Apilamiento degradado (capacitancia fuera de rango)	Carrera insuficiente, caudal reducido, humo, falta de potencia
Cortocircuito interno	Cilindro muerto y riesgo para el driver de alta tensión
Aislamiento degradado por humedad	Fuga de carga, comportamiento errático
Fuga hidráulica interna	Retorno excesivo, P0087
Codificación incorrecta	Ralentí irregular, humo, correcciones extremas (§8.6)

Falla	Síntoma
Driver de alta tensión degradado	Voltaje insuficiente, todos los inyectores afectados

Códigos: P0201 - P0208, P0263/P0266/P0269, P062B, P1xxx específicos del fabricante.

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Medir la capacitancia** de los cuatro inyectores y compararlas.
2. Verificar el **aislamiento** ($> 10 \text{ M}\Omega$) — la humedad es un enemigo directo.
3. Prueba de **retorno** (idéntica al §8.4 Fase A).
4. Reemplazar arandelas de cobre y sellos en toda intervención.
5. **CODIFICAR** el inyector nuevo (§8.6).
6. Reemplazar el inyector: **el apilamiento piezoeléctrico no es reparable** en la práctica de taller.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

ADVERTENCIA DE SEGURIDAD

En el conector hay hasta 200 V. Además, el apilamiento es un condensador que **conserva la carga después de apagar el motor.**

- Espere **al menos 5 minutos** tras apagar antes de desconectar.
- Use sonda con atenuador **$\times 20$ o $\times 100$** .
- No cortocircuite los terminales de un inyector cargado: la descarga puede dañar el apilamiento.

Paso 1 — Medición de capacitancia (sustituye a la de resistencia). Con el inyector desconectado y descargado, use un multímetro con función de capacitancia:

Resultado	Diagnóstico
Dentro de especificación, $\pm 10 \%$ entre inyectores	Apilamiento sano
Muy por debajo	Apilamiento degradado o láminas fracturadas
Muy por encima	Cortocircuito parcial entre láminas
Cero o infinito	Apilamiento en corto o abierto

Paso 2 — Aislamiento: $> 10 \text{ M}\Omega$ entre cada terminal y la carcasa.

Paso 3 — Captura con osciloscopio.

Ajuste	Valor
Sonda	$\times 20$ o $\times 100$ obligatoria
V/div	50 V/div
Pinza de corriente	10 mV/A, 5 A/div
Time/div	0.1 - 0.2 ms/div
Trigger	Flanco de subida del voltaje

Verificar: - Rampa de voltaje ascendente hasta 130 – 200 V. - **Pico de corriente positivo** al cargar. - **Pico de corriente negativo** al descargar. - Todos los eventos del ciclo presentes. - Formas idénticas entre cilindros.

Paso 4 — Prueba de retorno (§8.4 Fase A).

Paso 5 — Caída de voltaje.

Circuito	Límite
Alimentación del módulo de alta tensión	0.30 V
Masa del módulo	0.15 V

7 · Valores comunes de resistencia

NO MIDA RESISTENCIA. Un óhmetro sobre un condensador de 5 µF dará una lectura que sube progresivamente (está cargando el condensador) y que no significa nada. **La magnitud a medir es la capacitancia.**

Medición	Valor
Capacitancia	3 - 10 µF (consultar especificación exacta)
Variación entre inyectores del mismo motor	±10 %
Aislamiento terminal ↔ carcasa	> 10 MΩ
Resistencia entre terminales	Sin significado diagnóstico

8 · Alimentaciones y tierras

Circuito	Descripción
Alimentación del módulo de alta tensión	12 V, alta corriente pulsada
Salida hacia el inyector	110 - 200 V, dos conductores por inyector
Masa de potencia del módulo	Límite 0.15 V

Los dos conductores del inyector piezo son un par diferencial de alta tensión; no hay un “positivo permanente” y un “control” como en el solenoide. El módulo aplica la tensión entre ambos y la retira invirtiendo el proceso.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm y de la física del condensador

Cálculo 1 — Carga almacenada

$$Q = C \times V = 5 \times 10^{-6} \times 150 = 750 \mu C$$

Cálculo 2 — Energía por disparo

$$E = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-6} \times 150^2 = 56 \text{ mJ}$$

Cálculo 3 — Corriente de carga

$$I = C \frac{dV}{dt}$$

Si el apilamiento debe cargarse a 150 V en 80 μ s:

$$I = 5 \times 10^{-6} \times \frac{150}{80 \times 10^{-6}} = 9.4 \text{ A}$$

Éste es el origen del pico de corriente: no es una rampa inductiva, es la corriente necesaria para cargar un condensador en microsegundos.

Cálculo 4 — Verificación de un apilamiento degradado

Si un inyector requiere 9.4 A para cargarse en 80 μ s y la pinza mide solo 6.1 A con la misma rampa de voltaje, la capacitancia real es:

$$C = \frac{I \times dt}{dV} = \frac{6.1 \times 80 \times 10^{-6}}{150} = 3.25 \mu F$$

Frente a los 5 μ F especificados: el apilamiento perdió el 35 % de su capacitancia, y con ella una fracción proporcional de su carrera. El resultado es menos caudal en ese cilindro.

Cálculo 5 — Potencia del módulo de alta tensión

A 3 000 RPM con 4 cilindros y 4 inyecciones por ciclo:

$$\text{eventos/s} = \frac{3000}{120} \times 4 \times 4 = 400$$

$$P = 0.056 \times 400 = 22.4 \text{ W}$$

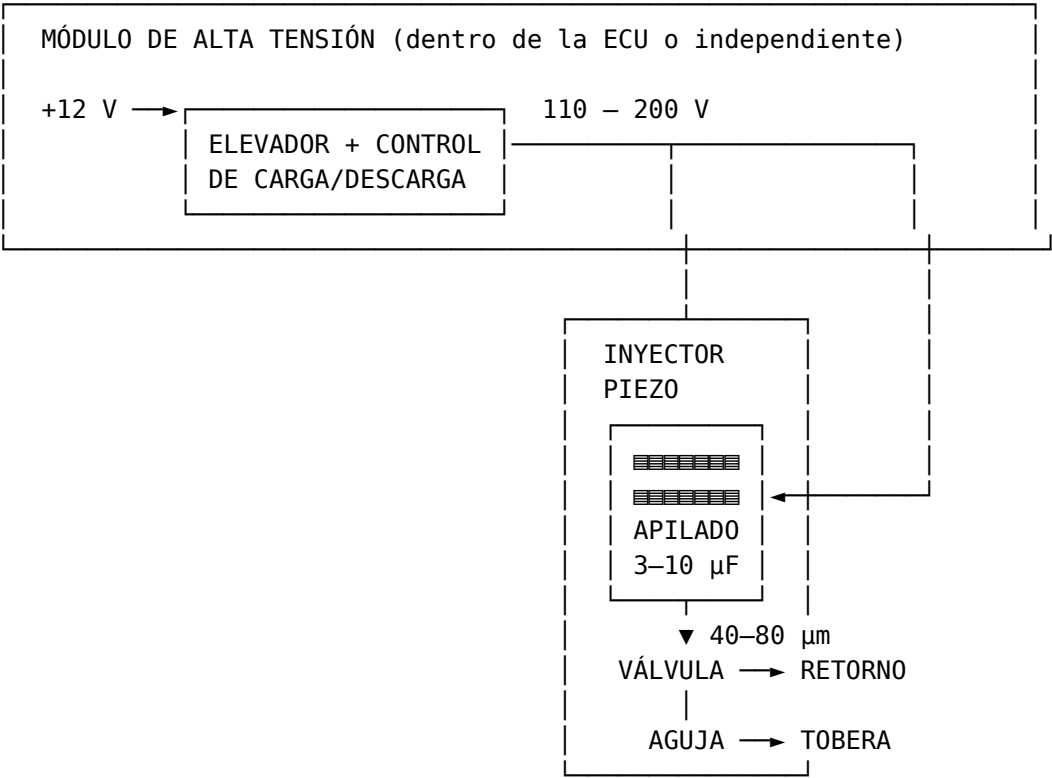
Esa potencia debe extraerse del sistema de 12 V a través del módulo. **Una masa con 0.5 V de caída y 15 A de corriente media añade 7.5 W de pérdida,** y el módulo no puede mantener los 150 V a alto régimen: fallo de encendido que aparece solo con el motor exigido.

10 · Nomenclatura de cableado

Marca	Conductor 1	Conductor 2
Bosch (piezo CRI 3-x)	gn/ws	gn/ge
Siemens / Continental (VDO)	Par trenzado, sin polaridad marcada	—
Delphi	GRY/YEL	BRN/WHT
Denso	INJ+	INJ-

Muchos inyectores piezo usan par trenzado sin polaridad definida, porque el módulo aplica tensión bipolar. Verifique el diagrama: en algunos sí importa el orden.

11 · Simbología y diagrama de conexión



SÍMBOLO PIEZOELÉCTRICO: (condensador con material activo)

ES UN CONDENSADOR, NO UNA BOBINA.
Mida CAPACITANCIA (3-10 µF), nunca resistencia.
⚡ Conserva carga tras apagar: espere 5 minutos.

12 · Análisis de oscilogramas

Criterio	Correcto	Falla
Rampa de voltaje	Sube a 130 - 200 V	Baja = módulo o apilamiento en corto
Pico de corriente positivo	5 - 15 A al cargar	Bajo = capacitancia reducida
Pico de corriente negativo	Similar al positivo, al descargar	Ausente = descarga incompleta
Simetría carga/descarga	Similar	Asimétrica = apilamiento degradado
Repetibilidad entre eventos	Idéntica	Variable = módulo insuficiente
Comparación entre cilindros	±10 %	Mayor = ese inyector

Configuración: DC · sonda ×20 · 50 V/div · pinza 10 mV/A a 5 A/div · **0.1 ms/div.**

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

No aplica el concepto de PWM de mantenimiento. Una vez cargado, el condensador **mantiene su carga sin consumo**, por lo que no hace falta trocear nada. Es una de las grandes ventajas energéticas del piezo frente al solenoide.

Elemento	Modulación
Eventos de inyección	Ancho de pulso, hasta 7 - 9 por ciclo
Mantenimiento	Ninguno — el condensador conserva la carga
Modulación del voltaje	Sí: la amplitud modula la carrera del apilamiento

14 · Análisis de corriente

Parámetro	Valor
Pico de carga	5 - 15 A durante 50 - 150 μ s
Pico de descarga	Negativo, magnitud similar
Corriente durante el mantenimiento	≈ 0 A
Diferencia entre cilindros	< 10 %

Lo que el análisis de corriente revela aquí es la capacitancia real del apilamiento (Cálculo 4 del punto 9). Es el equivalente funcional de la “joroba” en el inyector solenoide: la prueba que confirma el estado del actuador.

15 · Preguntas de autoevaluación — Inyector piezoeléctrico

P1. Un técnico mide con el óhmetro los terminales de un inyector piezoeléctrico y obtiene una lectura que sube continuamente sin estabilizarse. Explique el fenómeno, indique qué magnitud debió medir y con qué valores de referencia.

P2. Un apilamiento especifica 5.5 μ F. Con una rampa de voltaje de 0 a 160 V en 90 μ s, la pinza mide 7.2 A de pico. Calcule la capacitancia real y el porcentaje de degradación.

P3. Calcule la energía por disparo de un inyector piezo de 6 μ F trabajando a 170 V, y la potencia total que debe entregar el módulo de alta tensión en un motor de 6 cilindros a 2 400 RPM con 5 inyecciones por ciclo.

8.6 · CODIFICACIÓN IMA / IQA Y CORRECCIÓN POR CILINDRO

CORRECCIÓN DE CAUDAL POR CILINDRO — EL PID QUE DELATA AL INYECTOR

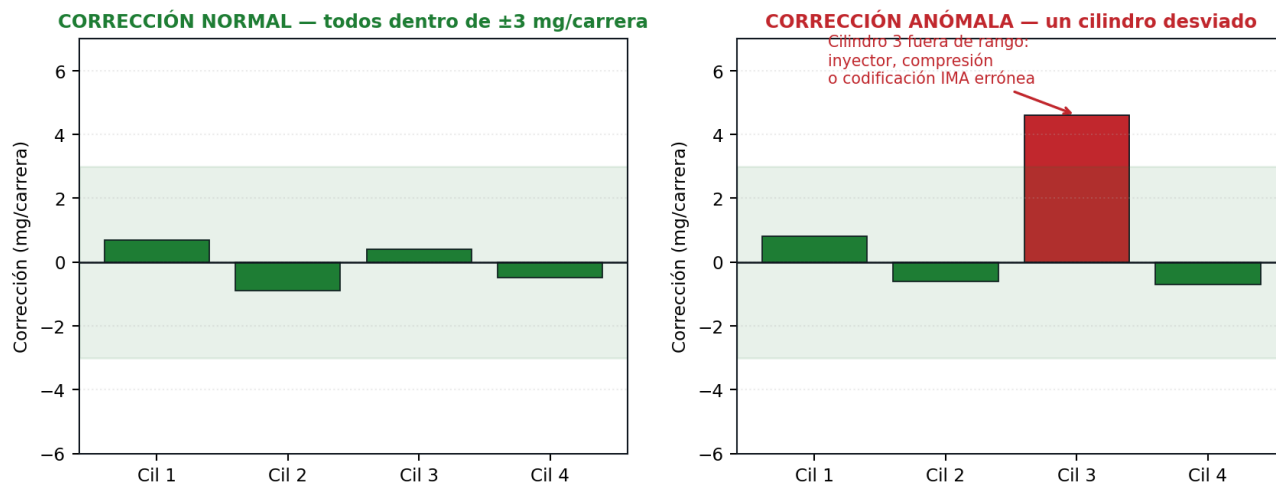


Figura 9: Correcciones de caudal por cilindro

Por qué existe la codificación

Dos inyectores fabricados en la misma línea, con las mismas cotas nominales, entregan caudales que pueden diferir un **5 - 8 %**. En un motor diésel de inyección directa, esa diferencia produce ralenti irregular, humo y ruido de combustión.

La solución del fabricante es medir cada inyector en banco al final de la producción y grabar en su cuerpo un **código de corrección**. La ECU lee ese código y ajusta el ancho de pulso de ese inyector concreto para compensar su desviación individual.

Un inyector nuevo instalado sin codificar entrega el caudal que la ECU cree que entrega el inyector viejo. El error puede llegar al 8 %, y el resultado es un motor que funciona **peor** después de la reparación que antes.

Nomenclatura por fabricante

Fabricante	Nombre del código	Formato típico	Ubicación
Bosch	IMA (<i>Injektor-Mengen-Abgleich</i>)	6 - 9 caracteres alfanuméricos	Grabado o etiqueta en el cuerpo
Denso	IQA (<i>Injection Quantity Adjustment</i>)	8 caracteres o QR	Etiqueta en el cuerpo
Delphi	C2i / C3i	16 - 20 caracteres	Etiqueta o grabado láser
Siemens/Continental	IVD / código de 6 dígitos	6 - 7 dígitos	Grabado

Fabricante	Nombre del código	Formato típico	Ubicación
Toyota (D-4D)	ID Code	Código de 30 caracteres	Etiqueta

Procedimiento de codificación

Paso	Acción
1	Anote la posición de cada inyector (cilindro) antes de desmontar
2	Registre el código de cada inyector nuevo , asociado a su cilindro
3	Instale con arandelas y sellos nuevos, al par especificado
4	Con el escáner, entre en la función de codificación de inyectores
5	Introduzca cada código en la posición correcta de cilindro
6	Confirme la escritura y verifique que la ECU la aceptó
7	Ejecute el reinicio de los valores adaptativos de corrección
8	Arranque, deje estabilizar y verifique las correcciones por cilindro

El error más frecuente: intercambiar los códigos entre cilindros. El síntoma resultante es un ralentí irregular que **empeora** respecto al estado previo, con correcciones por cilindro grandes y de signos opuestos.

Corrección por cilindro: la verificación posterior

Independientemente de la codificación de fábrica, la ECU **aprende** durante el funcionamiento una corrección adicional para cada cilindro, basada en las pequeñas variaciones de velocidad angular del cigüeñal entre combustiones.

Nombres del PID: *Fuel Correction, Balance Rate, Cylinder Correction, Mengenabgleich, Injector Correction Value.*

Valor	Interpretación
±0 a ±2 mg/carrera	Excelente
±2 a ±3 mg/carrera	Normal
±3 a ±6 mg/carrera	Desviación significativa — investigar
> ±6 mg/carrera	Falla presente

Interpretación del signo:

Signo	Significado	Causas posibles
Positivo (+)	La ECU añade combustible a ese cilindro	Inyector entrega de menos, o compresión baja en ese cilindro
Negativo (-)	La ECU quita combustible	Inyector entrega de más, o codificación incorrecta

La corrección por cilindro NO acusa exclusivamente al inyector. Una compresión baja produce el mismo patrón, porque la ECU solo observa la aportación de par de ese cilindro. **Antes de condenar un inyector con corrección alta, realice una compresión relativa** (Módulo 1, §1.9).

Tabla de decisión

Corrección	Retorno del inyector	Compresión relativa	Diagnóstico
Alta (+)	Alto	Normal	Inyector con fuga interna
Alta (+)	Normal	Baja	Compresión mecánica
Alta (+)	Normal	Normal	Codificación incorrecta o tobera obstruida
Alta (-)	Normal	Normal	Codificación incorrecta o inyector que entrega de más
Todas altas del mismo signo	—	—	Presión de riel, sensor de riel, o combustible

Puntos 1 - 15 aplicados a la codificación

Punto	Contenido
1 · Ralentí	Correcciones dentro de ± 3 mg/carrera; ralentí suave y regular
2 · 2000 RPM	Correcciones estables; no deben crecer con el régimen
3 · Rango	± 10 mg/carrera es el límite de autoridad típico de la ECU
4 · Síntomas	Ralentí irregular, humo, ruido de combustión, correcciones extremas
5 · Soluciones	Recodificar con los códigos correctos en las posiciones correctas; reiniciar adaptativos
6 · Diagnóstico	Leer los códigos grabados y compararlos con los almacenados en la ECU
7 · Resistencia	No aplica — es un procedimiento de datos, no eléctrico

Punto	Contenido
8 · Alimentaciones	No aplica
9 · Ley de Ohm	No aplica. El “cálculo” relevante es el balance de caudal
10 · Cableado	No aplica
11 · Simbología	El código está grabado o en etiqueta; fotografielo antes de instalar
12 · Oscilograma	El efecto de la codificación se ve como anchos de pulso ligeramente distintos entre cilindros — es normal y esperado
13 · PWM	La codificación actúa modificando el ancho de pulso individual
14 · Corriente	Sin efecto sobre la corriente; solo sobre la duración
15 · Preguntas	Ver abajo

Hallazgo que confunde a muchos técnicos: en una captura de los cuatro inyectores, los anchos de pulso **no son exactamente iguales**. Esa diferencia de 2 - 5 % es la codificación trabajando. **No es una falla**. Lo que sí sería falla es una diferencia superior al 10 %.

Preguntas de autoevaluación — Codificación

P1. Un técnico reemplaza los cuatro inyectores de un motor diésel y, por prisa, introduce los códigos en orden inverso al de los cilindros. Describa el síntoma resultante, qué mostrarían las correcciones por cilindro y cómo lo corregiría.

P2. El PID de corrección del cilindro 2 marca +7.1 mg/carrera. La prueba de retorno muestra caudales similares en los cuatro inyectores. ¿Qué prueba realiza a continuación y por qué?

P3. Explique por qué los anchos de pulso de los cuatro inyectores de un motor diésel bien reparado no son exactamente iguales, y a partir de qué diferencia consideraría que existe una falla.

8.7 · BOMBA DE ALTA PRESIÓN Y VÁLVULA REGULADORA

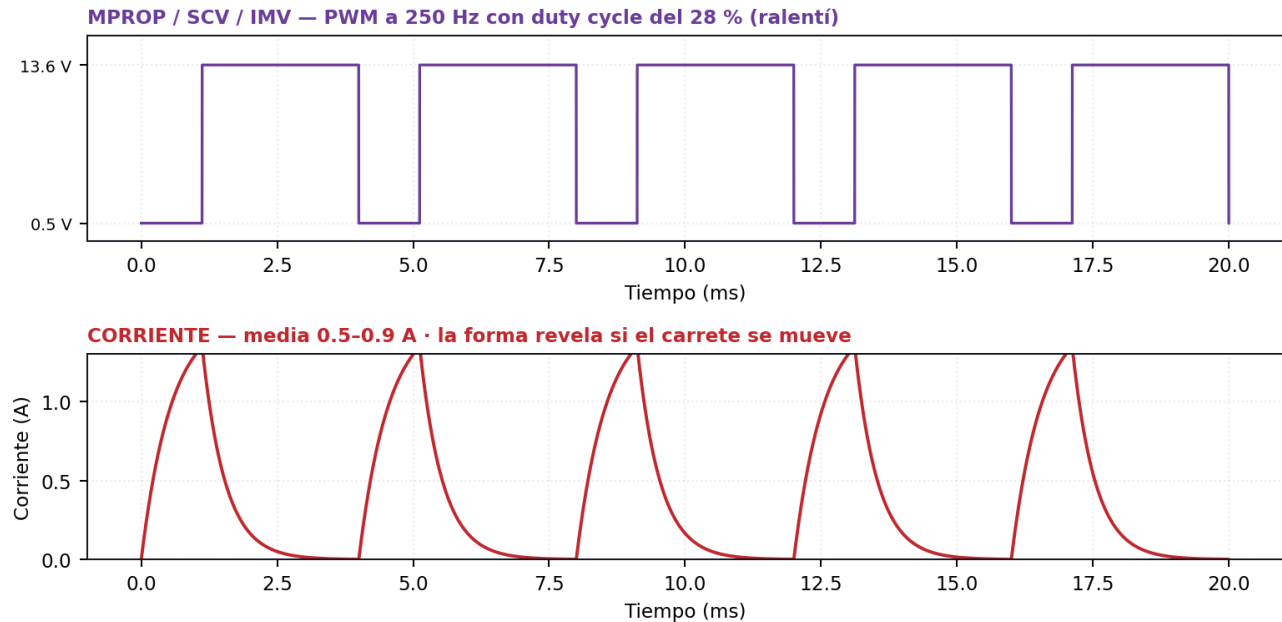


Figura 10: Regulador de presión: normalmente abierto y normalmente cerrado

Los dos conceptos de regulación

Método	Elemento	Dónde actúa	Ventaja
Control de admisión	MPROP / SCV / IMV	Entrada de la bomba: regula el caudal que entra	La bomba solo comprime lo necesario → menos calentamiento
Control de descarga	PCV / DRV	Riel o salida de bomba: descarga el exceso	Respuesta más rápida
Control dual	Ambos	—	Precisión máxima; el estándar actual

La distinción que decide el diagnóstico: normalmente abierto vs cerrado

Éste es el punto que más errores de diagnóstico produce en todo el sistema de alta presión.

Tipo	Sin corriente	Con corriente máxima	Comportamiento en fallo eléctrico
Normalmente ABIERTO (Bosch MPROP/ZME, Delphi IMV)	Caudal MÁXIMO → presión MÁXIMA	Caudal mínimo → presión mínima	Sobrepresión — la ECU pierde el control por arriba
Normalmente CERRADO (algunos Denso SCV)	Caudal mínimo → no arranca	Caudal máximo	No arranca

Consecuencia práctica:

- En un sistema **normalmente abierto**, un duty cycle **alto** significa **presión baja**. Un técnico que interprete “duty alto = mucha presión” diagnosticará exactamente al revés.
- Un conector desconectado en un sistema normalmente abierto produce **sobrepresión inmediata** y P0088.

1 · Valores en ralentí

Parámetro	MPROP / SCV / IMV	PCV / DRV
Resistencia	2 - 6 Ω (algunos 0.5 - 3 Ω)	2 - 6 Ω
Frecuencia PWM	100 - 500 Hz	100 - 400 Hz
Duty cycle en ralentí	15 - 35 %	20 - 40 %
Corriente media	0.4 - 1.0 A	0.5 - 1.2 A
Corriente de pico	1.5 - 2.5 A	1.5 - 2.5 A

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Condición	Duty cycle (normalmente abierto)	Corriente
2000 RPM sin carga	25 - 45 %	0.6 - 1.2 A
2000 RPM carga media	35 - 55 %	0.9 - 1.5 A
2000 RPM plena carga	15 - 30 % (menos corriente = más caudal)	0.4 - 0.9 A

Observe la inversión: a plena carga, en un sistema normalmente abierto, el duty cycle **baja** porque la ECU quiere caudal máximo. Sin conocer el tipo de válvula, este comportamiento parece una avería.

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Valor
Rango completo de duty cycle	0 - 100 %
Tiempo de respuesta a un cambio de comando	< 500 ms

Parámetro	Valor
Corriente máxima	2.5 A
Presión que debe alcanzar en arranque	150 – 250 bar (diésel)
Presión a plena carga	1 400 – 2 500 bar

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Válvula pegada abierta (normalmente abierto)	Sobrepresión, P0088 , ruido de bomba, la ECU no puede reducir la presión
Válvula pegada cerrada	P0087 , no arranca o falta de potencia severa
Bobina abierta	No arranca (normalmente cerrado) o sobrepresión (normalmente abierto)
Resistencia parásita	Menos fuerza magnética → carrete no alcanza su posición
Bomba de alta desgastada	P0087 con duty cycle saturado y corriente normal
Filtro-malla de entrada obstruido	P0087; la bomba no recibe caudal
Aire en el circuito de baja	Presión inestable, arranque prolongado

Códigos: **P0087** (presión demasiado baja), **P0088** (demasiado alta), P0089 (rendimiento del regulador), P0090 – P0092 (circuito del regulador), P0093 (fuga grande), P1093, P228C/P228D, P0001 – P0004 (control de volumen de combustible).

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Identificar el tipo de válvula** (normalmente abierta o cerrada) antes de interpretar cualquier lectura.
2. **Verificar el sistema de baja presión** (Módulo 6, §6.1): la bomba de alta necesita caudal y presión de alimentación.
3. **Prueba de retorno de inyectores** (§8.4 Fase A): un inyector con fuga hace que la bomba “no dé presión” aunque esté sana.
4. Verificar y limpiar el **filtro-malla** de entrada de la bomba.
5. Verificar el **solenoid**: resistencia, corriente y rampa.
6. **Purgar el aire** del circuito tras cualquier intervención.
7. Reemplazar la bomba solo tras descartar retorno de inyectores, filtro y regulador.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

Paso 1 — Determinar el tipo de válvula. Consulte el diagrama o realice esta prueba: con el motor en ralentí, **desconecte el regulador** durante 2 segundos.

Resultado	Tipo
La presión sube bruscamente	Normalmente abierto
La presión cae y el motor se apaga	Normalmente cerrado

Paso 2 — Resistencia del solenoide. 2 - 6 Ω (usar función REL si el valor es bajo).

Paso 3 — Captura de 2 canales.

Canal	Señal	Configuración
CH1	Control PWM del regulador	DC · 5 V/div · 2 ms/div
CH2	Corriente con pinza	100 mV/A · 0.5 A/div

Verificar: frecuencia correcta, duty cycle coherente con la demanda, y una **rampa de corriente con joroba** que confirme que el carrete se mueve.

Paso 4 — Comparación comandada vs real (Módulo 6, §6.2):

Hallazgo	Diagnóstico
Coinciden	Lazo sano
Real baja, duty saturado, corriente normal	Caudal: retorno de inyectores, bomba o filtro
Real baja, corriente por debajo de lo esperado	Resistencia parásita en el circuito del regulador
Corriente correcta, sin cambio de presión	Carrete pegado mecánicamente
Real alta, duty al mínimo	Válvula pegada abierta

Paso 5 — Caída de voltaje.

Circuito	Corriente	Límite
Alimentación del regulador	0.5 - 1.5 A	0.20 V
Control (lado bajo)	0.5 - 1.5 A	0.2 - 0.8 V es normal (saturación del driver)

7 · Valores comunes de resistencia

Componente	Resistencia
Bosch MPROP / ZME	2.5 - 3.5 Ω
Delphi IMV	2.5 - 5.5 Ω
Denso SCV	1.5 - 3.5 Ω
Bosch DRV / PCV	2.0 - 4.0 Ω
Válvula de derrame de bomba GDI	0.5 - 2.0 Ω
Aislamiento a carcasa	> 10 M Ω

8 · Alimentaciones y tierras

Circuito	Descripción
Alimentación	12 V desde el relé principal
Control	Lado bajo desde la ECU, con PWM

Circuito	Descripción
Diodo supresor	Interno en la ECU

Bomba de alta presión GDI: su válvula de derrame se controla de forma **sincronizada con el árbol de levas**, no con PWM continuo. Recibe pulsos de corriente elevada (10 – 20 A) en el momento exacto del ciclo de la bomba.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Cálculo 1 — Corriente esperada del regulador

Solenoides de 3.0 Ω a 13.8 V con duty cycle del 30 %:

$$I_{pico} = \frac{13.8}{3.0} = 4.6 \text{ A} \quad I_{media} = 4.6 \times 0.30 = 1.38 \text{ A}$$

(En la práctica, la inductancia impide alcanzar el pico completo en cada ciclo a 200 Hz, por lo que la corriente media real suele ser algo menor.)

Cálculo 2 — Deducción de resistencia parásita

Con la pinza midiendo 0.72 A con el mismo duty cycle del 30 %:

$$R_{total} = \frac{13.8 \times 0.30}{0.72} = 5.75 \Omega \quad R_{par} = 5.75 - 3.0 = 2.75 \Omega$$

Cálculo 3 — Pérdida de fuerza del solenoide

$$\frac{F_{falla}}{F_{sano}} = \left(\frac{0.72}{1.38} \right)^2 = 0.272$$

Pérdida del 73 % de la fuerza. El carrete no alcanza su posición y la presión de riel queda descontrolada, con el mismo síntoma que una bomba desgastada. **La diferencia se establece midiendo la corriente**, no la presión.

Cálculo 4 — Relación entre duty cycle y presión (sistema normalmente abierto)

$$\text{Caudal} \propto (100\% - DC)$$

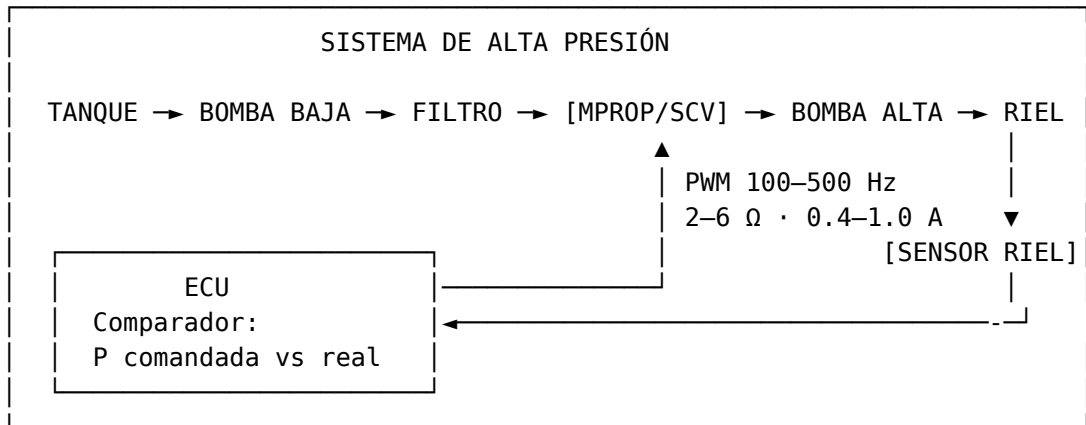
Con duty cycle del 25 %, la válvula deja pasar el 75 % del caudal máximo. Si la presión objetivo no se alcanza con ese caudal, la ECU **reduce** el duty cycle para dejar entrar más. **Un duty cycle que cae hacia 0 % con presión insuficiente confirma que el problema es de caudal, no de regulación.**

10 · Nomenclatura de cableado

Marca	Alimentación	Control
Bosch (VAG, PSA)	rt/sw	gn/ws, gn/br
Delphi (Ford, PSA)	RED/BLU	GRY/YEL, BRN/WHT

Marca	Alimentación	Control
Denso (Toyota)	+B	SCV+ / SCV-
GM Duramax	RED	LT BLU, DK GRN

11 · Simbología y diagrama de conexión



NORMALMENTE ABIERTO (Bosch MPROP, Delphi IMV):
 0 % duty → caudal MÁXIMO → presión MÁXIMA
 100 % duty → caudal mínimo → presión mínima
 DESCONECTADO → SOBREPRESIÓN → P0088

NORMALMENTE CERRADO (algunos Denso SCV):
 0 % duty → caudal mínimo → NO ARRANCA
 100 % duty → caudal MÁXIMO

△ IDENTIFIQUE EL TIPO ANTES DE INTERPRETAR CUALQUIER LECTURA

12 · Análisis de oscilogramas

Criterio	Correcto	Falla
Frecuencia PWM	Constante, 100 - 500 Hz	Variable = driver defectuoso
Duty cycle	Coherente con la demanda	Saturado = caudal insuficiente
Niveles de voltaje	0.2 - 0.8 V activo · 12 - 14 V en reposo	Alto en activo = driver o resistencia
Rampa de corriente con joroba	Presente	Ausente = carrete pegado
Corriente media	0.4 - 1.5 A según duty	Baja = resistencia parásita

Configuración: DC · 5 V/div (voltaje) · 0.5 A/div (corriente) · 2 ms/div · trigger en flanco de bajada.

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

Parámetro	MPROP / SCV / IMV	Válvula de derrame GDI
Frecuencia	100 - 500 Hz	Sincronizada con la leva de la bomba
Duty cycle en ralentí	15 - 35 %	Pulsos temporizados
Duty cycle a plena carga	15 - 30 % (norm. abierto)	Pulsos más largos
Tipo de control	Lado bajo	Lado bajo, alta corriente

Cálculo del voltaje efectivo:

$$V_{efectivo} = V_{sistema} \times DC = 13.8 \times 0.30 = 4.14 \text{ V}$$

14 · Análisis de corriente

Componente	Corriente media	Corriente de pico
MPROP / SCV / IMV	0.4 - 1.5 A	1.5 - 2.5 A
PCV / DRV	0.5 - 1.5 A	1.5 - 2.5 A
Válvula de derrame de bomba GDI	1 - 3 A	10 - 20 A en pulsos

Las tres preguntas que responde la corriente del regulador:

1. **¿Llega la orden?** → hay corriente y sigue al duty cycle.
2. **¿El circuito está sano?** → la corriente coincide con el cálculo.
3. **¿El carrito se mueve?** → **hay joroba en la rampa.**

15 · Preguntas de autoevaluación — Bomba y regulador

P1. Un motor diésel presenta P0088 (presión de riel demasiado alta). Al desconectar el regulador, la presión sube todavía más. Determine el tipo de válvula, explique el mecanismo del fallo y enumere las dos causas más probables.

P2. Un regulador de 3.4 Ω trabaja con 40 % de duty cycle a 13.9 V. La pinza mide 0.94 A de corriente media. Calcule la corriente esperada, la resistencia parásita presente y el porcentaje de pérdida de fuerza del solenoide.

P3. Un motor presenta P0087. El duty cycle del regulador está en el 4 % (sistema normalmente abierto), la corriente coincide con el cálculo y la rampa muestra joroba. Interprete el hallazgo y enumere las tres causas restantes en orden de probabilidad.

CUESTIONARIO INTEGRADOR — MÓDULO 8

- 1.** Un inyector saturado especifica 13.8Ω . Con 14.1 V de sistema, la pinza mide 0.68 A . Calcule la resistencia total real, la resistencia parásita, el porcentaje de pérdida de fuerza de apertura y explique el síntoma que producirá.
 - 2.** Calcule el ciclo de trabajo de un inyector con 9.5 ms de ancho de pulso a $4\ 800 \text{ RPM}$ en inyección secuencial, y determine cuánto margen le queda hasta el límite estático del 85% .
 - 3.** Explique por qué la prueba de caída de voltaje es válida en los actuadores de este módulo pero no lo era en los sensores de los Módulos 1 a 7, y describa la única excepción que debe conocerse (el driver de la ECU).
 - 4.** Un inyector GDI de 1.8 mH recibe 60 V de refuerzo. Calcule la velocidad de subida de la corriente y el tiempo hasta alcanzar 9 A . Compare con el resultado usando 14 V y explique la consecuencia.
 - 5.** Un multímetro con puntas de 0.31Ω mide 0.58Ω en un inyector common rail Delphi (especificación $0.20 - 0.50 \Omega$). Determine la resistencia real y si el inyector está dentro de especificación.
 - 6.** Explique la diferencia fundamental entre un inyector solenoide y uno piezoeléctrico desde el punto de vista eléctrico, y describa qué magnitud debe medirse en cada caso y con qué valores de referencia.
 - 7.** Un apilamiento piezoeléctrico especifica $4.8 \mu\text{F}$. Con una rampa de 0 a 145 V en $75 \mu\text{s}$, la pinza mide 6.4 A de pico. Calcule la capacitancia real y el porcentaje de degradación.
 - 8.** Un motor diésel presenta el cilindro 4 con corrección de $+9.2 \text{ mg/carrera}$. El retorno del inyector 4 es igual al de los demás. Describa la secuencia completa de diagnóstico, indicando qué prueba de qué módulo del curso realizaría y en qué orden.
 - 9.** Un regulador MPROP normalmente abierto muestra 8% de duty cycle con presión de riel por debajo del objetivo. La corriente coincide con el cálculo y la rampa presenta joroba. Interprete el hallazgo, indique qué está descartado y qué queda por verificar.
 - 10.** Un motor GDI de 4 cilindros trabaja a $5\ 500 \text{ RPM}$. El condensador de refuerzo es de $120 \mu\text{F}$ cargado a 68 V . Calcule la energía por disparo, el número de disparos por segundo y la potencia media de recarga que debe entregar el módulo. Explique por qué una masa deficiente produce fallo de encendido únicamente a alto régimen.
-

HOJA DE REFERENCIA RÁPIDA — MÓDULO 8

FÓRMULAS

Ciclo de trabajo (%) = $PW(ms) \times RPM / 1200$ (secuencial)

Frecuencia de disparo (Hz) = $RPM / 120$

$I = V / R$ $di/dt = V / L$ $\tau = L / R$

$E_{bobina} = \frac{1}{2} L I^2$ $E_{condensador} = \frac{1}{2} C V^2$

$F_{solenoid} \propto I^2$ $Q = C \times V$ $I = C \times dV/dt$

$R_{parásita} = (V / I_{medida}) - R_{actuador}$

LAS CINCO FAMILIAS DE INYECTOR

	RESISTENCIA	VOLTAJE	PICO	MANTENIMIENTO
Saturado	12 – 17 Ω	12–14 V ...	0.8–1.2 A ...	–
Peak & Hold	1.5 – 4 Ω	12–14 V ...	4–6 A	1.0–1.5 A
GDI	1 – 3 Ω	50–90 V ...	8–12 A	3–5 A
Common Rail	0.15–0.6 Ω ...	40–80 V ...	15–22 A	8–12 A
Piezo	3–10 μF	110–200 V .	5–15 A	≈ 0 A

↑ MEDIR CAPACITANCIA, NUNCA RESISTENCIA

LA JORROBA (HUMP) – LA PRUEBA CENTRAL DEL MÓDULO

Presente a 0.8–1.2 ms el pin SE MOVIÓ → inyector abrió
 AUSENTE el pin NO se movió → pegado/obstruido
 Tardía (> 1.5 ms) depósitos o resorte fatigado
 Doble o irregular asiento desgastado, pin rebotando
 Pico alto + rampa vertical espiras en corto
 Pico bajo + rampa lenta resistencia parásita

ANCHO DE PULSO Y CICLO DE TRABAJO (inyector de puerto)

Ralentí 750 RPM 2.0 – 4.0 ms 1.5 – 2.5 %
 2000 RPM sin carga 2.5 – 4.5 ms 4 – 7.5 %
 WOT 6000 RPM 12 – 18 ms 60 – 90 %
 LÍMITE ESTÁTICO 85 % → por encima, el inyector no da más
 GDI en ralentí 0.3 – 1.0 ms
 Common Rail piloto 0.15 – 0.35 ms · principal 0.4 – 0.9 ms

CAÍDA DE VOLTAJE – AQUÍ SÍ APLICA (circula 1 a 22 A)

Alimentación de inyectores 0.20 V
 Masa del grupo de inyectores 0.10 V
 Alimentación módulo GDI / Common Rail 0.30 – 0.40 V
 Masa del módulo driver 0.15 – 0.20 V
 ▲ EXCEPCIÓN: el DRIVER de la ECU cae 0.2 – 0.8 V. ES NORMAL.
 Solo por encima de 1.5 V indica driver degradado.

MEDICIÓN DE RESISTENCIAS MUY BAJAS (Common Rail 0.2 Ω)

Puntas del multímetro = 0.1 – 0.3 Ω → error de hasta 150 %
 OBLIGATORIO: usar función REL/ZERO o restar la resistencia de puntas

PRUEBAS FUNCIONALES CLAVE

Equilibrio por caída de presión diferencia máx. ± 5 %
 Estanqueidad del riel ≥ 80 % de presión a los 20 min

Retorno (leak-off) diésel desviación máx. ±20 %
Corrección por cilindro ±3 mg/carrera normal
 > ±6 mg/carrera = falla

Corrección (+) = ECU añade → inyector pobre o COMPRESIÓN BAJA
Corrección (-) = ECU quita → inyector rico o codificación errónea

CODIFICACIÓN

Bosch IMA · Denso IQA · Delphi C2i/C3i · Continental IVD

SIEMPRE: anotar código + cilindro · codificar · reiniciar adaptativos

Sin codificar → error de hasta 8 % → el motor empeora tras la reparación

Anchos de pulso ligeramente distintos entre cilindros = NORMAL (< 10 %)

REGULADOR DE PRESIÓN – IDENTIFICAR EL TIPO PRIMERO

NORMALMENTE ABIERTO (Bosch MPROP, Delphi IMV):

sin corriente → CAUDAL MÁXIMO → desconectado = SOBREPRESIÓN

duty ALTO = presión BAJA ← contraintuitivo

NORMALMENTE CERRADO (algunos Denso SCV):

sin corriente → no arranca

Resistencia 2 – 6 Ω · PWM 100 – 500 Hz · 0.4 – 1.5 A · duty 15 – 35 %

Duty SATURADO + corriente normal + joroba presente → CAUDAL (no control)

⚡ SEGURIDAD

GDI 50 – 90 V en el conector. Esperar 60 s. Sonda ×10.

PIEZO hasta 200 V y CONSERVA CARGA. Esperar 5 min. Sonda ×20.

COMMON RAIL . 2000 bar: nunca aflojar tuberías con el motor en marcha.

CÓDIGOS CLAVE

P0200 general · P0201–P0212 circuito por cilindro

P0261/P0264/P0267/P0270 bajo · P0263/P0266/P0269 contribución

P2146–P2149 alimentación del grupo · P062B módulo driver interno

P0087/P0088 presión de riel · P0089 rendimiento del regulador

P0090–P0092 circuito del regulador · P0093 fuga grande

Fin del Módulo 8. El Módulo 9 (Sistema de Encendido) desarrolla la bobina COP con IGBT interno, las señales IGT/IGF, el análisis del primario y del secundario, y la rampa de corriente de saturación de la bobina.