

MÓDULO 12 — ACTUADORES DE ALIMENTACIÓN Y REFRIGERACIÓN

Bomba de combustible · Electroventiladores · Relés · Actuador VGT/VNT

Índice

PRESENTACIÓN DEL MÓDULO	3
LA CAÍDA DE VOLTAJE	3
Las caídas se acumulan	3
Los cuatro sistemas del módulo	4
12.1 · BOMBA DE COMBUSTIBLE	5
Las tres arquitecturas de control	5
1 · Valores en ralentí	5
2 · Valor aproximado a 2000 RPM del motor	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	11
10 · Nomenclatura de cableado	11
11 · Simbología y diagrama de conexión	12
12 · Análisis de oscilogramas	12
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	12
14 · Análisis de corriente	13
15 · Preguntas de autoevaluación — Bomba de combustible	13
12.2 · ELECTROVENTILADORES	14
Las tres arquitecturas	14
1 · Valores en ralentí	14
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	15
3 · Rango de funcionamiento normal	15
4 · Síntomas de falla	16
5 · Posibles soluciones y reparaciones	16
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado	17
7 · Valores comunes de resistencia	17
8 · Alimentaciones y tierras	17
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	18
10 · Nomenclatura de cableado	19

11 · Simbología y diagrama de conexión	19
12 · Análisis de oscilogramas	19
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	20
14 · Análisis de corriente	20
15 · Preguntas de autoevaluación — Electroventiladores	20
12.3 · RELÉS Y SU DIAGNÓSTICO POR CAÍDA DE VOLTAJE	21
Numeración ISO: el estándar que hay que conocer	21
1 · Valores de referencia	21
2 · Comportamiento bajo carga	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	26
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	27
14 · Análisis de corriente	27
15 · Preguntas de autoevaluación — Relés	27
12.4 · ACTUADOR DE GEOMETRÍA VARIABLE DE TURBO (VGT / VNT)	28
Función	28
1 · Valores en ralentí	28
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	29
3 · Rango de funcionamiento normal	29
4 · Síntomas de falla	29
5 · Posibles soluciones y reparaciones	30
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado	30
7 · Valores comunes de resistencia	32
8 · Alimentaciones y tierras	32
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	32
10 · Nomenclatura de cableado	33
11 · Simbología y diagrama de conexión	33
12 · Análisis de oscilogramas	34
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	34
14 · Análisis de corriente	34
15 · Preguntas de autoevaluación — VGT / VNT	34
CUESTIONARIO INTEGRADOR — MÓDULO 12	36
HOJA DE REFERENCIA RÁPIDA — MÓDULO 12	37

PRESENTACIÓN DEL MÓDULO

Este módulo agrupa los actuadores de **alta corriente** del vehículo: los que mueven entre 5 y 40 amperios. Y con la alta corriente aparece el protagonista de todo el módulo, el mismo que abrió el curso en el Módulo 0:

LA CAÍDA DE VOLTAJE

$$V_{drop} = I \times R_{par}$$

Con 50 mΩ parásitos, un sensor de 5 mA pierde 0.00025 V — indetectable e irrelevante. **Un ventilador de 20 A pierde 1.0 V** — el 7 % de su alimentación y el 14 % de su potencia.

Las caídas se acumulan

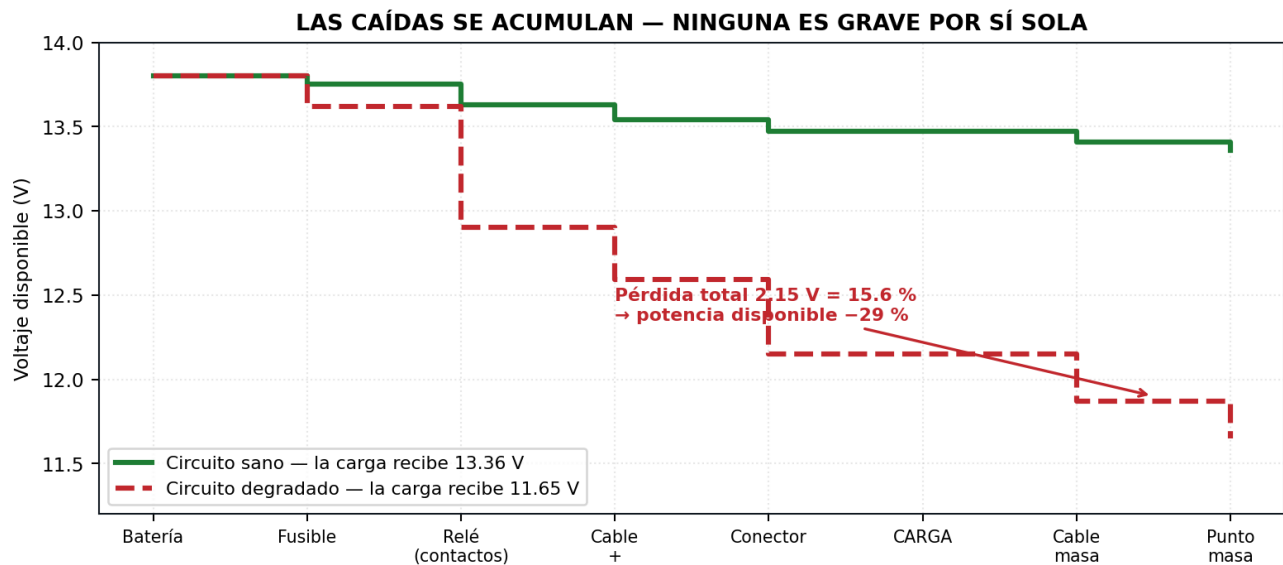


Figura 1: Cascada de caídas de voltaje

Ninguna de las caídas de un circuito degradado es alarmante por sí sola. El fusible pierde 0.18 V, el relé 0.72 V, un conector 0.44 V, la masa 0.22 V. Cada una parece “aceptable” si se mira aislada. **Sumadas, la carga recibe 11.65 V en lugar de 13.80 V.**

$$\text{Pérdida de voltaje} = \frac{2.15}{13.80} = 15.6 \%$$

Y como la potencia va con el cuadrado del voltaje:

$$\frac{P}{P_{nominal}} = \left(\frac{11.65}{13.80} \right)^2 = 0.713 \Rightarrow \mathbf{29 \% \text{ menos potencia}}$$

Ésta es la razón por la que la prueba de caída de voltaje se hace por tramos y luego se suma. Medir solo el total no dice dónde está el problema; medir solo un tramo no revela la magnitud del daño.

Los cuatro sistemas del módulo

§	Sistema	Corriente típica	Magnitud crítica
12.1	Bomba de combustible	3 - 10 A	Rampa de corriente por delgas
12.2	Electroventiladores	8 - 40 A	Duty cycle y corriente
12.3	Relés	0.1 A (bobina) / hasta 40 A (contactos)	Caída en los contactos
12.4	Actuador VGT/VNT	1 - 6 A	Comandada vs real

12.1 · BOMBA DE COMBUSTIBLE

LAS TRES ARQUITECTURAS DE CONTROL DE LA BOMBA DE COMBUSTIBLE

1 · RELÉ ON/OFF

ECU → relé → bomba a 12 V plenos. Caudal fijo.
Regulador mecánico en el riel devuelve el exceso.

2 · MÓDULO FPDM / FPCM CON PWM

ECU envía una señal de MANDO (50-200 Hz) al módulo;
el módulo trocea la bomba a 12-25 kHz. Dos señales distintas.

3 · PWM DIRECTA DESDE LA ECU

La ECU trocea la bomba directamente a 12-25 kHz
en lazo cerrado con el sensor de presión de riel (Módulo 6).

CLAVE: en la arquitectura 2 hay DOS señales PWM con frecuencias muy distintas.
Medir la del módulo creyendo que es la de la ECU lleva a conclusiones erróneas.

Figura 2: Las tres arquitecturas de control de la bomba

Las tres arquitecturas de control

Arquitectura	Cómo funciona	Cómo se diagnostica
1 · Relé on/off	La bomba recibe 12 V plenos; el caudal es fijo y el regulador mecánico devuelve el exceso	Caída de voltaje + corriente
2 · Módulo FPDM / FPCM	La ECU envía una señal de mando (50 - 200 Hz) al módulo; el módulo trocea la bomba a 12 - 25 kHz	Dos señales PWM distintas
3 · PWM directa de la ECU	La ECU trocea la bomba en lazo cerrado con el sensor de presión de riel (Módulo 6, §6.1)	Duty + presión + corriente

Trampa de la arquitectura 2: existen **dos señales PWM con frecuencias que difieren en un factor de 150**. Medir la del módulo creyendo que es la de la ECU (o al revés) lleva a conclusiones equivocadas. Identifique cuál está midiendo antes de interpretar.

1 · Valores en ralentí

Parámetro	Valor esperado
Corriente (inyección en puerto)	3 - 6 A
Corriente (GDI, bomba de baja)	5 - 10 A
Corriente de arranque (<i>inrush</i>)	12 - 20 A durante 100 - 300 ms

Parámetro	Valor esperado
Resistencia del motor	0.5 - 2.0 Ω
Velocidad de giro	3 000 - 7 000 RPM
Delgas del colector	6 - 10 (típico 8)
Duty cycle (arquitecturas 2 y 3)	35 - 60 % en ralentí
Presión de riel	Según Módulo 6, §6.1

Cálculo de verificación (motor de 2.3 Ω a 13.8 V, con la contrapresión hidráulica limitando la corriente a régimen):

$$I_{bloq} = \frac{13.8}{2.3} = 6.0 \text{ A}$$

En operación normal, la fuerza contraelectromotriz del motor girando reduce la corriente por debajo de ese valor. **Una corriente igual a la de rotor bloqueado significa que la bomba no está girando.**

2 · Valor aproximado a 2000 RPM del motor

Condición	Corriente	Duty cycle
2000 RPM sin carga	3.5 - 6.5 A	40 - 65 %
2000 RPM con carga	4.5 - 8.0 A	60 - 85 %
Plena carga / WOT	6 - 10 A	85 - 100 %
Arranque	5 - 8 A	100 % (cebado inicial 2 - 3 s)

El duty cycle de la bomba es un instrumento de medida, igual que el conteo del IAC (Módulo 10). Un duty del 100 % con presión por debajo del objetivo significa que el sistema está en su límite: filtro, bomba, o **caída de voltaje**.

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Valor
Corriente en operación	3 - 10 A según sistema
Corriente de arranque	12 - 20 A durante 100 - 300 ms
Frecuencia de la señal de mando (ECU → módulo)	50 - 200 Hz
Frecuencia de troceado (módulo → bomba)	12 - 25 kHz
Duty cycle	0 - 100 %
Caída máxima en el circuito positivo	0.20 V
Caída máxima en la masa	0.10 V
Tiempo de cebado al poner el contacto	2 - 3 s

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Caída de voltaje en el circuito	Presión baja bajo carga , P0087, pérdida de potencia en subidas o a alta velocidad, arranque en caliente difícil
Delga del colector desgastada	Corte momentáneo, tirón repetitivo, corriente con joroba baja periódica
Escobillas desgastadas	Corriente errática, la bomba se detiene al calentarse
Rotor gastado	Corriente alta y presión baja
Filtro de aspiración obstruido	Corriente baja y presión baja (la bomba gira sin carga)
Relé con contactos picados	Igual que caída de voltaje
Módulo FPDM defectuoso	Sin bomba, o bomba a velocidad fija
Bomba bloqueada	Corriente de rotor bloqueado sostenida, fusible fundido

Códigos: P0230 (circuito primario de la bomba), P0231/P0232 (circuito secundario bajo/alto), P0233, P0627 - P0629 (control de la bomba), P069E (el módulo de la bomba solicitó encender la MIL), P0087/P0088 (presión, Módulo 6).

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Prueba de caída de voltaje ANTES de reemplazar la bomba.** Es el error más costoso del oficio: bombas nuevas instaladas sobre circuitos degradados que vuelven a fallar.
2. **Reemplazar el filtro de combustible** y verificar la malla de aspiración dentro del tanque.
3. **Reparar el conector del módulo de la bomba** — zona húmeda y corrosiva.
4. **Limpiar y apretar los puntos de masa.**
5. Reemplazar el relé si la caída en sus contactos supera 0.20 V.
6. Reemplazar la bomba cuando la rampa de corriente o la prueba de caudal la condenen.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso

Fase A — Prueba de caída de voltaje (la primera, siempre)

Con la bomba **funcionando y bajo demanda** (motor a 2 500 RPM o con la presión comandada al máximo):

Medición	Puntas	Límite
Circuito positivo completo	Positivo de batería ↔ terminal (+) de la bomba	0.20 V
Contactos del relé	Pin 30 ↔ pin 87	0.20 V
Fusible	Ambos extremos	0.10 V
Circuito de masa completo	Terminal (–) de la bomba ↔ negativo de batería	0.10 V
Conector del módulo	Ambos lados de cada terminal	0.05 V

Cálculo del impacto: con 6 A circulando y 0.75 V de caída total:

$$R_{par} = \frac{0.75}{6} = 0.125 \, \Omega \quad P_{perd} = 0.75 \times 6 = 4.5 \, \text{W}$$

$$V_{bomba} = 13.8 - 0.75 = 13.05 \, \text{V}$$

El caudal de una bomba centrífuga o de rodillos es aproximadamente proporcional al voltaje aplicado, por lo que la pérdida de caudal ronda el **5 - 8 %**. Suficiente para producir P0087 bajo carga máxima con la bomba en perfecto estado.

Fase B — Rampa de corriente: la firma del colector

RAMPA DE CORRIENTE DE LA BOMBA — CADA JOROBA ES UNA DELGA DEL COLECTOR

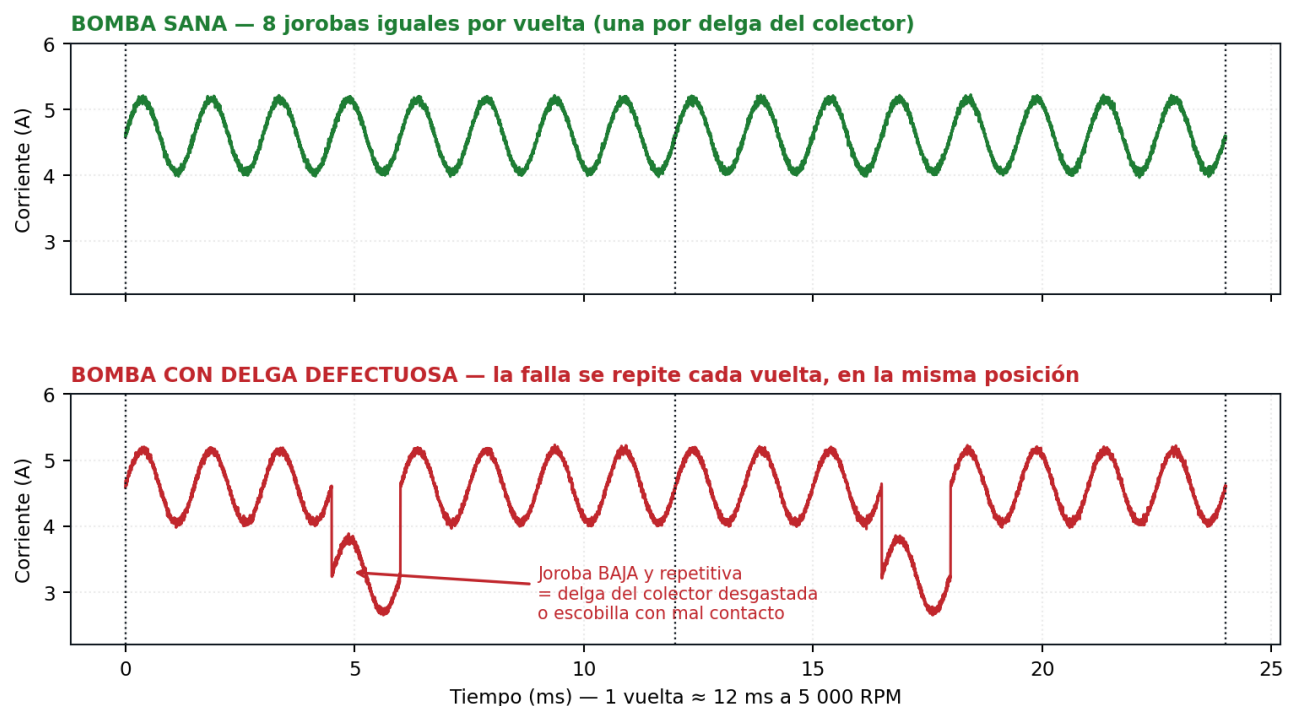


Figura 3: Rampa de corriente de la bomba

Ésta es la prueba que evalúa el estado interno de la bomba sin desmontarla.

Cada delga del colector produce una pequeña joroba en la corriente. Una bomba de 8 delgas genera **8 jorobas por vuelta**.

Ajuste	Valor
Pinza	Baja corriente, escala 100 mV/A
A/div	1 A/div
Time/div	5 - 10 ms/div
Acoplamiento	DC
Trigger	Automático
Captura	Al menos 3 vueltas completas

Hallazgo	Diagnóstico
8 jorobas iguales y regulares Una joroba baja, repetida cada vuelta	Bomba sana Delga desgastada o escobilla con mal contacto
Dos o más jorobas bajas Amplitud general baja Amplitud general alta Corriente errática sin patrón	Colector muy desgastado Caída de voltaje o filtro obstruido Rotor rozando o bomba forzada Escobillas al final de su vida

Cálculo del tiempo por vuelta:

$$t_{vuelta} \text{ (ms)} = \frac{60\,000}{RPM_{bomba}}$$

A 5 000 RPM: 12 ms por vuelta, es decir **1.5 ms por delga** con 8 delgas.

Fase C — Verificación de las dos señales PWM (arquitectura FPDM)

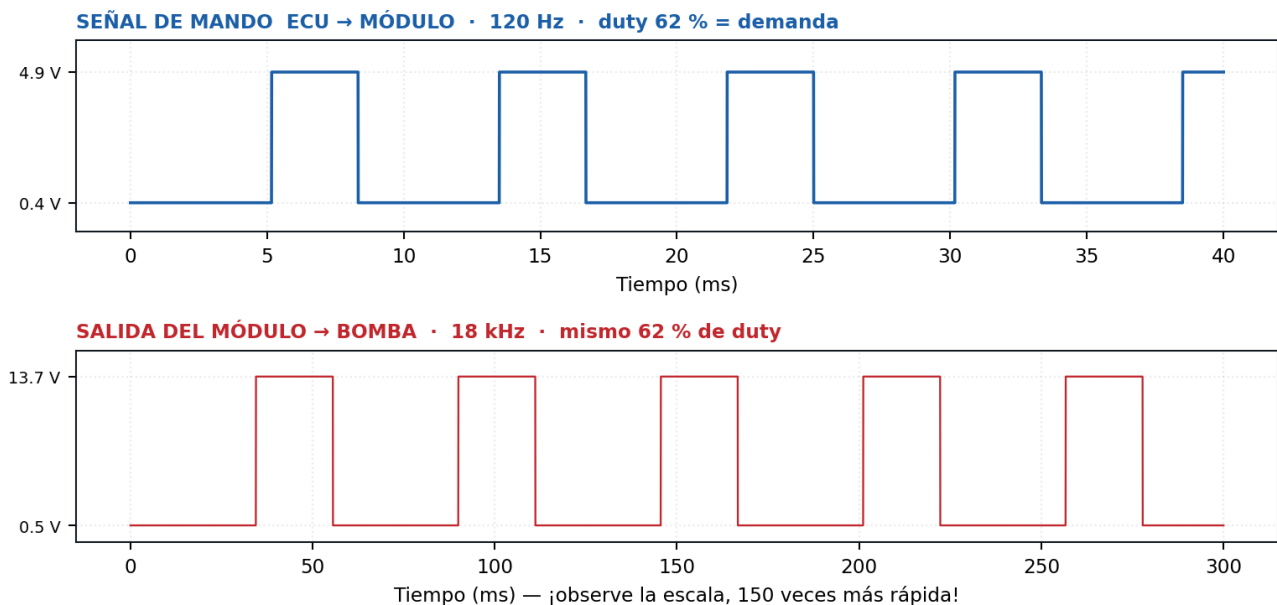


Figura 4: Las dos señales PWM del sistema FPDM

Señal	Dónde medir	Frecuencia	Ajuste del osciloscopio
Mando ECU → módulo	Pin de mando del módulo	50 - 200 Hz	5 V/div · 5 ms/div
Salida módulo → bomba	Terminal de la bomba	12 - 25 kHz	5 V/div · 0.05 ms/div

Hallazgo	Diagnóstico
Mando presente, salida presente	Sistema funcional
Mando presente, salida ausente	Módulo FPDM defectuoso
Mando ausente	ECU, cableado del mando, o condición de inhibición
Ambas presentes, presión baja	Caída de voltaje, filtro, o bomba

Fase D — Prueba de caudal y presión

Complementa la Fase A del Módulo 6, §6.1: presión estática, presión bajo demanda, caída en aceleración (< 30 kPa) y retención (≥ 80 % a los 20 min).

Fase E — Prueba de resistencia

Con la bomba desconectada, entre sus dos terminales: **0.5 - 2.0 Ω** .

Use la función REL del multímetro (Módulo 8, §8.4): con valores de 1 Ω , la resistencia de las puntas introduce un error del 20 - 30 %.

Una lectura de **infinito** puede ser normal si las escobillas quedaron entre delgas: gire el eje ligeramente y vuelva a medir antes de condenar la bomba.

7 · Valores comunes de resistencia

Componente	Valor
Motor de la bomba	0.5 - 2.0 Ω
Aislamiento terminal $\leftrightarrow$ carcasa	> 10 M Ω
Continuidad de conductores	< 1 Ω
Bobina del relé de la bomba	60 - 120 Ω
Contactos del relé (cerrado)	< 10 mΩ
Aforador de combustible (mismo módulo)	Módulo 7, §7.5

8 · Alimentaciones y tierras

Arquitectura	Circuitos
Relé	12 V desde el relé · masa directa a chasis
FPDM	12 V permanente al módulo · señal de mando desde la ECU · salida PWM a la bomba · masa del módulo
PWM directa	12 V desde el relé · control por lado bajo desde la ECU

Punto crítico: la masa de la bomba suele estar en la zona trasera del vehículo, expuesta a agua y sal. **Es el punto de falla número uno de todo el sistema.**

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Cálculo 1 — Corriente de rotor bloqueado

$$I_{bloqueado} = \frac{13.8}{2.3} = 6.0 \text{ A}$$

Cálculo 2 — Deducción de resistencia parásita desde la caída

Con 5.8 A circulando y 0.68 V de caída medida en el circuito positivo:

$$R_{par} = \frac{0.68}{5.8} = 0.117 \Omega$$

Cálculo 3 — Potencia perdida y potencia entregada

$$P_{perd} = 0.68 \times 5.8 = 3.94 \text{ W}$$

$$P_{bomba} = (13.8 - 0.68) \times 5.8 = 76.1 \text{ W}$$

Frente a los 80.0 W nominales: **pérdida del 4.9 %**. Parece poco, pero al sumarse la caída de masa el total puede duplicarse.

Cálculo 4 — El efecto sobre el caudal

En una bomba de desplazamiento, el caudal es aproximadamente proporcional a la velocidad de giro, y ésta al voltaje aplicado:

$$\frac{Q}{Q_{nominal}} \approx \frac{V_{real}}{V_{nominal}}$$

Con 1.4 V de caída total (positivo + masa):

$$\frac{Q}{Q_{nominal}} = \frac{12.4}{13.8} = 0.899 \Rightarrow \textbf{10 % menos caudal}$$

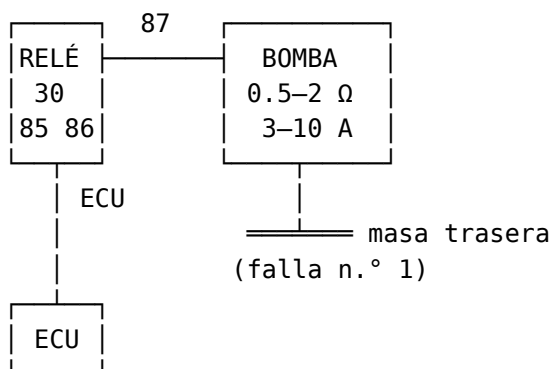
A ralentí no se nota (la demanda es del 20 % del caudal máximo). **A plena carga sí:** la presión de riel cae, el motor entra en mezcla pobre y aparece P0087 o P0171. Ésta es la firma clásica de la caída de voltaje en la bomba.

10 · Nomenclatura de cableado

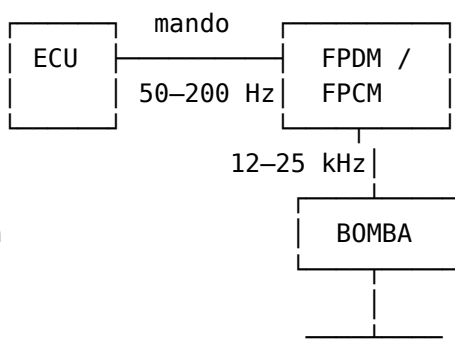
Marca	Alimentación de la bomba	Masa	Mando FPDM
GM	GRY, DK GRN/WHT	BLK	—
Ford	DK GRN/YEL, PNK/BLK	BLK	DK BLU/YEL (FPC)
Chrysler	DK GRN/BLK	BLK	—
Toyota	FP (B/R, B/Y)	E1	FPC
VW / Audi	rt/ge	br	gn/ws

11 · Simbología y diagrama de conexión

ARQUITECTURA 1 – RELÉ



ARQUITECTURA 2 – MÓDULO FPDM



PUNTOS DE MEDICIÓN DE CAÍDA DE VOLTAJE (con la bomba trabajando):

Batería (+) ↔ bomba (+) máx. 0.20 V

Relé pin 30 ↔ pin 87 máx. 0.20 V

Bomba (-) ↔ batería (-) máx. 0.10 V

RAMPA DE CORRIENTE: 8 jorobas por vuelta = 8 delgas del colector

Una joroba baja repetida cada vuelta = delga desgastada

12 · Análisis de oscilogramas

Criterio	Correcto	Falla
Número de jorobas por vuelta	6 - 10, todas iguales	Una baja = delga desgastada
Amplitud media	Coincide con la especificación	Baja = caída de voltaje o filtro
Regularidad	Constante vuelta a vuelta	Errática = escobillas
Corriente de arranque	12 - 20 A durante 100 - 300 ms	Sostenida = rotor bloqueado
Rizado del troceado (PWM)	Regular	Irregular = módulo

Configuración: DC · pinza 100 mV/A a 1 A/div · **5 - 10 ms/div** · capturar 3 vueltas completas.

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

Señal	Frecuencia	Duty en ralentí	Duty a plena carga
Mando ECU → módulo	50 - 200 Hz	35 - 60 %	85 - 100 %
Salida módulo → bomba	12 - 25 kHz	Igual al mando	Igual al mando
PWM directa de la ECU	12 - 25 kHz	35 - 60 %	85 - 100 %

Cálculo del voltaje efectivo:

$$V_{efectivo} = 13.8 \times 0.55 = 7.59 \text{ V}$$

La alta frecuencia de troceado (12 - 25 kHz) es intencional: está por encima del rango audible, lo que evita el zumbido que produciría un troceado a baja frecuencia.

14 · Análisis de corriente

Condición	Corriente
Arranque (<i>inrush</i>)	12 - 20 A durante 100 - 300 ms
Cebado inicial (KOEO)	4 - 8 A durante 2 - 3 s
Ralentí	3 - 6 A
Plena carga	6 - 10 A
Rotor bloqueado	igual a V/R sostenida
Filtro de aspiración obstruido	Por debajo de lo normal

Contraintuitivo pero fundamental: una bomba con la **aspiración obstruida** consume **menos** corriente, no más, porque gira sin carga hidráulica. Corriente baja + presión baja = restricción en la entrada, no bomba débil.

15 · Preguntas de autoevaluación — Bomba de combustible

P1. Una bomba consume 5.6 A. La caída medida en el circuito positivo es de 0.52 V y en la masa de 0.38 V. Calcule la resistencia parásita total, el voltaje que recibe la bomba, el porcentaje estimado de pérdida de caudal y explique por qué el síntoma aparece solo bajo carga.

P2. En la rampa de corriente de una bomba de 8 delgas girando a 4 500 RPM, una de las jorobas mide un 30 % menos que las demás y se repite cada vuelta. Calcule el tiempo por vuelta y por delga, e interprete el hallazgo.

P3. Un vehículo con módulo FPDM no tiene presión de combustible. En el pin de mando del módulo hay una señal de 120 Hz con 70 % de duty, pero en el terminal de la bomba no hay ninguna señal. Emita el diagnóstico y explique qué error se cometería midiendo ambas señales con el mismo ajuste de time/div.

12.2 · ELECTROVENTILADORES

ELECTROVENTILADORES — TRES GENERACIONES

1 · DOS RELÉS + RESISTENCIA

Velocidad baja; en serie con resistencia de 0.3-1.5 Ω.
Velocidad alta; directo a 12 V. · 8-25 A

2 · PWM (con escobillas)

Módulo de potencia trocea a 20-200 Hz.
Velocidad continua. Corriente media proporcional al duty.

3 · BRUSHLESS CON LIN

El ventilador tiene su propia electrónica.
La ECU envía la consigna por LIN; NO hay PWM que medir.

La resistencia de velocidad baja disipa 60-150 W: es la pieza que más falla del sistema.

Figura 5: Las tres generaciones de electroventilador

Las tres arquitecturas

Generación	Control	Velocidades	Corriente
1 · Dos relés + resistencia	On/off en dos escalones	2 (baja y alta)	8 - 40 A
2 · PWM con escobillas	Módulo de potencia, 20 - 200 Hz	Continua	8 - 30 A
3 · Brushless con LIN	Consigna digital por bus	Continua	8 - 25 A

En la generación 3 no hay PWM que medir en el conector del ventilador. El ventilador tiene su propia electrónica y recibe la orden por LIN. El diagnóstico se limita a alimentación, masa y actividad del bus.

1 · Valores en ralentí

Condición	Estado	Corriente
Motor frío, sin A/C	Apagado	0 A
Motor caliente sin llegar al umbral	Apagado	0 A
Ventilación de baja velocidad	Activo	8 - 15 A
Ventilación de alta velocidad	Activo	18 - 40 A
Con A/C encendido	Activo según presión (Módulo 6, §6.7)	Variable

Parámetro eléctrico	Valor
Resistencia de velocidad baja	0.3 - 1.5 Ω
Potencia disipada por la resistencia	60 - 150 W
Frecuencia PWM	20 - 200 Hz
Duty en arranque de ventilación	25 - 40 %
Duty a máxima demanda	90 - 100 %

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

El ventilador **no responde a las RPM del motor**, sino a la temperatura del refrigerante (Módulo 3, §3.1) y a la presión del A/C (Módulo 6, §6.7).

Umbral	Temperatura	Acción
Velocidad baja / PWM inicial	95 - 102 °C	Duty 25 - 40 %
Velocidad alta / PWM máxima	102 - 108 °C	Duty 80 - 100 %
Presión de A/C (1.ª etapa)	12 - 15 bar	Duty 30 - 50 %
Presión de A/C (2.ª etapa)	18 - 22 bar	Duty 70 - 100 %
Tras apagar el motor (<i>after-run</i>)	ECT > 105 °C	Hasta 10 min

3 · Rango de funcionamiento normal

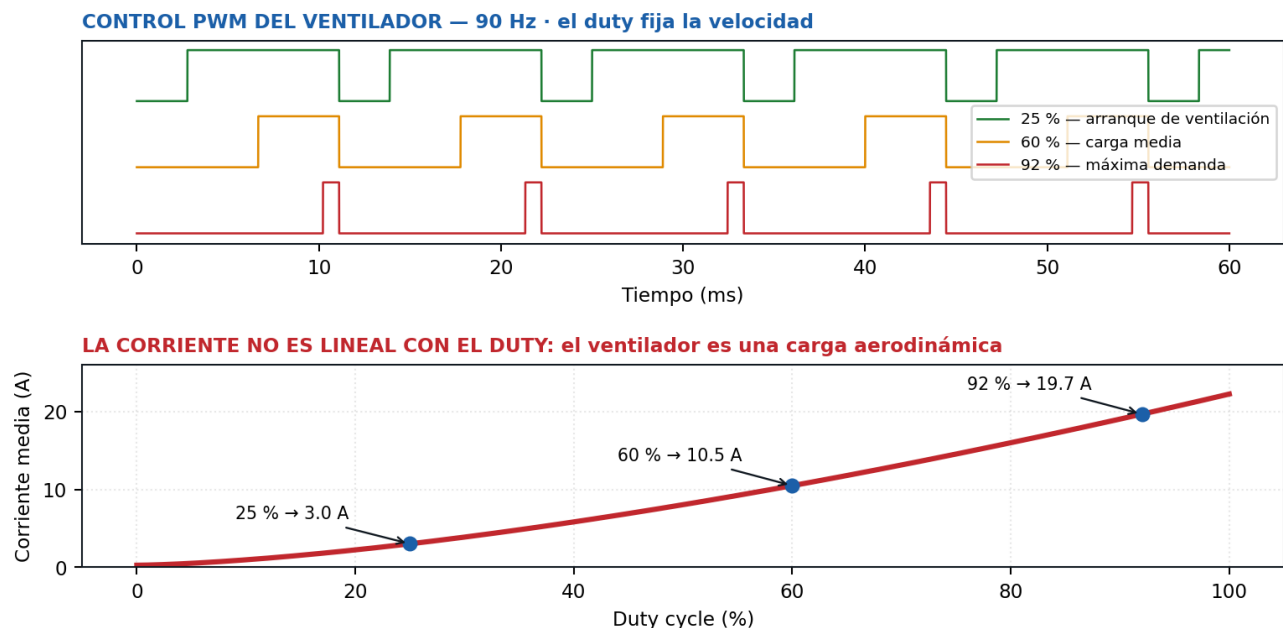


Figura 6: PWM del ventilador y corriente resultante

Duty cycle	Corriente media típica
25 %	3.0 A
50 %	8.0 A
60 %	10.5 A

Duty cycle	Corriente media típica
75 %	14.5 A
92 %	19.8 A
100 %	22 - 25 A

La corriente no es lineal con el duty cycle. El ventilador es una carga aerodinámica: el par resistente crece aproximadamente con el cuadrado de la velocidad y la potencia con el cubo. Por eso duplicar el duty **más que duplica** la corriente.

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Ventilador no arranca	Sobrecalentamiento en tráfico lento; el A/C deja de enfriar detenido
Solo funciona en alta velocidad	Resistencia de velocidad baja abierta
Solo funciona en baja velocidad	Relé de alta velocidad defectuoso
Caída de voltaje en el circuito	Ventilador que gira lento; sobrecalentamiento marginal
Rodamientos secos	Ruido, corriente elevada, se detiene en caliente
Módulo PWM defectuoso	Sin control de velocidad; funciona a 100 % o no funciona
Ventilador siempre encendido	ECT en circuito abierto (Módulo 3), relé pegado, o modo de seguridad
Aspas rotas	Vibración, corriente irregular, refrigeración insuficiente

Códigos: P0480 - P0485 (circuitos de control del ventilador), P0691/P0692 (circuito del ventilador 1, bajo/alto), P0693/P0694 (ventilador 2), P0526 (circuito del sensor de velocidad del ventilador), P2181 (rendimiento del sistema de refrigeración).

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Prueba de caída de voltaje bajo carga real.** Con 20 A circulando, un conector degradado es fácil de encontrar y **es la causa más frecuente de un ventilador que “gira lento”**.
2. **Verificar la resistencia de velocidad baja** — se calienta hasta 150 W y es la pieza que más falla del sistema.
3. Verificar **relés** por caída en contactos (§12.3).
4. Verificar el **ECT** (Módulo 3, §3.1) y el **transductor de A/C** (Módulo 6, §6.7): un sensor sesgado impide que se alcance el umbral.
5. Verificar el **estado mecánico** del ventilador: gírelo a mano, debe hacerlo libremente y sin ruido.
6. Reemplazar el conjunto cuando la corriente sea excesiva con voltaje correcto.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

Paso 1 — Comando con el escáner. Active cada velocidad o comande el duty cycle y verifique que el ventilador responda.

Paso 2 — Medición de corriente con pinza.

Hallazgo	Diagnóstico
Corriente y velocidad correctas	Sistema sano
Corriente baja, velocidad baja	Caída de voltaje
Corriente alta, velocidad baja	Rodamientos secos o rotor rozando
Corriente nula	Relé, fusible, módulo o motor abierto
Corriente irregular	Escobillas del motor desgastadas

Paso 3 — Caída de voltaje bajo carga.

Circuito	Corriente	Límite
Positivo completo	8 - 40 A	0.30 V
Contactos del relé	8 - 40 A	0.20 V
Masa del ventilador	8 - 40 A	0.15 V
Resistencia de velocidad baja	8 - 15 A	Su caída es intencional — no aplique límite

Paso 4 — Verificación de la resistencia de velocidad baja. Desconectada, debe medir **0.3 - 1.5 Ω** según el modelo. Infinito = abierta → el ventilador solo funcionará en alta.

Paso 5 — Captura del PWM (arquitectura 2): frecuencia estable y duty coherente con el comando.

7 · Valores comunes de resistencia

Componente	Valor
Motor del ventilador	0.3 - 1.5 Ω
Resistencia de velocidad baja	0.3 - 1.5 Ω
Bobina de relé	60 - 120 Ω
Contactos de relé	< 10 m Ω
Aislamiento a carcasa	> 10 M Ω

8 · Alimentaciones y tierras

Arquitectura	Circuitos
Relés	12 V de alta corriente desde relés · masa directa a chasis
PWM	12 V permanente al módulo · control PWM al motor · masa de potencia
Brushless LIN	12 V · masa · LIN (una sola línea de datos)

La masa del ventilador maneja hasta 40 A. Su punto de conexión es habitualmente un perno en el travesaño frontal, expuesto a agua y sal. Verifíquelo siempre por caída de voltaje, nunca por continuidad.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Cálculo 1 — Potencia del ventilador

$$P = V \times I = 13.8 \times 20 = 276 \text{ W}$$

Cálculo 2 — Efecto de la caída de voltaje

Con 1.1 V de caída total y 20 A:

$$V_{\text{ventilador}} = 13.8 - 1.1 = 12.7 \text{ V} \quad R_{\text{par}} = \frac{1.1}{20} = 0.055 \Omega$$

$$\frac{P}{P_{\text{nominal}}} = \left(\frac{12.7}{13.8} \right)^2 = 0.847 \Rightarrow \textbf{15 \% menos potencia}$$

Y como el caudal de aire de un ventilador axial es aproximadamente proporcional a la raíz cúbica de la potencia:

$$\frac{Q}{Q_{\text{nominal}}} = \sqrt[3]{0.847} = 0.946 \Rightarrow \textbf{5 \% menos caudal de aire}$$

Marginal en clima templado, **decisivo en tráfico lento a 38 °C con el A/C encendido.**

Cálculo 3 — La resistencia de velocidad baja

Resistencia de 0.6 Ω en serie con un motor de 0.5 Ω :

$$I = \frac{13.8}{0.6 + 0.5} = 12.5 \text{ A}$$

$$P_{\text{resistencia}} = I^2 R = 12.5^2 \times 0.6 = 93.8 \text{ W}$$

93.8 W disipados en una pieza del tamaño de un encendedor. Ésa es la razón física de que sea el componente que más falla del sistema de refrigeración.

En velocidad alta, sin la resistencia:

$$I = \frac{13.8}{0.5} = 27.6 \text{ A} \quad P_{\text{motor}} = 381 \text{ W}$$

Cálculo 4 — Verificación del rodamiento seco

Si el ventilador consume 26 A a 60 % de duty cuando debería consumir 10.5 A:

$$R_{\text{aparente}} = \frac{13.8 \times 0.60}{26} = 0.318 \Omega$$

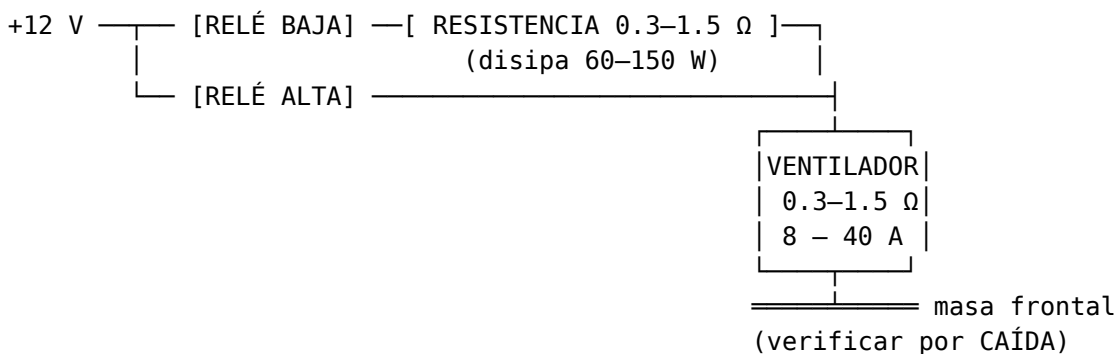
frente a los 0.5 Ω nominales. **Una resistencia aparente menor a la nominal significa que el motor está trabajando cerca del rotor bloqueado:** la fuerza contraelectromotriz no se está generando porque el rotor no alcanza su velocidad. Diagnóstico: obstrucción mecánica.

10 · Nomenclatura de cableado

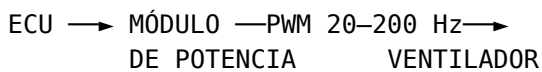
Marca	Alimentación	Control PWM	Masa	LIN
GM	RED, ORN	DK BLU	BLK	—
Ford	RED/BLU	GRY/YEL	BLK	—
VW / Audi	rt/sw	gn/ws	br	li (LIN)
Toyota	+B	FAN	E1	—

11 · Simbología y diagrama de conexión

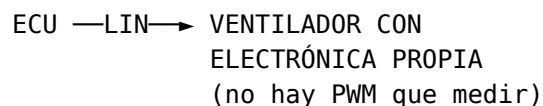
ARQUITECTURA 1 – DOS RELÉS + RESISTENCIA



ARQUITECTURA 2 – PWM



ARQUITECTURA 3 – BRUSHLESS LIN



LÍMITES DE CAÍDA (con el ventilador trabajando):

Positivo completo	0.30 V	Contactos del relé	0.20 V
-------------------------	--------	--------------------------	--------

Masa 0.15 V

12 · Análisis de oscilogramas

Criterio	Correcto	Falla
Frecuencia PWM	20 - 200 Hz constante	Variable = módulo
Duty cycle	Coincide con el comando	Discrepancia = módulo o red
Corriente media	Coincide con la curva del punto 3	Alta = mecánico · baja = caída de voltaje
Rizado de la corriente	Regular (delgas del motor)	Irregular = escobillas
Arranque	Pico de 2 - 3 veces la corriente nominal	Sostenido = rotor bloqueado

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

Parámetro	Valor
Frecuencia	20 - 200 Hz (brushless: interno, no medible)
Duty de arranque de ventilación	25 - 40 %
Duty a máxima demanda	90 - 100 %
Duty en <i>after-run</i>	30 - 50 %
Tipo de control	Lado alto (módulo) o lado bajo según diseño

14 · Análisis de corriente

Condición	Corriente
Arranque	2 - 3 × la nominal durante 200 - 500 ms
Baja velocidad	8 - 15 A
Alta velocidad	18 - 40 A
Rodamiento seco / rotor rozando	> 30 A a velocidad baja
Motor abierto	0 A

15 · Preguntas de autoevaluación — Electroventiladores

P1. Un ventilador consume 20 A. La caída total medida (positivo + masa) es de 1.35 V. Calcule la resistencia parásita, el voltaje que recibe el ventilador y el porcentaje de pérdida de potencia y de caudal de aire.

P2. Un motor de ventilador de 0.55 Ω trabaja en velocidad baja a través de una resistencia de 0.7 Ω , con 13.9 V de sistema. Calcule la corriente y la potencia disipada por la resistencia. Explique por qué esa pieza es la que más falla.

P3. Un ventilador comandado al 60 % de duty consume 27 A cuando la especificación es 10.5 A, con voltaje de alimentación correcto. Calcule la resistencia aparente, compárela con la nominal de 0.5 Ω y emita un diagnóstico.

12.3 · RELÉS Y SU DIAGNÓSTICO POR CAÍDA DE VOLTAJE

RELÉ ISO — NUMERACIÓN Y PUNTOS DE MEDICIÓN

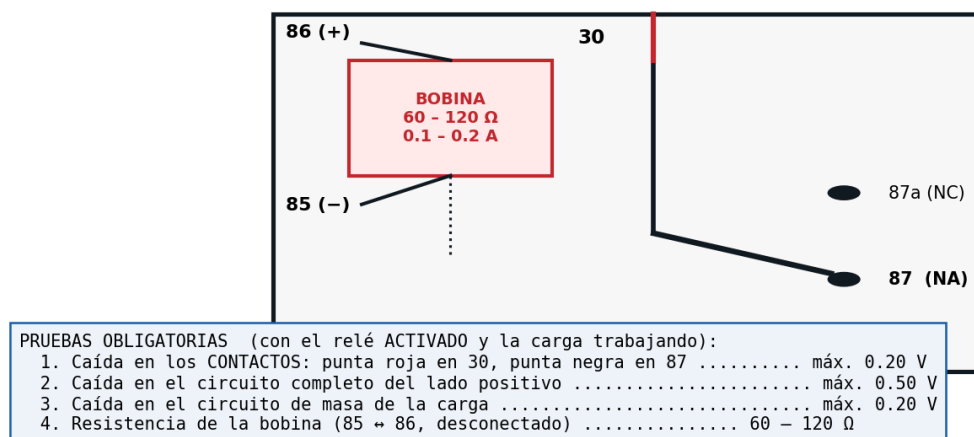


Figura 7: Relé ISO: numeración y puntos de medición

Numeración ISO: el estándar que hay que conocer

Terminal	Función	Notas
30	Entrada de alta corriente (desde batería o fusible)	Común de los contactos
85	Bobina (-)	Habitualmente el control de la ECU (lado bajo)
86	Bobina (+)	Habitualmente 12 V
87	Salida normalmente abierta (NA)	Se conecta a 30 cuando el relé se activa
87a	Salida normalmente cerrada (NC)	Conectada a 30 en reposo; se desconecta al activar
87b	Segunda salida NA (relés de 5 pines con doble salida)	—

Regla mnemotécnica: 30 es la entrada, 87 es la salida “trabajando”, 87a es la salida “descansando”, 85 y 86 son la bobina.

1 · Valores de referencia

Parámetro	Valor
Resistencia de la bobina	60 - 120 Ω (típico 70 - 90)
Corriente de la bobina	0.10 - 0.20 A

Parámetro	Valor
Resistencia de los contactos (cerrados)	< 10 mΩ
Caída máxima en los contactos	0.20 V
Corriente máxima de los contactos	20 – 70 A según relé
Voltaje mínimo de activación	7 – 9 V
Voltaje de liberación	3 – 5 V
Tiempo de conmutación	5 – 15 ms

Cálculo de verificación (bobina de 82 Ω a 13.8 V):

$$I_{bobina} = \frac{13.8}{82} = 0.168 \text{ A} \quad P = 2.32 \text{ W}$$

2 · Comportamiento bajo carga

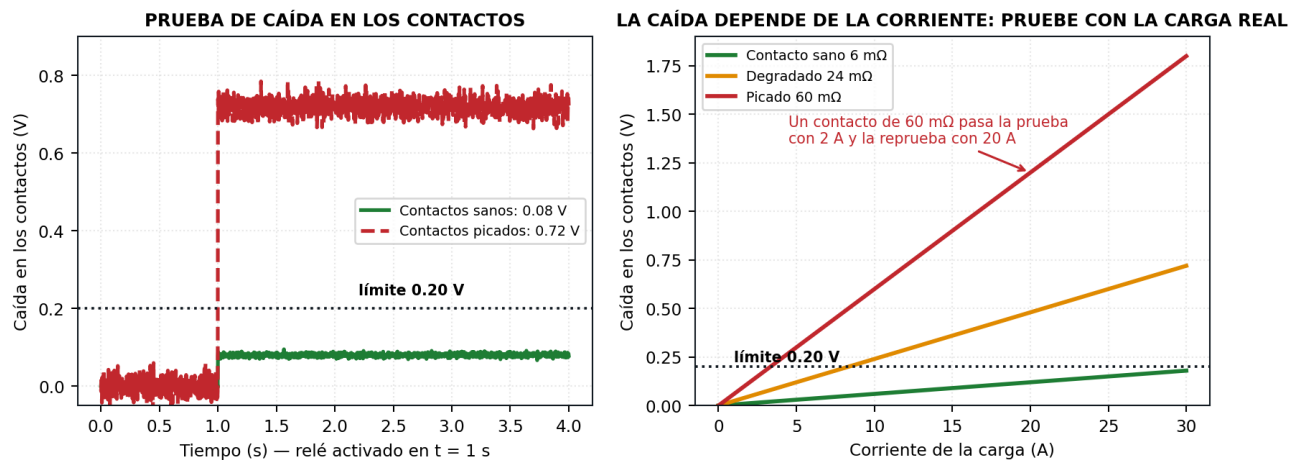


Figura 8: Diagnóstico del relé por caída de voltaje

La caída en los contactos depende de la corriente que circula. Un contacto degradado de 60 mΩ produce:

- Con 2 A: **0.12 V** → **pasa la prueba**
- Con 20 A: **1.20 V** → **la reprueba ampliamente**

Por eso la prueba debe hacerse con la carga real trabajando, nunca con una lámpara de prueba ni con el circuito en vacío.

Corriente de la carga	Contacto sano (6 mΩ)	Degradado (24 mΩ)	Picado (60 mΩ)
5 A	0.03 V	0.12 V	0.30 V
10 A	0.06 V	0.24 V	0.60 V
20 A	0.12 V	0.48 V	1.20 V
40 A	0.24 V	0.96 V	2.40 V

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Valor
Resistencia de contactos nuevos	2 - 8 mΩ
Resistencia de contactos al final de su vida	30 - 100 mΩ
Vida útil típica	100 000 - 500 000 ciclos
Elemento supresor	Diodo (polaridad crítica) o resistencia de 500 - 1 000 Ω

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Contactos picados	La carga funciona pero con menos potencia ; el síntoma empeora con la corriente
Contactos pegados	La carga no se apaga; consumo parásito, batería descargada
Bobina abierta	La carga no funciona en absoluto
Diodo supresor invertido	Cortocircuito franco: funde el fusible al instante
Diodo supresor abierto	Picos inductivos que dañan el driver de la ECU
Relé sensible a la temperatura	Falla en caliente y funciona en frío
Zócalo con terminales flojos	Falla intermitente al vibrar

Códigos: los relés rara vez generan código propio. Se manifiestan como códigos de la **carga** que alimentan: P0230 (bomba), P0480 (ventilador), P0691 - P0694, P0685 - P0689 (relé principal), P0645 (embrague de A/C).

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Sustituir por un relé conocido bueno** y repetir la prueba de caída — es el método más rápido y concluyente.
2. **Reparar el zócalo:** los terminales hembra pierden tensión de contacto y producen caídas mayores que las del propio relé.
3. **Verificar la polaridad del diodo supresor** al reemplazar. **Un relé con diodo instalado invertido funde el fusible inmediatamente.**
4. Limpiar y proteger los terminales con grasa dieléctrica.
5. **Nunca puentee permanentemente un relé** para “solucionar” el problema: el circuito queda sin protección ni control.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

La prueba de los cuatro pasos

Paso 1 — Caída en los contactos (la prueba definitiva).

1. Relé **activado** y carga **funcionando a plena demanda**.
2. Punta roja en el terminal **30**, punta negra en el terminal **87**.
3. Multímetro en escala de **milivoltios**.

Límite: 0.20 V

Paso 2 — Cálculo de la resistencia de contacto.

$$R_{contacto} = \frac{V_{drop}}{I_{carga}}$$

Resultado	Diagnóstico
< 10 mΩ	Contactos en buen estado
10 - 25 mΩ	Degradación incipiente
> 25 mΩ	Reemplazar el relé

Paso 3 — Verificación de la bobina.

Medición	Valor
Resistencia 85 ↔ 86	60 - 120 Ω
Corriente de la bobina activada	0.10 - 0.20 A
Caída en el circuito de control	< 0.10 V

Paso 4 — Verificación del elemento supresor.

Con el multímetro en modo diodo entre 85 y 86: en un sentido debe leer **0.4 - 0.7 V** y en el otro **OL**. Si conduce en ambos sentidos, el diodo está en corto.

Diagnóstico del diodo invertido: si al insertar un relé nuevo el fusible se funde de inmediato, el diodo está montado con polaridad opuesta a la del circuito. Verifique la orientación en el diagrama y use un relé del número de parte correcto — **los relés físicamente idénticos pueden tener el diodo en polaridad opuesta.**

Prueba de sustitución cruzada

Intercambie el relé sospechoso por otro idéntico del mismo vehículo (por ejemplo el del claxon o el de las luces). Si el síntoma se mueve con el relé, está confirmado.

7 · Valores comunes de resistencia

Componente	Valor
Bobina de relé estándar (12 V)	60 - 120 Ω
Bobina de relé de bajo consumo	200 - 400 Ω
Contactos cerrados	2 - 10 mΩ
Contactos abiertos	> 10 MΩ
Resistencia supresora (si la lleva)	500 - 1 000 Ω
Diodo supresor (modo diodo)	0.4 - 0.7 V en directo, OL en inverso

8 · Alimentaciones y tierras

Terminal	Circuito
30	Alimentación de alta corriente, normalmente desde un fusible principal
86	12 V (permanente o conmutado por contacto)
85	Control de la ECU por lado bajo en la mayoría de los sistemas
87 / 87a	Salida hacia la carga

Por qué la ECU controla el lado bajo de la bobina: permite a la ECU **diagnosticar el circuito**. Con el relé en reposo, el pin 85 debe medir 12 V (a través de la bobina). Si mide 0 V, hay un corto a masa; si mide un valor intermedio, la bobina está abierta.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Cálculo 1 — Corriente de la bobina

$$I = \frac{13.8}{82} = 0.168 \text{ A}$$

Cálculo 2 — Resistencia de contacto a partir de la caída

Con 0.72 V de caída y 22 A de carga:

$$R_{\text{contacto}} = \frac{0.72}{22} = 0.0327 \Omega = 32.7 \text{ m}\Omega$$

Frente a los < 10 mΩ especificados: **el relé debe reemplazarse**.

Cálculo 3 — Potencia disipada en el contacto

$$P = I^2 R = 22^2 \times 0.0327 = 15.8 \text{ W}$$

15.8 W disipados en una superficie de contacto de unos pocos milímetros cuadrados. Ese calor oxida más el contacto, lo que aumenta la resistencia, lo que genera más calor: **es un proceso de degradación acelerada**. Por eso un relé degradado falla de forma cada vez más rápida.

Cálculo 4 — Efecto sobre la carga

$$V_{\text{carga}} = 13.8 - 0.72 = 13.08 \text{ V}$$

$$\frac{P_{\text{carga}}}{P_{\text{nominal}}} = \left(\frac{13.08}{13.8} \right)^2 = 0.898 \Rightarrow \textbf{10 \% menos potencia}$$

Cálculo 5 — Por qué la prueba en vacío no sirve

Con una lámpara de prueba de 0.2 A en lugar de la carga real de 22 A:

$$V_{\text{drop}} = 0.2 \times 0.0327 = 0.0065 \text{ V}$$

6.5 milivoltios. El relé “pasa” la prueba con holgura mientras destruye el rendimiento de la carga real. **Éste es el error de diagnóstico más común con relés.**

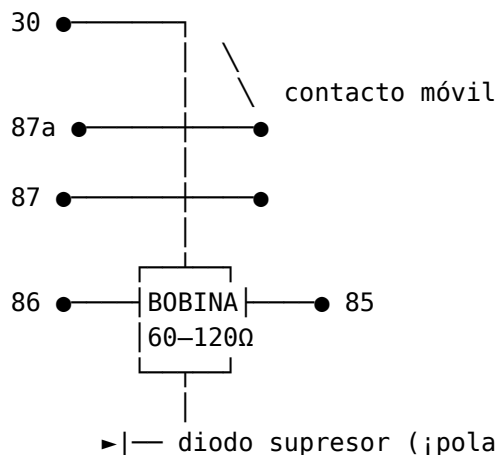
10 · Nomenclatura de cableado

Los relés se identifican por su **terminal**, no por el color del cable. Aun así:

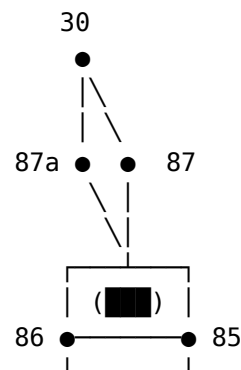
Terminal	Color habitual
30	RED, ORN (alimentación directa)
86	PNK, RED (12 V conmutado)
85	Color de señal, hacia la ECU
87	Color de la carga

11 · Simbología y diagrama de conexión

RELÉ DE 5 PINES (ISO)



SÍMBOLO NORMALIZADO



PRUEBA DEFINITIVA – CON LA CARGA REAL TRABAJANDO:

punta roja en 30 · punta negra en 87 · escala mV

LÍMITE: 0.20 V $R_{\text{contacto}} = V_{\text{caída}} / I_{\text{carga}}$

< 10 mΩ = sano · > 25 mΩ = reemplazar

△ Una lámpara de prueba (0.2 A) NO detecta un contacto de 33 mΩ:
solo produciría 6.5 mV de caída. USE LA CARGA REAL.

12 · Análisis de oscilogramas

Criterio	Correcto	Falla
Caída en contactos con carga	< 0.20 V, estable	Alta o creciente = contactos picados
Tiempo de conmutación	5 - 15 ms	Lento = bobina débil
Rebote de contactos (<i>bounce</i>)	1 - 3 rebotes en < 2 ms	Muchos rebotes = contactos desgastados

Criterio	Correcto	Falla
Pico inductivo de la bobina al abrir	Limitado por el supresor	Alto = supresor abierto
Estabilidad bajo vibración	Sin interrupciones	Interrupciones = zócalo flojo

Configuración: DC · 0.1 V/div para la caída en contactos · 100 ms/div · capturar mientras se golpea suavemente el relé y el zócalo.

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

No aplica al relé convencional, que es un dispositivo on/off.

Excepción: los **relés de estado sólido** y los módulos de potencia inteligentes sí pueden trabajar en PWM, y además ofrecen realimentación de diagnóstico a la ECU. Se identifican porque no hacen ruido al conmutar.

14 · Análisis de corriente

Medición	Valor
Corriente de la bobina	0.10 - 0.20 A
Corriente de los contactos	Igual a la de la carga
Corriente de la bobina en un relé con la bobina degradada	Menor a 0.08 A

Método: pinza de baja corriente con 10 vueltas para la bobina; pinza estándar para la carga.

15 · Preguntas de autoevaluación — Relés

P1. Un relé de ventilador presenta 0.84 V de caída entre los terminales 30 y 87 con 24 A circulando. Calcule la resistencia de contacto, la potencia disipada en el contacto, el voltaje que recibe la carga y el porcentaje de pérdida de potencia. Emita el diagnóstico.

P2. Un técnico verifica el mismo relé con una lámpara de prueba que consume 0.25 A y obtiene 0.008 V de caída. Concluye que el relé está bien. Calcule por qué obtuvo ese valor y explique el error metodológico.

P3. Al instalar un relé nuevo, el fusible se funde inmediatamente. El relé anterior no lo hacía. Explique la causa más probable, describa cómo se verifica y qué precaución debe tomarse al comprar el repuesto.

12.4 · ACTUADOR DE GEOMETRÍA VARIABLE DE TURBO (VGT / VNT)

ACTUADOR DE GEOMETRÍA VARIABLE (VGT / VNT)

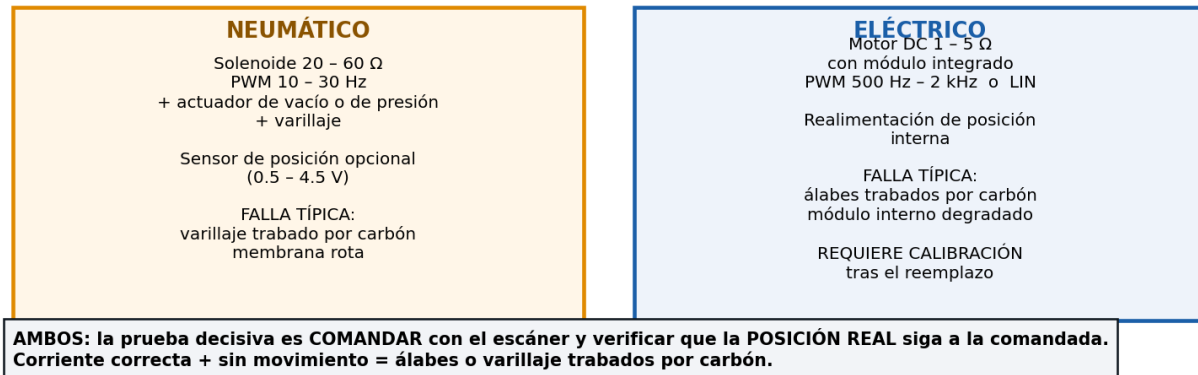


Figura 9: Actuador VGT neumático y eléctrico

Función

Los álabes móviles de la turbina cambian el ángulo de incidencia de los gases:

Régimen	Álabes	Efecto
Bajo	Cerrados (paso estrecho)	Los gases se aceleran → el turbo responde pronto → más par
Alto	Abiertos (paso amplio)	Menos contrapresión → más caudal → más potencia
Freno motor (algunos)	Cerrados al máximo	Contrapresión de frenado

1 · Valores en ralentí

Variante neumática:

Parámetro	Valor
Resistencia del solenoide	20 - 60 Ω
Frecuencia PWM	10 - 30 Hz
Duty cycle en ralentí	20 - 45 %
Corriente	0.3 - 0.7 A
Vacío / presión de mando	300 - 800 mbar
Posición en ralentí	Álabes cerrados 65 - 85 %

Variante eléctrica:

Parámetro	Valor
Resistencia del motor	1 - 5 Ω
Frecuencia PWM	500 Hz - 2 kHz (o control por LIN)
Corriente media	1 - 3 A
Corriente de pico	4 - 6 A
Señal de posición	0.5 - 4.5 V o digital
Posición en ralentí	Álabes cerrados 65 - 85 %

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Condición	Posición de álabes	Boost resultante
2000 RPM sin carga	55 - 75 % cerrados	0.1 - 0.3 bar
2000 RPM carga media	35 - 60 % cerrados	0.6 - 1.2 bar
2000 RPM plena carga	20 - 45 % cerrados	1.2 - 2.0 bar
Alta RPM plena carga	5 - 25 % cerrados	Limitado por control

Contraintuitivo: a plena carga los álabes se **abren**, no se cierran. El control busca máximo caudal, no máxima velocidad de gases. Interpretarlo al revés lleva a diagnósticos equivocados.

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Valor
Recorrido completo del actuador	0 - 100 %
Tolerancia comandada vs real	± 5 %
Tiempo de respuesta	< 500 ms
Boost objetivo (diésel)	0.8 - 2.0 bar (Módulo 6, §6.8)
Corriente en operación normal	1 - 3 A
Corriente con álabes trabados	4 - 6 A sostenidos

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Álabes trabados cerrados	Sobrepresión (P0234), humo negro, corte de potencia por protección
Álabes trabados abiertos	Sub-presión (P0299), falta de potencia, respuesta lenta del turbo
Varillaje trabado por carbón	Igual que los anteriores; la causa n.º 1
Membrana rota (neumático)	Sin control; álabes en posición de resorte
Manguera desconectada	Igual
Módulo interno degradado (eléctrico)	Sin respuesta o respuesta errática
Sensor de posición defectuoso	Oscilación del control, códigos intermitentes
Sin calibración tras el reemplazo	Recorrido incorrecto, P0045/P2563

Códigos: P0045 – P0049 (circuito de control del turbo), **P0234 (sobrepresión)**, **P0299 (subpresión)**, P2563 (sensor de posición del actuador), P246C/P246D, P00AF (rendimiento del sistema de geometría variable).

Recordatorio del Módulo 5: un motor turbo que “no da presión” puede estar **detonando**, y la ECU reduce el boost como estrategia de protección de nivel 3. **Verifique el PID de retardo por detonación antes de diagnosticar el turbo.**

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Descarbonizar el varillaje y los álabes.** Es la reparación dominante en motores diésel con muchos kilómetros o con historial de regeneraciones fallidas (Módulo 3, §3.4).
2. Verificar el **vacío o la presión de mando** en la variante neumática, y la integridad de la membrana.
3. Verificar el **sensor de posición** con barrido lento.
4. **Calibrar el actuador** tras cualquier reemplazo — es obligatorio en la variante eléctrica.
5. Verificar las **causas del carbón:** EGR, DPF, aceite del turbo.
6. Reemplazar el actuador cuando el módulo interno o el motor estén degradados.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

Fase A — Comandada vs real

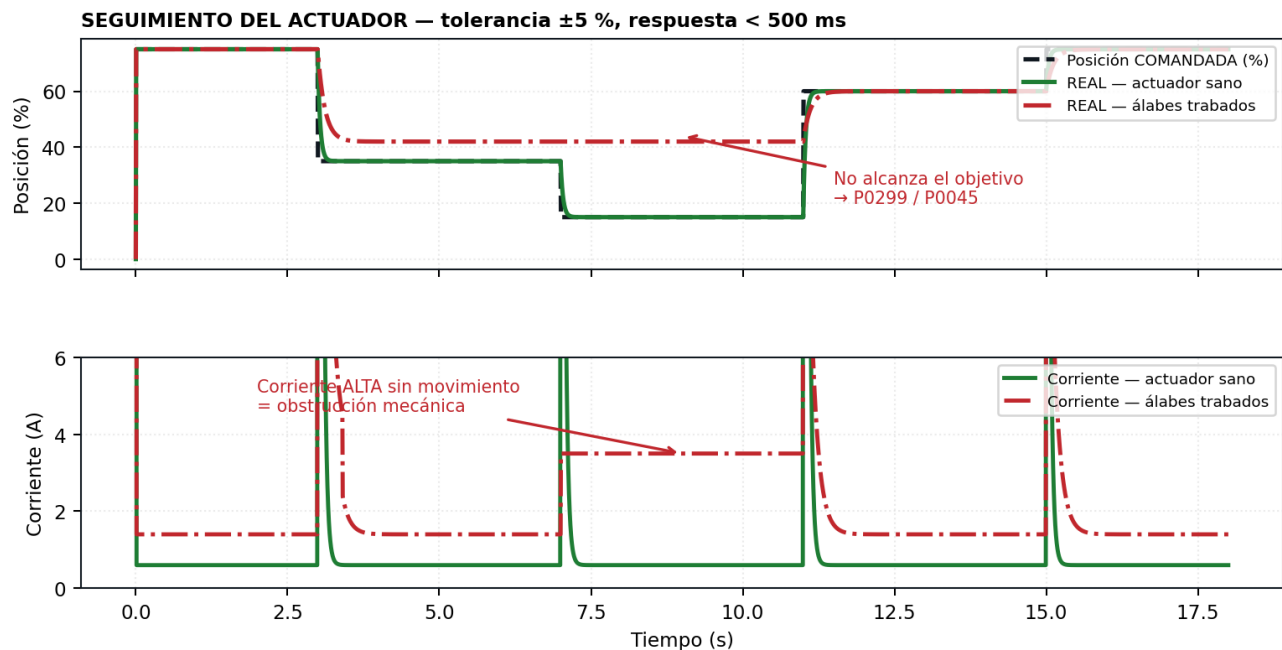


Figura 10: Seguimiento del actuador VGT y corriente

Hallazgo	Diagnóstico
Coinciden dentro de $\pm 5\%$, respuesta < 500 ms	Actuador sano
Real no alcanza el objetivo con corriente ALTA	Álabes o varillaje trabados

Hallazgo	Diagnóstico
Real no responde, sin corriente	Solenoides, motor o cableado
Real oscila	Sensor de posición o control inestable
Real fija en un extremo	Actuador trabado mecánicamente

Fase B — Prueba de comando con verificación mecánica

Con el motor apagado y la llave en contacto, comande el actuador de 0 a 100 % y **observe el varillaje** (variante neumática) o registre la posición real (variante eléctrica).

Corriente correcta + sin movimiento = obstrucción mecánica. Es el mismo criterio del Módulo 10, §10.4 y del Módulo 11, §11.3. En sistemas de gases de escape, el carbón es siempre el primer sospechoso.

Fase C — Prueba de vacío (variante neumática)

Aplique vacío manual al actuador con bomba:

Resultado	Diagnóstico
Se mueve en todo el recorrido y mantiene el vacío	Actuador sano
Se mueve pero pierde el vacío	Membrana perforada
No se mueve	Varillaje trabado
Movimiento parcial	Obstrucción parcial

Fase D — Análisis de corriente

Hallazgo	Diagnóstico
1 - 3 A con movimiento normal	Sano
4 - 6 A sostenidos sin movimiento	Trabado mecánicamente
Corriente baja con movimiento lento	Caída de voltaje o motor degradado
Corriente nula	Circuito abierto
Corriente errática	Escobillas del motor o módulo interno

Fase E — Caída de voltaje

Circuito	Corriente	Límite
Alimentación del solenoide (neumático)	0.3 - 0.7 A	0.20 V
Alimentación del motor (eléctrico)	1 - 6 A	0.20 V
Masa del actuador	1 - 6 A	0.10 V
VREF / SIG RTN del sensor de posición	mA	0.10 / 0.05 V

Fase F — Calibración

Obligatoria tras reemplazar el actuador eléctrico. El procedimiento genérico:

1. Instalar el actuador con el varillaje en la posición indicada.
2. Con el escáner, ejecutar la función de **aprendizaje de topes**.
3. El actuador recorre su rango completo y memoriza los límites.
4. Verificar comandada vs real en todo el recorrido.

Sin calibración, el actuador trabaja sobre un rango equivocado y genera P0045, P2563 o P0299 aunque sea nuevo.

7 · Valores comunes de resistencia

Componente	Valor
Solenoides neumático	20 - 60 Ω
Motor del actuador eléctrico	1 - 5 Ω (usar función REL)
Sensor de posición potenciométrico	1 - 10 kΩ
Aislamiento a carcasa	> 10 MΩ

8 · Alimentaciones y tierras

Variante	Circuitos
Neumática	12 V + control PWM del solenoide + (opcional) sensor de posición
Eléctrica	12 V permanente · masa de potencia · control PWM o LIN · realimentación interna

En la variante eléctrica, el actuador contiene un **módulo de control propio**. La ECU envía la consigna y el módulo cierra el lazo internamente. Por eso muchos actuadores modernos **no exponen la señal de posición** en el conector.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Cálculo 1 — Corriente del motor eléctrico

Motor de 2.8 Ω a 13.8 V con 40 % de duty:

$$I_{\text{bloqueo}} = \frac{13.8}{2.8} = 4.93 \text{ A} \quad I_{\text{media}} = 4.93 \times 0.40 = 1.97 \text{ A}$$

Cálculo 2 — Detección de álabes trabados

Si la corriente medida es de 4.7 A con el mismo duty del 40 %, la resistencia aparente es:

$$R_{\text{aparente}} = \frac{13.8 \times 0.40}{4.7} = 1.17 \text{ Ω}$$

Muy por debajo de los 2.8 Ω nominales. **Un motor DC bloqueado no genera fuerza contraelectromotriz**, por lo que su resistencia aparente cae hacia la resistencia óhmica pura y la corriente se dispara. **Diagnóstico: obstrucción mecánica confirmada.**

Cálculo 3 — Potencia disipada en el bloqueo

$$P = I^2 R = 4.7^2 \times 2.8 = 61.8 \text{ W}$$

Frente a los 10.9 W de operación normal. **Ese calor destruye el módulo interno del actuador en pocos minutos.** Por eso un actuador reemplazado sin descarbonizar el varillaje vuelve a fallar rápidamente.

Cálculo 4 — Solenoide neumático

Solenoide de 38 Ω a 13.8 V con 35 % de duty:

$$I_{pico} = \frac{13.8}{38} = 0.363 \text{ A} \quad I_{media} = 0.127 \text{ A}$$

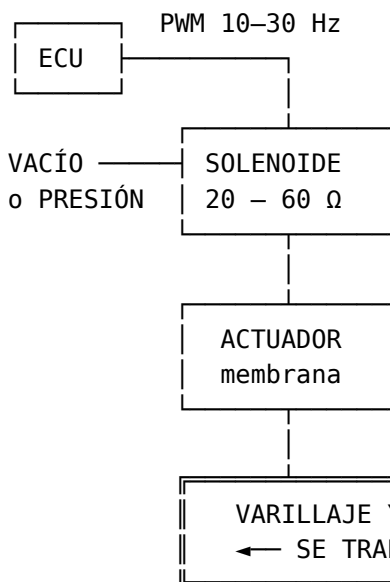
$$V_{efectivo} = 13.8 \times 0.35 = 4.83 \text{ V}$$

10 · Nomenclatura de cableado

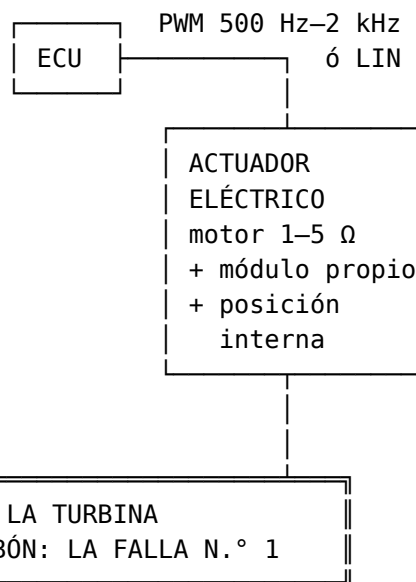
Marca	Alimentación	Control	Posición
Ford Power Stroke	RED	GRY/YEL	BRN/WHT
VW / Audi (Hella)	rt/sw	gn/ws	gn/ge
Garrett eléctrico	12 V + masa	LIN	Interna
GM Duramax	RED	DK GRN	LT BLU
Toyota	+B	VN	VNP

11 · Simbología y diagrama de conexión

VARIANTE NEUMÁTICA



VARIANTE ELÉCTRICA



BAJO RÉGIMEN → álabes CERRADOS (65-85 %) → gases acelerados → más par
 PLENA CARGA → álabes ABIERTOS (20-45 %) → más caudal → más potencia

Corriente correcta + sin movimiento = TRABADO POR CARBÓN

4–6 A sostenidos = bloqueo mecánico (61 W disipados: destruye el módulo)

12 · Análisis de oscilogramas

Criterio	Correcto	Falla
Frecuencia PWM Duty cycle	Constante Coherente con la demanda	Variable = driver Saturado sin movimiento = mecánico
Posición real	Sigue a la comandada $\pm 5\%$	Retardo o desviación = fricción
Corriente	1 - 3 A con movimiento	4 - 6 A sin movimiento = trabado
Rampa de corriente	Con joroba	Sin joroba = actuador inmóvil

Configuración: DC · 5 V/div · 200 – 500 ms/div en modo *roll* · pinza 100 mV/A a 1 A/div · capturar un barrido completo comandado.

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

Variante	Frecuencia	Duty en ralentí	Duty a plena carga
Neumática	10 - 30 Hz	20 - 45 %	55 - 85 %
Eléctrica	500 Hz - 2 kHz	Variable, según lazo interno	Variable
LIN	No hay PWM	Consigna digital	Consigna digital

14 · Análisis de corriente

Condición	Corriente
Solenoide neumático	0.3 - 0.7 A de pico · 0.1 - 0.3 A media
Motor eléctrico en movimiento	1 - 3 A
Motor eléctrico en pico de arranque	4 - 6 A durante 100 - 300 ms
Motor eléctrico bloqueado	4 - 6 A SOSTENIDOS
Sin corriente	Circuito abierto o módulo sin alimentación

15 · Preguntas de autoevaluación — VGT / VNT

P1. Un actuador VGT eléctrico de $3.2\ \Omega$ trabaja con 45 % de duty a 13.9 V. Calcule la corriente de bloqueo y la corriente media esperadas. Si la pinza mide 4.4 A sostenidos y la posición real no cambia, calcule la resistencia aparente, la potencia disipada y emita el diagnóstico.

P2. Un motor diésel presenta P0299 (sub-presión). El actuador responde al comando, la posición real sigue a la comandada dentro del 3 % y el intercooler no tiene fugas. Enumere **tres** sistemas de otros módulos del curso que pueden producir el código y explique el mecanismo de cada uno.

P3. Se reemplaza un actuador VGT eléctrico y el vehículo presenta P0045 y falta de potencia con el actuador nuevo. Determine qué se omitió, describa el procedimiento y explique por qué el actuador trabaja sobre un rango equivocado.

CUESTIONARIO INTEGRADOR — MÓDULO 12

1. Un circuito de ventilador presenta las siguientes caídas: fusible 0.14 V, contactos del relé 0.63 V, cable positivo 0.28 V, conector 0.35 V, masa 0.24 V. Con 22 A circulando y 13.9 V de batería, calcule la caída total, el voltaje que recibe el ventilador, la resistencia parásita total y el porcentaje de pérdida de potencia.
 2. Explique por qué la prueba de caída de voltaje con una lámpara de prueba de 0.25 A no detecta un contacto de relé degradado a 35 mΩ, calculando la caída que produciría en ambos casos (lámpara y carga real de 25 A).
 3. Una bomba de combustible de 8 delgas gira a 6 000 RPM. Calcule el tiempo por vuelta y el tiempo por delga, e indique qué ajuste de time/div usaría para observar tres vueltas completas en una pantalla de 10 divisiones.
 4. Un ventilador de 0.48 Ω trabaja en velocidad baja a través de una resistencia de 0.85 Ω con 13.8 V. Calcule la corriente, la potencia disipada por la resistencia y la potencia entregada al motor. Explique por qué la resistencia es la pieza que más falla.
 5. Una bomba consume 6.2 A con 1.1 V de caída total. Calcule la resistencia parásita, el voltaje efectivo, el porcentaje estimado de pérdida de caudal y explique por qué el síntoma solo aparece a plena carga.
 6. Un actuador VGT eléctrico de 2.5 Ω comandado al 50 % consume 5.1 A sostenidos sin que la posición cambie. Calcule la corriente media esperada, la resistencia aparente, la potencia disipada, y explique por qué un actuador nuevo volverá a fallar si no se corrige la causa.
 7. Explique la diferencia entre las dos señales PWM del sistema FPDm, indicando frecuencia y ajuste de osciloscopio para cada una, y qué conclusión errónea se obtiene si se confunden.
 8. Un ventilador consume 26 A cuando su especificación es 12 A al mismo duty cycle, con voltaje de alimentación correcto. Calcule la resistencia aparente sabiendo que el duty es del 55 % y el sistema entrega 13.8 V, compárela con la nominal de 0.5 Ω y emita un diagnóstico razonado.
 9. Explique por qué una bomba de combustible con la malla de aspiración obstruida consume **menos** corriente de lo normal, y qué combinación de hallazgos confirma ese diagnóstico.
 10. Un relé presenta 0.96 V de caída entre 30 y 87 con 30 A de carga. Calcule la resistencia de contacto, la potencia disipada en el contacto y explique el mecanismo de degradación acelerada que hace que este tipo de falla empeore cada vez más rápido.
-

HOJA DE REFERENCIA RÁPIDA — MÓDULO 12

EL PRINCIPIO DEL MÓDULO — LAS CAÍDAS SE ACUMULAN

$$V_{\text{caída}} = I \times R_{\text{parásita}} \quad R_{\text{parásita}} = V_{\text{caída}} / I$$

$$P / P_{\text{nominal}} = (V_{\text{real}} / V_{\text{nominal}})^2$$

Ejemplo: 6 caídas "aceptables" suman 2.15 V = 15.6 % → -29 % potencia

△ La caída depende de la CORRIENTE. Pruebe SIEMPRE con la carga REAL.

BOMBA DE COMBUSTIBLE

Corriente (puerto) 3 – 6 A · GDI baja: 5 – 10 A

Corriente de arranque (inrush) ... 12 – 20 A durante 100 – 300 ms

Resistencia del motor 0.5 – 2.0 Ω (usar función REL)

Delgas del colector 6 – 10 (típico 8)

$t_{\text{vuelta}} \text{ (ms)} = 60\,000 / \text{RPM}_{\text{bomba}}$

RAMPA: una joroba por delga. Una joroba BAJA repetida = delga gastada.

Caída máx.: positivo 0.20 V · contactos relé 0.20 V · masa 0.10 V

FPM: mando ECU 50–200 Hz · salida a bomba 12–25 kHz ← DOS señales

△ Malla de aspiración obstruida → corriente BAJA + presión BAJA

ELECTROVENTILADORES

Velocidad baja 8 – 15 A

Velocidad alta 18 – 40 A

Motor 0.3 – 1.5 Ω

Resistencia de velocidad baja 0.3 – 1.5 Ω · disipa 60 – 150 W

→ ES LA PIEZA QUE MÁS FALLA DEL SISTEMA

PWM 20 – 200 Hz

Umbral: 1.ª etapa 95–102 °C · 2.ª etapa 102–108 °C

Caída máx.: positivo 0.30 V · relé 0.20 V · masa 0.15 V

Corriente ALTA + velocidad baja = mecánico (rodamientos)

Corriente BAJA + velocidad baja = caída de voltaje

RELÉS ISO

30 = entrada · 85/86 = bobina · 87 = NA · 87a = NC

Bobina 60 – 120 Ω · 0.10 – 0.20 A

Contactos cerrados < 10 mΩ

CAÍDA MÁXIMA EN CONTACTOS (30→87) 0.20 V

$R_{\text{contacto}} = V_{\text{caída}} / I_{\text{carga}}$

< 10 mΩ sano · 10–25 mΩ degradado · > 25 mΩ REEMPLAZAR

△ Con lámpara de prueba (0.2 A) un contacto de 33 mΩ da solo 6.5 mV y "pasa" la prueba. USE LA CARGA REAL.

△ Diodo supresor invertido = FUNDE EL FUSIBLE al instante

ACTUADOR VGT / VNT

Solenoid neumático 20 – 60 Ω · 10 – 30 Hz

Motor eléctrico 1 – 5 Ω · 500 Hz – 2 kHz o LIN

Corriente en movimiento 1 – 3 A

CORRIENTE BLOQUEADO 4 – 6 A SOSTENIDOS (61 W → destruye)

Tolerancia comandada vs real ±5 % · respuesta < 500 ms

Álabes en ralentí CERRADOS 65 – 85 %

Álabes a plena carga ABIERTOS 20 – 45 % ← contraintuitivo

CALIBRACIÓN OBLIGATORIA tras reemplazar el actuador eléctrico
Corriente correcta + sin movimiento = TRABADO POR CARBÓN

TABLA MAESTRA DE CAÍDA DE VOLTAJE POR CORRIENTE

R parásita	5 A	10 A	20 A	40 A
10 mΩ	0.05 V	0.10 V	0.20 V	0.40 V
25 mΩ	0.13 V	0.25 V	0.50 V	1.00 V
50 mΩ	0.25 V	0.50 V	1.00 V	2.00 V
100 mΩ	0.50 V	1.00 V	2.00 V	4.00 V

CÓDIGOS CLAVE

P0230–P0233 bomba · P0627–P0629 control · P069E módulo de bomba
P0480–P0485 ventilador · P0691–P0694 circuitos de ventilador
P0685–P0689 relé principal · P0645 embrague de A/C
P0045–P0049 turbo · P0234 sobrepresión · P0299 sub-presión
P2563 sensor de posición del actuador VGT

Fin del Módulo 12. El Módulo 13 (Sistema de Carga y Arranque) desarrolla el alternador con regulación por PCM y por LIN, la prueba de rizado con osciloscopio, el análisis de corriente de arranque con compresión relativa y la metodología de consumo parásito.