

MÓDULO 9 — SISTEMA DE ENCENDIDO

Bobina COP con IGBT · IGT/IGF · Módulo externo · Chispa perdida · Primario, secundario y rampa de corriente

Índice

PRESENTACIÓN DEL MÓDULO	3
La cadena de transformación	3
Las tres capturas del módulo	3
Fórmulas maestras	4
9.1 · BOBINA COP CON IGBT INTEGRADO (IGT / IGF)	5
Arquitectura	5
Las señales IGT e IGF	5
1 · Valores en ralentí (~750 RPM)	6
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	6
3 · Rango de funcionamiento normal	7
4 · Síntomas de falla	7
5 · Posibles soluciones y reparaciones	8
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso	8
ADVERTENCIA DE SEGURIDAD	8
7 · Valores comunes de resistencia	10
8 · Alimentaciones y tierras	10
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	10
10 · Nomenclatura de cableado	12
11 · Simbología y diagrama de conexión	13
12 · Análisis de oscilogramas	13
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	13
14 · Análisis de corriente	14
15 · Preguntas de autoevaluación — Bobina COP	14
9.2 · BOBINA CON MÓDULO EXTERNO Y BOBINA CON DISTRIBUIDOR	15
Arquitectura	15
1 – 3 · Valores de referencia	15
4 · Síntomas de falla	15
5 · Soluciones	16
6 · Diagnóstico específico	16
7 – 14 · Puntos restantes	16
15 · Preguntas de autoevaluación — Módulo externo	17
9.3 · BOBINA DIS DE CHISPA PERDIDA	18
Principio	18

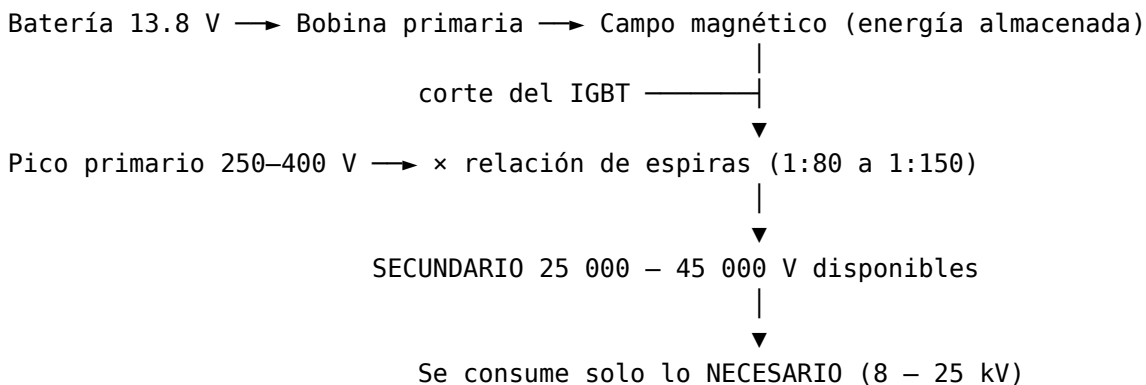
Las dos particularidades eléctricas	18
1 · Valores en ralentí	18
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	19
3 · Rango de funcionamiento normal	19
4 · Síntomas de falla	19
5 · Soluciones	20
6 · Diagnóstico específico	20
7 - 14 · Puntos restantes	20
15 · Preguntas de autoevaluación — Chispa perdida	21
9.4 · ANÁLISIS DEL OSCILOGRAMA PRIMARIO	22
Configuración del osciloscopio	22
Los cuatro elementos y su lectura	22
LA REGLA MAESTRA: PICO Y QUEMADO SE MUEVEN EN SENTIDOS OPUESTOS . . .	24
Comparación entre cilindros	25
9.5 · ANÁLISIS DEL SECUNDARIO CON PINZA CAPACITIVA	26
La pinza capacitiva	26
Los cuatro elementos del secundario	26
Requerimiento de kV según las condiciones	27
Las cuatro vistas del análisis secundario	28
Procedimiento de análisis en 6 pasos	29
9.6 · RAMPA DE CORRIENTE, DWELL Y SATURACIÓN	30
Por qué la corriente es la prueba definitiva	30
Configuración	30
Anatomía de la rampa	31
Interpretación	31
El cálculo que resuelve el fallo a alto régimen	31
Relación entre dwell y RPM	32
Prueba de caída de voltaje aplicada a la bobina	33
CUESTIONARIO INTEGRADOR — MÓDULO 9	34
HOJA DE REFERENCIA RÁPIDA — MÓDULO 9	35

PRESENTACIÓN DEL MÓDULO

El sistema de encendido es el único del vehículo donde el técnico puede **diagnosticar el interior del cilindro sin abrirlo**. La forma del oscilograma secundario contiene información directa sobre la presión de compresión, la riqueza de la mezcla, el estado del electrodo, la separación de la bujía y la integridad del aislamiento.

Por eso este módulo no trata solo de bobinas: trata de leer el motor.

La cadena de transformación



$$V_{\text{secundario}} = V_{\text{primario}} \times \frac{N_{\text{secundario}}}{N_{\text{primario}}}$$

Con un pico primario de 320 V y una relación de 1:100, el secundario **puede** entregar 32 000 V. Pero solo entrega los que la bujía necesita para ionizar la mezcla. **La diferencia entre lo disponible y lo requerido es la reserva de encendido**, y es la medida real de la salud del sistema.

Las tres capturas del módulo

Captura	Qué revela	Herramienta
Primario (V)	Dwell, integridad de la bobina, estado del driver	Sonda ×10 o ×20
Secundario (kV)	Bujía, cable, mezcla, compresión	Pinza capacitiva
Corriente (A)	Si la energía realmente se almacenó	Pinza de baja corriente

Continuando el principio del Módulo 8: el voltaje demuestra que la ECU dio la orden. **La corriente demuestra que la bobina almacenó la energía.** Y el secundario demuestra que esa energía llegó al cilindro.

Fórmulas maestras

$$\frac{di}{dt} = \frac{V}{L} \quad t_{sat} = \frac{I_{objetivo}}{di/dt} = \frac{I \times L}{V}$$

$$E = \frac{1}{2}LI^2 \quad V_{sec} = V_{prim} \times \text{relación de espiras}$$

$$\text{Periodo entre chispas (ms)} = \frac{120\,000}{RPM \times \frac{n.^{\circ} cil}{2}}$$

9.1 · BOBINA COP CON IGBT INTEGRADO (IGT / IGF)

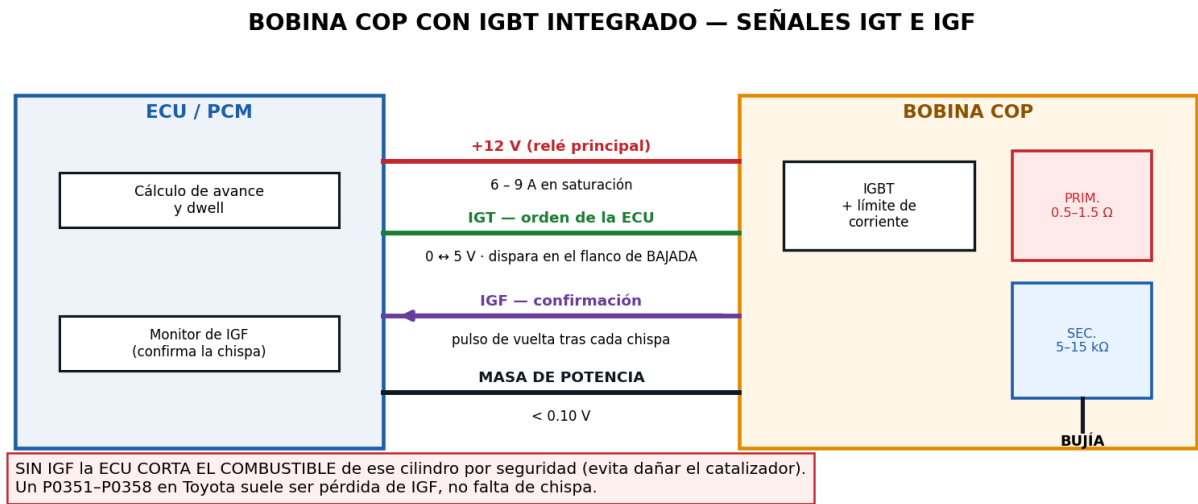


Figura 1: Circuito de la bobina COP con IGBT

Arquitectura

La bobina COP moderna integra el **transistor de potencia (IGBT)** en su propio cuerpo. La ECU ya no conmuta corriente: envía una **señal lógica de baja tensión** llamada **IGT**, y el IGBT de la bobina hace el trabajo pesado.

Ventajas: el cable de la ECU a la bobina solo lleva miliamperios, se elimina la caída de voltaje en tramos largos y desaparece el ruido de conmutación de alta corriente dentro del arnés.

Configuración	Hilos	Descripción
COP con IGBT + IGF	4	12 V · masa · IGT · IGF (confirmación)
COP con IGBT sin IGF	3	12 V · masa · IGT
COP sin IGBT (driver en la ECU)	2 - 3	12 V · control de lado bajo desde la ECU

Las señales IGT e IGF

Señal	Dirección	Descripción
IGT (<i>Ignition Timing</i>)	ECU → bobina	Pulso lógico. El ancho del pulso es el dwell ; la chispa salta en el flanco de BAJADA
IGF (<i>Ignition Feedback</i>)	bobina → ECU	Pulso de confirmación tras cada chispa efectiva

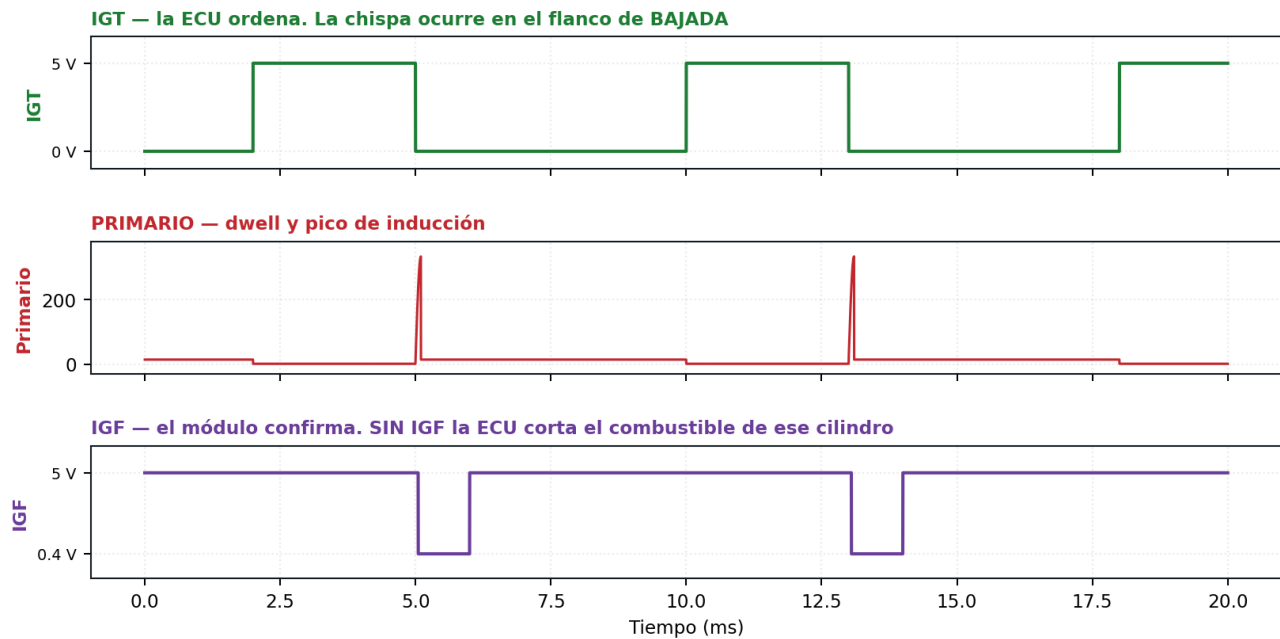


Figura 2: Relación temporal entre IGT, primario e IGF

La función de seguridad del IGF: si la ECU no recibe la confirmación, sabe que ese cilindro no encendió y **corta el combustible de ese cilindro** para evitar que la mezcla sin quemar destruya el catalizador.

Consecuencia diagnóstica: un código P0351 - P0358 en un vehículo Toyota o Denso suele significar **pérdida del circuito IGF**, no ausencia de chispa. La bobina puede estar generando chispa perfectamente y aun así registrarse el código.

1 · Valores en ralentí (~750 RPM)

Parámetro	Valor esperado
Alimentación de la bobina	12.0 - 14.5 V
Nivel alto del IGT	4.5 - 5.0 V (algunos 11 - 13 V)
Nivel bajo del IGT	0.1 - 0.5 V
Ancho del pulso IGT (dwell)	1.5 - 4.0 ms
Pulso IGF	0.3 - 1.5 ms, 5 V ↔ 0.4 V
Corriente de saturación del primario	6 - 9 A
Pico de inducción en el primario	250 - 400 V
Voltaje de disparo (kV)	8 - 15 kV
Tiempo de quemado	1.0 - 2.0 ms
Voltaje de la línea de quemado	60 - 110 V (primario) · 1.5 - 2.5 kV (secundario)
Oscilaciones tras el quemado	3 - 6

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Parámetro	Valor
Dwell	2.0 - 4.5 ms (igual o ligeramente mayor)
Periodo entre chispas (4 cil.)	30 ms
Corriente de saturación	Sin cambio: 6 - 9 A
Pico de inducción	Sin cambio
Voltaje de disparo	10 - 18 kV
Tiempo de quemado	0.9 - 1.7 ms

Cálculo del periodo entre chispas (4 cilindros a 2 000 RPM):

$$T = \frac{120\,000}{2000 \times 2} = 30 \text{ ms}$$

El dwell no cambia con las RPM; el periodo sí. Ésa es la clave del §9.6: a alto régimen el periodo se acorta hasta acercarse al dwell necesario, y cualquier caída de voltaje impide la saturación.

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Valor
Resistencia del primario	0.4 - 2.0 Ω (COP típico 0.5 - 1.5)
Resistencia del secundario	5 - 15 kΩ
Inductancia del primario	3 - 8 mH
Relación de espiras	1:80 a 1:150
Energía almacenada	50 - 160 mJ
kV disponibles	25 - 45 kV
kV requeridos en operación	8 - 25 kV
Reserva mínima aceptable	60 % de los disponibles
Corriente de saturación	6 - 9 A
Dwell	1.5 - 5.0 ms

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Bobina débil (espiras en corto)	Fallo bajo carga, pérdida de potencia, P0300 - P0308; oscilaciones reducidas
IGBT interno defectuoso	Cilindro muerto, P0351 - P0358, o sobrecalentamiento del primario
Pérdida de IGF	P0351 - P0358 con chispa presente; la ECU corta el combustible de ese cilindro
Aislamiento secundario perforado	Fuga a masa, visible en la oscuridad; fallo bajo carga y con humedad
Bota (<i>boot</i>) degradada	Arco a masa, fallo con humedad o lluvia
Alimentación con caída de voltaje	Fallo solo a alto régimen (§9.6)

Falla	Síntoma
Masa deficiente	Igual que el anterior, más ruido en otras señales
Bujía desgastada	kV alto, quemado corto; la bobina trabaja al límite

Códigos:

Código	Significado
P0300	Fallo de encendido aleatorio o múltiple
P0301 - P0312	Fallo de encendido en el cilindro 1 a 12
P0351 - P0358	Circuito primario/secundario de la bobina A a H
P2300 - P2317	Circuito de control de la bobina, entrada baja/alta
P1300 - P1315	Códigos de fabricante (Toyota antiguos: IGF por cilindro)
P0325 - P0334	Detonación (relacionada, ver Módulo 5)

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Rotar la bobina de cilindro** y comprobar si el código sigue al componente. Es la prueba más rápida y no cuesta nada.
2. **Reemplazar las bujías** cuando el kV requerido supere los 20 kV en condiciones normales, o cuando el tiempo de quemado baje de 0.8 ms.
3. **Verificar la alimentación y la masa** con caída de voltaje (§9.1 punto 6).
4. **Reparar el circuito IGF** antes de reemplazar la bobina en vehículos con códigos P0351 - P0358.
5. **Reemplazar la bota y el resorte** si están carbonizados o agrietados.
6. **Aplicar grasa dieléctrica** en el interior de la bota al montar.
7. **Verificar el pozo de bujía** — aceite acumulado por junta de tapa de balancines defectuosa es una causa frecuente y a menudo ignorada.
8. Reemplazar la bobina cuando el análisis de primario y corriente lo confirmen.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso**ADVERTENCIA DE SEGURIDAD**

El secundario genera entre 25 000 y 45 000 V.

- No sujete cables ni botas con el motor en marcha.
- No desconecte una bobina con el motor en marcha: el pico sin carga puede perforar el aislamiento interno y destruir la bobina.
- Use pinza capacitiva, nunca contacto directo con el secundario.
- **Personas con marcapasos deben mantenerse alejadas** del compartimento motor con el encendido activo.

Fase A — Verificación eléctrica básica

Paso A1 — Alimentación en el conector de la bobina. Con el motor en marcha, medir entre el pin de 12 V y **la masa de la propia bobina** (no contra chasis). Debe estar dentro de 0.5 V del voltaje de batería.

Paso A2 — Masa. Entre el pin de masa de la bobina y el negativo de batería: **máximo 0.10 V** con el motor en marcha.

Paso A3 — Señal IGT. Osciloscopio: pulsos limpios de 0 a 5 V con ancho correspondiente al dwell.

Paso A4 — Señal IGF. Debe aparecer un pulso de confirmación tras **cada** evento. Un IGF faltante intermitente es la causa clásica del P0351 fantasma.

Fase B — Verificación de resistencias

Medición	Valor esperado	Nota
Primario (entre 12 V y control, bobina SIN IGBT)	0.4 - 2.0 Ω	Usar función REL del multímetro
Primario en bobina CON IGBT	No medible	El IGBT bloquea el paso; una lectura de OL es NORMAL
Secundario (terminal de bujía $\leftrightarrow$ masa)	5 - 15 kΩ	Algunas bobinas con diodo interno leen OL
Aislamiento a carcasa	> 10 MΩ	Sí es diagnóstico

Advertencia crítica: en una bobina COP con IGBT integrado, **no se puede medir la resistencia del primario** porque el transistor está en serie. Una lectura de OL **no condena la bobina**. El diagnóstico se hace por rampa de corriente (§9.6).

Fase C — Captura de primario, secundario y corriente

Ver §9.4, §9.5 y §9.6, que desarrollan cada una en detalle.

Fase D — Prueba de caída de voltaje

Circula entre 6 y 9 A. La prueba es plenamente válida y es la que explica el fallo a alto régimen.

Circuito	Corriente	Límite
Alimentación de la bobina	6 - 9 A	0.20 V
Masa de la bobina	6 - 9 A	0.10 V
Circuito IGT	< 20 mA	0.10 V
Circuito IGF	< 20 mA	0.10 V
Alimentación del grupo (todas las bobinas)	15 - 30 A pico	0.30 V

Procedimiento: motor en marcha a 2 500 RPM (para que la corriente sea significativa y sostenida), punta roja en el positivo de batería y punta negra en el pin de alimentación de la bobina.

Fase E — Prueba de intercambio

Cambie la bobina sospechosa de cilindro y borre los códigos.

Resultado	Diagnóstico
El código sigue a la bobina	Bobina defectuosa
El código se queda en el cilindro	Bujía, inyector, compresión o circuito

Repita el procedimiento con las bujías. Es la forma más económica de aislar la causa antes de comprar nada.

7 · Valores comunes de resistencia

Componente	Valor
Primario COP (sin IGBT)	0.4 - 1.5 Ω
Primario de bobina con módulo externo	0.5 - 2.0 Ω
Primario de bobina antigua con balastro	1.0 - 2.0 Ω + balastro de 1.2 - 1.8 Ω
Secundario	5 - 15 kΩ
Secundario de bobina DIS (entre las dos torres)	8 - 20 k Ω
Primario con IGBT integrado	No medible — OL es normal
Aislamiento a carcasa	> 10 M Ω
Cable de bujía (resistivo)	3 - 10 kΩ por metro
Bujía resistiva	3 - 8 k Ω

8 · Alimentaciones y tierras

Pin	Función	Valor
1	+12 V desde el relé principal	12.0 - 14.5 V
2	Masa de potencia	< 0.10 V
3	IGT (entrada desde la ECU)	0 $\leftrightarrow$ 5 V
4	IGF (salida hacia la ECU)	0 $\leftrightarrow$ 5 V

Configuración del IGF: en muchos motores de 4 cilindros, **las cuatro bobinas comparten un único cable IGF** conectado en colector abierto. Cualquiera que confirme, baja la línea. La ECU distingue de cuál se trata por el momento del pulso respecto al IGT. **Una sola bobina con el IGF averiado puede afectar a la lectura de todo el grupo.**

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Cálculo 1 — Por qué la corriente NO es V/R

Con un primario de 0.5 Ω y 13.8 V, la Ley de Ohm predice:

$$I = \frac{13.8}{0.5} = 27.6 \text{ A}$$

Pero la bobina nunca alcanza esos 27.6 A. La inductancia lo impide dentro del tiempo disponible, y además el IGBT **limita la corriente** a 6 – 9 A. Lo que gobierna la corriente en una bobina no es la Ley de Ohm, sino:

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

Cálculo 2 — Velocidad de subida y tiempo de saturación

Con $L = 5 \text{ mH}$ y $V = 13.8 \text{ V}$:

$$\frac{di}{dt} = \frac{13.8}{0.005} = 2760 \text{ A/s} = 2.76 \text{ A/ms}$$

$$t_{sat} = \frac{8 \text{ A}}{2.76 \text{ A/ms}} = 2.90 \text{ ms}$$

Con un dwell de 3.0 ms, la bobina alcanza justo la saturación. El margen es de solo 0.1 ms.

Cálculo 3 — El efecto de la caída de voltaje (el cálculo clave del módulo)

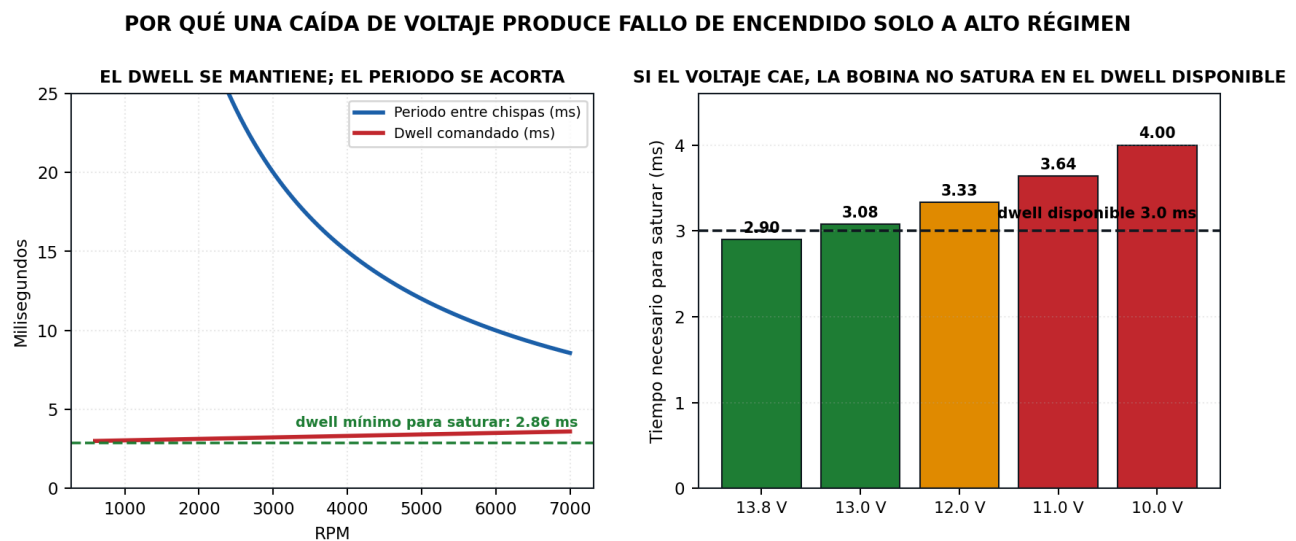


Figura 3: Efecto de la caída de voltaje sobre la saturación

Voltaje en la bobina	di/dt	Tiempo hasta 8 A	¿Satura con 3.0 ms de dwell?
13.8 V	2.76 A/ms	2.90 ms	Sí, justo
13.0 V	2.60 A/ms	3.08 ms	No
12.0 V	2.40 A/ms	3.33 ms	No
11.0 V	2.20 A/ms	3.64 ms	No
10.0 V	2.00 A/ms	4.00 ms	No — 33 % de déficit

Consecuencia energética: si la bobina solo alcanza 6 A en lugar de 8 A:

$$\frac{E_{real}}{E_{nominal}} = \left(\frac{6}{8}\right)^2 = 0.5625$$

Pérdida del 44 % de la energía de chispa con apenas 1.8 V de caída.

Éste es el mecanismo exacto del fallo de encendido que aparece solo a alto régimen y bajo carga. A ralentí el dwell puede alargarse y compensar; a alto régimen no hay tiempo disponible. El síntoma es un P0300 que el escáner no explica y que desaparece al medir en el taller en ralentí.

Cálculo 4 — Energía almacenada

$$E = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2} \times 0.005 \times 8^2 = 0.160 \text{ J} = 160 \text{ mJ}$$

Cálculo 5 — Potencia media del sistema de encendido

A 3 000 RPM en un motor de 4 cilindros hay 100 chispas por segundo:

$$P = 0.160 \times 100 = 16 \text{ W}$$

Con 0.4 V de caída en el circuito y 8 A de corriente durante el dwell, la pérdida adicional es $0.4 \times 8 = 3.2 \text{ W}$ disipados en el cableado — energía que no llega a la bobina y calor que degrada el conector.

Cálculo 6 — Relación de espiras

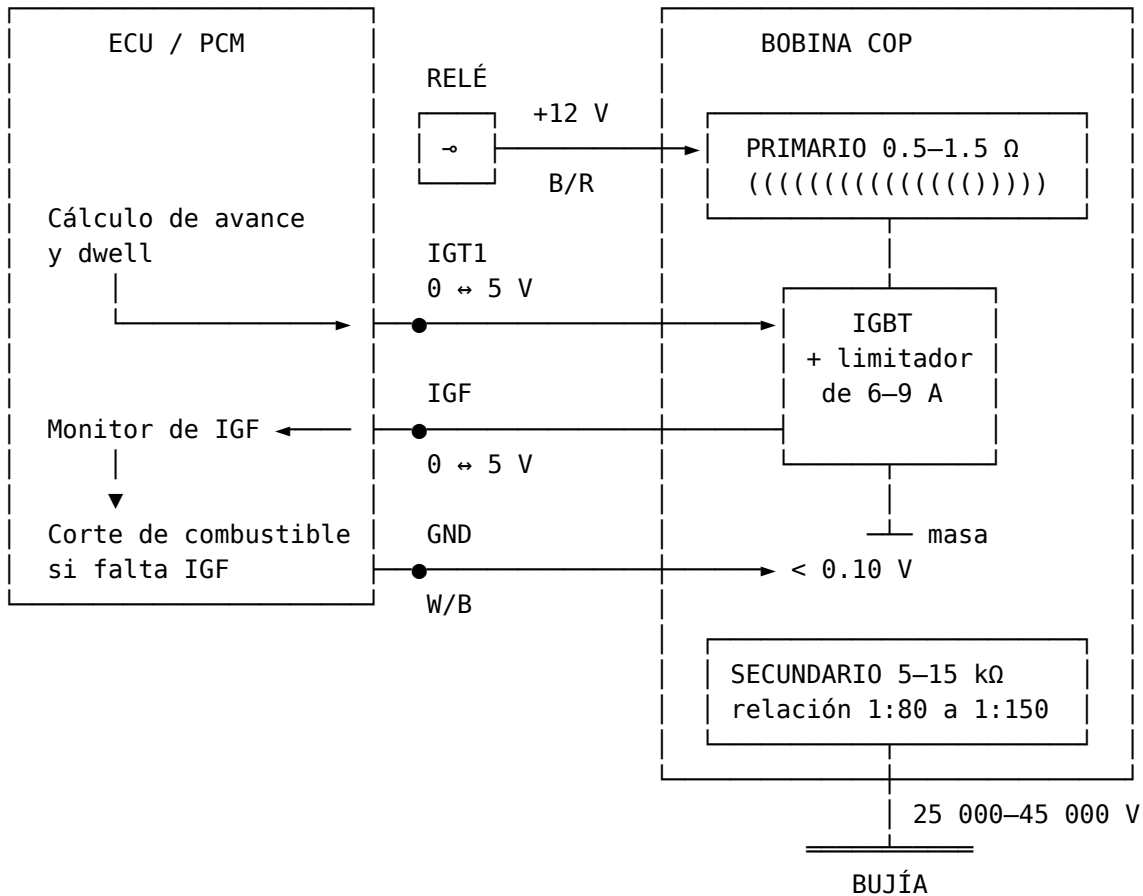
$$\text{Relación} = \frac{V_{sec}}{V_{prim}} = \frac{32\,000}{320} = 100 \Rightarrow 1 : 100$$

Un pico primario **bajo** (por ejemplo 180 V) produce un secundario proporcional de solo 18 000 V. Si el cilindro requiere 20 kV, **no habrá chispa**.

10 · Nomenclatura de cableado

Marca	+12 V	Masa	IGT / control	IGF
Toyota / Denso	+B (B/R)	GND (W/B)	IGT1 - IGT4	IGF (B/Y)
Honda	BLK/YEL	GRN	BLU, YEL, BLU/RED	—
GM	PNK	BLK	LT BLU, DK GRN, YEL, BRN	—
Ford	RED/LT GRN	BLK/WHT	GRY/YEL, WHT/BLU, BRN/WHT	—
VW / Audi	rt/sw	br	gn/ws, gn/ge, gn/br, gn/bl	—
Nissan	B/R	B	R/B, R/W, R/Y, R/G	B/Y

11 · Simbología y diagrama de conexión



IGT: el ancho del pulso ES el dwell. La chispa salta en el flanco de BAJADA.

IGF: sin confirmación → la ECU CORTA EL COMBUSTIBLE de ese cilindro.

✗ NO desconectar la bobina con el motor en marcha.

12 · Análisis de oscilogramas

Desarrollado en detalle en §9.4 (primario) y §9.5 (secundario).

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

El IGT **no es PWM de frecuencia fija**: es un pulso sincronizado con el ciclo del motor cuyo ancho es el dwell.

$$f_{chispa} \text{ (Hz)} = \frac{RPM}{120} \times \frac{n.^{\circ} \text{ cilindros}}{2} \quad (\text{por bobina: } RPM/120)$$

RPM	Frecuencia por bobina	Periodo	Dwell	Ciclo de trabajo del IGT
750	6.25 Hz	160 ms	3.0 ms	1.9 %
2 000	16.7 Hz	60 ms	3.0 ms	5.0 %
4 000	33.3 Hz	30 ms	3.2 ms	10.7 %

RPM	Frecuencia por bobina	Periodo	Dwell	Ciclo de trabajo del IGT
6 000	50 Hz	20 ms	3.4 ms	17 %

Criterio de diagnóstico: el ciclo de trabajo del IGT **debe crecer con las RPM** porque el dwell se mantiene mientras el periodo se acorta. Un ciclo de trabajo que no crece indica que la ECU está recortando el dwell — lo que ocurre cuando detecta voltaje de sistema alto, o cuando hay una estrategia de protección activa.

14 · Análisis de corriente

Desarrollado en detalle en §9.6.

Parámetro	Valor
Corriente de saturación	6 - 9 A
Tiempo hasta la saturación	2.5 - 3.5 ms
Meseta de limitación	Plana, es normal
Diferencia entre bobinas	< 10 %

15 · Preguntas de autoevaluación — Bobina COP

P1. Un motor Toyota registra P0352 (bobina B). Al capturar el primario del cilindro 2, se observa dwell correcto, pico de inducción de 340 V y quemado de 1.7 ms. La bujía está en buen estado. Explique por qué el código puede estar presente pese a que la chispa es correcta, y describa qué debe verificar.

P2. Una bobina de 5.5 mH recibe 12.4 V por caída de voltaje en su circuito. Calcule la velocidad de subida de la corriente, el tiempo necesario para alcanzar 8 A, y determine si saturará con un dwell de 3.1 ms. Calcule además el porcentaje de energía perdida si solo alcanza 7.1 A.

P3. Un técnico mide el primario de una bobina COP y obtiene OL. Concluye que la bobina está abierta y la reemplaza, pero el problema persiste. Explique el error y describa la prueba correcta.

9.2 · BOBINA CON MÓDULO EXTERNO Y BOBINA CON DISTRIBUIDOR

Arquitectura

En esta configuración, el **transistor de potencia está fuera de la bobina**: en un módulo de encendido separado (ICM, *Ignition Control Module*) o dentro de la propia ECU. La bobina es un componente puramente pasivo.

Variante	Descripción	Época
Bobina + módulo externo (ICM)	El módulo conmuta; la ECU ordena por señal lógica	1985 - 2005
Bobina + driver en la ECU	La ECU conmuta directamente la corriente	1990 - 2010
Bobina con distribuidor	Una sola bobina distribuye a todos los cilindros	Hasta ~2000
Bobina con balastro	Resistencia en serie para limitar corriente	Hasta ~1990

La ventaja diagnóstica: en esta configuración **sí se puede medir la resistencia del primario**, porque no hay semiconductor en serie.

1 - 3 · Valores de referencia

Parámetro	Valor
Resistencia del primario	0.5 - 2.0 Ω (con balastro: 1.0 - 2.0 Ω + balastro 1.2 - 1.8 Ω)
Resistencia del secundario	6 - 15 kΩ
Corriente de saturación	5 - 8 A
Dwell en ralentí	2.0 - 6.0 ms
Pico de inducción	200 - 400 V
kV de disparo, ralentí	8 - 15 kV
Tiempo de quemado	1.0 - 2.0 ms
Resistencia del cable de bujía	3 - 10 kΩ por metro
Resistencia del rotor	0 - 5 k Ω
Resistencia de la tapa (por torre)	< 1 k Ω

4 · Síntomas de falla

Los mismos del §9.1, más los específicos de esta arquitectura:

Falla	Síntoma
Módulo de encendido (ICM) degradado	Fallo en caliente que desaparece al enfriar — el síntoma clásico
Cable de bujía con alta resistencia	kV muy alto, quemado corto, fallo bajo carga

Falla	Síntoma
Tapa de distribuidor con pistas de carbón	Fallo cruzado entre cilindros, especialmente con humedad
Rotor perforado	Fallo generalizado
Balastro abierto	El motor arranca y se apaga (algunas configuraciones lo puentean en arranque)
Grasa térmica ausente bajo el ICM	Sobrecalentamiento y fallo intermitente

5 · Soluciones

1. **Verificar la resistencia de cada cable de bujía** y compararlos entre sí.
2. **Inspeccionar la tapa y el rotor** con luz, buscando pistas de carbón, fisuras y erosión de los contactos.
3. **Aplicar grasa térmica** al montar un módulo ICM sobre su disipador. Omitirlo es la causa n.º 1 de fallo prematuro del módulo nuevo.
4. Verificar la alimentación y la masa del módulo.
5. Verificar el balastro si el sistema lo incluye.

6 · Diagnóstico específico

Paso 1 — Resistencia del primario y del secundario (aquí sí es válida).

Paso 2 — Prueba de calentamiento del módulo. Si la falla aparece en caliente, caliente el ICM con pistola de calor a ~80 °C mientras observa el primario. Un módulo degradado deja de conmutar o alarga erráticamente el dwell.

Paso 3 — Verificación de los cables de bujía:

$$R_{cable} = \text{longitud (m)} \times (3 \text{ a } 10 \text{ k}\Omega)$$

Un cable de 60 cm debe medir entre 1.8 y 6 kΩ. **Cualquiera que se desvíe más del 30 % respecto a los demás del mismo juego debe reemplazarse.**

Paso 4 — Caída de voltaje. Alimentación del módulo: 0.20 V. Masa del módulo: **0.10 V** (crítica, porque el disipador suele ser la masa).

7 - 14 · Puntos restantes

Punto	Contenido
7 · Resistencia	Ver tabla del punto 1 — aquí el óhmetro sí es válido en el primario
8 · Alimentaciones	Bobina: 12 V + control desde el ICM. ICM: 12 V, masa (disipador), señal de la ECU, señal del sensor de posición
9 · Ley de Ohm	Idéntico al §9.1. En sistemas con balastro: $I = V / (R_{bobina} + R_{balastro})$
10 · Cableado	GM: PNK (12 V), WHT (control ECU→ICM) · Ford: RED, DK GRN, WHT/RED · Chrysler: DK BLU, GRY

Punto	Contenido
11 · Simbología	Bobina de dos devanados con el transistor fuera del símbolo
12 · Oscilograma	Idéntico al §9.4
13 · PWM	El dwell puede expresarse en grados de distribuidor en sistemas antiguos: $\text{dwell (°)} = (\text{dwell ms} \times \text{RPM} \times \text{n.º cil}) / 20\,000$
14 · Corriente	5 - 8 A. En sistemas con balastro, menor: calcular con la resistencia total

Cálculo del balastro:

Bobina de $1.4\ \Omega$ con balastro de $1.6\ \Omega$ a 13.8 V:

$$I = \frac{13.8}{1.4 + 1.6} = 4.6\ \text{A}$$

Si el balastro se abre, el cilindro muere. Si se pone en corto, la corriente sube a $13.8/1.4 = 9.9$ A y la bobina se sobrecalienta.

15 · Preguntas de autoevaluación — Módulo externo

P1. Un vehículo con bobina y módulo externo funciona bien en frío y falla tras 20 minutos. Al enfriar el módulo con aire comprimido, recupera de inmediato. Describa la prueba que confirma el diagnóstico y la causa más probable del fallo prematuro si el módulo ya fue reemplazado una vez.

P2. Un juego de cables de bujía mide: $4.2\ \text{k}\Omega$, $4.8\ \text{k}\Omega$, $4.5\ \text{k}\Omega$ y $11.6\ \text{k}\Omega$. Determine cuál está fuera de norma, calcule la desviación porcentual respecto a la media de los otros tres y explique el síntoma que producirá.

P3. Calcule la corriente de una bobina de $1.5\ \Omega$ con balastro de $1.4\ \Omega$ a 13.6 V, y la corriente que circularía si el balastro se pusiera en cortocircuito. Explique la consecuencia.

9.3 · BOBINA DIS DE CHISPA PERDIDA

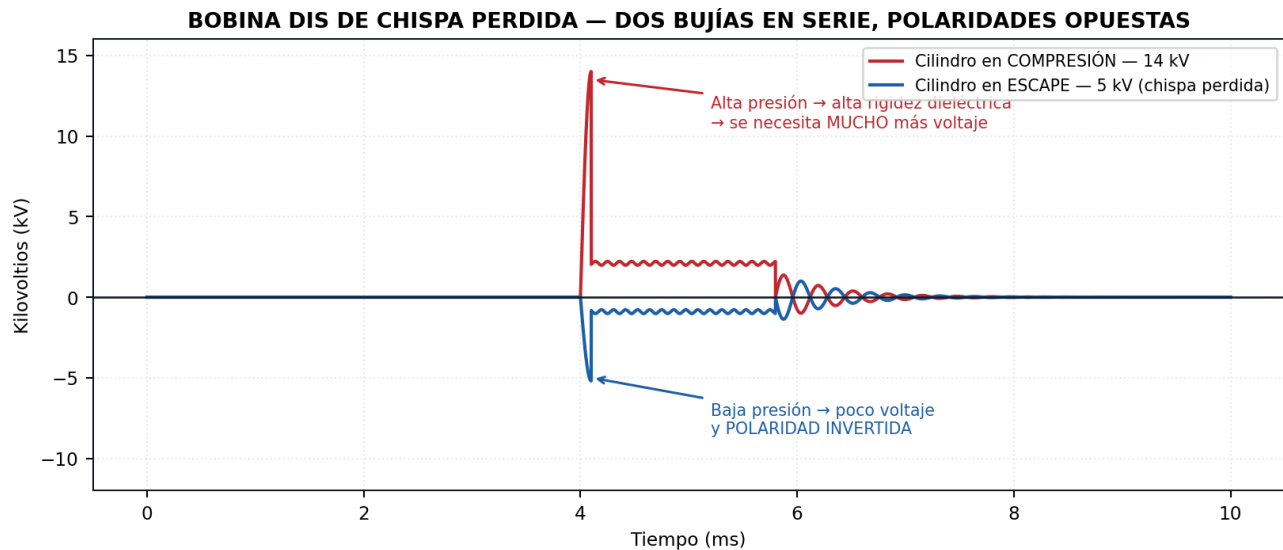


Figura 4: Chispa perdida: dos bujías en serie con polaridades opuestas

Principio

Una sola bobina alimenta **dos bujías conectadas en serie** a través del bloque del motor. Ambas saltan simultáneamente, pero en cilindros que están a 360° uno del otro:

- **Uno está en compresión** → esa chispa **enciende la mezcla**.
- **El otro está al final del escape** → esa chispa se **desperdicia** (de ahí el nombre *waste spark*).

Ventaja: elimina el distribuidor con la mitad de las bobinas de un sistema COP. **Desventaja:** una bobina alimenta dos cilindros, así que un fallo afecta a ambos.

Las dos particularidades eléctricas

1 · Polaridad opuesta. Como las dos bujías están en serie, la corriente entra por el electrodo central en una y por el electrodo de masa en la otra. En el oscilograma, **una aparece positiva y la otra negativa**.

2 · Requerimiento de kV muy desigual. La bujía en compresión trabaja contra alta presión (mayor rigidez dieléctrica) y necesita **10 - 20 kV**. La de escape, a presión casi atmosférica, necesita solo **2 - 6 kV**. El voltaje total que entrega la bobina es la **suma** de ambos.

$$V_{bobina} = V_{comp} + V_{escape}$$

1 · Valores en ralentí

Parámetro	Valor
Resistencia del primario	0.4 - 1.5 Ω

Parámetro	Valor
Resistencia del secundario (entre las dos torres)	8 - 20 kΩ
Corriente de saturación	6 - 9 A
Dwell	2.0 - 4.5 ms
kV del cilindro en compresión	8 - 16 kV
kV del cilindro en escape	2 - 6 kV
Tiempo de quemado	1.0 - 2.0 ms (compartido)
Pico de inducción en el primario	250 - 400 V

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Parámetro	Valor
kV en compresión	10 - 20 kV
kV en escape	3 - 7 kV
Tiempo de quemado	0.9 - 1.7 ms
Corriente de saturación	Sin cambio

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Valor
Diferencia de kV entre las dos bujías	3 : 1 a 5 : 1
Bujías por bobina	2
Bobinas en un 4 cilindros	2
Bobinas en un 6 cilindros	3
Desgaste asimétrico de las bujías	NORMAL — el electrodo de masa se desgasta más en las de polaridad invertida

Un hallazgo que confunde: en un motor de chispa perdida, las bujías de dos cilindros muestran mayor desgaste del **electrodo central** y las otras dos, del **electrodo de masa**. **Esto es normal y esperado**, consecuencia directa de la polaridad opuesta. No indica ninguna falla.

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Bobina abierta o débil	Dos cilindros fallan simultáneamente — la firma inconfundible del sistema
Una bujía con separación excesiva	Sube el kV total; ambas chispas se debilitan
Una bujía en cortocircuito	La otra recibe todo el voltaje; puede sobrecargarse
Cable de bujía defectuoso	Igual que en §9.2
Alimentación con caída	Fallo a alto régimen (§9.6)

Patrón diagnóstico característico: un P0301 y un P0304 simultáneos en un motor de 4 cilindros con orden 1-3-4-2 señalan la **bobina que alimenta a 1 y 4**, no dos bujías averiadas a la vez.

5 · Soluciones

1. **Identificar el emparejamiento de cilindros** en el diagrama antes de nada.
2. Reemplazar **ambas bujías** del par al intervenir.
3. Verificar cables y botas de las dos torres.
4. Reemplazar la bobina cuando el par de cilindros falle simultáneamente y las bujías estén descartadas.

6 · Diagnóstico específico

Paso 1 — Resistencia del secundario entre las dos torres: 8 - 20 kΩ. Este valor **sí es medible y diagnóstico** en las bobinas DIS.

Paso 2 — Captura de secundario con pinza capacitiva en ambas torres. Verifique la relación de kV entre compresión y escape (3:1 a 5:1) y que la polaridad sea opuesta.

Paso 3 — Prueba de intercambio de bujías entre los dos cilindros del par: si el fallo se mueve, la bujía es la causa.

Paso 4 — Caída de voltaje. Idéntica al §9.1 Fase D.

7 - 14 · Puntos restantes

Punto	Contenido
7 · Resistencia	Primario 0.4 - 1.5 Ω · Secundario entre torres 8 - 20 kΩ · Aislamiento > 10 MΩ
8 · Alimentaciones	12 V común · un control de lado bajo por bobina · masa
9 · Ley de Ohm	Idéntico al §9.1. La suma de kV de ambas bujías es el voltaje total del secundario
10 · Cableado	GM: PNK (12 V), LT BLU/DK GRN (controles) · Ford: RED, GRY/YEL, WHT/BLU
11 · Simbología	Un devanado secundario con dos torres y sin masa central
12 · Oscilograma	Verificar polaridad opuesta y relación de kV. La captura de ambas torres a la vez es la más reveladora
13 · PWM	Cada bobina dispara una vez por vuelta de cigüeñal (no cada dos): $f = RPM/60$
14 · Corriente	6 - 9 A. La frecuencia de disparo es el doble que en un sistema COP secuencial

Consecuencia térmica del punto 13: una bobina de chispa perdida dispara **el doble de veces** que una COP secuencial al mismo régimen. Por eso trabajan más caliente y por eso su vida útil suele ser menor.

15 · Preguntas de autoevaluación — Chispa perdida

P1. Un motor de 4 cilindros con orden de encendido 1-3-4-2 registra P0302 y P0303 simultáneamente. Explique qué componente señala este patrón y por qué.

P2. En una captura de secundario, la bujía en compresión requiere 13.5 kV y la de escape 4.2 kV. Calcule el voltaje total que la bobina debe entregar y la relación entre ambas. Determine si está dentro de lo normal.

P3. Un técnico observa que dos bujías de un motor DIS tienen el electrodo central desgastado y las otras dos el electrodo de masa. Explique si esto indica una falla y por qué.

9.4 · ANÁLISIS DEL OSCIOGRAMA PRIMARIO

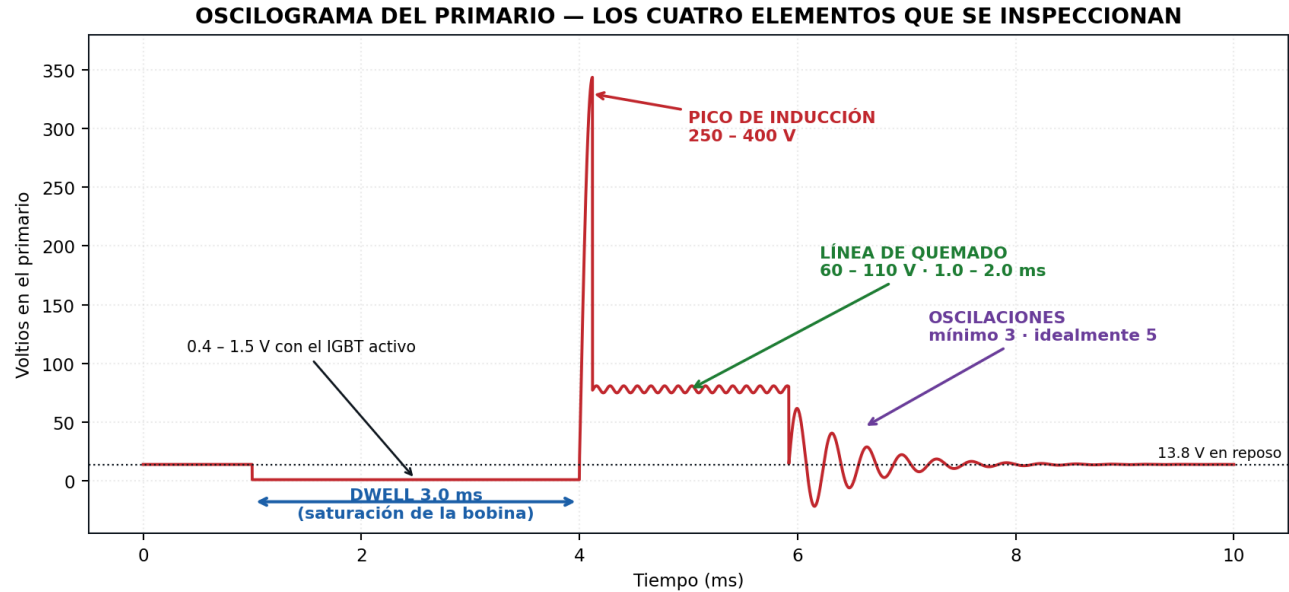


Figura 5: Oscilograma del primario con sus cuatro elementos

Configuración del osciloscopio

Ajuste	Valor	Justificación
Sonda	×10 o ×20 obligatoria	El pico alcanza 400 V
Acoplamiento	DC	Para ver el nivel de reposo
V/div	50 - 100 V/div (rango 0 - 500 V)	Debe caber el pico completo
Time/div	1 - 2 ms/div	Para ver dwell, pico, quemado y oscilaciones
Trigger	Flanco de subida, nivel 100 V	Dispara en el pico de inducción
Referencia	Masa de la bobina	No el chasis
Modo	Continuo para observar estabilidad; single shot para capturar eventos	

Los cuatro elementos y su lectura

1 · El dwell (tiempo de saturación)

Criterio	Valor
Duración en ralentí	1.5 - 4.0 ms
Nivel de voltaje durante el dwell	0.4 - 1.5 V
Estabilidad entre eventos	±0.1 ms

Interpretación del nivel de voltaje durante el dwell:

Valor	Diagnóstico
0.4 - 1.5 V	Normal — saturación del IGBT
> 2.5 V	Driver degradado o resistencia parásita
0 V exactos	Cortocircuito a masa
No baja de 12 V	El driver no conmuta: sin orden o transistor abierto

2 · El pico de inducción

Criterio	Valor
Altura	250 - 400 V
Forma	Vertical, sin escalones

Hallazgo	Diagnóstico
250 - 400 V	Bobina sana
< 200 V	Espiras en corto en el primario o secundario
> 450 V	Circuito secundario abierto (cable desconectado, bujía sin masa)
Escalonado	Aislamiento perforado con arco interno
Ausente	Bobina abierta o driver que no corta

El pico es proporcional a la energía almacenada. Un pico bajo significa menos energía, y por la relación de espiras, un secundario proporcionalmente menor. Con 180 V de pico y una relación 1:100, el secundario solo puede entregar 18 kV — insuficiente si el cilindro requiere 20 kV bajo carga.

3 · La línea de quemado

Criterio	Valor en el primario
Altura	60 - 110 V
Duración	1.0 - 2.0 ms
Forma	Ligeramente descendente, con turbulencia fina
Mínimo aceptable	0.8 ms

La turbulencia de la línea de quemado es información, no ruido. Refleja el movimiento del frente de llama y de la mezcla alrededor del electrodo. Una línea perfectamente lisa puede indicar que no hay combustión (mezcla ausente).

4 · Las oscilaciones

Criterio	Valor
Número visible	Mínimo 3 · idealmente 5 - 6
Amplitud decreciente	Sí, exponencial
Frecuencia	Determinada por L y C de la bobina

Hallazgo	Diagnóstico
4 - 6 oscilaciones nítidas	Bobina sana
1 - 2 oscilaciones	Espiras en corto — la bobina se amortigua a sí misma
Ninguna	Bobina muy degradada o cortocircuito en el secundario

Por qué las oscilaciones indican el estado de la bobina: tras la chispa queda energía residual que oscila entre la inductancia y la capacidad parásita de la bobina (circuito LC). Unas espiras en corto actúan como una resistencia que **disipa** esa energía y amortigua la oscilación. **Contar las oscilaciones es la forma más rápida de evaluar una bobina.**

LA REGLA MAESTRA: PICO Y QUEMADO SE MUEVEN EN SENTIDOS OPUESTOS

PATOLOGÍAS DEL PRIMARIO — PICO Y QUEMADO SE MUEVEN EN SENTIDOS OPUESTOS

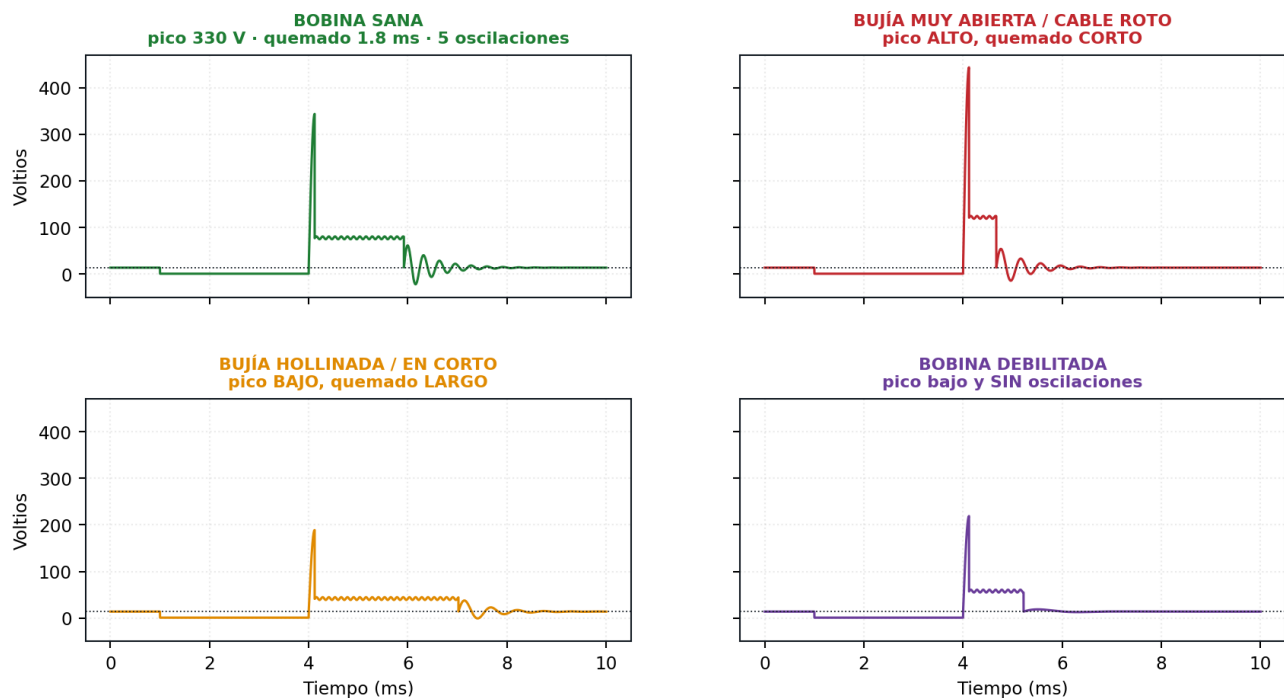


Figura 6: Patologías del primario

La energía total de la chispa es aproximadamente constante. Si se reparte en más voltaje, dura menos tiempo; si se reparte en menos voltaje, dura más:

$$V_{disparo} \times t_{quemado} \approx \text{constante}$$

Pico / kV	Quemado	Diagnóstico
ALTO	CORTO	Alta resistencia en el secundario: bujía muy abierta o desgastada, cable defectuoso, terminal corroído, mezcla pobre
BAJO	LARGO	Baja resistencia en el secundario: bujía hollinada o mojada, aislamiento con fuga, mezcla rica
Normal	Normal	Sistema correcto
Bajo	Corto	Bobina débil — no hay energía suficiente para ninguna de las dos

Ésta es la tabla más útil del módulo. Con un solo vistazo al oscilograma se distingue un problema de bujía de un problema de bobina, y un problema de resistencia de un problema de fuga.

Comparación entre cilindros

Capture los cuatro cilindros y superpóngalos, o use la vista en desfile (§9.5).

Criterio	Tolerancia
Pico de inducción	±15 % entre cilindros
Tiempo de quemado	±20 %
Dwell	±5 %
Número de oscilaciones	Igual en todos

9.5 · ANÁLISIS DEL SECUNDARIO CON PINZA CAPACITIVA

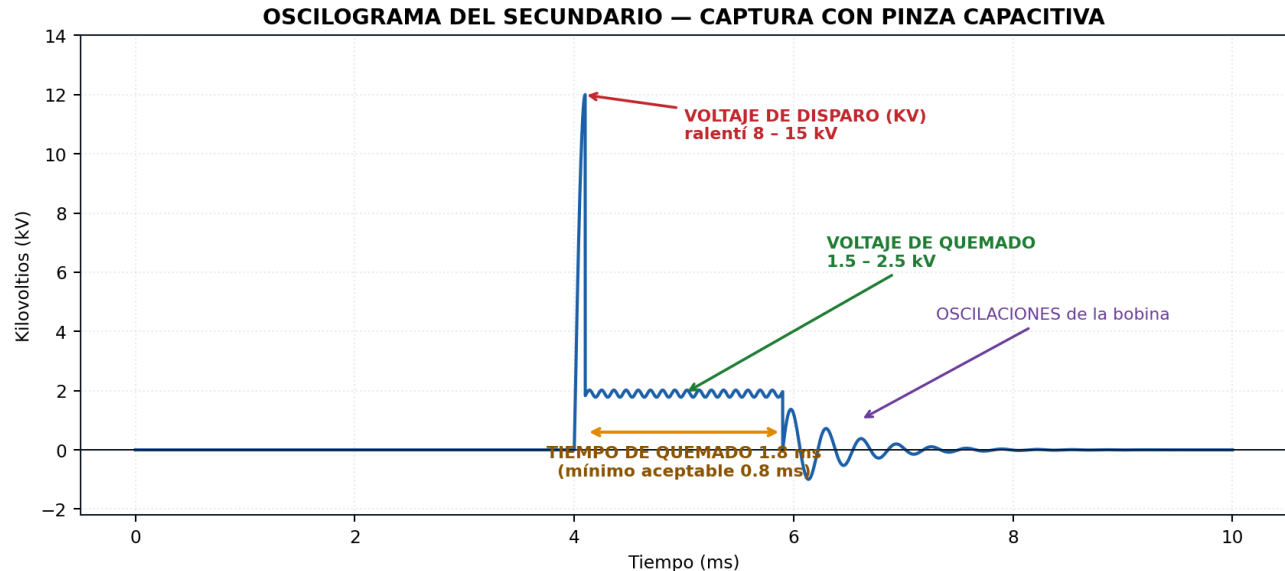


Figura 7: Oscilograma del secundario

La pinza capacitiva

No hay contacto eléctrico con el secundario: la pinza **capta el campo eléctrico** a través del aislamiento del cable o de la bota. La atenuación típica es de **1 000:1 a 10 000:1** según el modelo.

Configuración	Valor
Acoplamiento	DC
Escala	Según la pinza: normalmente 5 - 10 kV/div
Time/div	1 - 2 ms/div
Trigger	Flanco de subida en el pico de disparo
Orientación de la pinza	Respetar la flecha — invertirla invierte la polaridad en pantalla

En bobinas COP sin cable accesible, se usa un **adaptador de extensión** (*COP probe*) que se apoya sobre el cuerpo de la bobina y capta el campo por inducción. La calibración es aproximada, por lo que estos adaptadores sirven para **comparar cilindros entre sí**, no para medir kV absolutos con precisión.

Los cuatro elementos del secundario

Elemento	Valor normal	Qué revela
Voltaje de disparo (kV)	8 - 15 kV ralentí · 10 - 25 kV carga	Resistencia total del circuito secundario

Elemento	Valor normal	Qué revela
Voltaje de la línea de quemado	1.5 - 2.5 kV	Resistencia durante el arco
Tiempo de quemado	1.0 - 2.0 ms (mínimo 0.8)	Energía disponible y resistencia
Oscilaciones	3 - 6	Estado de la bobina

Requerimiento de kV según las condiciones

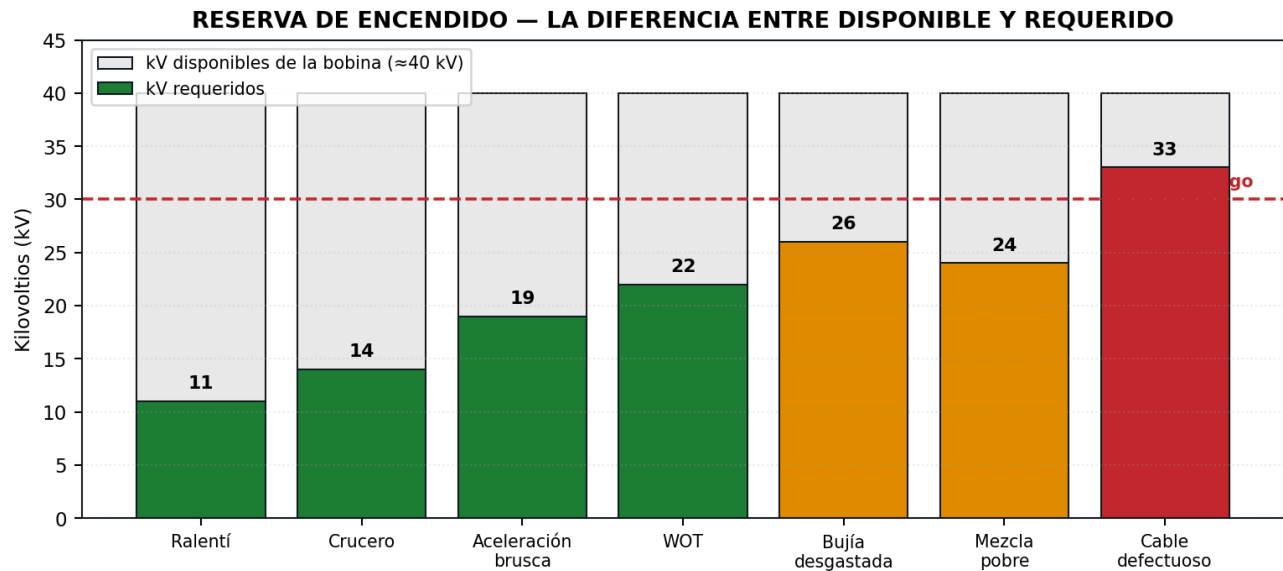


Figura 8: Reserva de encendido

Condición	kV requeridos	Motivo
Ralentí	8 - 15	Baja presión, mezcla estable
Crucero	12 - 18	Mayor presión
Aceleración brusca	15 - 25	Presión máxima, mezcla en movimiento
WOT	18 - 25	Máxima presión
Bujía desgastada (separación abierta)	22 - 30	Mayor distancia a ionizar
Mezcla pobre	20 - 28	Menor conductividad de la mezcla
Cable o terminal defectuoso	28 - 40	Resistencia parásita en serie

Reserva de encendido:

$$\text{Reserva (\%)} = \frac{kV_{\text{disponibles}} - kV_{\text{requeridos}}}{kV_{\text{disponibles}}} \times 100$$

Con 40 kV disponibles y 15 kV requeridos:

$$\text{Reserva} = \frac{40 - 15}{40} \times 100 = 62.5 \%$$

Reserva	Interpretación
> 60 %	Excelente
40 - 60 %	Aceptable; vigilar bujías
< 40 %	Riesgo de fallo bajo carga
< 25 %	Fallo prácticamente asegurado en aceleración

Las cuatro vistas del análisis secundario

Vista	Descripción	Uso
Superpuesta (<i>superimposed</i>)	Todos los cilindros sobre el mismo trazo	Detectar diferencias de un vistazo
En desfile (<i>parade</i>)	Cilindros uno tras otro en orden de encendido	Comparar kV de disparo entre cilindros
Raster (<i>stacked</i>)	Cilindros apilados verticalmente	Comparar tiempos de quemado
Cilindro individual	Un solo cilindro ampliado	Análisis detallado

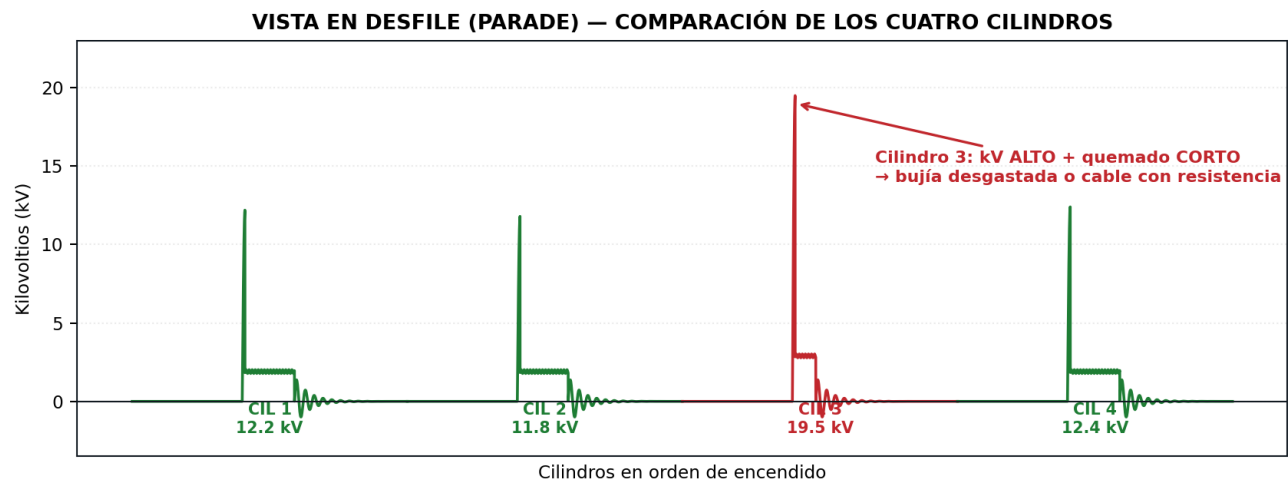


Figura 9: Vista en desfile de los cuatro cilindros

Criterios de comparación en la vista en desfile:

Criterio	Tolerancia
kV de disparo entre cilindros	±20 %
Un cilindro con kV notablemente alto	Bujía, cable o terminal de ese cilindro
Un cilindro con kV notablemente bajo	Bujía hollinada, o compresión baja en ese cilindro

Criterio	Tolerancia
Todos altos por igual	Mezcla pobre, presión de combustible, o bujías agotadas
Todos bajos por igual	Mezcla rica

El secundario diagnostica el interior del cilindro. Un cilindro con compresión baja requiere **menos** kV porque hay menos presión que ionizar. Un kV llamativamente bajo en un solo cilindro, con bujía nueva, es un indicio de compresión — verifíquelo con compresión relativa (Módulo 1, §1.9).

Procedimiento de análisis en 6 pasos

1. **Capture en ralentí** y registre kV, quemado y oscilaciones de cada cilindro.
2. **Compare en vista de desfile** buscando el cilindro que se desvía.
3. **Capture durante una aceleración brusca** — es donde el sistema se exige.
4. **Capture bajo carga sostenida** (elevador o carretera) si el síntoma solo aparece así.
5. **Aplique la regla de sentidos opuestos** (§9.4) para clasificar la falla.
6. **Correlacione con los demás módulos:** kV alto en todos + LTFT positivo = mezcla pobre (Módulo 4); kV bajo en uno + compresión relativa baja = mecánica (Módulo 1).

9.6 · RAMPA DE CORRIENTE, DWELL Y SATURACIÓN

SATURACIÓN DE LA BOBINA — LA RAMPA DEMUESTRA QUE LA ENERGÍA SE ALMACENÓ

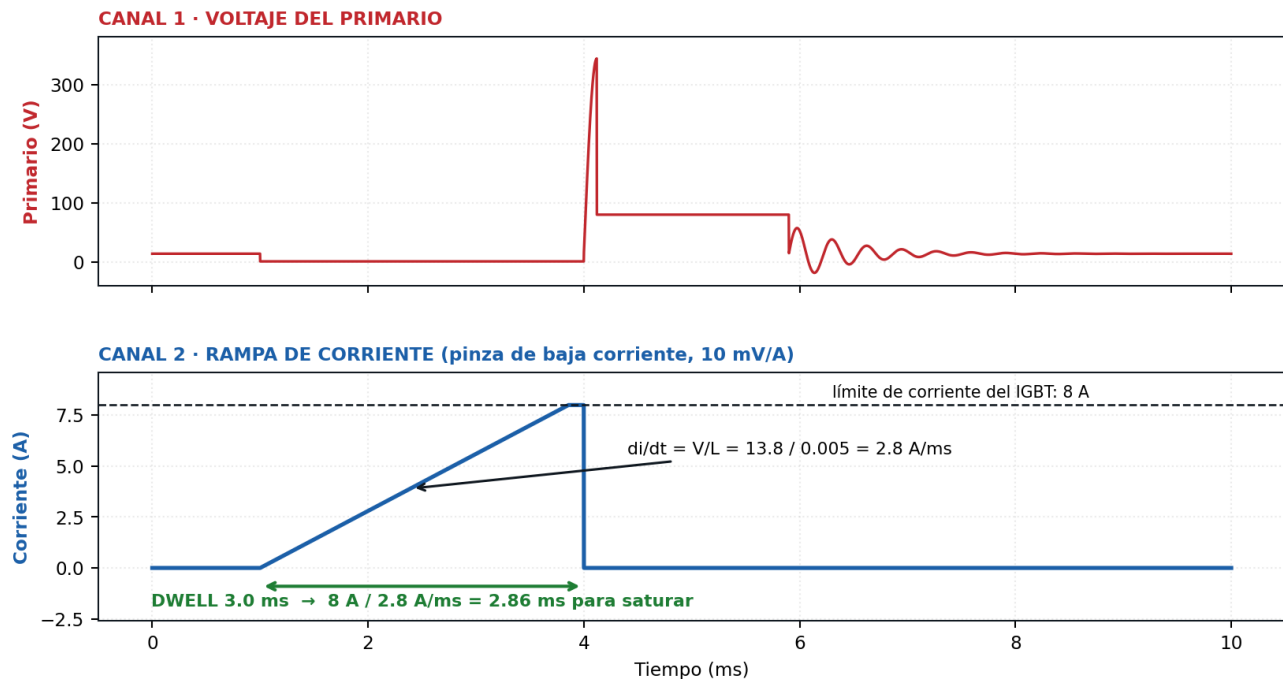


Figura 10: Rampa de corriente y dwell

Por qué la corriente es la prueba definitiva

El primario muestra que **el driver conmutó**. El secundario muestra que **hubo chispa**. La corriente muestra **cuánta energía se almacenó**, que es lo que determina si esa chispa será capaz de encender la mezcla bajo carga.

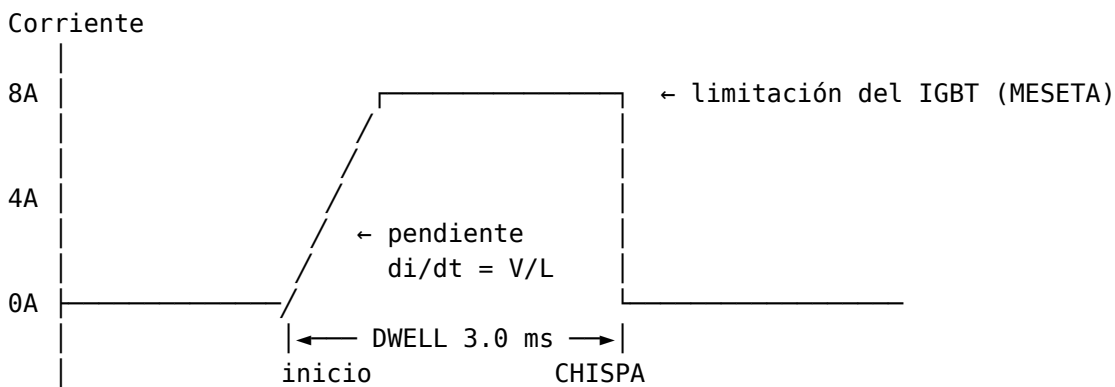
$$E = \frac{1}{2}LI^2$$

La energía va con el CUADRADO de la corriente. Perder un 25 % de corriente significa perder un **44 %** de energía.

Configuración

Ajuste	Valor
Pinza	Baja corriente, escala 10 mV/A
A/div	2 A/div
Time/div	1 - 2 ms/div
Canal 2	Voltaje del primario con sonda ×10
Trigger	Flanco de bajada del primario
Puesta a cero	Obligatoria antes de cada captura

Anatomía de la rampa



Elemento	Valor	Qué revela
Pendiente inicial	2.5 - 3.0 A/ms	Voltaje disponible e inductancia
Corriente máxima	6 - 9 A	Energía almacenada
Meseta de limitación	Plana, presente	El IGBT está limitando: normal y deseable
Duración total (dwell)	2.5 - 4.0 ms	Tiempo que el driver mantiene la conducción
Caída al final	Instantánea	El corte que genera la chispa

Interpretación

Hallazgo	Diagnóstico
Rampa normal con meseta	Bobina y circuito sanos
Sin meseta — la corriente sigue subiendo al cortar	El dwell es insuficiente : la bobina no llegó a saturar
Pendiente reducida	Caída de voltaje en el circuito, o inductancia aumentada
Pendiente excesiva y pico muy alto	Espiras en corto (menor inductancia) — riesgo para el driver
Meseta a corriente baja (ej. 4 A en lugar de 8 A)	Limitador degradado o alimentación insuficiente
Corriente errática	Conexión intermitente
Sin corriente	Sin alimentación, bobina abierta o driver que no conmuta

El cálculo que resuelve el fallo a alto régimen

Datos: bobina de 5 mH, corriente objetivo 8 A, dwell disponible 3.0 ms.

Paso 1 — Tiempo necesario para saturar a distintos voltajes:

$$t_{sat} = \frac{I \times L}{V}$$

Voltaje en la bobina	t_{sat}	¿Satura con 3.0 ms?	Corriente alcanzada	Energía relativa
13.8 V	2.90 ms	Sí	8.0 A	100 %
13.0 V	3.08 ms	No	7.8 A	95 %
12.0 V	3.33 ms	No	7.2 A	81 %
11.0 V	3.64 ms	No	6.6 A	68 %
10.0 V	4.00 ms	No	6.0 A	56 %

Paso 2 — Corriente alcanzada cuando no satura:

$$I_{alcanzada} = \frac{V \times t_{dwell}}{L}$$

Con 11.0 V y 3.0 ms:

$$I = \frac{11.0 \times 0.003}{0.005} = 6.6 \text{ A}$$

Paso 3 — Energía perdida:

$$\frac{E}{E_{nominal}} = \left(\frac{6.6}{8.0} \right)^2 = 0.68 \Rightarrow \textbf{32 \% de pérdida}$$

Con 2.8 V de caída, el sistema pierde un tercio de su energía de chispa. A ralentí no se nota porque el kV requerido es bajo. **Bajo carga, donde se requieren 22 kV, la bobina ya no puede entregarlos y aparece el fallo de encendido.** El escáner registra P0300 y el técnico cambia bujías y bobinas sin resolver nada, porque la falla está en el cableado.

Relación entre dwell y RPM

RPM (4 cil.)	Periodo entre chispas	Dwell comandado	Margen
750	160 ms	3.0 ms	Enorme
2 000	60 ms	3.0 ms	Amplio
4 000	30 ms	3.2 ms	Cómodo
7 000	17 ms	3.4 ms	Suficiente

El periodo nunca llega a limitar el dwell en un motor de 4 cilindros. Lo que limita es el **voltaje disponible**. Por eso el diagnóstico de fallo a alto régimen empieza siempre por la caída de voltaje de la alimentación y la masa de las bobinas, no por el dwell.

Excepción: en motores de 8 y 12 cilindros con una bobina por par, o en motores de competición a más de 9 000 RPM, el periodo sí puede acercarse al dwell necesario.

Prueba de caída de voltaje aplicada a la bobina

Circuito	Corriente	Límite	Efecto de superarlo
Alimentación	6 - 9 A	0.20 V	0.20 V = 1.4 % menos corriente (despreciable)
Masa	6 - 9 A	0.10 V	—
Ambos combinados > 1.0 V	—	—	Pérdida de energía > 15 %
Ambos combinados > 2.0 V	—	—	Fallo de encendido bajo carga

Procedimiento: mida con el motor a **2 500 RPM y bajo carga** si es posible, no en ralentí. La caída solo aparece cuando circula la corriente completa de forma sostenida.

CUESTIONARIO INTEGRADOR — MÓDULO 9

1. Una bobina de 4.8 mH debe alcanzar 7.5 A. Calcule el tiempo de saturación con 13.9 V y con 11.6 V, y determine cuál de los dos casos saturará con un dwell de 3.2 ms.
 2. Calcule la energía almacenada por una bobina de 6 mH que alcanza 8.5 A, y la potencia media del sistema de encendido en un motor de 6 cilindros a 3 500 RPM.
 3. Un oscilograma de primario muestra pico de 195 V, quemado de 2.8 ms y solo 2 oscilaciones. Aplique la regla de sentidos opuestos, emita el diagnóstico y justifique por qué las oscilaciones confirman la conclusión.
 4. Otro cilindro del mismo motor muestra pico de 440 V, quemado de 0.6 ms y 5 oscilaciones. Emita el diagnóstico y enumere las tres causas posibles en orden de probabilidad.
 5. Explique por qué la resistencia del primario de una bobina COP con IGBT integrado mide OL y por qué eso **no** significa que la bobina esté averiada. Describa la prueba correcta.
 6. Un motor de chispa perdida presenta P0302 y P0303 simultáneamente, con orden de encendido 1-3-4-2. Determine qué componente señala el patrón y describa la prueba de confirmación.
 7. Calcule la reserva de encendido de un sistema con 38 kV disponibles que requiere 26 kV bajo carga. Determine si está dentro de lo aceptable y qué recomendaría.
 8. Un vehículo presenta P0300 aleatorio solo por encima de 4 000 RPM y bajo carga. En el taller, en ralentí, todo mide correcto. Describa la prueba que localiza la falla, indique sus límites y explique el mecanismo físico completo.
 9. Una bobina de 5.2 mH recibe 12.1 V y dispone de 2.9 ms de dwell. Calcule la corriente que alcanzará, compárela con los 8 A nominales y determine el porcentaje de energía perdida.
 10. Un cilindro muestra 6.8 kV de disparo cuando los otros tres muestran 12 - 13 kV, con bujía nueva y cable verificado. Explique qué está indicando el secundario, qué prueba de otro módulo del curso realizaría y por qué.
-

HOJA DE REFERENCIA RÁPIDA — MÓDULO 9

FÓRMULAS

$$di/dt = V / L$$

$$t_{\text{saturación}} = (I \times L) / V$$

$$I_{\text{alcanzada}} = (V \times t_{\text{dwell}}) / L$$

$$E = \frac{1}{2} L I^2 \rightarrow \text{la energía va con el CUADRADO de la corriente}$$

$$V_{\text{secundario}} = V_{\text{primario}} \times \text{relación de espiras (1:80 a 1:150)}$$

$$\text{Periodo entre chispas (ms)} = 120\,000 / (\text{RPM} \times n.^{\circ}\text{cil} / 2)$$

$$\text{Reserva (\%)} = (\text{kV disponibles} - \text{kV requeridos}) / \text{kV disponibles} \times 100$$

VALORES DE REFERENCIA

Primario (sin IGBT) 0.4 – 2.0 Ω

Primario CON IGBT NO MEDIBLE – OL es NORMAL

Secundario 5 – 15 k Ω

Secundario DIS (entre torres) 8 – 20 k Ω

Inductancia del primario 3 – 8 mH

Corriente de saturación 6 – 9 A

Dwell 1.5 – 5.0 ms

Pico de inducción (primario) 250 – 400 V

Línea de quemado (primario) 60 – 110 V

Tiempo de quemado 1.0 – 2.0 ms (mínimo 0.8)

Oscilaciones mínimo 3 · idealmente 5

kV disparo ralenti 8 – 15 kV

kV disparo bajo carga 15 – 25 kV

kV disponibles 25 – 45 kV

Cable de bujía 3 – 10 k Ω por metro

★ REGLA MAESTRA: PICO Y QUEMADO SE MUEVEN EN SENTIDOS OPUESTOS

kV ALTO + quemado CORTO → ALTA resistencia en el secundario:

bujía abierta/desgastada · cable · terminal · mezcla pobre

kV BAJO + quemado LARGO → BAJA resistencia en el secundario:

bujía hollinada o mojada · fuga de aislamiento · rica

kV BAJO + quemado CORTO → BOBINA DÉBIL (no hay energía)

kV BAJO en UN cilindro con bujía nueva → COMPRESIÓN BAJA (Módulo 1)

DIAGNÓSTICO DEL PRIMARIO

Nivel durante el dwell 0.4 – 1.5 V (> 2.5 V = driver/resistencia)

Pico < 200 V espiras en corto

Pico > 450 V secundario abierto (cable/bujía sin masa)

1 – 2 oscilaciones espiras en corto (la bobina se amortigua)

EFFECTO DE LA CAÍDA DE VOLTAJE (bobina 5 mH · 8 A · dwell 3.0 ms)

13.8 V → satura en 2.90 ms → 8.0 A → 100 % de energía

12.0 V → 3.33 ms → alcanza 7.2 A → 81 %

11.0 V → 3.64 ms → alcanza 6.6 A → 68 %

10.0 V → 4.00 ms → alcanza 6.0 A → 56 %

LÍMITES: alimentación 0.20 V · masa 0.10 V

Ambos combinados > 2.0 V → FALLO DE ENCENDIDO BAJO CARGA

→ ÉSTE es el mecanismo del P0300 que solo aparece a alto régimen.

IGT / IGF (Toyota, Denso, Nissan)
 IGT: ECU → bobina · el ANCHO del pulso ES el dwell
 la chispa salta en el FLANCO DE BAJADA · 0 ↔ 5 V
 IGF: bobina → ECU · confirma la chispa
 SIN IGF la ECU CORTA EL COMBUSTIBLE de ese cilindro
 → Un P0351–P0358 puede aparecer CON chispa presente: revise el IGF.

CHISPA PERDIDA (DIS)

Dos bujías en serie · polaridades OPUESTAS
 Compresión 8 – 16 kV · Escape 2 – 6 kV · relación 3:1 a 5:1
 $V_{\text{bobina}} = V_{\text{compresión}} + V_{\text{escape}}$
 Dispara 1 vez por vuelta ($f = \text{RPM}/60$) → el DOBLE que una COP
 Desgaste asimétrico de electrodos = NORMAL, no es falla
 DOS cilindros fallando a la vez = LA BOBINA de ese par

RESERVA DE ENCENDIDO

> 60 % excelente · 40 – 60 % aceptable · < 40 % riesgo bajo carga

OSCILOSCOPIO

Primario sonda $\times 10$ · 50–100 V/div · 1–2 ms/div · trigger a 100 V
 Secundario ... pinza capacitiva · 5–10 kV/div · respetar la FLECHA
 Corriente pinza 10 mV/A · 2 A/div · poner a CERO antes de capturar
 Vistas: superpuesta · DESFILE (comparar kV) · raster · individual

< SEGURIDAD: 25 000 – 45 000 V en el secundario.

NO desconectar bobinas con el motor en marcha (destruye la bobina).

Usar pinza capacitiva, nunca contacto directo. Marcapasos: alejarse.

CÓDIGOS CLAVE

P0300 fallo aleatorio · P0301–P0312 por cilindro

P0351–P0358 circuito de bobina A–H (¡puede ser el IGF!)

P2300–P2317 control de bobina bajo/alto

Fin del Módulo 9. El Módulo 10 (Actuadores de Control de Aire y Par) desarrolla el IAC de motor paso a paso, el IAC rotativo PWM, el cuerpo de aceleración electrónico con su puente H, y los actuadores de admisión variable.