

MÓDULO 1 — SENSORES DE SINCRONISMO (CKP / CMP)

Curso Master: Sensores y Actuadores Automotrices · Diagnóstico Electrónico Avanzado

Índice

PRESENTACIÓN DEL MÓDULO	4
1.1 · CKP DE RELUCTANCIA VARIABLE (VR / INDUCTIVO) — 2 HILOS	5
Principio de funcionamiento	5
1 · Valores en ralentí (~750 RPM)	5
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	6
3 · Rango de funcionamiento normal	7
4 · Síntomas de falla	7
5 · Posibles soluciones y reparaciones	7
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso	8
7 · Valores comunes de resistencia	9
8 · Alimentaciones y tierras	10
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	10
10 · Nomenclatura de cableado	11
11 · Simbología y diagrama de conexión	11
12 · Análisis de oscilogramas	11
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	13
14 · Análisis de corriente	13
15 · Preguntas de autoevaluación — CKP VR	13
1.2 · CKP DE EFECTO HALL — 3 HILOS	14
Principio de funcionamiento	14
1 · Valores en ralentí (~750 RPM)	14
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	15
3 · Rango de funcionamiento normal	15
4 · Síntomas de falla	15
5 · Posibles soluciones y reparaciones	16
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso	16
7 · Valores comunes de resistencia	17
8 · Alimentaciones y tierras	17
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	18
10 · Nomenclatura de cableado	18
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 — CKP Hall	21
1.3 · CKP MAGNETORRESISTIVO (MRE)	22
Principio de funcionamiento	22
Diferencias clave con Hall y VR	22
1 · Valores en ralentí	23
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	23
3 · Rango de funcionamiento normal	23
4 · Síntomas de falla	23
5 · Soluciones y reparaciones	24
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado	24
7 · Valores comunes de resistencia	25
8 · Alimentaciones y tierras	25
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	25
10 · Nomenclatura de cableado	25
11 · Simbología y diagrama de conexión	26
12 · Análisis de oscilogramas	26
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	26
14 · Análisis de corriente	27
15 · Preguntas de autoevaluación — CKP MRE	27
1.4 · SENSOR CMP — POSICIÓN DEL ÁRBOL DE LEVAS	28
Función y por qué existe	28
Tipos constructivos	28
1 · Valores en ralentí (~750 RPM)	28
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	29
3 · Rango de funcionamiento normal	30
4 · Síntomas de falla	30
5 · Posibles soluciones y reparaciones	31
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso	31
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	33
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	34
14 · Análisis de corriente	34
15 · Preguntas de autoevaluación — CMP	34
1.5 · RUEDAS RELUCTORAS: PATRONES Y CÓMO INTERPRETARLOS	36
Por qué el patrón importa para el diagnóstico	36
Tabla maestra de patrones	36
Conversiones fundamentales que hay que memorizar	37
Cómo identificar el patrón sin el manual	37
Ruedas sin hueco: la excepción a conocer	37
Fallas mecánicas de la rueda reluctora	38
1.6 · ANÁLISIS DINÁMICO DE SINCRONISMO DE 720°	39

Concepto	39
Configuración de la captura	40
Los cuatro puntos de verificación	40
Procedimiento completo de la prueba	41
Tabla de interpretación de resultados	41
1.7 · CORRELACIÓN CKP / CMP — P0016, P0017, P0018, P0019	43
Qué evalúa realmente la ECU	43
Los cuatro códigos y su significado exacto	43
Causas posibles, en orden de frecuencia real de taller	43
Método de cuantificación del estiramiento de cadena	44
Diferenciación rápida: ¿cadena o VVT?	45
1.8 · RUIDO ELÉCTRICO, FALSOS DISPAROS Y SALTOS DE DIENTE	46
El problema	46
Las cinco fuentes de ruido, en orden de frecuencia	46
Cómo se ve el ruido en el osciloscopio	46
Procedimiento de aislamiento del ruido	47
Salto de diente: el fenómeno y su detección	47
1.9 · COMPRESIÓN RELATIVA SINCRONIZADA CON EL CKP	48
Concepto	48
Configuración de la prueba	48
Interpretación	49
Identificación del cilindro con el CKP	49
Ventajas y límites de la prueba	50
CUESTIONARIO INTEGRADOR — MÓDULO 1	51
HOJA DE REFERENCIA RÁPIDA — MÓDULO 1	52

PRESENTACIÓN DEL MÓDULO

El sincronismo es la **variable maestra** de todo motor de gestión electrónica. Sin señal de CKP no hay inyección, no hay encendido y no hay arranque: la ECU apaga los drivers por seguridad. Sin CMP, un motor secuencial arranca lento, con tirones, o directamente no arranca.

Pero el problema real del taller no es el “no arranca por CKP roto”. Ese lo resuelve cualquiera. El problema real son:

- El motor que arranca, funciona, **no da código** y tiene falta de potencia porque la cadena está estirada 8°.
- El P0016 que se atiende cambiando el sensor CMP cuando el culpable es el solenoide VVT tapado.
- El corte intermitente en caliente que solo se ve capturando el CKP con osciloscopio durante 40 minutos.
- El P0300 aleatorio que en realidad es un volante bimasa agrietado que le entrega dientes irregulares al CKP.

Este módulo entrega el método para resolver esos cuatro casos.

Nomenclatura del módulo:

Sigla	Significado
CKP	<i>Crankshaft Position Sensor</i> — sensor de posición del cigüeñal
CMP	<i>Camshaft Position Sensor</i> — sensor de posición del árbol de levas
VR	<i>Variable Reluctance</i> — reluctancia variable (inductivo, magnético)
MRE	<i>Magnetoresistive Element</i> — elemento magnetorresistivo
PMS / TDC	Punto muerto superior / <i>Top Dead Center</i>
APMS / BTDC	Antes del punto muerto superior
CAS	<i>Crank Angle Sensor</i> — sensor óptico de distribuidor (Nissan, Mazda)

1.1 · CKP DE RELUCTANCIA VARIABLE (VR / INDUCTIVO) — 2 HILOS

CKP DE RELUCTANCIA VARIABLE (VR) — CONSTRUCCIÓN Y CIRCUITO

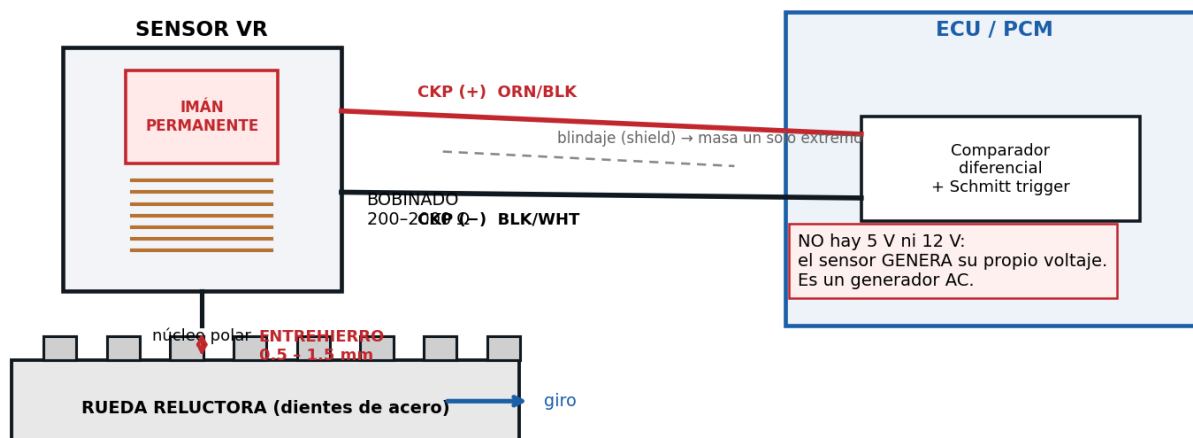


Figura 1: Construcción y circuito del sensor VR

Principio de funcionamiento

El sensor VR **no recibe alimentación**: es un generador. Un imán permanente rodeado por un bobinado crea un campo magnético. Cuando un diente de la rueda reluctora se aproxima al núcleo polar, la reluctancia del circuito magnético disminuye y el flujo aumenta; cuando el diente se aleja, el flujo cae. Por la Ley de Faraday:

$$V = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

Consecuencia directa de esta física: el voltaje generado es proporcional a la **velocidad de variación del flujo**. A mayor RPM, mayor amplitud. A 0 RPM, la señal es exactamente 0 V. Por eso un motor con VR **nunca puede saber su posición sin girar** — y por eso los sistemas *start-stop* modernos abandonaron el VR.

1 · Valores en ralentí (~750 RPM)

Parámetro	Valor esperado
Amplitud	2 - 8 V pico a pico (típico 3 - 6 V)
Voltaje en multímetro, escala V~ (AC)	1.0 - 3.0 V AC
Frecuencia (rueda 60-2)	725 Hz
Frecuencia (rueda 36-1)	437 Hz
Línea de cero	Estable, centrada en 0 V

Cálculo de la frecuencia:

$$f = \frac{RPM}{60} \times n^{\circ} \text{ de dientes presentes}$$

$$f_{60-2} = \frac{750}{60} \times 58 = 725 \text{ Hz}$$

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Parámetro	Valor esperado
Amplitud	8 - 25 V pico a pico
Frecuencia (60-2)	1933 Hz
Frecuencia (36-1)	1167 Hz
Forma de onda	Idéntica a ralentí, solo escalada

CKP VR · RUEDA 60-2 — LA AMPLITUD CRECE CON LAS RPM, LA FORMA NO CAMBIA

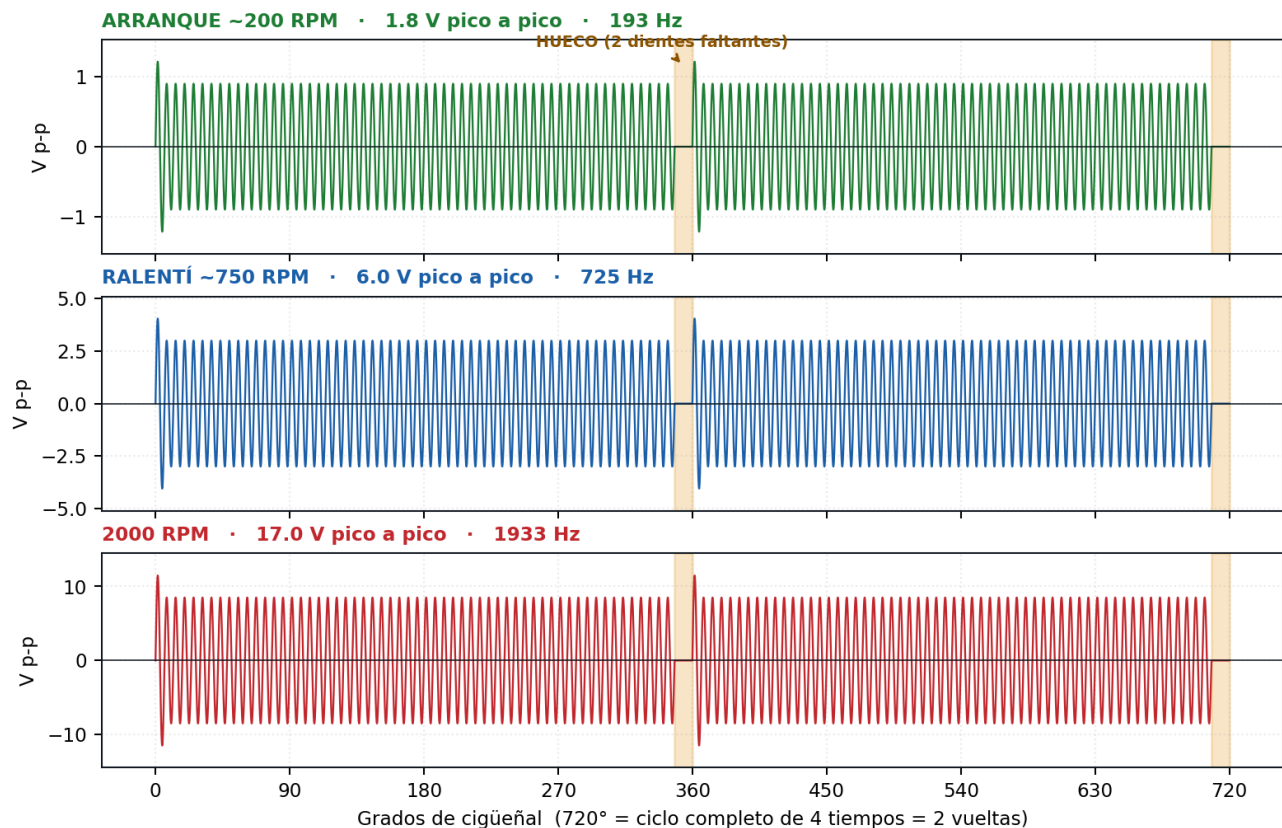


Figura 2: Oscilograma VR a tres regímenes

Criterio de diagnóstico clave: al pasar de ralentí a 2000 RPM la amplitud debe crecer aproximadamente en la misma proporción que las RPM ($\times 2.7$). Si la amplitud **no crece** o crece poco, hay pérdida de magnetismo, entrehierro excesivo o resistencia parásita en el circuito.

3 · Rango de funcionamiento normal

Régimen	RPM	Amplitud típica	Frecuencia 60-2
Arranque	150 - 300	0.5 - 2.0 V p-p	145 - 290 Hz
Ralentí	650 - 850	2 - 8 V p-p	628 - 822 Hz
Crucero	2000 - 2500	8 - 30 V p-p	1933 - 2417 Hz
Alta	5000 - 6500	50 - 150 V p-p	4833 - 6283 Hz

Amplitud mínima de disparo: la mayoría de ECUs necesitan **al menos 0.3 - 0.5 V pico** para que el comparador Schmitt trigger dispare. Este es el umbral crítico durante el arranque, cuando el motor gira más lento.

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma en el vehículo
Sensor abierto (bobinado cortado)	No arranca. Gira y no enciende. Tacómetro en cero al girar
Amplitud baja (entrehierro, imán débil)	Arranque largo o falla solo en frío/caliente
Falla intermitente por temperatura	El motor se apaga en caliente y arranca 20 min después
Dientes dañados / volante agrietado	P0300 aleatorio, tirones bajo carga, corte momentáneo
Blindaje abierto o masa deficiente	Fallos erráticos, corte al encender consumidores eléctricos
Polaridad invertida (tras reparación)	No arranca, o funciona con detonación y falta de potencia
Limaduras metálicas pegadas al imán	Señal deformada, misfires bajo carga

Códigos asociados: P0335 (circuito), P0336 (rango/desempeño), P0337 (entrada baja), P0338 (entrada alta), P0339 (intermitente), P0315 (variación del sistema no aprendida).

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Limpiar el núcleo polar** de limaduras ferrosas (causa muy frecuente y gratuita de reparar). Usar imán auxiliar o cinta.
2. **Verificar y corregir el entrehierro** a 0.5 - 1.5 mm según especificación. Un espaciador ausente o una brida deformada lo altera.
3. **Reparar el blindaje (shield):** debe estar aterrizado en **un solo extremo**, normalmente el lado ECU. Aterrizarlo en ambos crea un bucle de masa.
4. **Reparar terminales verdosos** en el conector. La resistencia parásita ataca directamente la amplitud (ver punto 9).

5. **Inspeccionar la corona/rueda reluctora** con boroscopio o retirando el sensor: dientes golpeados, volante bimasa agrietado, rueda desplazada sobre el cigüeñal por chaveta cortada.
6. **Reemplazar el sensor** solo tras descartar todo lo anterior.
7. **Ejecutar el aprendizaje de variación del cigüeñal** (CASE Relearn / CKP Variation Learn) después de reemplazar sensor, volante o culata en vehículos GM, Ford y otros. **Omitir este paso deja un P0315 y un motor con detonación.**

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso

Fase A — Verificación estática (motor apagado)

Paso A1 — Resistencia del bobinado Desconectar el sensor. Óhmetro entre los dos pines del sensor (no del arnés).

Fabricante / tipo	Rango típico
Bosch / VW / europeo genérico	500 - 1000 Ω
GM	900 - 1200 Ω
Ford	300 - 1000 Ω
Chrysler (algunos)	125 - 275 Ω
Diésel de gran cilindrada	800 - 2500 Ω

- **Infinito (OL)** → bobinado abierto → sensor malo, confirmado.
- **0 Ω o valor muy bajo** → espiras en corto → sensor malo.
- **Valor dentro de rango** → el sensor *probablemente* está bien, pero **esto no lo aprueba**. Un sensor puede tener resistencia correcta y magnetismo perdido.

Paso A2 — Aislamiento a masa Óhmetro entre cualquier pin del sensor y su carcasa metálica: debe ser **mayor a 10 M Ω** . Un valor bajo indica bobinado a masa.

Paso A3 — Prueba de generación (la prueba que sí aprueba el sensor) Con el sensor desconectado, poner el multímetro en **V~ (AC, escala baja)** o el osciloscopio en los pines del sensor, y pasar rápidamente un destornillador de acero por la punta del sensor. Debe generarse un pulso de **0.2 - 1.0 V AC**. Sin pulso = imán muerto, aunque la resistencia sea correcta.

Fase B — Verificación dinámica (la prueba definitiva)

Paso B1 — Captura durante el arranque Osciloscopio, canal 1 al pin de señal (+), masa de la sonda al negativo de batería. **Acoplamiento DC**, 5 V/div, 10 ms/div, trigger en flanco de subida a 0.5 V, modo *single shot*.

Criterios de aprobación durante el arranque:

- Amplitud mínima **> 0.5 V pico**.
- Línea de cero estable, sin desplazamiento (*offset*).
- El hueco de sincronía visible y consistente en cada vuelta.
- Sin ruido superpuesto que cruce el umbral.

Paso B2 — Captura en ralentí y aceleración Cambiar a 10 V/div y 5 ms/div. Acelerar hasta 3000 RPM. La amplitud debe crecer proporcionalmente y **ninguna vuelta debe tener dientes de amplitud desigual**.

Paso B3 — Prueba de estrés térmico Si la falla es en caliente: dejar el osciloscopio capturando en modo *roll* o *single shot* con trigger de “pérdida de señal” mientras el motor alcanza

temperatura. Auxiliar: calentar el sensor con pistola de calor a 90 °C y observar si la amplitud colapsa.

Paso B4 — Prueba de vibración Con el motor en ralentí y el osciloscopio capturando, golpear suavemente el arnés y el sensor con el mango de un destornillador. Cualquier interrupción o pico anómalo delata conexión intermitente.

Fase C — Prueba de caída de voltaje (Voltage Drop)

ADVERTENCIA TÉCNICA OBLIGATORIA — leer antes de aplicar la prueba

El circuito de un sensor VR es un **circuito de señal de altísima impedancia**. La entrada del comparador de la ECU presenta típicamente **50 - 200 kΩ**, por lo que la corriente que circula es de **microamperios**. Aplicando Ley de Ohm:

$$V_{drop} = I \times R = 50 \mu A \times 500 \Omega = 0.000025 V$$

La prueba clásica de caída de voltaje NO detecta resistencia parásita en un circuito de sensor VR. Un conector con 5 kΩ de corrosión mostrará 0.000 V de caída y “pasará” la prueba mientras destruye la señal.

Procedimiento correcto para circuitos VR (prueba de caída con carga forzada):

1. Desconectar el sensor y el conector de la ECU.
2. Puentear los dos pines del extremo del sensor con un cable de prueba.
3. Conectar en el extremo ECU una fuente de 12 V **en serie con una resistencia de carga de 100 Ω** (esto impone una corriente conocida de ≈ 120 mA).
4. Medir la caída de voltaje sobre cada tramo del cableado con el multímetro en escala mV, ahora sí con corriente circulando.
5. Límite: **< 0.10 V por conductor**. Cualquier valor mayor equivale a resistencia parásita significativa.

Prueba alternativa sin fuente auxiliar (método de amplitud comparativa):

1. Medir la amplitud pico a pico durante el arranque **en el conector del sensor**.
2. Medir la amplitud pico a pico durante el arranque **en el conector de la ECU**.
3. La diferencia entre ambas es la pérdida del cableado. **Máximo aceptable: 10 %**. Una pérdida del 40 % confirma resistencia parásita o blindaje mal aterrizado.

Donde SÍ aplica la caída de voltaje clásica: en la masa del blindaje y en el punto de masa común de la ECU, que sí manejan corriente. Límite 0.10 V.

7 · Valores comunes de resistencia

Componente	Valor	Nota
Bobinado del sensor VR	200 - 2500 Ω	Ver tabla del Paso A1
Aislamiento bobinado-carcasa	> 10 MΩ	Menor = bobinado a masa
Continuidad de cada conductor del arnés	< 1 Ω	Medir extremo a extremo
Blindaje a masa de chasis	< 1 Ω	Solo en un extremo
Impedancia de entrada de la ECU	50 - 200 kΩ	No medible sin desconectar

Variación con la temperatura: el cobre del bobinado tiene coeficiente térmico positivo ($\approx +0.39$ % por $^{\circ}\text{C}$). Un sensor de $800\ \Omega$ a $20\ ^{\circ}\text{C}$ mide $\approx 1050\ \Omega$ a $100\ ^{\circ}\text{C}$. Esto es **normal**. Un sensor que se dispara a $3000\ \Omega$ en caliente está fallando.

8 · Alimentaciones y tierras

Circuito	Presente	Valor esperado
Alimentación 5 V	NO	—
Alimentación 12 V	NO	—
Señal (+) — CKP High	Sí	AC generada, 0.5 - 150 V p-p
Señal (–) — CKP Low / retorno	Sí	Entrada diferencial de la ECU
Blindaje (drain wire)	Frecuente	$< 0.1\ \text{V}$ a masa, un solo extremo

Punto crítico: los dos hilos del VR son una **entrada diferencial**. El hilo “low” **no es masa de chasis**. Conectarlo a masa de chasis para “probar” destruye la referencia diferencial y puede dañar la etapa de entrada.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

El sensor VR se comporta como una **fuentes de voltaje con impedancia interna** (su propio bobinado). Junto con el cableado y la impedancia de entrada de la ECU forma un **divisor de tensión**:

$$V_{ECU} = V_{generado} \times \frac{R_{entrada\ ECU}}{R_{bobinado} + R_{cableado} + R_{entrada\ ECU}}$$

Caso 1 — Circuito sano $R_{bob} = 800\ \Omega$, $R_{cable} = 2\ \Omega$, $R_{ECU} = 100\ 000\ \Omega$, $V_{gen} = 5.0\ \text{V p-p}$:

$$V_{ECU} = 5.0 \times \frac{100000}{800 + 2 + 100000} = 4.96\ \text{V (pérdida 0.8 \%)}$$

Caso 2 — Conector sulfatado con 20 k Ω

$$V_{ECU} = 5.0 \times \frac{100000}{800 + 20000 + 100000} = 4.14\ \text{V (pérdida 17 \%)}$$

En ralentí todavía arranca. **Pero durante el arranque, donde la señal es de solo 1.5 V p-p, la pérdida del 17 % la deja en 1.24 V** — cerca del umbral de disparo. Resultado: arranca en caliente y no arranca en frío.

Caso 3 — Corrosión severa de 150 k Ω

$$V_{ECU} = 5.0 \times \frac{100000}{800 + 150000 + 100000} = 1.99\ \text{V (pérdida 60 \%)}$$

Durante el arranque la señal cae por debajo del umbral: **no arranca, sin ningún código de circuito abierto**, porque eléctricamente el circuito “tiene continuidad”.

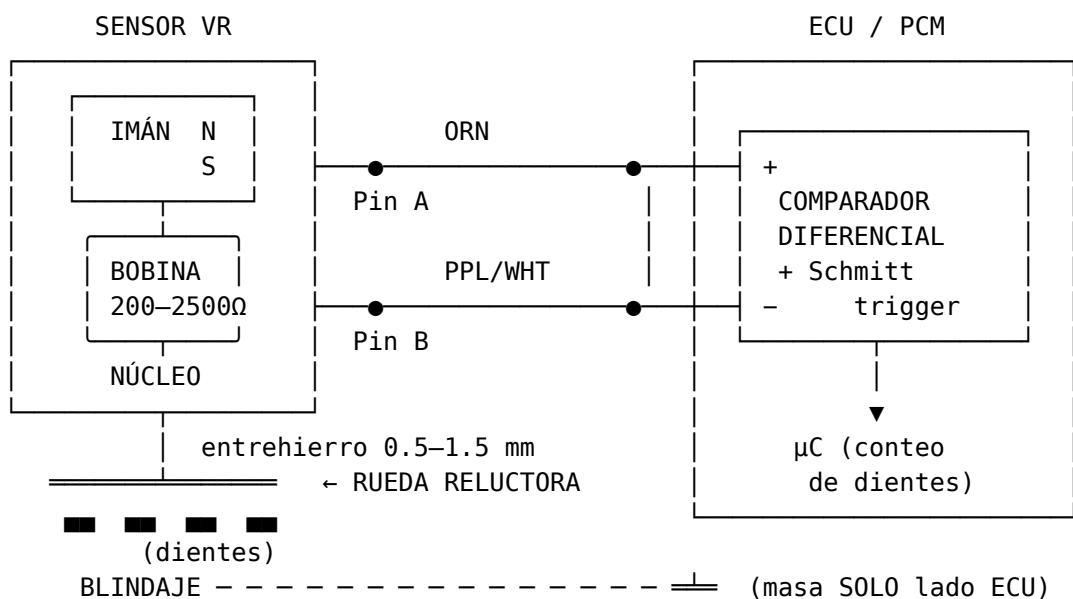
Esta es la razón física por la que el óhmetro miente y el osciloscopio no.

10 · Nomenclatura de cableado

Marca	CKP (+) / High	CKP (–) / Low	Blindaje
GM	ORN, YEL	PPL/WHT, BLK	Cable desnudo (<i>drain</i>)
Ford	GRY/YEL, LT BLU	BLK/WHT, ORN	BLK
Chrysler	GRY/BLK	BLK/LT BLU	—
Toyota	NE+ (G, W)	NE– (B)	Malla a E1
Nissan	W, R	B, B/W	—
VW / Audi	gn (verde)	br (café)	Malla

Abreviaturas Toyota: NE+ y NE– identifican el CKP; G+/G– o VV1 identifican el CMP. En manuales japoneses recuerde que **L = azul**.

11 · Simbología y diagrama de conexión



NO EXISTEN pines de 5 V ni de 12 V. Dos hilos = entrada diferencial.

12 · Análisis de oscilogramas

Cómo se lee la onda VR correcta:

1. **Simetría:** cada diente produce un semiciclo positivo y uno negativo de amplitud similar. Asimetría fuerte = entrehierro variable o rueda excéntrica.
2. **Línea de cero:** debe cruzar exactamente por 0 V. Un desplazamiento (*offset*) indica acoplamiento AC mal seleccionado o fuga a masa.
3. **Hueco de sincronía:** en 60-2 el hueco vale $2 \times 6^\circ = 12^\circ$ de cigüeñal. Debe estar completamente plano.

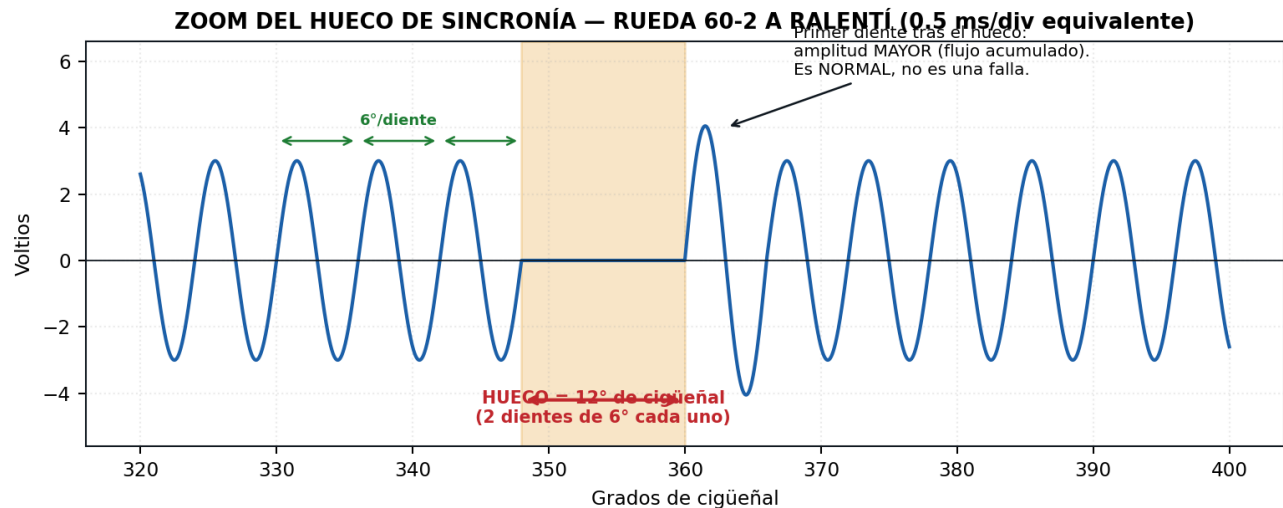


Figura 3: Zoom del hueco de sincronía

- Primer diente tras el hueco:** presenta amplitud **20-40 % mayor** que el resto. Esto es **normal y esperado** (el flujo magnético se acumuló durante el hueco). Confundirlo con una falla es un error clásico.
- Uniformidad vuelta a vuelta:** superponer 3 vueltas. Deben ser idénticas.

LA POLARIDAD DEL SENSOR VR IMPORTA: INVERTIRLA DESPLAZA EL PUNTO DE ENCENDIDO

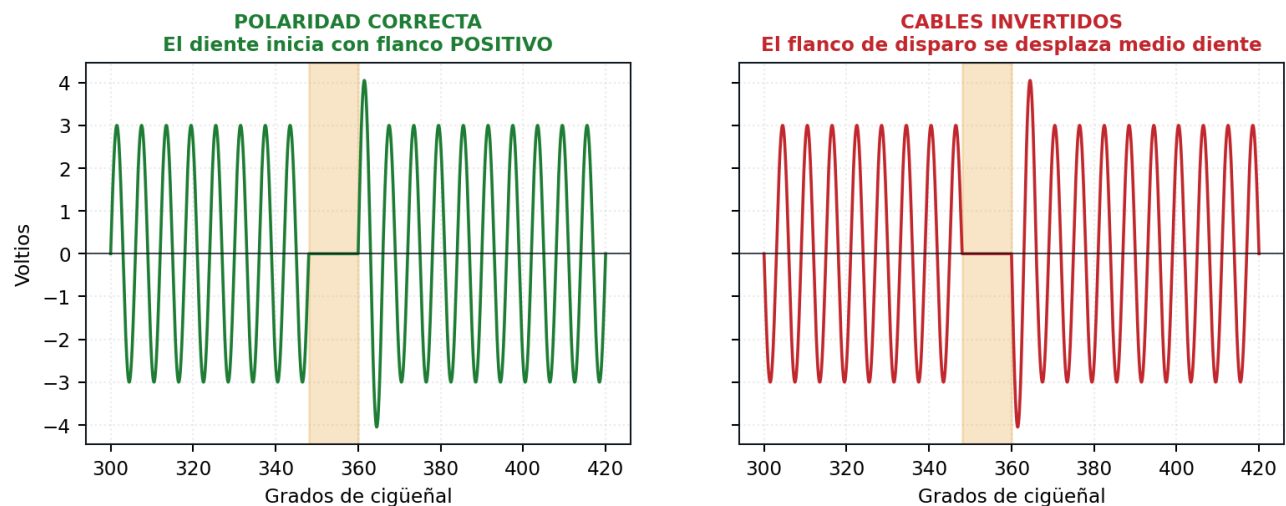


Figura 4: Efecto de la polaridad invertida

Configuración recomendada del osciloscopio:

Ajuste	Valor
Acoplamiento	DC (nunca AC)
V/div arranque y ralenti	2 - 5 V/div
V/div a 3000+ RPM	20 V/div
Time/div (ver dientes)	0.5 - 1 ms/div
Time/div (ver 2 vueltas completas)	10 - 20 ms/div

Ajuste	Valor
Trigger	Flanco de subida, nivel $\approx 40\%$ de la amplitud
Sonda	$\times 1$ hasta 3000 RPM; $\times 10$ por encima

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

No aplica. El sensor VR entrega una señal analógica AC senoidal, no una señal modulada. Su información está codificada en **frecuencia** (RPM) y en la **posición del hueco** (referencia angular), no en ancho de pulso.

Un multímetro puesto en modo *Duty Cycle* sobre un VR dará lecturas erráticas sin significado diagnóstico. **Use frecuencia (Hz), no duty cycle.**

14 · Análisis de corriente

No aplica de forma práctica. El sensor VR no consume corriente de la ECU; la entrega. La corriente que circula por el lazo es del orden de **10 - 200 μA** , muy por debajo de la resolución de cualquier pinza amperimétrica automotriz (resolución típica 10 mA).

Lo que sí se puede medir con pinza en este contexto: la corriente del motor de arranque, para superponerla con la señal CKP y realizar compresión relativa (ver sección 1.9).

15 · Preguntas de autoevaluación — CKP VR

P1. Un motor no arranca en frío pero sí en caliente. La resistencia del CKP mide 810 Ω (especificación 700-900 Ω) y hay continuidad en ambos hilos. Con el osciloscopio, durante el arranque en frío la amplitud es de 0.35 V pico. ¿Qué está ocurriendo, qué prueba adicional realiza y por qué el óhmetro no detectó la falla?

P2. Captura un CKP de rueda 36-1 a 1500 RPM. ¿Qué frecuencia debe medir el osciloscopio y cuál es la duración en milisegundos del hueco de sincronía?

P3. Tras reemplazar el sensor CKP el vehículo arranca pero presenta detonación bajo carga y falta de potencia, sin códigos. La amplitud y la forma de onda son correctas. Mencione **dos** causas probables relacionadas específicamente con este módulo y cómo verifica cada una.

1.2 · CKP DE EFECTO HALL — 3 HILOS

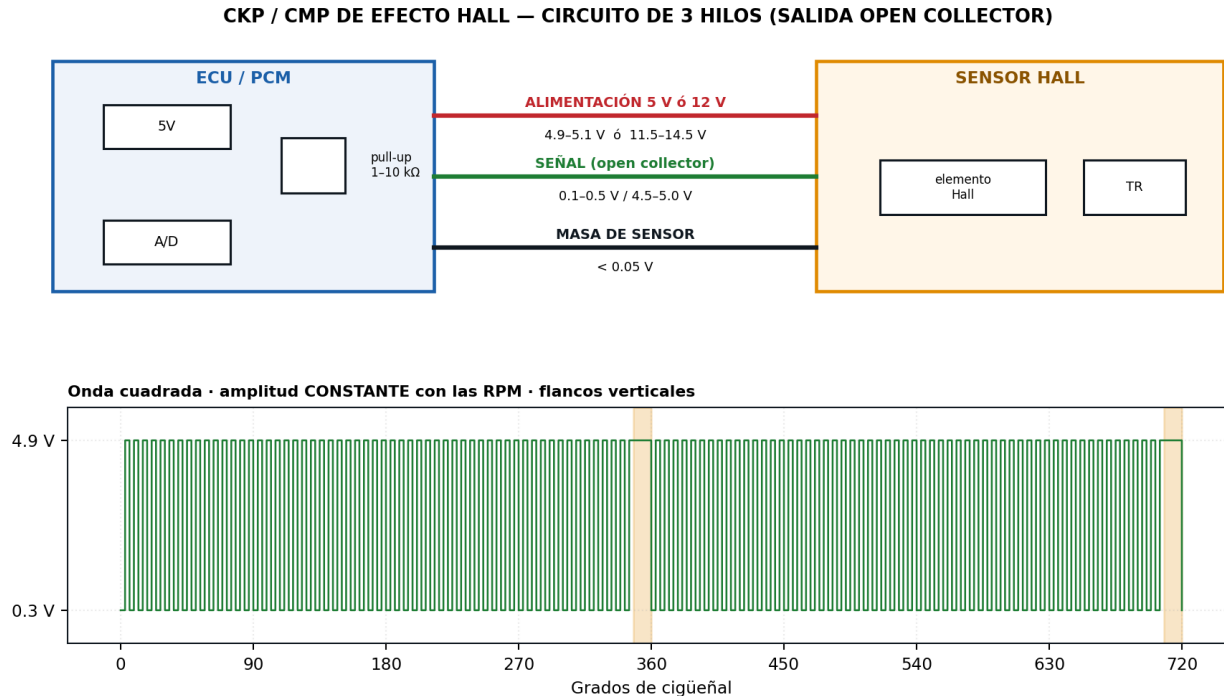


Figura 5: Circuito y onda del sensor Hall

Principio de funcionamiento

Una corriente atraviesa una placa semiconductora (elemento Hall). Cuando un campo magnético incide perpendicularmente, los portadores de carga se desvían y aparece un pequeño voltaje transversal (**voltaje Hall**, del orden de milivoltios). Un circuito integrado dentro del sensor amplifica ese voltaje, lo compara con un umbral y comanda un **transistor de salida en colector abierto** (*open collector*).

Consecuencias prácticas de esta arquitectura:

- La amplitud de la señal **no depende de las RPM**. A 100 RPM o a 6000 RPM la onda mide lo mismo. Esto hace al Hall superior para arranques difíciles.
- El sensor **necesita alimentación** (5 V o 12 V) y masa.
- La salida **no genera voltaje**: solo lo conecta a masa o lo deja libre. El nivel alto lo pone la **resistencia de pull-up interna de la ECU**.
- **Medir resistencia entre los pines es inútil y engañoso.**

1 · Valores en ralentí (~750 RPM)

Parámetro	Valor esperado
Alimentación (tipo 5 V)	4.90 – 5.10 V
Alimentación (tipo 12 V)	11.5 – 14.5 V
Nivel bajo de la señal (V_{low})	0.1 – 0.5 V (máx. 0.8 V)
Nivel alto de la señal (V_{high})	4.5 – 5.0 V (o 9 – 12 V)

Parámetro	Valor esperado
Frecuencia (rueda 60-2)	725 Hz
Ciclo de trabajo	40 - 60 % (según geometría del diente)
Consumo del sensor	10 - 20 mA
Tiempo de flanco	< 50 μ s

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Parámetro	Valor esperado
Amplitud	Idéntica a ralentí — 0.3 V / 4.9 V
Frecuencia (60-2)	1933 Hz
Ciclo de trabajo	Sin cambios respecto a ralentí
Consumo	Sin cambios

Criterio diagnóstico: si la amplitud del Hall **cambia con las RPM**, no es un Hall sano. Amplitud variable indica alimentación deficiente bajo carga o resistencia parásita en el circuito de señal.

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Rango
Voltaje de alimentación operativo	4.5 - 16 V (según tipo)
Entrehierro	0.3 - 1.5 mm (menos crítico que en VR)
Temperatura de operación	-40 °C a +150 °C
RPM detectables	Desde ~20 RPM hasta 10 000+ RPM
Corriente de sumidero de la salida	20 - 50 mA máx.

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Alimentación ausente	No arranca. Señal plana en 0 V o flotante
Masa del sensor abierta	Señal plana en 5 V (la pull-up sin sumidero)
Salida en corto a masa	Señal plana en 0 V permanente, no arranca
Transistor de salida degradado	V_{low} sube a 1.5 - 2.5 V → la ECU no reconoce el nivel bajo
Falla térmica del IC	Se apaga en caliente, arranca frío
Entrehierro excesivo / imán sucio	Pulsos faltantes intermitentes, P0300
Circuito de señal con resistencia parásita	V_{low} elevado (ver punto 9)

Códigos: P0335, P0336, P0337, P0338, P0339.

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. Restaurar alimentación y masa (causa n.º 1 real, por encima del sensor).
2. Limpiar cara del sensor y rueda de disparo; eliminar limaduras.
3. Reparar terminales del conector (*fretting corrosion*: micro-movimiento que genera capa aislante en el terminal).
4. Verificar y corregir el entrehierro.
5. Reemplazar el sensor si el IC interno está degradado (V_{low} alto con alimentación y masa correctas).
6. Ejecutar el aprendizaje de variación del cigüeñal tras el reemplazo cuando el fabricante lo requiera.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso

Fase A — Los tres circuitos, en orden

Paso A1 — Alimentación en el conector del sensor, con el sensor conectado Multímetro entre el pin de alimentación y el pin de masa **del sensor**, no contra chasis. KOEO o durante el arranque. Aceptable: 4.90 – 5.10 V (tipo 5 V) o dentro de 0.5 V del voltaje de batería (tipo 12 V).

Paso A2 — Masa del sensor Multímetro en mV entre el pin de masa del sensor y el **negativo de la batería**. Máximo **0.05 V**. Un valor de 1.2 V significa masa abierta o de alta resistencia.

Paso A3 — Señal Osciloscopio en el pin de señal, referencia en el pin de masa del sensor. DC, 1 V/div, 1 ms/div, trigger flanco de bajada a 2.5 V.

Fase B — Prueba de banco (aísla sensor de vehículo)

Alimente el sensor fuera del motor con 5 V (o 12 V según tipo) desde una fuente, coloque una resistencia de **1 kΩ** entre señal y positivo (pull-up sustituta) y mida con el multímetro o el osciloscopio.

Pase una lámina de acero o una llave frente a la cara del sensor:

- La señal debe conmutar limpiamente entre **< 0.5 V** y **≈ 5 V**.
- Si conmuta pero V_{low} queda en 2 V, el transistor está degradado → sensor malo.
- Si no conmuta, verifique la orientación magnética (algunos Hall solo responden a un polo).

Fase C — Prueba de la resistencia de pull-up de la ECU

Sensor desconectado, KOEO, multímetro en el pin de señal del **arnés** contra masa. Debe leer el voltaje de pull-up (típicamente **5 V**).

- **5 V presentes** → la pull-up de la ECU funciona; el problema está aguas abajo.
- **0 V** → circuito de señal en corto a masa, o etapa de entrada de la ECU dañada.

Fase D — Prueba de caída de voltaje

Aquí sí hay corriente medible y la prueba es válida, con límites específicos:

Circuito	Corriente típica	Límite de caída
Alimentación del sensor	10 – 20 mA	0.10 V
Masa del sensor	10 – 20 mA	0.05 V
Señal (durante el estado bajo)	0.5 – 5 mA	0.10 V

Circuito	Corriente típica	Límite de caída
----------	------------------	-----------------

Procedimiento para el circuito de alimentación: 1. Sensor **conectado y energizado** (KOEO o arranque). 2. Punta roja en la salida de 5 V del conector de la ECU (o en el pin de VREF de otro sensor de la misma línea). 3. Punta negra en el pin de alimentación del conector del sensor CKP. 4. Lectura en escala mV. **Máximo 0.10 V.**

Procedimiento para el circuito de masa: 1. Punta roja en el pin de masa del conector del sensor. 2. Punta negra en el pin de masa correspondiente en el conector de la ECU. 3. **Máximo 0.05 V.**

Procedimiento para el circuito de señal (prueba de estado bajo): Esta prueba requiere que el sensor esté sumiendo corriente. Con el motor girando lentamente (arranque), medir entre el pin de señal del sensor y el pin de señal de la ECU con el osciloscopio en modo diferencial, o comparar los dos oscilogramas: el V_{low} medido en la ECU no debe superar en más de **0.10 V** al V_{low} medido en el sensor.

7 · Valores comunes de resistencia

ADVERTENCIA: NO existe un valor de resistencia especificado para un sensor Hall. El óhmetro aplica un voltaje de prueba a un circuito semiconductor. Las lecturas dependen del multímetro y **no tienen valor diagnóstico**. Un sensor Hall bueno y uno malo pueden medir lo mismo.

Nunca condene ni apruebe un sensor Hall con el óhmetro.

Medición	Valor esperado	Utilidad
Continuidad de cada conductor del arnés	$< 1 \Omega$	Sí, útil
Pull-up interna de la ECU	1 - 10 k Ω	Solo informativa
Alimentación $\leftrightarrow$ señal $\leftrightarrow$ masa del sensor	Variable, tipo diodo	Sin valor diagnóstico

8 · Alimentaciones y tierras

Pin	Nombre en manuales	Valor esperado	Medido contra
1	VREF / +5V / B+ / IGN	4.90 - 5.10 V ó 11.5 - 14.5 V	Pin de masa del sensor
2	SIG / CKP / NE	0.1 - 0.5 V $\leftrightarrow$ 4.5 - 5.0 V	Pin de masa del sensor
3	GND / SIG RTN / E1	$< 0.05 \text{ V}$	Negativo de batería

Distinción crítica: algunos Hall reciben **12 V directos** y otros **5 V de VREF**. Alimentar un sensor de 5 V con 12 V lo destruye instantáneamente. Verificar el diagrama antes de puentear nada.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

El circuito de señal es un **divisor de tensión** entre la pull-up de la ECU y el transistor de salida del sensor (más cualquier resistencia parásita del cableado):

$$V_{low} = V_{pull-up} \times \frac{R_{sat} + R_{cable}}{R_{pull-up} + R_{sat} + R_{cable}}$$

Caso 1 — Circuito sano $R_{pull-up} = 10\,000\,\Omega$, R_{sat} (transistor saturado) = $50\,\Omega$, $R_{cable} = 2\,\Omega$:

$$V_{low} = 5 \times \frac{52}{10052} = 0.026\text{ V}$$

Caso 2 — Terminal con 1 kΩ de corrosión

$$V_{low} = 5 \times \frac{1052}{11052} = 0.476\text{ V}$$

Todavía dentro de tolerancia. El motor funciona.

Caso 3 — Corrosión avanzada, 6 kΩ

$$V_{low} = 5 \times \frac{6052}{16052} = 1.885\text{ V}$$

Aquí empieza la falla. La mayoría de ECUs consideran nivel bajo por debajo de **1.5 V**. Con 1.89 V la ECU deja de reconocer los pulsos: no arranca, o corta intermitentemente, y el osciloscopio muestra una onda cuadrada de apariencia “casi normal” pero con la base levantada.

Caso 4 — Verificación del consumo del sensor El sensor consume 15 mA. Con $20\,\Omega$ de resistencia parásita en la alimentación:

$$V_{drop} = 0.015 \times 20 = 0.30\text{ V}$$

El sensor recibe 4.70 V en vez de 5.00 V. Funciona, pero al añadirse la caída térmica en caliente puede bajar del mínimo operativo del IC (típicamente 4.5 V) y producir la clásica **falla en caliente**.

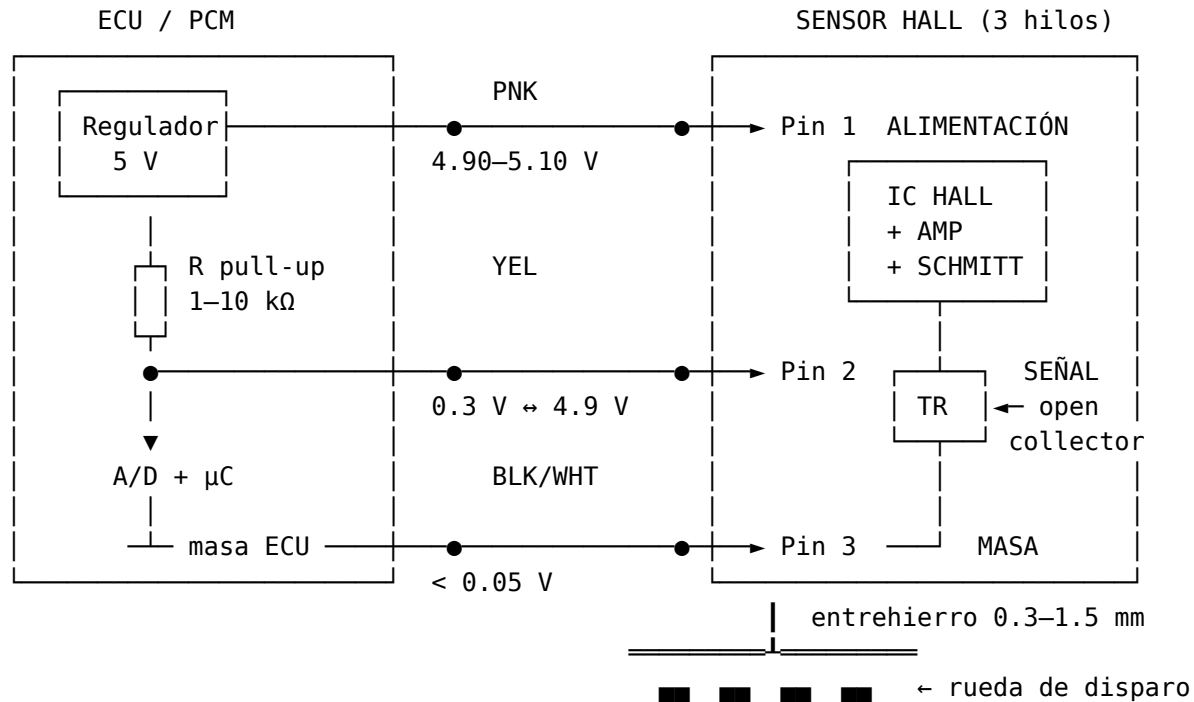
Regla de oro del Hall: la falla casi nunca es “no hay señal”. Es **el nivel bajo levantado**. Mida siempre V_{low} con el osciloscopio, no con la lámpara de prueba.

10 · Nomenclatura de cableado

Marca	Alimentación	Señal	Masa
GM	PNK, ORN	YEL, PPL	BLK, BLK/WHT
Ford	RED, VIO/WHT	GRY/YEL, LT BLU	BLK/WHT
Chrysler	ORN	GRY/BLK, TAN/YEL	BLK/LT BLU
Toyota	B+ o VC (W, B/R)	NE+ (G, W/B)	E1 (BR, B)
Honda	YEL/BLU (VCC)	BLU/GRN, WHT/BLU	GRN/WHT

Marca	Alimentación	Señal	Masa
VW / Audi	rt/ge	gn/ws	br

11 · Simbología y diagrama de conexión



El nivel ALTO lo entrega la ECU (pull-up). El sensor SÓLO conecta a masa.

12 · Análisis de oscilogramas

Los cinco puntos que se inspeccionan en una onda Hall:

Punto	Correcto	Falla que indica
Nivel bajo	0.1 - 0.5 V	> 1.0 V = resistencia parásita o transistor degradado
Nivel alto	4.5 - 5.0 V	< 4.0 V = pull-up débil o fuga a masa
Verticalidad de flancos	< 50 μ s	Flancos inclinados = capacitancia parásita o cable dañado
Ancho de pulso constante	Sí, a RPM constante	Variable = rueda dañada o entrehierro irregular
Ausencia de ruido en la meseta	Meseta limpia	Picos = interferencia de encendido o blindaje abierto

Configuración del osciloscopio:

Ajuste	Valor
Acoplamiento	DC
V/div	1 V/div (tipo 5 V) · 5 V/div (tipo 12 V)
Time/div para ver dientes	0.5 – 1 ms/div
Time/div para ver 2 vueltas	10 – 20 ms/div
Trigger	Flanco de bajada, nivel 2.5 V
Referencia de la sonda	Pin de masa del sensor

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

El sensor Hall **no es un actuador PWM**, pero su salida sí posee un ciclo de trabajo medible y diagnósticamente útil:

$$DC (\%) = \frac{t_{diente}}{t_{diente} + t_{ventana}} \times 100$$

Configuración	Duty cycle esperado
Dientes y ventanas iguales (60-2 estándar)	45 - 55 %
Ruedas con diente más ancho	30 - 70 %, pero constante
CMP de un solo lóbulo (medio giro de leva)	≈ 50 % del ciclo de 720°

Criterio de diagnóstico: lo que importa no es el valor absoluto, sino la **estabilidad**. A RPM constante, un duty cycle que fluctúa ± 5 % indica juego axial del cigüeñal, rueda deformada o entrehierro variable.

14 · Análisis de corriente

Medición	Valor esperado	Método
Consumo de alimentación del sensor	10 - 20 mA	Pinza de baja corriente con 10 vueltas del cable
Corriente de sumidero en estado bajo	0.5 - 5 mA	Calculada: $I = V_{pull-up} / R_{pull-up}$

Técnica de multiplicación de vueltas (ver Módulo 0, §0.8): 15 mA está por debajo de la resolución de una pinza estándar. Pase el cable de alimentación **10 veces** por la mordaza: la pinza leerá 150 mA. Divida entre 10.

Interpretación:

- **Consumo 0 mA** → sensor sin alimentación o IC interno abierto.
- **Consumo normal pero sin señal** → IC alimentado pero etapa de salida muerta, o problema magnético (entrehierro, rueda).
- **Consumo elevado (> 40 mA)** → IC en corto interno; puede estar cargando la línea VREF y afectando a otros sensores.

15 · Preguntas de autoevaluación – CKP Hall

P1. Un vehículo con CKP Hall no arranca. Con el osciloscopio, la señal conmuta correctamente pero el nivel bajo se mantiene en 2.1 V y el alto en 4.9 V. La alimentación mide 5.02 V y la masa 0.03 V. ¿Dónde está la falla, qué cálculo la confirma y por qué la ECU no reconoce los pulsos?

P2. Un técnico mide la resistencia entre los pines de señal y masa de un CKP Hall y obtiene 4.7 kΩ. Consulta el manual, que no especifica ningún valor. Decide reemplazar el sensor. ¿Fue correcta la decisión? Justifique técnicamente.

P3. Con el sensor desconectado y KOEO, el pin de señal del arnés mide 0.0 V en lugar de los 5 V esperados. Enumere las dos causas posibles y describa cómo las separa antes de condenar la ECU.

1.3 · CKP MAGNETORRESISTIVO (MRE)

CKP MAGNETORRESISTIVO (MRE) — EL ANCHO DEL PULSO CODIFICA EL SENTIDO DE GIRO

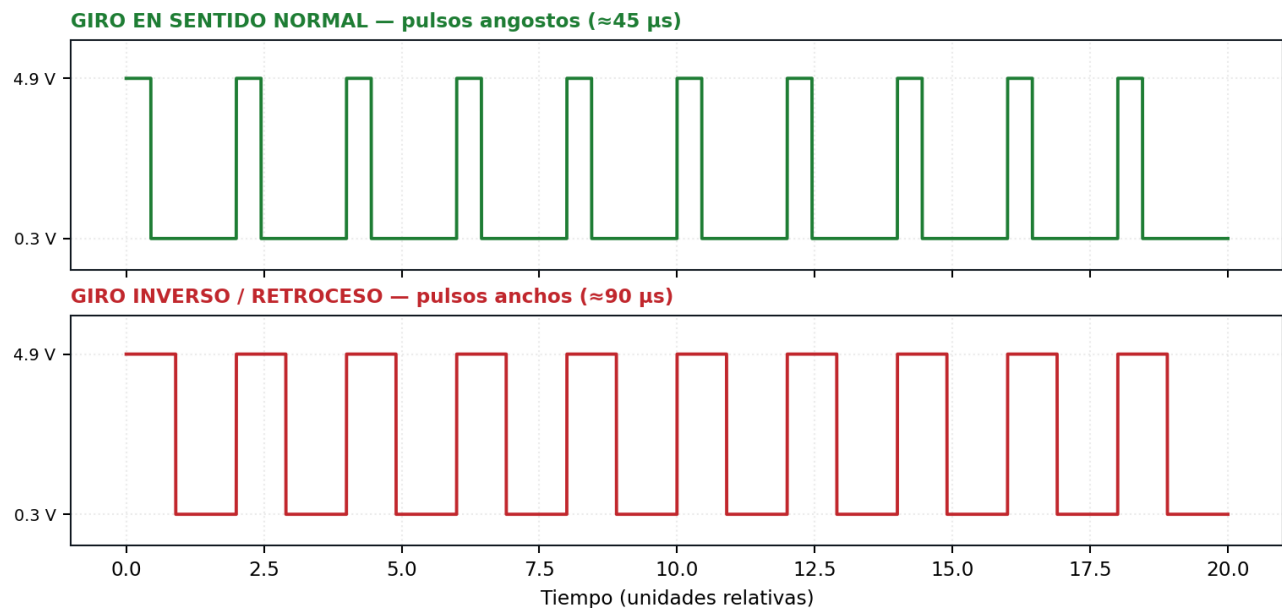


Figura 6: Codificación de dirección en sensor MRE

Principio de funcionamiento

El elemento magnetorresistivo cambia su **resistencia eléctrica** en presencia de un campo magnético (a diferencia del Hall, que genera un voltaje transversal). Es mucho más sensible que el Hall, lo que le permite dos capacidades decisivas:

1. **Detectar posición a velocidad cero o casi cero** — el motor no necesita girar para que el sensor sepa dónde está.
2. **Detectar el sentido de giro** — codificado en el **ancho del pulso**.

Por eso el MRE es el estándar en motores con **start-stop**, arranque directo (*direct start*) y sistemas híbridos: la ECU puede inyectar y encender en el cilindro correcto **antes de la primera vuelta completa**, reduciendo el tiempo de arranque a 300 ms.

Diferencias clave con Hall y VR

Característica	VR	Hall	MRE
Alimentación	No	Sí	Sí
Amplitud vs. RPM	Proporcional	Constante	Constante
Funciona a 0 RPM	No	Marginal	Sí
Detecta sentido de giro	No	No	Sí
Precisión angular	Media	Alta	Muy alta

Característica	VR	Hall	MRE
Salida	AC senoidal	Cuadrada	Cuadrada codificada o corriente
Resistencia medible	Sí (200-2500 Ω)	No	No

1 · Valores en ralentí

Variante A — Salida de voltaje (3 hilos), la más común

Parámetro	Valor
Alimentación	4.90 - 5.10 V (algunos 12 V)
Nivel bajo	0.1 - 0.5 V
Nivel alto	4.5 - 5.0 V
Ancho de pulso, giro normal	$\approx 45 \mu\text{s}$
Ancho de pulso, giro inverso	$\approx 90 \mu\text{s}$
Frecuencia (60-2 a 750 RPM)	725 Hz

Variante B — Salida de corriente (2 hilos), estilo sensor ABS activo

Parámetro	Valor
Alimentación / señal (mismo par)	8 - 12 V
Corriente nivel bajo	7 mA
Corriente nivel alto	14 mA
Cómo se visualiza	Con resistencia <i>shunt</i> de 100 Ω en serie $\rightarrow$ 0.7 V / 1.4 V

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Amplitud y niveles **idénticos** a ralentí. Solo cambia la frecuencia: 1933 Hz con rueda 60-2.

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Rango
Entrehierro	0.2 - 2.0 mm (muy tolerante)
Velocidad detectable	desde 0 RPM hasta 10 000+ RPM
Temperatura de operación	-40 °C a +160 °C
Consumo	8 - 20 mA

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Pérdida de alimentación	No arranca; arranque muy prolongado

Falla	Síntoma
Codificación de dirección corrupta	El motor no arranca tras un apagado con retroceso
Salida degradada	Pérdida de la función start-stop, arranque lento
Pérdida total de señal	No arranca, P0335
Interferencia electromagnética	Cortes bajo carga, P0336

5 · Soluciones y reparaciones

1. Verificar alimentación y masa **en el conector del sensor**.
2. Confirmar la integridad del blindaje: el MRE es más sensible a interferencia que el Hall por su alta ganancia.
3. Limpiar la rueda de disparo — al ser tan sensible, detecta irregularidades magnéticas que un Hall ignoraría.
4. Reemplazar el sensor si alimentación, masa y rueda están correctas.
5. Tras el reemplazo, ejecutar el **aprendizaje de posición** que muchos fabricantes exigen para restaurar la función de arranque directo.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

Paso 1 — Identificar la variante. Cuente los hilos: 3 = salida de voltaje; 2 = salida de corriente. Con 2 hilos, **no intente medir voltaje de señal contra masa**: el diagnóstico se hace con osciloscopio y resistencia *shunt*.

Paso 2 — Alimentación y masa (idéntico al procedimiento Hall, §1.2 Fase A).

Paso 3 — Prueba de rotación lenta (exclusiva del MRE). Con el osciloscopio conectado y el encendido en contacto, **gire el motor a mano** con una llave en la polea del cigüeñal. Un MRE sano **genera pulsos limpios a velocidad de mano**. Un Hall daría pulsos irregulares y un VR no daría nada. Esta prueba distingue un MRE sano de uno degradado en 30 segundos.

Paso 4 — Verificación de la codificación de dirección. Gire el cigüeñal en sentido normal y observe el ancho de pulso. Gire ligeramente en sentido inverso: los pulsos deben **ensancharse al doble**. Si no cambia, la función de detección de dirección está perdida y la ECU no podrá hacer arranque directo.

Paso 5 — Prueba de caída de voltaje (variante de 3 hilos):

Circuito	Límite
Alimentación	0.10 V
Masa	0.05 V
Señal (estado bajo)	0.10 V

Para la variante de 2 hilos (salida de corriente): la prueba de caída de voltaje **sí es válida y muy útil**, porque circulan 7-14 mA de forma constante.

$$V_{drop} = 0.014 A \times R_{par}$$

Con 10 Ω parásitos: 0.14 V. Con 200 Ω : 2.8 V $\rightarrow$ el módulo pierde la señal. Límite práctico: **0.15 V por conductor**.

7 · Valores comunes de resistencia

No aplica. Igual que el Hall, el MRE es un circuito integrado. **El óhmetro no tiene valor diagnóstico** en este sensor.

En la variante de 2 hilos, medir resistencia entre los pines dará una lectura tipo diodo que **varía según el multímetro** y no debe usarse para condenar nada.

8 · Alimentaciones y tierras

Variante de 3 hilos: idéntica al Hall (alimentación / señal / masa).

Variante de 2 hilos: un par en el que la ECU **suministra tensión y lee corriente** simultáneamente. La polaridad **importa**: invertir los hilos deja el sensor mudo. Verifique siempre el diagrama.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Variante de corriente — la Ley de Ohm es la herramienta principal de diagnóstico:

La ECU coloca una resistencia interna de medición (*shunt*) en serie, típicamente de 100 Ω . Los dos estados producen:

$$V_{shunt(bajo)} = 0.007 \text{ A} \times 100 \Omega = 0.70 \text{ V}$$

$$V_{shunt(alto)} = 0.014 \text{ A} \times 100 \Omega = 1.40 \text{ V}$$

La ECU distingue los estados por esa diferencia de **0.70 V**.

Efecto de resistencia parásita de 300 Ω en el cableado: La fuente entrega 10 V. La corriente ya no la fija solo el sensor, sino el circuito completo. La caída extra reduce el voltaje disponible en el sensor:

$$V_{sensor} = 10 - (0.014 \times 300) = 10 - 4.2 = 5.8 \text{ V}$$

Si el sensor requiere un mínimo de 8 V para operar, **deja de conmutar**: falla total, con “continuidad” aparente en el óhmetro.

Técnica de diagnóstico derivada: inserte una resistencia *shunt* conocida de 100 Ω en serie con el circuito y capture con osciloscopio. Verá directamente la señal de 0.7 V / 1.4 V. Es el método estándar para sensores activos de 2 hilos.

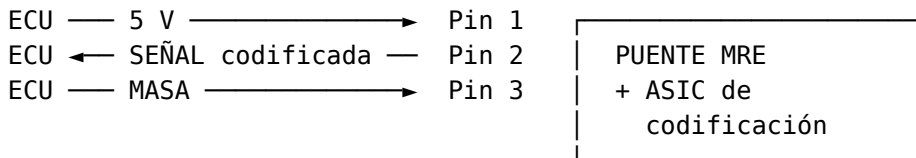
10 · Nomenclatura de cableado

Marca	Alimentación	Señal	Masa
Toyota / Denso	VC o B+	NE+	NE- / E1
Honda	YEL/BLU	BLU/GRN	GRN/BLK
BMW / Bosch	rt/ge	ws/gn	br/sw

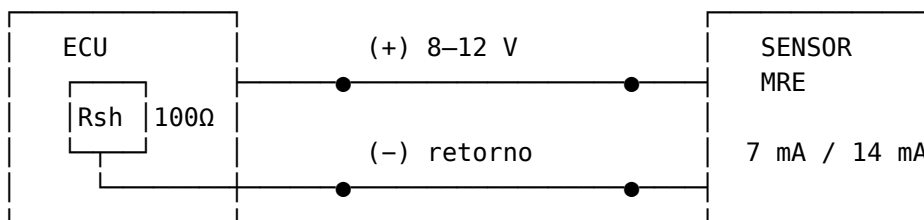
Marca	Alimentación	Señal	Masa
Nissan	W/R	B/Y	B

11 · Simbología y diagrama de conexión

VARIANTE DE 3 HILOS (salida de voltaje)



VARIANTE DE 2 HILOS (salida de corriente, estilo ABS activo)



El osciloscopio se conecta EN PARALELO con Rsh para ver 0.7 V / 1.4 V.
 Sin Rsh no hay onda visible: el sensor modula CORRIENTE, no voltaje.

12 · Análisis de oscilogramas

Elemento	Correcto	Falla
Niveles (3 hilos)	0.3 V / 4.9 V	Base levantada = resistencia parásita
Escalones de corriente (2 hilos)	7 mA / 14 mA nítidos	Escalón < 5 mA de diferencia = sensor degradado
Ancho de pulso	Constante en giro normal	Ancho errático = rueda o entrehierro
Respuesta a giro manual	Pulsos limpios	Ausencia = MRE degradado

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

El MRE de dirección codificada **modula el ancho del pulso** para transmitir información. Técnicamente **sí es una señal de ancho modulado**, pero su duty cycle no es un porcentaje de control, sino un **código de dos estados**:

Ancho de pulso	Significado
≈ 45 μs	Giro en sentido normal
≈ 90 μs	Giro en sentido inverso
≈ 180 μs (algunos protocolos)	Diente de referencia / sincronía

Ancho de pulso	Significado
----------------	-------------

Estos valores son órdenes de magnitud típicos de Bosch/Continental y varían por fabricante. **Lo diagnóstico es la relación 1:2 entre ambos anchos, no el valor absoluto.**

14 · Análisis de corriente

Medición	Valor	Método
Consumo total (3 hilos)	8 – 20 mA	Pinza con 10 vueltas
Señal modulada (2 hilos)	7 / 14 mA	Resistencia shunt 100 Ω + osciloscopio

En la variante de 2 hilos, el análisis de corriente ES el diagnóstico. Si la diferencia entre los dos escalones es menor a 5 mA, el sensor está degradado aunque la ECU aún reconozca los pulsos ocasionalmente.

15 · Preguntas de autoevaluación — CKP MRE

P1. Un vehículo con start-stop dejó de reactivar el motor automáticamente, pero arranca normalmente con la llave. Los códigos apuntan al sistema de arranque. ¿Qué prueba específica del CKP realizaría y qué esperaría observar?

P2. Un CKP de 2 hilos no produce onda visible al conectar el osciloscopio directamente entre sus terminales. ¿Es concluyente esta prueba? Explique qué debe hacer y por qué.

P3. Calcule qué voltaje llega al sensor MRE de 2 hilos si la fuente entrega 9.5 V, la corriente es de 14 mA y el arnés presenta 180 Ω de resistencia parásita. ¿Seguirá operando un sensor cuyo mínimo especificado es 7 V?

1.4 · SENSOR CMP — POSICIÓN DEL ÁRBOL DE LEVAS

Función y por qué existe

El CKP entrega posición angular precisa, pero **es ambiguo**: en un motor de cuatro tiempos, un ciclo completo dura **720° de cigüeñal = 2 vueltas**. El CKP no puede distinguir la primera vuelta de la segunda: para él, el PMS de compresión y el PMS de cruce son idénticos.

El árbol de levas gira a **la mitad** de la velocidad del cigüeñal: **una vuelta de leva = 720° de cigüeñal = un ciclo completo**. Por eso el CMP resuelve la ambigüedad.

Sin CMP, un motor puede:

- Arrancar en modo “inyección simultánea” y encendido de chispa perdida (estrategia de respaldo), con arranque prolongado y mayor consumo.
- No arrancar en absoluto si es GDI o diésel *common rail*, donde la inyección secuencial es obligatoria.

El CMP moderno tiene una segunda función igual de importante: es el sensor de realimentación del sistema **VVT / VANOS / VTC**. La ECU compara continuamente la posición real de la leva contra la comandada.

Tipos constructivos

Tipo	Uso	Señal
Hall (3 hilos)	El más común, 90 % del parque actual	Cuadrada 0-5 V
MRE	Motores con VVT de alta resolución y start-stop	Cuadrada codificada
VR (2 hilos)	Motores antiguos y algunos diésel	AC senoidal
Óptico (CAS)	Nissan, Mazda, Toyota antiguos con distribuidor	Doble pista cuadrada

1 · Valores en ralentí (~750 RPM)

CMP Hall (el caso de referencia):

Parámetro	Valor
Alimentación	4.90 - 5.10 V ó 11.5 - 14.5 V
Nivel bajo	0.1 - 0.5 V
Nivel alto	4.5 - 5.0 V
Frecuencia, 1 lóbulo	6.25 Hz
Frecuencia, 3 lóbulos	18.75 Hz
Frecuencia, 4 lóbulos (V8)	25 Hz
Duty cycle	40 - 60 %, constante

Cálculo de la frecuencia del CMP:

$$f_{CMP} = \frac{RPM}{120} \times \text{n}^\circ \text{ de lóbulos}$$

$$f = \frac{750}{120} \times 1 = 6.25 \text{ Hz}$$

(Se divide entre 120 y no entre 60 porque la leva gira a media velocidad.)

CMP óptico (Nissan CAS):

Pista	Ranuras	Frecuencia a 750 RPM
Pista de 1° (posición)	360	2250 Hz
Pista de referencia (ID cilindro)	4 / 6 / 8	25 - 50 Hz

CMP ÓPTICO (CAS) — DOBLE PISTA: RESOLUCIÓN DE 1° + IDENTIFICACIÓN DE CILINDRO

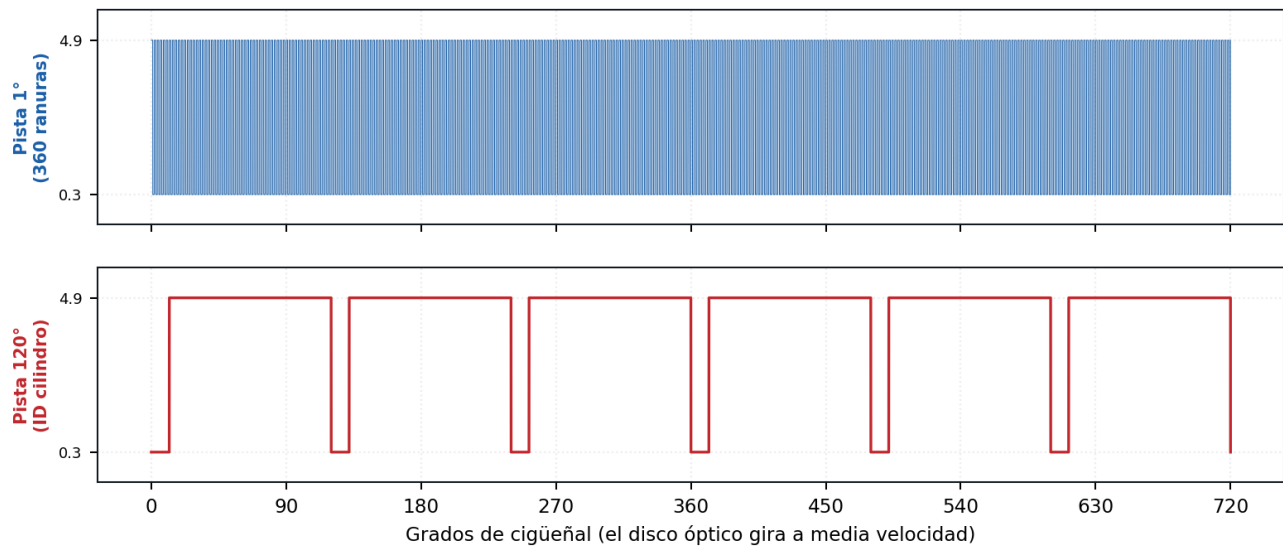


Figura 7: Doble pista del CMP óptico

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Tipo	Frecuencia
Hall, 1 lóbulo	16.7 Hz
Hall, 3 lóbulos	50 Hz
Hall, 4 lóbulos	66.7 Hz
Óptico pista de 1°	6000 Hz
VR, amplitud	3 - 12 V p-p (menor que el CKP: gira a media velocidad)

Nota importante para el CMP tipo VR: como gira a la mitad de la velocidad del cigüeñal, su amplitud es aproximadamente **la mitad** que la de un CKP VR equivalente. Durante el arranque puede quedar peligrosamente cerca del umbral.

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Rango
Desfase CMP respecto al hueco del CKP	Fijo, definido por el fabricante (típico 10° - 120°)
Tolerancia de correlación antes de código	±5° a ±10° de cigüeñal (varía por modelo)
Rango de autoridad del VVT	20° - 60° de cigüeñal
Entrehierro	0.3 - 1.5 mm

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
CMP sin señal	Arranque prolongado (2-6 s), luego funciona en respaldo. En GDI/diésel: no arranca
Señal intermitente	Tirones aleatorios, corte momentáneo, P0340/P0341
Correlación fuera de rango CMP con lectura errática por VVT	P0016 - P0019 , luz MIL, falta de potencia P0011/P0021 (avanzado) o P0012/P0022 (retrasado)
Rueda de disparo de la leva desplazada	No arranca o funciona muy mal, sin código de circuito
Nivel bajo levantado	Igual que el Hall CKP: la ECU no reconoce el estado

Códigos:

Código	Significado
P0340	Circuito del CMP, banco 1 sensor A
P0341	Rango / desempeño del CMP
P0342 / P0343	Entrada baja / alta
P0344	Intermitente
P0345 - P0349	Banco 2
P0016	Correlación CKP-CMP, banco 1 sensor A (admisión)
P0017	Correlación CKP-CMP, banco 1 sensor B (escape)
P0018	Correlación CKP-CMP, banco 2 sensor A
P0019	Correlación CKP-CMP, banco 2 sensor B
P0011 / P0021	Posición de leva sobre-avanzada (banco 1 / 2)
P0012 / P0022	Posición de leva sobre-retrasada (banco 1 / 2)

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Antes de tocar el sensor**, verificar nivel y estado del aceite: el VVT depende de presión de aceite limpia. Aceite degradado o filtro tapado produce P0016/P0011 sin ningún componente eléctrico defectuoso.
2. Limpiar o reemplazar el **solenoid OCV/VVT** y su filtro-malla.
3. Verificar el **tensor de cadena** y las guías; medir el estiramiento con el método de correlación (§1.7).
4. Verificar el **anillo/rueda de disparo de la leva** — puede estar suelto o desplazado, especialmente tras un trabajo de distribución.
5. Reparar alimentación, masa y señal del sensor (mismo criterio que el Hall).
6. Reemplazar el sensor **solo tras descartar lo anterior**.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso

Paso 1 — Alimentación, masa y señal, idéntico al procedimiento del CKP Hall (§1.2, Fase A). El CMP comparte arquitectura eléctrica con el CKP Hall.

Paso 2 — Verificación de la coherencia de fase (la prueba propia del CMP). Esta es la prueba que no se puede sustituir con un multímetro. Requiere osciloscopio de 2 canales como mínimo:

1. Canal 1 → CKP. Canal 2 → CMP.
2. Trigger en el **hueco del CKP** (flanco tras el silencio).
3. Medir en **grados de cigüeñal** la distancia entre el hueco y el flanco del CMP. Convertir tiempo a grados:

$$\text{Grados} = \frac{t_{\text{medido}}}{t_{\text{una vuelta}}} \times 360^\circ$$

4. Comparar con la especificación del fabricante (o con un vehículo sano de referencia). Registrar el valor como línea base.

Paso 3 — Prueba dinámica del VVT. Con el motor en ralentí y el osciloscopio capturando ambos canales, comande el solenoide OCV con el escáner (o acelere bruscamente en punto muerto):

- El flanco del CMP debe **desplazarse** respecto al CKP de forma suave y proporcional al comando.
- Debe **regresar** a la posición de reposo al retirar el comando.
- Sin desplazamiento = solenoide, filtro o actuador de leva bloqueados.
- Desplazamiento errático = presión de aceite deficiente o actuador desgastado.

Paso 4 — Comparación de bancos (motores en V). Capture CMP de banco 1 y banco 2 simultáneamente. Un desfase entre bancos que no existía de fábrica indica cadena o tensor de un solo banco.

Paso 5 — Prueba de caída de voltaje.

Circuito	Límite
Alimentación del CMP	0.10 V
Masa del CMP	0.05 V
Señal (estado bajo)	0.10 V

Procedimiento idéntico al del §1.2 Fase D. **Nota específica del CMP:** en muchos motores el CMP comparte la línea VREF y la masa de sensores con el MAP y el TPS. Una caída elevada en el CMP suele indicar un problema **común** que afecta también a esos sensores — verifique sus PIDs antes de perseguir el CMP.

7 · Valores comunes de resistencia

Tipo de CMP	Resistencia
Hall (3 hilos)	No aplica — no medir
MRE	No aplica — no medir
VR (2 hilos)	200 - 2500 Ω (mismo criterio que el CKP VR)
Óptico	No aplica — LED + fototransistor

8 · Alimentaciones y tierras

Tipo	Pines	Notas
Hall / MRE	3: alimentación, señal, masa	Frecuentemente comparte VREF con MAP/TPS
VR	2: señal +, señal -	Entrada diferencial, sin alimentación
Óptico	4: 12 V, masa, pista 1°, pista de referencia	El LED consume 20-40 mA

Punto de atención en el CMP óptico: consume significativamente más corriente que un Hall (por el LED). Una caída de voltaje de 0.5 V en su alimentación reduce la intensidad del LED y produce **pulsos faltantes intermitentes**, típicamente en caliente. Es una falla clásica del CAS de Nissan.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Caso Hall/MRE: idéntico al §1.2 punto 9 (divisor pull-up / transistor).

Caso CMP óptico — cálculo del circuito del LED:

El LED interno consume 30 mA a 12 V nominales. Con una resistencia parásita de 15 Ω en el circuito de alimentación:

$$V_{drop} = 0.030 \times 15 = 0.45 \text{ V}$$

$$V_{LED} = 13.8 - 0.45 = 13.35 \text{ V}$$

Todavía funciona. Pero al calentarse el motor, la resistencia del cobre aumenta (+0.39 %/°C). Si la temperatura del arnés sube de 20 °C a 100 °C:

$$R_{caliente} = 15 \times [1 + 0.0039 \times 80] = 19.7 \Omega$$

$$V_{drop} = 0.030 \times 19.7 = 0.59 \text{ V}$$

La degradación es progresiva y, sumada al envejecimiento del fototransistor, explica por qué **el CAS de Nissan falla en caliente y “se cura” al enfriarse**.

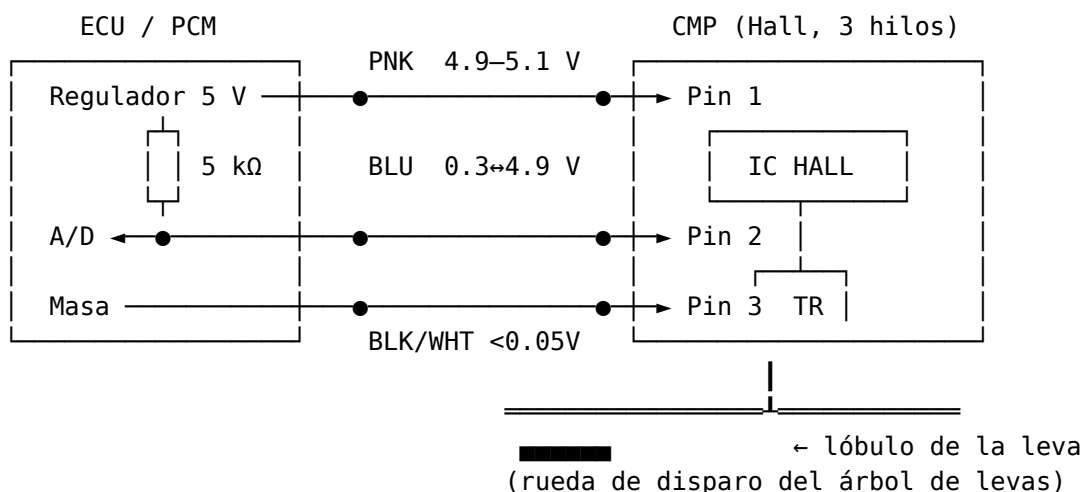
Caso CMP VR: idéntico al §1.1 punto 9, con el agravante de que la amplitud es la mitad, por lo que **tolera la mitad de resistencia parásita** antes de fallar.

10 · Nomenclatura de cableado

Marca	Alimentación	Señal	Masa
GM	PNK, ORN	BLU, YEL/BLK	BLK/WHT
Ford	RED, VIO	GRY/YEL, BRN/WHT	BLK/WHT
Toyota	VC / B+	VV1, G+, G22	E1
Honda	YEL/BLU	RED/BLU, BLU/GRN	GRN/BLK
Nissan (CAS)	W/R (12 V)	B/W (1°), Y (ref)	B
VW / Audi	rt/ge	gn/sw	br

11 · Simbología y diagrama de conexión

CMP HALL SOBRE EL ÁRBOL DE LEVAS



RELACIÓN MECÁNICA CLAVE:

1 vuelta de árbol de levas = 2 vueltas de cigüeñal = 720°

1° de árbol de levas = 2° de cigüeñal

12 · Análisis de oscilogramas

Qué se inspecciona en un CMP:

1. Los mismos cinco puntos del Hall (§1.2 punto 12): niveles, flancos, ancho de pulso, ruido.
2. **La posición de fase respecto al CKP** — exclusivo del CMP y objeto de la sección 1.7.
3. **La estabilidad del flanco a RPM constante.** Un flanco que “baila” $\pm 3^\circ$ indica cadena floja o tensor hidráulico con presión insuficiente.

Configuración del osciloscopio para CMP:

Ajuste	Valor
Acoplamiento	DC
V/div	1 V/div (Hall) · 5 V/div (VR a alta RPM)
Time/div	20 - 50 ms/div (para ver 720° completos)
Trigger	En el CKP , no en el CMP
Canales mínimos	2 (CKP + CMP) — con 1 canal no se diagnostica sincronismo

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

Configuración	Duty cycle
CMP Hall de 1 lóbulo	≈ 50 % del ciclo de 720°
CMP de 3 o 4 lóbulos con anchos distintos	Patrón asimétrico repetible , usado para ID de cilindro
CMP óptico, pista de 1°	≈ 50 %
CMP óptico, pista de referencia	2 - 10 % (ranuras estrechas)

Criterio de diagnóstico: en CMPs con lóbulos de anchos distintos (Ford, Chrysler V6/V8), el patrón asimétrico es **la identificación del cilindro**. Un patrón que cambia de forma entre capturas indica rueda de disparo suelta.

14 · Análisis de corriente

Tipo de CMP	Consumo	Método
Hall	10 - 20 mA	Pinza baja corriente, 10 vueltas
MRE	8 - 20 mA	Igual
Óptico (LED + foto)	20 - 40 mA	Pinza baja corriente, 5 vueltas
VR	Despreciable (μA)	No medible

Interpretación del consumo del CMP óptico: un consumo **por debajo de 15 mA** indica LED envejecido → intensidad luminosa insuficiente → pulsos faltantes a alta frecuencia. Es una falla frecuente que no da código de circuito abierto porque el sensor “todavía consume algo”.

15 · Preguntas de autoevaluación — CMP

P1. Un motor V6 arranca tras 4 segundos de giro y luego funciona aceptablemente. No hay códigos almacenados. La señal del CMP en el osciloscopio es una onda cuadrada limpia con niveles correctos. ¿Qué estrategia está usando la ECU, qué prueba realizaría para confirmarlo y qué debe verificar en la captura?

P2. Calcule la frecuencia del CMP de un motor de 4 cilindros con rueda de disparo de 3 lóbulos girando a 2400 RPM. Justifique por qué se divide entre 120 y no entre 60.

P3. Un vehículo con VVT presenta P0011 (leva sobre-avanzada, banco 1). La señal del CMP es correcta, la alimentación y la masa están dentro de especificación, y el solenoide OCV responde

al comando del escáner con la corriente esperada. Enumere, en orden de probabilidad, las tres causas restantes y cómo verifica cada una.

1.5 · RUEDAS RELUCTORAS: PATRONES Y CÓMO INTERPRETARLOS

PATRONES DE RUEDA RELUCTORA MÁS FRECUENTES

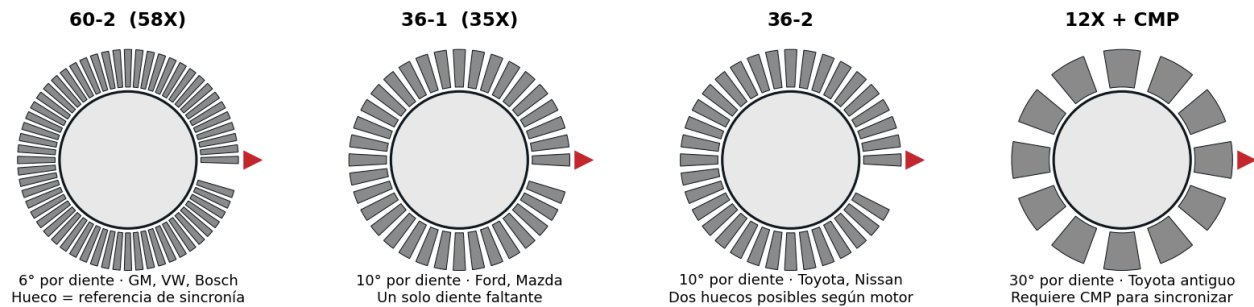


Figura 8: Patrones de rueda reluctora

Por qué el patrón importa para el diagnóstico

La ECU cuenta dientes. El hueco (o los huecos) le indican dónde está el cero. Si usted no sabe cuántos dientes tiene la rueda y cuántos grados vale cada uno, no puede convertir un desplazamiento del osciloscopio en grados de cigüeñal — y sin esa conversión no puede cuantificar un estiramiento de cadena.

$$\text{Grados por diente} = \frac{360^\circ}{\text{n}^\circ \text{ de posiciones de la rueda}}$$

Tabla maestra de patrones

Patrón	Posiciones	Dientes reales	°/diente	Hueco	Aplicación típica
60-2 (58X)	60	58	6°	12°	GM, VW/Audi, Bosch, gran parte del parque
36-1 (35X)	36	35	10°	10°	Ford, Mazda, Volvo
36-2	36	34	10°	20°	Toyota, Nissan, Hyundai
60-2-2	60	56	6°	2 huecos de 12°	Motores con identificación de banco
24X + 7X	24 / 7	—	15° / 51.4°	Sin hueco, doble sensor	GM 3800 Serie II

Patrón	Posiciones	Dientes reales	°/diente	Hueco	Aplicación típica
4X / 18X / 24X	según sensor	—	90° / 20° / 15°	Sin hueco	GM LS (sensor 24X y 4X combinados)
12+1	12	12	30°	1 diente extra	Toyota antiguo, requiere CMP
32 dientes en grupos	32	32	11.25°	Grupos separados	Chrysler
34-2	34	32	10.6°	21.2°	Algunos Subaru y Mitsubishi

Conversiones fundamentales que hay que memorizar

Rueda	1 diente =	2 dientes =	3 dientes =
60-2	6° cigüeñal / 3° leva	12° / 6°	18° / 9°
36-1	10° cigüeñal / 5° leva	20° / 10°	30° / 15°
12+1	30° cigüeñal / 15° leva	60° / 30°	90° / 45°

Regla que resuelve el 90 % de los diagnósticos de distribución: 1° de árbol de levas = 2° de cigüeñal. Un salto de un diente de la cadena en el piñón del árbol de levas equivale al doble de grados en el cigüeñal.

Cómo identificar el patrón sin el manual

1. Capture **una vuelta completa** del CKP con el osciloscopio (10-20 ms/div).
2. Cuente los pulsos entre dos huecos consecutivos.
3. Sume los dientes faltantes según el ancho del silencio: $\text{dientes faltantes} = \frac{\text{ancho del hueco}}{\text{ancho de un diente}}$
4. El total (presentes + faltantes) es el número de posiciones de la rueda.

Ejemplo: cuenta 35 pulsos y el silencio mide exactamente el ancho de 1 pulso → 36 posiciones → rueda **36-1** → **10° por diente**.

Ruedas sin hueco: la excepción a conocer

Los sistemas **GM 24X/7X** y algunos **LS** usan ruedas sin hueco de sincronía. La referencia la aportan **dos sensores simultáneos** cuyos flancos se cruzan en un patrón único por vuelta. En estos motores:

- **No busque un hueco.** No existe.
- El diagnóstico se hace **comparando ambos canales**, nunca uno solo.
- La correlación entre ambos es lo que la ECU evalúa; una desalineación produce P0336 o P0385.

Fallas mecánicas de la rueda reluctora

Falla	Cómo se ve en el osciloscopio	Causa
Dientes golpeados o rebabados	Amplitud irregular en dientes puntuales	Herramienta de trabado, montaje forzado
Volante bimasa agrietado	Amplitud que fluctúa cíclicamente	Fatiga, embrague deslizando
Rueda desplazada sobre el cigüeñal	Todo el patrón desfasado, sin código	Chaveta cortada, apriete insuficiente
Excentricidad (rueda descentrada)	Amplitud que sube y baja una vez por vuelta	Golpe, montaje incorrecto
Limaduras ferrosas acumuladas	Dientes "borrosos", amplitud reducida en zona	Desgaste de embrague o cojinetes

PATOLOGÍAS DE LA SEÑAL CKP QUE NO SIEMPRE GENERAN CÓDIGO

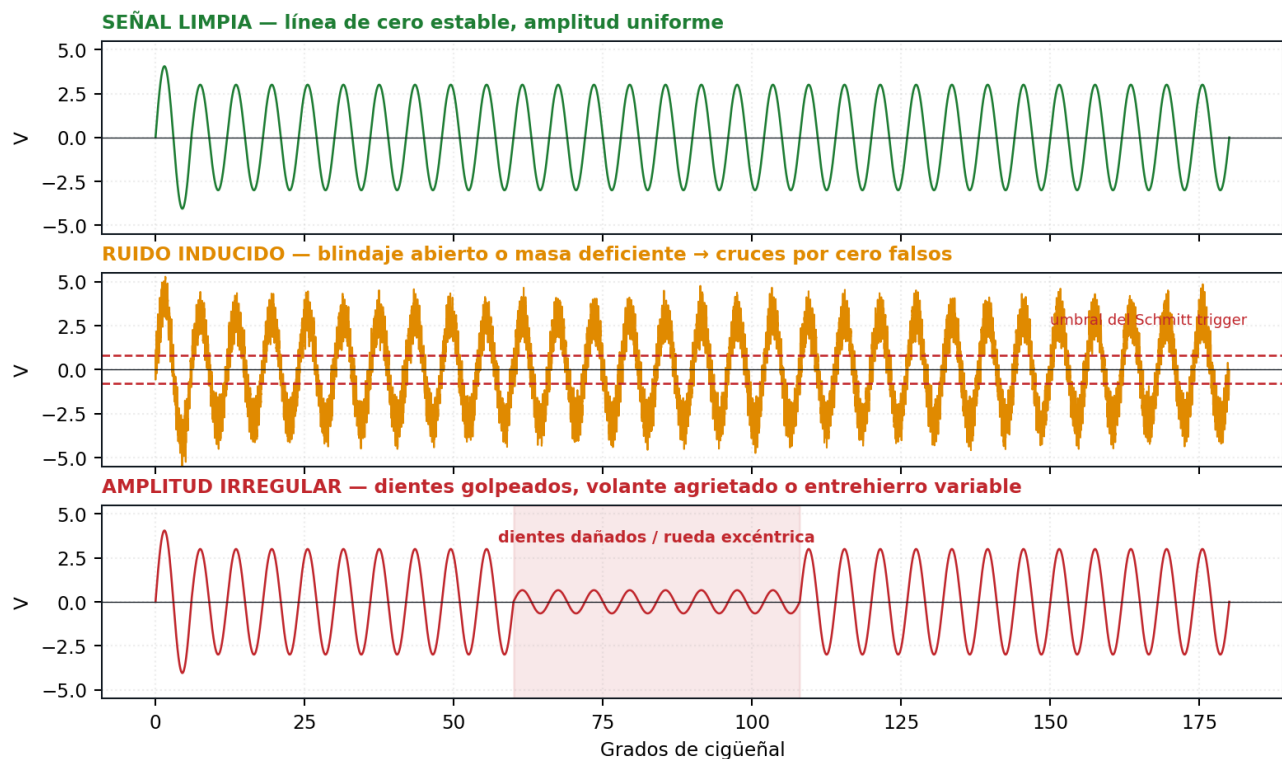


Figura 9: Patologías de la señal CKP

1.6 · ANÁLISIS DINÁMICO DE SINCRONISMO DE 720°

ANÁLISIS DINÁMICO DE SINCRONISMO 720° — CAPTURA MULTICANAL DE REFERENCIA

Los 2 huecos del CKP marcan los 2 PMS del cilindro 1 (360° = PMS de compresión, 720° = PMS de cruce). El CMP distingue cuál es cuál.

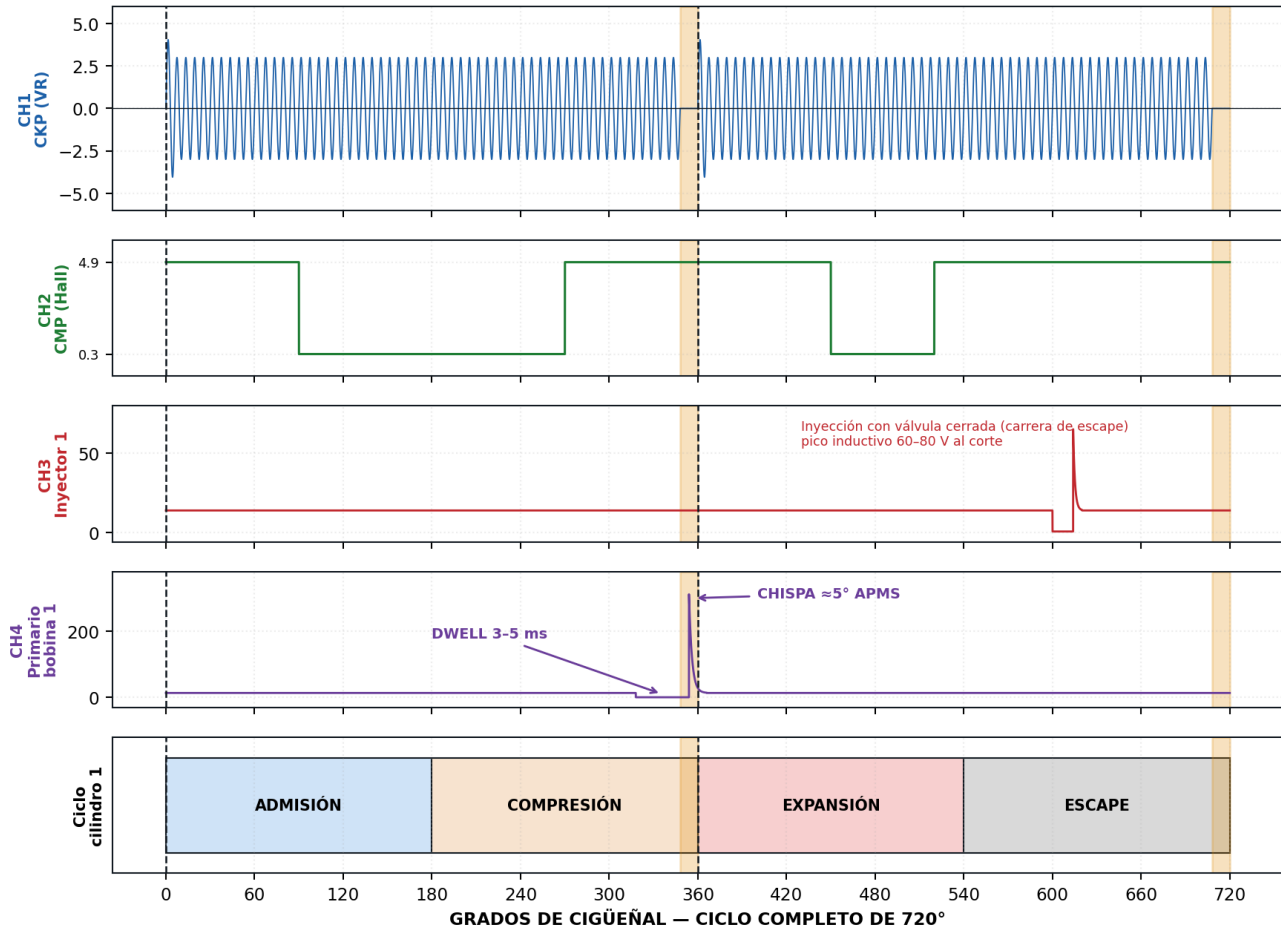


Figura 10: Análisis dinámico de sincronismo 720°

Concepto

El ciclo Otto/Diesel de cuatro tiempos requiere **dos vueltas de cigüeñal**:

$$720^\circ = 2 \times 360^\circ$$

Toda la gestión del motor está referida a esos 720°. El análisis dinámico de sincronismo consiste en capturar **simultáneamente** las señales que definen ese ciclo y verificar que todas guardan la relación de fase correcta.

Es la única prueba que verifica simultáneamente:

- Integridad eléctrica del CKP y del CMP.
- Sincronismo mecánico de la distribución (cadena / correa).
- Estrategia de inyección (secuencial vs. simultánea, fase correcta).

- Estrategia de encendido (dwell, punto de chispa, orden de encendido).
- Coherencia entre la orden de la ECU y la posición real del motor.

Configuración de la captura

Canal	Señal	Punto de conexión	V/div
CH1	CKP	Pin de señal del CKP	5 V/div (VR) · 2 V/div (Hall)
CH2	CMP	Pin de señal del CMP	2 V/div
CH3	Inyector cilindro 1	Pin de control (lado masa)	20 V/div
CH4	Primario de bobina cilindro 1	Pin de control del IGBT	100 V/div (o señal IGT, 2 V/div)

Ajustes generales:

Parámetro	Valor
Time/div	20 - 50 ms/div (a ralentí, para abarcar 720°)
Acoplamiento	DC en todos los canales
Trigger	CH1, flanco tras el hueco del CKP
Modo	<i>Single shot</i> o captura continua con memoria profunda
Masa de las sondas	Todas al mismo punto (negativo de batería)

Cálculo del time/div necesario:

$$t_{720^\circ} = \frac{2 \times 60}{RPM} \text{ segundos}$$

A 750 RPM: $t = 120/750 = 0.16 \text{ s} = 160 \text{ ms}$. Con 10 divisiones: **16 ms/div** mínimo. Use 20 ms/div para tener margen.

Los cuatro puntos de verificación

Verificación 1 — Los dos huecos y los dos PMS

En una captura de 720° con rueda 60-2 deben aparecer **exactamente 2 huecos**. Cada uno marca un PMS del cilindro 1:

- Un hueco corresponde al **PMS de compresión** (fin de compresión, momento de la chispa).
- El otro corresponde al **PMS de cruce** (fin de escape, apertura de admisión).

El CMP es lo único que distingue uno del otro.

Verificación 2 — Fase del CMP

Mida cuántos dientes (o grados) transcurren desde el hueco hasta el flanco del CMP. Este valor:

- Debe ser **constante** en todas las capturas a la misma temperatura y RPM.
- Debe coincidir con la especificación o con la línea base del vehículo sano.
- Debe **desplazarse de forma controlada** cuando actúa el VVT.

Verificación 3 — Fase de la inyección

En un motor secuencial de inyección en puerto, el inyector del cilindro 1 debe dispararse durante la **carrera de escape** o al final de la expansión, para que el combustible esté depositado detrás de la válvula de admisión cuando esta abra.

Estrategia	Momento de la inyección
Secuencial con válvula cerrada (más común)	Durante escape, $\approx 540^\circ - 700^\circ$
Secuencial con válvula abierta (arranque frío, carga alta)	Durante admisión, $\approx 0^\circ - 180^\circ$
Simultánea / <i>batch</i> (respaldo o arranque)	Dos veces por ciclo, sin fase definida
GDI, inyección directa homogénea	Durante admisión, $20^\circ - 160^\circ$
GDI, carga estratificada	Durante compresión, $240^\circ - 340^\circ$

Hallazgo diagnóstico clave: si captura **inyección simultánea** en un motor que debería ser secuencial, la ECU perdió la referencia del CMP y está en modo de respaldo. Esto ocurre **sin que haya necesariamente un código almacenado**.

Verificación 4 — Fase del encendido

Elemento	Valor esperado a ralentí
Inicio del dwell	$30^\circ - 60^\circ$ antes de la chispa
Duración del dwell	2 - 5 ms (bobinas COP modernas)
Punto de chispa	$5^\circ - 15^\circ$ APMS a ralentí
Corriente de saturación	6 - 9 A

El pico de encendido debe ocurrir **justo antes** del hueco correspondiente al PMS de compresión (o poco después, según el avance).

Procedimiento completo de la prueba

1. Motor a temperatura de operación, en ralentí estable.
2. Conectar los 4 canales con las masas unidas en el negativo de batería.
3. Ajustar time/div para abarcar 720° completos.
4. Disparar en el hueco del CKP en modo *single shot*.
5. **Congelar la captura y medir con cursores**, no a ojo.
6. Convertir todas las mediciones de tiempo a grados:

$$\text{Grados de cigüeñal} = \frac{t_{\text{medido}}}{t_{720^\circ}} \times 720^\circ$$

7. Registrar los cuatro valores de fase y compararlos con la especificación o con la línea base.
8. Repetir a 2000 RPM y bajo carga: **las fallas de cadena y de VVT se revelan bajo carga**, no en ralentí.

Tabla de interpretación de resultados

Hallazgo	Interpretación
Todo en fase, valores estables	Sincronismo correcto
CMP desplazado un valor fijo	Distribución mal armada o rueda de leva desplazada
CMP desplazado y creciente con las RPM	Cadena estirada / tensor con fuga
CMP desplazado solo en un banco	Cadena o tensor de ese banco
Inyección simultánea en motor secuencial	ECU en modo de respaldo por pérdida del CMP
Chispa desplazada respecto al hueco	Estrategia de retardo activa (detonación) o CKP con offset erróneo
Todo correcto pero motor sin potencia	Buscar fuera del sincronismo (escape tapado, compresión, combustible)

1.7 · CORRELACIÓN CKP / CMP — P0016, P0017, P0018, P0019

CORRELACIÓN CKP / CMP — CÓMO SE VE UNA CADENA O CORREA DESFASADA (P0016)

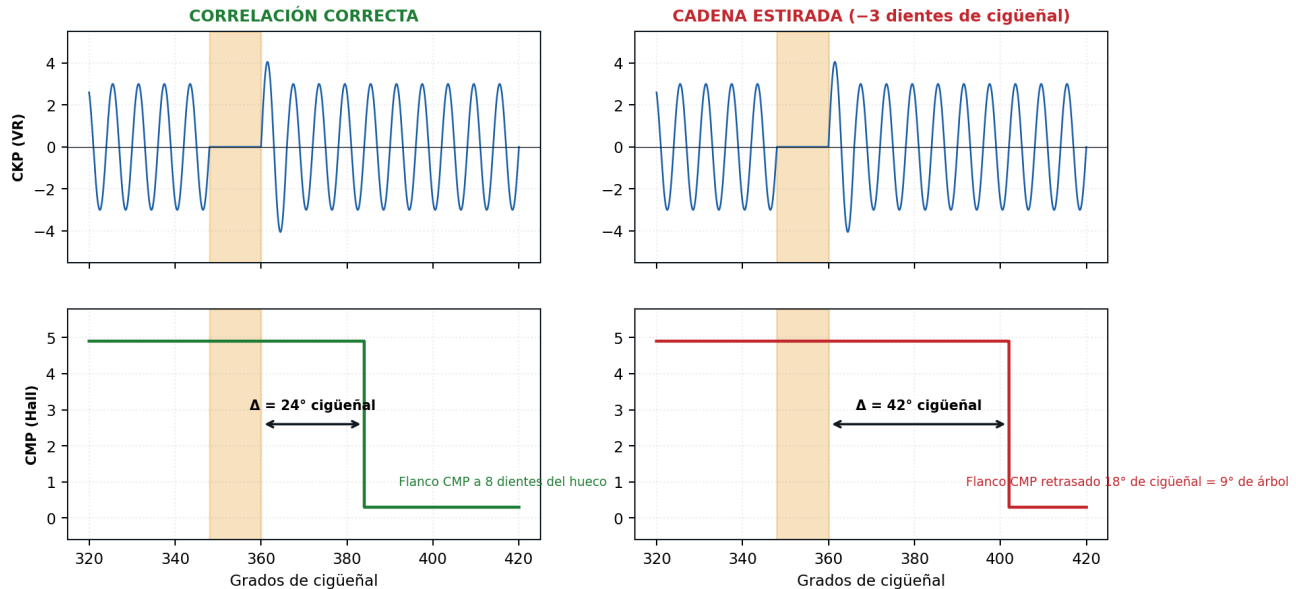


Figura 11: Correlación CKP/CMP normal vs cadena estirada

Qué evalúa realmente la ECU

La ECU **no mide la longitud de la cadena**. Mide, en cada ciclo, cuántos dientes de CKP transcurren entre el hueco de sincronía y el flanco del CMP. Ese número tiene un valor esperado y una ventana de tolerancia. Si el valor medido sale de la ventana durante un número determinado de ciclos, se activa el código.

$$\Delta_{medido} = \theta_{flanco\ CMP} - \theta_{hueco\ CKP}$$

Los cuatro códigos y su significado exacto

Código	Banco	Sensor	Árbol implicado
P0016	1	A	Árbol de admisión , banco 1
P0017	1	B	Árbol de escape , banco 1
P0018	2	A	Árbol de admisión , banco 2
P0019	2	B	Árbol de escape , banco 2

Banco 1 es siempre el banco que contiene el **cilindro n.º 1**. **Sensor A** es el árbol de admisión; **sensor B**, el de escape. En motores de un solo árbol (SOHC), solo existen P0016 y P0018.

Causas posibles, en orden de frecuencia real de taller

#	Causa	Cómo se descarta
1	Cadena estirada / tensor con fuga o desgastado	Medición del desfase con osciloscopio; crece con RPM y con motor caliente
2	Solenoide OCV/VVT tapado o pegado	Prueba de comando con escáner + análisis de corriente del solenoide
3	Presión de aceite insuficiente o aceite degradado	Manómetro mecánico; revisar intervalo de cambio y viscosidad
4	Filtro-malla del OCV obstruido	Desmontar e inspeccionar (causa muy frecuente y barata)
5	Actuador de leva (cam phaser) desgastado o con pasador roto	Ruido de traqueteo al arrancar; desfase que no responde al comando
6	Distribución mal armada tras reparación	Desfase fijo , presente desde el arranque, no cambia con RPM
7	Rueda de disparo de la leva desplazada	Desfase fijo; inspección visual
8	Sensor CKP o CMP con señal degradada	Análisis de niveles y flancos (§1.1, §1.2)
9	Cableado con resistencia parásita	Prueba de caída de voltaje según §1.2 Fase D
10	ECU	Último de la lista. Solo tras descartar todo lo anterior

El error más costoso de este diagnóstico: reemplazar el sensor CMP porque el código lo nombra. El código P0016 **no acusa al sensor**: acusa a la **relación** entre dos señales. En la práctica, el sensor es la causa en menos del 10 % de los casos.

Método de cuantificación del estiramiento de cadena

Este es el procedimiento que convierte una sospecha en un número medible.

Paso 1 — Captura de referencia. Osciloscopio de 2 canales: CH1 = CKP, CH2 = CMP. Motor frío, en ralentí. Trigger en el hueco del CKP.

Paso 2 — Medir el desfase en dientes. Cuente cuántos dientes completos de CKP transcurren desde el final del hueco hasta el flanco activo del CMP. Use cursores, no la vista.

Paso 3 — Convertir a grados.

$$\theta_{cig} = n^{\circ} \text{ de dientes} \times \frac{360^{\circ}}{\text{posiciones de la rueda}}$$

$$\theta_{leva} = \frac{\theta_{cig}}{2}$$

Paso 4 — Repetir con el motor caliente y a 2500 RPM.**Paso 5 — Interpretar.**

Comportamiento del desfase	Diagnóstico
Constante en frío, caliente y a distintas RPM Fijo pero fuera de especificación Aumenta con las RPM	Sincronismo mecánico correcto Distribución mal armada o rueda desplazada Cadena estirada; el tensor no compensa a alta velocidad
Aumenta con la temperatura	Tensor hidráulico con fuga; pierde presión con aceite caliente
Errático, salta de un ciclo a otro	Cadena muy floja golpeando las guías, o tensor colapsado

Ejemplo numérico completo:

Rueda 60-2 (6° por diente). Vehículo sano de referencia: flanco del CMP a **8 dientes** del hueco.

Vehículo con falla: flanco a **11 dientes**.

$$\Delta = (11 - 8) \times 6^\circ = 18^\circ \text{ de cigüeñal}$$

$$\Delta_{leva} = \frac{18^\circ}{2} = 9^\circ \text{ de árbol de levas}$$

Interpretación: 9° de retraso en el árbol de levas es un estiramiento severo. La mayoría de fabricantes activan el código por encima de **5° - 8° de cigüeñal** (2.5° - 4° de leva). Un desfase de 18° de cigüeñal confirma cadena y tensor.

Diferenciación rápida: ¿cadena o VVT?

Prueba	Cadena estirada	Problema de VVT
Desfase con motor apagado y girado a mano	Presente	Ausente
Desfase al comandar OCV con escáner	Se suma al existente	La leva no se mueve o se mueve erráticamente
Ruido de traqueteo al arrancar en frío	Frecuente	Raro
Respuesta al cambio de aceite y filtro	Nula	Puede mejorar o resolverse
Corriente del solenoide OCV	Normal	Puede ser anormal (bobina o pegado)
Desfase que crece con RPM	Sí	No necesariamente

La prueba de giro a mano es decisiva: si el desfase existe con el motor apagado y girado manualmente, el VVT no está involucrado (no hay presión de aceite). El problema es puramente mecánico: cadena, tensor o armado.

1.8 · RUIDO ELÉCTRICO, FALSOS DISPAROS Y SALTOS DE DIENTE

El problema

El comparador Schmitt trigger de la ECU convierte la señal analógica del CKP en pulsos digitales usando un umbral. Cualquier ruido que cruce ese umbral genera un **pulso falso** que la ECU cuenta como un diente adicional. El resultado es una referencia angular corrupta: la ECU cree estar en un ángulo distinto al real.

Síntomas típicos de falsos disparos:

- P0300 con misfires aleatorios sin patrón por cilindro.
- Corte momentáneo de motor al activar consumidores eléctricos (ventilador, A/C, luces, bomba de ABS).
- Tacómetro que “salta” bajo carga.
- Detonación intermitente sin causa aparente.
- P0336 (rango/desempeño del CKP) sin que el sensor esté defectuoso.

Las cinco fuentes de ruido, en orden de frecuencia

#	Fuente	Cómo se identifica
1	Blindaje del cable del CKP abierto o mal aterrizado	Ruido a frecuencia del encendido superpuesto
2	Cables de bujía o bobinas con fuga	Ruido sincronizado con la chispa; visible al oscurecer el taller
3	Masa del motor deficiente	Ruido que aparece o crece al activar consumidores
4	Alternador con diodo abierto	Rizado excesivo; se confirma con captura AC del B+ (§Módulo 0)
5	Arnés del CKP enrutado junto a cables de alta tensión	Ruido tras una reparación previa; verificar enrutamiento original

Cómo se ve el ruido en el osciloscopio

Vuelva a la figura de patologías (§1.5). Los tres criterios de identificación:

1. **Ruido de encendido:** picos de alta frecuencia y baja duración, **sincronizados con el pico de la bobina**. Capture CKP y primario de bobina simultáneamente para confirmar la sincronía.
2. **Ruido de alternador:** ondulación continua superpuesta, cuya frecuencia **cambia con las RPM del motor pero no con las del cigüeñal en proporción de dientes**. Frecuencia típica: $\text{RPM} \times \text{relación de p Polea} \times 6$ (para alternador de 12 polos... el número exacto varía).
3. **Ruido de masa:** aparece o se agrava al activar cargas. Prueba definitiva: capturar el CKP mientras se enciende el ventilador de refrigeración.

Procedimiento de aislamiento del ruido

1. **Capture el CKP en ralentí, sin cargas.** Registre la línea base.
2. **Encienda cargas una por una** (luces, ventilador, A/C, desempañador), observando la captura tras cada una. La carga que introduce el ruido señala el circuito de masa comprometido.
3. **Instale un cable de masa auxiliar** provisional entre el bloque del motor y el negativo de batería. Si el ruido desaparece, la masa del motor es la causa.
4. **Verifique el blindaje:** debe medir $< 1 \Omega$ a masa **en un solo extremo**. Aterrizado en ambos extremos crea un bucle que **capta** ruido en vez de rechazarlo.
5. **Separe físicamente el arnés del CKP** de los cables de alta tensión y de la bomba de combustible. Una separación de 10 cm elimina muchos casos.

Salto de diente: el fenómeno y su detección

Un “salto de diente” ocurre cuando la ECU cuenta un diente de más o de menos dentro de una vuelta. Se detecta comparando **el número de pulsos entre dos huecos consecutivos**:

Pulsos esperados entre huecos = posiciones de la rueda – dientes faltantes

Para 60-2: **58 pulsos exactos** entre cada par de huecos.

Procedimiento de conteo:

1. Capture al menos 5 vueltas completas con memoria profunda.
2. Use la función de conteo de pulsos del osciloscopio (o cuente con cursores).
3. Cualquier vuelta con 57 o 59 pulsos confirma un salto.

Causas de saltos de diente:

Causa	Diferenciación
Ruido eléctrico (pulso extra)	Conteo por exceso ; el pulso falso es visible
Amplitud insuficiente (pulso perdido)	Conteo por defecto ; amplitud baja en el diente afectado
Diente físico dañado	Conteo por defecto, siempre en la misma posición
Juego axial del cigüeñal	Amplitud variable cíclica; conteo generalmente correcto

El diagnóstico decisivo: si el pulso faltante o sobrante ocurre **siempre en la misma posición angular**, la causa es mecánica (diente dañado). Si ocurre en **posiciones aleatorias**, la causa es eléctrica (ruido o amplitud marginal).

1.9 · COMPRESIÓN RELATIVA SINCRONIZADA CON EL CKP

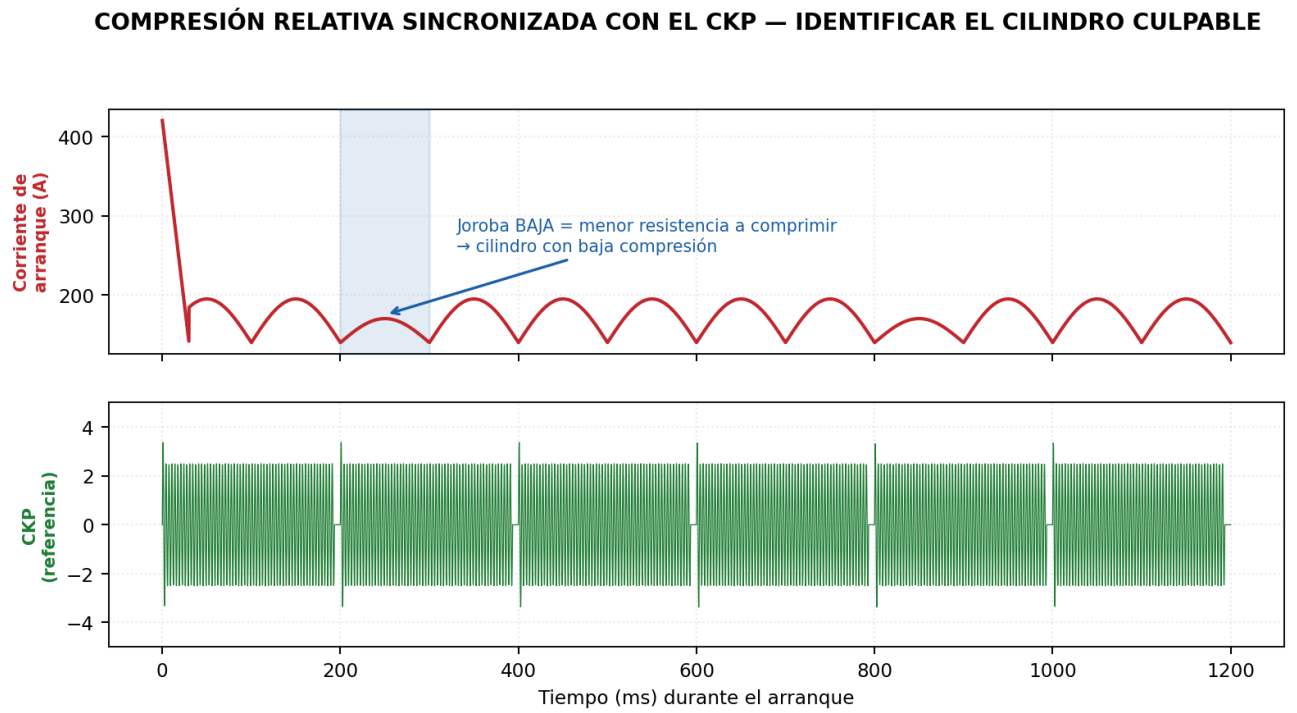


Figura 12: Compresión relativa sincronizada con el CKP

Concepto

Durante el arranque, el motor de arranque encuentra mayor resistencia al vencer la compresión de cada cilindro. Esa resistencia se refleja como un **pico de corriente**. Comparando la altura de los picos entre cilindros se identifica cuál tiene menor compresión — **sin desmontar una sola bujía**.

Sincronizando esa captura con el CKP se resuelve la pregunta que la prueba de compresión relativa sola no responde: **¿cuál cilindro es?**

Configuración de la prueba

Canal	Señal	Instrumento
CH1	Corriente del motor de arranque	Pinza de alta corriente (500-1000 A) sobre el cable positivo del motor de arranque
CH2	CKP	Sonda en el pin de señal
CH3 (opcional)	Primario de bobina o inyector cilindro 1	Para identificar el cilindro de referencia

Ajuste	Valor
Time/div	100 – 200 ms/div
V/div CH1	Según escala de la pinza (ej. 100 A/div)
Trigger	CH1, flanco de subida, nivel $\approx 50\%$ del pico inicial
Modo	<i>Single shot</i>

Preparación obligatoria: deshabilitar inyección y encendido (retirar fusible o relé correspondiente) para que el motor **gire sin arrancar**. Batería en buen estado y plenamente cargada — una batería débil invalida la prueba.

Interpretación

1. **Ignore el primer pico**, que corresponde a la corriente de rotor bloqueado (*inrush*) del motor de arranque y no tiene relación con la compresión.
2. Cuente las jorobas: debe haber **una por cilindro por cada 2 vueltas**.
3. Mida la altura de cada joroba desde la línea base.
4. Calcule la desviación:

$$\text{Desviación (\%)} = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max}} \times 100$$

Desviación	Interpretación
< 10 %	Compresión uniforme, aceptable
10 – 20 %	Diferencia notable; investigar
> 20 %	Cilindro con compresión significativamente baja

Identificación del cilindro con el CKP

El CH2 (CKP) proporciona la referencia angular. Procedimiento:

1. Localice el hueco de sincronía correspondiente al PMS de compresión del cilindro 1 (identificado previamente con el CMP o con el canal del inyector 1).
2. Desde ese punto, avance según el **orden de encendido** del motor.
3. Cada joroba de corriente entre dos huecos corresponde a un cilindro según el orden de encendido y el intervalo angular:

$$\text{Intervalo entre encendidos} = \frac{720^\circ}{n^\circ \text{ de cilindros}}$$

Cilindros	Intervalo	Órdenes de encendido comunes
4	180°	1-3-4-2 · 1-2-4-3
5	144°	1-2-4-5-3
6 en línea	120°	1-5-3-6-2-4
V6	120°	1-2-3-4-5-6 · 1-6-5-4-3-2
V8	90°	1-8-4-3-6-5-7-2 · 1-5-4-8-6-3-7-2

Ventajas y límites de la prueba

Ventajas:

- No invasiva: no se retiran bujías ni inyectores.
- Rápida: 5 minutos frente a 45 de una compresión convencional.
- Detecta problemas de distribución que afectan a **varios cilindros** a la vez — un patrón donde **todos** los cilindros están bajos por igual sugiere cadena saltada o correa desplazada, no un cilindro individual.

Límites:

- Es una prueba **relativa**, no absoluta: no entrega valores en PSI/bar.
- Si **todos** los cilindros tienen baja compresión por igual, la prueba no lo detecta (todas las jorobas serán bajas pero uniformes) — por eso hay que observar también el **valor absoluto de corriente**: un motor sano de 4 cilindros gira con picos de 150-200 A; picos de 90 A generalizados con batería buena sugieren compresión baja en todos.
- Requiere batería en buen estado y buenas masas.

Aplicación combinada con este módulo: un motor con cadena saltada dos dientes presentará **simultáneamente** desfase CKP/CMP medible (§1.7) y compresión relativa baja y uniforme. Los dos hallazgos juntos confirman el diagnóstico antes de desarmar nada.

CUESTIONARIO INTEGRADOR — MÓDULO 1

1. Un motor con rueda 60-2 gira a 3000 RPM. Calcule: (a) la frecuencia de la señal del CKP, (b) la duración en microsegundos de un diente, (c) la duración del hueco de sincronía, (d) el tiempo total de un ciclo de 720° .
 2. Está diagnosticando un P0016 en un motor de 4 cilindros con rueda 36-1. El vehículo de referencia muestra el flanco del CMP a 6 dientes del hueco; el vehículo con falla lo muestra a 8 dientes. Calcule el desfase en grados de cigüeñal y en grados de árbol de levas, e indique si el valor justifica el código.
 3. Un motor arranca y funciona, pero al capturar los inyectores observa que todos se disparan simultáneamente dos veces por cada 720° . No hay códigos almacenados. ¿Qué está ocurriendo, cuál es la causa raíz probable y por qué no hay código?
 4. Un CKP tipo VR mide $780\ \Omega$ (especificación $700\text{--}900\ \Omega$), tiene continuidad en ambos hilos y aislamiento correcto a la carcasa. El vehículo no arranca en frío. Explique el mecanismo físico por el que el sensor puede estar defectuoso a pesar de estas mediciones, y describa la prueba que lo confirma en menos de 2 minutos.
 5. Diferencie, mediante **una sola prueba práctica**, un desfase CKP/CMP causado por cadena estirada de uno causado por un actuador VVT bloqueado. Explique el fundamento físico de la prueba.
 6. En una captura de 720° , cuenta 59 pulsos entre dos huecos consecutivos de una rueda 60-2. En la siguiente vuelta cuenta 58, y en la tercera 59 nuevamente, pero el pulso extra aparece en una posición angular distinta cada vez. ¿Cuál es la causa y cuál es el procedimiento de aislamiento?
 7. Un técnico conecta el osciloscopio a un CKP de 2 hilos con el cable negro de la sonda en el pin "CKP Low" del sensor, en lugar del negativo de batería. Explique qué riesgo introduce esta conexión y qué puede observar erróneamente.
 8. Un CMP óptico de Nissan falla intermitentemente en caliente. El consumo del sensor medido con pinza es de 12 mA (especificación $25\text{--}35\ \text{mA}$). ¿Qué componente interno está degradado, qué efecto produce sobre la señal y por qué la falla es dependiente de la temperatura?
 9. Realiza una compresión relativa en un motor de 6 cilindros. Todas las jorobas son uniformes entre sí (desviación 6 %) pero el pico máximo es de 105 A cuando la especificación para ese motor es 170–210 A. La batería está cargada y las masas verificadas. ¿Qué indica este resultado y qué prueba de este módulo realizaría a continuación?
 10. Un vehículo con CKP tipo Hall funciona correctamente en frío y corta a los 20 minutos. Con el osciloscopio observa que, al momento del corte, la señal mantiene el nivel alto en 4.9 V pero el nivel bajo sube progresivamente de 0.4 V a 1.8 V. Alimentación y masa se mantienen dentro de especificación. Aplique la Ley de Ohm para determinar la resistencia parásita presente en el momento del corte, asumiendo una pull-up de $10\ \text{k}\Omega$.
-

HOJA DE REFERENCIA RÁPIDA — MÓDULO 1

FÓRMULAS DE SINCRONISMO

$f_{CKP} \text{ (Hz)} = (\text{RPM} / 60) \times \text{dientes presentes}$

$f_{CMP} \text{ (Hz)} = (\text{RPM} / 120) \times \text{lóbulos}$

$^\circ/\text{diente} = 360^\circ / \text{posiciones de la rueda}$

$^\circ \text{ cigüeñal} = ^\circ \text{ árbol de levas} \times 2$

$t(720^\circ) = 120 / \text{RPM} \text{ segundos}$

$\text{Grados} = (t \text{ medido} / t 720^\circ) \times 720^\circ$

$\text{Desviación \%} = (\text{Imax} - \text{Imin}) / \text{Imax} \times 100$

CKP VR (2 hilos) – GENERADOR AC

Resistencia 200 – 2500 Ω

Aislamiento a carcasa > 10 M Ω

Arranque 0.5 – 2.0 V p-p (mín. 0.5 V pico)

Ralentí 2 – 8 V p-p

2000 RPM 8 – 25 V p-p

Entrehierro 0.5 – 1.5 mm

Caída de voltaje clásica NO VÁLIDA (circuito de μA)

CKP / CMP HALL y MRE (3 hilos) – DIGITAL

Alimentación 4.90 – 5.10 V ó 11.5 – 14.5 V

Nivel bajo 0.1 – 0.5 V (máx. 0.8 V)

Nivel alto 4.5 – 5.0 V

Masa del sensor < 0.05 V

Consumo 10 – 20 mA

Resistencia NO MEDIR – sin valor diagnóstico

Caída máx. alimentación 0.10 V · masa 0.05 V

MRE 2 hilos 7 mA / 14 mA (shunt 100 Ω)

RUEDAS RELUCTORAS

60-2 → 6 $^\circ$ /diente · hueco 12 $^\circ$ GM, VAG, Bosch

36-1 → 10 $^\circ$ /diente · hueco 10 $^\circ$ Ford, Mazda, Volvo

36-2 → 10 $^\circ$ /diente · hueco 20 $^\circ$ Toyota, Nissan, Hyundai

12+1 → 30 $^\circ$ /diente Toyota antiguo

24X/7X y 4X/24X → sin hueco GM (requiere 2 canales)

CÓDIGOS DE CORRELACIÓN

P0016 → Banco 1, árbol de ADMISIÓN

P0017 → Banco 1, árbol de ESCAPE

P0018 → Banco 2, árbol de ADMISIÓN

P0019 → Banco 2, árbol de ESCAPE

P0011/P0021 → leva sobre-AVANZADA · P0012/P0022 → sobre-RETRASADA

Umbral típico de activación 5 $^\circ$ – 8 $^\circ$ de cigüeñal

CAPTURA DE 720 $^\circ$ – AJUSTES

CH1 CKP · CH2 CMP · CH3 Inyector 1 · CH4 Primario bobina 1

Time/div 20 ms/div a ralentí ($t_{720^\circ} = 160 \text{ ms}$ a 750 RPM)

Acoplamiento ... DC en todos los canales

Trigger CH1, flanco tras el hueco

Masas TODAS al negativo de batería

SECUENCIA DE DIAGNÓSTICO DE SINCRONISMO

1. Verificar alimentación y masa del sensor (si aplica)
2. Capturar CKP: amplitud, línea de cero, hueco, uniformidad
3. Capturar CMP: niveles, flancos, estabilidad
4. Capturar ambos juntos: medir el desfase en dientes
5. Repetir caliente y a 2500 RPM
6. Si el desfase crece → mecánica (cadena/tensor)
Si el desfase es fijo → armado o rueda desplazada
Si el desfase no responde al OCV → VVT (aceite, solenoide, actuador)
7. Confirmar con compresión relativa antes de desarmar

Fin del Módulo 1. El Módulo 2 (Sensores de Carga del Motor: MAP, MAF, TPS, APP) aplica los mismos principios a las señales analógicas y de frecuencia.