UniEVercity

ACADEMIA DE ELECTROMOVILIDAD · AUTO AVANCE

GUÍA DE ESTUDIO · NIVEL 3

Diagnóstico y reparación

Batería y BMS, contactores y precarga, inversor, motor-generadores y transmisiones, con casos de taller resueltos paso a paso.

M1	Método de diagnóstico en vehículos eléctricos e híbridos
M2	Batería de alto voltaje y BMS
M3	Contactores, precarga, HVIL y aislamiento
M4	Inversor y convertidor elevador
M5	Motor-generadores y transmisiones
M6	Diagnóstico integrado: casos de taller

Estudia este nivel en línea, con práctica en el simulador:
autoavance.co/curso-electromovilidad

UniEVercity es la academia de electromovilidad de Auto Avance, su propietaria y desarrolladora.

© Auto Avance · www.autoavance.co

Sobre este nivel

El nivel 3 lleva al técnico del procedimiento seguro al diagnóstico de cada subsistema de alto voltaje: el método con escáner, la batería y su BMS, los contactores, la precarga y el aislamiento, el inversor y el convertidor elevador, los motor-generadores y las transmisiones, y cuatro casos de taller que lo integran todo. Está pensado para mecánicos y electricistas automotrices que ya diagnostican sistemas de motor con escáner, multímetro y osciloscopio. Requisito: haber completado N1 y N2. Aquí se da por sabido el desenergizado, la verificación de ausencia de voltaje (vivo-muerto-vivo) y el uso del megóhmetro.

Con qué certificaciones internacionales se alinea

- **Europa:** el contenido teórico se alinea con la parte teórica de las cualificaciones DGUV 2S y 3S (DGUV 209-093) de Alemania y con los temas de los IMI Level 3 (610/3970/6) e IMI International Level 4 del Reino Unido. La práctica en vehículos reales y el trabajo bajo tensión exigen formación presencial.
- **Estados Unidos:** el contenido teórico se alinea con las áreas del examen ASE L3 Light Duty Hybrid/Electric Vehicle Specialist: electrónica de potencia (29 %), batería de alto voltaje (25 %), sistemas de propulsión (20 %), motor de combustión (13 %) y sistemas de soporte (13 %).
- **Latinoamérica:** ningún país de la región tiene todavía una certificación nacional de diagnóstico comparable. El contenido teórico se alinea con la parte de diagnóstico de componentes del estándar mexicano CONOCER EC1528 y con los programas técnicos de diagnóstico y reparación de vehículos eléctricos e híbridos de la región.
- **Asia y Oceanía:** el contenido teórico se alinea con las unidades australianas de diagnóstico de subsistemas AURETH103 a AURETH109 y AURETH110 (batería de híbridos), con la unidad neozelandesa US 33118 de diagnóstico de fallas complejas y con los niveles intermedio y avanzado del certificado chino 1+X de vehículos de nueva energía.

© Auto Avance · www.autoavance.co

N3 · M1

Método de diagnóstico en vehículos eléctricos e híbridos

Lectura: ≈ 30 min · 4 preguntas de autoevaluación

En un vehículo electrificado casi toda falla llega como "no hay READY", una luz de advertencia o una pérdida de potencia. El código dice lo que la computadora vio, no qué pieza falló. Sin un método, el taller cambia piezas caras por intuición; con método, cada medida descarta una parte del sistema.

La queja del cliente y la verificación

Empieza por la entrevista. Pregunta cuándo pasa, con qué temperatura, con qué nivel de carga, si fue después de lavar el vehículo, de una lluvia fuerte, de un golpe, de una reparación de batería o de varios días sin uso. El agua apunta a aislamiento; los días sin uso, a la batería auxiliar de 12 V; un golpe, a cableado o a la batería de alto voltaje.

Luego verifica la queja tú mismo: intenta el READY, anota los testigos encendidos y los mensajes del tablero. Si la falla es intermitente, registra las condiciones en las que aparece antes de tocar nada.

- Mide la batería de 12 V antes de cualquier otra cosa. Las computadoras del sistema híbrido despiertan y cierran los contactores con energía de 12 V; una batería auxiliar débil produce "no READY" y códigos falsos de comunicación.
- Haz un escaneo completo de todos los módulos, no solo del motor. Los códigos de red (U) y los de otros módulos dan contexto.
- Guarda el reporte antes de borrar. Lo que borras ya no se puede consultar.

Códigos de falla: formato y tipos

El formato de cinco caracteres viene de SAE J2012 e ISO 15031-6. La letra indica el sistema (P tren motriz, C chasis, B carrocería, U red). El primer dígito distingue los códigos definidos por la norma (0) de los del fabricante (1). Dentro de los códigos P0, el bloque P0A00 a P0AFF se reservó para la propulsión híbrida y eléctrica, y la norma ha ido sumando bloques como P0B.. (por ejemplo, la medición de voltaje de la batería) y P0C...

Código	Descripción de la norma	Subsistema
P0A0A	Circuito de interbloqueo del sistema de alto voltaje	HVIL
P0AA1	Contactor positivo de la batería híbrida pegado cerrado	Contactores

Código	Descripción de la norma	Subsistema
P0AA6	Falla de aislamiento del sistema de voltaje de la batería híbrida	Aislamiento
P0A7F	Deterioro del paquete de batería híbrida	Batería
P0A80	Reemplazar el paquete de batería híbrida	Batería
P0A3F	Circuito del sensor de posición del motor de tracción A	Resolver
P0A94	Desempeño del convertidor DC/DC	Convertidor

Muchos fabricantes agregan un subcódigo o número de información que identifica la condición exacta; en redes con protocolo ISO 14229 (UDS) el código lleva además un byte de tipo de falla. El mismo P0A80 con dos subcódigos distintos puede pedir dos procedimientos distintos: busca siempre el subcódigo en la información del fabricante.

Distingue el estado del código:

- **Pendiente:** la falla se vio en un ciclo, todavía no madura.
- **Confirmado:** se repitió según la lógica del monitor; suele encender el testigo.
- **Permanente:** en vehículos con OBD regulado, el escáner no lo borra; desaparece solo cuando el monitor corre y pasa.
- **Historial:** ocurrió y ya no está activo; útil en intermitentes.

Cuadro congelado

El cuadro congelado guarda los datos del instante en que se registró la falla. Algunos sistemas guardan varios cuadros, antes y después del evento. Lee al menos: estado de carga (SOC), voltaje y corriente de batería, temperaturas de batería e inversor, velocidad del vehículo, rpm del motor de combustión, rpm y torque de cada motor-generador, voltaje después del convertidor elevador y estado READY. Con eso sabes en qué condición tienes que reproducir la falla.

Lista de datos y pruebas activas

Lee los datos en grupos y en gráfica, no uno por uno. Comparaciones que rinden mucho:

- Voltaje del paquete medido por el BMS contra voltaje del bus medido por el inversor (antes del elevador): con los contactores cerrados deben coincidir dentro de pocos voltios.
- Voltajes de bloques o celdas: busca el que se separa del grupo, sobre todo bajo carga.
- Torque pedido contra torque real de cada motor-generador.

- Estados de contactores, HVIL y la resistencia de aislamiento, cuando el sistema la publica.

Las pruebas activas permiten mandar ventiladores, bombas de refrigerante, contactores o el modo de inspección que mantiene encendido el motor de combustión. Sirven para separar actuador de mando: si el componente responde al escáner, el problema está en la lógica o en la condición que lo pide.

> **Alto voltaje:** una prueba activa de contactores energiza el bus de alto voltaje. Antes de ejecutarla, confirma que nadie trabaja en el vehículo, que las tapas y conectores están en su lugar y que el procedimiento del fabricante permite esa prueba en ese estado.

Cómo leer el flujo de potencia

La potencia mecánica de un motor-generador es torque por velocidad: P (kW) = T (N·m) × n (rpm) / 9549. Si torque y velocidad tienen el mismo signo, la máquina trabaja como motor y consume de la batería; si tienen signos opuestos, trabaja como generador y entrega. Revisa la convención de signos de la corriente de batería en tu escáner: unos fabricantes muestran la descarga como positiva y otros como negativa.

Haz el balance: la potencia de la batería debe parecerse a la suma de las potencias eléctricas de los motor-generadores, más el convertidor DC/DC y el compresor eléctrico del aire acondicionado, más las pérdidas. Si el balance no cierra, un sensor de corriente o de voltaje está mintiendo.

Confirmar la reparación

1. Borra los códigos y haz los aprendizajes que pida el fabricante (por ejemplo, la compensación del resolver o el reinicio de datos de la batería después de reemplazarla).
2. Repite en ruta las condiciones del cuadro congelado.
3. Vuelve a leer la lista de datos y confirma que el valor que estaba fuera de rango ya es normal.
4. Verifica que no quedan códigos pendientes y que los monitores corrieron.
5. Documenta medidas, piezas y resultado en la orden de trabajo.

> **En el taller:** antes de borrar, toma foto o guarda el archivo del escaneo completo con los cuadros congelados. Si el cliente vuelve con la misma falla, esa evidencia es lo que te permite comparar.

Practica en el simulador

Pide al instructor una falla desde Fallas. Abre Escáner, lee el código y su cuadro congelado, y anota SOC, voltaje de batería y rpm de cada máquina. Luego abre Flujo de potencia y decide, con el signo de torque y velocidad, qué máquina está motorizando y cuál generando en ese momento.
Abrir el simulador de vehículos híbridos

Para profundizar

- Manual Sistemas Híbridos – Tren Motriz, Inversor y Batería (manual en PDF)
- Manual Lectura de Diagramas Eléctricos Automotrices (manual en PDF)

Autoevaluación

1. **Un vehículo híbrido amaneció sin READY tras una semana parado y el escáner muestra varios códigos U. ¿Qué mides primero?**

   Respuesta. La batería auxiliar de 12 V. Las computadoras y los contactores dependen de ella; con voltaje bajo se pierden comunicaciones y aparecen códigos de red que no son la causa.

2. **¿Por qué no basta el código P0A80 para cambiar la batería?**

   Respuesta. Porque el código dice lo que vio el BMS. El subcódigo y los datos de bloques indican si es un bloque débil, un problema de medición, de conexión o de temperatura. Además, puede haber causas externas a la batería.

3. **MG2 gira a 3000 rpm con un torque de menos 40 N·m. ¿Motoriza o genera, y con qué potencia?**

   Respuesta. Genera, porque torque y velocidad tienen signos opuestos. La potencia es 40 × 3000 / 9549, cerca de 12,6 kW mecánicos que se convierten en carga hacia la batería, menos pérdidas.

4. **¿Qué es un código permanente y cómo se elimina?**

   Respuesta. Es un código que el escáner no puede borrar en vehículos con OBD regulado. Desaparece solo cuando el monitor correspondiente corre de nuevo y pasa, lo que obliga a confirmar la reparación.

N3 · M2

Batería de alto voltaje y BMS

Lectura: ≈ 35 min · 4 preguntas de autoevaluación

La batería es la pieza más cara del vehículo y la que más se condena sin pruebas. Muchas baterías "dañadas" tienen un solo bloque débil, una conexión corroída o un problema de enfriamiento. El BMS (sistema de gestión de batería) ya mide casi todo lo que necesitas; tu trabajo es leerlo bien.

Químicas y voltajes nominales

Química	Voltaje nominal por celda	Ventana típica de trabajo	Dónde se usa
Ni-MH (níquel-hidruro metálico)	1,2 V	Sin corte por celda; se controla por SOC y temperatura	Híbridos convencionales
Li-ion NMC (níquel-manganeso-cobalto)	del orden de 3,6 a 3,7 V	típicamente de unos 3,0 a 4,2 V	Híbridos enchufables y eléctricos
Li-ion LFP (litio-ferrofosfato)	del orden de 3,2 V	típicamente de unos 2,5 a 3,65 V	Eléctricos y buses

En las baterías Ni-MH de híbrido, las celdas se agrupan en módulos; un formato muy común es el de seis celdas, 7,2 V nominales por módulo. El paquete suma decenas de módulos en serie, del orden de 200 V nominales. En Li-ion, las celdas forman módulos y estos el paquete, que va de unos 300 a 400 V en muchos eléctricos y del orden de 800 V en las plataformas más nuevas.

La curva de la LFP es muy plana en la zona media: el voltaje casi no cambia entre 20 y 80 % de carga. Por eso el BMS de una LFP estima el SOC sobre todo contando corriente y se recalibra en los extremos. Un SOC que "salta" después de una carga completa es normal en esa química.

Bloques y diferencia de voltaje

El BMS rara vez mide cada celda Ni-MH; mide bloques de uno o varios módulos, a menudo dos. En Li-ion mide cada grupo de celdas en paralelo. El diagnóstico se basa en la diferencia entre el bloque más

© Auto Avance · www.autoavance.co

alto y el más bajo, y sobre todo en cómo crece esa diferencia bajo carga y en regeneración. Un bloque que en reposo está igual que los demás pero cae más al acelerar y sube más al regenerar tiene más resistencia interna o menos capacidad.

El umbral que fija el código lo pone cada fabricante, por eso conviene comparar con su información. En Li-ion sana, la diferencia entre celdas en reposo suele quedar en pocas decenas de milivoltios.

Resistencia interna

La resistencia interna se calcula con un pulso de corriente: R = ΔV / ΔI. Si un bloque cae 0,6 V más que su vecino cuando la corriente sube 60 A, tiene unos 10 mΩ más. La resistencia sube con la edad, con conexiones flojas o sulfatadas en las barras colectoras y con el frío. Por eso compara siempre bloques a la misma temperatura.

Ventana de SOC

Un híbrido convencional usa una ventana estrecha, típicamente entre un 40 y un 80 % del SOC real, con un objetivo cerca del centro. Así la batería puede aceptar regeneración y entregar potencia en cualquier momento, y dura mucho más. Lo que el tablero muestra como "lleno" o "vacío" son los bordes de esa ventana, no el 100 y el 0 %. Un híbrido enchufable trabaja en modo de agotamiento hasta un mínimo y luego mantiene la carga en una ventana estrecha. Un eléctrico usa una ventana amplia, pero deja márgenes ocultos arriba y abajo.

Balanceo de celdas

- **Pasivo:** el BMS conecta una resistencia sobre las celdas más altas y quema su excedente, normalmente al final de la carga. Es simple y lento; las corrientes de balanceo son pequeñas.
- **Activo:** transfiere energía de las celdas altas a las bajas con condensadores, inductancias o transformadores. Es más rápido y eficiente, pero más complejo.
- **Ni-MH:** tolera una sobrecarga moderada porque recombina el oxígeno interno. Los cargadores de banco usan esa propiedad para igualar módulos. El Li-ion no la tolera, por eso necesita balanceo electrónico.

Sensores de temperatura

El BMS usa termistores NTC repartidos en los módulos y, según el diseño, sensores en la entrada de aire o en el refrigerante. Con enfriamiento por aire, la causa más común de pérdida de potencia y de códigos de temperatura es un ducto o filtro tapado o un ventilador débil. Un sensor desconectado suele marcar un valor extremo y fijo; uno que lee distinto a sus vecinos con el vehículo frío de toda la noche es sospechoso.

Prueba de banco y límites del reacondicionamiento

La prueba de banco evalúa cada módulo por separado:

1. Carga completa con corriente controlada y vigilando temperatura.
2. Reposo para estabilizar.
3. Descarga a corriente constante hasta el voltaje de corte que fije el procedimiento, midiendo los amperios-hora entregados. Los módulos Ni-MH de híbrido tienen capacidades nominales del orden de 5 a 7 Ah.
4. Comparación de capacidad, resistencia interna y autodescarga entre módulos.

El reacondicionamiento Ni-MH con ciclos profundos puede recuperar parte de la capacidad perdida por uso en una ventana estrecha. No recupera un módulo con electrolito seco, alta autodescarga, fuga o carcasa deformada. Mezclar módulos de capacidad y resistencia distintas da una batería que vuelve pronto al taller: los módulos deben ir agrupados por capacidad y resistencia. Una celda Li-ion descargada por debajo de su mínimo no se debe recargar sin el procedimiento del fabricante, porque puede haber daño interno con riesgo de calentamiento.

Alto voltaje: una batería nunca se desenergiza: sus módulos siguen con voltaje aunque saques el conector de servicio. Abrir el paquete o trabajar en módulos es trabajo bajo tensión, del tipo que en Alemania corresponde al nivel 3S, y exige formación práctica en vehículos reales y la autorización de tu empleador.

En el taller: antes de condenar una batería Ni-MH, revisa el ducto y el ventilador de enfriamiento, y limpia y ajusta las barras colectoras con el procedimiento correcto. Una tuerca floja o una barra corroída hace que un bloque parezca débil.

Practica en el simulador

Pide al instructor una falla de batería desde Fallas. Abre BMS y compara los voltajes de bloque en reposo; luego acelera y regenera, y observa en Batería cuál bloque se separa del grupo. Calcula su resistencia adicional con ΔV / ΔI y compara las temperaturas de los sensores.
Abrir el simulador de vehículos híbridos

Para profundizar

- Manual Cómo Evaluar el Estado de una Batería Híbrida (manual en PDF)
- Reparación de baterías híbridas
- Baterías de ion litio

Autoevaluación

1. **¿Por qué un híbrido convencional no carga su batería al 100 %?**

   Respuesta. Porque trabaja en una ventana estrecha, cerca del centro del SOC, para poder aceptar regeneración y entregar potencia siempre, y para alargar la vida de la batería. El "lleno" del tablero es el borde superior de esa ventana.

2. **Dos bloques tienen el mismo voltaje en reposo, pero uno cae mucho más al acelerar. ¿Qué indica?**

   Respuesta. Mayor resistencia interna o menor capacidad en ese bloque, o una mala conexión en sus barras. El reposo no basta; la diferencia bajo carga es la que revela el bloque débil.

3. **¿Por qué el Ni-MH puede igualarse con una sobrecarga y el Li-ion no?**

   Respuesta. El Ni-MH recombina el oxígeno que se forma en la sobrecarga moderada y la tolera. El Li-ion se daña y puede calentarse peligrosamente si se sobrecarga, por eso necesita balanceo electrónico por celda.

4. **¿Qué límite tiene reemplazar un solo módulo Ni-MH por uno nuevo?**

   Respuesta. El módulo nuevo tiene capacidad y resistencia distintas a los viejos. La serie queda desbalanceada y el BMS vuelve a detectar diferencia de bloques. Lo correcto es agrupar módulos por capacidad y resistencia medidas en banco.

© Auto Avance · www.autoavance.co

N3 · M3

Contactores, precarga, HVIL y aislamiento

Lectura: ≈ 30 min · 4 preguntas de autoevaluación

Los contactores y sus vigilantes deciden si el vehículo pasa a READY. Un contactor pegado, una precarga lenta, un conector mal asentado o una fuga de aislamiento producen el mismo síntoma: el sistema no arranca. Saber en qué orden trabajan y qué vigila cada uno es lo que separa un diagnóstico de una adivinanza.

Los componentes

- **Contactor principal positivo y negativo:** relés de potencia que conectan cada polo de la batería al bus. La bobina es de 12 V; los contactos manejan cientos de amperios en corriente continua.
- **Relé de precarga con su resistencia:** va en paralelo con uno de los contactores principales. Limita la corriente de carga del condensador del inversor.
- **Sensores:** el BMS mide el voltaje del paquete y la corriente; el inversor mide el voltaje del bus. Con esas dos lecturas se vigila toda la secuencia.

El condensador de enlace del inversor, sin precarga, se comportaría como un corto en el instante de cerrar: la corriente sería enorme y soldaría los contactos.

La secuencia de arranque y de apagado

1. El BMS revisa que el HVIL esté cerrado, que el aislamiento esté bien y que el bus esté en cero.
2. Cierra el contactor principal del polo que no tiene precarga.
3. Cierra el relé de precarga. La corriente pasa por la resistencia y el voltaje del bus sube en curva hasta acercarse al del paquete.
4. Cuando la diferencia es pequeña (muchos sistemas esperan alrededor del 90 % o más del voltaje del paquete), cierra el otro contactor principal y abre el de precarga.
5. El vehículo pasa a READY.

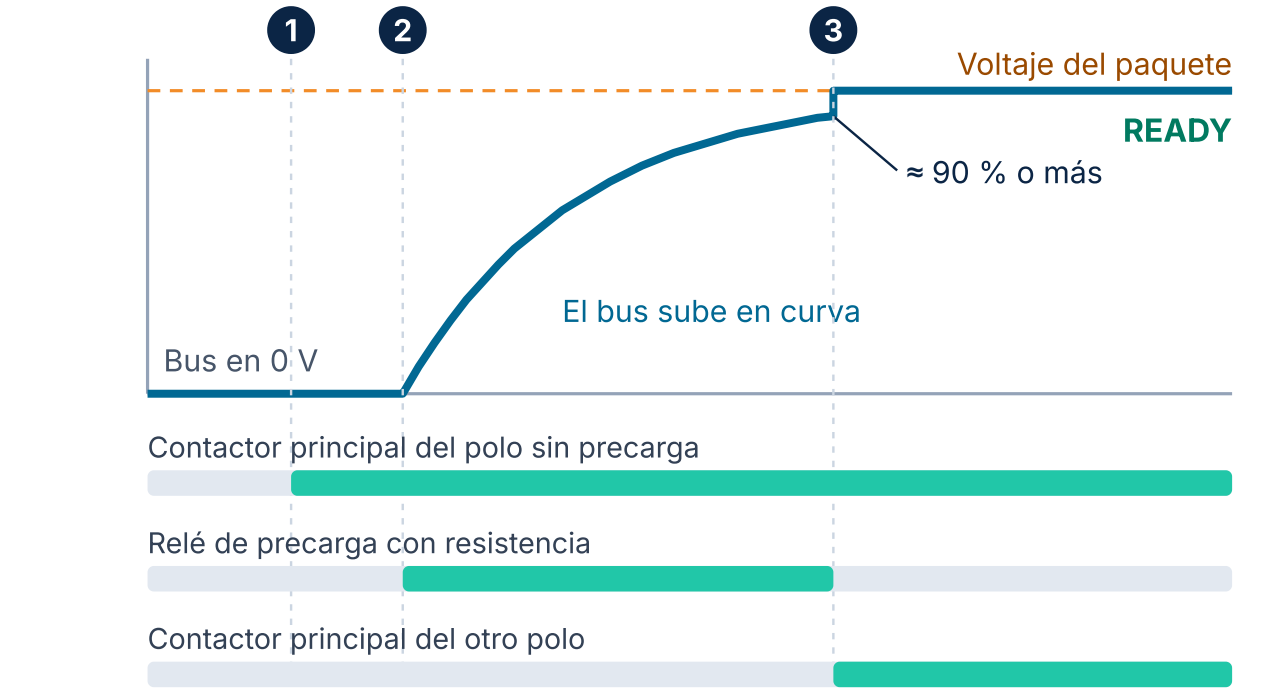
La precarga dura típicamente fracciones de segundo. El BMS vigila el tiempo: si el bus no sube a tiempo, aborta y guarda un código de precarga. Al apagar, abre los contactores y el inversor descarga el condensador de forma activa; además hay resistencias de descarga pasiva. Por eso los manuales piden esperar, típicamente entre 5 y 10 minutos según el fabricante, después de retirar el conector de servicio y antes de tocar el sistema.

© Auto Avance · www.autoavance.co

Síntoma en datos	Causa probable
El bus no sube durante la precarga	Resistencia abierta, relé de precarga sin cerrar, fusible o conexión abierta
El bus sube muy lento o se queda bajo	Fuga o corto en una carga del bus (inversor, compresor, calefactor), condensador dañado
Hay voltaje en el bus antes de cerrar nada	Contactor pegado
El voltaje del bus no cae al abrir los contactores	Contactor pegado o falla de la descarga activa

INFOGRAFÍA

La secuencia de precarga hasta READY



1 Revisa y cierra un polo
El BMS confirma HVIL cerrado, aislamiento bien y bus en cero; cierra el contactor del polo sin precarga

2 Precarga
La corriente pasa por la resistencia y carga el condensador del inversor

3 Cierra el otro polo
Con el bus cerca del paquete, cierra el contactor principal y abre la precarga

Cerrado Abierto

La precarga dura fracciones de segundo. Si el bus no sube a tiempo, el BMS aborta y guarda un código de precarga.

UniEVercity

Cómo se detecta un contactor soldado

El BMS prueba los contactores uno por uno. Al apagar, abre un polo y vigila el bus mientras el inversor descarga; luego repite con el otro. Al arrancar, antes de la precarga, cierra solo un lado: si aparece voltaje en el bus, el contactor del otro lado está pegado. La norma tiene códigos para cada caso, como P0AA1 (positivo pegado cerrado) y P0AA4 (negativo pegado cerrado). Un contactor soldado no se repara; se cambia el contactor o el conjunto de relés y se busca por qué se soldó, casi siempre una precarga defectuosa o un corto aguas abajo.

© Auto Avance · www.autoavance.co

HVIL: el circuito de interbloqueo

El HVIL es un lazo de bajo voltaje que pasa por los conectores de alto voltaje y por tapas de componentes. Si alguien abre un conector o una tapa, el lazo se abre y el sistema lo sabe. En muchos conectores, el pin del HVIL es más corto, de modo que el lazo se abre antes de separar los contactos de potencia. Según el diseño, el lazo lleva corriente continua o una señal pulsante; el diagnóstico es de continuidad y de señal con el sistema desenergizado, conector por conector. La estrategia cambia según el fabricante: con el vehículo detenido abre contactores; en marcha suele limitar la potencia. La familia de códigos es P0A0A a P0A0E.

Detección de fallas de aislamiento

El alto voltaje está aislado del chasis: ningún polo debería tener camino a masa. El BMS mide continuamente la resistencia de aislamiento entre cada polo y el chasis, conmutando resistencias de referencia o inyectando una señal. UN ECE R100 e ISO 6469-3 piden al menos 100 Ω por voltio en circuitos de corriente continua y 500 Ω por voltio en circuitos de corriente alterna. En un vehículo sano los valores son muy superiores. La falla de aislamiento genera P0AA6 o códigos propios del fabricante.

Para localizarla, con el sistema desenergizado y verificado, divide el sistema: desconecta las cargas una por una y mide cada tramo con el megóhmetro, al voltaje de prueba que indique el fabricante. Los culpables más comunes son el compresor eléctrico del aire acondicionado (humedad en el aceite o el refrigerante), el calefactor de alto voltaje, refrigerante dentro del inversor, agua en conectores y cables rozados.

Alto voltaje: el megóhmetro genera su propio voltaje de prueba, típicamente 500 o 1000 V. Úsalo solo con el sistema desenergizado y verificado, con los módulos electrónicos desconectados según el manual y nunca sobre la batería ni sobre un circuito con voltaje.

En el taller: una falla de aislamiento que aparece solo con lluvia o después de lavar casi siempre es agua. Seca y revisa conectores bajo el vehículo antes de desarmar componentes caros, y anota el valor del BMS antes y después.

Practica en el simulador

Abre Diagrama HV y observa la secuencia de contactores al pedir READY, junto al voltaje de paquete y de bus. Luego pide al instructor una falla de aislamiento desde Fallas, completa el procedimiento en Taller seguro y mide el aislamiento con el megóhmetro en Mediciones.
Abrir el simulador de vehículos híbridos

Para profundizar

- Manual Batería de Vehículos Híbridos – Alto Voltaje (HV) (manual en PDF)
- Manual Lectura de Diagramas Eléctricos Automotrices (manual en PDF)

Autoevaluación

1. **¿Para qué sirve el relé de precarga con su resistencia?**

   Respuesta. Para cargar el condensador del inversor con corriente limitada antes de cerrar el contactor principal. Sin él, la corriente de cierre soldaría los contactos.

2. **Al arrancar, con un solo contactor principal cerrado, el BMS ve voltaje en el bus. ¿Qué concluye?**

   Respuesta. Que el contactor del otro polo está pegado, porque el bus solo puede tener voltaje si ambos polos están conectados. Registra un código de contactor pegado y no pasa a READY.

3. **Un vehículo de 400 V muestra 30 kΩ de aislamiento. ¿Cumple el mínimo de 100 Ω/V para corriente continua?**

   Respuesta. El mínimo es 400 × 100 = 40 kΩ, así que 30 kΩ no cumple. Además, un vehículo sano tiene valores muy superiores; cualquier caída marcada merece búsqueda aunque todavía no llegue al límite.

4. **¿Por qué el pin del HVIL es más corto en muchos conectores?**

   Respuesta. Para que el lazo se abra antes de que se separen los contactos de potencia. Así el sistema abre los contactores antes de que haya arco en el conector.

N3 · M4

Inversor y convertidor elevador

Lectura: ≈ 30 min · 4 preguntas de autoevaluación

La electrónica de potencia es el área con más peso en los exámenes de especialista y la que más miedo da en el taller. El inversor es un conjunto de interruptores, sensores y un condensador; casi todas sus fallas se pueden acotar con el escáner y con tres medidas en frío antes de pedir uno nuevo.

El puente inversor

El inversor convierte la corriente continua del bus en corriente alterna trifásica para el motor, y al revés en regeneración. Cada fase tiene dos interruptores, uno al positivo y otro al negativo: seis en total, cada uno con su diodo de rueda libre en antiparalelo. En paralelo con el bus va el condensador de enlace, de película en la mayoría de los diseños.

- **IGBT de silicio:** el interruptor clásico en híbridos y en eléctricos de 400 V.
- **MOSFET de carburo de silicio (SiC):** conmuta más rápido y con menos pérdidas, sobre todo a 800 V. Permite frecuencias de conmutación más altas y mejor eficiencia a carga parcial.

Cada interruptor tiene un driver de compuerta que lo protege contra sobrecorriente y desaturación. Cuando un driver detecta un problema, apaga los interruptores y el inversor reporta una falla interna; ese tipo de código rara vez apunta al motor.

El convertidor elevador en los híbridos

Muchos híbridos de división de potencia usan una batería de unos 200 V nominales y elevan el voltaje del bus a varios cientos de voltios, hasta del orden de 650 V en algunos sistemas. Así el motor da la misma potencia con menos corriente. El elevador tiene una inductancia (reactor), dos interruptores con sus diodos y condensadores a la entrada y a la salida. Es bidireccional: eleva para motorizar y reduce para regenerar hacia la batería.

En la lista de datos compara el voltaje antes y después del elevador: con el vehículo en READY y poca demanda pueden ser parecidos, y bajo carga el voltaje de salida sube. Si el voltaje elevado no sigue al pedido, o la temperatura del reactor o del módulo sube sin carga que lo justifique, el problema está en el convertidor o en su enfriamiento. El mismo conjunto suele alojar el convertidor DC/DC que alimenta la red de 12 V.

PWM y frecuencia portadora

El inversor arma la onda senoidal con modulación por ancho de pulso (PWM): enciende y apaga cada interruptor miles de veces por segundo, y la inductancia del motor suaviza la corriente. La frecuencia

de esos pulsos es la portadora. En IGBT va típicamente de unos pocos kilohercios a unos 20 kHz; muchos sistemas la cambian según velocidad, carga y temperatura. Bajarla reduce pérdidas de conmutación cuando el módulo está caliente; subirla reduce ruido y rizado. El silbido que cambia de tono en un vehículo eléctrico suele ser ese cambio de portadora, no una falla.

Sensores de corriente y de posición

Los sensores de corriente de fase son de efecto Hall, normalmente en dos o tres fases; si mide dos, la tercera se calcula porque las tres suman cero. Con el motor quieto y el sistema en READY, cada sensor debe leer cerca de cero: un desvío fijo produce vibración de torque y códigos de desempeño.

El resolver informa el ángulo exacto del rotor, imprescindible para controlar un motor síncrono. Tiene tres bobinados:

- **Excitación:** recibe una señal senoidal de varios kilohercios desde el inversor.
- **Seno y coseno:** dos bobinados a 90 grados que entregan la excitación modulada en amplitud según el ángulo. Con la relación entre ambos, el inversor calcula la posición y la velocidad.

Mide la resistencia de cada bobinado con el conector desconectado y compárala con el manual; revisa el aislamiento entre bobinados y a masa. Con el osciloscopio, la excitación debe ser estable y las envolventes de seno y coseno deben cambiar suavemente al girar el rotor. Después de cambiar el motor, el resolver o el inversor, muchos sistemas exigen aprender el desfase del resolver. Algunos diseños usan otros sensores de posición, como los inductivos.

Pruebas en frío del inversor y del motor

Todas se hacen con el sistema desenergizado, la ausencia de voltaje verificada y el condensador descargado.

Prueba	Cómo	Resultado sano
Diodos del módulo	Multímetro en prueba de diodo: de cada fase al positivo y del negativo a cada fase, en ambos sentidos	En sentido directo, una caída típica de unas décimas de voltio, igual en las seis posiciones; en inverso, circuito abierto (la lectura puede subir hasta abierto mientras el multímetro carga el condensador)
Resistencia entre fases	Miliohmímetro de cuatro hilos: U-V, V-W y W-U del motor	Tres valores muy bajos (miliohmios) y prácticamente iguales; una diferencia de pocos por ciento ya merece atención

Prueba	Cómo	Resultado sano
Aislamiento de fases	Megóhmetro de cada fase a la carcasa, al voltaje que fije el fabricante	Valores altos y estables, dentro del criterio del manual

Una lectura cercana a cero en la prueba de diodo indica un interruptor en corto. La prueba de diodo no evalúa la compuerta ni el driver: un módulo puede pasar en frío y fallar en carga. En el motor, compara las tres resistencias a la misma temperatura, porque el cobre cambia de valor con el calor.

Alto voltaje: el condensador del inversor puede guardar carga peligrosa después de abrir los contactores. Respeta el tiempo de espera del fabricante y verifica ausencia de voltaje en los terminales del bus antes de cualquier medida en el inversor.

En el taller: antes de condenar un inversor por temperatura, revisa la bomba eléctrica del refrigerante del inversor, el nivel y el aire en el circuito. Es un circuito separado del motor de combustión y se olvida en los mantenimientos.

Practica en el simulador

Abre Inversor y observa cómo cambian la frecuencia portadora y el voltaje del elevador al acelerar desde reposo. Luego, en Mediciones, toma con el miliohmímetro las tres resistencias entre fases del motor y decide si el bobinado está equilibrado.
Abrir el simulador de vehículos híbridos

Para profundizar

- Inversor automotriz
- Manual Sistemas Híbridos – Tren Motriz, Inversor y Batería (manual en PDF)

Autoevaluación

1. **¿Por qué un híbrido eleva el voltaje de la batería?**

   Respuesta. Para dar la misma potencia con menos corriente: menos pérdidas en cables, interruptores y bobinados, y motores más compactos.

2. **En la prueba de diodo, una posición del módulo da 0,01 V en ambos sentidos. ¿Qué significa?**

   Respuesta. Ese interruptor o su diodo está en corto. Las otras posiciones dan una caída de unas décimas en un sentido y abierto en el otro; la diferencia confirma la falla del módulo.

3. **¿Qué hacen los bobinados seno y coseno del resolver?**

   Respuesta. Entregan la señal de excitación modulada en amplitud según el ángulo del rotor. Están a 90 grados; con la relación entre ambos el inversor calcula la posición exacta y la velocidad.

4. **¿Por qué se usa un miliohmímetro de cuatro hilos y no el multímetro para las fases?**

   Respuesta. Porque la resistencia del bobinado es de miliohmios, del mismo orden o menor que la de las puntas y contactos del multímetro. El método de cuatro hilos elimina esa resistencia y permite ver diferencias de pocos por ciento.

N3 · M5

Motor-generadores y transmisiones

Lectura: ≈ 35 min · 3 preguntas de autoevaluación

Las máquinas eléctricas casi no se desgastan, pero sí fallan: sensores de posición, aislamiento de bobinados y rodamientos. Para diagnosticarlas en un híbrido hay que entender cómo el engranaje planetario reparte la potencia, porque muchas "fallas" de rpm son el comportamiento normal del sistema.

Tipos de motor

- **Síncrono de imanes permanentes:** el rotor lleva imanes, normalmente embebidos en el hierro. Es el más común en híbridos y eléctricos por su eficiencia y densidad de potencia. Necesita conocer la posición exacta del rotor, de ahí el resolver. Al girar arrastrado genera voltaje aunque el inversor no lo mande.
- **De inducción (asíncrono):** el rotor es una jaula de barras sin imanes; el campo del estator induce corrientes en el rotor, que gira con un pequeño deslizamiento. No genera voltaje si no se excita, lo que se aprovecha en ejes que giran libres buena parte del tiempo.

El estator lleva un bobinado trifásico, normalmente en estrella. Los diseños recientes usan barras rectangulares de cobre (horquillas) en lugar de alambre redondo. Los tres terminales U, V y W son los que mides con el miliohmímetro y el megóhmetro.

> **Alto voltaje:** un motor de imanes permanentes que gira genera voltaje en sus terminales, aunque la batería esté desconectada. No midas ni desconectes fases con el rotor girando, ni remolques el vehículo con las ruedas motrices en el piso si el fabricante lo prohíbe.

El planetario de división de potencia

En el diseño clásico de división de potencia, el sol está unido al generador (MG1), el portasatélites al motor de combustión y la corona a la salida, donde también actúa el motor de tracción (MG2). Las velocidades cumplen la ecuación de Willis:

(1 + k) · n portasatélites = n sol + k · n corona, con k = dientes de la corona / dientes del sol.

Con un diseño clásico de 78 dientes en la corona y 30 en el sol, k = 2,6. Dos ejemplos con esos números:

- Vehículo detenido (corona en 0) y motor de combustión a 1000 rpm: el sol gira a 3,6 × 1000 = 3600 rpm. MG1 genera y carga la batería sin mover el vehículo.

- Modo eléctrico con el motor de combustión parado (portasatélites en 0) y la corona a 2000 rpm: el sol gira a menos 2,6 × 2000 = menos 5200 rpm. MG1 gira al revés.

El segundo ejemplo explica algo que confunde en el taller: a cierta velocidad el sistema enciende el motor de combustión aunque la batería esté llena, porque MG1 llegaría a su límite de rpm. No es una falla.

El nomograma

El nomograma o diagrama de palanca dibuja tres ejes verticales: sol, portasatélites y corona. La distancia sol-portasatélites y la distancia portasatélites-corona están en la proporción k a 1, así que el portasatélites queda más cerca de la corona. Las tres velocidades siempre caen sobre una línea recta. Si conoces dos, la tercera sale de la recta. Con los datos del escáner (rpm de MG1, del motor de combustión y de MG2 convertida a la corona) puedes comprobar que la recta cierra; si no cierra, un sensor de posición o de velocidad está mal, o hay deslizamiento mecánico.

Transmisiones de dos planetarios con embragues

Un híbrido enchufable de autonomía extendida puede usar dos planetarios, dos motor-generadores y varios embragues, uno de ellos a veces de una vía. Cerrando y abriendo embragues, el mismo conjunto ofrece modos distintos:

- Eléctrico con un motor, para baja demanda.
- Eléctrico con los dos motores, para más potencia o mejor eficiencia a alta velocidad.
- Extensión de autonomía con división de potencia, donde el motor de combustión aporta a la tracción y a la generación.
- Relación fija, donde el motor de combustión mueve las ruedas a través de los engranajes.

En el diagnóstico, lee en la lista de datos el modo solicitado y el estado de cada embrague, junto con las rpm de cada máquina. Un embrague que patina se ve como una diferencia entre las rpm medidas y las que manda la relación de ese modo.

Reductores de una velocidad en eléctricos

La mayoría de los eléctricos usa una reducción fija, típicamente de unos 7 a 12 a 1 según el diseño, con el diferencial integrado. El motor gira a muy altas rpm y no hay cambios de marcha. El mantenimiento es el aceite del reductor, sus sellos y, según el diseño, el aceite que también enfría el motor.

© Auto Avance · www.autoavance.co

Fallas típicas

Falla	Síntoma	Prueba
Resolver	Pérdida de potencia, tirones, código de posición, sin READY	Resistencia y aislamiento de bobinados, señales en osciloscopio, conector
Aislamiento de bobinado	Código de aislamiento que aparece al girar o en caliente	Megóhmetro fase-carcasa, aceite contaminado o con humedad
Bobinado en corto entre espiras	Vibración de torque, calentamiento	Resistencias entre fases desiguales
Rodamientos	Zumbido que sube con la velocidad, vibración	Ruido en rueda libre; inspección. Las corrientes parásitas del inversor pueden erosionar las pistas

En el taller: si baja el aislamiento de un motor bañado en aceite, revisa el aceite antes que el motor: agua o un aceite fuera de especificación cambian la lectura. Usa siempre el fluido que indica el fabricante, porque también es aislante.

Practica en el simulador

Abre Transmisión en el híbrido de división de potencia y anota rpm de MG1, motor de combustión y salida en tres condiciones: detenido cargando, modo eléctrico y aceleración fuerte. Comprueba la ecuación de Willis con cada trío y compáralo con Flujo de potencia. Repite en el híbrido enchufable y anota qué modo y qué embragues usa en cada caso.
Abrir el simulador de vehículos híbridos

Para profundizar

- MG1 y MG2: los motor-generadores de un híbrido
- Manual Sistemas Híbridos – Tren Motriz, Inversor y Batería (manual en PDF)

Autoevaluación

1. **Con k = 2,6, el motor de combustión gira a 2000 rpm y la corona a 1500 rpm. ¿A cuánto gira el sol?**

   Respuesta. n sol = (1 + 2,6) × 2000 menos 2,6 × 1500 = 7200 menos 3900 = 3300 rpm.

2. **¿Por qué un híbrido de división de potencia enciende el motor de combustión a alta velocidad aunque la batería esté llena?**

   Respuesta. Con el motor de combustión parado, MG1 gira al revés cada vez más rápido al subir la velocidad. Encender el motor de combustión baja las rpm de MG1 y lo protege de su límite.

3. **¿Qué diferencia práctica hay entre un motor de imanes y uno de inducción cuando el vehículo es remolcado?**

   Respuesta. El de imanes genera voltaje al girar y puede devolver energía al sistema o dañar el inversor; el de inducción no genera si no se excita. Por eso los manuales limitan el remolque.

N3 · M6

Diagnóstico integrado: casos de taller

Lectura: ≈ 35 min · 4 preguntas de autoevaluación

En el taller las fallas no llegan por capítulos. Estos cuatro casos aplican el método del módulo 1 a los subsistemas de los módulos 2 a 5: síntoma, datos, prueba, causa raíz y reparación. Léelos como un técnico: antes de ver la causa, decide tú cuál sería tu siguiente medida.

> **Alto voltaje:** las medidas de estos casos se hacen con el sistema desenergizado y verificado, salvo la lectura de datos con escáner. Hacerlas en un vehículo real exige formación práctica y la autorización de tu empleador.

Caso 1: no hay READY por falla de aislamiento

Síntoma: un híbrido no pasa a READY una mañana después de una noche de lluvia. Testigo de sistema híbrido encendido.

Datos: batería de 12 V en buen estado. Código P0AA6 confirmado. La resistencia de aislamiento que publica el BMS está muy por debajo del mínimo de 100 Ω/V. El cuadro congelado muestra que la falla apareció con el vehículo detenido y el aire acondicionado encendido.

Prueba: con el procedimiento de desenergizado y la ausencia de voltaje verificada, se mide con megóhmetro el tramo de batería, el inversor y cada carga por separado. Todo da valores altos excepto la salida hacia el compresor eléctrico del aire acondicionado.

Causa raíz: en un servicio anterior del aire acondicionado se cargó un aceite no aislante, que contaminó el compresor eléctrico.

Reparación: reemplazo o limpieza del compresor según el fabricante, carga con el aceite aislante especificado, nueva medida de aislamiento y lectura del valor del BMS en READY.

Caso 2: un bloque débil en la batería

Síntoma: la barra de carga sube y baja muy rápido, el motor de combustión arranca más seguido y aparece pérdida de potencia en subidas.

Datos: código P0A80. En reposo, los voltajes de bloque son parecidos. Al acelerar, un bloque cae claramente más que los demás y al regenerar sube más. Las temperaturas son normales y el ventilador funciona.

© Auto Avance · www.autoavance.co

Prueba: con la batería fuera del vehículo, según el procedimiento y con personal autorizado, se revisan barras y tuercas del bloque. Están bien. La prueba de banco muestra un módulo con capacidad muy inferior y resistencia interna alta.

Causa raíz: envejecimiento de un módulo, que limita a toda la serie.

Reparación: reemplazo del paquete, o de los módulos por un grupo emparejado en capacidad y resistencia si el fabricante lo permite. Después, reinicio de los datos de la batería que pida el fabricante y prueba en ruta con lectura de bloques.

Caso 3: falla del resolver

Síntoma: tirón al arrancar en eléctrico y, a veces, pérdida total de tracción con mensaje de revisar el sistema. Ocurre con el motor caliente.

Datos: código P0A3F historial. La velocidad calculada del motor de tracción salta de forma brusca, sin cambio en la velocidad de las ruedas.

Prueba: desenergizado el sistema, se mide la resistencia de los tres bobinados del resolver en el conector del inversor y en el del motor. En frío están dentro de especificación. Al mover el arnés, el bobinado del coseno se abre por momentos. La inspección muestra un terminal abierto en el conector del motor.

Causa raíz: terminal con tensión de contacto insuficiente, agravada por la dilatación en caliente.

Reparación: reparación del terminal según el fabricante, borrado de códigos, aprendizaje del desfase si se pide y prueba en ruta con el motor caliente.

Caso 4: falla de precarga

Síntoma: al pulsar el arranque se oye el clic de los contactores, pero el vehículo no pasa a READY. Lo intenta varias veces y se rinde.

Datos: código de precarga del fabricante. En la gráfica, el voltaje del paquete es normal, pero el voltaje del bus en el inversor se queda en cero durante la precarga.

Prueba: si el bus no sube nada, el camino de precarga está abierto. Con el sistema desenergizado y verificado, se mide la resistencia de precarga en el conjunto de relés: circuito abierto. La bobina del relé de precarga y su mando están bien.

Causa raíz: resistencia de precarga quemada. Si el bus hubiera subido lento en lugar de quedarse en cero, la búsqueda iría hacia una fuga o corto en una carga del bus.

Reparación: reemplazo del conjunto de relés o de la resistencia según el fabricante. Como una resistencia se quema por sobrecarga, se revisa también el aislamiento y el estado del condensador del inversor antes de devolver el vehículo, y se verifica que los contactores principales no quedaron pegados.

En el taller: en los cuatro casos la pieza que falló no era la más cara del sistema. Sigue el orden: entrevista, 12 V, escaneo completo, datos en grupo, prueba que divide el sistema en dos y confirmación.

Practica en el simulador

Pide al instructor que inyecte desde Fallas una falla sin decirte cuál. Diagnostica con Escáner y la lista de datos, haz el procedimiento en Taller seguro antes de cualquier medida y confirma la causa en Mediciones con el instrumento que corresponda. Escribe síntoma, datos, prueba y causa como en estos casos.
Abrir el simulador de vehículos híbridos

Para profundizar

- Cómo probar una batería de un vehículo híbrido
- Inversor automotriz

Autoevaluación

1. **En el caso 1, ¿por qué se mide cada carga por separado?**

   Respuesta. Porque el BMS solo ve el aislamiento total del sistema. Desconectar y medir tramo por tramo divide el problema hasta encontrar el componente con la fuga.

2. **En el caso 2, ¿por qué se revisan barras y tuercas antes de la prueba de banco?**

   Respuesta. Porque una conexión floja o corroída suma resistencia y hace que un bloque sano parezca débil. Es más rápido y barato descartarla primero.

3. **En el caso 4, ¿qué cambia si el bus sube lentamente en lugar de quedarse en cero?**

   Respuesta. El camino de precarga funciona, pero algo en el bus consume corriente: una fuga, un corto en una carga o un condensador dañado. La búsqueda pasa del conjunto de relés a las cargas del bus.

4. **¿Por qué un problema de resolver puede aparecer solo en caliente?**

   Respuesta. La dilatación cambia la presión de los terminales y la resistencia de las uniones. Un contacto débil se abre por momentos y el inversor pierde la posición del rotor.

UniEVercity
ACADEMIA DE ELECTROMOVILIDAD · AUTO AVANCE

Sigue estudiando en la academia

Esta guía es la versión para leer sin conexión del Nivel 3 de UniEVercity, la academia de electromovilidad de Auto Avance. En línea encuentras además el plan del nivel, la práctica guiada en el simulador y la biblioteca completa.

Nivel 3 en línea
Los mismos módulos, con la práctica en el simulador y la autoevaluación interactiva.

Biblioteca digital de electromovilidad
Guías, infografías, manuales en PDF, artículos, casos de vehículos y temarios.

Simulador de vehículos híbridos
Batería abierta, contactores, inversor, megóhmetro, escáner y fallas reales.

Cursos de vehículos híbridos y eléctricos
Clases en video, evaluación y certificado de Auto Avance.

La academia enseña y evalúa conocimientos. No reemplaza la práctica supervisada ni la autorización de tu empleador para trabajar en alto voltaje. Auto Avance es la propietaria y desarrolladora de UniEVercity. Todos los derechos reservados.
www.autoavance.co