



INSTITUTO
ENERXÉTICO
DE GALICIA

*Evaluación operativa del
vehículo de hidrógeno en
entorno logístico:*

*Mantenimiento, pruebas en pista
y desempeño de ruta de última
milla con análisis avanzado de
datos*

**A4.2: PILOTO CASO DE USO DE LOGÍSTICA CON
VEHÍCULO H2**

HI MOV

Corredor Tecnológico
Transfronterizo de Movilidad
con Hidrógeno Renovable

Interreg



Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia

España - Portugal

**MEIRA MOTORSPORT
PROYECTO HI-MOV**

Contenido

1. Introducción	6
1.1. Meira Motorsport.....	6
2. Objetivos	7
3. Análisis del vehículo de uso.....	8
4. Capacidades de mantenimiento	11
4.1. Talleres preparados para trabajar con sistemas de hidrógeno y pilas de combustible.....	11
4.2. Personal capacitado y herramientas especializadas	15
4.3. Procedimientos de seguridad específicos para hidrógeno	22
5. Mantenimiento del vehículo	24
5.1. Especificaciones del fabricante	24
5.1.1. Desconexión del alto voltaje (Pila de combustible y batería)	28
5.2. Mantenimientos al vehículo utilizado.....	30
5.2.1. Primeros defectos encontrados: Mantenimiento a su llegada a CTAG	31
5.2.2. Segundo mantenimiento: Mantenimiento antes de las pruebas en pistas de alta velocidad	35
5.2.3. Tercer mantenimiento: Después de llevarse a pistas.....	41
5.3. Propuestas de mejoras de mantenimiento	43
6. Pruebas en circuito	44
6.1. WOT.....	44
6.2. Funcionamiento continuo a alta potencia	47
6.3. Descarga de la batería.....	48
7. Caso de estudio: Ruta de reparto de última milla con FCEV	49
8. Análisis de datos.....	51
8.1. Última milla	51
8.1.1. Valoración de la conducción.....	51
8.1.2. Análisis de los datos obtenidos en la conducción.....	52
8.2. Circuito.....	54
8.2.1. Resultados de las pruebas.....	54
8.2.2. Consumo de hidrógeno	56
8.2.3. Autonomía	57
8.2.4. Performance.....	58
8.2.5. Duración pico de potencia	61



8.2.6.	Capacidad para reproducir los picos de potencia en poco tiempo	62
8.2.7.	Gestión térmica a alta carga	64
8.2.8.	Comportamiento SOC bajo	66
9.	Conclusiones.....	68

Índice de figuras

Figura 1. Detalle del vehículo	9
Figura 2. Especificaciones del sistema refrigeración.....	26
Figura 3. Especificaciones del sistema eléctrico LV	26
Figura 4. Especificaciones del sistema de transmisión	27
Figura 5. Especificaciones del sistema de frenado	27
Figura 6. Enchufes de servicio	28
Figura 7. Procedimiento de desconexión del enchufe de la batería	29
Figura 8. Procedimiento de desconexión del enchufe del stack	29
Figura 9. Presión de la rueda trasera derecha	32
Figura 10. Presión de la rueda delantera derecha	32
Figura 11. Presión de la rueda delantera izquierda	32
Figura 12. Presión de la rueda trasera izquierda.....	32
Figura 13. Lectura de presiones desde la herramienta de diagnóstico.....	32
Figura 14. Página 544 del manual Toyota Mirai Gen 1	33
Figura 15. Detalle del interior del vehículo	33
Figura 16. Registro de errores	34
Figura 17. Detalle de los errores detectados	35
Figura 18. Sustitución del filtro de aire	36
Figura 19. Comprobación del líquido refrigerante.....	36
Figura 20. Comprobación del líquido refrigerante de la electrónica de potencia.	37
Figura 21. Revisión del cableado.....	37
Figura 22. Revisión del cableado.....	38
Figura 23. Revisión de elementos mecánicos de suspensión y dirección.....	38
Figura 24. Óxido en las manguetas	39
Figura 25. Verificación de ángulos	39
Figura 26. Posicionando el vehículo	40
Figura 27. Medidas de alineado	40
Figura 28. Medidas de vehículo bien alineado	41
Figura 29. Vehículo en revisión	41
Figura 30. Sustitución de pastillas de freno.....	42
Figura 31. Sustitución de pastillas de freno.....	42
Figura 32. Sustitución de pastillas de freno.....	42
Figura 33. El vehículo fue trasladado al circuito	44
Figura 34. Toyota Mirai corriendo en el circuito.....	45
Figura 35. Datos de las pruebas: velocidad(azul), freno(rojo) y acelerador (verde)	46
Figura 36. Toyota Mirai en el circuito	46
Figura 37. Funcionamiento a máxima potencia de la pila: potencia(rojo), acelerador(verde)	47
Figura 38. Circuito para valorar el funcionamiento continuo a alta potencia ..	47
Figura 39. El equipo revisa el vehículo y lo pone a punto	48
Figura 40. Descarga de la batería: potencia(rojo), acelerador(verde) y SOC(verde).....	48
Figura 41. Detalle de la ruta realizada	49



Figura 42. Introducción de paquetes en el maletero	50
Figura 43. Descarga en uno de los puntos de la ruta de reparto.....	50
Figura 44. Conducción en la ruta de reparto.....	52
Figura 45. Perfil de conducción	53
Figura 46. Potencia de la pila, batería y SOC durante el recorrido de última milla	53
Figura 47. Temperatura de la pila en el recorrido de última milla	53
Figura 48. Perfil de acelerador(verde), velocidad(azul) y freno(rojo) durante una vuelta al circuito.....	54
Figura 49. Consumo de hidrógeno vs corriente.....	56
Figura 50. Eficiencia vs tiempo	57
Figura 51. Consumo específico de combustible	57
Figura 52. Consumo instantáneo(rosa), potencia FC(rojo)	58
Figura 53. Medida de la aceleración del vehículo	58
Figura 54. Medida de la aceleración del vehículo (II).....	59
Figura 55. Curvas de par y potencia del motor eléctrico	59
Figura 56. Aceleración (I).....	60
Figura 57. Aceleración (II).....	60
Figura 58. Duración pico de la potencia	61
Figura 59. Duración pico de potencia (II): potencia FC(rosa), potencia compresor(amarillo), potencia bomba H ₂ (azul) y potencia de la bomba de agua(verde)	61
Figura 60. (A) Curva de polarización; (B) Potencia de la pila neta(verde), potencia bruta(lila), potencia de la batería(azul) y potencia total(rojo)	62
Figura 61. Capacidad para reproducir los picos de potencia en poco tiempo.....	62
Figura 62. Tiempo de respuesta primera aceleración	63
Figura 63. Tiempo de respuesta segunda aceleración	63
Figura 64. Mediciones de temperatura.....	64
Figura 65. Variación del termostato.....	64
Figura 66. Consumo asociado a la bomba	64
Figura 67. Relación de temperaturas stack-salida del radiador.....	65
Figura 68. Potencia de la batería(azul) y temperatura(morado)	65
Figura 69. Potencia FC(morado), acelerador(verde), potencia Batt(azul)	66
Figura 70. Comportamiento del SOC	66
Figura 71. Aceleración del vehículo vs potencia de la batería.....	67



Índice de tablas

Tabla 1. Características del vehículo	8
Tabla 2. Dimensiones del vehículo.....	10
Tabla 3. Talleres oficiales o autorizados de Toyota para reparar el Toyota Mirai	11
Tabla 4. Mantenimiento según especificaciones de fabricante	25
Tabla 5. Mantenimientos al vehículo (fecha y kilometraje)	30
Tabla 6. Resultados del recorrido.....	53
Tabla 7. Datos ambientales.....	55
Tabla 8. Rendimiento y potencia máxima	55
Tabla 9. Batería y pila.....	55
Tabla 10. Temperaturas.....	55
Tabla 11. Consumo y eficiencia.....	56

1. Introducción

A nivel mecánico, los coches de hidrógeno son coches con elementos muy particulares respecto a los de combustión y a otros vehículos ECO. Por ejemplo, las pilas de combustible son diferentes de las baterías, porque requieren una fuente constante de combustible y oxígeno para funcionar.

Al mismo tiempo, si se les compara con los vehículos con motores de combustión, el mantenimiento del motor de estos coches es mínimo, y mucho más sencillo. El hidrógeno es limpio tanto al fabricarse como al usarse. Por tanto, para ello debemos prestar atención a sus elementos diferenciadores: la pila de combustible, la batería, el dispositivo que controla el calor, el inversor, el motor eléctrico y los dispositivos que guardan el hidrógeno.

En este sentido, y una vez vistos sus elementos que lo diferencian de otro coche como el puramente electrificado, hay que tener en cuenta, además, otros componentes para que este cumpla de una manera correcta durante toda su vida útil (aproximadamente de 15 años). Estos son el sistema de refrigeración (debe cambiarse en los intervalos especificados en el calendario de mantenimiento), filtro de aire o la unidad diferencial de engranajes (GDU).

Nunca se debe tocar el cable de alto voltaje (color naranja), o el filtro de iones. Elementos como los de alta tensión, deben ser siempre revisados por personal cualificado. Tampoco se puede olvidar los elementos que tiene en común con el resto de los coches. Estos son los neumáticos, amortiguadores, sistema de frenos... deberemos sustituirlos cuando corresponda, por el tiempo o paso de kilómetros que, en cada caso, indique el fabricante.

1.1. Meira Motorsport

Meira Motorsport es un taller de mecánica general y compraventa de vehículos que cuenta con un gran equipo de jóvenes profesionales con amplia experiencia en el mundo del motor. Están estrechamente relacionados con el mundo de la competición. El equipo AMF sport y su piloto Alberto Meira son su buque insignia, realizando su mantenimiento y logística. Además, cuentan con la confianza de la marca Pirelli para gestionar la Copa Pirelli de rallies de asfalto. También realizan alquileres de coches de competición proporcionando logística y asesoramiento. Cuentan con todo tipo de servicios: stock y montaje de neumáticos, alineado de dirección, servicio ITV, servicio rápido, diagnóstico y reparación de todo tipo de averías mecánicas.



2. Objetivos

Se han planteado los siguientes objetivos dentro de la actividad 4.2.: Piloto caso de uso de logística con vehículo de hidrógeno:

- *Análisis de la logística y uso del vehículo de pila de combustible de hidrógeno, incluyendo el estudio de su arquitectura, funcionamiento, mantenimiento, y la evaluación de la infraestructura actual disponible para operar y dar soporte técnico a este tipo de vehículos.*
- *Caso de estudio práctico mediante una ruta de reparto de última milla, en la que se recopilarán datos cuantitativos y cualitativos sobre el desempeño del vehículo en escenarios urbanos reales, con especial atención a las condiciones operativas típicas del sector logístico.*
- *Pruebas controladas en circuito cerrado, orientadas a evaluar el comportamiento del vehículo en condiciones de alta exigencia, incluyendo ciclos como el Wide Open Throttle (WOT) y pruebas de velocidad no permitidas en vía pública, con el fin de determinar sus límites de rendimiento.*
- *Análisis integral de los datos recopilados tanto en el caso de estudio como en las pruebas de circuito, para ofrecer una visión completa del desempeño del vehículo. Se evaluarán parámetros clave como la autonomía, el consumo de hidrógeno, la gestión energética entre la pila y la batería, la entrega y recuperación de potencia, la capacidad térmica bajo carga, entre otros.*

3. Análisis del vehículo de uso

El Toyota Mirai I es un vehículo de pila de combustible que integra un complejo sistema de generación, almacenamiento y distribución de energía eléctrica, diseñado para funcionar de manera coordinada y eficiente a partir del hidrógeno almacenado en sus depósitos de alta presión. El corazón del sistema es la pila de combustible, que produce electricidad mediante la reacción química entre el hidrógeno y el oxígeno suministrado por el compresor de aire con motor. La energía generada en la pila se eleva a un voltaje máximo de 650 voltios DC a través del conjunto de convertidor de pila de combustible, el cual, además, gestiona la conexión y desconexión del relé principal de la pila según las solicitudes de la ECU de control del vehículo, permitiendo así ajustar de forma precisa la potencia suministrada a los distintos elementos del tren motriz. La energía eléctrica se distribuye al inversor con conjunto de convertidor, encargado de transformar y regular la corriente para alimentar tanto el motor de tracción como el compresor de aire de la pila de combustible, adaptándose a las demandas de conducción y garantizando un funcionamiento eficiente durante aceleraciones, mantenimientos de velocidad y regeneración de energía en frenadas.

Tabla 1. Características del vehículo

Vehicle	Cruising range	Approx. 550 km Estimated, according to NEDC Cycle
	Maximum speed	178 km/h
Fuel cell stack	Volume power density	3.1 kW/L (world top level *2)
	Maximum output	114 kW (155 DIN hp)
High-pressure hydrogen tank	Number of tanks	2
	Nominal working pressure	70 MPa (700 bar)
	Tank storage density *3	5.7 wt% (world top level *2)
Motor	Maximum output	113 kW (154 DIN hp)
	Maximum torque	335 Nm

*2 November 2014, Toyota data

*3 Hydrogen storage mass per tank weight

El vehículo también cuenta con un convertidor DC-DC, que reduce la tensión de alta tensión a aproximadamente 14 voltios DC, suministrando energía a los sistemas auxiliares y a la batería auxiliar de 12 voltios, la cual alimenta los dispositivos de bajo voltaje del vehículo, asegurando el correcto funcionamiento de sistemas de control, iluminación, electrónica de a bordo y demás componentes auxiliares. La gestión térmica es otro elemento crítico del Mirai I, implementada mediante un conjunto de bomba de agua de refrigeración que circula el líquido refrigerante para mantener estable la temperatura de la pila de combustible y del aire comprimido por el compresor,

evitando sobrecalentamientos y asegurando que el rendimiento de la pila se mantenga óptimo incluso en condiciones de alta demanda o de conducción prolongada a máxima potencia. El compresor de aire con motor proporciona el flujo de oxígeno necesario para la reacción química en la pila y es accionado directamente por el inversor del conjunto de convertidor, garantizando que la presión y el caudal de aire se ajusten dinámicamente según los requerimientos de la pila.

El sistema de almacenamiento de hidrógeno está compuesto por tanques fabricados con plástico reforzado con fibra de carbono, capaces de soportar presiones de hasta 70 MPa, garantizando la seguridad estructural y la integridad del combustible. Cada tanque está equipado con válvulas de control y sensores de temperatura, que permiten monitorizar las condiciones internas y transmitir la información a la ECU de control de combustible de hidrógeno. Antes de ingresar a la pila de combustible, el hidrógeno pasa por un regulador de suministro, que reduce su presión a un rango operativo seguro entre 1,0 y 1,5 MPa, asegurando un flujo constante y estable para la generación de energía. La energía eléctrica obtenida se combina con la de la batería EV de alto voltaje, formada por 34 módulos de níquel-metal hidruro (NiMH) conectados en serie, lo que permite tanto la asistencia en picos de demanda como la recuperación de energía durante la frenada regenerativa, optimizando la eficiencia del vehículo y mejorando su capacidad de aceleración y autonomía.

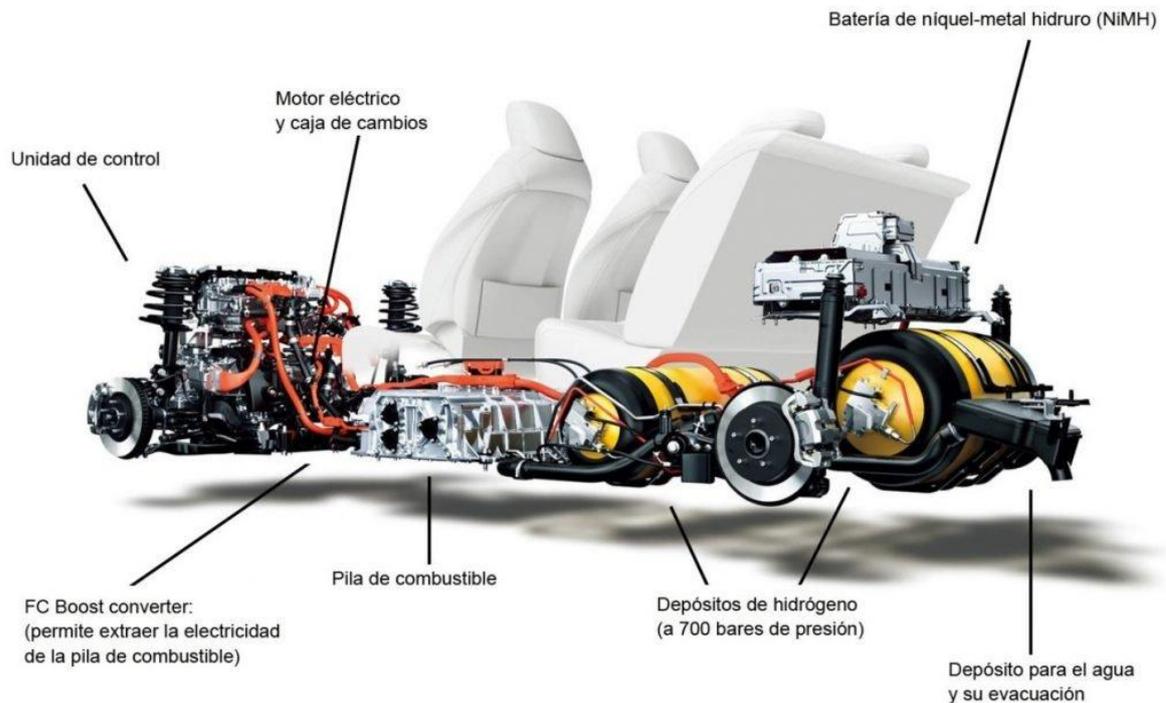


Figura 1. Detalle del vehículo

Por otra parte, el conjunto de transmisión del vehículo, o transaxle con motor, coordina la entrega de la energía eléctrica proveniente de la pila y de la batería para generar fuerza motriz, adaptándose en tiempo real a las condiciones de conducción, ya sea en arranques, aceleraciones sostenidas o frenadas regenerativas. En este sistema integrado, cada componente está cuidadosamente interconectado para maximizar la eficiencia energética, garantizar la seguridad del vehículo y ofrecer un rendimiento dinámico controlado, demostrando cómo la tecnología de pila de combustible permite una conducción eléctrica limpia y eficiente utilizando hidrógeno como fuente de energía primaria.

Tabla 2. Dimensiones del vehículo

Length	4,890 mm	
Width	1,815 mm	
Height	1,535 mm	
Curb weight	1,850 kg	
Wheelbase	2,780 mm	
Track (front / rear)	1,535 mm / 1,545 mm	
Minimum ground clearance	130 mm	
Interior dimensions	Length	2,040 mm
	Width	1,465 mm
	Height	1,185 mm
Seating capacity	4	

Por último, se puede comentar que este vehículo posee una longitud de 4.890 mm y una anchura de 1.815 mm, el vehículo se sitúa en el segmento de las berlinas medias-grandes. Su altura de 1.535 mm contribuye a un perfil bajo, lo que mejora la estabilidad dinámica y reduce la resistencia al aire, aspecto fundamental en vehículos impulsados por hidrógeno donde la eficiencia energética es prioritaria.

El peso en orden de marcha de 1.850 kg refleja la incorporación de la pila de combustible, los depósitos de hidrógeno y el sistema eléctrico, todos ellos componentes de considerable masa. A pesar de ello, el chasis de 2.780 mm de batalla permite una buena distribución de pesos y una conducción equilibrada. Las vías delantera y trasera, de 1.535 mm y 1.545 mm respectivamente, refuerzan la estabilidad lateral, mientras que la altura libre al suelo de 130 mm mantiene el compromiso entre confort y aerodinámica.

En el interior, el Mirai ofrece dimensiones habitables de 2.040 mm de largo, 1.465 mm de ancho y 1.185 mm de alto, configuradas para proporcionar comodidad a sus cuatro plazas. Este diseño responde a la disposición estructural de los tanques de hidrógeno y de la pila de combustible, que ocupan parte del espacio inferior y trasero del vehículo.

4. Capacidades de mantenimiento

El avance de la movilidad con pila de combustible trae consigo nuevos retos en el ámbito del mantenimiento automotriz. A diferencia de los vehículos convencionales o incluso de los eléctricos a batería, los sistemas de hidrógeno presentan componentes específicos (como la pila de combustible, los depósitos de alta presión y el compresor de aire) que requieren procedimientos especializados y un estricto cumplimiento de normas de seguridad. Esto implica que no todos los talleres tradicionales pueden afrontar estas tareas sin una preparación adecuada.

Para garantizar la seguridad, la eficiencia y la vida útil de los vehículos de hidrógeno, es imprescindible actuar en dos frentes. Por un lado, se debe reforzar la formación de los profesionales, dotándolos de conocimientos en gestión de gases a alta presión, normativas ATEX, electrónica de potencia y diagnósticos avanzados. Por otro lado, se deben adaptar las instalaciones de los talleres, creando espacios con ventilación específica, sistemas de detección de fugas y zonas seguras para la manipulación de los depósitos de hidrógeno. Solo mediante esta doble transformación —personas y entornos de trabajo— será posible consolidar una red de mantenimiento preparada para acompañar la expansión de esta tecnología.

4.1. Talleres preparados para trabajar con sistemas de hidrógeno y pilas de combustible

A continuación, se adjunta una tabla completa de todos los talleres que trabajan con el vehículo Toyota Mirai y los servicios que ofrece, además de ser talleres. Se considera que todos los talleres indicados, que están capacitados y son recomendados por un fabricante de coches de hidrógeno, tendrían la potencial capacidad para asistir vehículos de hidrógeno de forma general, a excepción de aquellos que sean talleres oficiales de Toyota, que brindarían servicio a su marca.

Tabla 3. Talleres oficiales o autorizados de Toyota para reparar el Toyota Mirai

Nombre	Ciudad(es)	Descripción
Breogán Motor, S.L.	Pontevedra, Narón, San Cosme, Carballo, Perillo	Recambios y taller
Breogán Motor, S.L.	Vilagarcía de Arousa, Lugo	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Compostela Móvil, S.A.U.	Santiago de Compostela	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Cibrao Motor, S.L.	Ourense	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Neumáticos Navaliegos, S.A.	Ponferrada	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Legio Cars, S.L.U.	León	Carrocería, Pintura, Recambios y taller

Asturhíbrido, S.L.	Oviedo	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Asturhíbrido, S.L.	Gijón, Avilés	Recambios y taller
Multiauto Avilés (Reparador autorizado Toyota)	Avilés	Recambios y taller
Megamotor, S.L. Toyota Palencia	Torrelavega, Santander Palencia	Recambios y taller Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Automoción Vía de la Plaza	Zamora	Recambios y taller
Autobafer, S.L.U. Toyota Valladolid	Burgos, Miranda de Ebro Valladolid	Recambios y taller Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Hacha Motor	Salamanca	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Automóviles Ken, S.L.	Ávila	Recambios y taller
Kobe Motor, S.L.	Collado Villalba	Recambios y taller
Hersamotor, S.A.U.	Colmenar	Recambios y taller
Autocentro Armentia S.A.	Vitoria-Gasteiz	Recambios y taller
Japoauto, S.L.	Logroño	Recambios y taller
Futura Motor Sport, S.A.	Soria	Recambios y taller
Japan Car, S.A.	Bilbao, Barakaldo, Calahorra, Tudela	Recambios y taller
Japan Car, S.A.	Lejona	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Talleres Tabira, S.L. (Taller autorizado Toyota)	Durango	Recambios y taller
Eskoauto 2003, S.L.	Bergara	Carrocería, Pintura y taller
Eskoauto 2003, S.L.	Olaberriq, San Sebastián	Recambios y taller
Tauro Motor Car, S.L.	Cordovilla	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Coches La Oscense, S.L. (Toyota Huesca)	Huesca	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Artal Vehículos Zaragoza, S.L.	Zaragoza	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Automóviles M. Serrano, S.L.	Barbastro	Recambios y taller
Naymotor, S.L. (Toyota Lleida)	Lérida	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Rimauto Nipon, S.L.U.	Alcañiz, Segovia	Recambios y taller
Autoforum, S.A.	Reus, Tortosa	Recambios y taller
Autoforum, S.A.	Tarragona	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Moreno Motors Valls XCD, S.L. (Reparador autorizado por Toyota)	Valls	Recambios y taller

Af Gamm, S.L. (Reparador autorizado por Toyota)	El Vendrell	Taller
Automobils Supra Motor, S.L.	Vilafranca del Penedès	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Automobils Supra Motor, S.L.	Vilanova i la Geltrú	Recambios y taller
D.L. Starbaix, S.L.	Gava	Recambios y taller
Anoia Automoción, S.L. (Toyota Igualada)	Igualada	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Euro Servi, S.A.	Vinaroz	Recambios y taller
Rimauto Nipon, S.L.U.	Alcañiz	Recambios y taller
Rimauto Nipon, S.L.U.	Teruel	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Cobelsa, S.A.U.	Castellón	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Sakurauto, S.A. (Toyota Valencia)	Paterna, Valencia, Alzira	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Sakurauto, S.A. (Toyota Valencia)	Pisa de Silla, Xátiva, Gandía	Recambios y taller
Neumáticos Borreda, S.L. (Reparador autorizado por Toyota)	Ontinyent	Recambios y taller
Tecno Sport, S.L.	Cocentaina	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Medimotors Premium, S.L. (Toyota Denia)	Denia	Taller
Medimotors Premium, S.L.	Alicante	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Medimotors Premium, S.L.	Elche, Benidorm, Orihuela	Recambios y taller
Automóviles Albacete, S.L.	Albacete	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Automóviles Albacete, S.L.	Almansa	Recambios y taller
Silencio Auto, S.L. (Reparador autorizado)	Cuenca	Recambios y taller
Malagón Motor, S.L. (Reparador autorizado)	Calpe	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Labasa, S.L.	Murcia	Taller
Labasa, S.L. (Toyota Murcia)	Murcia	Recambios y taller
Labasa, S.L.	Cartagena, San Javier	Recambios y taller
Jumel Automoción, S.L.	Lorca	Recambios y taller
Alborán Motor, S.L.	Huércal de Almería, Santa María de Águila	Recambios y taller
Automecánica Úbeda, S.L. (Reparador autorizado)	Úbeda	Recambios y taller
Lucorja, S.L. (Toyota Jaén)	Jaén	Recambios y taller

Toyota Granada	Granada	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Comluve, S.L.	Córdoba	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Comluve, S.L.	Lucena	Recambios y taller
Cumaca Motor, S.L.	Málaga	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Cumaca Motor, S.L.	Antequera	Recambios y taller
Tresa Motor, S.L.U (Toyota Ciudad Real)	Ciudad Real	Recambios y taller
Yokamotril, S.L.	Motril	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Supra Gamboa, S.A.	Alcorcón	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Supra Gamboa, S.A.	Móstoles, Madrid	Recambios y taller
Centrocar y Sierra, S.L.	Talavera de la Reina, Olías del Rey, La puebla de Montalbán	Recambios y taller
Comauto Sur, S.A.	Leganés	Recambios y taller
Gamboa Ecoauto, S.A.	Fuenlabrada, Cantueña	Recambios y taller
Bafer Hispanesa, S.L.	Rivas Vaciamadrid	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Kobe Motor, S.L.	Majadahonda, Collado Villalba	Recambios y taller
Hersamotor, S.A.U.	Madrid, Alcobendas, Colmenar	Recambios y taller
Novomotor Cáceres, S.L.	Cáceres	Recambios y taller
Trevauto Comercio de Automóviles, S.L.	Mérida, Plasencia, Zafra	Recambios y taller
Trevauto Comercio de Automóviles, S.L.	Badajoz	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Autos La Serena, S.L.	Don Benito	Recambios y taller
Motor Arjona, S.L.	Guadalajara	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Hispaljarafe (Nimo Gordillo Aljarafe, S.L.)	Camas, Sevilla	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Nimo Gordillo Huelva, S.L.U	Huelva	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Nimo Gordillo Automóviles, S.A.	Sevilla	Recambios y Taller
Paco Jiménez, S.L. (Reparador autorizado)	Dos hermanas	Carrocería, Pintura, Recambios y taller
Niponsur, S.A. (Reparador autorizado)	Coria del Río	Recambios y taller
Manuel Sánchez Aguilar, S.L.	Écija	Recambios y Taller
Nimauto, S.L.	Jerez de la Frontera, Puerto de Santa María	Recambios y Taller
Gamo Bahía, S.L.	Puerto Real	Carrocería, Pintura, Recambios y taller

Calenda S.L. (autorizado)	Automoción, (Reparador)	Higuera La Real	Recambios y Taller
------------------------------	----------------------------	-----------------	--------------------

Además, Grupo Golendus abrió en Lobón (Extremadura) un taller para transformar vehículos de combustión y equipos industriales a hidrógeno. El precio medio de transformar un utilitario de gasolina o diésel a hidrógeno es de entre 3.500 euros y 4.000 euros. El coste depende de los cilindros y del tipo de sistema de almacenamiento del hidrógeno que se instale.

También es posible transformar vehículos industriales más grandes, como camiones. La pega es el coste: al tener motores con un mayor número de cilindros, el precio final de la operación ronda los 20.000 euros.

Conseguir la etiqueta Cero de la DGT a través de este proceso dependerá de las características originales del motor a transformar, por lo que puede que el vehículo en cuestión no obtenga el distintivo esperado. Eso sí, el ahorro en combustible será notable, ya que repostar hidrógeno en las estaciones de este grupo es hasta un 40% más económico que parar en la gasolinera.

Grupo Golendus es una asociación de empresas de ingeniería, energía, automoción y desarrollo tecnológico que opera desde hace más de cuarenta años. Golendus se ocupa del desarrollo y fabricación de la tecnología del hidrógeno y dirige el grupo. KN Angels es una consultora estratégica y especialista en financiación. Autogas es una empresa de transformación y ensamblaje de vehículos eléctricos y de hidrógeno. Y Zero Software lleva adelante estudios de ingeniería especializada en desarrollos e innovación.

4.2. Personal capacitado y herramientas especializadas

El artículo 19 de la LPRL (Riesgos Eléctricos), referente a la formación de los trabajadores, dispone que el empresario garantizará que cada trabajador reciba formación en materia preventiva en el momento de su contratación, cuando se produzcan cambios en las funciones que desempeñe o se introduzcan nuevas tecnologías o cambios en los equipos de trabajo. Esta formación será teórica y práctica, suficiente y adecuada y estará centrada específicamente en el puesto de trabajo o función de cada trabajador. Deberá impartirse por la empresa mediante recursos propios o servicios ajenos.

En cualquier caso, la formación a la que se refiere este documento deberá acreditarse mediante un certificado nominativo que deberá ser emitido por el formador o por el servicio/organismo de formación especializados en estas tecnologías.

A estos efectos, podrán considerarse como organismo de formación empresas certificadoras, fabricantes de vehículos eléctricos o fabricantes de componentes del vehículo eléctrico/híbrido o bien empresas o asociaciones debidamente acreditadas (las fundaciones, Clústeres, Consorcios y otras entidades de derecho público, privado y mixto), o bien por el jefe de taller,

siempre y cuando este posea el título de "inspector en alta tensión" y, en cualquier caso, de los conocimientos sobre el VE y sus componentes en función del mencionado grado de intervención.

Los objetivos formativos son los siguientes:

- Conocer las características y tipo de vehículos eléctricos e híbridos
- Conocer las componentes, descripción y funcionamiento de vehículos eléctricos e híbridos.
- Conocer las precauciones en la manipulación de vehículos eléctricos e híbridos.
- Intervención fuera de tensión.
- Intervención desmontaje batería de tracción.
- Conocer los peligros de la electricidad y poder analizar situaciones con riesgo eléctrico (localización, identificación, evaluación).
- Conocer las prescripciones y métodos de prevención de riesgo eléctrico y saber implementarlos.
- Ser capaz de implementar medidas de prevención adaptadas al riesgo eléctrico del equipo eléctrico en cuestión.
- Saber integrar la prevención en la preparación del TRABAJO por las personas responsables.
- Ser informado de qué hacer en caso de accidente o incendio de origen eléctrico.

A los efectos de la habilitación del personal encargado de la intervención en VE, se establecen tres niveles en función del grado de intervención y de acuerdo al tipo de intervención de talleres.

En el nivel I la intervención sobre vehículos eléctricos que no suponen ningún tipo de manipulación sobre instalaciones o componentes sometidos a Alto Voltaje (HV). En este caso el trabajador debería recibir únicamente formación teórica-práctica elemental como las tres primeras de las "cinco reglas de oro" de los trabajos de Alto Voltaje, características de los vehículos eléctricos e híbridos (incluyendo esquemas de funcionamiento), uso adecuado de equipo y precauciones en la manipulación de vehículos eléctricos e híbridos.

En el nivel II la intervención sobre vehículos eléctricos que suponen el cambio o reemplazo de componentes del sistema de HV como convertidores AC/CC, motores, sistemas de Aire acondicionado eléctrico, etc. Además de los conocimientos del personal del nivel previo, es preciso que el trabajador tenga conocimiento de las medidas de protección contra descargas eléctricas (y la totalidad de las cinco reglas de oro) y contra arcos voltaicos, peligros eléctricos y primeros auxilios. Por otra parte, debe recibir formación de organización de la seguridad y salud del trabajo eléctrico, así como debe conocer el funcionamiento de los sistemas de alta tensión (HV) del trabajo eléctrico.

Por último, el personal de nivel III interviene sobre "partes sometidas a HV", así como trabajos realizados en zonas próximas a áreas expuesta a HV. Además de poseer los conocimientos de niveles previos, además la formación debe contar con ejercicios prácticos y metodología sobre competencia del equipo de

operación, organización del trabajo y los elementos de protección que han ser usados de manera obligatoria. Además, deberán adquirir unas habilidades prácticas, centradas en los siguientes aspectos: sustitución de piezas de alta tensión, medición y comprobación de los sistemas de alta tensión, principios de la preparación y ejecución de la obra de alta tensión, uso e inspección de herramientas para el trabajo de alta tensión y equipo de protección (PPE), fundamentos legales y comportamiento en caso de accidentes.

Los candidatos para la evaluación a todos los niveles deberán estar en posesión de un título profesional reglado en el campo del mantenimiento del vehículo o de un diploma equivalente expedido por la Administración Pública competente, o estar en posesión de una privada como mecánico profesional de reparación de vehículos o electricista profesional de vehículos, o diploma equivalente, o pertenecer al colectivo de técnicos y operadores que han tenido una formación relevante o han ocupado una posición técnica en un taller de vehículos eléctricos o híbridos durante al menos 3 de los últimos 5 años a los que se les identifique falta de conocimiento tras realizar un examen previo, según se indica a continuación.

El candidato deberá completar suficiente formación para lograr la competencia, la habilidad y la capacidad descritas anteriormente (niveles I, II o III). La formación teórica se llevará a cabo antes o junto con la formación práctica. Se documentará toda la formación completada.

Sin embargo, técnicos y operadores que han tenido una formación relevante o han ocupado una posición técnica en un taller de vehículos eléctricos o híbridos durante al menos 3 de los últimos 5 años pueden someterse al siguiente procedimiento: Certificar la condición a través de la vida laboral y un certificado de la/s empresas declarando las funciones y áreas de desempeño, realizar un examen previo; o cualquier falta de conocimiento identificada través del examen previo, se deberá hacer bien asistiendo a la parte o partes pertinentes de la formación; aprobar el examen final de cada certificación.

A continuación, se indica el equipo recomendado en las zonas de trabajo dedicadas a vehículos eléctricos, las cuales se clasifican según los requisitos específicos en cada caso:

- Tipo I: Operaciones de reparación o mantenimiento a realizar no afecten al sistema eléctrico propulsor.
- Tipo II: Tareas de mantenimiento o reparación que pueden afectar el sistema eléctrico de propulsión.
- Tipo III: Operaciones de cambio y/o reparación de cualquier elemento del sistema eléctrico de propulsión. También se incluyen en este nivel, los centros de transformación de vehículos tradicionales a vehículos con propulsión híbrida o eléctrica.

Las zonas de trabajo deberán disponer de un equipo mínimo, en función del nivel de intervención del taller.

Tipo I:

- Comprobador de tensión con detector de voltaje sin contacto, unipolar, 230-1.000 V CA.
- Guantes Eléctricos
- Opcionalmente:
- Herramientas con aislamiento mínimo de 1000V y certificadas por organismo competente.
- Guantes Algodón
- Alfombra Aislada con aislamiento mínimo 1000V
- Calzado especial.

Tipo II:

- Herramientas con aislamiento mínimo de 1000V y certificadas por organismo competente.
- Comprobador de tensión con detector de voltaje sin contacto, unipolar, 230-1.000 V CA.
- Guantes Eléctricos
- Calzado especial.
- Guantes Algodón.
- Casco con pantalla
- Alfombra con aislamiento mínimo de 1000V 2820VM.

Tipo III:

- Herramientas con aislamiento mínimo de 1000V y certificadas por organismo competente
- Comprobador de tensión con detector de voltaje sin contacto, unipolar, 230-1.000 V CA.
- Guantes Eléctricos
- Calzado especial.
- Guantes Algodón.
- Alfombra con aislamiento mínimo 1000V 2820VM.
- Pantalla de protección facial
- Grúa para baterías.
- Mesa Elevadora 1500 kg.
- Elevador Especifico Box Eléctrico o genérico pero dotado de medidas específicas para evitar riesgos eléctricos.
- En todos los elementos en los que se ha establecido un nivel de tensión, este umbral debe adaptarse a la tensión de los vehículos sobre los que se interviene.

Se deben proporcionar procedimientos adecuados para la identificación, comprobación, calibración y mantenimiento de la eficiencia de los equipos anteriormente indicados. Se deben conservar registros de estas

comprobaciones, actualizados y disponibles cuando sean necesarios. Así mismo, todas las máquinas deberán llevar su correspondiente marcado CE.

No obstante, y complementando lo anterior, deben tenerse en cuenta las siguientes generalidades:

Como regla general, todo el cuerpo del operador debe estar protegido contra los riesgos de contacto con una parte activa por un lado y debe evitarse al máximo el riesgo de cortocircuito accidental causado por partes metálicas no aisladas (utillaje, por ejemplo). Por esta razón, se recomienda no usar objetos o colgantes de metal en las muñecas o alrededor del cuello (por lo tanto, las cadenas y las pulseras deben quitarse).

La ropa que cubre todo el cuerpo (excepto la cabeza y las manos) no debe tener una parte metálica (cremallera, por ejemplo) y no debe estar hecha de tela que pueda fundirse bajo el efecto de un arco o propagar una llama (nylon, proscrita).

Los guantes aislantes (en el sentido de la norma) protegen contra la electrificación, pero deben estar protegidos contra el ataque mecánico de los guantes de cuero de silicona.

Contra los efectos de un posible arco eléctrico (salpicaduras de metal fundido, UV), un visor anti-UV hace posible proteger los ojos de manera efectiva, se utilizará de manera tan pronto como exista un riesgo de cortocircuito y, por lo tanto, incluso en baja tensión (Una batería de 12 voltios y 100 Ah puede proporcionar 800 A en caso de un cortocircuito.)

El casco esencial para el trabajo al aire libre no es obligatorio en el interior si no hay riesgo de descarga, luego se reemplaza por una tapa aislante.

Equipo de seguridad personal.

Los zapatos de seguridad proporcionan aislamiento sobre pisos conductores, pero pueden ser reemplazados por una alfombra aislante que protege contra contactos "accidentales" Las herramientas aislantes también forman parte del equipo de seguridad individual.

Equipo de seguridad colectivo

Cuando el operador se ve obligado a entrar en la zona de proximidad, que requiere que su autorización incluya la letra V, está obligado a protegerse (a menos que esté autorizado por T).

La protección se realiza generalmente mediante pantallas protectoras, material aislante fijadas por clips de madera. (Se pueden usar placas de metal gruesas si están conectadas a tierra).

Se debe utilizar un equipo de marcado (pancartas, redes, pancartas, letreros, etc.) y, si es necesario, se debe impedir el acceso a esta zona mediante obstáculos físicos (cadenas, barreras, etc.):

Verificador de ausencia de tensión.

Es un dispositivo para verificar que una parte del circuito está efectivamente separada de todas las fuentes de voltaje, incluso "oculta" como la de las baterías, acumulador o condensador cargado. No es un dispositivo de medición y su uso debe limitarse a la función para la cual está diseñado (y viceversa, un multímetro no se puede usar para verificar la ausencia de voltaje). Debe comprobarse antes y después de cada uso. Debe manejarse con guantes aislantes si hay vecindario. La verificación se realiza entre todos los conductores activos y la tierra.

Dispositivos de puesta a tierra y en cortocircuito

Estos dispositivos solo son obligatorios en caso de alta tensión, o en los siguientes casos especiales: riesgo de voltajes inducidos, presencia de condensadores, cables largos, etc.

Por último, se contempla los siguientes equipamientos:

- Equipo para desplazar el coche en el taller sin empujarlo: Cuando se empuja un vehículo eléctrico o híbrido, las ruedas motrices pueden cargar los inversores y se pueden producir problemas en el sistema eléctrico.
- Bancos de trabajo no metálicos: Es peligroso colocar componentes de alto voltaje sobre metales. Si se trabaja con bancos de madera y estos se manchan con grasa u otro líquido pueden convertirse en conductores de electricidad. Son recomendables los bancos de plástico, ya que incluso la madera puede conducir la electricidad si se mancha con aceites o grasas.
- El box debe contar con equipamiento y herramientas propias como un multímetro de categoría III a 1.000 voltios, que permitirá realizar las mediciones del voltaje del vehículo de forma segura. También es imprescindible contar con un cargador de baterías.

En lo que respecta a vehículos de hidrógeno, además, se debe dotar al personal de formación que contemple contenidos teórico-prácticos para la sustitución o retirada de depósitos y seguridad asociada a la manipulación de componentes inflamables.

Una de las herramientas principales es el detector de fugas de hidrógeno, el cual funcionan de forma muy similar a los que se utilizan para los refrigerantes del aire acondicionado. Esta herramienta también suele utilizarse en inspecciones de neumáticos con nitrógeno para comprobar si hay fugas.

Debido a que el hidrógeno es mucho más ligero que el aire, el detector de fugas se utiliza para buscar por encima en vez de por debajo. Estas inspecciones deben de realizarse con cuidado.

La directiva 2014/94 relativa a las infraestructuras, menciona en su anexo 2, a la pila de combustible de hidrógeno, relacionándola con la ISO/TS20100, que ya ha sido sustituida por la ISO 19880-1 o EN 1727. La pureza del hidrógeno deberá

corresponder a la Norma ISO 14687-2, que será modificada por la norma EN 17124.

Se deberán realizar análisis rutinarios sobre la calidad del hidrógeno. Las calibraciones de los caudalímetros, deberán cumplir la normativa IEG 60079 y OIML 139. En lo relativo a talleres, mencionar que en Estados Unidos se hace mención al capítulo 23 de Código Internacional de Incendios.

En Alemania, se pide la certificación GAP, con los siguientes procedimientos operativos; BG15108, BGR157 y AWE86.

Se establecen dos niveles en cuanto al personal y al nivel de intervención de talleres:

Nivel I, que podrá realizar las siguientes operaciones:

- Sustitución de la pila de combustible.
- Sustitución de cualquier componente en contacto con el hidrógeno.
- Sustitución de depósitos de hidrógeno.

Para el nivel I, la ventilación del lugar es la clave, ya que el hidrógeno se diluye muy rápidamente. Según la normativa alemana, la ventilación mínima consiste en renovar, tres veces cada hora, el volumen de aire del taller. No puede haber recirculación de ningún tipo, ya que, en este caso, el hidrógeno puede quedar dentro.

El taller deberá disponer de:

- Sensores de gas, de acuerdo a la EN50054.
- Tomas de tierra.
- Señalización adecuada.
- Plan de procedimiento de seguridad
- Plan de prevención de riesgos.
- Formación adecuada por entidad certificada.
- Renovación de la renovación del personal.

Nivel II que sólo podrá realizar

- El mantenimiento de los vehículos FCHEV.
- Reparaciones generales
- Reparaciones de alta tensión.

En cuanto al equipamiento, en el nivel II sólo será requisito obligatorio un detector de fugas de hidrógeno.

4.3. Procedimientos de seguridad específicos para hidrógeno

Debido a las características del hidrógeno, el cual es extremadamente inflamable, las instalaciones del taller deben estar diseñadas con una ventilación adecuada para ventilar con seguridad el hidrógeno suelto.

El hidrógeno es mucho más ligero que el aire por lo que las instalaciones para reparar los coches de hidrógeno deben tener una ventilación superior sin una fuente de ignición cerca de la parte superior de las instalaciones.

El sistema de ventilación debe diseñarse y fabricarse de acuerdo con las normas y directivas que regulan la seguridad, la salud y el medio ambiente en las zonas donde puede haber atmósferas explosivas (ATEX). Algunas de las normas y directivas más relevantes son:

- La directiva 2014/34/UE, que define los requisitos esenciales que deben cumplir los equipos y sistemas de protección para uso en zonas ATEX.
- La norma EN 14986:2017, que establece los métodos y criterios para el diseño, construcción, ensayo e identificación de los ventiladores ATEX.
- La norma EN 60079-10-1:2015, que determina los criterios para clasificar las áreas con riesgo de explosión por gases, vapores o nieblas inflamables, como el hidrógeno.
- La norma UNE 60601:2013, que fija las reglas para el diseño, ejecución, verificación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas en zonas ATEX.
- La norma UNE 60204-1:2017, que establece las condiciones que deben cumplir los equipos eléctricos de las máquinas para garantizar la seguridad de las personas y los bienes.

Si en el área de reparación hay un elevador, esto puede significar que el cierre de seguridad de la parte superior del elevador deba transformarse de conmutación eléctrica a neumática.

Además de eliminar las posibles fuentes de chispas de la parte superior, se requiere una ventilación rápida.

El área de reparación del taller también es una zona donde se usan productos inflamables que son más pesados que el aire, por lo que el metro inferior también debe estar libre de fuentes de chispas.

El coste de preparar un taller para estos trabajos puede ser elevado y muchos no están dispuestos a asumir esta inversión, por lo que realizan las reparaciones en el exterior donde al estar al aire libre se eliminan los peligros de la acumulación de hidrógeno.

En la actualidad las reparaciones de este tipo de vehículos se realizan casi en su totalidad en concesionarios, y se necesitan herramientas especiales y formación para llevarlas a cabo.

Además del uso de detectores de fugas, no hay que olvidar que también se trata de un vehículo con sistemas de alto voltaje.

Como pasa con otros vehículos híbridos y eléctricos, una vez que el FCEV está apagado, los conectores de seguridad de alto voltaje se deben desconectar y retirar.

Es muy importante consultar la información del fabricante para trabajar de forma segura. Por lo tanto, también se precisan de las herramientas de reparación de los vehículos eléctricos.

En lo que respecta a reparaciones que precisen de soldadura a los vehículos de hidrógeno, es posible que sea necesario retirar los tanques de combustible si es necesario operar en la parte trasera del vehículo.

Los fabricantes hacen accesorios especiales y manuales para facilitar la extracción de los tanques. Puede que incluso los concesionarios no tengan estas herramientas y las tengan que pedir al fabricante.

Hay que tener en cuenta, además, otros componentes para garantizar el mejor funcionamiento durante toda su vida útil (aproximadamente de 15 años). Estos son el sistema de refrigeración (debe cambiarse en los intervalos especificados en el calendario de mantenimiento), filtro de aire o la unidad diferencial de engranajes (GDU).

Nunca tocaremos el cable de alto voltaje (color naranja), o el filtro de iones. Tampoco podemos olvidar los elementos que tiene en común con el resto de coches. Estos son los neumáticos, amortiguadores, sistema de frenos... deberemos sustituirlos cuando corresponda, por el tiempo o paso de kilómetros que, en cada caso, indique el fabricante.

5. Mantenimiento del vehículo

La revisión o mantenimiento coche es un proceso básico para que nuestro automóvil se encuentre en las mejores condiciones de uso posibles y mejor sea su respuesta a cualquier situación imprevista en la carretera, además de reducirse el número las averías que sufrirá a lo largo de su vida útil.

El fabricante del vehículo es el responsable de indicar los intervalos de mantenimiento y sustitución de los distintos componentes del coche.

5.1. Especificaciones del fabricante

Toyota especifica que el vehículo debe someterse a un control de mantenimiento y seguridad al menos una vez cada 2 años o cada 30.000 km (lo que antes ocurra). Asimismo, es necesario someterse a una revisión intermedia anual o cada 15.000 km.

Cada Toyota nuevo viene con una garantía de vehículo de 3 años / 100.000 km, que cubre cualquier defecto causado por un fallo de fabricación. Los componentes de la pila de combustible de Mirai están cubiertos por una garantía de 5 años/100.000 km. Toyota ofrece Toyota Eurocare, asistencia gratuita en carretera en 40 países europeos durante 3 años (en Bélgica 5 años, en Portugal, Noruega y Dinamarca 1 año).

Los accesorios Toyota se hallan cubiertos por una garantía de 3 años cuando se adquieren junto al vehículo.

El transporte al taller Toyota autorizado más cercano también quedara cubierto. Además, la garantía de pintura de 3 años/kilometraje ilimitado protege contra defectos y óxido de la superficie causados por un fallo de fabricación. Todos los nuevos Toyota están cubiertos por una garantía anticorrosión de 12 años (no válida para vehículos comerciales) contra la perforación de paneles de la carrocería causada por un fallo de fabricación en los materiales o la mano de obra. La cobertura de los Componentes de la Pila de Combustible incluye: 1. Conjunto de batería, 2. ECU de batería, 3. Compresor de aire FC, 4. Inversor FC, 5. ECU FC, 6. Depósitos de Hidrógeno FC, 7. PCU (Unidad de Control de Potencia) FC, 8. Pila FC, 9. ECU HF (ECU de repostaje de Hidrógeno), 10. ECU de gestión de potencia (ECU HV).

Además de las especificaciones de garantía, se indica la necesidad de realizar mantenimiento de componentes específicos de forma periódica, tanto para su sustitución como simple revisión:

Tabla 4. Mantenimiento según especificaciones de fabricante

Especificaciones del fabricante	
Sustituir	
Filtro de aire	cada 45.000 km / 3 Años
Suministro de hidrógeno	cada 20 años
Tanque de hidrógeno	cada 20 años
Intercambiador de iones	cada 60.000 km / 3 Años
Refrigerante del inversor	Primer cambio después de 240.000 km y luego cada 90.000 km
Revisar	
Aceite de transmisión automática	cada 60.000 km / 4 Años
Refrigerante para inversor	cada 30.000 km

Cabe destacar que el mantenimiento de un vehículo de pila de combustible, como el Toyota Mirai, requiere una serie de procedimientos especializados que aseguren su funcionamiento óptimo, la durabilidad de sus componentes y, sobre todo, la seguridad durante las intervenciones. A diferencia de los vehículos convencionales, estos sistemas trabajan con hidrógeno a alta presión y tensiones eléctricas elevadas, por lo que las tareas de mantenimiento deben realizarse siguiendo protocolos estrictos y con personal debidamente cualificado.

En primer lugar, es fundamental que el mantenimiento sea realizado exclusivamente por técnicos formados y certificados en vehículos de hidrógeno, ya que estos profesionales conocen los riesgos asociados al sistema de alta tensión y a los depósitos presurizados. Antes de cualquier intervención, se deben aplicar los procedimientos de aislamiento eléctrico y purgado del sistema de hidrógeno, garantizando que no exista presión residual en las líneas ni riesgo de fuga.

Otro aspecto esencial es la revisión periódica de los componentes del sistema de hidrógeno, incluyendo válvulas, tuberías, sensores y depósitos, para comprobar la ausencia de fugas, daños o corrosión. Estas inspecciones deben realizarse tanto de forma preventiva como tras cualquier impacto o reparación estructural, ya que la integridad del sistema es clave para la seguridad del vehículo.

El sistema de refrigeración de la pila de combustible requiere una atención especial. Este circuito utiliza un refrigerante de baja conductividad eléctrica, diseñado para evitar cortocircuitos y mantener estable la temperatura de funcionamiento de la pila. Se recomienda revisar periódicamente el nivel y estado del refrigerante, así como comprobar el funcionamiento de las bombas y ventiladores asociados.

Sistema de refrigeración		
Capacidad*	Conjunto de celdas de combustible	19,6 L (20,7 qt., 17,2 qt.Ing.)
	Inversor	4,7 L (5,0 qt., 4,1 qt.Ing.)
Tipo de refrigerante	Conjunto de celdas de combustible	<p>"Toyota Genuine FC Stack Coolant" «Refrigerante para conjunto de celdas de combustible original de Toyota»</p> <ul style="list-style-type: none"> • El refrigerante del conjunto de celdas de combustible es un producto exclusivo de alto poder aislante que refrigera de manera segura el conjunto de celdas de combustible, donde se generan altas tensiones. • Nunca use agua u otros tipos de refrigerantes, ya que causarán daños. • No es necesario cambiar el refrigerante. • No reutilice el refrigerante extraído del radiador. • El refrigerante es incoloro. • Si debe rellenar o cambiar el refrigerante del conjunto de celdas de combustible, consulte con un proveedor Toyota autorizado, un taller de reparación Toyota autorizado o cualquier taller fiable.
	Inversor	<p>Utilice cualquiera de los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "Toyota Super Long Life Coolant" «Refrigerante de duración extralarga de Toyota» • Un refrigerante de etilenglicol de calidad similar o superior sin silicato, amina, nitrato ni borato y con tecnología de ácido orgánico de larga duración <p>No utilice sólo agua corriente.</p>

Figura 2. Especificaciones del sistema refrigeración

Asimismo, deben incluirse en el plan de mantenimiento tareas como la limpieza o sustitución del filtro de aire, necesario para asegurar un flujo adecuado hacia la pila y evitar la contaminación de las celdas, y la verificación del estado del sistema eléctrico auxiliar de 12 V, responsable del arranque y alimentación de los sistemas de control.

Sistema eléctrico	
Batería de 12 voltios	
Tensión abierta a 20°C (68°F):	<p>12,6 — 12,8 V totalmente cargada 12,2 — 12,4 V cargada hasta la mitad 11,8 — 12,0 V descargada</p> <p>(La tensión se comprueba 20 minutos después de apagar el sistema de celda de combustible y todas las luces.)</p>
Régimen de carga	5 A máx.

Figura 3. Especificaciones del sistema eléctrico LV

Finalmente, las operaciones de mantenimiento deben realizarse respetando los puntos de elevación y soporte del vehículo, ya que las líneas de hidrógeno y los conductos de refrigeración se encuentran situados bajo el chasis. Un uso incorrecto del elevador podría dañar estos componentes y comprometer la seguridad del sistema.

Por otra parte también deben verificarse elementos comunes a los actuales vehículos de combustión o eléctricos, como pueden ser el reemplazo periódico del líquido de transmisión o la comprobación del sistema de frenado, comprobando la holgura del pedal o el nivel del líquido de frenos.

Transmisión	
Capacidad del líquido*	4,2 L (4,4 qt., 3,7 qt. Ing.)
Tipo de líquido	"Toyota Genuine ATF WS" «Líquido para transmisiones automáticas original de Toyota WS»

Figura 4. Especificaciones del sistema de transmisión

Frenos	
Holgura del pedal* ¹ Vehículos con dirección a la izquierda Vehículos con dirección a la derecha	75 mm (2,95 pul.) mín. 84 mm (3,31 pul.) mín.
Juego del pedal	1 — 6 mm (0,04 — 0,24 pul.)
Recorrido del pedal del freno de estacionamiento* ²	7 — 10 clics
Tipo de líquido	SAE J1703 o FMVSS N.º116 DOT 3 o SAE J1704 o FMVSS N.º116 DOT 4

Figura 5. Especificaciones del sistema de frenado

5.1.1. Desconexión del alto voltaje (Pila de combustible y batería)

Para los trabajos de mantenimiento en los componentes de alto voltaje del Toyota Mirai, es necesario retirar los conectores de servicio de la batería y de la pila de combustible.



Figura 6. Enchufes de servicio

Precauciones de seguridad

- Utilizar guantes en todo momento
- No realizar inspecciones o reparaciones en el sistema de alto voltaje sin antes retirar el Service Plug Grip de la batería y de la FC
- Si se trabaja con los enchufes de servicio instalados, los circuitos de alto voltaje permanecen conectados, con riesgo de descarga eléctrica.
- Una vez retirados ambos enchufes, esperar al menos 10 minutos antes de tocar conectores o terminales de alto voltaje, ya que los condensadores internos requieren ese tiempo para descargarse. Si no se respeta este tiempo de espera, existe riesgo de descarga por carga residual.

Medidas adicionales

- Llevar el enchufe retirado en el bolsillo y colocar un aviso de 'Trabajo en alto voltaje. No tocar' para evitar reconexiones accidentales.
- No encender el sistema en modo 'READY ON' mientras los enchufes estén retirados, ya que puede producirse un fallo.
- No tocar los terminales o sellos de goma de los enchufes.
- Si alguno de los enchufes se cae, golpea o daña, debe reemplazarse.
- Verificar que no haya suciedad ni humedad alrededor de los enchufes; limpiar y cubrir las aberturas con cinta protectora después de retirarlos.

Procedimiento general de desconexión:

1. Desbloquear el seguro del Service Plug Grip (EV) deslizándolo horizontalmente hasta el tope indicado.

2. Girar lentamente la palanca en la dirección señalada hasta que haga tope.

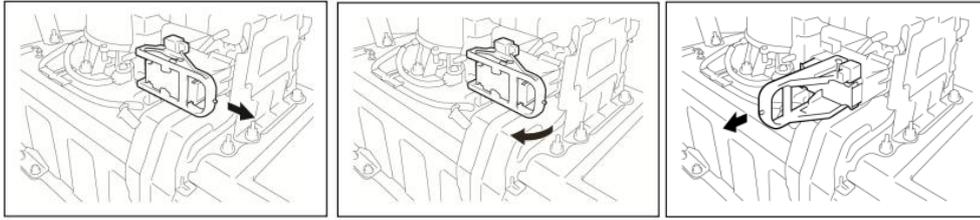


Figura 7. Procedimiento de desconexión del enchufe de la batería

3. Extraer el enchufe de servicio del paquete de baterías EV y cubrir las aperturas con cinta protectora.
4. Repetir el mismo procedimiento para el FC Stack Plug Grip, incluyendo una pausa mínima de 1 segundo después del primer deslizamiento del seguro para permitir la desconexión del interlock.
5. Extraer verticalmente el enchufe y cubrir el hueco para evitar contaminación o que entre agua.

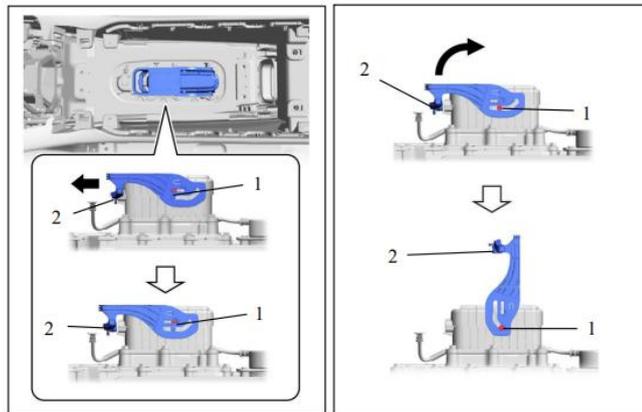


Figura 8. Procedimiento de desconexión del enchufe del stack

Advertencias adicionales

- Evitar el contacto con componentes calientes para prevenir quemaduras.
- Asegurarse de que no ingresen contaminantes a otros componentes.
- La secuencia de retiro entre los dos enchufes no afecta al procedimiento.

5.2. Mantenimientos al vehículo utilizado

La cronología establecida para los mantenimientos del vehículo se organiza en dos etapas fundamentales. En primer lugar, se lleva a cabo una revisión inicial antes de trasladarlo a las pruebas en pista. Este mantenimiento previo resulta esencial para comprobar el estado en el que se encuentra el vehículo, verificar la integridad de sus sistemas y asegurar que se encuentra en condiciones óptimas para someterse a dichas pruebas.

Posteriormente, se realiza un segundo mantenimiento una vez concluidas las pruebas en pista. En esta fase se procede a una inspección exhaustiva con el fin de identificar posibles daños derivados del uso intensivo en condiciones de ensayo, así como para detectar errores o anomalías en los sistemas del vehículo. Este procedimiento garantiza que cualquier incidencia quede registrada y corregida, preservando así la fiabilidad y seguridad del vehículo para futuras pruebas.

Tabla 5. Mantenimientos al vehículo (fecha y kilometraje)

Fecha	Kilometraje	Mantenimientos
16/01/2018	17612	
26/03/2018	30015	
28/06/2018	59711	
04/09/2018	75934	
22/11/2018	76157	
28/01/2019	81073	
28/03/2019	106334	
14/05/2019	120218	
08/07/2019	133632	
09/09/2019	146245	
06/12/2019	162065	
17/04/2020	179945	

Cabe destacar que, en este tipo de vehículos no se interviene directamente en la pila, ya que todo el diagnóstico se lleva a cabo mediante sensores y herramientas electrónicas. Más que desmontar piezas, el trabajo consiste en interpretar correctamente los datos que ofrece el sistema para identificar posibles fallos o ajustar parámetros de funcionamiento. Esto exige una comprensión técnica más profunda y un enfoque analítico centrado en la interpretación de información digital.

El manejo del hidrógeno y de los componentes eléctricos de alta tensión demanda un nivel de precaución mucho mayor que el de los sistemas de gasolina o diésel. El personal debe revisar cuidadosamente las posibles fugas, las presiones del sistema, los aislamientos y las purgas, pues cualquier error puede representar un riesgo significativo. Trabajar con esta tecnología requiere una formación específica, ya que una mala manipulación de una válvula de

hidrógeno o un contacto indebido con una línea de alta tensión podría tener consecuencias graves. Se trata, por tanto, de una labor que combina la precisión técnica con estrictos protocolos de seguridad.

Durante las tareas de mantenimiento y las pruebas de funcionamiento, el equipo observó ciertos comportamientos que pueden resultar inusuales en comparación con los motores tradicionales. En ocasiones, el vehículo emite zumbidos o sonidos poco familiares y puede expulsar agua por el escape, algo completamente normal en una pila de combustible. Asimismo, se identificó la presencia de numerosos componentes distintos, como convertidores DC-DC de gran tamaño, sensores de hidrógeno y múltiples ECUs que controlan todos los subsistemas. Por ello, más que desmontar piezas, la clave está en comprender la lógica de control y los datos que el sistema proporciona a través del diagnóstico electrónico.

No obstante, pese a la complejidad tecnológica que rodea al sistema de propulsión y la electrónica, muchas partes del vehículo conservan similitudes con un modelo de combustión. Componentes como la transmisión, la suspensión, los frenos, los palieres o los silentblocks mantienen principios de funcionamiento equivalentes. Incluso operaciones como el cambio de pastillas de freno se realizan del mismo modo. La diferencia principal radica en que el sistema de tracción es eléctrico, pero los esfuerzos mecánicos y las piezas que soportan el peso o transmiten el par al suelo siguen siendo las mismas. Además, el vehículo dispone de dos circuitos de refrigeración independientes, con fluidos distintos, y conserva elementos familiares como el filtro de aire, lo que demuestra que la base mecánica continúa siendo reconocible a pesar del avance tecnológico.

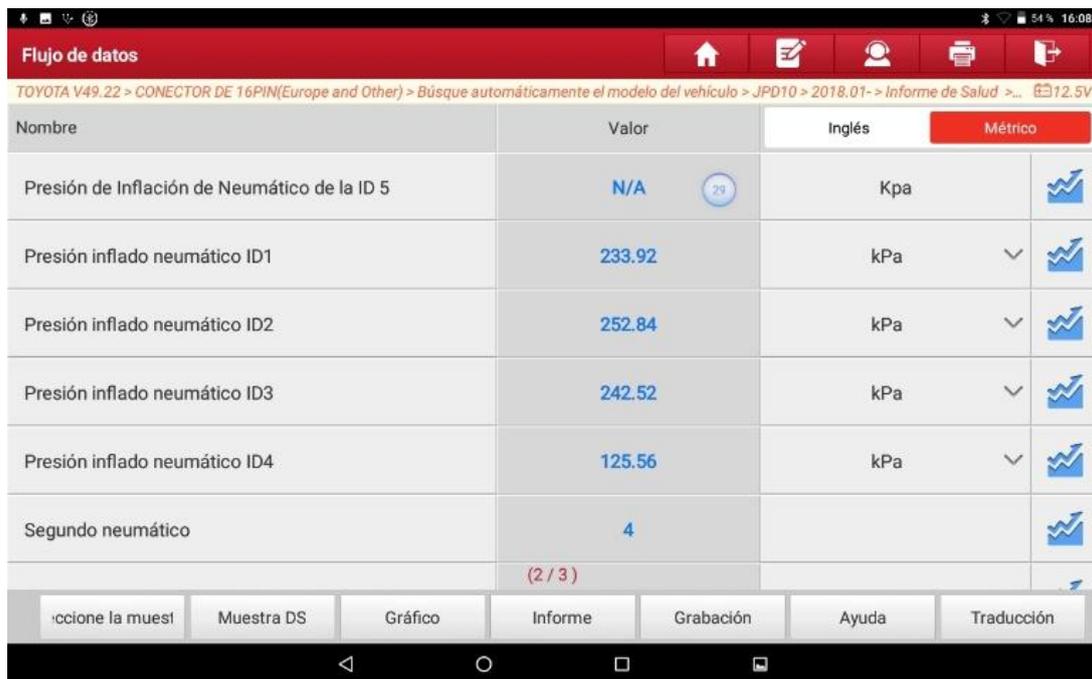
5.2.1. Primeros defectos encontrados: Mantenimiento a su llegada a CTAG

A su llegada a CTAG el vehículo tenía muestras evidentes de óxido, siendo una muestra del resto de deficiencias a detectar.

Durante la revisión inicial del vehículo se llevó a cabo la comprobación de la presión de los neumáticos, detectándose diferencias significativas entre las cuatro ruedas. Las ruedas delanteras y la trasera derecha presentaban valores de presión dentro de los márgenes recomendados por el fabricante, situándose entre 2,5 y 2,6 bar, mientras que la rueda trasera izquierda registró una presión notablemente inferior, de 1,3 bar, lo que evidenciaba una posible pérdida de aire o una falta de mantenimiento previo.

Rueda trasera derecha: 2,5 bar	Rueda delantera derecha: 2,6 bar	Rueda delantera izquierda: 2,5 bar	Rueda trasera izquierda: 1,3 bar
			
Figura 9. Presión de la rueda trasera derecha	Figura 10. Presión de la rueda delantera derecha	Figura 11. Presión de la rueda delantera izquierda	Figura 12. Presión de la rueda trasera izquierda

Esta desviación fue corregida ajustando todas las presiones de los neumáticos según las especificaciones indicadas en el manual del fabricante, garantizando así una correcta distribución de carga y un comportamiento estable del vehículo durante las pruebas posteriores.



Nombre	Valor	Unidades	Gráfico
Presión de Inflación de Neumático de la ID 5	N/A	Kpa	
Presión inflado neumático ID1	233.92	kPa	
Presión inflado neumático ID2	252.84	kPa	
Presión inflado neumático ID3	242.52	kPa	
Presión inflado neumático ID4	125.56	kPa	
Segundo neumático	4		

(2/3)

Figura 13. Lectura de presiones desde la herramienta de diagnosis.

El manual indica unas presiones de 2,3 bar para las ruedas delanteras, tanto para las traseras.

Neumáticos y ruedas

Tamaño de los neumáticos	215/55R17 94W
Presión de inflado de los neumáticos (Presión recomendada de inflado de los neumáticos en frío)	<p>► Parte delantera 230 kPa (2,3 kgf/cm² o bar, 33 psi)</p> <p>► Parte trasera 230 kPa (2,3 kgf/cm² o bar, 33 psi)</p>
Tamaño de la rueda	17 × 7 J
Par de apriete de las tuercas de la rueda	103 N•m (10,5 kgf•m, 76 lbf•pie)

Figura 14. Página 544 del manual Toyota Mirai Gen 1

Otro de los defectos detectados durante la inspección inicial fue el fallo de la batería de baja tensión (12 V). Al intentar arrancar el vehículo, el cuadro de instrumentos se encendió brevemente, pero el sistema no completó la secuencia de arranque, mostrando un mensaje de error por batería baja. Este tipo de batería es esencial para alimentar los sistemas auxiliares y de control electrónico que permiten la activación del sistema de pila de combustible, por lo que su correcto funcionamiento resulta crítico.

Ante esta situación, se procedió a sustituir la batería por una nueva del mismo tipo y características que la original, asegurando así la compatibilidad eléctrica y mecánica con el vehículo. La batería de baja tensión está alojada en el compartimento trasero, protegida dentro de una carcasa específica para evitar vibraciones y garantizar la seguridad eléctrica durante el funcionamiento. Una vez sustituida, el vehículo arrancó correctamente, confirmando que la avería estaba asociada exclusivamente al bajo nivel de carga de la batería anterior.



Figura 15. Detalle del interior del vehículo

Como parte del proceso de revisión inicial, se realizó una diagnosis completa de los distintos módulos de control del vehículo utilizando una herramienta de diagnóstico OBD-II. Este procedimiento permitió verificar el estado operativo de los sistemas electrónicos y registrar posibles incidencias almacenadas en las unidades de control. Tras la lectura de los códigos de error, se comprobó que todos los sistemas del vehículo se encontraban operativos y sin fallos registrados,

con la única excepción del módulo de climatización, el cual presentaba dos códigos de avería relacionados con el sistema de calefacción y refrigeración.

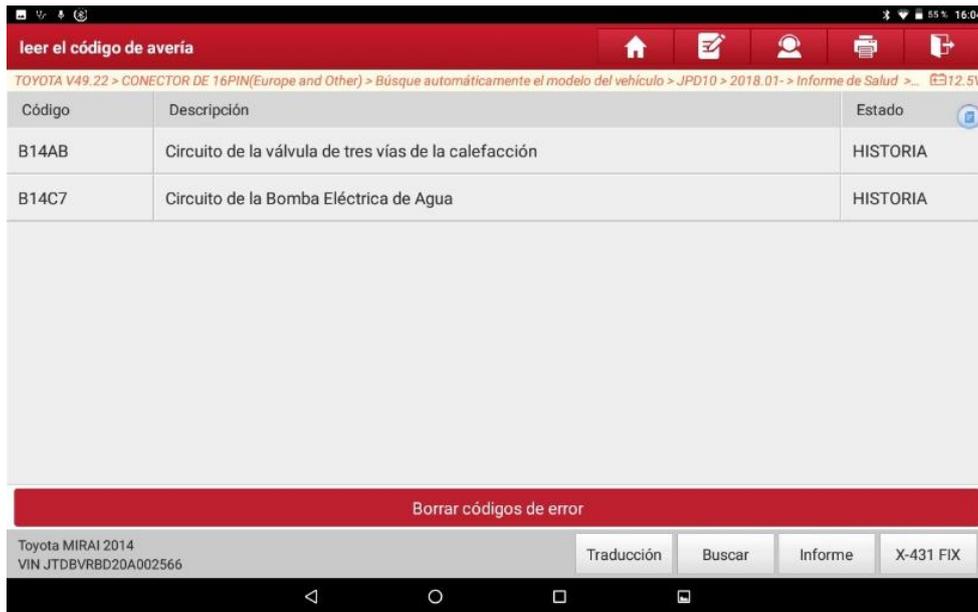


Figura 16. Registro de errores

El primer código detectado, B14AB – Circuito de la válvula de tres vías de la calefacción, indica un error eléctrico en la válvula encargada de regular el flujo del refrigerante hacia el intercambiador de calor del habitáculo. Este componente es esencial para el correcto funcionamiento del sistema de calefacción interior. El código sugiere la posibilidad de un circuito abierto, un cortocircuito o una resistencia fuera de rango, y entre las causas probables se incluyen un fallo interno en la válvula, daños o desconexiones en el cableado, conectores sulfatados o con falso contacto, o un fallo de señal en la unidad de control de climatización (ECU).

El segundo código registrado, B14C7 – Circuito de la bomba eléctrica de agua, señala una anomalía en el circuito de una de las bombas eléctricas de refrigeración, posiblemente asociada al sistema de calefacción del habitáculo o al sistema de refrigeración de la pila de combustible. Este fallo indica una ausencia de señal de operación esperada, lo que puede deberse a una bomba defectuosa, problemas en el cableado o conectores, fusibles o relés fundidos, o una falla en el control electrónico por parte de la ECU de climatización.

Estas incidencias, registradas durante la diagnosis, se documentaron para su posterior análisis y reparación, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del sistema de climatización y evitar posibles interferencias con los sistemas térmicos del vehículo.



Código	Descripción	Estado
B14AB	Circuito de la válvula de tres vías de la calefacción	HISTORIA
B14C7	Circuito de la Bomba Eléctrica de Agua	HISTORIA

Toyota MIRAI 2014
VIN JTDBVRBD20A002566

Traducción Buscar Informe X-431 FIX

Figura 17. Detalle de los errores detectados

Cabe destacar que, durante este primer mantenimiento, no solo se sustituyeron los componentes que presentaban deficiencias, sino también aquellos cuyo nivel de desgaste resulta relevante para la evaluación del rendimiento del vehículo. Por ello, se procedió al reemplazo de líquidos, pastillas, filtros y otros elementos de mantenimiento preventivo (S34/35 de Agosto)

5.2.2. Segundo mantenimiento: Mantenimiento antes de las pruebas en pistas de alta velocidad

Durante el segundo mantenimiento del vehículo, se llevaron a cabo diversas operaciones de revisión y sustitución de componentes con el objetivo de garantizar el correcto funcionamiento de todos los sistemas y asegurar que el vehículo se encontraba en condiciones óptimas para su posterior uso.

En primer lugar, se procedió a la inspección del filtro de aire, componente esencial para el correcto rendimiento del sistema de admisión. Tras su desmontaje, se comprobó que el filtro presentaba un estado general satisfactorio, sin acumulaciones excesivas de suciedad ni daños visibles. Considerando que el vehículo cuenta con 190.254 km y que, según los intervalos de mantenimiento, el filtro todavía se encuentra en la mitad de su vida útil, se optó por limpiarlo y volver a instalarlo, en lugar de proceder a su sustitución.



Figura 18. Sustitución del filtro de aire

A continuación, se realizó la comprobación del nivel del líquido refrigerante de la pila de combustible (FC). Se verificó que el nivel se encontraba dentro de los márgenes correctos, garantizando una refrigeración adecuada de los componentes del sistema. Este procedimiento resulta especialmente relevante, ya que el refrigerante desempeña un papel crítico en la estabilidad térmica y en la eficiencia del conjunto de la pila.



Figura 19. Comprobación del líquido refrigerante

Asimismo, se llevó a cabo la comprobación del líquido refrigerante de la electrónica de potencia, observándose que el nivel se encontraba por debajo del valor recomendado. Por este motivo, se procedió a rellenar el circuito con un refrigerante de baja conductividad eléctrica, conforme a las especificaciones del fabricante. En este caso, se utilizó un fluido de calidad equivalente o superior al recomendado por Toyota en el manual de servicio.

Inversor	<p>Utilice cualquiera de los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "Toyota Super Long Life Coolant" «Refrigerante de duración extralarga de Toyota» • Un refrigerante de etilenglicol de calidad similar o superior sin silicato, amina, nitrato ni borato y con tecnología de ácido orgánico de larga duración <p>No utilice sólo agua corriente.</p>
----------	---



Figura 20. Comprobación del líquido refrigerante de la electrónica de potencia.

En cuanto al sistema eléctrico, se realizó una revisión completa del cableado de la unidad de control de potencia, comprobando el correcto estado de los conectores, el aislamiento y la integridad de las conexiones. Durante esta operación se utilizaron equipos de protección individual específicos para alta tensión (HV), asegurando una intervención segura y conforme a los procedimientos técnicos establecidos.



Figura 21. Revisión del cableado



Figura 22. Revisión del cableado

Durante la revisión mecánica general, se verificaron posibles holguras en los sistemas de dirección y suspensión, sin encontrarse anomalías en estos componentes. Sin embargo, se observó una presencia significativa de óxido en los bajos del vehículo, especialmente en elementos metálicos como las manguetas. Este deterioro superficial se atribuye al origen del vehículo, procedente de Alemania, donde es habitual el uso de sal en las carreteras durante el invierno, lo que acelera los procesos de corrosión.

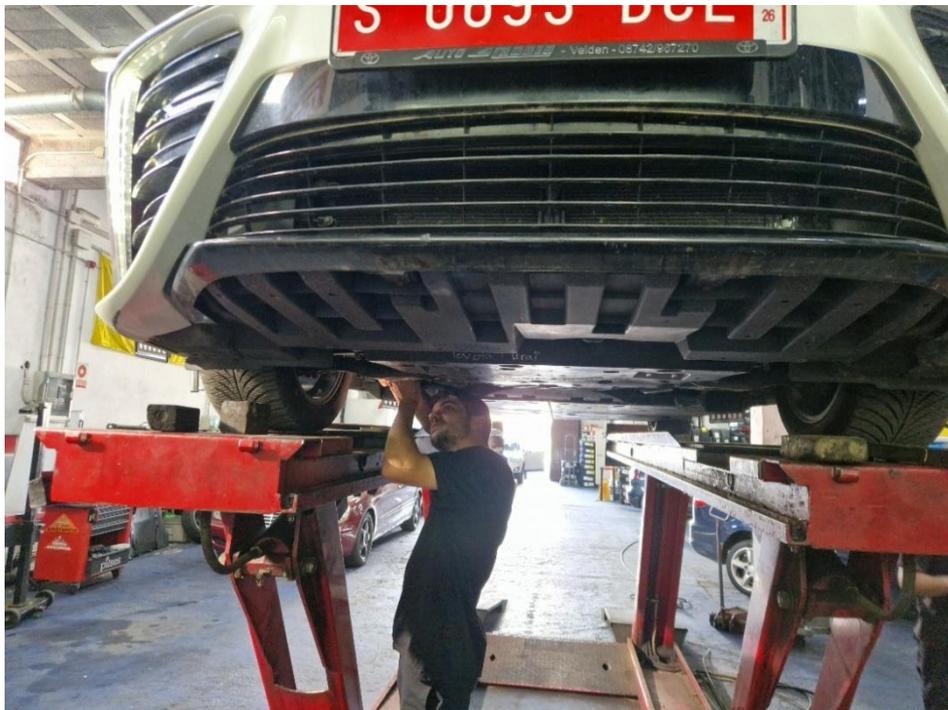
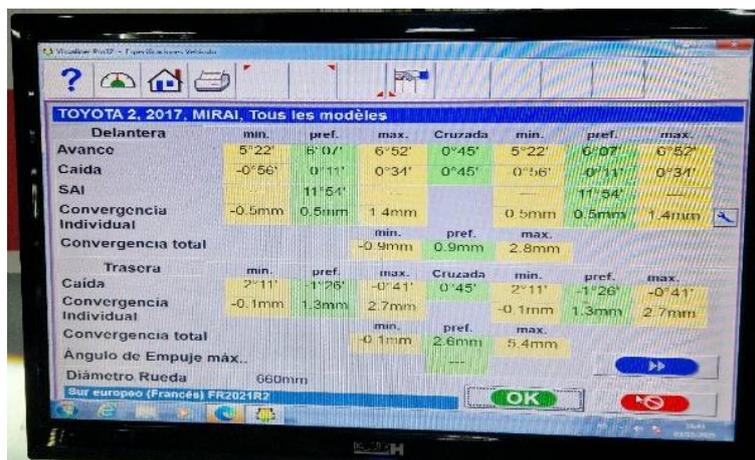


Figura 23. Revisión de elementos mecánicos de suspensión y dirección



Figura 24. Óxido en las manguetas

Finalmente, se efectuó un alineado de la dirección con el fin de optimizar la geometría de las ruedas y garantizar una conducción precisa. Las primeras mediciones obtenidas mostraron valores correctos, aunque se realizaron ajustes adicionales para alcanzar la alineación ideal.



TOYOTA 2, 2017, MIRAI, Tous les modèles							
Delantera							
Avance	min. 5°22'	pref. 6°07'	max. 6°52'	Cruzada 0°45'	min. 5°22'	pref. 6°07'	max. 6°52'
Caida	-0°56'	0°11'	0°34'	0°45'	0°56'	0°11'	0°34'
SAI	11°54'				11°54'		
Convergencia Individual	-0.5mm	0.5mm	1.4mm		0.5mm	0.5mm	1.4mm
Convergencia total			min. -0.9mm	pref. 0.9mm	max. 2.8mm		
Trasera							
Caida	min. 2°11'	pref. 1°26'	max. 0°41'	Cruzada 0°45'	min. 2°11'	pref. 1°26'	max. 0°41'
Convergencia Individual	-0.1mm	1.3mm	2.7mm		-0.1mm	1.3mm	2.7mm
Convergencia total			min. -0.1mm	pref. 2.8mm	max. 5.4mm		
Ángulo de Empuje máx.							
Diámetro Rueda	660mm						
Sur europeo (Francés) FR2021R2							

Figura 25. Verificación de ángulos

Se verificaron los ángulos de referencia en la base de datos del programa y se posicionó el vehículo sobre el elevador de alineado, con los platos correspondientes en cada rueda.



Figura 26. Posicionando el vehículo

Las mediciones iniciales se encontraban dentro del rango aceptable (entre -0,5 y 1,4), pero fueron ajustadas para dejarlas en valores óptimos de cero grados, logrando una alineación perfectamente equilibrada.



Figura 27. Medidas de alineado



Figura 28. Medidas de vehículo bien alineado

5.2.3. Tercer mantenimiento: Después de llevarse a pistas

Tras las pruebas realizadas en pista, se llevó a cabo una revisión exhaustiva del vehículo con el objetivo de detectar posibles daños o anomalías derivados del uso intensivo durante los ensayos.



Figura 29. Vehículo en revisión

Durante esta inspección, se procedió a levantar el vehículo para realizar una revisión visual de la parte inferior, comprobando el estado de los bajos, las protecciones, los conductos de hidrógeno y los cables de alta tensión. Se verificó que no existieran fugas, deformaciones ni signos de desgaste en los componentes estructurales o eléctricos. Además, se revisaron los puntos de fijación del sistema de escape de agua y las protecciones del sistema de propulsión, confirmando que todos los elementos se encontraban correctamente sujetos y en buen estado. S45 Noviembre.

El único defecto encontrado en esta tercera revisión, fue el estado de las pastillas delanteras de freno. Tras las pruebas realizadas por CTAG con el vehículo y las pruebas en circuito realizadas para este informe se procedió a la sustitución de las pastillas de freno, dado que antes de las pruebas en pista presentaban algo de desgaste pero se decidió realizar los ensayos con las pastillas existentes. Tras finalizar las pruebas, se constató que la pastilla interior se

había desgastado completamente, sin llegar a dañar el disco de freno. Por ello, se sustituyeron las pastillas, asegurando un funcionamiento óptimo del sistema de frenado.



Figura 30. Sustitución de pastillas de freno



Figura 31. Sustitución de pastillas de freno



Figura 32. Sustitución de pastillas de freno

5.3. Propuestas de mejoras de mantenimiento

El avance de la movilidad con pila de combustible trae consigo nuevos retos en el ámbito del mantenimiento. Para garantizar la seguridad, la eficiencia y la vida útil de estos vehículos, es necesario adaptar tanto la formación de los profesionales como las instalaciones donde se llevan a cabo las reparaciones. Entre las principales propuestas de mejora destacan:

- *Formación y certificación de técnicos especializados: establecer convenios con talleres para que los fabricantes oficiales impartan programas de capacitación específicos, con el fin de asegurar que los mecánicos cuenten con la preparación adecuada para intervenir en sistemas de hidrógeno.*
- *Adecuación de las instalaciones de los talleres: dotar a los centros de servicio de áreas específicas para trabajar con estos vehículos, diseñadas bajo normativas de seguridad (espacios bien ventilados, zonas ATEX, sistemas de detección de fugas, etc.).*
- *Colaboración directa entre fabricantes y talleres: crear acuerdos entre los OEM y las redes de mantenimiento para facilitar el acceso a software de diagnóstico, piezas originales, documentación técnica actualizada y formación continua.*
- *Se podría incorporar un servicio en línea de asistencia técnica, que permita a los usuarios contactar con personal especializado para recibir asesoramiento y orientación ante averías o problemas específicos del vehículo.*

Estas medidas no solo mejorarían la seguridad de las operaciones, sino que también contribuirían a generar confianza entre los usuarios y a acelerar la implantación del coche de hidrógeno como alternativa sostenible de movilidad.

6. Pruebas en circuito

Las pruebas en circuito constituyen una parte fundamental en la evaluación de un vehículo de pila de combustible, ya que permiten analizar su comportamiento en condiciones de alta exigencia dinámica que difícilmente se reproducen en un entorno urbano o en ensayos de homologación. En este escenario controlado es posible forzar al sistema de propulsión a entregar su máxima potencia, comprobar la estabilidad de la pila de combustible, evaluar la gestión de la batería y observar cómo influyen factores como la velocidad sostenida, las aceleraciones intensas o la demanda continua de energía en el consumo y en la autonomía final del vehículo.



Figura 33. El vehículo fue trasladado al circuito

6.1. WOT

WOT es un acrónimo que significa *Wide Open Throttle*, que en español significa *Acelerador Totalmente Abierto*. Esto se refiere al uso de la aceleración máxima del vehículo, normalmente para acelerar desde un punto parado hasta alcanzar la velocidad máxima. En mecánica automotriz, WOT se usa para asegurar que un vehículo funcione de manera óptima, alcanzando la velocidad máxima de manera segura y eficiente.

Uno de los principales usos de WOT es para ajustar la mezcla de combustible de un motor. Al usar la aceleración totalmente abierta, se pueden detectar problemas con la mezcla de combustible y la combustión del motor. Esto se puede lograr midiendo el tiempo de combustión, el consumo de combustible, el ruido del motor y la cantidad de humo emitida por el escape. Estos son los principales indicadores de que un motor está funcionando correctamente. No obstante, esto debe adaptarse a los vehículos de hidrógeno, que no emiten humos.

Otro uso de WOT es para calibrar los sistemas de encendido y emisiones de un vehículo. Esto es importante para asegurar que un motor se está encendiendo y funcionando correctamente, y en coches de combustión de combustibles fósiles, para garantizar que un vehículo esté cumpliendo con los estándares de emisiones locales. La calibración de los sistemas de encendido y emisiones se puede hacer de forma más precisa al usar WOT.

Debido a las características de los vehículos de hidrógeno, el WOT se refiere a la aceleración inicial o el tiempo que tarda el vehículo para alcanzar la velocidad máxima.



Figura 34. Toyota Mirai corriendo en el circuito

Los mecánicos automotrices también usan WOT para realizar pruebas de diagnóstico de un motor. Esto les ayuda a detectar problemas en el sistema de encendido, la mezcla de combustible, la combustión y el rendimiento general del motor. Estas pruebas también se pueden realizar para asegurar que un motor esté funcionando de manera segura y eficiente.

Las pruebas de Wide Open Throttle (WOT) en el circuito se llevaron a cabo arrancando desde parado, lo que permite establecer un punto de partida común y controlado en cada ensayo. Este enfoque facilita la comparación objetiva de resultados y garantiza que los parámetros evaluados, como la aceleración, la entrega de potencia o la eficiencia del sistema, no se vean influenciados por condiciones iniciales distintas.

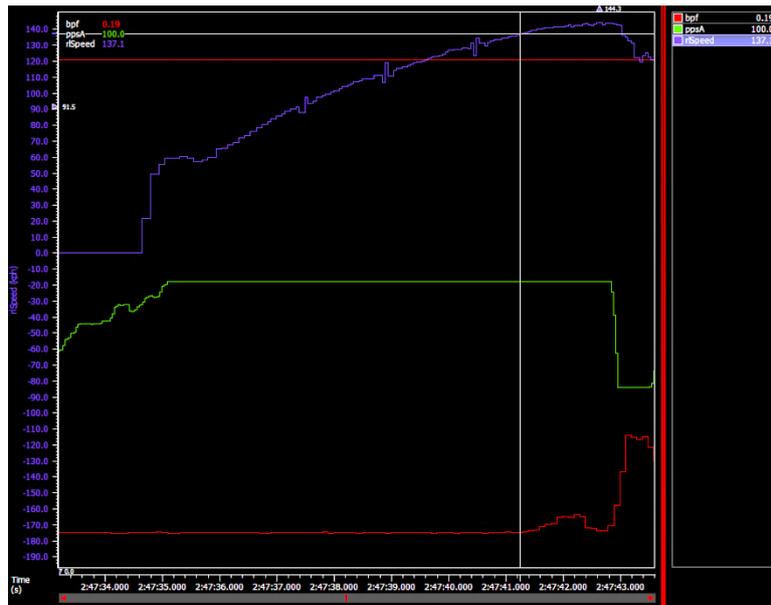


Figura 35. Datos de las pruebas: velocidad(azul), freno(rojo) y acelerador (verde)

A lo largo de estas pruebas, se monitorizó con detalle el comportamiento del sistema de pila de combustible, la batería de apoyo y el tren de propulsión eléctrica, con el objetivo de analizar la capacidad del vehículo para responder a una demanda máxima de energía. Este tipo de ensayos proporciona información crítica sobre la estabilidad, la seguridad y el rendimiento real del coche de hidrógeno en condiciones de alta exigencia, acercándonos a una validación más completa de su desempeño dinámico.



Figura 36. Toyota Mirai en el circuito

6.2. Funcionamiento continuo a alta potencia

Otra de las pruebas realizadas en las pistas de alta velocidad consistió en evaluar la reproducibilidad de la potencia máxima de la pila de combustible en intervalos cortos de tiempo. El objetivo era comprobar si el sistema era capaz de mantener un rendimiento estable y consistente bajo condiciones de alta demanda energética, evitando caídas de potencia que pudieran comprometer el comportamiento dinámico del vehículo.



Figura 37. Funcionamiento a máxima potencia de la pila: potencia(rojo), acelerador(verde)

Para llevar a cabo este ensayo, se aprovechó el trazado del circuito en sus zonas más rectas y prolongadas, lo que permitió exigir al máximo la entrega de potencia de la pila durante periodos sostenidos. Esta metodología no solo facilita medir la capacidad real del sistema de propulsión, sino que también aporta información clave sobre la gestión térmica, la respuesta del flujo de hidrógeno y la interacción con la batería de apoyo, factores fundamentales para garantizar tanto la seguridad como la eficiencia del vehículo en escenarios de conducción exigente.



Figura 38. Circuito para valorar el funcionamiento continuo a alta potencia

6.3. Descarga de la batería

Durante las pruebas a máxima potencia del vehículo, el sistema de propulsión recurrió tanto a la pila de combustible como a la batería de tracción para entregar toda la energía disponible. Este modo de funcionamiento representa uno de los escenarios más exigentes para el tren motriz, ya que se somete al conjunto a un nivel de demanda que combina la aportación continua de la pila con el apoyo puntual y elevado de la batería.



Figura 39. El equipo revisa el vehículo y lo pone a punto

Tras un periodo de uso intensivo, la batería de tracción llegó a descargarse, lo que ofreció una oportunidad única para evaluar el desempeño del vehículo impulsado exclusivamente por la pila de combustible. En estas condiciones, se pudo analizar la capacidad del sistema para sostener la potencia de manera autónoma, la estabilidad en la entrega de energía y la eficiencia bajo una situación de esfuerzo prolongado, aspectos clave para validar la fiabilidad y robustez de la tecnología de hidrógeno en aplicaciones reales de conducción.

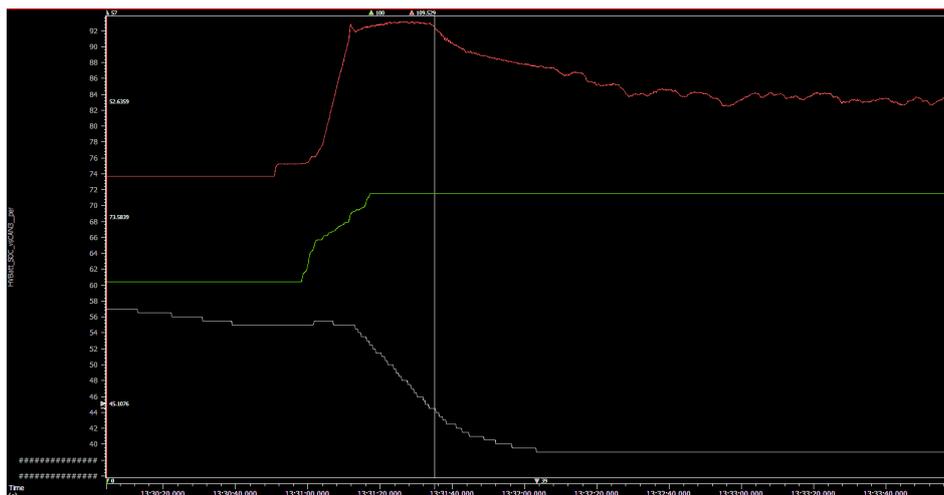


Figura 40. Descarga de la batería: potencia(rojo), acelerador(verde) y SOC(verde)

7. Caso de estudio: Ruta de reparto de última milla con FCEV

Para la evaluación se seleccionó una ruta de reparto representativa de las condiciones habituales en operaciones de última milla tanto en entornos urbanos como interurbanos. En este contexto, se analizó el desempeño del Toyota Mirai de primera generación, considerando su idoneidad técnica y funcional para este tipo de tareas. El vehículo presenta una combinación de ventajas y limitaciones que resultan determinantes al valorar su aplicación en el ámbito logístico.

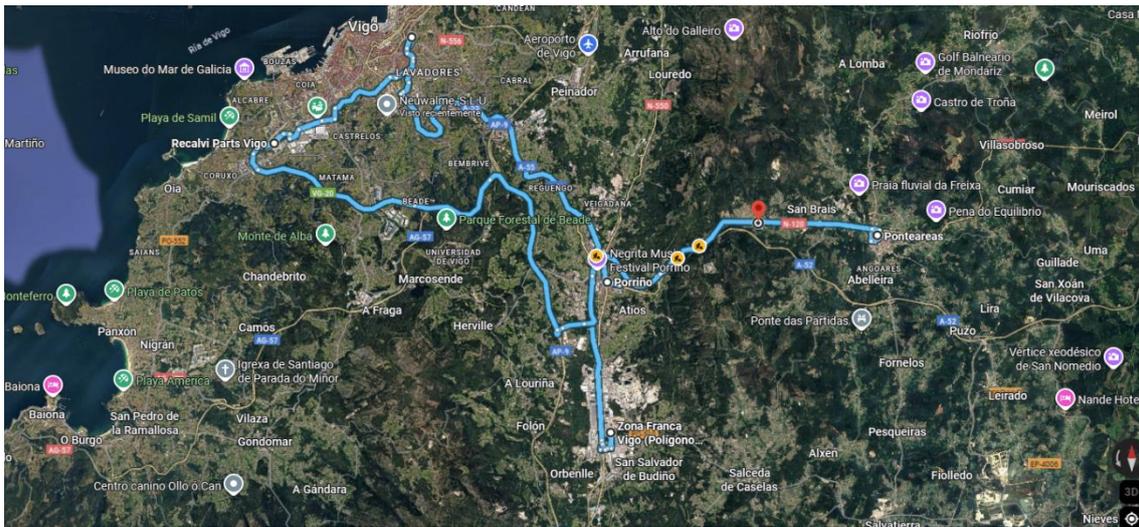


Figura 41. Detalle de la ruta realizada

Las pruebas se realizaron en las inmediaciones de nuestro taller, situado en la Estrada Logroño-Vigo, 647, 36891 Ponteareas (Pontevedra), siguiendo un recorrido realista que incluyó tramos urbanos y vías interurbanas cercanas:

- AMF Motorsport, Estrada Logroño-Vigo, 647, 36891 Ponteareas, Pontevedra
- Ponteareas, Puenteareas, Pontevedra
- Porriño, Pontevedra
- Zona Franca Vigo (Polígono Industrial A Granxa), A-55, Salida 21, Rúa D, Paralela 3, 36475 O Porriño, Pontevedra
- Racing Sport, Camiño Redomeira, 126, Lavadores, 36206 Vigo, Pontevedra
- Recalvi Parts Vigo, Cño. do Caramuxo, 41, 36210 Vigo, Pontevedra
- AMF Motorsport, Estrada Logroño-Vigo, 647, 36891 Ponteareas, Pontevedra

Durante la jornada, se efectuaron pequeñas entregas a proveedores de la zona, con el fin de evaluar el comportamiento del Toyota Mirai de primera generación en condiciones equivalentes a las de un reparto profesional. La conducción fue fluida y cómoda, destacando el carácter silencioso del vehículo y la buena respuesta en aceleraciones cortas, lo que favorece las maniobras y las frecuentes detenciones propias de este tipo de rutas.



Figura 42. Introducción de paquetes en el maletero



Figura 43. Descarga en uno de los puntos de la ruta de reparto

8. Análisis de datos

Las pruebas realizadas en circuito con el vehículo de pila de combustible permitieron poner a prueba su rendimiento en condiciones de alta exigencia, muy alejadas de las que se consideran en los ciclos de homologación estándar. De esta manera, fue posible observar cómo se comporta el sistema de propulsión cuando se le demanda potencia máxima de forma repetida, así como los efectos que estas solicitudes tienen en el consumo de hidrógeno, la autonomía disponible y la respuesta dinámica del conjunto.

El análisis de los datos registrados ofrece una visión clara de los límites operativos y las fortalezas del sistema, desde la eficiencia energética en escenarios de consumo elevado hasta la gestión térmica y la interacción entre la pila de combustible y la batería. A continuación, se detallan los principales resultados de estas pruebas, organizados en distintos apartados que abarcan aspectos clave como consumo, autonomía, performance, picos de potencia, gestión térmica y comportamiento del estado de carga de la batería.

8.1. Última milla

8.1.1. Valoración de la conducción

La realización de esta ruta de reparto permitió que uno de nuestros pilotos expertos pudiese valorar el vehículo en aspectos vitales como la comodidad de conducción, la conducción en entornos urbanos con velocidades bajas y la necesidad de usar un rango de revoluciones más bajas en el motor.

En primer lugar, se destaca su funcionamiento extremadamente silencioso y la gran comodidad de conducción, características que ofrecen una experiencia agradable para el conductor, especialmente durante jornadas largas o en zonas residenciales donde el ruido es un factor relevante. La respuesta rápida del sistema de propulsión también representa un punto a favor, ya que el Mirai arranca y reacciona con agilidad superior a la de un vehículo de combustión, lo que facilita las maniobras frecuentes en recorridos con paradas y reinicios constantes.

Además, el vehículo muestra un consumo eficiente en ciudad, haciendo que su operación resulte económica y sostenible en entornos urbanos con tráfico denso y trayectos cortos.



Figura 44. Conducción en la ruta de reparto

Sin embargo, el modelo también presenta algunas limitaciones que deben tenerse en cuenta. El espacio disponible en el maletero es reducido debido a la ubicación de los tanques de hidrógeno, lo que puede restringir su capacidad de carga cuando se requiere transportar paquetes voluminosos o una alta cantidad de mercancía.

Asimismo, su tamaño general resulta algo voluminoso para el entorno urbano, dificultando la maniobrabilidad en calles estrechas o la búsqueda de estacionamiento en zonas con espacio limitado, un aspecto relevante en operaciones de reparto intensivo.

Por otro lado, el vehículo demuestra un buen comportamiento en trayectos interurbanos, con una conducción estable, confortable y segura, especialmente en vías rápidas o de media distancia. Esta característica lo convierte en una alternativa interesante para rutas mixtas, donde se combinan tramos urbanos y desplazamientos entre localidades cercanas. En conjunto, el Mirai ofrece una conducción agradable y eficiente, aunque su aplicabilidad como vehículo de reparto urbano podría verse condicionada por su tamaño y capacidad de carga.

8.1.2. Análisis de los datos obtenidos en la conducción

Durante la conducción se recogieron varios datos valiosos sobre la conducción que nos ayudan a evaluar el comportamiento del sistema de pila de combustible durante el recorrido. Se seleccionaron los parámetros más representativos del funcionamiento energético, dinámico y térmico del vehículo. El objetivo fue evaluar la eficiencia y la respuesta del sistema en condiciones reales de circulación urbana, caracterizadas por bajas velocidades, frecuentes detenciones y demandas de potencia variables.

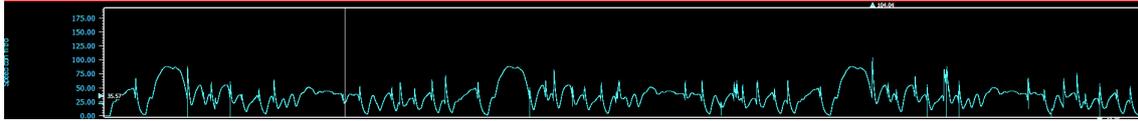


Figura 45. Perfil de conducción

Los datos analizados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6. Resultados del recorrido

Recorrido última milla			
Parámetro	Unidad	Valor	Comentarios
Consumo de hidrógeno	kg/100 km	0,86	Ligeramente más elevado que los datos de NEDC
Potencia generada por la pila	kW	54	Media carga
Potencia de la batería	kW	16	Descargas puntuales,
SOC	%	50-60	Mantenimiento durante todo el recorrido
Velocidad media	Km/h	38	Tráfico ligero
Temperatura de la pila	°C	60-68	Sin sobrecalentamiento

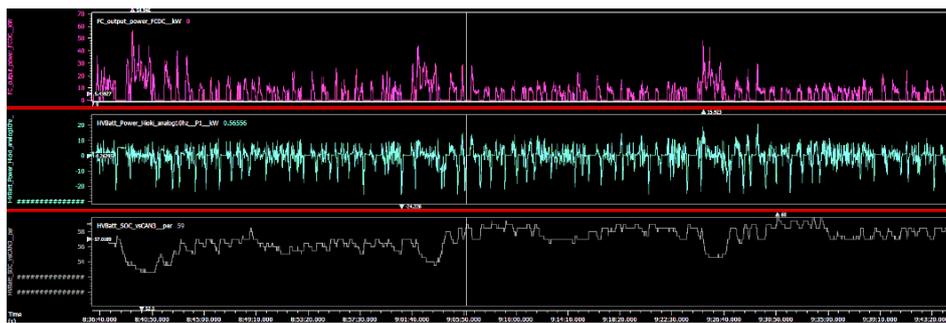


Figura 46. Potencia de la pila, batería y SOC durante el recorrido de última milla

Durante el recorrido, el comportamiento del sistema es estable y sin incidencias térmicas. La pila trabaja dentro de su rango nominal de temperatura, mientras que la batería aporta picos de potencia en las aceleraciones y absorbe energía en las fases de frenada regenerativa. La variación del SOC fue pequeña, la batería no se llegó a descargar, lo que indica una correcta gestión entre la batería y la pila para optimizar el rendimiento energético en estos entornos urbanos e interurbanos. El consumo específico de hidrógeno se mantuvo dentro de los valores esperados para este tipo de conducción, confirmando la eficiencia del sistema en trayectos cortos y con elevada variabilidad de la carga sobre el sistema.

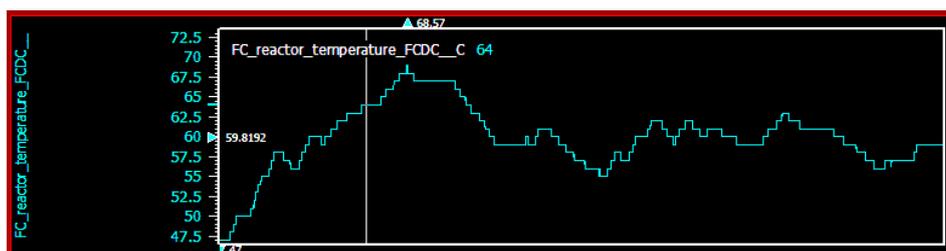


Figura 47. Temperatura de la pila en el recorrido de última milla

8.2. Circuito

8.2.1. Resultados de las pruebas

El vehículo de hidrógeno completó un total de 20 vueltas al circuito, con un tiempo medio por vuelta de 1 minuto y 19 segundos, alcanzando un mínimo de 1:12 en las más rápidas y un máximo de 1:27 en las más lentas. Estos valores reflejan un comportamiento consistente, especialmente teniendo en cuenta que las pruebas se realizaron bajo un estilo de conducción deportiva, con aceleraciones intensas y demandas constantes de potencia.

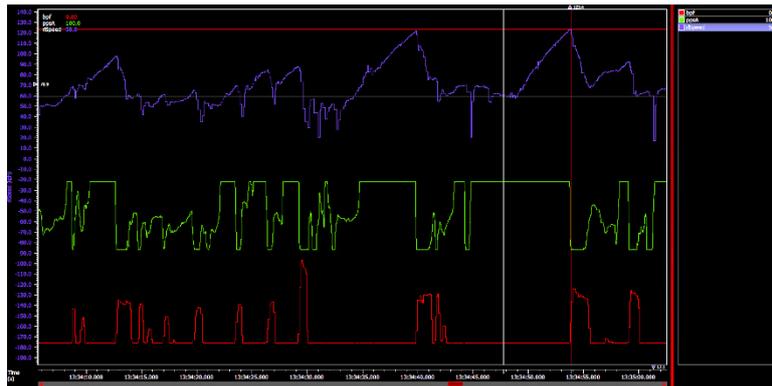


Figura 48. Perfil de acelerador(verde), velocidad(azul) y freno(rojo) durante una vuelta al circuito

En cuanto al sistema de propulsión, la pila de combustible trabajó en un rango térmico estable, entre 40 y 60 °C, sin llegar en ningún momento a su temperatura máxima. El sistema de hidrógeno pasó de una presión inicial de 685 bar a 253 bar, con un consumo total de 2,94 kg de hidrógeno en los 26 km recorridos. Destaca también la evolución del nivel de carga de la batería, que pasó del 48% al inicio al 60% al final, lo que indica una gestión energética eficiente en los transitorios, incluso en condiciones de alta exigencia.

El comportamiento dinámico del vehículo mostró aspectos positivos, como una transición fluida entre la pila y la batería, prácticamente imperceptible para el conductor. No obstante, se identificaron algunos puntos a mejorar: la respuesta limitada del sistema cuando la batería cae por debajo del 39%, una suspensión demasiado blanda para un uso intensivo en circuito y un ruido elevado del compresor a cargas máximas. Asimismo, se observó un desfallecimiento prematuro de los frenos a partir de la tercera vuelta, lo que obligó a moderar las frenadas bruscas.

En términos de consumo, el patrón fue constante en fases de recuperación de batería y vueltas a ritmo regular, mientras que en conducción deportiva y con demanda máxima de potencia se registró un consumo significativamente elevado. En conjunto, los resultados muestran un sistema estable y fiable, sin fallos críticos, aunque con áreas de mejora en el apartado dinámico y de confort, así como en la eficiencia bajo escenarios de máxima exigencia.

Las pruebas fueron realizadas por un piloto profesional, quien compartió sus impresiones sobre el comportamiento general del vehículo. En un principio, el piloto esperaba un rendimiento más alto en términos de velocidad, ya que su

expectativa era que el coche ofreciera una respuesta más contundente en tramos de aceleración prolongada. Sin embargo, destacó que la aceleración inicial es bastante buena: el vehículo responde con agilidad en bajas velocidades y permite un arranque rápido y fluido, lo que demuestra un buen trabajo del sistema de propulsión en esas condiciones.

No obstante, una vez alcanzada cierta velocidad, el piloto señaló que el coche pierde capacidad de respuesta, mostrando una falta notable de empuje en la zona media y alta del rango de velocidad. Además, consideró que los frenos son insuficientes para un uso intensivo en circuito, lo que limita su desempeño en condiciones exigentes. Aun así, concluyó que como vehículo de calle el coche resulta adecuado, ofreciendo un nivel de confort y facilidad de conducción que lo hacen agradable para un uso cotidiano.

Tabla 7. Datos ambientales

Datos ambientales	
Parámetro	Valor
Temperatura ambiente	22 °C
Humedad relativa	80 %
Presión atmosférica	1012 mbar

Tabla 8. Rendimiento y potencia máxima

Rendimiento y potencia máxima	
Parámetro	Valor
Potencia máxima alcanzada	114 kW
Par máximo	335 Nm
Velocidad máxima alcanzada	142 km/h
Aceleración (0-50 / 0 -100 km/h)	3,8 y 10,5 s

Tabla 9. Batería y pila

Batería y pila	
Parámetro	Valor
Tensión mínima/máxima de la batería	250 / 293 V
Corriente máxima de la batería	111 A
Tensión mínima/máxima pila	250 / 340 V
Corriente máxima pila	461 A

Tabla 10. Temperaturas

Temperaturas	
Parámetro	Valor
Temperatura máxima de la pila	69 °C
Temperatura del convertidor	37°C
Temperatura máxima de la batería	43° C

Tabla 11. Consumo y eficiencia

Consumo y eficiencia	
Parámetro	Valor
Consumo específico máximo	59 g/kWh
Energía recuperada en frenadas	~0,8 kWh
Autonomía con tanques llenos	~386 km

8.2.2. Consumo de hidrógeno

Dadas las pruebas realizadas a máxima carga y alta velocidad, el consumo de hidrógeno en el circuito fue muy elevado si se compara con los datos de la ficha técnica que muestran el consumo NEDC medio (0,76 kg/100 km). Si se hace la media del consumo en el total de la prueba, tenemos un valor de 2,91 kg/100 km lo que implica que el vehículo tendrá una menor autonomía en estas condiciones, considerando que su capacidad en los tanques de hidrógeno es de 4,6 kg y también nos indica que la pila a altas densidades de corriente necesita un alto suministro de hidrógeno en su funcionamiento.

Cuando analizamos el caso de una aceleración a máxima carga, podemos ver como el consumo de hidrógeno es máximo cuando la demanda de corriente/potencia es máxima.

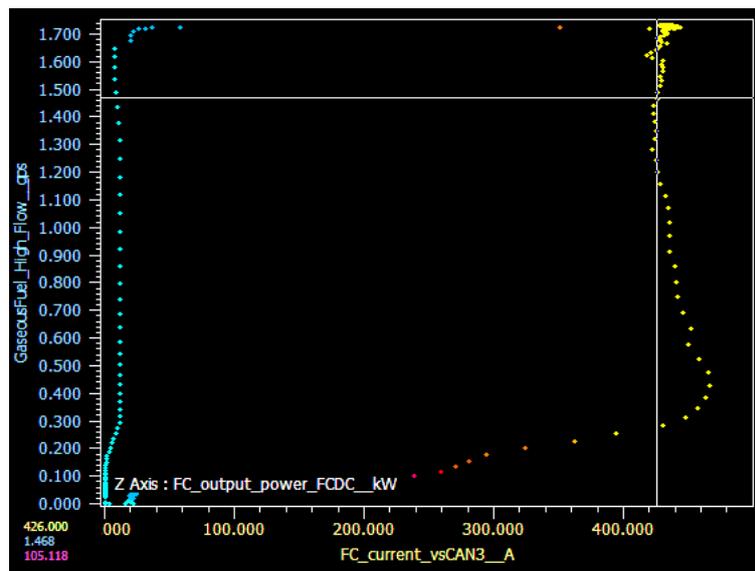


Figura 49. Consumo de hidrógeno vs corriente

En este régimen, al buscar máximas prestaciones de la pila y aumentando el consumo, la eficiencia se ve mermada por las mayores pérdidas óhmicas que se producen por el aumento de corriente y las pérdidas por sobrepotencial que se da por las pérdidas en el transporte de reactivos.

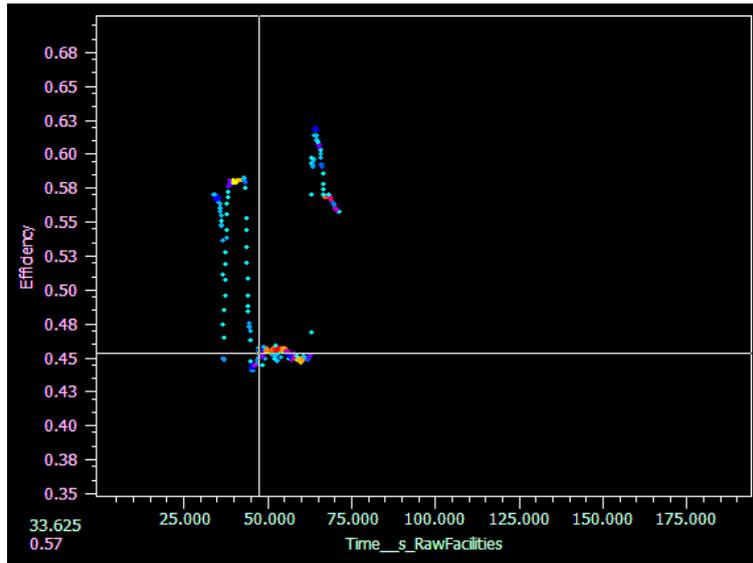


Figura 50. Eficiencia vs tiempo

Esta disminución de la eficiencia también se ve reflejado en el aumento del consumo específico, donde aumenta hasta casi 60 g/kwh.

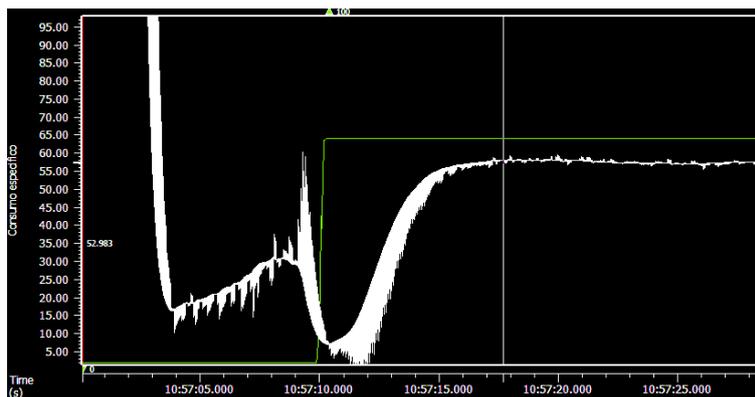


Figura 51. Consumo específico de combustible

8.2.3. Autonomía

Relacionado con el excesivo consumo de hidrógeno, la autonomía del Mirai se ve muy mermada ya que sólo dispone de 4,6 kg de hidrógeno en el depósito. Aun así, esto es de esperar ya que en un circuito de alta velocidad se expresan todas las prestaciones del vehículo, dando como lugar consumos muy elevados de combustible.

Este consumo elevado, lo podemos ver representado en la autonomía esperada del vehículo.

- Autonomía ciclo NEDC -> 550 km
- Autonomía en circuito -> 160 km

En los datos podemos ver claramente porque disminuye la autonomía del vehículo, ya que en los tramos del circuito a máxima carga para la pila de combustible, el vehículo está consumiendo alrededor de 24 kg/100 km, lo que

significaría que el vehículo si no estuviera limitado por el sistema, no podría aguantar ni 20 km a esa carga.



Figura 52. Consumo instantáneo(rosa), potencia FC(rojo)

8.2.4. Performance

El vehículo ofrece una buena aceleración inicial gracias al elevado par desde bajas vueltas de los motores eléctricos. Sin embargo, cuando la batería disminuye su carga por debajo de ciertos niveles, esta capacidad de aceleración se ve mermada ya que la pila de combustible, debido a su respuesta más lenta ante demandas súbitas de potencia, no puede sostener por sí sola el mismo rendimiento dinámico, lo que reduce la capacidad de aceleración en estas condiciones transitorias.

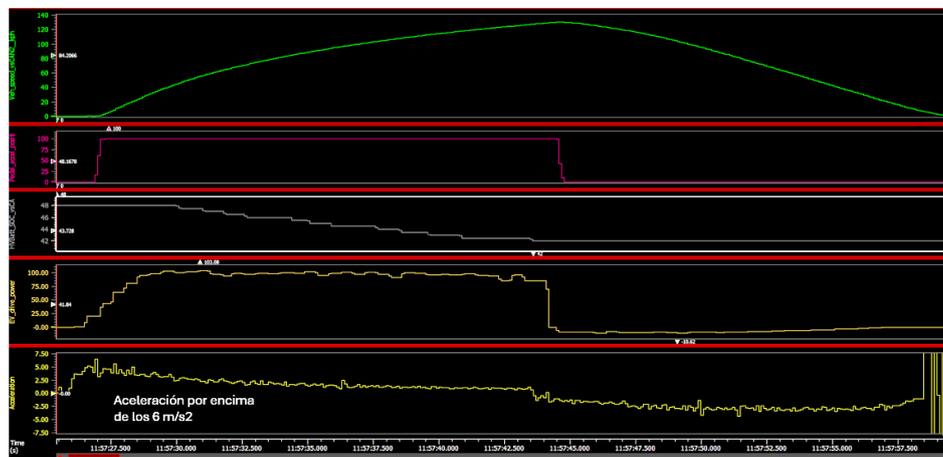


Figura 53. Medida de la aceleración del vehículo

Se puede observar cómo la aceleración en el primer instante sobrepasa los 6 m/s², aunque sólo durante un corto periodo de tiempo, resultando en una aceleración media de 2,5 m/s², esta es más baja de lo esperado, resultando el 0 a 100 km/h en 10,5 s, muy alejados de los 9,6 s que se indican en la ficha técnica.

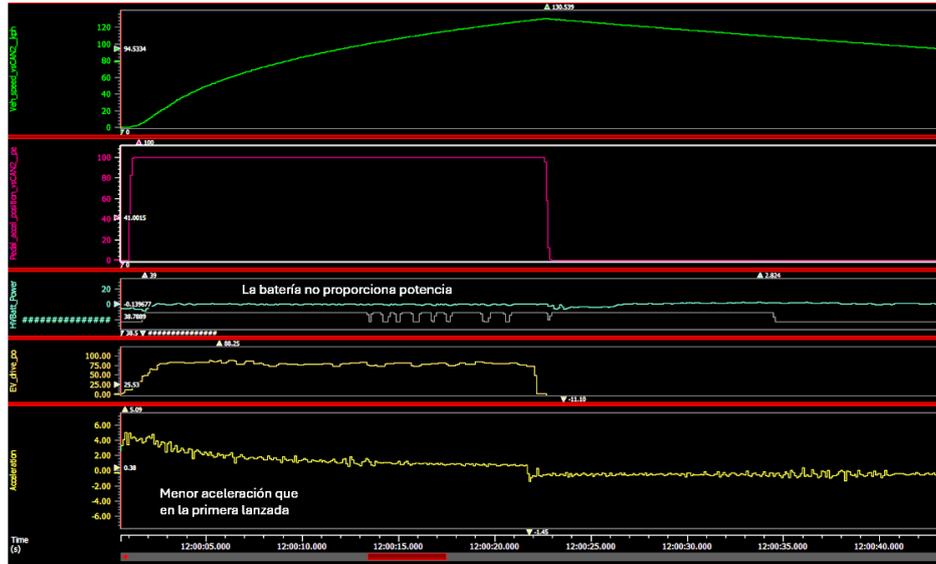


Figura 54. Medida de la aceleración del vehículo (II)

Las otras lanzadas dan tiempos de aceleración menores a la primera a medida que se descarga la batería.

Se puede observar que la última aceleración es con la batería descargada por lo que no proporciona potencia para la aceleración, por ello se tiene el peor registro de aceleración con una aceleración media de 2,19 m/s². Es un tiempo muy similar al de la anterior lanzada puesto que también el uso de la batería es mínimo por tener un SOC muy bajo.

Analizando los datos obtenidos del vehículo, se pueden obtener las curvas de par y potencia asociadas al motor eléctrico. Estas curvas indican un par máximo de 335 Nm y una potencia máxima de 108 kW.

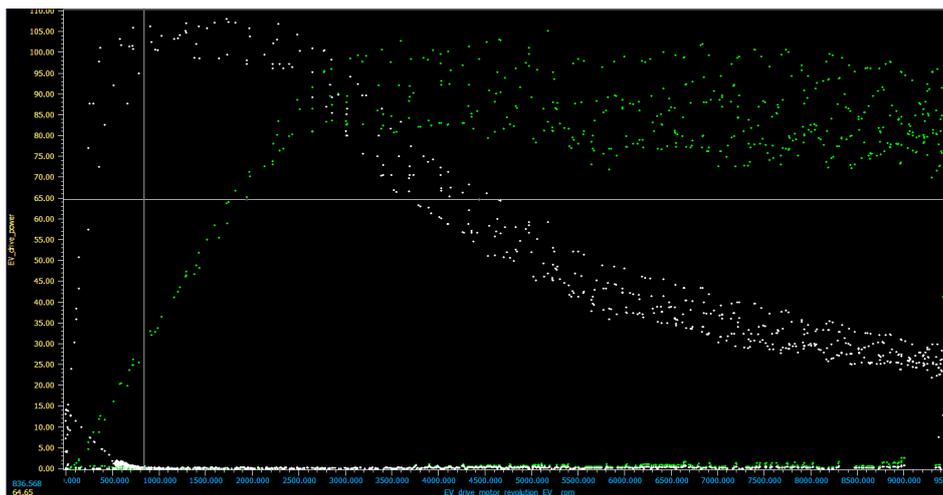


Figura 55. Curvas de par y potencia del motor eléctrico

El Mirai ofrece una buena aceleración inicial gracias al elevado par desde bajas vueltas del motor eléctrico. Sin embargo, cuando la batería disminuye su carga por debajo de aproximadamente un 39%, esta capacidad de aceleración se ve mermada ya que la pila de combustible, debido a su respuesta más lenta

ante demandas súbitas de potencia, no puede sostener por sí sola el mismo rendimiento dinámico, lo que reduce la capacidad de aceleración en estas condiciones transitorias.

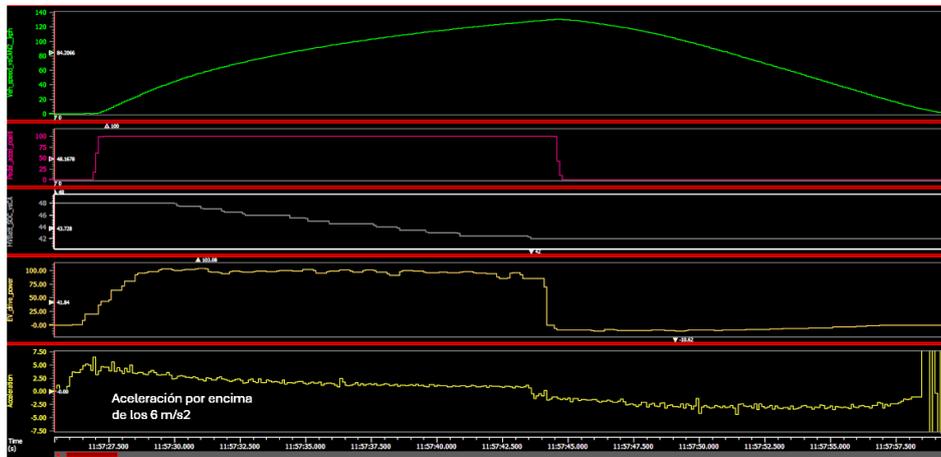


Figura 56. Aceleración (I)

Se puede observar en la figura anterior cómo la aceleración en el primer instante sobrepasa los 6 m/s^2 , aunque sólo durante un corto período de tiempo, resultando en un 0 a 100 km/h en 10,5 s, muy alejados de los 9.6 s que se indican en la ficha técnica.

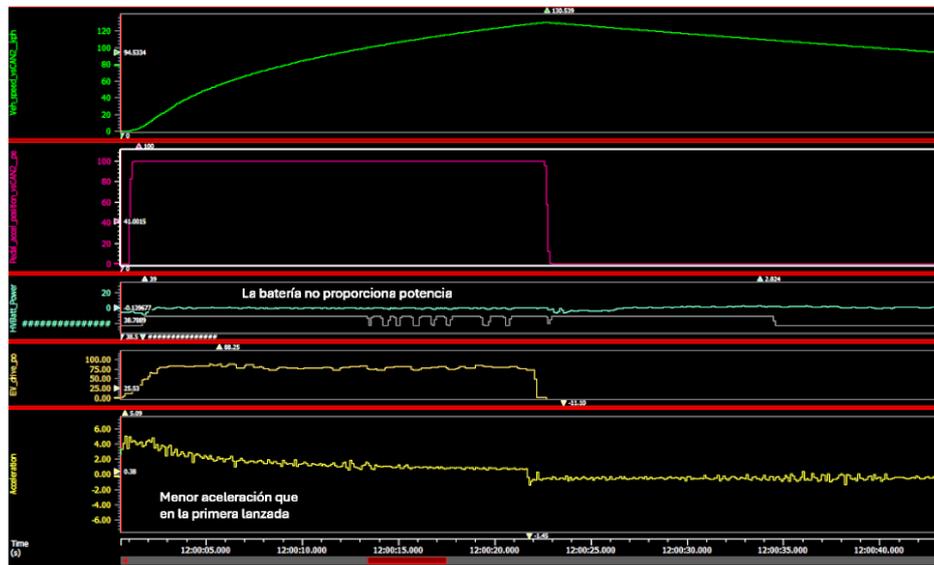


Figura 57. Aceleración (II)

Las otras lanzadas dan tiempos de aceleración menores que la primera a medida que se descarga la batería.

Se puede observar como en la última aceleración es con la batería descargada por lo que no proporciona potencia para la aceleración, por ello se tiene el peor registro, con una aceleración media de $2,19\text{ m/s}^2$. Es un tiempo muy similar al de la anterior lanzada puesto que también el uso de la batería es mínimo por tener un SOC muy bajo.

8.2.5. Duración pico de potencia

La duración del pico de potencia es de 30 segundos. Esto es debido a que sostener esa potencia genera una gran cantidad de calor que podría derivar en un calentamiento excesivo del sistema con el consiguiente daño, por ello el propio control limita la duración del pico de potencia máxima.

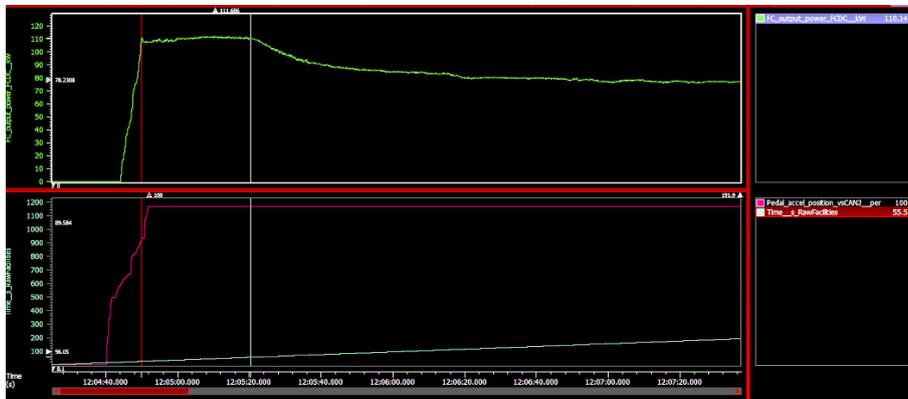


Figura 58. Duración pico de la potencia

La duración del pico de potencia es limitada por el propio sistema ya que vemos que la demanda se mantiene pero la potencia y los auxiliares disminuyen su potencia consumida.

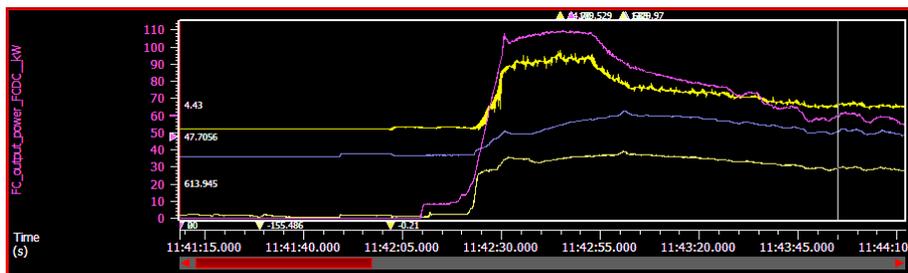


Figura 59. Duración pico de potencia (II): potencia FC(rosa), potencia compresor(amarillo), potencia bomba H₂(azul) y potencia de la bomba de agua(verde)

El compresor disminuye su potencia consumida porque se necesita menos aire al reducir la demanda de potencia, la bomba de hidrógeno lo mismo ya que se inyecta menos hidrogeno por lo que hay menos que recircular y la bomba de agua porque hay menos calor que disipar por lo que se mueve menos caudal.

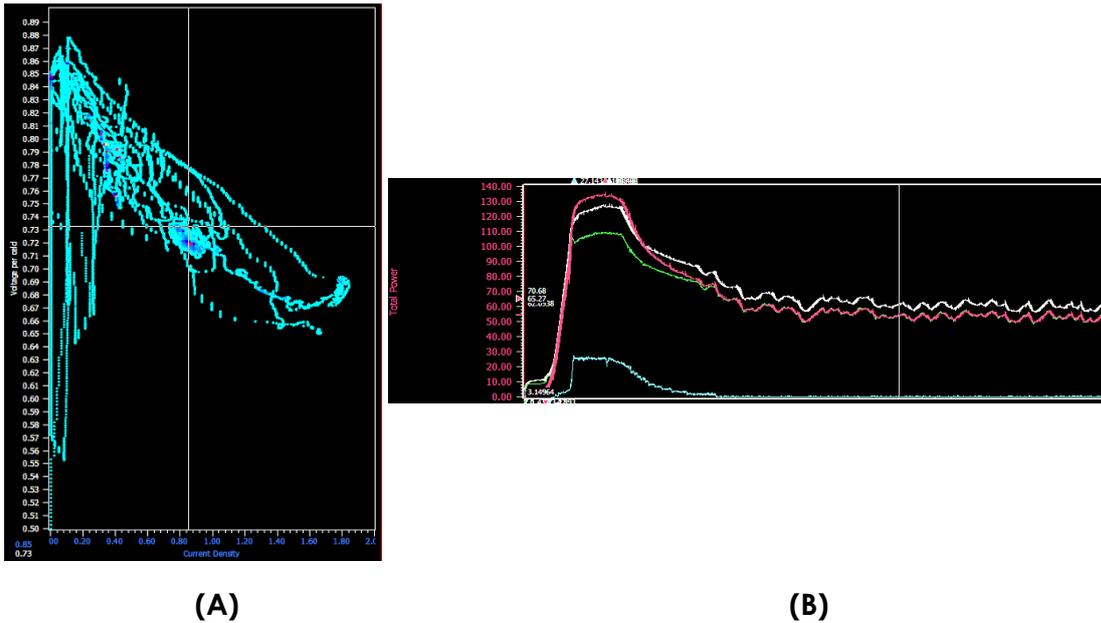


Figura 60. (A) Curva de polarización; (B) Potencia de la pila neta(verde), potencia bruta(lila), potencia de la batería(azul) y potencia total(rojo)

Vemos que la pila reduce su potencia generada hasta la mitad aproximadamente, trabajando en una zona intermedia de la curva de polarización.

8.2.6. Capacidad para reproducir los picos de potencia en poco tiempo

Como se comentó antes, se aprovecharon las rectas del circuito para comprobar esta característica. Estas pruebas mostraron los siguientes resultados donde se ve cómo es capaz de alcanzar la potencia máxima en todos los casos.

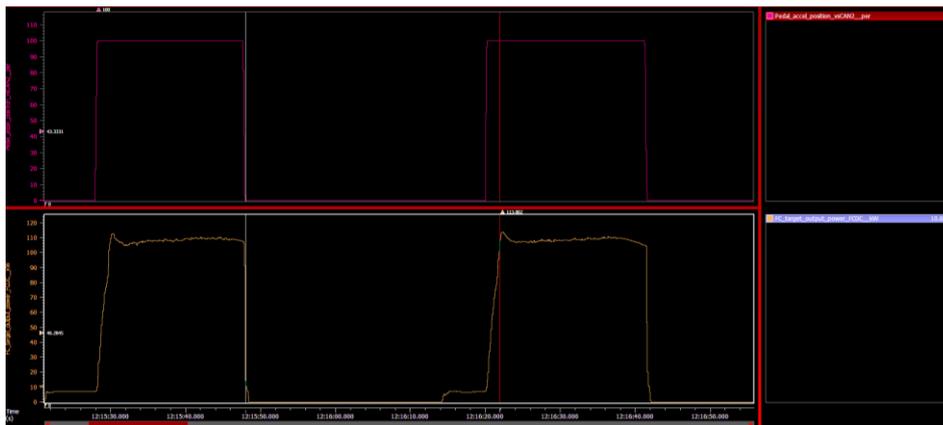


Figura 61. Capacidad para reproducir los picos de potencia en poco tiempo

Aunque la potencia es la misma, el tiempo de respuesta varía en casi medio segundo de la primera lanzada a la segunda. En la primera aceleración el tiempo de respuesta de la pila es de 1,859 s, aumentando el tiempo de respuesta de la pila en un poco más de 0,3 s hasta los 2,190 s.

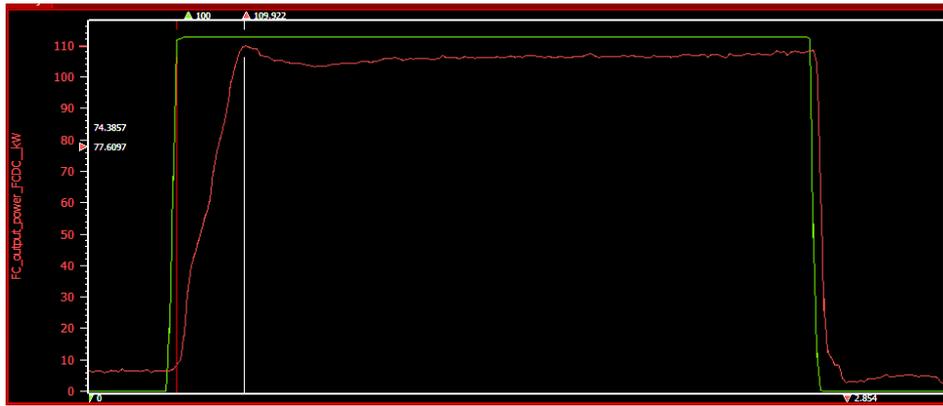


Figura 62. Tiempo de respuesta primera aceleración

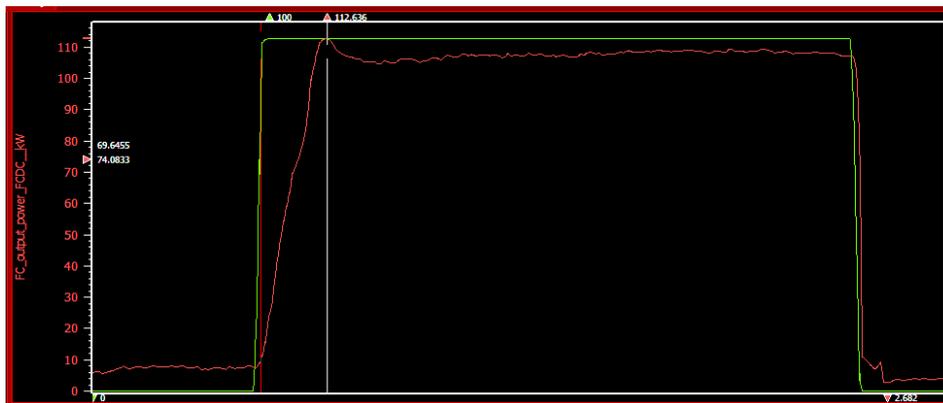


Figura 63. Tiempo de respuesta segunda aceleración

Siendo en la sucesivas aceleraciones el tiempo de respuesta cada vez mayor.

- **3ª aceleración:** 2,268 s
- **4ª aceleración:** 2,346 s

Esto nos indica que aunque la pila alcanza su máxima potencia en todas ellas, su capacidad de respuesta es más lenta, posiblemente por el incremento de temperatura en su interior o saturación de los canales de los reactivos.

8.2.7. Gestión térmica a alta carga

Se puede ver que ante una gran demanda de potencia en picos y continuamente, el sistema de refrigeración es capaz de disipar el calor generado por la pila. La temperatura de la pila aumenta cada vez que se le requiere potencia ya que se genera calor en la reacción química y cuando se deja de demandar la potencia, esta disminuye.

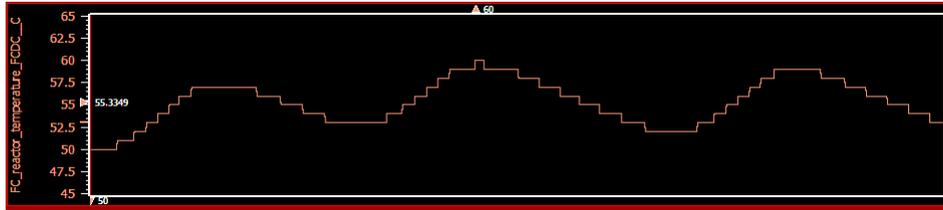


Figura 64. Mediciones de temperatura

También podemos ver como el termostato no varía y permanece abierto durante los ensayos permitiendo el máximo paso de refrigerante ya que se necesita disipar mucho calor.

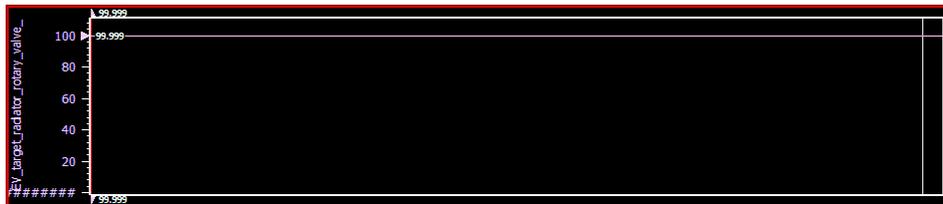


Figura 65. Variación del termostato

La bomba, aunque tiene picos de potencia cuando se incrementa la temperatura, también trabaja cerca de su régimen máximo.

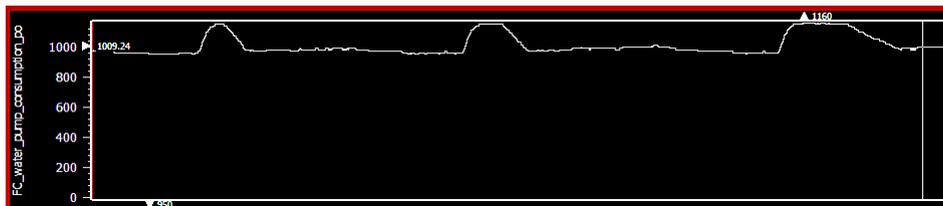


Figura 66. Consumo asociado a la bomba

Otros datos que podemos obtener es la relación entre la temperatura del stack y la temperatura de salida del radiador. La relación entre estas dos temperaturas es casi lineal.

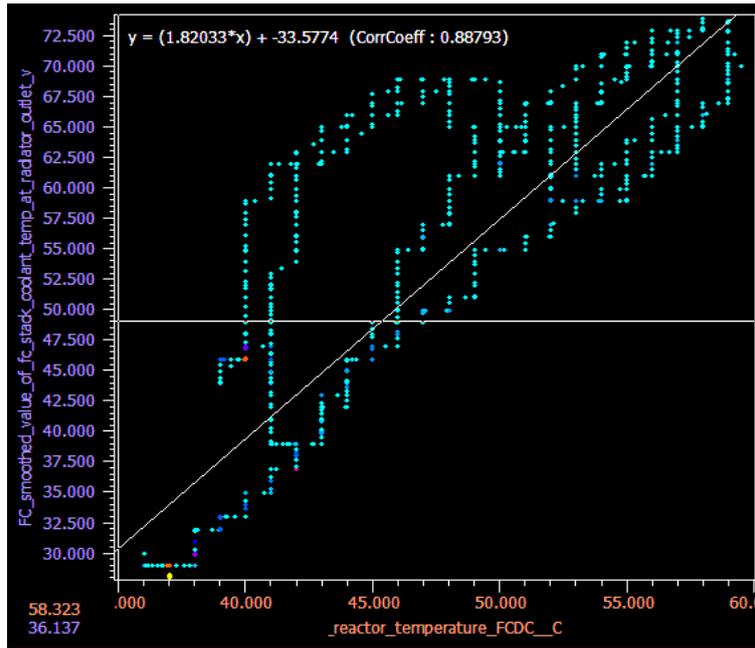


Figura 67. Relación de temperaturas stack-salida del radiador

Por otro lado, la temperatura de la batería aumenta cuando se le está demandando potencia un par de décimas de grado, alcanzando los 43°C y una vez la descargamos y se le deja de demandar, la temperatura cae otras décimas de grado pero la temperatura en general es bastante constante, entre los 42 y 43°C durante los ensayos.

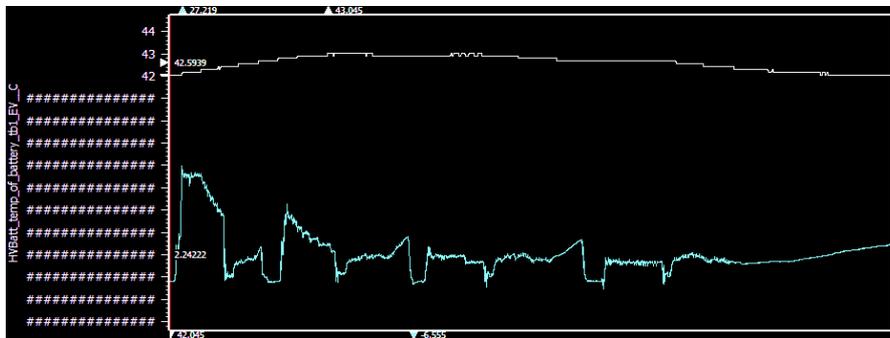


Figura 68. Potencia de la batería(azul) y temperatura(morado)

8.2.8. Comportamiento SOC bajo

Cuando la batería baja de un 39% de SOC, se observa cómo deja de dar potencia al motor eléctrico y es solo la pila de combustible la que impulsa al vehículo.

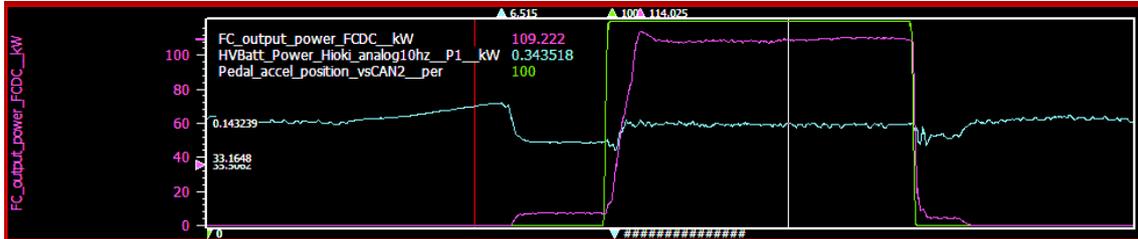


Figura 69. Potencia FC(morado), acelerador(verde), potencia Batt(azul)

Una vez sucede esto, se aprecia una disminución de las prestaciones del vehículo en términos de aceleración.

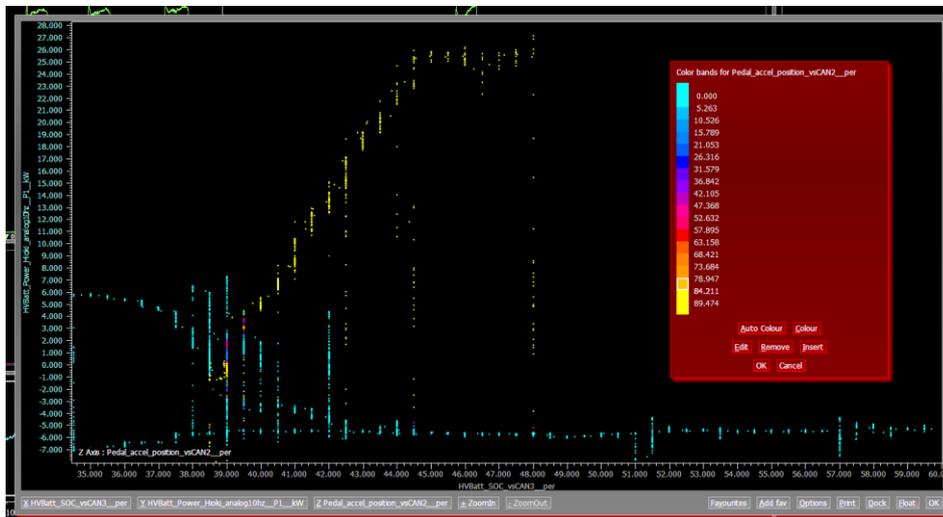


Figura 70. Comportamiento del SOC

Se puede observar que a un pedal superior al 90% (amarillo), cuanto más SOC se tiene (eje x), la batería es capaz de dar más potencia (eje y).

Debido a que la batería, a medida que se van sucediendo las aceleraciones se descarga, en cada una entrega menos potencia que en la anterior, por lo que los tiempos de aceleración disminuyen en cada aceleración al haber menos potencia disponible.

- $T_{0-100 \text{ km/h}_1} = 10.5 \text{ s}$
- $T_{0-100 \text{ km/h}_2} = 11.6 \text{ s}$
- $T_{0-100 \text{ km/h}_3} = 12.6 \text{ s}$
- $T_{0-100 \text{ km/h}_4} = 12.7 \text{ s}$
- $T_{0-100 \text{ km/h}_5} = 11.2 \text{ s}$

Analizando los tiempos se ve claramente cómo el tiempo de aceleración aumenta a medida que la potencia de la batería disminuye. En la última aceleración el tiempo vuelve a disminuir porque se da una vuelta al circuito para cargarla y luego se procede a la aceleración.

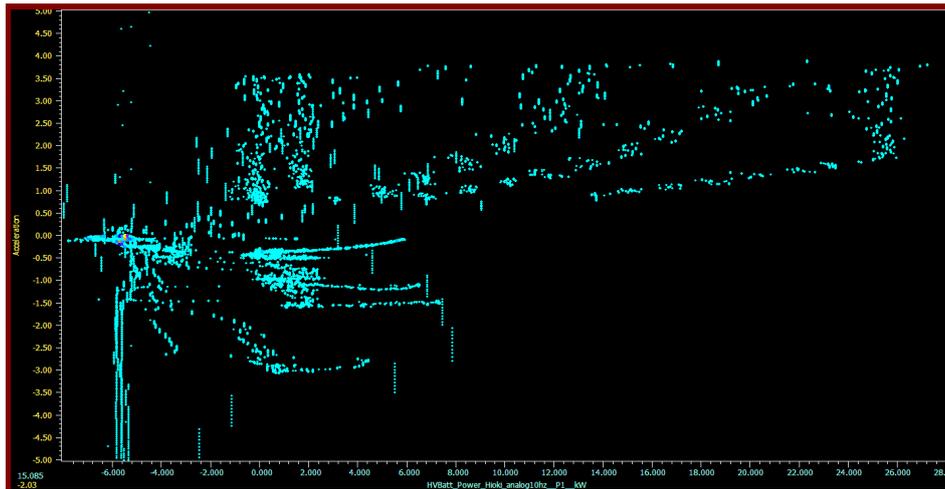


Figura 71. Aceleración del vehículo vs potencia de la batería

Vemos como los valores de aceleración son mayores en los valores positivos de potencia de la batería.

9. Conclusiones

El análisis del Toyota Mirai con tecnología de pila de combustible (FCEV) ha permitido comprender en profundidad tanto su funcionamiento operativo como los requerimientos técnicos y de mantenimiento asociados a este tipo de sistemas.

En primer lugar, se evidenció que la infraestructura actual de mantenimiento requiere de una adaptación significativa para atender vehículos propulsados por hidrógeno. Los talleres deben contar con equipos especializados, zonas de trabajo certificadas para manipular gases presurizados y personal debidamente formado en los procedimientos de seguridad específicos. Esta formación es esencial para garantizar la integridad del sistema y la seguridad del personal que trabaje con este tipo de vehículos.

El estudio de mantenimiento, apoyado en las especificaciones del fabricante y los registros cronológicos de intervenciones, permitió identificar las operaciones críticas y establecer propuestas de mejora orientadas a una mejor formación de los técnicos con convenios con los fabricantes y una mejor adaptación de las instalaciones de trabajo.

Las pruebas en circuito incluyeron aceleraciones a plena carga (WOT), funcionamiento sostenido a alta potencia y una conducción deportiva del vehículo en el circuito. Estas pruebas ofrecieron información relevante sobre el comportamiento dinámico y la interacción entre el sistema de pila de combustible y la batería. Los resultados mostraron una buena capacidad de recuperación de potencia por parte de la pila, mientras que las prestaciones disminuyen a medida que se descarga la batería.

El análisis de datos mostró un alto consumo de hidrógeno cuando se utiliza el vehículo en circuito a alta velocidad, mientras que en el uso urbano el consumo fue contenido, siendo cercano a las especificaciones del fabricante.

Finalmente, el caso de estudio de reparto de última milla demostró la viabilidad de este tipo de vehículos en entornos logísticos reales, aportando ventajas en sostenibilidad, emisiones y eficiencia frente a vehículos convencionales de combustión.

En conjunto, los resultados confirman que la adopción de vehículos de hidrógeno es técnicamente factible pero siempre que se acompañe de una infraestructura de mantenimiento y de recarga adecuada y de un plan de formación específico para el personal técnico.