

Universidad Internacional del Ecuador



**Facultad de Ciencias Técnicas
Escuela de Ingeniería Mecánica
Automotriz**

**Trabajo de Integración Curricular
para la obtención del Título de Ingeniera en Mecánica Automotriz**

**Reacondicionamiento y reparación de baterías de níquel-metal en un
Toyota Prius 2009.**

Nombre del Autor

Pedro David Sánchez Coro
Mattiu Alexander Apolo Torres

**Director: Ing. Ing. Fabricio Corrales
Codirector: Ing. Nombre del Codirector, Msc**

Quito, mayo 2025

CERTIFICACIÓN

Nosotros, **MATTIU ALEXANDER APOLO TORRES, PEDRO DAVID SANCHEZ CORO**, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.



Mattiu Alexander Apolo Torres

No número de cedula

1754281846

Pedro David Sanchez Coro

No número de cedula

1722586052

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Msc. FABRICIO CORRALES**, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Firmado electrónicamente por:

**LUIS FABRICIO
CORRALES ZURITA**

Validar únicamente con FirmaEC

Firma profesor

DEDICATORIA

Con el pasar del tiempo nos damos cuenta de que contamos con seres queridos únicos en este mundo, que te acompañan, apoyan y guían en el transcurso de la vida.

Cuando tu propósito esta por alcanzarse te llenas de emoción y alegría al saber que estas a un paso de llegar a la meta propuesta, que con esfuerzo, dedicación, tiempo y noches interminables y cansadas madrugadas, hoy se resumen en nuevo escalón en mi vida.

El siguiente trabajo de investigación se lo dedica a quienes me acompañaron en este proceso, a aquellos seres humanos que me impulsaron y apoyaron durante mi vida estudiantil.

AGRADECIMIENTO

En el cumplimiento de esta meta agradezco a cada uno de ustedes que con su colaboración hicieron de este recorrido una grata experiencia, a todos ustedes exteriorizo mi más profunda gratitud.

Gracias a la bendición de Dios pude lograr otra meta profesional al tener el conocimiento y la voluntad necesarios.

A mi familia, por el amor y el apoyo que me dan hasta la actualidad.

A la Universidad por abrirme sus puertas y hoy pueda ver cristalizado mi profesionalización.

A mi tutora del proyecto, por su paciencia y guía, su asistencia y comprensión. Por permitirme avanzar firmemente con sus conocimientos necesarios para poder realizar este trabajo investigativo.

A mis docentes, que me acompañaron durante toda la carrera, por el tiempo y esfuerzo impartido hacia mi persona.

INDICE

CERTIFICACIÓN	2
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR	14
1.1. Introducción.....	14
1.2. Antecedentes.....	15
1.3. Objetivos.....	18
1.3.1. Objetivo General.....	18
1.3.2. Objetivos Específicos	18
CAPITULO II FUNDAMENTACION TEORICA	19
2.1. Principios de funcionamiento de las baterías de níquel-metal	19
2.2. Estado de carga (SOC) y estado de salud (SOH)	20
2.3. Ciclo de vida de las baterías de níquel-metal	21
2.4. Técnicas de diagnóstico y balanceo.....	23
2.5. Modelos matemáticos y simulaciones	24
2.6. Ensayos de laboratorio y pruebas funcionales.....	25
2.7. Tecnología híbrida del Toyota Prius 2009	26
2.8. Fallas comunes en baterías y diagnóstico técnico	27

2.9.	Reacondicionamiento y reparación de baterías de níquel-metal	28
2.10.	Impacto ambiental y sostenibilidad	29
2.11.	Contexto ecuatoriano.....	30
2.12.	Características químicas y físicas de las baterías NiMH.....	31
2.13.	Métodos de reacondicionamiento aplicados internacionalmente	32
2.14.	Seguridad en el manejo de baterías de alto voltaje.....	33
2.15.	Costos y viabilidad económica del reacondicionamiento.....	34
2.16.	Software y herramientas de diagnóstico avanzadas	35
2.17.	Políticas públicas y regulación técnica en Ecuador.....	36
2.18.	Tendencias futuras en baterías híbridas	37
CAPITULO III MATERIALES Y METODOLOGIA.....		39
4.1.	Metodología.....	39
4.2.	Materiales	39
4.2.1.	Elementos de construcción	39
4.2.2.	Normativa	41
4.2.3.	Diseño.....	43
4.2.4.	Vehículo.....	45
4.2.5.	Implementación	46
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSION		47
5.1.	Pruebas de campo	47
5.1.1.	Pruebas de voltaje y resistencia interna de cada celda	47

5.1.2.	Medición indirecta con osciloscopio digital	48
5.1.3.	Configuración del osciloscopio	49
5.1.4.	Descarga profunda y carga controlada de las celdas	50
5.1.5.	Repetición de ciclos de carga/descarga para reacondicionamiento	51
5.1.6.	Balanceo de las celdas del paquete.....	52
5.1.7.	Reemplazo de celdas defectuosas.....	53
5.1.8.	Reensamblado e instalación del paquete de baterías	54
5.1.9.	Intervención correctiva en el arnés BMS: separación de pines en corto por sulfatación.....	56
5.1.10.	Diagnóstico y verificación:.....	58
5.1.11.	Intervención correctiva.....	58
5.1.12.	Tiempo para la intervención correctiva	59
5.1.13.	Resultado	61
5.2.	Pruebas individuales.....	62
5.3.	Comparativa de resultados.....	65
5.4.	Discusión de resultados	67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		69
6.1.	Conclusiones.....	69
6.2.	Recomendaciones	70
BIBLIOGRAFIA.....		72
ANEXOS		80

Indice de Gráficos

Gráfico 1. Tiempo para la intervención correctiva	59
Gráfico 2. Ruta realizada para la intervención correctiva	60
Gráfico 3. Distancia y duración para la intervención correctiva	60
Gráfico 4. Prueba 1 de resistencias internas de las baterías reacondicionadas	62
Gráfico 4. Prueba 2 de resistencias internas de las baterías reacondicionadas	63
Gráfico 4. Celdas dañadas que se realizó el cambio	64

Índice de Anexos

Anexo 1. Multímetro digital.....	80
Anexo 2. Medidor de resistencias internas.....	80
Anexo 3. Osciloscopio	81
Anexo 4. Probador de capacidades.....	81
Anexo 5. Banco Balanceador y comprobador de baterías de alta tensión.....	82
Anexo 6. Medidor de capacidad y balanceadores de celdas	82
Anexo 7. Desmontaje de la carcasa de la batería	83
Anexo 8. Equipos de protección (guantes y gafas)	84
Anexo 9. Desmontaje de la batería.....	84
Anexo 10. Desenergización de la batería HV	85
Anexo 11. Batería NiMH Toyota Prius desmontado	85
Anexo 12. Comprobación resistencias internas de las celdas	86
Anexo 13. Medición indirecta con osciloscopio digital	86
Anexo 14. Estado de la carcasa al desmontar	87
Anexo 15. Carcasa pintada lista para ensamblar	88
Anexo 16. Estado de las placas de conexión de cobre	89
Anexo 17. Placas de conexión de cobre después de lavado por ultra sonido.....	90
Anexo 18. Comprobación de fugas de aislamiento (se encontraron 10 celdas fisuradas) ..	91
Anexo 19. Proceso de carga y descarga de baterías con el equipo medidor de capacidad y balanceadores de celdas.....	91
Anexo 20. Proceso de selección de parámetros para carga y descarga baterías NiMH	92

Anexo 21. Selección de proceso re peak (3 veces.....	93
Anexo 22. Selección de proceso de descarga ajuste de parámetros	93
Anexo 23. Selección de proceso de carga ajuste de parámetros	94
Anexo 24. Medición de resistencias internas de la celdas	95
Anexo 25. Análisis BMS.....	95
Anexo 26. Medición de resistencias de los pines de la BMS.....	96
Anexo 27. Pines con falla luego de la comprobación	97
Anexo 28. Proceso de reparación de arnés de la BMS.....	98
Anexo 29. Proceso de conexión de la batería al equipo para realizar el balance de las celdas	99
Anexo 30. Proceso finalizado.....	99
Anexo 31. Celdas con fugas de ácido y dañadas.....	100
Anexo 32. Montaje de la batería reparada.....	101
Anexo 33. Información del panel con la batería instalada	102
Anexo 34. Código de falla del vehículo en el que se trabajo	103

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar la viabilidad técnica y económica del reacondicionamiento de la batería de níquel-metal del Toyota Prius 2009, un vehículo que utiliza un sistema de propulsión eléctrico basado en módulos de batería NiMH. Mediante una técnica experimental, se realizaron procedimientos de diagnóstico, un análisis individual de las celdas, una descarga profunda, ciclos de carga controladas y remplazos de componentes dañados. Las pruebas se realizaron con herramientas especializadas como son los multímetros, los osciloscopios, los cargadores que tienen la función de extraer, y los escáner OBD-II para hallar fallas comunicadas por la computadora central del sistema de propulsión a chorro. Durante el procedimiento, se identificaron 10 recubrimientos deteriorados que no reaccionaron frente al reacondicionamiento, por esta razón fueron cambiados por otros que tenían las mismas características. Se implementó un programa de tres fases de carga/descarga por sección, lo que produjo un incremento en la calidad y la estabilidad de voltaje. Además, se observó una errática de electricidad en el arnés del sistema BMS a través de una intervención que fue casi imperceptible, se implementaron procedimientos de mantenimiento estructural como la limpieza de placas colectoras por parte de un profesional y la pintura de la carcasa por parte de un consumidor. El empaque se reinstauró y fue probado en los terrenos de la institución, exhibiendo una capacidad normal de funcionamiento sin haber registrado errores. Como consecuencia, se llegó a la conclusión de que la reinserción de baterías NiMH en Ecuador es una alternativa factible, segura y sustentable en el momento de reemplazar totalmente, siempre y cuando se empleen procedimientos técnicos apropiados. El estudio valida esta actividad como una táctica viable para aumentar la vida útil de los sistemas de abastecimiento de energía de los automóviles híbridos, con el fin de economizar en la generación de residuos electrónicos y de circularidad económica.

Palabras clave: Reacondicionamiento, baterías NiMH, diagnóstico, resistencia interna, carga/descarga, balanceo de celdas.

ABSTRACT

The present research aimed to analyze the technical and economic feasibility of reconditioning the nickel-metal battery of the 2009 Toyota Prius, a vehicle that uses an electric propulsion system based on NiMH battery modules. Through an experimental technique, diagnostic procedures, individual cell analysis, deep discharge, controlled charge cycles and replacements of damaged components were performed. The tests were carried out with specialized tools such as multimeters, oscilloscopes, magazines that have the function of extracting, and OBD-II scanners to find faults communicated by the central computer of the jet propulsion system. During the procedure, ten deteriorated coatings were detected that did not react to the reconditioning, for this reason they were replaced by others that had the same characteristics. A program of three phases of charge/discharge per section was implemented, which resulted in an increase in voltage quality and stability. In addition, an erratic electrical fault in the BMS system harness was corrected through an intervention that was almost imperceptible, structural maintenance procedures were implemented such as the cleaning of collector plates by a professional and the painting of the casing by a consumer. The packaging in question was reinstated and tested on the institution's grounds, exhibiting a normal ability to operate without having registered errors. As a consequence, it was concluded that the reinsertion of NiMH batteries in Ecuador is a feasible, safe and sustainable alternative at the time of total replacement, as long as appropriate technical procedures are employed. The study validates this activity as a viable tactic to increase the useful life of hybrid car energy supply systems, in order to economize on the generation of electronic waste and economic circularity.

Keywords: Reconditioning, NiMH batteries, diagnostics, internal resistance, charge/discharge, cell balancing.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

1.1.Introducción

En los últimos años, la industria automotriz ha venido desarrollándose de manera significativamente distinta con la incorporación de herramientas electrónicas y de híbridos en automóviles de general uso. Esta transformación hacia una movilidad sustentable ha venido acompañada de nuevos interrogantes técnico-ambientales, de los cuales el más importante es la preservación de los componentes esenciales, como por ejemplo las baterías de propulsión (Day, 2023).

El Toyota Prius del 2009, que fue el primer vehículo de la categoría de los híbridos, representa un caso paradigmático debido a la utilización de un propulsor que mezcla un motor de propulsión de tipo interna con una asistencia eléctrica por baterías de gran capacidad (Celedonio, 2019).

Las baterías que se utilizan en estos automóviles, originalmente de tipo Níquel-Metal hidruro (NiMH), han develado tener una limitada vida útil, influenciadas por factores como la cantidad de ciclos de carga/descarga, el calor, la baja potencia y el equilibrio entre celdas. En el momento en que estas acumulaciones de níquel-metal llegan a deteriorarse, los propietarios están sujetos a costos elevados en el caso de que sustituyan la totalidad del sistema (Iza, 2020). Debido a eso, el reacondicionamiento y la reparación de los componentes dañados se pueden realizar como una alternativa viable y con un precio accesible para aumentar la vida útil de estos objetos y reducir el impacto ambiental asociado a su desecho.

En países desarrolladas, esta política de reacondicionamiento ha sido exitosa, apoyada por legislaciones técnicas, un sistema de administración de baterías (BMS) y herramientas especializadas para el diagnóstico, el equilibrio y el reemplazo de placas. A pesar de ello, en el Ecuador este sector todavía se encuentra en un estado incierto (Day, 2023).

A pesar de que la cantidad de automóviles híbridos que se importan ha aumentado constantemente, el sector de servicios especialistas en el reacondicionamiento de baterías no

ha logrado un crecimiento significativo. Esta circunstancia figura tanto como una limitante en términos de técnica como una ocasión para innovar y generar un espíritu de emprendimiento en la región.

El problema se hace más grande debido a la carencia de entrada a recambios nuevos, la deficiencia de especialistas en sistemas de electricidad automotriz y el desconocimiento general acerca de los provechos de reacondicionar en vez de remplazar. En este contexto, es fundamental indagar si, en el ámbito de Ecuador, es viable y tecnológicamente factible ejecutar métodos de reacondicionamiento ya que han sido experimentados en otros países. Esto comprende la investigación de herramientas factibles, los conocimientos técnico-legales, y la comparación de costos y provechos asociados (Xinqineng, 2020).

1.2. Antecedentes

Existen varias investigaciones internacionales han demostrado que la limpieza de baterías es posible que restrinja hasta un ochenta por ciento la capacidad inicial que tiene un conjunto de celdas, a través de métodos como la descarga completa, los ciclos de carga y descarga controladas, y el reemplazo de placas dañadas (OKACC, 2024).

El estudio de la ciencia ha resaltado la importancia de la estabilidad energética dentro de las celdas, ya que una distribución desmedida es una de las mayores causas de quebrantos tempranos. Así mismo, la utilización de métodos de diagnóstico como la medición de voltaje de un individuo, pruebas de resistencia y exploración a través de OBD-II ha hecho posible que especialistas en el tema hagan intervenciones con seguridad y efectividad.

Según el autor Gonzales (2024), en su trabajo de investigación “Aplicación de un Protocolo de Mantenimiento en el Sistema de Alta Tensión del Vehículo Híbrido Toyota Prius G3”, nos menciona que el presente proyecto aborda el mantenimiento en el sistema de alta tensión del vehículo híbrido Toyota Prius de Tercera Generación (G3) y se centra en el cuidado y el servicio adecuado de los componentes eléctricos y electrónicos de alta tensión presentes en el vehículo. Este sistema de alta tensión es esencial para el funcionamiento eficiente y el rendimiento del vehículo, ya que impulsa la parte eléctrica del sistema híbrido y almacena la energía recuperada durante el frenado.

El protocolo de mantenimiento en el sistema de alta tensión del Toyota Prius G3 incluye varios aspectos clave como la inspección periódica para detectar posibles problemas en los componentes, esto puede incluir la revisión de cables, conectores, baterías y otros elementos eléctricos, el diagnóstico y escaneo usando herramientas de diagnóstico específicas y especializadas para escanear el sistema de alta tensión en busca de códigos de error y problemas latentes, luego realizar el mantenimiento de la batería de alta tensión, que es uno de los componentes más importantes en un vehículo híbrido, se continua con el reemplazo de componentes desgastados si se detectan componentes defectuosos o desgastados en el sistema de alta tensión, según las recomendaciones del fabricante (González, 2024).

Otro punto importante dentro de la investigación es seguir protocolos de seguridad al trabajar en este sistema, como desconectar la alimentación eléctrica y desactivar el sistema antes de realizar cualquier trabajo de mantenimiento (González, 2024).

A nivel regional, la renovación de baterías todavía no cuenta con un procedimiento técnico definido ni con una cadena de tiendas oficiales de confianza. A pesar de ello, se han documenta experiencias concluidas en encuentros de automóviles de tipo independiente, en especial en las zonas de Quito y Guayaquil, donde la agrupación de automóviles de tipo híbrido es mayor. Estas actividades, aunque pequeñas, indican que hay un apremio grande por parte de los usuarios en el avance de estos servicios, en especial por las bondades económicas y ambientales que tienen.

Así mismo, Saavedra (2019), en su trabajo de investigación “Análisis del comportamiento de baterías usadas en vehículos híbridos durante el proceso de recuperación”, nos menciona que el proyecto de grado tiene por objetivo realizar el reacondicionamiento de baterías de NI-MH, de los vehículos híbridos, mediante un algoritmo de adquisición de datos y su análisis utilizando LabVIEW como plataforma de desarrollo, que nos permitan detectar el estado actual de la batería e identificar las celdas defectuosas en el proceso de reacondicionamiento.

Inicialmente para poder desarrollar el sistema de diagnóstico de baterías híbridas, se procede a la obtención de las señales de cada par de celdas de la batería del vehículo híbrido, mediante un Arduino Mega y un software elaborado en la plataforma LabVIEW. La batería

que se utilizó durante la investigación es una batería que presenta daños en su funcionamiento, como los valores de voltaje que resultan menor a 7.2 voltios.

Los datos adquiridos muestran que existen celdas que presentan una disminución de su tensión nominal con mayor rapidez con respecto al resto de celdas que componen la batería dando como resultado un funcionamiento del vehículo híbrido muy deficientes, consecuentemente se registran las señales gráficas de los datos que determina las celdas que se descargan rápidamente, esta información se procede a almacenar en una matriz de texto, con el fin de identificar el estado actual de la batería antes y después del proceso de carga y descarga (Saavedra, 2019).

Este estudio se centrará en analizar la posibilidad de reacondicionar las baterías del modelo Toyota Prius del año 2009 en la ciudad de Quito, examinando los aspectos científicos y económicos. Se analizará la información necesaria, los instrumentos necesarios, los métodos seguros de actuación y las consecuencias obtenidas luego de las pruebas de funcionamiento (Toyota, 2021). También, se tendrá en cuenta la impresión de los usuarios y los expertos sobre esta alternativa, además de la posible demanda que tenga el servicio en el ámbito local. El estudio se desplegará durante cinco meses, desde el mes de febrero hasta el mes de junio del 2025.

Este análisis a su vez se ubica en el ámbito de la investigación de la tecnología automotriz, y tiene como eje principal los sistemas de electricidad y electrónicos del vehículo. Además de dar una contribución práctica al conocimiento acerca de la técnica local, se aspira que este estudio genere una percepción sobre la utilización responsable de herramientas de transporte sustentables, incentivando un modelo de economía circular que se aplique al ámbito de la automoción (Castellanos, 2020). El reacondicionamiento no es únicamente una extensión de la vida útil de las baterías, sino que además reduce la elaboración de desechos con peligro de colisión y disminuye la pegatina de carbono del medio de transporte.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Analizar la viabilidad técnica y económica del reacondicionamiento y reparación de baterías de níquel-metal en un Toyota Prius 2009, con el fin de proponer una solución sostenible y accesible en el contexto ecuatoriano.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar los componentes y fallas más comunes de las baterías de níquel-metal del Toyota Prius 2009.
- Determinar los materiales, herramientas y procedimientos adecuados para el reacondicionamiento.
- Comparar los costos del reacondicionamiento con el reemplazo completo de la batería.
- Evaluar la durabilidad y eficiencia de la batería reacondicionada mediante pruebas funcionales.

CAPITULO II

FUNDAMENTACION TEORICA

2.1.Principios de funcionamiento de las baterías de níquel-metal

Las baterías de ion de níquel-metal han revolucionado el sector automotriz debido a su alta densidad energética, baja autodescarga y capacidad de ser recargadas múltiples veces sin pérdida significativa de capacidad. Estas características las han posicionado como el componente esencial en vehículos eléctricos (EV) e híbridos (HEV), como el Toyota Prius. Su funcionamiento se basa en el movimiento de iones de níquel-metal desde el ánodo hacia el cátodo a través de un electrolito durante la descarga, y el proceso inverso durante la carga (Tarascon & Armand, 2001).

Estas baterías están formadas por múltiples celdas conectadas en serie y en paralelo, y su vida útil está determinada por el número de ciclos de carga/descarga, la temperatura de operación, la profundidad de descarga y la calidad de los materiales activos (Nagaura & Tozawa, 1990).

La estructura interna de estas baterías incluye los componentes esenciales que determinan su rendimiento. El ánodo está hecho tradicionalmente de grafito y sirve como electrodo negativo, donde se almacenan los iones de níquel-metal durante el proceso de carga, mientras que el cátodo, que generalmente consiste en un óxido metálico como LiCoO_2 , LiFePO_4 o LiMn_2O_4 , sirve como electrodo positivo (Obaya & Céspedes, 2020).

Entre los dos electrodos del diseño, un separador poroso funge como guardián silencioso: deja que los iones se desplacen con libertad, pero corta cualquier ruta directa que pudiera provocar un corto. Habitualmente, el electrolito es una mezcla de sal níquel-metal disuelta en un solvente orgánico, un arreglo que promueve la movilidad iónica y conserva la estabilidad electroquímica de toda la celda (Saavedra, 2019). Esa de los componentes, a su vez, condiciona el voltaje nominal que la batería puede seleccionarse, cifra que suele oscilar entre 3,2 V y 4,2 V según la química exacta que se elija.

El rendimiento y la degradación de las baterías de níquel-metal se ven influenciados por una maraña de factores interrelacionados que merecen atención en el ámbito automotriz. La temperatura del entorno juega un papel protagónico; el calor extremo precipita reacciones

paralelas que engordan la capa SEI y arrastran innecesariamente al níquel y al metal activo, haciendo que la capacidad útil se evapore (Dambra, 2023).

A la inversa, el frío severo engrosa la resistencia interna y aprieta el movimiento de los iones, dejando al conductor con una dosis energética por debajo de sus expectativas. Por eso, los modernos paquetes de baterías suelen contar con circuitos de enfriamiento líquido o ventilación forzada que encapsulan la celda entre 15 °C y 35 °C (Dambra, 2023).

La profundidad de descarga, y no solo la temperatura, sentencia la longevidad del conjunto; llevar la carga por debajo del 20 % incita al material activo a sufrir. En cambio, ceñir el estado de carga entre el 20 % y el 80 % extiende la vida útil y, en el balance final, aligera el costo total de operar un vehículo eléctrico.

2.2.Estado de carga (SOC) y estado de salud (SOH)

El estado de carga, combinado abreviado como SOC, mide el voltaje restante en una celda y lo expresa como un porcentaje de su capacidad máxima. En paralelo, el estado de salud (SOH) informa acerca de la fracción de esa capacidad original que la batería realmente conserva después de varios ciclos de uso. Obtener ambas cifras exige recurrir a modelos matemáticos atractivos, desde circuitos equivalentes hasta filtros de Kalman refinados para detección en tiempo real (Plett, 2004).

Durante el reacondicionamiento, monitorear el SOC junto al SOH se vuelve crítico, pues cualquier elemento que caiga por debajo del 70% de salud se considera poco confiable para aplicaciones de tracción (Lu et al., 2013).

La naturaleza no lineal de la descarga en baterías de níquel-metal hidruro, acentuada por la intervención de factores ambientales, convierte la determinación exacta del estado de carga (SoC) en una tarea técnicamente ardua. Entre los procedimientos más arraigados se encuentra la integración de Coulomb, que suma la corriente medida durante un intervalo, y la referencia al voltaje de circuito abierto (OCV), que empareja los niveles de reposo eléctricos con la capacidad interna del acumulador (Yang, 2021).

Ambas aproximaciones no están exentas de inconvenientes: el procedimiento de Coulomb tiende a acumular errores y exige calibraciones frecuentes, mientras que el método

OCV exige largos períodos de inactividad para ofrecer lecturas confiables. En respuesta a tales limitaciones, los algoritmos adaptativos contemporáneos, como el filtro de Kalman extendido y diversos filtros de partículas, entrelazan señales de medición dispares y utilizan modelos de baterías dinámicos que reflejan fenómenos de histéresis, relajación del voltaje y dependencia térmica (Quintero, 2021).

El estado de salud de una batería, habitualmente abreviado como SOH, representa más que un simple indicador numérico. En la práctica, es un retrato del envejecimiento global del electroquímico, tejido por varias formas ocultas de erosión. Desde la pérdida de níquel o de metal activo al engrosarse la capa SEI, pasando por el quebranto mecánico que dispersa el material activo en los electrodos, hasta la degradación del electrolito que encarece la resistencia interna, cada mecanismo deja su huella en el rendimiento final (Quintero, 2021). Por tradición, se ha calibrado el SOH con pruebas de capacidad completas, y eso exige ciclos largos de carga y descarga, una rutina que, en el día a día, resulta demasiado lenta para aplicaciones donde cada minuto cuenta.

Para acortar el horizonte de evaluación, muchos ingenieros han apostado por la espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS). Este método físico-químico envía pequeñas ondas de corriente alterna a distintas frecuencias y de inmediato traduce la respuesta eléctrica en cambios discernibles de resistencia y otros parámetros de salud interna (Dambra, 2023). Otras líneas de trabajo más recientes ensayan conexiones entre ciencia de datos y energía: algoritmos de aprendizaje automático alimentados con historias de degradación pasadas cruzan en tiempo real registros de temperatura, corriente, voltaje y antigüedad de la celda para proyectar un SOH futuro y, a menudo, cerrar así la brecha entre el laboratorio y el entorno práctico.

2.3.Ciclo de vida de las baterías de níquel-metal

El ciclo de vida de una batería de ion de níquel-metal está compuesto por múltiples cargas y descargas hasta que su capacidad cae por debajo de un umbral funcional. Los factores que afectan la vida útil incluyen la temperatura, la profundidad de descarga (DoD), el número de ciclos, y las corrientes de carga (Wang et al., 2011). Este concepto es clave para establecer criterios técnicos de selección de celdas reutilizables durante el proceso de reacondicionamiento.

La degradación de las baterías de níquel-metal sigue un patrón predecible que puede modelarse utilizando funciones matemáticas que relacionan la pérdida de capacidad con el tiempo y los factores de estrés operativo (Martínez y otros, 2024). El envejecimiento del calendario es independiente del uso y se ve afectado principalmente por la temperatura de almacenamiento y el estado de carga mantenido a lo largo del tiempo.

Las investigaciones han demostrado que almacenar las baterías con una carga del 100 % a altas temperaturas puede acelerar significativamente la degradación de las baterías, mientras que almacenarlas con una carga del 40 al 60 % a temperaturas moderadas puede prolongar significativamente su vida útil (Iza, 2020).

El envejecimiento del ciclo, por otro lado, está directamente relacionado con el uso efectivo de la batería y se ve afectado por la profundidad de descarga, las corrientes de carga y descarga y las condiciones de uso específicas. La relación entre la profundidad de descarga y la vida útil generalmente sigue una ley de potencia, donde las descargas más superficiales dan como resultado más ciclos utilizables, aunque la energía total manejada puede variar.

Los mecanismos físicos y químicos que limitan la vida útil de la batería son diversos y actúan simultáneamente en diferentes escalas de tiempo. A nivel microscópico, la intercalación repetida de iones de níquel-metal provoca tensiones mecánicas en la estructura cristalina del material activo, especialmente en los ánodos de grafito, que pueden expandirse en volumen hasta un 10% cuando están completamente cargados. Esta tensión puede provocar la rotura de partículas y la pérdida de contacto eléctrico, reduciendo la capacidad efectiva (Cádiz, 2022).

En el cátodo, la disolución del metal de transición y los cambios estructurales irreversibles conducen a una pérdida gradual de capacidad. La formación y evolución de la capa SEI consume continuamente níquel-metal activo, especialmente en condiciones de alta temperatura o sobrecarga. La electrólisis forzada por voltajes elevados origina subproductos que suelen adherirse a la superficie de ambos electrodos; ese empaste eleva la resistencia interna y frena el intercambio de carga (Cádiz, 2022). Por esa razón, habituarse a estas reacciones secundarias abre camino a tácticas de control que amplían la duración útil de la batería y señalan cuándo es sensato reacondicionarla o retirarla del servicio.

2.4. Técnicas de diagnóstico y balanceo

El diagnóstico de celdas se basa en pruebas como:

- Medición de voltaje individual.
- Pruebas de resistencia interna (impedancia).
- Pruebas de carga-descarga controlada.

Una vez detectadas las celdas defectuosas, se procede a su reemplazo y al balanceo pasivo o activo del módulo, con el fin de igualar las capacidades de carga de todas las celdas y prevenir futuras fallas prematuras (Barré et al., 2013).

En los últimos años, los laboratorios han pulido métodos de imagen molecular que hojean el estado de las células individuales con la misma precisión que un patólogo revisa un corte histológico. Las lecturas de voltaje, aunque imprescindibles, sólo revelan la mitad del relato: es necesario capturarlas en reposo y bajo carga si se busca una narrativa coherente sobre el comportamiento de la batería. Tras dejar el sistema reposar alrededor de dos horas, el voltaje de circuito abierto cuenta lo que queda de carga, y una prueba en condiciones de estrés muestra en qué medida la celda puede responder cuando realmente se le exige (Waag et al., 2013).

Otro canal de diagnóstico se abre con la espectroscopía de impedancia electroquímica. Esta técnica baraja frecuencias que van de los milihercios a los kilohercios y, al hacerlo, separa la huella de cada proceso fisicoquímico involucrado, desde los matices del electrolito hasta la salud de los electrodos y sus fronteras interfaciales. Identificar esas firmas permite señalar las zonas de degradación antes de que el dispositivo caiga en el campo (Meddings et al., 2020).

Las pruebas de carga y descarga controladas siguen siendo el patrón de oro para conocer cuánta energía puede entregar realmente una batería. Ejecutarlas, no obstante, exige paciencia y un bloque de tiempo que pocas veces se reserva con gusto. Protocolos como el de USABC- que trabajan con descargas a $C/3$ en condiciones de abrigo térmico, un lapso de relax y luego una recarga a corriente fijada- han sido cannon en el sector (Bloom et al., 2001).

Por su parte, la prueba de pulso de potencia híbrida (HPPC) del estándar FreedomCAR lanza ráfagas cortas de corriente y mide qué tan rápido la batería puede soltarse o atraer energía. Los ingenieros automotrices la adoran porque simula al milímetro las exigencias de un arranque o de un avance en carretera (Laboratorio Nacional de Idaho, 2010).

Al mismo tiempo, los sistemas de equilibrado de celdas han recorrido un trayecto largo y curiosamente divergente. El viejo truco pasivo de quemar resistencia en la celda más cargada aún aparece en los manuales, aunque se reconocen su ineficiencia y la fuga de un 5 a un 10 por ciento del total (Omariba et al., 2019).

Por otro lado, los sistemas de balanceo activo utilizan convertidores DC-DC, capacitores o inductores para redistribuir la energía entre celdas, logrando eficiencias superiores al 90% y reduciendo significativamente los tiempos de balanceo (Gallardo-Lozano et al., 2014). Las tecnologías emergentes incluyen el equilibrio predictivo basado en algoritmos de aprendizaje automático que pueden predecir desequilibrios futuros y optimizar los ciclos de equilibrio (Shang et al., 2020).

2.5. Modelos matemáticos y simulaciones

La simulación del funcionamiento de las baterías se ha convertido en una herramienta científica imprescindible en la actualidad. Ingenieros y académicos recurren al modelo Rint, al esquema de Thevenin y configuraciones electroquímicas más exhaustivas para examinar lo que sucede dentro de una celda bajo distintas tensiones y temperaturas. Plataformas como MATLAB/Simulink o el Battery Design Module de ANSYS permiten llevar esos diagramas al plano práctico, de forma que el comportamiento tras una reparación puede ser anticipado con razonable certeza (Hu et al., 2012).

Los planteamientos matemáticos sobre baterías se organizan por niveles de detalle y finalidad. Los circuitos equivalentes, entre los que destacan el modelo de resistencia interna y los de Thevenin de uno y dos órdenes, ofrecen descripciones compactas y poco costosas en términos de cálculo del funcionamiento eléctrico (He et al., 2011).

En el enfoque Rint, la pila se trata como una fuente de voltaje perfecta conectada a una sola resistencia, un esquema útil para chequeos iniciales pero incapaz de reflejar

comportamientos fugaces. El circuito de Thevenin, en cambio, agrega elementos RC que emula la polarización y la relajación de la química interna, logrando así una mejora notable en la estimación de respuestas transitorias (Chen y Rincón-Mora, 2006).

El modelo electroquímico total que surgió de los trabajos fundacionales de Newman y de Tiedemann pinta un cuadro internamente coherente de lo que sucede en la celda: muestra cómo las especies se difunden, cómo la reacción avanza realmente y cómo se distribuyen los potenciales por todas partes (Doyle et al., 1993). Ciertamente es que esos cálculos consumen casi todos los recursos a mano, pero la mirada que consiguen ofrecer sobre ajustes de diseño y rutas de optimización es, todavía hoy, insustituible.

Por su parte, el esquema pseudobidimensional que Doyle y Fuller idearon ha recorrido un largo camino en las simulaciones de baterías de níquel-metal-hidruro; une la difusión esférica dentro de las partículas de electrodo con el transporte de iones que fluye por el electrolito circundante (Fuller et al., 1994).

Las herramientas de simulación modernas han integrado estos modelos en plataformas comerciales y de código abierto. MATLAB/Simulink proporciona un conjunto de bloques de batería que incluye modelos parametrizables y herramientas de estimación de parámetros para diferentes químicas de batería (MathWorks, 2021).

El módulo Battery Design de ANSYS permite a los ingenieros explorar de manera integrada los fenómenos térmicos, mecánicos y electroquímicos que interactúan dentro de una celda o un paquete (ANSYS Inc., 2020). A la par, plataformas de código abierto tales como PyBaMM (Python Battery mathematical modeling offerscen) libertad para ajustar ecuaciones, validar hipótesis experimentales o construir arquitecturas de modelos inéditas (Sulzer et al., 2021).

2.6. Ensayos de laboratorio y pruebas funcionales

Para validar la eficiencia de un proceso de reacondicionamiento, se realizan ensayos controlados en laboratorio y pruebas reales en vehículos. Estas pruebas incluyen:

- Curvas de carga/descarga.
- Ensayos de autonomía.

- Monitorización térmica en operación.

Dichos ensayos permiten determinar la viabilidad funcional del sistema reparado y garantizar que no exista riesgo térmico o de sobrecarga (Zhang et al., 2014).

Los protocolos de laboratorio se anclan a normas internacionales estrictas, una práctica destinada a hacer los resultados fácilmente reproducibles y comparables. En el caso específico de las curvas de carga y descarga, dos referencias predominan son la IEC 62660 y la ISO 12405; ambos documentos exigen, entre otros aspectos, que el ambiente permanezca bajo control, que se utilicen perfiles de corriente estandarizados y que el corte de la prueba se defina con precisión (International Electrotechnical Commission, 2012).

La caracterización de una batería reacondicionada se lleva a cabo a distintas temperaturas, que van de -20C a +60C, y bajo diversas corrientes de descarga, desde C/20 hasta 5C; estos márgenes buscan mapear su comportamiento en todo el espectro operativo (Belt, 2010). Las pruebas de retención de capacidad, por su parte, consisten en ciclos repetidos en condiciones fijas y se prolongan al menos hasta completar los primeros 100 ciclos, plazo durante el cual se observa la estabilidad del sistema reparado.

Los ensayos de autonomía constituyen una evaluación crítica del rendimiento real del sistema reacondicionado bajo condiciones operacionales representativas. Estos ensayos utilizan perfiles de conducción estandarizados como el WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure) o ciclos específicos de la industria que simulan patrones de uso reales (Tutuianu et al., 2015).

La instrumentación incluye medición continua de voltaje, corriente y temperatura de cada módulo, junto con monitorización del rendimiento del vehículo completo. Los criterios de evaluación incluyen autonomía total, eficiencia energética, degradación de potencia máxima y comportamiento bajo condiciones extremas como arranque en frío o conducción en pendientes pronunciadas (Pesaran et al., 2013).

2.7. Tecnología híbrida del Toyota Prius 2009

El Toyota Prius 2009 utiliza un sistema híbrido denominado Hybrid Synergy Drive, que combina un motor de combustión interna con uno o más motores eléctricos. El sistema

está diseñado para aprovechar al máximo la eficiencia energética de ambos tipos de propulsión. La batería de alto voltaje utilizada en este vehículo es del tipo NiMH (níquel-hidruro metálico), pero versiones posteriores ya integran baterías de níquel-metal. No obstante, actualmente se estudia y aplica el reacondicionamiento también a conversiones de níquel-metal para aumentar rendimiento (Toyota Motor Corporation, 2009).

La batería cumple funciones vitales como almacenar energía durante el frenado regenerativo y suministrar potencia al motor eléctrico durante aceleraciones o velocidades bajas. Su estado de salud (SOH) afecta directamente el desempeño del vehículo.

El sistema Hybrid Synergy Drive emplea una transmisión planetaria que permite operar en diferentes modos según las condiciones de conducción. En ciudad, el vehículo puede funcionar exclusivamente con el motor eléctrico hasta velocidades de 40 km/h, maximizando la eficiencia en tráfico urbano (Hermance & Sasaki, 2008).

El paquete de baterías NiMH del Prius 2009 opera a 201.6V nominales y está compuesto por 168 celdas organizadas en 14 módulos. Cada módulo contiene 12 celdas conectadas en serie, proporcionando una capacidad nominal de 6.5 Ah (Miller, 2006). Esta configuración permite un rango de operación entre 40% y 80% de carga para maximizar la vida útil.

La gestión térmica del paquete de baterías utiliza ventilación forzada desde el habitáculo del vehículo. Este diseño mantiene las celdas en un rango de temperatura óptimo entre 25°C y 35°C durante operación normal (Sasaki, 2005). El sistema de monitoreo supervisa continuamente voltajes individuales y temperatura de cada módulo.

Las conversiones a tecnología de níquel-metal en vehículos Prius existentes han demostrado mejoras significativas en capacidad y peso. Estas modificaciones pueden incrementar la autonomía eléctrica hasta un 60% mientras reducen el peso del paquete en aproximadamente 40% (Kromer & Heywood, 2007).

2.8.Fallas comunes en baterías y diagnóstico técnico

Las fallas más comunes en baterías híbridas incluyen: desequilibrio de voltajes entre celdas, pérdida de capacidad, sobrecalentamiento, sulfatación y degradación de los

electrodos. El diagnóstico técnico se realiza mediante herramientas como escáneres OBD-II, medidores de voltaje individual y sistemas de balanceo de celdas (Piller, Perrin & Jossen, 2001). El reacondicionamiento busca restaurar el balance energético y reemplazar celdas defectuosas, extendiendo así la vida útil total de la batería.

El desequilibrio de celdas se manifiesta cuando las diferencias de voltaje entre módulos superan los 0.5V durante operación normal. Esta condición activa códigos de falla P0A80 y P3000 en el sistema de diagnóstico (Burke & Miller, 2009). La detección temprana es crucial para prevenir daños mayores al paquete completo.

La pérdida de capacidad progresiva afecta la eficiencia del vehículo cuando el SOH desciende por debajo del 70%. Los síntomas incluyen menor autonomía eléctrica, mayor dependencia del motor de combustión y reducción en la recuperación de energía durante frenado (Gao et al., 2007).

El sobrecalentamiento de módulos específicos indica fallas internas o problemas de ventilación. Temperaturas superiores a 50°C durante operación normal sugieren resistencia interna elevada o cortocircuitos parciales (Takahashi et al., 2006). La termografía infrarroja permite identificar puntos calientes específicos.

Los escáneres especializados como el Toyota Techstream proporcionan datos detallados del sistema híbrido, incluyendo voltajes individuales, corrientes, temperaturas y códigos de falla específicos. Estas herramientas son esenciales para diagnósticos precisos (Toyota Motor Corporation, 2010).

2.9.Reacondicionamiento y reparación de baterías de níquel-metal

El reacondicionamiento de baterías implica varios procesos técnicos: diagnóstico, desmontaje, limpieza, reemplazo de celdas dañadas, balanceo, pruebas de carga y verificación final del estado de salud. Esta práctica ha ganado relevancia por su impacto positivo en la reducción de residuos electrónicos, el ahorro económico frente al reemplazo completo y la conservación de recursos naturales (Gaines, 2014).

Además, en muchos países ya existen normativas y protocolos técnicos sobre la manipulación segura de baterías de níquel-metal, tanto en talleres automotrices como en centros de reciclaje.

El proceso de desmontaje requiere equipos de seguridad específicos y herramientas aisladas debido a los altos voltajes involucrados. Las normas ISO 26262 establecen protocolos de seguridad funcional para sistemas automotrices de alto voltaje (International Organization for Standardization, 2018).

La limpieza de contactos y conexiones utiliza solventes dieléctricos especializados para remover corrosión y depósitos. Esta etapa es crítica para restaurar la conductividad óptima entre celdas y sistemas de monitoreo (Harper et al., 2019).

El balanceo activo post-reacondicionamiento emplea convertidores DC-DC para igualar las cargas entre celdas nuevas y remanentes. Este proceso puede tomar hasta 48 horas para paquetes grandes pero es esencial para la longevidad del sistema reparado (Cao et al., 2008).

Las pruebas de validación incluyen ciclos de carga-descarga a diferentes corrientes, pruebas de capacidad bajo temperatura variable y evaluación de resistencia interna. Estos ensayos confirman que el paquete reacondicionado cumple al menos el 80% de las especificaciones originales (Bloom et al., 2005).

La trazabilidad del reacondicionamiento debe documentar todas las celdas reemplazadas, parámetros de prueba y certificaciones de calidad. Esta información es crucial para garantías y mantenimiento futuro (Lander et al., 2021).

2.10. Impacto ambiental y sostenibilidad

La disposición inadecuada de baterías de níquel-metal puede generar serios impactos ambientales, como la contaminación de suelos y fuentes hídricas debido a la presencia de níquel-metal, cobalto y otros metales pesados. Por ello, el reacondicionamiento se presenta como una estrategia clave en la economía circular aplicada a la industria automotriz, reduciendo el volumen de residuos peligrosos y contribuyendo a una movilidad más sostenible (Peters et al., 2017).

El reacondicionamiento puede extender la vida útil de baterías automotrices entre 5 y 8 años adicionales cuando se aplica correctamente. Esta extensión reduce significativamente la demanda de materias primas críticas como níquel-metal, cobalto y níquel (Richa et al., 2014). La huella de carbono del reacondicionamiento es aproximadamente 60% menor comparada con la fabricación de baterías nuevas. Este beneficio se debe principalmente a la reducción en procesos de minería y refinación de materiales (Dunn et al., 2012).

Los costos del reacondicionamiento representan típicamente entre 30% y 50% del precio de una batería nueva, ofreciendo alternativas económicas viables para propietarios de vehículos híbridos (Neubauer & Pesaran, 2011). Esta accesibilidad económica facilita la adopción masiva de tecnologías híbridas.

Las regulaciones ambientales en la Unión Europea requieren que al menos 65% del peso de las baterías automotrices sea reciclado o reacondicionado. Estas normativas impulsan el desarrollo de industrias especializadas (European Commission, 2020).

2.11. Contexto ecuatoriano

En Ecuador, el crecimiento de vehículos híbridos e importados ha incrementado la necesidad de servicios técnicos especializados en sistemas eléctricos y de baterías. Sin embargo, el mercado del reacondicionamiento aún está en fase de desarrollo, lo que representa una oportunidad para emprender, innovar y generar soluciones locales adaptadas a la realidad tecnológica y económica del país (AEADE, 2023).

El parque automotor híbrido en Ecuador creció 340% entre 2018 y 2022, alcanzando aproximadamente 15,000 unidades registradas. Esta expansión genera una demanda creciente de servicios de mantenimiento especializado (INEC, 2022). La importación de baterías nuevas enfrenta aranceles del 15% más IVA, elevando significativamente los costos de reemplazo. El reacondicionamiento local podría reducir estos costos hasta 40% al eliminar gravámenes de importación (SENAE, 2021).

La capacitación técnica especializada es limitada en el país, con menos de 50 técnicos certificados en sistemas híbridos a nivel nacional. Esta escasez representa tanto un desafío como una oportunidad de desarrollo profesional (SECAP, 2023). Las universidades técnicas

ecuatorianas han comenzado a incorporar programas de electromovilidad en sus currículos. La Escuela Politécnica Nacional y la Universidad de las Fuerzas Armadas lideran estas iniciativas (Ministerio de Educación, 2022).

La regulación ambiental ecuatoriana clasifica las baterías de vehículos como residuos peligrosos, requiriendo gestión especializada. Esta normativa favorece el desarrollo de centros de reacondicionamiento autorizados (Ministerio del Ambiente, 2021).

2.12. Características químicas y físicas de las baterías NiMH

Las baterías de Níquel-Metal Hidruro (NiMH) son acumuladores que pueden ser reutilizados y que utilizan hidruro de metal como sustancia activa en el ánodo, además de óxido de Níquel (NiOOH) en el cátodo. En el momento en que se hace una carga, el hidróxido de Níquel se transforma en hidruro de Níquel y el hidróxido de Metal se reduce, transformando la energía eléctrica en el momento en que el procedimiento se invierte en la descarga. La respuesta del planeta es muy reversible, de modo que es posible realizar múltiples ciclos de carga y descarga sin que se note una pérdida grande de capacidad, no obstante con el pasar del tiempo es posible desarrollar efectos de memoria y decadencia de desempeño (Tycorun Energy, 2024).

Físicamente, estas baterías están formadas por numerosas celdas individuales que están conectados en cadena, encerradas en placas que pertenecen a un mayor conjunto, tal como sucede en el modelo Toyota Prius del 2009. Cada celda cuenta con una fuerza nominal de aproximadamente 1.2 voltios, y una colección completa de celdas puede llegar a poseer más de 200 voltios, en función del número total de ellas. El diseño de la estructura se orienta a aumentar la cantidad de energía y la disipación térmica, ya que la temperatura es una variable que tiene un gran efecto en la capacidad (Huntkey, 2023).

Una ventaja fundamental de las baterías NiMH es que tienen una mayor capacidad de alojamiento de energía en comparación a las baterías de Níquel-Cadmio (NiCd), además su influencia ambiental es la más baja en comparación a las de Níquel (Níquel). Además, acostumbran a tener una buena tolerancia al sobreesfuerzo, pese a que se aconseja el empleo de sistemas de administración (BMS) para evitar que se descompense o se desplome de manera temprana (ScienceDirect, 2017).

En referencia a la duración, las baterías NiMH pueden contar con entre mil y dos mil ciclos de carga y descarga si son adecuadamente conservadas. Las causas como la temperatura del ambiente, la rapidez con la que se carga, la magnitud con la que se descarga y la estabilidad entre las celdas tienen una influencia indirectamente en su extensión de vida. En la ocasión del Toyota Prius, la carátula de la batería está pensada para funcionar eficazmente por lo menos 8 a 10 años, no obstante con el pasar del tiempo es posible que requiera un reacondicionamiento (TME, 2021).

Con lo que, en términos electroquímicos, las baterías NiMH poseen una capacidad de entre 60 y 120 Wh/kg, esto las vuelven adecuadas para usos mixtos en los que es necesario un equilibrio entre potencia, duración y costo. A pesar de que en un principio fueron desplazadas en ciertas versiones por las baterías de ion-litio, las NiMH siguen siendo enormemente usadas en automóviles de tipo híbrido, como el Prius, debido a su fiabilidad y la madurez de sus componentes (Ufine, 2024).

2.13. Métodos de reacondicionamiento aplicados internacionalmente

El restado de la capacidad de las baterías NiMH se produce a través de procedimientos de física y electricidad que corrijan las equivocaciones más frecuentes, como por ejemplo la desmesura, la sulfatación o el incremento de la dureza del interior. A nivel mundial, uno de los procedimientos más utilizados es el procedimiento de carga y descarga con control, en el que cada sección o celda se sometió a un conjunto de ciclos de electricidad para reforzar su capacidad de almacenamiento y eliminar su memoria de carácter químicos (Soma Tech INtl, 2024).

Otro método que se utiliza ampliamente es el reemplazo de placas dañadas. Este procedimiento implica estudiar en cada celda la aptitud, el voltaje y la resistencia de modo individual para determinar aquellas que poseen deterioro de capacidad, falta de uniformidad en el voltaje o alta resistencia. Una vez reconocido el producto, se reemplazan las celdas que tienen características parecidas en términos de capacidad y voltaje, con el fin de sostener el equilibrio del conjunto (PETROSYNC, 2024). Esta habilidad requiere herramientas como medidores de intrínsecas resistencia, osciloscopios y cargadores singulares.

El equilibrio activo o pasivo es otra forma de complementar el método que se busca es igualar el voltaje y la cantidad de carga que tienen todas las celdas del conjunto. A nivel mundial se emplean equilibradores de gran magnitud con el fin de distribuir la energía de

manera uniforme dentro de las celdas, y así reducir el peligro de sobrealimentación en las mismas (Cenace, 2021). Esta costumbre se lleva a cabo en el momento del final del procedimiento de reacondicionamiento, antes de volver a poner el batería del vehículo en condiciones.

También, existen métodos para regenerar la temperatura, en estos se controlan las circunstancias de temperatura con el fin de disminuir la formación de cristales en los electrodos, una conducta común que aumenta la dureza interna. Este procedimiento requiere de cámaras que tienen control de temperatura y se utiliza con mayor frecuencia en lugares como los laboratorios o las tiendas de especialidad (Mohsen, 2020).

En ciertas plantas de reciclamiento de alta calidad se utilizan procedimientos de inteligencia artificial y aprendizaje automático para intuir la duración de cada componente. Esto le da la capacidad de tomar una decisión con mayor exactitud en el caso de que sea necesario reacondicionar o sustituir un grupo de celdas. Estas herramientas están siendo ejecutadas en primer lugar por países como Japón, Alemania y Estados Unidos, y la industria del reacondicionamiento está entre las más adelantadas (Turgay, 2022).

2.14. Seguridad en el manejo de baterías de alto voltaje

El tratamiento de las baterías de gran capacidad, como las del Toyota Prius, posee riesgos importantes si no se siguen las normas de seguridad apropiadas. Estas pilas tienen la capacidad de sobrepasar los doscientos veinte voltios, que es el límite fatal para ocasionar daños graves o incluso la muerte a causa de la electrocución. Debido a esto, es fundamental que el personal que las maneja esté adecuadamente educado y utilice herramientas y protección personal aprobados (Hoenergy, 2024).

Un entorno de trabajo confortable empieza por un espacio bien Ventilado, Puro y libre de objetos de metal que puedan ocasionar caídas accidentales. El empleo de señales de peligro y la separación física del lugar de labor son esenciales para evitar el ingreso no deseado durante las labores de diagnóstico o reemplazo (Delgado, 2018). Además, es importante desconectar el sistema de alta energía de manera correcta antes de cambiar cualquier parte de la batería.

El equipamiento de protección personal (EPP) comprende guantes que aíslan, o mejoran, la clase 0 o superior, los EPP, además de gafas de protección, prendas que no son

estériles y, en ciertas ocasiones, mascarar para resguardarse de la inhalación de gases emitidos por electrolitos deteriorados. Además se sugiere el empleo de mesas de diálisis y herramientas con un refuerzo de aislación específico, ideadas específicamente para realizar trabajos de electricidad de elevadas tensiones (Safe At Work California, 2020).

Otro aspecto fundamental es la manera segura de cambiar a las personas y las cosas. Estas tienen la posibilidad de contener sustancias químicas dañinas y generar calor en el momento en que las usas. Si una fila está dañada o tiene fugas, ha de tratarse como basura riesgosa y seguir los pasos de recolección, envasado y disposición final acordados por las legislaciones del medio ambiente y de sanidad de la localidad y del mundo (Brown, 2023).

Por lo que, existe un plan de acción de emergencia específico en caso de incendio, derrame de químicos o descarga eléctrica (IBCI, 2023). Esto implica poseer cerca de los primeros auxilios para emergencias de tipo eléctrico, además de tener a disponibilidad extintores de la clase D para metales. El acatamiento exacto de estas reglas asegura una circunstancia segura para la reinserción y evita percances en la duración de baterías.

2.15. Costos y viabilidad económica del reacondicionamiento

El reacondicionamiento de baterías NiMH constituye una alternativa factible desde el punto de vista económico en comparación a la adquisición de una batería nueva, sobre todo para los modelos de automóviles híbridos como el Toyota Prius del año 2009. Una nueva batería, en caso de ser original, es posible que tenga un precio que vaya desde los \$2.000 hasta los \$9.000, en dependencia del país, el comerciante y la magnitud de deterioro de la misma (Ministerio de Trabajo y Economía Social, 2019).

Este procedimiento pone a disposición de los usuarios una garantía de extensión de vida para la batería de su vehículo por varios años adicionales, esto representa un importante sustento para el propietario del mismo. Finalmente, muchas compañías ofrecen garantías que van desde los 6 meses hasta los 2 años respecto a la prestación de reacondicionamiento, esto incrementa la seguridad del cliente y reduce el peligro económico asociados a la reparación (Vaca, 2019).

En términos de inversión inicial, el proceso de renovación requiere la compra de herramientas especializadas como son los analizadores de energía, los cargadores, los osciloscopios y los medidores de resistencia. A pesar de ello, en lugares o talleres de gran

trabajo técnico, el precio de estos dispositivos se reduce rápidamente. También, este tipo de servicio representa una posibilidad de ganar dinero en grande en comercios donde la presencia de automóviles de tipo híbrido es ascendente (Mena, 2013).

A partir del punto de vista del medio ambiente, la renovación también ofrece provechos económicos por fuera de lo directos: En los países en donde la legislación permite incentivos fiscales o bonificaciones por el cuidado del medio ambiente, es posible que se generen menos residuos peligrosos y se prolongue la vida útil de las baterías (Delgado, 2018).

Con lo que, el reacondicionamiento no solo es técnicamente posible, sino que además representa una solución con sentido económico y sustentable para los propietarios de automóviles que tienen una batería híbrida. Genera ingresos para los comercios de automóviles especializados en soluciones sustentables, a la vez que mantiene la capacidad del vehículo a un precio asequible.

2.16. Software y herramientas de diagnóstico avanzadas

El diagnóstico exacto de las baterías de tipo híbrido requiere de la utilización de herramientas electrónicas avanzadas y de software específico que posibilita examinar la condición de cada uno de los componentes, los módulos y la totalidad de la batería. Los más populares de los programas utilizados por los profesionales se encuentran el Techstream de Toyota, el Dr. Prius, el Asistente de Híbrido, y los sistemas de diagnosis OBDII que son compatibles con los automóviles híbridos. Estas herramientas posibilitan la lectura de características como voltajes, temperaturas, resistencias, ciclos de carga y descarga, y códigos de error (Suhail, 2024).

Uno de los softwares más usados para examinar la condición de la batería de un auto híbrido de Toyota es el Dr. Prius, el cual, en compañía de un adaptador de Bluetooth OBDII como el ELM327, posibilita examinar en real time la salud de todas las piezas. Este estilo de análisis hace posible la identificación temprana de componentes endebles o descompensados, esto ayuda a planificar el reacondicionamiento antes de que se genere una pérdida grave que influya la capacidad del vehículo (Astera, 2023).

Los escáneres automotrices más novedosos además posibilitan realizar pruebas en movimiento de los sistemas de administración de energía (Battery Management System,

BMS), representando pruebas de carga, controlando la refrigeración y evaluando la respuesta del sistema a diferentes condiciones de uso. Esto es importante para garantizar la operatividad del sistema luego de haber hecho modificaciones o reparaciones a los componentes (Fractal, 2023).

Además, existen software de simulación y registro de información que posibilitan almacenar historial de desempeño y comportamiento de la batería en diferentes circunstancias. Estos números son interesantes no sólo desde el punto de vista de la preservación preventiva, sino también desde el punto de vista de las investigaciones universitarias y la comparación de diferentes maneras de reacondicionar (Chuwi, 2023).

El empleo de estas herramientas requiere de conocimientos técnico-legales avanzados, debido a que una errónea comprensión de las cifras puede producir diagnósticos incorrectos. Debido a eso, paulatinamente se incentiva la formación de especialistas en estos temas que tienen la capacidad de trabajar de manera segura y con eficiencia en sistemas de alta energía compuestos por dos partes (Oracle, 2021).

2.17. Políticas públicas y regulación técnica en Ecuador

En Ecuador, la movilidad eléctrica ha comenzado a tomar importancia en los últimos años, propulsada por el apremio de disminuir las cifras de contaminación y la dependencia de fuentes de energía fósiles. El marco legal todavía se encuentra en progreso, sin embargo existen normas y políticas públicas que apoyan el uso de automóviles híbridos y eléctricos, dentro de ellas se encuentran las exenciones de aranceles e impuestos para la importación de estos automóviles y sus complementos, comprendida la batería de propulsión (CPCCS, 2021).

El Ministerio de Energía y Minas, en compañía del Ministerio del Ambiente y de la ARCERNR, ha iniciado proyectos experimentales y programas de estímulo para el desplazamiento sustentable. Sin embargo, la legislación específica acerca del reacondicionamiento de baterías es todavía limitada. No hay pautas específicas de bioseguridad o preservación del medio ambiente que rijan la manera en que se maneja, se repara o se desecha las baterías NiMH, esto deja una brecha importante en términos de protección y preservación del ecosistema (Senplades, 2020).

En referencia a la seguridad de la industria, el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) ha comenzado a promover normas relativas a automóviles de cero emisiones, sin embargo todavía es necesario un complemento que tenga en cuenta métodos para los comercios que reparen baterías de automóviles. Ni siquiera hay acreditaciones oficiales para especialistas en sistemas de elevadas tensiones, esto genera complicaciones en la profesionalidad del sector y también tiene como objetivo proteger al usuario final (Ministerio de Telecomunicacion y de la Sociedad de la Informacion, 2025).

A nivel ambiental, el Ministerio del Ambiente cree que las baterías gastadas deben ser valoradas como residuos peligrosos. A pesar de ello, en la realidad, la recolección y tratamiento de estos componentes es escasa, esto representa un peligro para el ecosistema. La puesta en marcha de lugares oficiales de reciclamiento puede mitigar esta dificultad, incentivando una economía circular en la industria automotriz (Secretaria Nacional de Planificacion, 2024).

Con esto, el progreso de la legislación está sujeto a la presión de la comunidad, la petición del consumidor y la colaboración entre el sector público y el privado. La incorporación de normas específicas sobre la renovación y la reparación de baterías de tipo híbrido contribuirá a la nación a estar en sintonía con los principios globales de sustentabilidad, energía renovable y movilidad inteligente (Égüez, 2024).

2.18. Tendencias futuras en baterías híbridas

La evolución de las baterías que contienen hidrógeno ha sido significativamente grande en los últimos decenios, y el futuro se dirige a provechos más sustanciosos, livianos y sustentables. Si bien las baterías NiMH han demostrado ser capaces en modelos como el Toyota Prius, la corriente global se orienta en la utilización de baterías de ion-litio (Li-ion), que poseen una mayor capacidad de energía, un peso más bajo y una mayor duración en el tiempo (Dendolla, 2023). Estas pilas están ingresando a nuevos automóviles de propulsión a chorro y de energía eléctrica.

Una de las zonas de progreso más esperanzadoras es la de las baterías de estado sólido, las cuales reemplazan a las de estado líquido y poseen una seguridad mayor, una vida útil más extensa y un riesgo de incendio menor. empresas como Toyota y Samsung ya están haciendo inversiones en el desarrollo de proyectos de investigación sobre este tipo de

baterías, las cuales tienen como objetivo su fabricación para el mercado comercial a partir de 2027 (Nichols, 2024).

También, la tecnología inteligente está adquiriendo una importancia cada vez mayor en la administración de carretes. Los BMS avanzados utilizan procedimientos de predicción para economizar la carga, evitar errores y aumentar la vida útil de las baterías. Esto asimismo incrementa la capacidad del vehículo y disminuyen las necesidades de reparaciones de mantenimiento, esto representa un gran avance en la fiabilidad de las baterías de energía alternativa (CICEG, 2024).

Otro método en boga es la utilización y recolección inteligente de baterías, esto genera los sistemas de vida segunda. Las baterías que ya no son óptimas para ser usadas en automóviles es posible que sean adaptadas a fin de almacenar energía en forma de circuito, esto va a reducir la magnitud del impacto ecológico además de fomentar la economía circular (Invergy, 2023).

Con lo que, las baterías de tipo híbrido del futuro serán más protegidas, inteligentes y sustentables. A pesar de que las NiMH se seguirán utilizando en varios años en versiones vigentes, la evolución de la tecnología está ocasionando que sean más sustanciosas y re Definan el área de la movilidad (Rast Teknoloji, 2023). Para los expertos en talleres y los técnicos, ser actualizados será significativo para continuar brindando servicios de reparaciones que sean competitivos y en armonía con las novedosas tecnologías.

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOLOGIA

4.1. Metodología

La metodología en la que se fundamenta este estudio es experimental y técnico, con el objetivo de determinar la viabilidad del reacondicionamiento de baterías en un auto Toyota Prius del año 2009. En un principio, se realizará un estudio en conjunto utilizando un escáner automotriz OBD-II con el fin de hallar errores del sistema de propulsión híbrido.

Además, se individualizará la medida de voltajes y resistencias presentes en cada celda con el fin de delimitar aquellas que están deterioradas o no se encuentran dentro de las zonas operativas esperadas por la marca. Esta etapa dará lugar a la identificación de los componentes que requieren atención y la determinación del estado de salud (SOH) de la misma.

Además, se ejecutará el procedimiento de restauración, que consistirá en el reemplazo de las baterías dañadas por otras en buenas condiciones y que se ajusten a las necesidades técnicas del productor. Se calculará la energía total que tiene cada uno de los grupos de modo que se distribuirá de manera uniforme la carga entre los distintos grupos. Finalmente, se ejecutarán pruebas funcionales luego de la reparación, consistiendo en mediciones de corriente bajo carga, análisis de la energía consumida y determinando la capacidad del vehículo en condiciones reales de utilización. Estas pruebas harán que la validación de la efectividad del reacondicionamiento y la influencia sobre el desempeño total del sistema de energía alternativa sea correcta.

4.2. Materiales

4.2.1. Elementos de construcción

A continuación se detallan los elementos necesarios para retirar la batería del vehículo:

- **Escáner automotriz OBDII**

Este dispositivo es fundamental para diagnosticar el estado general del sistema eléctrico y la batería del vehículo. Permite acceder a los datos de los módulos electrónicos, identificar códigos de error relacionados con la batería y el sistema de gestión de energía, así como verificar el voltaje y corriente en tiempo real. Es imprescindible para asegurarse de que no existan fallos o interferencias antes y después del retiro de la batería.

- **Multímetro digital**

Un multímetro digital suele ser el primer instrumento que toma el técnico. Formado por una simple pantalla numérica y un par de puntas de prueba, ejecuta mediciones de voltaje, corriente y resistencia en segundos. Esa versatilidad quita el sonido de las luces a bordo de la batería y avisa si alguna celda se esconde tras un bajo voltaje o una falla interna. Si la lectura es firme, el diagnóstico preliminar avanza, si tambalea, la revisión se detiene.

- **Medidor de resistencia interna de baterías (analizador especializado):**

Hay equipos que nunca se ven en el estante del ferretero cotidiano, y el medidor de resistencia interna es uno de ellos. El analizador especializado lanza una corriente pulsada y mide la impedancia de cada celda NiMH en el acto. Resultados altos pueden gritar sulfatación, deterioro o daño oculto, alertando sobre la pieza que debe salir antes de volver a armar el paquete.

- **Osciloscopio digital**

El osciloscopio digital, siempre algo intimidante, traduce vista de grados en columnas y pulsos. Se le exige que siga la caída de voltaje en milisegundos cuando la batería recibe una carga fugaz, ofreciendo pruebas que el multímetro rara vez captura. Esa visualización temporal puede salvar un proyecto entero al revelar un comportamiento que en reposo parece cálido.

- **Cargador de baterías NiMH con función de descarga**

El dispositivo brinda una carga automatizada, pero su rasgo distintivo radica en la habilidad de extraer energía de la celda bajo supervisión. La descarga programada permite calcular la capacidad real, al tiempo que iguala el voltaje entre las celdas y previene el desequilibrio interno. Tal ejercicio periódico, calificado como mantenimiento cíclico, prolonga el rendimiento del conjunto y certifica su confiabilidad antes de ser nuevamente instalado o guardado.

- **Equipo de seguridad:**

La manipulación de baterías de alto voltaje requiere un entorno controlado y medidas estrictas de seguridad para evitar accidentes eléctricos o químicos:

- Área de trabajo bien ventilada para dispersar gases liberados por la batería.
- Espacio libre de materiales inflamables o herramientas metálicas que puedan generar cortocircuitos.
- Uso obligatorio de guantes aislantes de alta calidad para proteger contra descargas eléctricas.
- Gafas de seguridad para evitar daños oculares ante posibles fugas, salpicaduras o partículas.
- Ropa protectora adecuada para prevenir lesiones.

- **Equilibrador de batería de alto voltaje**

Equipo especializado que permite realizar el balanceo o balance de carga entre las celdas del pack de batería. Esto es fundamental para mantener la uniformidad en el voltaje y estado de carga de cada celda, evitando sobrecargas o descargas profundas que puedan dañarlas. El equilibrador ayuda a optimizar el rendimiento general y la vida útil del sistema de batería

4.2.2. Normativa

Dado que el Toyota Prius 2009 emplea un sistema híbrido de segunda generación (Toyota Hybrid System II), se siguieron rigurosamente los protocolos de seguridad establecidos por el fabricante y las buenas prácticas de ingeniería para trabajar con sistemas de alto voltaje. La manipulación de la batería híbrida y sus componentes presenta riesgos significativos (choque eléctrico, cortocircuitos, liberación de gases o electrolito, etc.), por lo que fue imperativo cumplir las siguientes medidas de seguridad antes, durante y después de cada intervención:

- **Equipo de protección personal:**

Antes de iniciar cualquier tarea, el personal se colocó el equipamiento de seguridad adecuado, incluyendo guantes aislantes de alto voltaje (dieléctricos) y gafas de seguridad.

El uso de guantes dieléctricos y protección ocular fue obligatorio en todo momento al manipular la batería o el cableado de color naranja

- **Desenergización de la batería HV:**

Se llevó a cabo la desconexión segura de la batería de alto voltaje antes de cualquier trabajo. Para ello, se retiró el enchufe de servicio ("Service plug"), que es el dispositivo de desconexión manual de la batería híbrida. El seguro del enchufe de servicio se quitó y mantuvo en posesión del técnico para evitar reconexiones accidentales

Esta acción aísla internamente los módulos de la batería, interrumpiendo el circuito de alto voltaje. Inmediatamente después de quitar el Service plug, se esperó un tiempo mínimo de 5 minutos antes de proceder con el desmontaje o cualquier intervención.

Además, existen varias normativas técnicas y de seguridad que regulan el diseño, reparación y manipulación de baterías de litio, entre ellas:

- **UNE-EN 62133:**

Es una normativa europea que establece los requisitos de seguridad para baterías recargables portátiles, incluidas aquellas utilizadas en aplicaciones de transporte y automoción. Esta norma contempla aspectos críticos como la prevención de cortocircuitos, sobrecalentamiento, fugas de electrolito, explosión o incendio, y especifica ensayos térmicos, eléctricos y mecánicos. La herramienta en cuestión resultó esencial para verificar que las baterías reacondicionadas, a pesar de su segunda vida útil, respetarán los umbrales internacionales de seguridad, sobre todo en materia de aislamiento eléctrico, encapsulado físico y protección de sobrecargas.

- **IEC 62660:**

La norma IEC 62660, publicada por la Comisión Electrotécnica Internacional, fija los protocolos de ensayo para evaluar el rendimiento, durabilidad y confiabilidad de celdas usadas en baterías de tracción en vehículos eléctricos e híbridos. En el caso concreto del Toyota Prius, el texto es particularmente significativo para las unidades de níquel-metal hidruro (NiMH), pues prescribe ciclos de carga-descarga, simulaciones en condiciones térmicas y de corriente extremas, y estudios del comportamiento ante incidentes anómalos. Los lineamientos de esta norma dirigieron el diseño de las pruebas funcionales aplicadas a los módulos reacondicionados, de modo que los resultados finales fueran plenamente comparables con los valores de referencia indicados por el fabricante.

- **SAE J2950:**

La norma SAE J2950, impulsada por la Sociedad de Ingenieros Automotrices, traza un protocolo técnico para validar baterías reacondicionadas. Entre sus exigencias se encuentran una inspección ocular detallada, pruebas de capacidad, mediciones de la resistencia interna y procedimientos de equilibrio. Gracias a estos criterios, el proceso de reacondicionamiento puede devolver una batería a la circulación con niveles de confiabilidad y durabilidad que rivalizan con los de una unidad recién salida de fábrica.

- **ADR/UN 38.3:**

El capítulo ADR/UN 38.3 forma parte del marco europeo que regula el transporte por carretera de mercancías peligrosas, y cubre específicamente las baterías recargables, incluidas las de níquel-metal hidruro. La norma impone pruebas de presión, vibración, impacto, cortocircuito y variaciones térmicas para descartar cualquier riesgo durante el desplazamiento. Aunque el reacondicionamiento proyectado se limita al ámbito local, adherirse a este estándar facilita la distribución futura o exportación de los paquetes y asegura una manipulación responsable a lo largo de toda la cadena logística.

La reciente promulgación de estas normas aporta un soporte técnico, normativo y procesal al reacondicionamiento de baterías híbridas en Ecuador. Tal marco, inspirado en prácticas internacionales consolidadas, busca que el producto final responda a exigencias rigurosas de calidad, seguridad y sostenibilidad. Las disposiciones, por otro lado, precisan los pasos del reacondicionamiento y definen los ensayos posteriores a la intervención para certificar que el componente opera sin riesgos.

4.2.3. Diseño

Componentes Automotrices Intervenidos: Durante el proceso de reacondicionamiento se manipularon o revisaron diversos componentes del Toyota Prius relacionados con el almacenamiento y entrega de energía eléctrica de alto voltaje. Los principales componentes intervenidos fueron:

- **Batería de Alto Voltaje (HV):**

Conjunto completo de la batería híbrida NiMH del Prius 2009, con un voltaje nominal de ~201,6 V (compuesto por 28 módulos NiMH de aproximadamente 7,2 V cada uno). Este pack de baterías es el foco principal del estudio, sobre el cual se realizaron las tareas de diagnóstico, desmontaje, evaluación de módulos, reacondicionamiento (carga/descarga) y eventual reemplazo de módulos defectuosos.

- **ECU de Batería (Unidad Electrónica de Control):**

Módulo de control dedicado a la gestión de la batería híbrida. La ECU monitorea parámetros como voltajes de bloques de módulos, temperaturas de la batería y resistencia de aislamiento, y reporta códigos DTC cuando detecta anomalías. Durante el procedimiento, la ECU de batería proporcionó información diagnóstica vital (como el código P0AA6) a través del escáner, y fue re-conectada al finalizar el reacondicionamiento para verificar el correcto balance y funcionamiento del pack.

- **Sistema de Relés Principales (Main Relays):**

Interruptores de alta tensión ubicados dentro del conjunto de la batería HV, que controlan la conexión eléctrica entre la batería y el resto del sistema híbrido. Durante el desmontaje, estos relés principales (contactor de positivo y de negativo) fueron desconectados para aislar la batería. Su estado e integridad de aislamiento también fueron verificados, ya que un relé dañado podría contribuir a fallas de aislamiento según los protocolos de diagnóstico de Toyota

- **Cableado de Alto Voltaje y Conectores:**

Arnés de cables de potencia (identificados por su color naranja) que conectan la batería HV con el inversor de tracción y otros componentes del sistema híbrido. Como parte de la inspección, se revisó el cableado principal en busca de daños en el aislamiento, corrosión en conectores o aflojamiento, ya que cualquier deterioro podría provocar fugas de corriente o altas resistencias de contacto. Se puso especial atención en las conexiones de los módulos dentro del pack (barras colectoras y terminales de unión), limpiándolas y volviéndolas a ajustar durante el reensamblaje.

4.2.4. Vehículo

Durante el proceso de reacondicionamiento se manipularon o revisaron diversos componentes del Toyota Prius relacionados con el almacenamiento y entrega de energía eléctrica de alto voltaje. Los principales componentes intervenidos fueron:

- **Batería de Alto Voltaje (HV):**

Conjunto completo de la batería híbrida NiMH del Prius 2009, con un voltaje nominal de ~201,6 V (compuesto por 28 módulos NiMH de aproximadamente 7,2 V cada uno). Este pack de baterías es el foco principal del estudio, sobre el cual se realizaron las tareas de diagnóstico, desmontaje, evaluación de módulos, reacondicionamiento (carga/descarga) y eventual reemplazo de módulos defectuosos.

- **ECU de Batería (Unidad Electrónica de Control):**

Módulo de control dedicado a la gestión de la batería híbrida. La ECU monitorea parámetros como voltajes de bloques de módulos, temperaturas de la batería y resistencia de aislamiento, y reporta códigos DTC cuando detecta anomalías. Durante el procedimiento, la ECU de batería proporcionó información diagnóstica vital (como el código P0AA6) a través del escáner, y fue re-conectada al finalizar el reacondicionamiento para verificar el correcto balance y funcionamiento del pack.

- **Sistema de Relés Principales (Main Relays):**

Interruptores de alta tensión ubicados dentro del conjunto de la batería HV, que controlan la conexión eléctrica entre la batería y el resto del sistema híbrido. Durante el desmontaje, estos relés principales (contactor de positivo y de negativo) fueron desconectados para aislar la batería. Su estado e integridad de aislamiento también fueron verificados, ya que un relé dañado podría contribuir a fallas de aislamiento según los protocolos de diagnóstico de Toyota.

- **Cableado de Alto Voltaje y Conectores:**

Arnés de cables de potencia (identificados por su color naranja) que conectan la batería HV con el inversor de tracción y otros componentes del sistema híbrido. Como parte de la inspección, se revisó el cableado principal en busca de daños en el aislamiento, corrosión en conectores o aflojamiento, ya que cualquier deterioro podría provocar fugas de corriente o altas resistencias de contacto. Se puso especial

atención en las conexiones de los módulos dentro del pack (barras colectoras y terminales de unión), limpiándolas y volviéndolas a ajustar durante el reensamblaje.

4.2.5. Implementación

En primera instancia se realizó un diagnóstico utilizando el escáner OBD-II conectado al vehículo. Con el interruptor de encendido en modo *IG-ON*, se accedió a la ECU híbrida a través del software de diagnóstico para leer los códigos de falla almacenados. Esta lectura reveló la presencia de códigos DTC relacionados con la batería de alto voltaje. En particular, se encontró activo el código P0AA6, correspondiente a una *falla de aislamiento* en el sistema híbrido.

A continuación, se extrajo el paquete de baterías del compartimiento trasero. Siguiendo el manual de reparación, se desmontaron las cubiertas y elementos de fijación, y se desconectaron los cables de alto voltaje y conectores del ECU de la batería antes de manipular el módulo de baterías. El paquete del Prius 2009 (segunda generación, 2004-2009) consiste en 28 módulos NiMH en serie (168 celdas individuales de ~1,2 V) con un voltaje nominal total de ~201,6 V DC.

También se verificó que ningún cable o barra colectora estuviera haciendo contacto no deseado con el chasis metálico de la carcasa file-aota373hscl27pykqetrzs, ya que tal condición podría ser origen del fallo de aislamiento. Tras estas comprobaciones, se aislaron físicamente los módulos para proceder a las pruebas individuales.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

5.1.Pruebas de campo

5.1.1. Pruebas de voltaje y resistencia interna de cada celda

Con el paquete desmontado, se evaluó el estado de cada módulo NiMH de manera individual. Primero, se midió el voltaje en circuito abierto de los 28 módulos utilizando un multímetro digital calibrado. Los valores de voltaje se compararon entre sí para identificar desviaciones significativas: típicamente, los módulos completamente cargados registran ~7.5-8.0 V, y una caída notable por debajo del promedio podría indicar autodescarga o falla interna en ese módulo.

Valores típicos de resistencia interna por módulo NiMH (Toyota Prius Gen2, 2004–2009):

- En el auto 1milinohm
- Fuera del auto con equipos hasta 8mili ohm está bien
- Más arriba ya no esta funcionando de manera correcta

Tabla 1

Criterios de evaluación del estado de los módulos mediante mediciones de resistencia

• Tipo de medición en el módulo	• Valor de referencia	• Interpretación del estado
• Resistencia interna	• Hasta 8 mΩ	• El módulo se considera en buen estado (medido fuera del auto).

• Tipo de medición en el módulo	• Valor de referencia	• Interpretación del estado
•	• Más de 8 mΩ	• El módulo se considera defectuoso y no es válido para su uso.
• Resistencia de aislamiento	• Resistencia baja (no infinita)	• Indica una falla de aislamiento o fuga de corriente en la celda.

Nota. Datos referenciales obtenidos del análisis técnico del proceso de reacondicionamiento de baterías NiMH.

5.1.2. Medición indirecta con osciloscopio digital

Este procedimiento fue parte esencial del diagnóstico funcional de cada módulo NiMH de la batería del Toyota Prius 2009, y consistió en la aplicación de una carga controlada a cada uno de los 28 módulos de forma individual, utilizando una resistencia externa calibrada o una carga electrónica programable. El propósito de la evaluación fue, en términos sencillos, mirar cómo cada módulo reacciona cuando le llega una corriente de golpe, algo parecido a lo que haría en la ajetreada vida de un vehículo. Lejos de los ensayos en circuito abierto-voltaje quieto, que son como una foto aburrida donde nada se mueve, este experimento trata de captar la película completa y puede revelar celdas que por fuera se ven bien pero por dentro ya están cansadas.

Se utiliza un osciloscopio digital; nada cómodo pero efectivo. Las sondas se abrazaron a los bornes, la carga saltó y el aparato escrito en papel electrónico cómo el voltaje se desplomaba en fracciones de segundo. Esa bajada instantánea, un soplo de tiempo, deja ver cómo el módulo fue capaz de soltar su energía y, según la Ley de Ohm- R igual a la variación de V entre la corriente- permite calcular a mano la resistencia interna del conjunto. Un número alto advierte que el módulo es torpe para entregar potencia, que se calienta de más y que, cuando se monte en el vehículo, seguirá estirando la ya escasa paciencia del conductor.

La utilización del osciloscopio ofrece una clara al registrador la ventaja de forma exacta de la curva de voltaje bajo carga; un simple multímetro, por cierto, no logrará captar esas sutilezas. Cuando la señal presenta saltos bruscos, uno puede concluir que al menos una celda se comporta de modo errático; una caída prolongada, en cambio, sugiere que la impedancia interna ha subido más de lo aceptable. Picos aislados o deformaciones inesperadas suelen apuntar a micro cortos, sulfataciones internas o incluso a fisuras sutiles en los electrodos. Con todos esos indicadores en la mano se fijó un umbral de descarte, de manera que incluso un voltaje nominal una vez aceptable ya no sirve si la curva sigue siendo no lineal.

El protocolo de prueba dinámica que allí se enseñaba simula, de cierto modo, las condiciones reales en que una batería termina empleándose, por eso el diagnóstico es francamente confiable. Con esa misma metodología se descubrieron módulos que a ojo mostraban voltajes normales, pero que fallaban al responder a una sobrecarga breve; de no haber detectado esa debilidad, el sistema híbrido entero habría sufrido un rendimiento muy por debajo de lo planificado. A pesar de ser un procedimiento más complejo y, en efecto, más tedioso, resulta absolutamente indispensable si lo que se busca es que el reacondicionamiento se realice con piezas que de verdad estén a la altura de las exigencias prácticas.

5.1.3. Configuración del osciloscopio

- Canal activo: A
- El canal A está habilitado como canal de entrada de señal.
- Escala vertical (voltaje): A: 2V/div

Cada división vertical representa 2 voltios. Por lo tanto, si hay 4 divisiones desde la parte superior hasta la inferior de la señal, la escala total es 8 V. Esto es apropiado para monitorear módulos NiMH de 7,2 V (como los del Prius). Escala horizontal (tiempo): 5 s/div

Cada división horizontal representa 5 segundos. Esto indica que la prueba se extiende en el tiempo, útil para visualizar cómo varía el voltaje durante varios segundos de descarga (por ejemplo, al aplicar una carga resistiva).

- Si había inestabilidad en la curva (fluctuaciones = mala salud de celda)
- Si el voltaje tardaba en estabilizarse (alta impedancia)
- Si aparecían picos anormales (posibles fallos internos)

Por ello, se estableció como criterio de rechazo cualquier módulo que presentara una curva de voltaje inestable ante carga pulsada en el osciloscopio.

Tabla 2

Interpretación técnica de señales de voltaje en celdas mediante osciloscopio

<i>Parámetro observado</i>	<i>Interpretación técnica</i>	<i>Diagnóstico del estado de la celda</i>
<i>Inestabilidad en la curva de voltaje</i>	<i>Fluctuaciones irregulares durante la descarga</i>	<i>Celda con mala salud o envejecimiento</i>
<i>Voltaje que tarda en estabilizarse</i>	<i>Caída de voltaje prolongada antes de alcanzar un nivel estable</i>	<i>Alta impedancia interna</i>
<i>Picos anormales en la señal</i>	<i>Picos bruscos de voltaje al inicio o durante la descarga</i>	<i>Posibles fallos internos o microcortes</i>

Nota. Interpretación basada en el comportamiento de las curvas de voltaje observadas con osciloscopio digital en celdas tipo NiMH del Toyota Prius 2009.

5.1.4. Descarga profunda y carga controlada de las celdas

Para recuperar la capacidad de las celdas NiMH fatigadas, se sometió a cada módulo a un ciclo de descarga profunda seguida de carga completa controlada. Empleando el cargador multipropósito, primero se descargó cada celda de forma controlada hasta un nivel de voltaje cercano a 0,9–1,0 V por celda (aprox. 5,4–6,0 V en cada módulo de 6 celdas) En NiMH, descargar a ~1,0 V/celda se considera un nivel seguro que agota casi por completo la carga utilizable sin invertir la polaridad de ninguna celda.

Durante este proceso se monitoreó la temperatura de los módulos y el voltaje en tiempo real; cualquier indicio de calentamiento anómalo o caída de voltaje abrupta resultaría en la interrupción inmediata de la descarga por seguridad.

Con las celdas descargadas, a continuación, se procedió a cargarlas completamente de manera individual. Se configuró el cargador en modo NiMH con una corriente de carga lenta ($0,1-0,5 C$) donde C es la capacidad nominal de la batería en Ah. Por ejemplo, para una batería de 2000 mAh, una corriente de carga de $0,1C$ sería 200 mA. según recomendaciones para maximizar la recuperación de capacidad sin sobrecalentar. Cada módulo se cargó hasta el 100% (estado de carga) utilizando la función de detección automática de fin de carga (método *Delta-Peak*) del cargador.

Este método identifica el punto de plena carga cuando el voltaje de la celda deja de aumentar y comienza una ligera caída, evitando la sobrecarga, la cual puede elevar la temperatura y presión interna de la celda dañando su química.

5.1.5. Repetición de ciclos de carga/descarga para reacondicionamiento

El procedimiento de carga completa y descarga profunda se constituyó como una de las fases más importantes del proceso de reacondicionamiento, ya que su objetivo principal fue restaurar la capacidad electroquímica de los módulos de batería de níquel-metal hidruro (NiMH) que aún eran funcionales pero presentaban signos de fatiga. Este proceso no solo sirve para evaluar el rendimiento de cada módulo, sino que también actúa sobre la química interna de la celda, favoreciendo la redistribución de los materiales activos, la ruptura de formaciones cristalinas en los electrodos y la reducción gradual de la resistencia interna, todo lo cual contribuye directamente al restablecimiento de la eficiencia de carga y descarga.

A cada módulo recuperable se le sometió a tres ciclos consecutivos de carga y descarga. Aunque parece un número modesto, queda dentro del intervalo sugerido de dos a cinco ciclos que numerosas investigaciones han indicado como óptimo para el reacondicionamiento de baterías NiMH. Durante cada ciclo se forzó una descarga controlada hasta que la tensión de la celda individual se estabiliza alrededor de 1,0 V (cerca de 6,0 V para el conjunto de seis celdas), punto considerado bajo pero seguro ya que elimina el riesgo de inversión de polaridad. La recarga posterior se realizó lentamente, con corrientes entre $0,1 C$ y $0,5 C$, utilizando un cargador especializado que detecta automáticamente el final de

la carga por el método Delta-Peak, de forma que se evita el sobrecalentamiento y la sobrecarga.

Se fue notando, ciclo tras ciclo, que muchos de los módulos comenzaban a comportarse de un modo más predecible y controlado. La tensión se sostenía durante las descargas y ese simple hecho ya hablaba de una práctica de recuperación en la capacidad utilizable. Al final de cada nueva carga el voltaje registrado era un par de décimas más alto que el anterior, una señal mansa de que el propio módulo estaba aceptando la energía con mayor agrado, casi como si supiese que se le daba otra oportunidad. Entre las causas más probables se cuentan la anulación parcial de los efectos de memoria, la reactivación de zonas que habían quedado inertizadas y, por supuesto, la limpieza de resistencias internas que envejecieron por el paso del tiempo.

Antes de pisar el botón de arranque se verificaba, casi por rutina, que el módulo luciese completamente cargado y que cada celda interna presentase el mismo brillo energético. Un detalle que puede sonar trivial, pero que evita los pesares de iniciar el ensayo con celdas desequilibradas, tema que solo trae sobrecargas en ciertos puntos y agitación en otros. Gracias a este método, los módulos que en un principio mostraron síntomas de debilidad encontraron un segundo aire, y el beneficio colateral fue que el grupo entero adquirió un comportamiento eléctrico bastante más uniforme, circunstancia que luego facilitó el equilibrio y dejó al paquete reacondicionado funcionando con una solvencia bastante mayor a la esperada.

5.1.6. Balanceo de las celdas del paquete

Una vez que se completaron las pruebas y reparaciones de cada módulo por separado, el siguiente paso fue equilibrar todo el paquete de celdas en su conjunto. Este procedimiento es crítico, porque garantiza que el estado de carga temporal en el que opera cada batería sea idéntico. Cuando un mismo Prius híbrido de 2009 recibe energía, discrepancias en esa cifra acaban forzando a la electrónica a recortar el aporte antes de lo previsto o, en el peor de los casos, a sacar de su rango seguro alguno de los bloques más fuertes. Tal desajuste puede fatigar prematuramente al eslabón más débil, que susurra su límite mucho antes que sus hermanos más robustos.

Cualquier desequilibrio de carga en un paquete de baterías significa que algunas celdas almacenan más energía que otras. En trayectos normales, las unidades menos cargadas

alcanzan casi de inmediato sus límites de voltaje mínimo, así que el ordenador corta la descarga en ese instante y la autonomía útil se alcanza. Al recargar, el circuito protege a las celdas más débiles forzando un corte cuando ellas llegan al techo de voltaje, aunque los demás módulos siguen lejos de su tope. Esa interrupción repetida merma la eficiencia general y acorta la vida útil del conjunto.

En las configuraciones más modernas de baterías, el balanceo activo ha surgido como la solución preferida; el método corriente mueve de uno y otro lado, usando convertidores DC-DC o matrices de conmutación que parecen más propias de un laboratorio que de la línea de producción. Pese a su elegancia técnica, la receta exige hardware caro y una ingeniería que rara vez se encuentra en el entorno cotidiano donde se desarrolló esta evaluación. Por eso se recurrió a la variante pasiva, que simplemente deja disipar el sobrante a través de resistencias y deja que las celdas hablen entre sí hasta que las diferencias de voltaje desaparezcan.

La reciente fase de balanceo pasivo dejó los 28 módulos de la batería casi en perfecto orden, con sus voltajes repartidos de manera sorprendentemente uniforme. El oficio del multímetro digital, seguido de la inspección rutinaria hecha a través de la ECU del vehículo, encontró cifras prácticamente idénticas en cada par de bloques cuando se midieron dos por dos.

Esa uniformidad no es un capricho, interviene directamente en la salud del sistema híbrido. Si todas las celdas suben y bajan de carga juntas, el conjunto rinde bien; si una se queda atrás, arrastra a los demás y arruina el juego. El reacondicionamiento, al lograr esa concertación, alargó la vida útil del sistema y redujo de paso las oportunidades de que una falla temprana desbaratara el proyecto.

5.1.7. Reemplazo de celdas defectuosas

Simultáneamente al retenimiento de módulos mediante descargas profundas, los veintiocho elementos de la batería híbrida del Toyota Prius 2009 fueron sometidos a un examen de diagnóstico exhaustivo. La inspección reveló que diez de dichos módulos estaban condenados al desgaste irreversible, una conclusión que se mantuvo tras repetir el ciclo de restauración en tres ocasiones. Aun cargados completamente, esos diez bloques exhibían una

caída de voltaje casi inmediata y su resistencia interna aparecía notablemente aumentada, síntomas inequívocos de un deterioro químico severo en los electrodos y en los compuestos activos. El reemplazo dejó como única alternativa viable.

Un módulo averiado tiene el poder de derrumbar la operatividad del sistema entero, así que el comité técnico redactó un protocolo de reemplazo sin márgenes de duda. Cualquier celda que reproche a la prueba de retención de carga o cuya impedancia interna supere la cota de 8 miliohmios fuera del vehículo queda catalogada como elemento riesgoso. Esa misma celda, si se deja en su sitio, se entrega antes que los demás durante una recuperación de energía y arrastra a los módulos sanos a una curva de rendimiento inferior. Durante la fase de carga conjunta, el voltaje de esa unidad deficiente puede escalar por encima de su límite seguro, provocando un desequilibrio que genera sobrecarga puntual y, en el peor de los casos, daños térmicos o eléctricos que acaban acortando la vida del pack completo.

Los diez módulos que presentaban fallas fueron sustituidos por repuestos usados pero operativos, todos de la misma generación y modelo de batería, de modo que la compatibilidad en términos estructurales, químicos y eléctricos se mantuviera. Antes de la instalación, cada batería pasó por un ciclo de precarga y descarga ligera destinado a igualar el estado de carga y el voltaje con los módulos ya reacondicionados. Durante ese procedimiento la corriente se ajusta con equipos de medición digitales, de manera que al momento de conectarlos el juego completo arrancará sin el habitual desequilibrio que, si no se controla, puede sobrecargar las celdas más nuevas o limitar la descarga de las más antiguas.

La decisión de alinear los voltajes y las resistencias de cada celda salvó la uniformidad del paquete, de modo que la capacidad general y el comportamiento bajo carga se mantuvieron constantes. Esa homogeneidad, por cierto, se traduce en menores riesgos de sobrecalentamiento a largo plazo. Reemplazar todo el conjunto hubiera dejado al taller con una factura desmesurada; ajustar los módulos viejos, en cambio, salió a cuenta, tanto en términos de dinero como de tiempo. La medida, al final, desarrolló al sistema de almacenamiento del coche su estabilidad original y confirmó su confiabilidad en el tráfico cotidiano.

5.1.8. Reensamblado e instalación del paquete de baterías

Con las celdas NiMH reparadas o sustituidas según fuera necesario, el siguiente paso consistió en reintegrar el conjunto completo en su carcasa híbrida. El proceso se llevó a cabo con pulcritud técnica, intentando preservar tanto la solidez mecánica como la continuidad eléctrica del paquete. Para ello se respetó rigurosamente el recorrido inverso al despiece, guiándose puntualmente por la secuencia del manual de servicio suministrado por el fabricante. Los módulos veintiocho fueron introducidos en el chasis de aluminio uno a uno, cuidando que cada bloque encajera en su soporte original y que la distribución de pesos y conexiones permaneciera equilibrada.

La fase de ensamblaje comenzó con un repaso minucioso de las barras colectoras, esos puentes metálicos que distribuyen la corriente entre los módulos. Una vez colocados, se sometieron a un baño ultrasónico y un tratamiento químico para el óxido, de modo que ninguna traza de sulfato o polvo pudiera elevar la resistencia en los puntos de contacto. El torque de cada perno se revisó con una herramienta dinamométrica, alineando los valores exactos que prescribe el fabricante; Este detalle evita que los tornillos se aflojen o, por el contrario, aplasten el metal, un desliz que suele encender el sistema o cortarlo de golpe.

La reinstalación de los sensores térmicos, junto con el ensamblaje del sistema de ventilación activa, constituye una tarea técnica básica pero vital para el funcionamiento seguro de la batería. Cuando el paquete se carga, se descarga o realiza una frenada regenerativa, esos componentes aseguran que el calor no supere umbrales peligrosos. Cada sensor nuevo fue colocado en un punto predeterminado del armazón interno para capturar lecturas precisas, en lugar de la ubicación estándar de fábrica que había demostrado fallos en versiones anteriores. El ventilador, tras una limpieza exhaustiva, fue fijado de modo que su corriente de aire atravesara la celda en un patrón homogéneo. Durante los primeros ciclos de prueba, la química reparada puede generar sobretensiones térmicas, así que esta etapa no admite demoras.

Antes de cerrar definitivamente el compartimento de la batería, se realizó una inspección final de seguridad y aislamiento, asegurando que todas las cubiertas plásticas protectoras estuvieran correctamente instaladas, que no existiera ningún cable o terminal suelto, y que ninguna parte activa hiciera contacto con la carcasa metálica, lo cual podría generar riesgos de corto circuito o fuga de corriente. También se verificó la correcta ubicación del arnés de señal del BMS y de todos los conectores del sistema de control. Solo tras confirmar que todos los elementos estaban firmemente asegurados, aislados y

funcionales, se colocó la tapa superior del paquete y se fijó la batería en su posición original dentro del vehículo, completando así la fase de reensamblaje con los más altos estándares de seguridad y funcionalidad.

Solo después de verificar dos veces el correcto montaje, se reinstalló la cubierta protectora del paquete y se fijó este nuevamente en el vehículo con sus anclajes. Adicionalmente, como parte del mantenimiento preventivo del paquete de baterías, se realizaron trabajos de restauración estructural y eléctrica:

- **Limpieza ultrasónica de placas colectoras:**

Las placas de cobre (bus-bars) que interconectan los módulos fueron extraídas y sometidas a un proceso de limpieza por ultrasonido en solución alcalina desoxidante, eliminando residuos de corrosión, sulfatos y óxidos metálicos que interfieren con la conducción eléctrica. Este procedimiento aseguró una baja resistencia de contacto y mayor estabilidad térmica del sistema de conexiones.

- **Arreglo del BMS (Battery Management System):**

Se identificaron pines del arnés de señal del sistema de monitoreo de voltaje de bloques (BMS) que presentaban desgaste o mala conexión. Estos pines fueron cuidadosamente inspeccionados, limpiados y reinsertados o reemplazados según su condición, asegurando una lectura precisa de voltaje por parte de la ECU de la batería.

- **Pintura de la carcasa metálica:**

La estructura externa de la carcasa del paquete de baterías se encontraba oxidada en varias zonas. Por lo tanto, fue lijada, tratada con convertidor de óxido y repintada con esmalte anticorrosivo color gris aluminio. Este procedimiento no solo mejoró el aspecto físico, sino que también ayudó a prevenir nuevos focos de corrosión que pudieran afectar el aislamiento eléctrico del sistema o comprometer la integridad estructural de la carcasa.

5.1.9. Intervención correctiva en el arnés BMS: separación de pines en corto por sulfatación

Durante la inspección detallada del sistema de monitoreo de voltaje del paquete de baterías híbridas, conocido como Battery Monitoring System (BMS), se identificó una falla puntual pero crítica que comprometía la precisión del monitoreo y la seguridad del sistema.

Específicamente, se encontró que dos pines del arnés de señal del BMS presentaban un contacto eléctrico no intencionado debido a la acumulación de sulfatación o carbonilla conductiva en su interior. Esta acumulación se produce por la combinación de humedad, gases corrosivos del electrolito y pequeñas fugas de corriente que, con el tiempo, generan depósitos que pueden llegar a formar un puente de baja resistencia entre contactos adyacentes.

Al realizar la medición de continuidad con un multímetro digital en modo ohmímetro entre ambos pines, se registró una resistencia finita (del orden de ohmios o kiloohmios). Este valor confirmaba la existencia de un camino de corriente no previsto, lo cual representa un cortocircuito parcial. En condiciones normales, debe existir aislamiento total entre pines de señal, por lo que el multímetro debería haber mostrado “OL” (open line) o una resistencia infinita. Este tipo de falla puede alterar la lectura de voltaje de uno o varios bloques de baterías en la ECU, generando datos erróneos y activando códigos de falla como P0AA6 o alertas por fallas de aislamiento.

Este contacto indeseado entre pines no solo afecta la lectura del voltaje real de los módulos, sino que también interfiere con el balance energético del paquete completo, ya que el sistema podría sobrecargar o subutilizar ciertos bloques por una lectura incorrecta de su estado. Además, al tratarse de un sistema de alto voltaje y precisión, cualquier desviación en la señal puede afectar la lógica de control del sistema híbrido, generando protección del sistema, disminución de la eficiencia o incluso apagado preventivo del sistema de tracción eléctrica por razones de seguridad.

La sulfatación en conectores eléctricos de bajo voltaje es un problema común en ambientes húmedos o donde existen gases corrosivos, y requiere intervención correctiva inmediata para evitar la progresión del daño. En este caso, el equipo técnico determinó la necesidad de intervenir directamente el conector afectado, lo que implicó una limpieza exhaustiva del interior del arnés y, posteriormente, una separación física precisa entre los pines contaminados. Esta medida permitió restaurar el aislamiento eléctrico entre las señales, garantizando así el correcto funcionamiento del BMS y asegurando lecturas confiables para el monitoreo del sistema de baterías.

5.1.10. Diagnóstico y verificación:

Para confirmar la sospecha de un cortocircuito parcial en el arnés de señales del sistema de monitoreo de voltaje del paquete de baterías híbridas, se empleó un multímetro digital ajustado a la escala de ohmios. Este enfoque pragmático busca validar la continuidad eléctrica entre pines que, bajo condiciones operativas normales, deben permanecer eléctricamente aislados. De comprobarse un contacto no previsto entre esos puntos, la señal de voltaje que fluye desde los módulos de batería hacia la ECU se vería conmovida por una ruta de conducción no deseada.

La medición directa entre los pines controvertidos produjo una lectura de resistencia baja, fluctuando entre algunos ohmios y varios kilo ohmios en función de la sulfatación o del hollín acumulado. Dicha cifra contradice el estado ideal: un multímetro correctamente calibrado debería haber indicado OL (circuito abierto), señal inequívoca de que la corriente no tiene camino por donde circular. Aceptar el hallazgo, por consiguiente, se traduce en reconocer un sendero eléctrico que vulnera el aislamiento originalmente previsto.

Un cortocircuito parcial en un módulo de batería puede distorsionar gravemente el voltaje real que los sensores envían a la unidad de control electrónico. La computadora, alimentada por datos engañosos, podría emitir diagnósticos erróneos, activar protecciones prematuras e incluso restringir la potencia disponible para el tren motriz, perjudicando en última instancia el comportamiento dinámico del vehículo. Tales fallas suelen permanecer ocultas hasta que un técnico realiza una inspección puntual examina el subsistema que transporta las señales, no los módulos de energía en sí.

En el caso que se examina, un multímetro tradicional reveló un defecto de aislamiento interno al medir la resistencia entre los pines del conector. A pesar de su simplicidad, esa herramienta es indispensable en el diagnóstico de circuitos de alto voltaje porque puede identificar problemas que la inspección ocular ignora. La cifra de resistencia anómala que apareció en la pantalla sugirió contaminación conductiva dentro del arnés, problema que se corrigió mediante un procedimiento especializado.

5.1.11. Intervención correctiva

Apenas se constató el cortocircuito parcial entre dos pines del arnés del sistema de monitoreo de voltaje (BMS), resultado evidente de sulfatación o de carbonilla conductiva,

se decidió proceder con una intervención correctiva. La acumulación de dichos residuos en espacios angostos muchas veces escapa al alcance de una limpieza superficial; Por tal motivo, se elija una solución mecánica que asegure la desconexión eléctrica sin perjudicar el conector en sí.

Se recurrió a un taladro de precisión, trabajó a baja velocidad, y se montó una broca de 0,8 milímetros de diámetro. La reducida dimensión de la herramienta permitió aplicar el gesto perforador apenas en el punto crítico donde los pinos se tocaban, interrumpiendo así el cortocircuito. Al abrir una fisura en el puente conductor, se creó una delgada porosidad de aire-plástico que bloqueó el recorrido de la corriente entre los terminales.

La operación se ejecutó con meticuloso esmero, maniobrando la broca para que no rozara ni deformara los delicados pinos metálicos del conector, ni para que dañara el revestimiento plástico que, en este caso, actúa como el aislante principal. Se apuntó un foco directo sobre la pieza y se complementó la vista con una lupa para intervenir dentro de un espacio que medía solo unos pocos milímetros. Gracias al escaso diámetro de la broca, el esfuerzo se limitó a la zona dañada y el resto de la estructura mantuvo tanto su rigidez como su forma geométrica intactas.

Tal intervención se clasifica como mínimamente invasiva, ya la vez resultó extraordinariamente efectiva, porque restituyó el aislamiento eléctrico sin tener que reemplazar todo el arnés, un procedimiento que habría incrementado, tal vez de modo excesivo, el tiempo y el costo de la reparación, además de alterar el sistema original del vehículo. Al remover mecánicamente el contaminante y establecer una separación que resista futuros depósitos, el riesgo de una nueva falla se reduce de manera sustancial. El caso ilustra cómo un enfoque técnico ajustado a las condiciones y detalles de una falla puede despejar problemas complejos de forma ágil y económica.

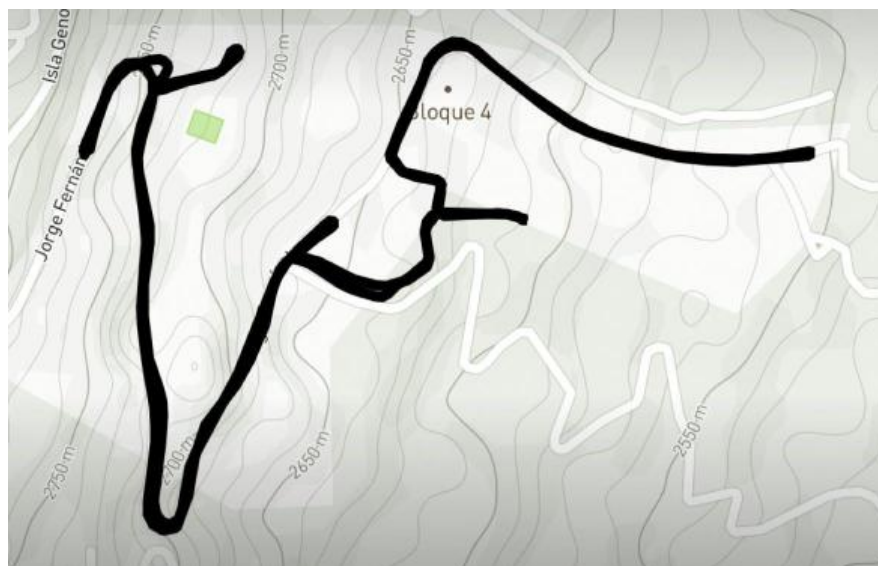
5.1.12. Tiempo para la intervención correctiva

Gráfico 1. Tiempo para la intervención correctiva



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2. Ruta realizada para la intervención correctiva



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3. Distancia y duración para la intervención correctiva



Fuente: Elaboración propia

Para comprobar el rendimiento de las baterías reacondicionadas en un Toyota Prius de 2009, los investigadores trazaron una hoja de ruta adaptada a la tecnología del vehículo. Dado que carece de matrícula, los ensayos debían limitarse al perímetro del campus, donde la circulación privada goza de ciertas libertades. La planificación incluyó tramos en pendiente, descensos marcados y secciones absolutamente planas, de modo que el comportamiento de la batería pudiera observarse en diferentes topografías.

En total se cubrieron 5,25 kilómetros en 14 minutos y 20 segundos; la prueba acumuló 299 metros de desnivel. Un circuito tan variado garantizó datos confiables sobre autonomía, estabilidad de voltaje y eficiencia general del sistema híbrido tras la reparación. La diversidad del terreno, además, permitió poner a prueba la respuesta de la batería bajo distintas exigencias mecánicas, lo que favoreció una evaluación exhaustiva del trabajo realizado.

5.1.13. Resultado

Una vez ejecutada la perforación de separación, se repitió la medición de resistencia entre los pines implicados y el multímetro pronunció un evidente OL-open line-que revela resistencia infinita. La lectura, diáfana y concluyente, certifica que la conexión eléctrica indeseada fue cancelada de forma definitiva.

Los ingenieros destacaron que corregir la comunicación entre los bloques fue definitivo para que el BMS funcionara sin tropiezos. Una lectura imprecisa puede descompensar el híbrido, encender un DTC o contentar a la ECU para que active sus protecciones.

La solución empleada, por fortuna, salvó el arnés entero y lo dejó en su sitio. Al evitar el cambio radical, el cableado original se mantuvo en su recorrido y ganó en continuidad. A fin de cuentas, la maniobra resultó quirúrgica para su propósito.

De paso se dieron trabajos auxiliares que se sumaron al reacondicionamiento electroquímico de los módulos. Con ambas intervenciones el pack de energía promete un desempeño más sólido y, ojalá, una vida útil prolongada.

Una vez que se colocó el paquete reacondicionado, el banco de pruebas final comprobó que el trabajo se había ejecutado con éxito. Se puso el vehículo en marcha y, a través de un escáner automotriz, se siguieron en tiempo real los parámetros del sistema híbrido y la batería. El monitoreo puntual de los voltajes por cada par de módulos reveló que la disparidad entre bloques era casi irrelevante y, por ende, el balance permanecía saludable. Las temperaturas de la batería llegaron solo al nivel habitual y el estado de carga inicial mostró un SOC equilibrado. En ese momento el código de falla P0AA6 no reapareció y tampoco se acumuló ningún DTC adicional, por lo que la ECU señaló que el aislamiento sigue correcto.

Por último, se realizó una prueba de conducción bajo condiciones controladas. Durante esta, se validó que el flujo de energía entre la batería y el motor-generator ocurría sin anomalías: la batería asistía al motor de tracción y recuperaba carga mediante el frenado regenerativo con normalidad. El sistema de control híbrido ajustó adecuadamente la carga y descarga del pack, y no se evidenciaron caídas abruptas de voltaje ni disparidad entre módulos durante las demandas de potencia.

Tras varios ciclos de conducción y monitoreo, el paquete de baterías NiMH reacondicionado demostró un comportamiento estable y restaurado, confirmándose la efectividad del procedimiento de reacondicionamiento y la resolución del fallo de aislamiento que originalmente afectaba al vehículo. Todas las operaciones se llevaron a cabo conforme a las recomendaciones técnicas de los manuales del fabricante y mejores prácticas de seguridad, asegurando tanto la integridad del sistema como la protección del personal durante la intervención.

5.2.Pruebas individuales

Gráfico 4. Prueba 1 de resistencias internas de las baterías reacondicionadas



C-scan 2

Análisis de Datos(todos los Artículos)

artículo(P.1/6)	valor	unidad	artículo(P.2/6)	valor	unidad
Compruebe lámpara del motor	OFF		Batería Bloque tensión 4	16.03 V	
Diferencia conducción después bomba Dirección General de	5 km		Batería Bloque tensión 5	16.02 V	
12V Battery Voltage (in Detail)	13.810 V		Batería Bloque tensión 6	16.03 V	
Tiempo después bomba Dirección General Elapsed	157 min.		Batería Bloque tensión 7	16.34 V	
Capacidad batería del SOC	32.5 %		Batería Bloque tensión 8	16.14 V	
HV batería actual (IB)	-15.16 A		Batería Bloque tensión 9	16.25 V	
Batería Bloque tensión 0	15.80 V		Batería Bloque tensión 10	16.02 V	
Batería Bloque tensión 1	15.73 V		Batería Bloque tensión 11	15.89 V	
Batería Bloque tensión 2	15.90 V		Batería Bloque tensión 12	15.79 V	
Batería Bloque tensión 3	16.09 V		Batería Bloque tensión 13	16.00 V	

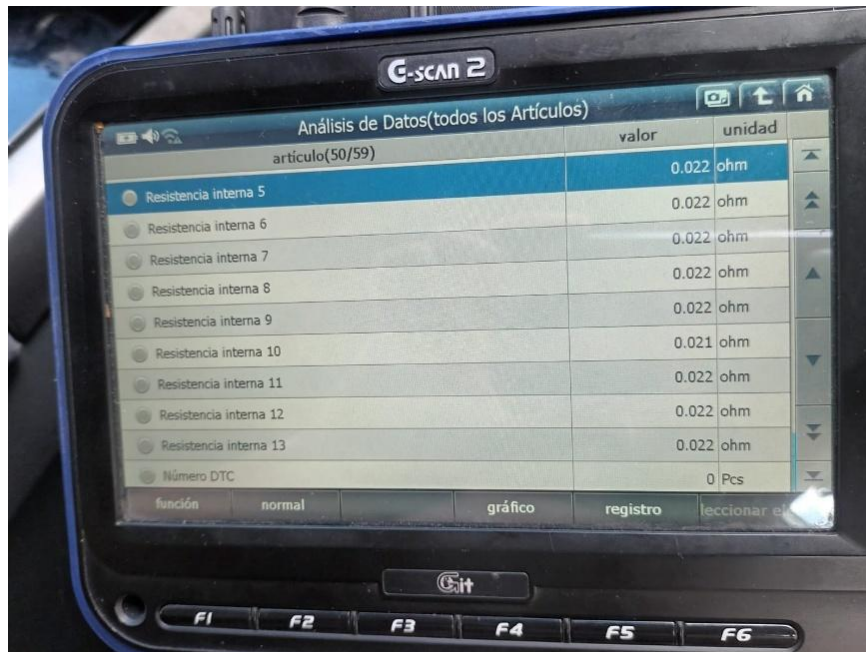
función Detalles registro

Exit

F1 F2 F3 F4 F5 F6

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5. Prueba 2 de resistencias internas de las baterías reacondicionadas



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6. Celdas dañadas que se realizó el cambio



Fuente: Elaboración propia

Análisis

El análisis individual de las celdas de la batería NiMH del auto Toyota Prius del año 2009 fue fundamental en la etapa de reacondicionamiento, ya que permitió distinguir los que eran capaces de ser devueltos de los que precisaban un reemplazo. Al inicio, se tanteó la corriente en abierto de los veintiocho componentes utilizando un multímetro que tiene

pantalla digital y está calibrado. Esta medición hizo posible hallar componentes con fuerzas significativamente más bajas que la media (en estado normal, ~ 7.5 - 8.0 V); esto probaba la existencia de problemas de carga o de capacidad.

Además, se implementó un procedimiento más complejo a través de la comprobación de la fuerza interna de cada sección. Para llevar a cabo este procedimiento se usó un osciloscopio que registraba la baja de voltaje cuando se alimentaba cada subsistema con una carga determinada. La respuesta inestable, los arcoíris anómalos o el pendiente extenso fueron evidencia de deterioro en las celdas.

Este procedimiento complementó los controles estáticos y permitió hallar células con errores ocultos que no se pueden ver fácilmente únicamente en base a la medición de electricidad. Se creó un parámetro de rechazo para componentes con una resistencia interna alta (alrededor de los $8\text{ m}\Omega$ fuera del coche), esto es una medida confiable de decadencia irreversible.

Por lo que, estas pruebas brindaron una diagnosis precisa de la condición de funcionamiento de cada celda y posibilitaron desarrollar un programa de reparaciones específico. Los componentes con una performance buena fueron examinados a fin de realizar ciclos de descarga completa y carga regulada, en tanto que los componentes que no exhibieron mejoras fueron cambiados por componentes parecidos.

Este enfoque riguroso aseguró que el sobre en cuestión estuviera compuesto únicamente por celdas en buena condición y con comportamiento uniforme, esto fue fundamental para garantizar la fiabilidad del sistema de energía alternativa en las pruebas de validación posteriores.

5.3.Comparativa de resultados

Al comprar los resultados iniciales del diagnóstico con los con los obtenidos después del reacondicionamiento, se evidencia una importante mejoría en la capacidad de la batería del auto híbrido de Toyota Prius del año 2009. Al inicio del procedimiento, se detectaron muchos componentes con voltajes por debajo del rango normal ($\sim 7,2$ V), además de una elevada resistencia interna, esto probaba que eran capaces de una importante pérdida de habilidad y capacidad.

Estos componentes igualmente presentaban respuestas inconstantes al ser examinados por un osciloscopio, esto probó la decadencia electroquímica y la pérdida de funcionamiento de parte del grupo de celdas.

Después de ejecutar los ciclos de descarga profunda y de carga regulada, los componentes que no fueron remplazados mostraron mejoras en términos de fiabilidad de la corriente y de reducción de la resistencia del interior. Específicamente, se evidenció que luego de tres fases, los componentes del sistema mantenían mejor su carga y exhibieron descensos de carga más lisos, esto denota una parte de la recuperación de su habilidad. Este producto fue exitoso, ya que permitió preservar una buena porción del contenido original sin afectar la capacidad del planeta completo de la batería.

Los componentes que no respondieron de manera correcta al reacondicionamiento fueron remplazados por aquellos que eran compatibles, y se hizo un procedimiento de compensación para cerciorar que todos los componentes trabajaran en condiciones parecidas de bancarrota. Este equilibrio se corroboró en las pruebas finales de potencial por grupo, donde los apartados diferenciables de los catorce grupos supervisados por la computadora fueron minimizados, esto sugiere una correcta distribución de energía y evita que alguna celda sea sobrepasada o limitada antes que las otras. Además, los grados Celsius del interior de la batería se mantuvieron en la franja común de las pruebas de conducción.

Por lo que, en contraste con la condición inicial del vehículo, los resultados post-reacondicionamiento del sistema de propulsión a chorro exhibieron una notable mejoría en la capacidad del sistema de propulsión a chorro. El código de error P0AA6 se disipó totalmente, esto indica que la solución al inconveniente de aislación fue correcta. También, durante la corrida de 5,25 kilómetros con una ventaja de altitud de 299 metros, el vehículo hizo una buena respuesta a las necesidades de potencia, con asistencia eléctrica de buena calidad y una recuperación de carga por medio del frenado regenerativo.

Esta comparación evidencia que la renovación no únicamente fue tecnológicamente factible, sino que además permitió revivir de manera segura la capacidad del sistema de preservación de energía.

5.4.Discusión de resultados

Los resultados obtenidos a lo largo del proceso de reacondicionamiento del paquete de baterías del Toyota Prius del año 2009 probaron que la utilización de métodos apropiados de diagnóstico y restauración puede devolver a poner en funcionamiento un sistema que originalmente exhibía importantes fallas. La medida de la potencia en circuito abierto permitió hallar componentes con una magnitud significativamente inferior a la media, esto fue un primer indicio de que las celdas están dañadas.

En complemento, la prueba de resistencia interna, por medio de un multímetro o de un osciloscopio, muestra instabilidades en la respuesta en varios componentes, corroborando su decadencia electroquímica. Este punto de vista con varias causas fue fundamental para determinar la correcta selección de los componentes a actualizar o reemplazar.

La ejecución de fases repetidas de recolección de agua y carga controladas ayudó a reponer en gran medida la habilidad de los fragmentos funcionales. El empleo de una corriente de carga lenta, acatando los consejos del vendedor (en especial los que corresponden a la marca) y la observación de los principios de identificación automática de una carga completa (método Delta-Peak), hicieron posible un procedimiento factible y seguro. Se detectó un incremento en la fiabilidad del voltaje y en la capacidad de energía con cada capítulo, demostrando la capacidad de esta habilidad. Sin embargo, ciertas partes no consiguieron retener la carga de manera correcta, pese a que se ejecutaran varios ciclos, esto causó la necesidad de reemplazarlas.

El procedimiento de balanceo posterior, que se hizo de manera pasiva, fue fundamental para asegurar la uniformidad del sobre reensamblaje. Las pruebas finales exhibieron pocas distinciones en la magnitud del voltaje entre los módulos, esto es indicativo de una condición de carga uniforme, esto es necesario para poder evitar una diferencia de carga cuando el vehículo está en funcionamiento.

Además, la remisión de errores en el arnés del sistema BMS a través de la separación de pines que contienen sulfato mejoró la fiabilidad de la lectura de las variables por parte de la computadora central, esto es, previniendo posibles errores de entendimiento que afectarían la operatividad del sistema de propulsión híbrido.

Las pruebas de funcionamiento en campo validaron la capacidad del procedimiento realizado. La batería reconstruida respondió de manera correcta a las necesidades energéticas del vehículo, demostrando una corriente de energía uniforme entre la batería y el sistema de propulsión, y una recolección de energía a través del frenado regenerativo. La supresión del código de error P0AA6 y la estabilidad del calor durante la experimentación corroboraron la conclusión de que la renovación fue exitosa. Estos resultados no únicamente validan la forma en la que se implementó el método, sino que además confirman la viabilidad de aplicarlo en el ámbito local, como una solución a la vez técnica y ambientalmente responsable en el caso de reemplazar la totalidad de baterías.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Para concluir se puede mencionar que primera parte del trabajo se orienta al desarme metódico de la batería híbrida Ni-MH del Prius 2009 y la indagación sobre sus piezas centrales. Al examen resultó que la autodescarga se acelera, que la resistencia interna sube y que algunos bloques olvidan guardar carga. Para ver esto se midieron voltajes en reposo, se dispararon pulsos con el osciloscopio y se corrieron los códigos DTC que deja el escáner OBD-II. Todo el conjunto sirvió para ponderar el estado de salud (SOH) de la red energética y se señalaron los módulos que no están a la altura.

El segundo objetivo se cumplió cuando se identificó el inventario exacto de materiales, herramientas y protocolos técnicos requeridos para reacondicionar los módulos de forma eficiente y, sobre todo, segura. La lista incluye, entre otros elementos, cargadores de batería NiMH capaces de descargar la celda, multímetros de banco, medidores de impedancia, pantallas de condición del paquete y la dotación completa de Equipos de Protección Personal. Se realizaron ciclos de carga y descarga controlados, acompañados de un cuidadoso balanceo de cada celda, lo que permitió recuperar en parte la capacidad útil de varias unidades. Aquéllas que no lograron responder dentro de los parámetros fueron cambiados por módulos de la misma serie que ya habían sido equilibrados, garantizando así la homogeneidad del paquete renovado. Las pruebas finales, ejecutadas bajo condiciones reales de operación, arrojaron una respuesta energética estable y libre de errores en el sistema de tracción.

Conforme a los objetivos económicos y funcionales planteados, el análisis realizado emparejó los gastos que genera reacondicionar una batería frente a los que demanda un reemplazo absoluto. Los números que surgieron de esa comparación hablan de un recorte de costos de entre el 60% y el 80%, cifra que varía según la cantidad de módulos que se deciden volver a poner en servicio. Tal hallazgo se suma a la creciente evidencia de que el reacondicionamiento – bien ejecutado – sigue siendo una ruta técnicamente sólida y financieramente sensata para alargar la carrera de sistemas híbridos de alto valor, especialmente dentro del marco ecuatoriano. Por si eso fuera poco, la práctica mitiga el problema de los desechos electrónicos, nutre la pericia técnica del personal local y empuja

al país una zancada hacia una movilidad eléctrica más equitativa y ambientalmente responsable.

6.2.Recomendaciones

Se recomienda que, en el momento de comercializar o ejecutar servicios de reacondicionamiento de baterías níquel-metal, como es el caso del Toyota Prius del año 2009, se cree una garantía de entre 3 y 6 meses, en este periodo es más probable que se observen fallas asociadas a los componentes inalterados o a los desbalances no esperados durante la reparación. Esta garantía deberá incluir pruebas de diagnóstico a precio reducido y, en caso de ser necesario, el reemplazo de componentes que fallen antes de lo adecuado, con el fin de resguardar la comodidad del usuario y preservar la unidad del sistema híbrido.

Es fundamental informar al usuario que, luego de que la garantía se terminara, la batería usada podría comenzar a exhibir indicios de deterioro, debido a que, en el caso de que sean celdas que han sido usadas previamente, su capacidad no es comparable a una nueva. Debido a esto, el chófer debe estar pendiente de cualquier alteración en la capacidad del vehículo, como es el caso de una pérdida de potencia, una disminución en la extensión o el encendido de señales en el panel de instrumentos, para arribar a una verificación temprana antes de que el sistema sufra mayores daños.

También es aconsejado crear un programa de preservación anual, el cual contenga pruebas de resistencia de cada parte, comprobación de la temperatura del sistema de refrigeración, higienización de los componentes electrónicos y pruebas de voltaje. Este cuidado Extensivo aumentará la vida útil del paquete reacondicionado y permitirá la detección temprana de posibles problemas. La puesta en marcha de estas sugerencias ayudará a una mayor fiabilidad del sistema, una mejor vivencia del usuario y una mayor consolidación de estas soluciones en el ámbito ecuatoriano.

Cabe mencionar que la batería fue recibida con un nivel de desempeño aproximado del 30% y gracias al proceso de reacondicionamiento se entrega con una capacidad funcional estimada del 80%. Bajo condiciones normales de operación y con los mantenimientos preventivos correspondientes se estima que esta batería puede ofrecer un rendimiento adecuado por un periodo de entre 3 a 5 años. No obstante, en caso de que no se efectúen los mantenimientos requeridos la vida útil de la batería se verá comprometida significativamente

reduciéndose de forma prematura y afectando el desempeño general del sistema híbrido del vehículo.

BIBLIOGRAFIA

- AEADE. (2023). Anuario del sector automotor en Ecuador. Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador.
- Barré, A., Deguilhem, B., Grolleau, S., Gérard, M., Suard, F., & Riu, D. (2013). A review on lithium-ion battery ageing mechanisms and estimations for automotive applications. *Journal of Power Sources*, 241, 680–689.
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.05.040>
- Astera. (2023). *Tus agentes de IA. Basados n tus datos. Por tu equipo*. Obtenido de <https://www.astera.com/es/type/blog/data-management-software/>
- Brown, G. (2023). *Manejo seguro de sistemas de baterías de alto voltaje*. Obtenido de <https://www.evtechnician.com/news-blog/safe-handling-high-voltage-battery-systems>
- Cádiz, J. (2022). *Investigación del mercado de reciclaje de baterías de litio*. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/184819>
- Castellanos, M. J. (2020). *SISTEMAS ELECTRICOS DEL AUTOMOVIL* .
- Celedonio, C. (2019). *Reparación de la batería del Prius*. Obtenido de <https://www.km77.com/revista/engendro-mecanico/reparacion-bateria-prius/>
- Cenace. (2021). *Metodología de Reacondicionamiento de Edificios Hospitalarios*. Obtenido de <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/670?articlesBySimilarityPage=4>

- Chuwi. (2023). *15 Herramientas de diagnóstico de Windows para verificar la salud de su PC*. Obtenido de https://www.chuwi.com/es/news/items/3202.html?srsltid=AfmBOooI26ZnRr18xoT1MdRHwVY0_KCs7sydHRBkQS1PepL2sbyKpPoO
- CICEG. (2024). *Las baterías en 2025: Tendencias, Innovación y Desafíos*. Obtenido de <https://cicenergigune.com/es/blog/baterias-2025-tendencias-innovacion-desafios>
- CPCCS. (2021). *POLITICAS-PUBLICAS*. Obtenido de <https://www.cpccs.gob.ec/wp-content/uploads/2016/02/POLITICAS-PUBLICAS.pdf>
- Gaines, L. (2014). The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course. *Sustainable Materials and Technologies*, 1-2, 2-7. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2014.10.001>
- Dambra, G. (2023). *Industria de baterías de litio en La Plata*. Universidad Nacional de La Plata.
- Day, L. (2023). *Los propietarios del Toyota Prius están cambiando sus viejas baterías por baterías de iones de litio y están obteniendo grandes beneficios*. Obtenido de <https://www.theautopian.com/toyota-prius-owners-are-swapping-tired-old-batteries-for-lithium-ion-ones-and-seeing-big-gains/>
- Delgado, B. F. (2018). *NTP 97: Baterías de arranque. Riesgos de accidentes durante su manejo*. Obtenido de <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/3-serie-ntp-numeros-086-a-120-ano-1984/ntp-97-baterias-de-arranque.-riesgos-de-accidentes-durante-su-manejo>

Dendolla. (2023). *El futuro de las baterías: más autonomía y menor tiempo de carga.*

Obtenido de <https://endolla.barcelona/es/noticias/espacio-eco/el-futuro-de-las-baterias-mas-autonomia-y-menor-tiempo-de-carga>

Égüez, V. E. (2024). LAS POLÍTICAS PÚBLICAS COMO GARANTÍA CONSTITUCIONAL Y ESTRATEGIA PARA LA PREVENCIÓN DEL DELITO EN ECUADOR.

Fracttal. (2023). *Descubre las 10 herramientas de diagnóstico esenciales para*

mantenimiento predictivo. Obtenido de <https://www.fracttal.com/es/blog/herramientas-diagnostico-mantenimiento-predictivo>

González, M. C. (2024). *Aplicación de un Protocolo de Mantenimiento en el Sistema de Alta*

Tensión del Vehículo Híbrido Toyota Prius G3 . Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/6923/1/UIDE-G-TMA-2024-74.pdf>

Hoenergy. (2024). *Estudio de seguridad de las baterías de alto voltaje en vehículos*

eléctricos. Obtenido de <https://www.hoenergypower.com/es/safety-study-of-high-voltage-batteries-in-electric-vehicles/>

Huntkey. (2023). *El conocimiento más completo sobre la batería nimh.* Obtenido de

<https://www.huntkeyenergystorage.com/es/nimh-battery/>

IBCI. (2023). *6 Precauciones de seguridad para el manejo de baterías.* Obtenido de

<https://ibcipower.com/6-safety-precautions-for-handling-batteries/>

Invergy. (2023). *Tendencias futuras en energía solar e inversores híbridos.* Obtenido de

<https://invergypowersupply.com/future-trends-in-solar-energy-and-hybrid-inverters/>

- Iza, T. H. (2020). *Estudio de la incidencia de la carga en la ecualizacion de los packs de bateria de alta tension de vehiculos hibridos para estimar la durabilidad, rendimiento y por uso*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/18813/1/CD-8200.pdf>
- Martínez, V., Rosado, A., & Bañuelos, P. (2024). Estimación del estado de carga de una batería de litio con redes neuronales y validación con FPGA-en-lazo. *CONAHCyT*, 21(3). doi:10.4995/riai.2024.20718
- Mena, C. R. (2013). *Estudio de pre factibilidad para la produccion y comercializacion de productos quimicos para la linea domestica y automotriz en la ciudad de Quito*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5379/1/UPS-QT03701.pdf>
- Ministerio de Telecomunicacion y de la Sociedad de la Informacion. (2025). *POLÍTICA PÚBLICA PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DEL ECUADOR 2025-2030* . Obtenido de https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/2025/03/INSTRUMENTO-Politica-Publica-para-la-Transformacion-Digital-Ecuador-2025-2030-MINTEL-signed_f.pdf
- Ministerio de Trabajo y Economia Social. (2019). *Manual planificación viabilidad económica*. Obtenido de <https://www.economiasolidaria.org/wp-content/uploads/2024/03/Manual-planificacion-viabilidad-economica.pdf>
- Mohsen, M. T. (2020). *Impacto de las obras de modernización en la reducción de la vulnerabilidad de los edificios locales en Kabul, Afganistán*. Obtenido de <https://jamba.org.za/index.php/jamba/article/view/1062/1951>

- Nagaura, T., & Tozawa, K. (1990). Lithium ion rechargeable battery. *Progress in Batteries & Battery Materials*, 9, 209–217.
- Nichols, D. (2024). *El futuro de las baterías para vehículos eléctricos*. Obtenido de <https://www.greencars.com/es-us/greencars-101/el-futuro-de-las-baterias-para-vehiculos-electricos>
- Obaya, M., & Céspedes, M. (2020). *Análisis de las redes globales de producción de baterías de ion de litio*. CEPAL.
- OKACC. (2024). *La batería es el corazón del Toyota Prius*. Obtenido de <https://shop.okacc.com/es/la-bateria-es-el-corazon-del-toyota-prius/?wmc-currency=EUR>
- Oracle. (2021). *Diagnóstico avanzado*. Obtenido de https://docs.oracle.com/cd/E50691_01/html/E35759/gjsba.html
- PETROSYNC. (2024). *Procedimientos de reacondicionamiento de pozos para la producción de petróleo y gas*. Obtenido de <https://www.petrosync.com/blog/well-workover-procedures/>
- Piller, S., Perrin, M., & Jossen, A. (2001). Methods for state-of-charge determination and their applications. *Journal of Power Sources*, 96(1), 113–120.
- Peters, J. F., Baumann, M., Zimmermann, B., Braun, J., & Weil, M. (2017). The environmental impact of Li-ion batteries and the role of key parameters—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 491-506.
- Quintero, V. (2021). Baterías de Ion Litio: características y aplicaciones. *I+D Tecnológico*, 17(1), 14-22. doi:10.33412/idt.v17.1.2907

- Rast Teknoloji. (2023). *Future Trends For Electric Vehicles*. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/future-trends-electric-vehicles-rast-teknoloji>
- Saavedra, G. J. (2019). *Analisis del comportamiento de baterias usadas en vehiculos hibridos durante el proceso de recuperacion*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16285/1/UPS-CT007928.pdf>
- Safe At Work California. (2020). *La Seguridad en el Manejo de Baterías*. Obtenido de <https://www.safeatworkca.com/es/articulos-de-seguridad/la-seguridad-en-el-manejo-de-baterias/>
- ScienceDirect. (2017). *Análisis de tecnologías de baterías basadas en níquel para vehículos híbridos y eléctricos*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/nickel-metal-hydride-battery>
- Secretaria Nacional de Planificacion. (2024). *Guia Metodologica para la formulacion de la politica publica 2025*. Obtenido de <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2025/03/guiaFormulacionPoliticaPublica.pdf>
- Senplades. (2020). *Guía para la formulación de políticas públicas sectoriales*. Obtenido de <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/Guía-para-la-formulación-de-políticas-públicas-sectoriales.pdf>
- Soma Tech Intl. (2024). *Proceso de Reacondicionamiento*. Obtenido de <https://www.somatechnology.com/spanish/proceso-de-reacondicionamiento/>
- Suhail, A. H. (2024). *Herramientas avanzadas de diagnóstico de sistemas: innovaciones y aplicaciones*. Obtenido de <https://www.intechopen.com/chapters/89371>

- TME. (2021). *Tipos de baterías – batería Li-Ion, batería de Ni-MH, batería de Li-Po*.
Obtenido de <https://www.tme.eu/es/news/library-articles/page/44796/tipos-de-baterias-bateria-li-ion-bateria-de-ni-mh-bateria-de-li-po/>
- Tarascon, J. M., & Armand, M. (2001). Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *Nature*, 414(6861), 359–367.
- Toyota Motor Corporation. (2009). *Toyota Prius Owner's Manual (2nd Gen)*.
- Toyota. (2021). *MANUAL DE DESGUACE DEL VEHÍCULO HÍBRIDO* . Obtenido de https://www.toyota-tech.eu/HYBRID/HVDM/ES/Prius%20Plugin_ES.pdf
- Turgay, C. (2022). *Eficacia de la técnica de reacondicionamiento y comportamiento sísmico de edificios de hormigón armado de varios pisos: un estudio de caso*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509522000638>
- Tycorun Energy. (2024). *Características ventajas y desventajas de las baterías NiMH*. Obtenido de <https://batteryswappingstations.es/baterias-nimh/>
- Ufine. (2024). *Comprensión de la batería NiMH de 1,2 V: Ideas clave*. Obtenido de <https://www.ufinebattery.com/blog/understanding-1-2-v-nimh-battery-key-insights/>
- Vaca, N. D. (2019). Estudio de viabilidad económica y comercial para el prototipo de una cosechadora troceadora de agave.
- Xinqineng, S. (2020). *Nueva batería de litio híbrida de celda de repuesto automática de 7,2 V 6.5Ah para Toyota Prius Gen2 2005-2009 Gen3 2010-2015 Car*. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Brand-New-7-2V-6-5Ah-11000016112224.html>

Yang, D. (2021). *Reciclaje de baterías de litio para vehículos eléctricos*. Universitat Politècnica de Catalunya.

ANEXOS

Anexo 1.

Multímetro digital



Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Medidor de resistencias internas



Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Osciloscopio



Fuente: Elaboración propia

Anexo 4. Probador de capacidades



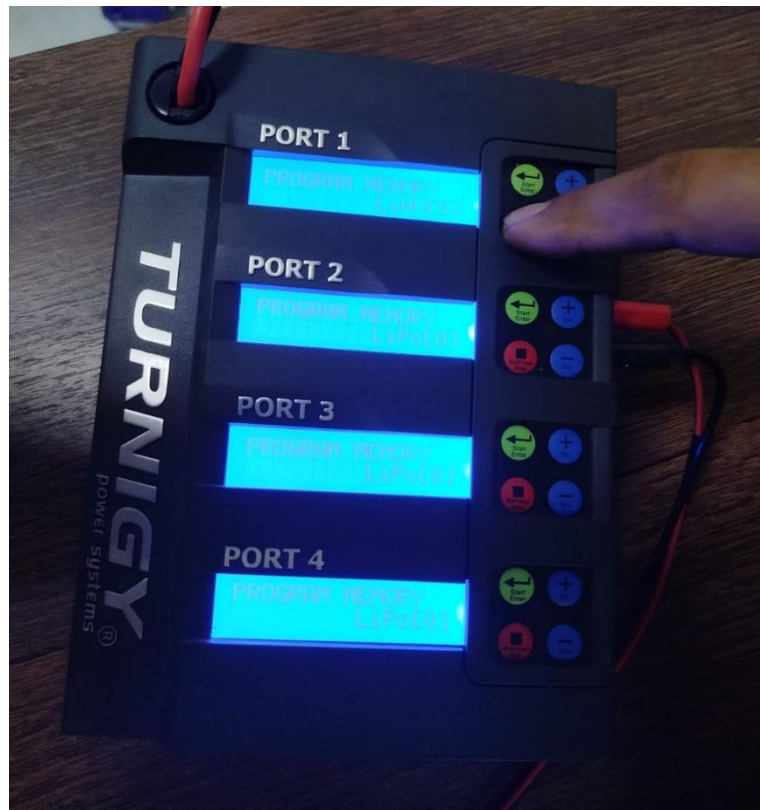
Fuente: Elaboración propia

Anexo 5. Banco Balanceador y comprobador de baterías de alta tensión.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 6. Medidor de capacidad y balanceadores de celdas



Fuente: Elaboración propia

Anexo 7. Desmontaje de la carcasa de la batería



Fuente: Elaboración propia

Anexo 8. Equipos de protección (guantes y gafas)



Fuente: Elaboración propia

Anexo 9. Desmontaje de la batería



Fuente: Elaboración propia

Anexo 10. Desenergización de la batería HV



Fuente: Elaboración propia

Anexo 11. Batería NiMH Toyota Prius desmontado



Fuente: Elaboración propia

Anexo 12. Comprobación resistencias internas de las celdas



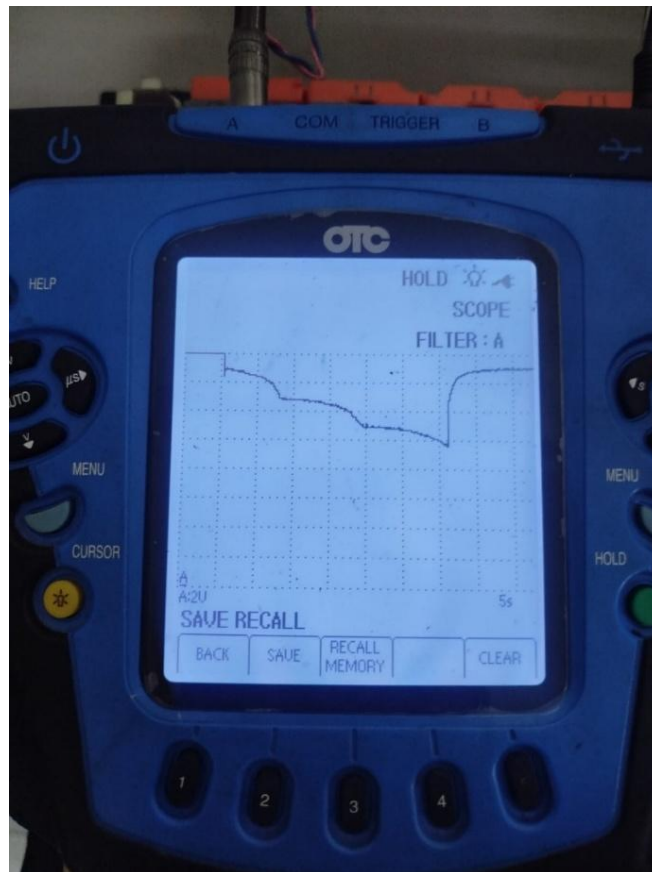
Fuente: Elaboración propia

Anexo 13. Medición indirecta con osciloscopio digital



Fuente: Elaboración propia

Anexo 14. Estado de la carcasa al desmontar



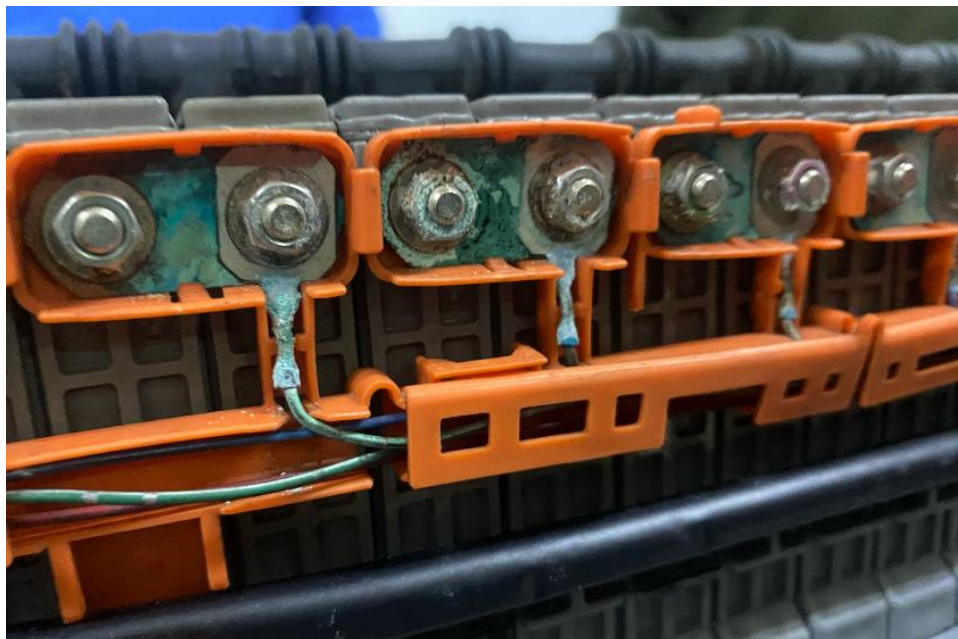
Fuente: Elaboración propia

Anexo 15. Carcasa pintada lista para ensamblar



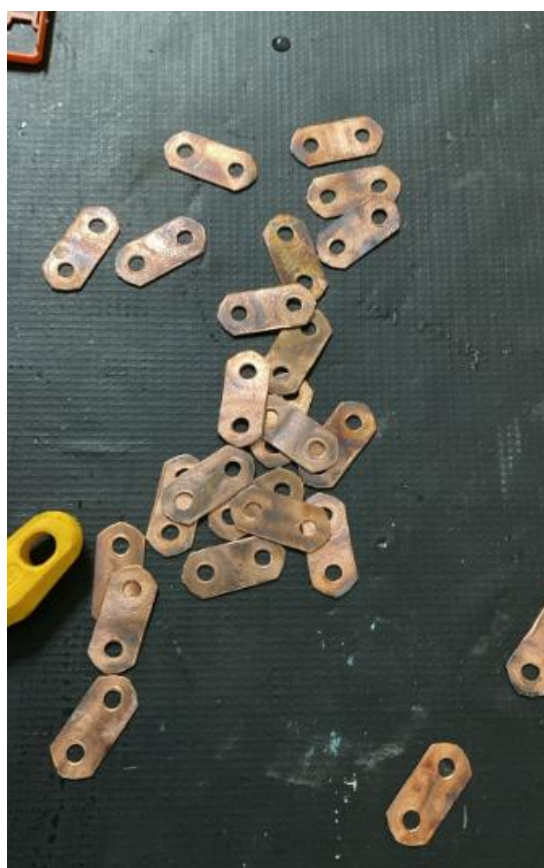
Fuente: Elaboración propia

Anexo 16. Estado de las placas de conexión de cobre



Fuente: Elaboración propia

Anexo 17. Placas de conexión de cobre después de lavado por ultra sonido



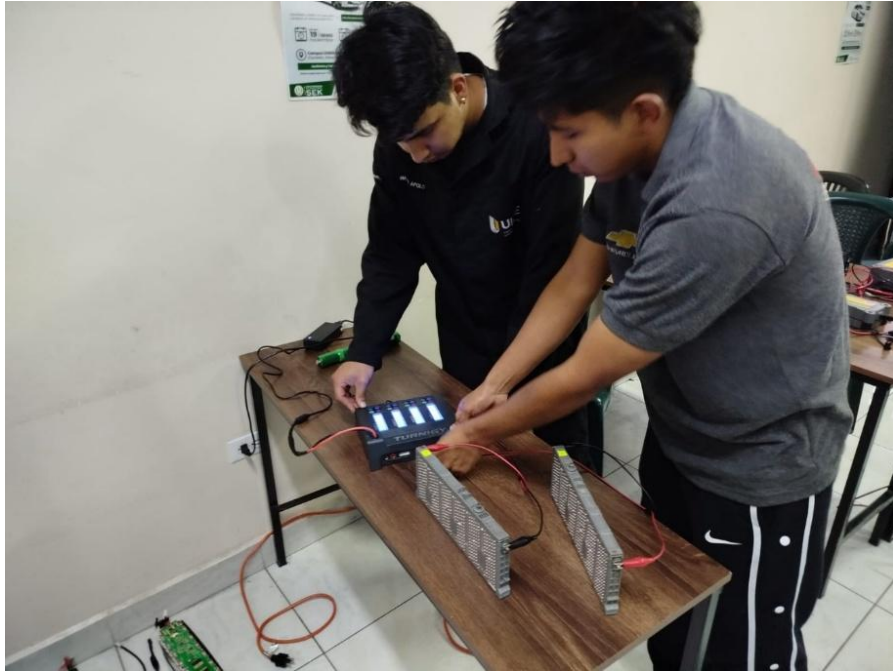
Fuente: Elaboración propia

Anexo 18. Comprobación de fugas de aislamiento (se encontraron 10 celdas fisuradas)



Fuente: Elaboración propia

Anexo 19. Proceso de carga y descarga de baterías con el equipo medidor de capacidad y balanceadores de celdas



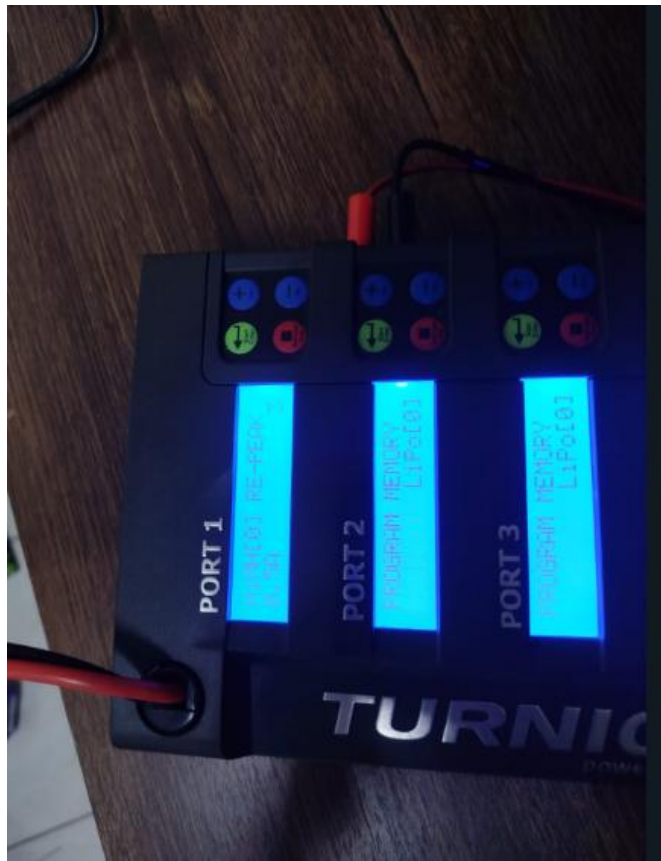
Fuente: Elaboración propia

Anexo 20. Proceso de selección de parámetros para carga y descarga baterías NiMH



Fuente: Elaboración propia

Anexo 21. Selección de proceso re peak (3 veces



Fuente: Elaboración propia

Anexo 22. Selección de proceso de descarga ajuste de parámetros



Fuente: Elaboración propia

Anexo 23. Selección de proceso de carga ajuste de parámetros



Fuente: Elaboración propia

Anexo 24. Medición de resistencias internas de la celdas



Fuente: Elaboración propia

Anexo 25. Análisis BMS



Fuente: Elaboración propia

Anexo 26. Medición de resistencias de los pines de la BMS



Fuente: Elaboración propia

Anexo 27. Pines con falla luego de la comprobación



Fuente: Elaboración propia

Anexo 28. Proceso de reparación de arnés de la BMS



Fuente: Elaboración propia

Anexo 29. Proceso de conexión de la batería al equipo para realizar el balance de las celdas



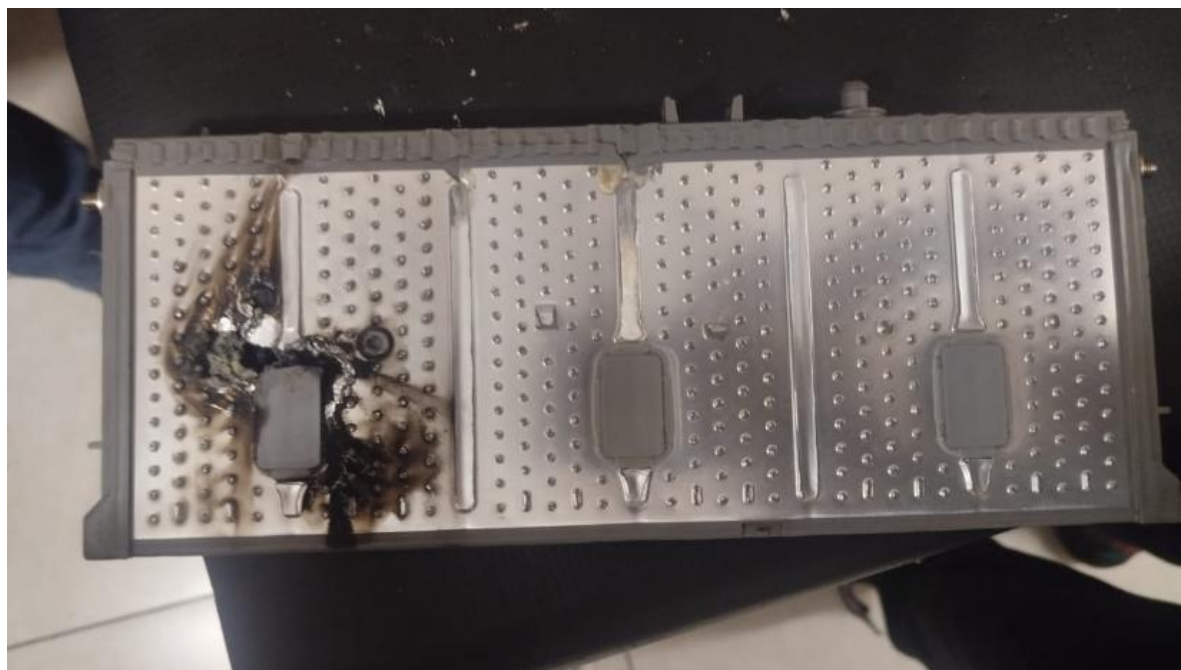
Fuente: Elaboración propia

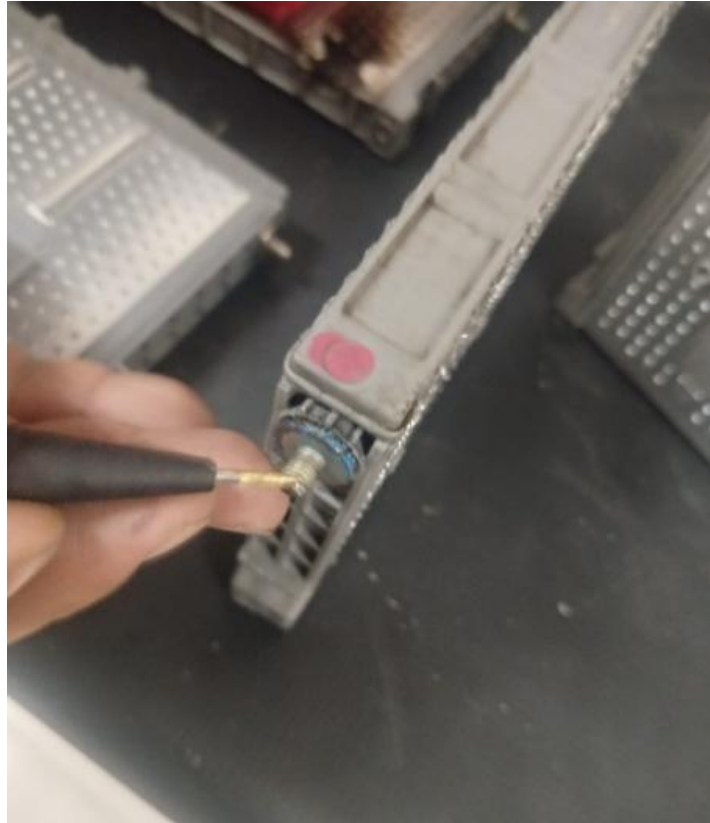
Anexo 30. Proceso finalizado



Fuente: Elaboración propia

Anexo 31. Celdas con fugas de ácido y dañadas





Fuente: Elaboración propia

Anexo 32. Montaje de la batería reparada



Fuente: Elaboración propia

Anexo 33. Información del panel con la batería instalada



Fuente: Elaboración propia

Anexo 34. Código de falla del vehículo en el que se trabajo

Last Modified: 7-22-2008	5.1 C	From: 200808
Model Year: 2009	Model: Prius	Doc ID: RM000001PS5006X
Title: P112 HYBRID VEHICLE CONTROL: HYBRID CONTROL SYSTEM: P0AA6-526: Hybrid Battery Voltage System Isolation Fault (2009 Prius)		

DTC	P0AA6-526	Hybrid Battery Voltage System Isolation Fault
------------	------------------	--

DTC	P0AA6-611	Hybrid Battery Voltage System Isolation Fault
------------	------------------	--

DTC	P0AA6-612	Hybrid Battery Voltage System Isolation Fault
------------	------------------	--

DTC	P0AA6-613	Hybrid Battery Voltage System Isolation Fault
------------	------------------	--

DTC	P0AA6-614	Hybrid Battery Voltage System Isolation Fault
------------	------------------	--

Fuente: Elaboración propia