



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### ESTUDIO DE LA INCIDENCIA DE LA CARGA EN LA ECUALIZACIÓN DE LOS PACKS DE BATERÍAS DE ALTA TENSIÓN DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS PARA ESTIMAR LA DURABILIDAD, RENDIMIENTO Y POS USO

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
MAGÍSTER EN SISTEMAS AUTOMOTRICES

#### NOMBRE DE LOS AUTORES

HENRY HERIBERTO IZA TOBAR  
henryiza@hotmail.com  
EDWIN MARTÍN POZO GORDILLO  
martinpz88@hotmail.com

#### DIRECTOR:

Fis. MARCO VINICIO YÁNEZ SALCEDO, M.Sc.  
marco.yanez@epn.edu.ec

#### CODIRECTOR:

Ing. WASHINGTON GERMÁN ERAZO LAVERDE, M.Sc.  
wgerazo@espe.edu.ec

#### FECHA

Quito, Junio 2017

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Henry Heriberto Iza Tobar y Edwin Martín Pozo Gordillo, bajo nuestra supervisión.

---

Fis. Marco Vinicio Yáñez Salcedo M.Sc.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

Ing. Washington Germán Erazo Laverde M.Sc

**CODIRECTOR DE PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Yo, **Henry Heriberto Iza Tobar**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Autor

## DECLARACIÓN

Yo, **Edwin Martín Pozo Gordillo**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Autor

## DEDICATORIA

Este estudio lo dedico a Dios por bendecirme en cada uno de los momentos de mi vida, traslados diarios a los estudios de la maestría y por cada instante que han permitido lograr este objetivo.

Dedico a mis padres Carmita y Luis por darme el apoyo en el desarrollo no solo de este estudio sino en mi vida diaria. Los Amo Mucho.

De manera muy especial, lo dedico a Anita Parreño porque gracias a sus palabras me ha compartido la fortaleza, la perseverancia, la forma de alcanzar los objetivos. Por estar siempre pendiente de mi (todos los días) muchas gracias Amor. Te amo.

Henry Heriberto Iza Tobar

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Edwin Pozo y Mercedes Gordillo, quienes a lo largo de mi vida me han apoyado incondicionalmente y en todo momento, depositando en mí toda la confianza para asumir nuevos retos, sin dudar ni un momento de mi capacidad e inteligencia. Gracias por todo papá y mamá, los amo demasiado.

A mi esposa Sandra Del Valle por brindarme todo su apoyo, paciencia y comprensión durante mis esfuerzos de superación profesional y por haberme dado el regalo más hermoso del mundo mis dos hijos: Luciana y Camilo.

A mis hijos porque me hacen ver la vida de otra manera y ahora son la fuente de mi inspiración y motivación para superarme y ser un buen ejemplo para ellos.

A mis hermanas por confiar siempre en mí y darme palabras de aliento para seguir esforzándome día a día y mantenerme perseverante en el camino que conlleva al éxito.

A mi abuelito Oswaldo que se encuentra en el cielo y que siempre estuvo ahí para darme lo que necesité, y me brindaba mucho amor y apoyo para seguir superándome, esto es también para ti Abuelito. Te llevo siempre en mi corazón.

Detrás de cada línea de llegada, hay una de partida.

Detrás de cada logro, hay otro desafío.

Si extrañas lo que hacías, vuelve a hacerlo.

Sigue, aunque todos esperen que abandones.

No dejes que se oxide el hierro que hay en ti.

Edwin Martín Pozo Gordillo

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer de manera especial a la Escuela Politécnica Nacional por permitirme cursar la Maestría en Sistemas Automotrices, por sus sólidos conocimientos adquiridos en sus aulas. Agradezco por la entrega que brindan los docentes para lograr los objetivos planteados para el desarrollo de los estudios en la Universidad.

Al personal de administrativo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y la Unidad de Posgrados quienes permanentemente han estado comunicándonos aspectos académicos y administrativos.

Al Físico Marco Yáñez por su entrega en la guía del presente estudio como docente tutor.

Al Ingeniero Germán Erazo por todos los conocimientos brindados para el desarrollo de nuestro estudio.

A mi amigo y compañero Martín Pozo quien, con su colaboración y entrega en el desarrollo de la presente investigación, contribuyó para alcanzar este nuevo objetivo en mi vida profesional.

A todas las personas que siempre han estado pendientes del desarrollo de nuestro estudio. A todos ustedes muchas gracias.

Henry Heriberto Iza Tobar

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional por abrir la Maestría en Sistemas Automotrices y permitirme seguir creciendo intelectualmente en tan prestigiosa Universidad, así como también a los docentes que fueron parte de ella y me compartieron todos su conocimientos y experiencias.

Un agradecimiento especial al Físico Yánez director de esta tesis, por su asesoramiento teórico y técnico. Por ser un gran mentor y una fuente de inspiración y estímulo para seguir creciendo intelectualmente; por su amistad y por permitir en gran medida que este proyecto se realice.

Debo agradecer también a la Empresa “CISE ELECTRONICS”, C-Tres por abrirnos las puertas de su taller y poder realizar las respectivas pruebas técnicas para poder culminar con nuestro estudio.

De igual manera al Ingeniero Washington Germán Erazo quien aportó con sus conocimientos para la elaboración de esta tesis.

A mi compañero de tesis Henry Iza por toda su entrega y constancia para lograr culminar lo que nos planteamos al inicio de la Maestría.

A todas las demás personas que aportaron de alguna manera en el desarrollo de este proyecto.

Edwin Martin Pozo Gordillo



## ÍNDICE

CERTIFICACIÓN .....	I
DECLARACIÓN .....	II
DECLARACIÓN .....	III
DEDICATORIA .....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
ABREVIATURAS Y DEFINICIONES .....	XIII
RESUMEN .....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Alcance.....	3
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>4</b>
1. MARCO TEÓRICO .....	4
1.1. Batería de alta tensión .....	14
1.2. Funcionamiento de la Batería de alta tensión .....	15
1.3. Autos Híbridos en América del Sur .....	17
1.4. Autos híbridos en el Ecuador .....	19
1.5. Mantenimiento y post uso de las baterías de alta tensión .....	21
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>25</b>
2. METODOLOGÍA.....	25
2.1. Enfoque.....	25

2.2.	Tipo de Investigación .....	25
2.3.	Técnica de recolección de información .....	25
2.4.	Muestra .....	25
2.4.1.	Selección de la batería de alta tensión .....	27
2.5.	Definición de hipótesis o supuestos de partida .....	27
2.6.	Protocolo de pruebas .....	27
2.6.1.	Caracterización de los datos de funcionamiento de la batería en el vehículo .....	28
2.6.2.	Desmontaje de la batería de alta tensión del vehículo .....	28
2.6.3.	Despiece de la batería .....	29
2.6.4.	Restablecimiento de la capacidad de la batería .....	30
2.6.5.	Nivelación automática y manual del voltaje inicial .....	31
2.6.6.	Precarga de restauración de la celda al voltaje nominal.....	32
2.6.7.	Carga con un estado de carga SOC (State of Charge) de 30% ...	32
2.6.8.	Control de la capacidad de carga .....	33
2.6.9.	Carga y descarga controlada a 28 celdas .....	33
2.6.10.	Ecualización de los packs de batería de alta tensión .....	35
2.6.11.	Ciclaje de la batería en el vehículo .....	35
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>.....</b>	<b>37</b>
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	37
3.1.	Resultados .....	37
3.1.1.	Datos obtenidos del funcionamiento de la batería en el vehículo .	37
3.1.2.	Resultados de la carga con un SOC de 30% .....	38
3.1.3.	Resultados del control de la capacidad de carga .....	44
3.1.4.	Resultados de la carga y descarga controlada a 28 celdas.....	47
3.1.5.	Resultados de la ecualización de los packs de batería .....	48
3.1.6.	Resultados del ciclaje de la batería en el vehículo .....	49
3.2.	Discusión .....	54
3.2.1.	Datos obtenidos del funcionamiento de la batería en el vehículo .	54
3.2.2.	Cargas con un SOC al 30%.....	55
3.2.3.	Control de la capacidad de carga .....	56
3.2.4.	Cargas y descargas controladas para 28 celdas .....	57
3.2.5.	Ecualización de los packs.....	60

3.2.6. Ciclaje de la batería de alta tensión.....	61
3.2.7. Comparación del costo de las baterías de alta tensión .....	63
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>65</b>
4.1. CONCLUSIONES .....	65
4.2. RECOMENDACIONES.....	66
4.3. TRABAJOS FUTUROS.....	67
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>72</b>
Anexo1: Característica del Toyota Prius.....	73
Anexo 2: Ubicación de los componentes del Toyota Prius .....	75
Anexo3: Funcionamiento del Toyota Prius .....	76
Anexo 4: Características de la batería de alta tensión del Toyota Prius....	77
Anexo 5: Elementos para la fuente transistorizada y carga electrónica.....	78
Anexo 6: Diagramas de conexión para la fuente transistorizada y carga electrónica. ....	79
Anexo 7: Programación en Arduino .....	80
Anexo 8: Ecuación de la batería.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Configuración de la batería híbrida Níquel Hidruro Metálico .....	9
Figura 2. Batería de alta tensión. ....	15
Figura 3. Venta de vehículos híbridos por marca .....	19
Figura 4. Resumen venta de vehículos híbridos 2010-2014 .....	20
Figura 5. Venta de vehículos híbridos por provincia.....	21
Figura 6. Banco de pruebas para baterías de vehículos híbridos. ....	30
Figura 11. Contactos de batería sulfatados.....	31
Figura 10. División de la batería.....	31
Figura 11. Descarga de la batería a 5V.....	32
Figura 10 Ecuación de los packs. ....	35
Figura 11 Voltajes vs. Número de packs.....	37
Figura 12 Voltajes vs. Número de celdas.....	38
Figura 13 Datos obtenidos a través de Techstream.....	38
Figura 14. Carga a 2A durante una hora.....	39
Figura 15. Carga a 2A durante una hora.....	40
Figura 16. Carga a 2A durante una hora.....	41
Figura 17. Carga a 2A durante una hora.....	42
Figura 18. Carga a 2A durante una hora.....	43
Figura 19. Carga a 2A durante una hora.....	44
Figura 20. Carga a 3A y 60°.....	48
Figura 21. Descarga a 3A y 60°C.....	48
Figura 22. Conexiones de la celda al cargador individual. ....	48
Figura 23. Ecuación de los packs de batería. ....	49
Figura 24. Ecuación prueba de ruta.....	50
Figura 25. Interfase de los datos del vehículo según el equipo de diagnóstico.....	51
Figura 26. Ecuación prueba de ruta.....	52
Figura 27. Interfase de los datos del vehículo según el equipo de diagnóstico.....	52
Figura 28. Ecuación prueba de ruta.....	53
Figura 29. Interfase de los datos del vehículo según el equipo de diagnóstico.....	54
Figura 30. Modelo de Thevenin capa simple.....	57
Figura 31. Modelo de Thevenin doble capa. ....	58
Figura 32. Modelo de Thevenin Runtime. ....	58
Figura 33. Circuito de carga de un condensador.....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de las baterías de litio.....	11
Tabla 2. Especificaciones Toyota Prius Tercera Generación.....	26
Tabla 3. Característica de la batería del vehículo PRIUS tercera generación..	27
Tabla 4 Pruebas de carga.....	34
Tabla 5 Pruebas de carga.....	34
Tabla 6. Datos obtenidos del equipo de diagnóstico.....	37
Tabla 7. Carga a 2A. bloque A.....	39
Tabla 8. Carga a 2A. bloque B.....	40
Tabla 9. Carga a 2A. bloque A.....	41
Tabla 10. Carga a 2A. bloque B.....	42
Tabla 11. Carga a 2A. bloque A.....	43
Tabla 12. Carga a 2A. bloque B.....	44
Tabla 13. Control de la capacidad de carga a 1A primera prueba bloque A. ...	45
Tabla 14. Control de la capacidad de carga a 1A primera prueba bloque B. ...	45
Tabla 15. Control de la capacidad de carga a 1A segunda prueba bloque A... 46	46
Tabla 16. Control de la capacidad de carga a 1A segunda prueba bloque B... 46	46
Tabla 17. Control de la capacidad de carga a 1A tercera prueba bloque A. ....	47
Tabla 18. Control de la capacidad de carga a 1A tercera prueba bloque B. ....	47
Tabla 19. Voltajes ecualizados.....	49
Tabla 20. Pruebas en el vehículo 1.....	50
Tabla 21. Pruebas en el vehículo 2.....	51
Tabla 22. Pruebas en el vehículo 3.....	53
Tabla 23. Comparación del costo de las baterías de alta tensión.....	63

## ABREVIATURAS Y DEFINICIONES

**AEADE:** Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador.

**ANAC:** Asociación Nacional Automotriz de Chile.

**ANT:** Agencia Nacional de Tránsito.

**Argonne National Laboratory;** Es el primer laboratorio nacional de investigación en ciencia e ingeniería en los Estados Unidos, y recibe esta denominación desde el 1 de julio de 1946

**BMS:** (Battery Management System) sistema de gestión de la batería

**CINAE:** Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana

**Call2Recycle:** Empresa dedicada al desarrollo de programas de reciclaje de baterías y celulares sin costo para consumidores de los Estados Unidos y Canadá.

**Cise Electronics:** Centro de capacitación electrónica automotriz con su sede en MIAMI.

**C-Tres:** Empresa dedicada a la reparación de todo tipo de vehículos tanto a carburador, inyección y Vehículos Hybridos ubicada en la ciudad de Quito.

**DC:** Corriente directa

**ECM:** Módulo de control electrónico.

**EE.UU.:** Estados Unidos de Norte América

**Guantes Clase "0":** Guantes dieléctricos para riesgos eléctricos. Protege del paso de corriente a través del cuerpo humano. Paso de corriente eléctrica a

través del cuerpo humano (choque eléctrico), producido por el contacto físico con un elemento conductor, a diferente tensión. Certificado Riesgos Irreversibles EPI Cat. III, SEGÚN EN 60903:2003.

**HEV:** (Hybrid Electric Vehicles) Vehículos eléctricos híbridos.

**HV:** (High Voltage) Alto voltaje.

**Hidrometalurgia:** es la rama de la metalurgia que cubre la extracción y recuperación de metales usando soluciones líquidas, acuosas y orgánicas.

**IR:** (Internal Resistance) Resistencia Interna.

**MG1:** moto generador 1.

**MG2:** moto generador 2.

**OCV:** (Open Circuit Voltage) Voltaje de circuito abierto.

**OnTo:** desarrolla y patenta innovaciones avanzadas de reciclado de baterías que producen los materiales de los electrodos.

**Pirometalurgia:** Es una rama de la metalurgia extractiva en la que se emplean procesos para obtención y refinado o refinación de metales utilizando calor, como en el caso de la fundición.

**Ready:** Condición del vehículo híbrido que al pulsar el botón de encendido este se activa y enciende todos los elementos y accesorios. En esta condición el vehículo está listo para ponerse en marcha. Se puede definir esta condición como el llamado “contacto” en un vehículo convencional.

**Retrieve Technologies:** Empresa de reciclaje de baterías ubicada en Los Ángeles California Estados Unidos.

**RC:** Circuito resistencia-capacitor.

**SOC:** (State of Charge) Estado de carga.

**Techstream:** Interfase de diagnóstico automotriz.

**Tensión nominal:** Es la tensión límite, es decir la tensión que no debe ser superada en un funcionamiento normal.

**UE:** Unión Europea.

**Umicore:** Es una empresa multinacional de tecnología de materiales con sede en Bruselas, Bélgica.



## RESUMEN

El presente documento tiene por objetivo dar a conocer el desarrollo del estudio de la incidencia de la carga en la ecualización de los packs de baterías de alta tensión de vehículos híbridos para estimar la durabilidad, rendimiento y pos uso. Para ello es necesario delimitar el estudio a un vehículo en particular que es el Toyota Prius de tercera generación, debido a que en el país este auto tiene una mayor introducción en el mercado. La batería de este vehículo posee 14 packs de 2 celdas cada uno, el voltaje nominal de cada celda es de 7.2 voltios, lo que permite tener una batería con una alimentación de 201.6 voltios. Los fallos presentes en los vehículos híbridos tienen mayor incidencia en el sistema de carga y descarga de la batería de alta tensión. Una alternativa planteada es el reacondicionamiento y la ecualización que se le pueda realizar a este elemento principal de sistema híbrido, este procedimiento se lo describe en la metodología y en los resultados esperados. En caso de que las celdas no se las pueda reacondicionar se plantea varias alternativas para el desarrollo y pos uso de estos elementos que por muchas empresas automotrices están siendo desechadas. El aporte de este estudio consiste en dejar a la batería de alta tensión que presenta averías en óptimas condiciones de funcionamiento, prolongando la vida útil, siguiendo procedimientos adecuados para el desarrollo de los mismos. A continuación, se plantea un modelamiento de una batería mediante una curva y ecuación similar a la de un capacitor, así como también el planteamiento de alternativas para las baterías que no se encuentran en condiciones óptimas de funcionamiento, y brindar una alternativa de solución a la empresa Braman Motors en lo referente al mantenimiento de los vehículos híbridos.

**Palabras Clave:** Batería, Carga, Celdas, Descarga, Ecualización, Packs.

## ABSTRACT

The objective of this study is to provide a comprehensive analysis about the incidence of charge equalization for high voltage batteries in hybrid vehicles, and estimate the durability, performance and post use of these batteries. To do so, this study focuses on Toyota Prius vehicles of third generation, because of their large share in the Ecuadorian market. The battery in this vehicle contains 14 packs, and each pack includes 2 cells. The nominal voltage of each cell is 7.2 volt, for a total battery voltage of 201.6 volt. A high incidence of failures in hybrid vehicles involves the high voltage battery charge and discharge system. To overcome this issue, an alternative approach for reconditioning and equalizing the battery is proposed. This procedure is described in the methodology and expected results sections. In cases where battery cells cannot be reconditioned, several alternatives for their development and post use are suggested. Most car companies dispose of damaged battery cells, so these alternative uses are important. The contribution of this study is to recondition a previously damaged, high voltage battery to its optimal performance conditions, and increase its lifetime following adequate procedures. The methods used involve modeling a battery using an equation similar to the one used to model a capacitor. Then, several alternatives are suggested for the use of batteries that are not in optimal performance conditions. Finally, this study also provides an alternative solution to Braman Motors for the maintenance of hybrid vehicles.

**Keywords:** Battery, Charge, Cells, Discharge, Equalization, Packs

# **ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO ESCRITO PARA: “PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN”**

## **Estudio de la incidencia de la carga y descarga de una batería de alta tensión para vehículos híbridos**

### **INTRODUCCIÓN**

En un vehículo híbrido la economía del sistema de combustible depende en gran medida de la capacidad del sistema de almacenamiento de energía eléctrica. Sin embargo, estas energías experimentan degradaciones tanto en la capacidad energética, como en la resistencia interna debido a varios procesos irreversibles [1].

La tasa de pérdida de capacidad de la batería está determinada por muchos factores, incluyendo condiciones operativas y ambientales. Factores tales como temperatura extrema, alto o bajo estado de carga (SOC) y descarga excesiva contribuyen a la degradación de su capacidad. La temperatura ambiente afecta considerablemente ya que en ensayos realizados a una celda revelan que el ciclo de vida incide principalmente en la carga y, a las mismas condiciones de prueba se vuelve insensible a la descarga. Para diferentes ciclos de carga de una celda se ha determinado que el corte de carga es más eficiente cuando alcanza un valor de 4.2 voltios con una incidencia directa de la temperatura [2].

Otro de los principales inconvenientes que se está produciendo en los vehículos híbridos se debe a una conducción errónea del vehículo ya que mediante entrevistas realizadas a 15 propietarios de vehículos híbridos indicaron que la forma de conducción lo hacían similar a la de un vehículo a combustión, sin tomar en consideración: la observación del entorno a la mayor distancia posible, previsión de las acciones de los demás, dominio del espacio propio y ajeno, suavidad en el manejo de los mandos, y la utilización de la velocidad cruceo que son factores determinantes para sacar el mayor provecho a los autos híbridos

Los propietarios de los vehículos híbridos al tomar en consideración que en el manual del vehículo indica que al sistema híbrido se le debe realizar un

mantenimiento por año es decir cada 20.000 km, no toman atención a este requerimiento mecánico y únicamente se acercan a un taller especializado o concesionario cuando la luz testigo del sistema híbrido se enciende. Inclusive muchos de ellos pierden la garantía de las baterías de alta tensión que ofrecen los fabricantes de los vehículos. En la observación directa se ha determinado que algunos vehículos llegan al taller con 6.000 km de recorrido con averías en la batería de alta tensión debido principalmente a la mala conducción.

En el 2008 ingresa el primer vehículo híbrido a Ecuador. El Toyota Prius fue una alternativa para ahorrar combustible y reducir emisiones y según reporta la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) se vendieron 510 vehículos híbridos, para el 2013 se reportan ventas de 4.509 autos y se estima que para el 2016 se tengan ventas de 593 autos híbridos debido al incremento de hasta un 35% al arancel de importaciones. Para vehículos que superen un costo de venta al público de USD. 35.000 se incrementará un impuesto adicional del 5% debido a las salvaguardias. Se considera factible el ingreso de vehículos híbridos al país ya que las personas están tomando conciencia del cuidado ambiental y por ello estos autos siguen teniendo una buena demanda. Se estima que el parque automotor híbrido en el país es de 15.608 vehículos siendo este indicador un punto a tomar en cuenta ya que el funcionamiento y autonomía de estos depende circunstancialmente de la batería de alta tensión [3].

En las empresas que comercializan y talleres que reparan vehículos híbridos, se ha venido detectando inconvenientes en el almacenamiento de las baterías de alta tensión que son cambiadas, muchas de estas han sido desechadas generando problemas de contaminación ya que no hay un lugar adecuado de desecho de las mismas y esperan al gestor ambiental para que ellos sean los encargados de realizar un proceso de reciclaje, generándose pérdidas económicas tanto para el usuario del vehículo como para el taller porque tienen que pagar al gestor para que haga el manejo adecuado de este elemento del vehículo.

## **Objetivo general**

Estudiar la incidencia de la carga en la ecualización de los packs de baterías de alta tensión de vehículos híbridos, para estimar la durabilidad, rendimiento y pos uso.

## **Objetivos específicos**

- Establecer una función de dependencia entre el rendimiento del ciclo carga-descarga en baterías de alta tensión, para unas condiciones de trabajo dadas, con la finalidad de establecer el grado de durabilidad y rendimiento de la batería.
- Determinar aspectos relevantes sobre el manejo y el pos uso de las baterías de alta tensión.
- Realizar mediciones mediante pruebas de ruta de los estados de carga y descarga.
- Establecer un algoritmo eficiente de la batería de alta tensión a través de un equipo de diagnóstico avanzado que permita determinar el factor corrector de la capacidad en baterías de litio a partir del tiempo de descarga para una intensidad de descarga dada

## **Alcance**

Lograr la correcta ecualización de los packs de baterías de los sistemas de alta tensión para vehículos híbridos, prolongando la duración y rendimiento de las mismas, así como su pos uso.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

Se toma como referencia a nivel mundial a Noruega donde un cuarto de los vehículos nuevos vendidos en los primeros tres meses del 2015 corresponde a eléctricos o híbridos. Tiene una relación directa con muchos de los sistemas de generación de energía utilizados en la vida diaria como los paneles solares y los aerogeneradores que se los están utilizando cada vez más en países desarrollados y en vías de desarrollo. Pero estos signos de progreso hacia un futuro más sostenible han generado una fabricación de grandes baterías que utilizan productos químicos y metales extraídos que toman grandes cantidades de energía para obtener una batería eficiente [4] [5].

El reciclaje puede minimizar el impacto ambiental de las baterías mediante la reducción de energía requerida para su producción, así como los daños medioambientales causados por los peligrosos materiales usados en su fabricación como en la de nuevas baterías [6].

Desafortunadamente la mayoría de las baterías que no son de plomo no se reciclan, ya que casi en la mayoría de países no es requerido. En algunos estados de EE.UU. fomentan el reciclado de ciertos tipos de baterías, pero no como algo obligatorio. Una ley de la Unión Europea exige el reciclaje, pero se está introduciendo progresivamente en el tiempo. Lo que deja a la parte económica como un aspecto motivacional, ya que las baterías no contienen suficientes metales preciosos para hacer el reciclaje económicamente viable. Además, los procesos de reciclaje disponibles hoy en día reducen los metales extraídos de nuevo a su forma original, lo que significa que se deben repetir múltiples procesos para construir una nueva batería [4].

En la actualidad, una de las baterías ya se ha reciclado ampliamente esta es la de plomo-ácido (que se utilizan en la mayor parte de vehículos a combustión), y tiene una tasa de reciclaje del 98% debido a que el plomo es tóxico y su eliminación está fuertemente regulada. El reciclaje de baterías de plomo cuesta

menos que la minería del plomo, y porque este metal pesado compone aproximadamente el 65% de la masa de la batería. El proceso ahorra dinero para los fabricantes y es lucrativo para los comerciantes de chatarra, como lo indica Joe Acker, que ha trabajado reciclando el plomo de las baterías durante 25 años y ahora es presidente de *Retriev Technologies*, anteriormente Toxco, una compañía de reciclaje de baterías en Anaheim, California [2].

Pero mientras que las baterías de plomo-ácido son casi siempre recicladas, es menos común ver reciclar las baterías de iones de litio de los teléfonos móviles, la electrónica portátil y los autos híbridos y eléctricos. En la UE, sólo el 5% del litio de las baterías vendidas en 2010 fueron recicladas. Una de las razones de esta baja tasa de reciclaje de estas baterías corresponde a un proceso de reciclaje complejo [4] [7] [8]

Las baterías de plomo-ácido tienen pocos materiales en el diseño, dice Linda Gaines, analista para el Centro de Investigación en Transporte *Argonne National Laboratory* en Illinois. Se hace fácil recuperar el plomo ya que este producto está estandarizado; por otro lado, las baterías de litio tienen varios elementos químicos y formas micro estructurales, por ejemplo en el cátodo se podría incluir el cobalto, níquel, manganeso, fósforo y hierro, mientras que el ánodo es típicamente carbono, y el electrolito orgánico contiene sales de litio, cobre, aluminio y acero [4] [9].

Gran parte del reciclaje de la batería de iones de litio ha sido motivada por la extracción de cobalto desde el cátodo y en menor medida el níquel y cobre, el valor de este elemento hace que el reciclaje sea económicamente atractivo. En particular, el cobalto es caro y difícil de obtener; Una de sus fuentes primarias es la zona de conflicto en la República Democrática Del Congo. Sin embargo, el cobalto se está eliminando gradualmente mientras que los investigadores encuentran materiales más baratos para el cátodo [4] [8].

Los métodos de reciclado hoy en día se basan en el refinado de metales, como por ejemplo la pirometalurgia, en la que las baterías se alimentan en una fundición y se funden para recuperar los metales. En las baterías de iones de

litio más antiguas, el cobalto podría representar el 18% de la batería, pero el resto de los materiales, incluyendo litio y aluminio, terminan en escoria y luego son enterrados o incrustados en concreto. La empresa de reciclado de baterías *Umicore*, con sede en Bruselas, utiliza pirometalurgia para recuperar el cobalto, níquel, cobre y otros metales de las baterías de iones de litio y baterías de níquel-hidruro metálico [8].

Los fabricantes de baterías pagan a la compañía para que recicle sus productos. "Los productores y coleccionistas pagan por el servicio para asegurarse de que las credenciales de los productos "verdes" son sólidas, o para cumplir con los objetivos de la legislación". Otro método de reciclado es la hidrometalurgia que es utilizado por recicladores como *Retriev Technologies*. En este proceso, las células se separan en varias corrientes de producto sobre la base de lo que se hunde, flota o cuelga en solución. A continuación, se añaden productos químicos al agua, donde reaccionan con componentes catódicos para fabricar nuevos compuestos que son más fáciles de separar [8].

Pero tanto la pirometalurgia como la hidrometalurgia tienen limitaciones. Aparte de su gran huella de energía y emisiones, muchos materiales, incluyendo litio y aluminio, terminan en la corriente de residuos después de la fundición, lo que significa que se deben extraer más materiales para construir baterías nuevas. Steve Sloop, presidente de *OnTo Technology*, una empresa de investigación y desarrollo en Bend Oregon, está trabajando en el reciclaje de baterías. Sloop desarrolló un método llamado recuperación directa. En lugar de recuperar elementos básicos, como con la pirometalurgia, o romper parcialmente la estructura molecular de los compuestos, como con la hidrometalurgia, este método implica bañar el cátodo en una solución química blanda para rejuvenecerlo. Las reacciones son topotácticas, lo que significa que se conservan los elementos estructurales del cátodo, pero se cambia su composición química. De esta manera, los materiales catódicos como el litio que no son valiosos para ser recuperado por pirometalurgia o hidrometalurgia pueden ser reutilizados en las baterías. Se trata de un proceso de bajas emisiones y de baja temperatura, con muy pocos residuos. "Es realmente barato hacer esto", dice Sloop. La mayor parte de los ahorros de costos provienen de



no tener que reconstruir el cátodo de nuevo, y la recuperación directa utiliza menos energía que los procesos piro- e hidrometalúrgicos. También produce menos emisiones y desperdicios, ahorrando dinero en el cumplimiento de las regulaciones de contaminación atmosférica y de eliminación [4] [5] [8] [10].

El proceso es un sistema de circuito cerrado, dice Sloop "Aluminio, plásticos, carbono, metal partes de la célula pueden ser reutilizadas ". Calcula que, debido a esta estabilidad, la recuperación directa requiere menos del 2% de la energía requerida para la refinación de nuevos metales. Tampoco depende de grandes volúmenes; Los recicladores pueden agregar plantas modulares a medida que el volumen de material se eleva [10].

Aunque la recuperación directa todavía no se utiliza comercialmente, las primeras pruebas son prometedoras, dice Sloop. "Los niveles de rendimiento son tan altos como con los nuevos materiales." OnTo Technology está probando una batería de autos construida con material rejuvenecido de una batería de vehículo eléctrico gastada [4] [10].

Hasta que la recuperación directa se haya demostrado, las regulaciones pueden ayudar a iniciar programas de reciclaje e impulsar la innovación, como ocurrió con las baterías de plomo-ácido. En la UE, un fabricante es responsable de su producto durante todo su ciclo de vida, especialmente la recogida, el reciclado y la eliminación final. La Directiva de 2006 de la UE sobre las baterías estableció un calendario para el reciclaje de porcentajes progresivamente mayores de las baterías y responsabilizó a los productores de baterías por esos esfuerzos. El programa está todavía en sus primeros días - el primer objetivo de la directiva era reciclar el 25% de baterías para septiembre de 2012 y el próximo objetivo es el 45% para septiembre de 2016 [11].

En los Estados Unidos, no hay una regulación federal para el reciclaje de baterías, dejando una variedad de reglas a nivel estatal. La industria ha hecho algunos esfuerzos para llenar ese vacío. Desde 1996, un programa voluntario llamado *Call2Recycle*, que es financiado por fabricantes de electrónica, ha reciclado más de 38,5 millones de kilogramos de pequeñas baterías de consumo

y teléfonos móviles en Estados Unidos y Canadá, pero todavía es una pequeña fracción del total. Carl Smith, presidente de Call2Recycle, dice que la organización recicla quizás el 2% de las pilas alcalinas y posiblemente el 12% de ion litio. En Columbia Británica, Quebec y Manitoba en Canadá tienen un programa de reciclaje obligatorio, y en estos lugares, *Call2Recycle* recoge alrededor del 25% de lo que se vende, dice Smith [12].

El diseño de producto podría ayudar a aumentar el reciclaje. Gaines tiene algunas ideas de estrategias para facilitar la recuperación y reutilización, como usar el número mínimo de componentes, estandarizar formatos y materiales y evitar materiales tóxicos (como cadmio, arsénico, mercurio o halógenos).

También recomienda diseños que permitan una separación fácil, tales como tuercas y tornillos en lugar de soldaduras. Más de 130 empresas de almacenamiento de energía operan en California, pero las preocupaciones de fin de vida son ampliamente ignoradas por los innovadores y los capitalistas que los financian. En su lugar, priorizan el rendimiento y el costo, para captar mejor la cuota de mercado [4] [12].

Las baterías son el elemento clave de los vehículos híbridos y eléctricos. Han sido llamados vehículos "híbridos" a los que utilizan un motor eléctrico y un motor de combustión interna para llevar a cabo su trabajo. A diferencia de los coches eléctricos individuales, los vehículos híbridos no tienen la necesidad de conectarse a una toma de corriente para recargar la batería, el generador y el sistema de "frenado regenerativo" son responsables de la carga de los mismos. [5]

Los vehículos híbridos requieren grandes paquetes de baterías con alta densidades de energía y potencia para convertirse en una opción competitiva de transporte. Los sistemas de control de las baterías han desarrollado sistemas que permite igualar la tensión en el SOC (State Of Charge) y un control en el estado de la batería. La tensión entre cada una de las celdas es crítica para el funcionamiento eficiente de la batería, una ecualización se hace importante para evitar un impacto negativo en el funcionamiento de cada una de las celdas y

packs. Sin embargo, con el degradado y efecto memoria de la batería existe una pérdida significativa de potencia debido a la resistencia interna, dicha pérdida se ve afectada por el ciclo de conducción. [13]

La batería constituye uno de los elementos principales del sistema híbrido, por su continuo trabajo de aporte al sistema en la actualidad presenta inconvenientes que se evidencian en los diferentes concesionarios, talleres a los cuales un vehículo híbrido llega con problemas de los packs de batería de alta tensión los mismos que presentan menor o mayor voltaje nominal en comparación con los otros packs, lo que conlleva a que la luz testigo se encienda.

La batería de alta tensión para el caso de un Toyota Prius provee un voltaje nominal de 201.6 V en las versiones más modernas, y voltajes mayores para versiones anteriores del Prius. Este valor de voltaje puede llegar hasta un 20% más alto cuando el SOC de la batería es alto. Lógicamente estos valores cambian dependiendo del fabricante. Este voltaje en el caso del Prius proviene de un paquete de 14 bloques de baterías en serie dispuestos en el siguiente orden: existen 28 celdas pequeñas de 7,2 V cada una y están conectadas en serie de dos en dos para formar 14 paquetes de baterías de 14,4 V cada una y a su vez están conectadas todos estos 14 paquetes en serie para generar un total de 201.6 Voltios nominales [14] como se puede observar en la Figura 1.

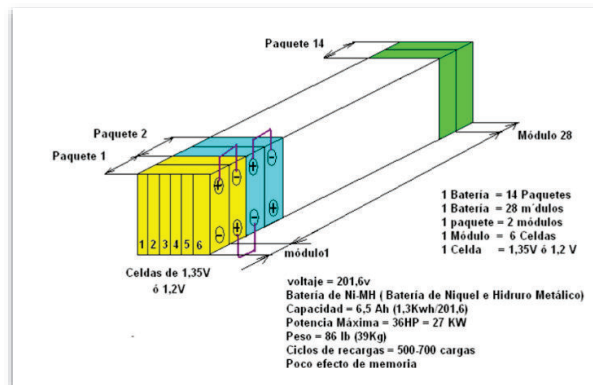


Figura 1. Configuración de la batería híbrida Níquel Hidruro Metálico  
(Fuente: F. Augeri, «Introducción al funcionamiento y diagnóstico de Vehículos Híbridos I,»  
CISE Electrónica, Miami, 2009.)

El mercado de vehículos híbridos se ha ido incrementando notablemente. En algunos países de Sudamérica se discute sobre la importación libre de impuestos de este tipo de tecnología, para contribuir con el cuidado del medio ambiente. El Prius del fabricante Toyota fue el primer modelo en ser introducido al mercado en el año 2001 y posteriormente más marcas fueron lanzando al mercado sus modelos como es el caso de Lexus, Ford, GM, etc. [14]

Las baterías de Níquel-Metal Hidruro han sido las preferidas por el Toyota Prius durante sus más de 10 años de historia. Su potencia específica es correcta, su ciclo de vida es mayor y tienen un bajo impacto medioambiental, mientras que posee un alto índice de descarga en periodos de inactividad (pierden el 30% de la carga en un mes sin usarlas) y su costo de producción es algo elevado por incorporar otros materiales en el electrodo positivo. La densidad energética consiste en la cantidad de energía que almacena la batería por quilo y es de 60 Wh/kg lo que las hace superiores a las de Plomo-Ácido, pero las mantiene a un valor inferior que el Litio [15].

Las diferentes baterías de Ion-Litio tienen en común la utilización de un ánodo de Litio-Carbono y difieren entre sí en el óxido de litio que utilizan en el cátodo. Los fabricantes de baterías presentan un conjunto diferente de características técnicas y por tanto, aunque se menciona constantemente las baterías de Ion-Litio debido a su uso especialmente en vehículos eléctricos, se está utilizando probablemente una denominación demasiado genérica y que abarca muchas posibilidades [15]. En la Tabla 1 se describen algunos tipos de baterías según su material.

Tabla 1. Características de las baterías de litio

<p><b>Baterías de Litio-Cobalto (Li Co O2)</b></p>	<p><b>Densidad energética 170-185 Wh/kg.</b></p>	<p>Son las más extendidas para dispositivos móviles como teléfonos y ordenadores portátiles, pero son difícilmente utilizables en vehículos porque sólo soportan unos 500 ciclos de recarga y en caso de accidente y rotura pueden generar reacciones exotérmicas que desemboquen incluso en incendios. [15]</p>
<p><b>Baterías de Litio-Hierro-Fosfato (Li Fe P O2)</b></p>	<p>Densidad energética 90 – 125 Wh/kg.</p>	<p>Son las más seguras por tener la mayor estabilidad térmica y química. Su densidad energética está en la zona baja, pero se pueden considerar un salto adelante en seguridad y también en durabilidad, con hasta 2.000 ciclos de recarga. Son también las más baratas, junto con las de cobalto, pero estas sí se pueden emplear en automoción para mover híbridos y eléctricos puros sin riesgos. [15]</p>
<p><b>Baterías de Litio-Manganeso (Li Mn2 O2)</b></p>	<p>Densidad energética 90 – 110 Wh/kg.</p>	<p>Son más estables térmicamente que las de cobalto y soportan un mayor voltaje, pero se encuentran con una inferior densidad energética. El manganeso no es contaminante. [15]</p>
<p><b>Baterías de Litio-Níquel-Cobalto-Manganeso (Li Nix Coy Mnz O2)</b></p>	<p>Densidad energética 155 – 190 Wh/kg.</p>	<p>Muy buen rendimiento y coste razonable, se empiezan a utilizar en vehículos eléctricos masivamente. Soportan 1.500 ciclos y voltajes de los más altos. [15]</p>
<p><b>Baterías de Litio-Titanio (Li4 Ti5 O12)</b></p>	<p>Densidad energética 65 – 100 Wh/kg.</p>	<p>Son las más duraderas, pues aguantan hasta 12.000 ciclos de recarga (unas 10 veces más que cualquiera de las otras) pero su densidad energética actual es baja y su coste, muy elevado. [15]</p>

(Fuente: <http://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/>.)

Realizar los procesos de recarga externa en las baterías de iones de litio es muy adecuado para los HEV (Hybrid Electric Vehicle) y vehículos eléctricos, pero todavía no se han adoptado ampliamente en la industria del automóvil, debido a la negociación, el costo, la seguridad y el rendimiento a baja temperatura [16].

Cuando existe un cambio brusco del potencial químico, entendiéndose a esto como el movimiento de una partícula de los elementos del cátodo al momento que la batería está semi cargada se lo denomina efecto memoria, esto es un fenómeno que reduce la capacidad de las baterías con cargas incompletas. Se produce cuando se carga una batería sin haber sido descargada del todo, se crean unos cristales en el interior de estas baterías a causa de una reacción química al calentarse la batería, bien por uso o por las malas cargas [16] [17].

La batería de iones de litio se ha convertido en uno de los principales elementos para el desarrollo de la nueva industria energética, debido a que tiene altas densidades de energía y potencia, esto la convierte en una elección adecuada para el suministro de energía para el transporte. En los últimos años, los paquetes de batería han aumentado como una tecnología muy útil para elementos portátiles y aplicaciones vehiculares. [17] y [18]

Como el voltaje de una sola celda está limitada a un rango de trabajo cuyos valores varían entre los 1,2 y 4.15 Voltios, los módulos de la batería y los paquetes están hechos vía combinaciones seriales y paralelas, entonces se hace complejo comprender la diferencia de carga y descarga de cada una de ellas. El trabajo y la diferencia del estado de estas celdas se ve afectado según el material y diferencia del proceso de producción, la temperatura y procesos de carga y descarga; como resultado se puede ver la inconsistencia en su rendimiento y eficiencia apresura el envejecimiento [17] [19].

El sistema de gestión de la batería ó (BMS como sus siglas en inglés) está diseñado y utilizado para gestionar el estado del uso de la batería, con el objetivo de detectar la carga y descarga de la batería y ajustar o equilibrar las condiciones de trabajo de los packs de batería. La caracterización y gestión de la ecualización

de una batería de alta tensión permite investigar y promover el rápido desarrollo de procesos en especial para vehículos híbridos y eléctricos [19].

Las funciones de BMS para los packs de batería consisten en el monitoreo de datos, estimación del estado de trabajo, gestión térmica, ajuste del balance, comunicación e interpretación de datos. La estimación del estado de trabajo se puede hacer usando el método de voltaje de circuito abierto (OCV), resistencia interna (IR), integración de seguridad, algoritmo de lógica difusa [20] que consiste en el control de sistemas debido a que un diseño adecuado permite: velocidad, precisión y flexibilidad en el control; algoritmo adaptativo neuron-fuzzy de inferencia [21] que hace uso de una regla de aprendizaje híbrida para optimizar los parámetros del sistema de primer orden; filtrado Kalman (KF) [22] que sirve para poder identificar el estado oculto (no medible) de un sistema dinámico lineal; y extendido KF (EKF) [9] se aplican luego como observadores de estado, en un problema clásico de control no-lineal conocido como “control del péndulo invertido”; algoritmo de estimación, modelo lineal y la impedancia espectroscopía [19] que proporciona información acerca del comportamiento del sistema estudiado tanto a nivel cualitativo como cuantitativo.

Los procesos de recuperación de los packs de baterías tienen como elemento principal para su desarrollo la ecualización que se pueden dividir en dos tipos que son disipativos que iguala la carga a la celda menos cargada disipando el exceso de carga en las demás y no disipativos o también llamado activos que aprovechan la carga de las más cargadas para cargar las menos cargadas según el intercambio de energía [7] [23]. Existen varios países que han invertido mucha mano de obra y recursos para llevar a cabo esta extensa investigación, como los EE.UU., Alemania, Japón, Corea del Sur, liderando la dirección de la investigación en este campo especial [24] [25]. General Motors, Toyota y otras empresas de automóviles han desarrollado vehículos eléctricos equipados con sistemas de gestión de baterías BMS que han alcanzado el nivel de producto industrial.

Las investigaciones para el desarrollo de los BMS desde la parte de prototipos hasta llegar a comercializar estos sistemas han atraído gran atención a quienes son parte de la industria automotriz, la tecnología BMS se ha desarrollado rápidamente en los últimos años y estos estudios y algunos relacionados están en pleno apogeo. Muchas universidades, Institutos de investigación y empresas han invertido montos de tiempo y dinero en la investigación BMS, existen muchas maneras que estos sistemas han entrado en la etapa práctica convirtiéndose en una nueva ola para la ecualización de los packs de baterías [26] [27]. Sin embargo, los BMS se encuentran en una etapa de crecimiento como parte de su estructura, aun no se ven sistemas perfectos especialmente en la aplicación para vehículos híbridos como para eléctricos.

Con el objetivo de resolver estos problemas de la ecualización y generar una estrategia para equilibrar los procesos de carga y descarga se realiza un BMS para los packs de batería denominado estimación del estado de batería (SOB) [28] [29].

Este concepto SOB está diseñado con el fin de caracterizar y regular la ecualización del pack de batería que no solo se lo hace a una sola celda sino a todo el conjunto de baterías utilizadas. Para este caso se han utilizado baterías de ion-litio. En este método se consideran los factores de voltaje del pack y su temperatura, la corriente de mantenimiento IR, se toman en el proceso de estimación SOB que se basa en el algoritmo KF (UKF) juntos con el OCV y el modelo de circuito equivalente (ECM). Entonces el ajuste en este proceso se realiza de acuerdo a la validez y preferencia óptima de la ecualización y estrategias de igualación. [29]

### **1.1. Batería de alta tensión**

La batería constituye uno de los elementos principales de un vehículo híbrido y por ende del sistema que permite su funcionamiento, por su continuo trabajo de aporte al sistema es uno de los principales elementos que en la actualidad presenta inconvenientes y a continuación se presentan los inconvenientes más comunes y cómo afrontar una reparación de la misma.



Para el funcionamiento del vehículo es necesario que en momentos los Moto Generadores MG1 y MG2 sean accionados con carga almacenada, esta carga se encuentra en una batería denominada HV (alto voltaje), la cual en carga nominal debe contener un mínimo de tensión de 201.6 V.

Esta batería se encuentra en la parte posterior del automóvil y está compuesta por 28 paquetes de batería de aprox. 7 a 8 V cada uno, estos están colocados en serie. Todo este paquete suministra tensión al inversor y recibe carga de este en diferentes condiciones específicas como accionamiento de MG1 o mediante MG2 en el llamado freno regenerativo. El conjunto de la batería está construido a base de Níquel – Metal hidruro, esta batería se observa en la Figura 2.

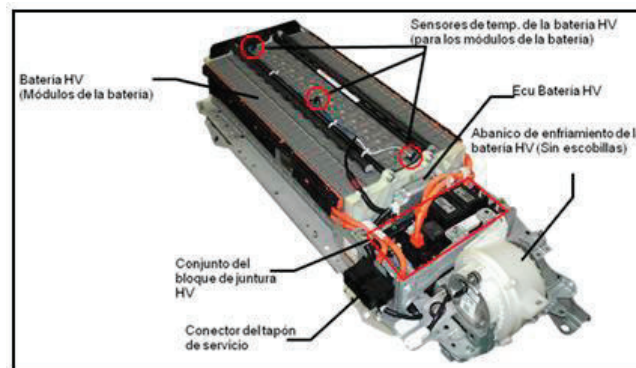


Figura 2. Batería de alta tensión.

(Fuente: <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/847-t%C3%A9cnicas-para-cargar-bater%C3%ADas.html>)

## 1.2. Funcionamiento de la Batería de alta tensión

La batería de alta tensión que se usa en el Toyota Prius tiene una construcción similar a la del níquel cadmio con la diferencia que el electrodo negativo está constituido de una aleación de hidruro metálico [30] [31]. Las sustancias activas dentro de las mini celdas generan una fuerza electromotriz que puede llegar hasta los 1.3 V. esto debido a que presenta una mayor densidad energética [6] [32].

El uso de las baterías NiMH se ha incrementado en el transcurso de los años es por ello que el uso ha venido acentuándose los computadores portátiles [33],

vehículos híbridos y eléctricos [34] hasta el punto de ir eliminado el uso de baterías de cadmio. Las baterías de NiMH presentan entre un 25% y 40% más de energía que las que poseen cadmio como elemento base para su funcionamiento [31] [33] [35] [32].

El funcionamiento de la batería de alta tensión de un vehículo híbrido comprende el estudio de un completo sistema de componentes y estructuras en el automóvil. Este sistema está formado por un motor de combustión a gasolina, un motor eléctrico, un generador, una computadora central, y la batería de alta tensión.

La batería de alta tensión transporta la energía recolectada en sus celdas después de la carga externa, transmitiendo este flujo a través de un conductor eléctrico en forma de cable coaxial, al computador central que procesa la información y transmite este flujo al motor eléctrico, cuya energía desarrollada transformada en Newton Fuerza, se transfiere al tren delantero.

Esta fuerza generada en el tren delantero permite que se active el motor a combustión a gasolina o con el movimiento de los pistones y válvulas que abren y cierran el flujo aire combustible activando los inyectores.

La energía del motor permite la carga del generador, el cual realimenta el sistema eléctrico pasando por el inversor y activando el motor eléctrico y el tren delantero del vehículo; de tal forma que tanto motor eléctrico como el motor a combustión trabajan en conjunto transmitiendo la energía al tren delantero del vehículo e impulsándolo hacia adelante o hacia atrás.

Con este sistema de combustión-eléctrico la batería de alta tensión siempre está transmitiendo la carga eléctrica de sus celdas hacia todo el sistema constantemente; se vuelve a cargar cuando el automóvil está en velocidad de crucero, desacelera y se detiene. Durante el tiempo de arranque y aceleración la batería consume casi toda su energía cargada, pero se recupera en el tiempo de velocidad crucero, desaceleración y parada.

Como todas las baterías, las de los vehículos híbridos tienen dos electrodos (que recogen o emiten una carga eléctrica) los cuales se colocan en una solución de iones. Los electrodos están colocados muy cerca uno del otro, por lo que es necesario separarlos con una película de polímero. Existe un interruptor de encendido y apagado en el vehículo híbrido, el cual da inicio a la reacción electroquímica.

Los elementos ionizados en un electrodo están en un estado químico donde son fácilmente atraídos al combinarse con otras moléculas se produce una emisión de electrones. Esos elementos fluyen a través del electrolito y el separador hacia el electrodo opuesto. Los iones del electrodo negativo (ánodo) rechazan a los electrones y los iones positivos que vienen hacia el ánodo los atraen.

Los electrones liberados durante este proceso viajan a través del circuito externo, produciendo un flujo de carga en la dirección opuesta al flujo de iones. Durante la recarga, la corriente es forzada dentro de la celda invirtiendo el proceso. En el Anexo 3 se observan características del funcionamiento del Toyota Prius.

### **1.3. Autos Híbridos en América del Sur**

**Colombia:** Si bien la gran mayoría de las marcas que tienen asiento comercial en el país disponen de vehículos con esa tecnología en su portafolio, la masificación de los productos no ha contado con los beneficios tributarios del Gobierno, como pasa en países vecinos. Aunque se ha avanzado de manera lenta en la materia, los pocos cupos que autoriza el Gobierno no son garantes para que las marcas se lancen a comercializar sus modelos híbridos, pues para ellos no es un negocio atractivo y los costos para el comprador final serían muy elevados. Por ahora, en las calles de Colombia se observa uno que otro vehículo comercial de carga y una flotilla incorporada al sistema de transporte masivo [36].

**Chile:** la venta de estos autos ha ido en aumento. Según cifras de la Asociación Nacional Automotriz de Chile (ANAC), su comercialización ha crecido 149% entre 2006 y 2014. Asimismo, en lo que va de 2015 se han vendido 157 vehículos híbridos, y hoy circulan cerca de 1.830 de estos modelos en el país. Sin embargo,

la participación de estos automóviles aún no es significativa: solo llega al 0,1% del mercado. El gerente general de Parque Automotriz SKberge, Matías Cáceres, señala que, si bien el precio de estas unidades ha ido disminuyendo, aún es alto: el más económico tiene un valor de \$17 millones. “El Estado debiese considerar la implementación de una política de incentivos para potenciar su compra”, sostiene Cáceres [37].

**Perú:** la aceptación todavía no ha sido muy fuerte, sobre todo por su alto costo con respecto a modelos que por sus bondades ofrecen algo similar (potencia, equipamiento, diseño). Otro factor importante es que no existe mayor conciencia sobre el medio ambiente en el país, donde hay calles en mal estado, sucias, etc. En los mercados desarrollados, donde los híbridos han tenido una muy buena aceptación, hubo un incentivo por parte del Gobierno en términos tributarios. ¿En qué consiste este estímulo? El pago de impuesto por la compra de esta unidad ingresaba directamente como parte de pago a la renta anual. En el Perú, estas unidades compiten de igual forma con cualquier vehículo nuevo, ya que evitan el pago de arancel por importación [38].

**Argentina:** el número es menor a 300 vehículos de la flota en Argentina y sólo se comercializan cuatro modelos con este tipo de propulsión en el país (Toyota Prius, Porsche Cayenne, Volkswagen Touareg y Mercedes Benz Clase C) [39].

**Brasil:** El gigante de Sudamérica es el país donde más autos eléctricos o híbridos circulan. En Brasil estos vehículos pagan 0% de arancel por su importación y actualmente se está votando una iniciativa para reducir a cero el Impuesto sobre Productos Industrializados para los vehículos híbridos, eléctricos y a etanol fabricados en aquel país. En Sao Paulo, donde circulan más de 700 autos híbridos o eléctricos, el alcalde Fernando Haddad aprobó un descuento del 50% sobre el Impuesto sobre la Propiedad de Vehículos Automotores. Evidentemente, hace falta más estímulo y en especial infraestructura [40].

#### 1.4. Autos híbridos en el Ecuador

En el año 2005 ingresaron al Ecuador los primeros autos híbridos con la finalidad de buscar un mejor aire para el país, tres años más tarde el Gobierno aprobó la primera norma para incentivar el uso de autos con tecnología eficiente lo que generó un verdadero ‘boom’ de vehículos híbridos, explica Diego Luna, presidente de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (Aeade) [3]. Las ventas de los autos híbridos se multiplicaron y pasaron de 510 unidades vendidas en el 2008 a 4 509 en el 2010. Pero después de ese año, no volvería a alcanzar ese nivel ya que el Gobierno resolvió exonerar solo a los autos híbridos de hasta 2.000 centímetros cúbicos, el resto debería pagar aranceles que van del 10 al 35%, además del Impuesto al Valor Agregado (14%) y el Impuesto a los Consumos Especiales (del 8 al 12%, según el modelo del vehículo), esto debido a que se comenzó a importar autos híbridos de lujo de alto cilindraje que no representaba un ahorro de combustible significativo.

Esto duplicó el precio de los autos híbridos que quedaron fuera de los incentivos y las ventas cayeron año tras año según las estadísticas de AEADE [3] como se detalla en la Figura 3.

VENTAS DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS POR MARCA														
En unidades / porcentaje de participación 2010 - 2016														
MARCA	2010	%	2011	%	2012	%	2013	%	2014	%	2015	%	2016	%
HYUNDAI	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	470	52,69%	717	78,88%	645	65,09%
TOYOTA	1 840	40,81%	557	23,91%	1 352	96,57%	417	80,04%	304	34,08%	155	17,05%	218	22,00%
KIA	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	74	8,30%	20	2,20%	123	12,41%
PORSCHE	54	1,20%	111	4,76%	25	1,79%	1	0,19%	4	0,45%	7	0,77%	3	0,30%
HONDA	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	1	0,11%	2	0,22%	2	0,20%
BMW	154	3,42%	82	3,52%	5	0,36%	-	0,00%	23	2,58%	3	0,33%	-	0,00%
AUDI	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	7	0,78%	-	0,00%	-	0,00%
FORD	1 056	23,42%	1 034	44,38%	3	0,21%	33	6,33%	2	0,22%	3	0,33%	-	0,00%
VOLKSWAGEN	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	1	0,11%	-	0,00%	-	0,00%
NISSAN	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	4	0,45%	-	0,00%	-	0,00%
LEXUS	500	11,09%	59	2,53%	2	0,14%	6	1,15%	2	0,22%	2	0,22%	-	0,00%
CHEVROLET	711	15,77%	328	14,08%	3	0,21%	1	0,19%	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%
MERCEDES BENZ	86	1,91%	78	3,35%	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%
GMC	53	1,18%	13	0,56%	3	0,21%	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%
OTRAS	55	1,22%	68	2,92%	7	0,50%	63	12,09%	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%
<b>TOTAL</b>	<b>4 509</b>	<b>100,00%</b>	<b>2 330</b>	<b>100,00%</b>	<b>1 400</b>	<b>100,00%</b>	<b>521</b>	<b>100,00%</b>	<b>892</b>	<b>100,00%</b>	<b>909</b>	<b>100,00%</b>	<b>991</b>	<b>100,00%</b>

Figura 3. Venta de vehículos híbridos por marca  
(Fuente: AEADE)

Pero lo que realmente impactó en el mercado fue la decisión de incluir desde el 2012 a este segmento dentro de la política de cuotas. Esto redujo la oferta y hundió las ventas, que se ubicaron en 521 híbridos el 2013. El número de marcas que importan estos modelos también se redujo. En el 2010, ocho marcas captaban el 99% del mercado de híbridos. Al 2013, el número se redujo a cinco. Pese a ello, los incentivos gubernamentales, aunque menores que en el pasado, han puesto al país como uno de los países que más promueve el uso de vehículos con tecnología eficientes en la región. Del total de híbridos vendidos en América Latina por la marca Toyota que vende el 70% de autos híbridos en el mundo, el 65% fue comercializado en Ecuador; el resto fue a mercados de Chile, Argentina y Costa Rica. En Japón, el 50% de autos que se ofertan son híbridos [41].

Toyota considera que hay demanda, pese a ello, este año, por el tema de cupos, solo colocará unos 300 autos, menos que los 417 que vendió el 2013. La demanda de estos vehículos motivó a Hyundai hace poco tiempo a introducir el modelo Sonata Híbrido. Este año esperan vender 300 unidades, Las expectativas para los años venideros para este tipo de vehículos dependerán de los incentivos gubernamentales como se puede observar en la Figura 4 [41].

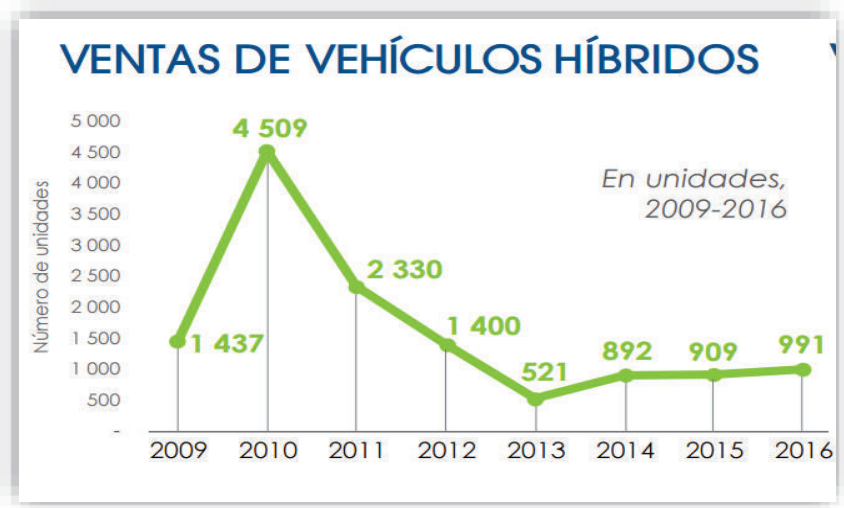


Figura 4. Resumen venta de vehículos híbridos 2010-2014  
(Fuente: AEADE)

En diciembre próximo terminarán las restricciones a la importación de vehículos y el Gobierno debe resolver en próximas semanas si continúa con esta política.

Gloria Navas, gerente comercial de Toyota, considera que tanto los autos híbridos como los eléctricos deberían estar fuera de la política de cuotas para que el país siga con la renovación vehicular (autos ecoeficientes en lugar de altamente contaminantes) [41].

De manera general, se obtuvo que hay un total de 7551 vehículos híbridos, que están ubicados geográficamente en la Provincia de Pichincha con la mayor afluencia de vehículos en el Distrito Metropolitano de Quito, con una cantidad de 6418 vehículos que llega a un 85% del valor total, el otro 15% está dividido en sus distintos cantones. Estos datos fueron recopilados desde los años 2009 hasta el 2013 por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT), la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) y por Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana (CINAE) [1] [24] como se muestra en la Figura 5.

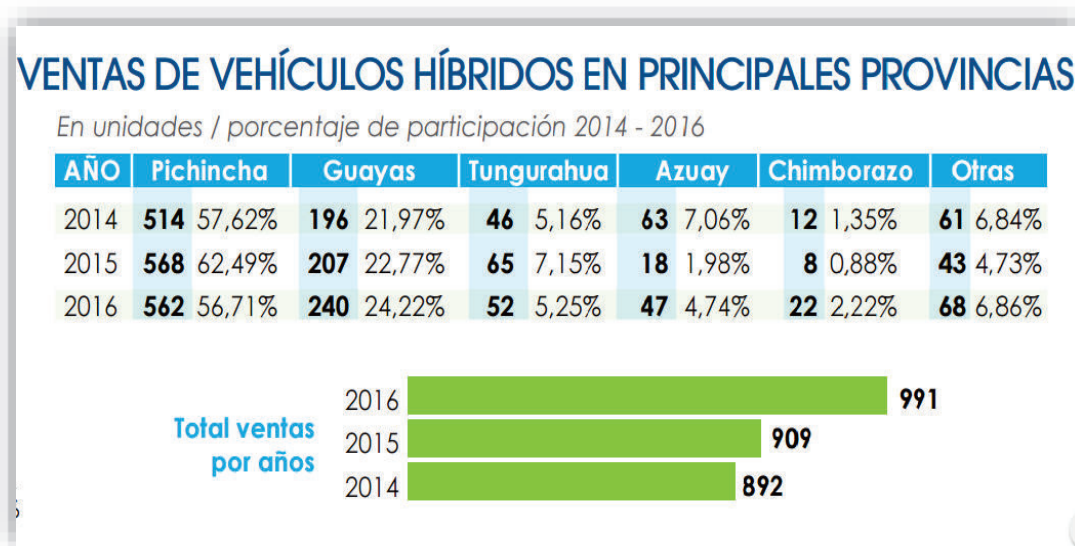


Figura 5. Venta de vehículos híbridos por provincia  
(Fuente: AEADE)

### 1.5. Mantenimiento y post uso de las baterías de alta tensión

Aunque los vehículos híbridos y eléctricos tienen diseño eficiente, es muy significativa la contaminación causada durante la producción, uso y desecho de sus baterías. Las nuevas generaciones de vehículos híbridos utilizan baterías recargables de níquel hidruro metálico (NiMH), ion Litio (ion Li) y Níquel Cadmio (NiCd), cuya vida útil es de 8 a 10 años ó 200.000 km. El daño ambiental neto que causan las baterías recargables con respecto a las desechables es menor

en tan solo 20%, ya que el mayor impacto ambiental en el ciclo de vida de una batería, sin importar su tipo, se da durante la producción. Como resultado final, el uso de baterías recargables en vez de baterías desechables representa un beneficio neto del 18% a la salud humana, 13% a la calidad de los ecosistemas y 4% a los recursos naturales [42] [43].

Las baterías de Níquel-Cadmio resultaban ser muy contaminantes porque el cadmio es un metal extremadamente tóxico. Por eso hoy en día se utilizan las baterías de NiMH, es decir, níquel-metal hidruro, para minimizar el impacto medioambiental. Estas baterías se reciclan de forma más eficiente que las de Níquel-Cadmio, y además los riesgos medioambientales derivados de la extracción de componentes se reducen drásticamente dependiendo de qué metal se utilice para el electrodo negativo [39] [43].

Cuando llegan al final de su vida útil, el reciclado de las baterías eléctricas para híbridos se hace necesario ya que requiere de un buen número de pasos que empiezan con la recogida de las unidades usadas. En el caso de Toyota, existe documentación en su web para las empresas que desmantelan los convertidores catalíticos (los catalizadores en sí) y las partes eléctricas. Esa documentación incluye el procedimiento de desensamblado y empaquetado, además del procedimiento a seguir para su recolección en los puntos autorizados [39] [42] [43].

Una vez recogidas las partes, todas las piezas se dirigen al centro de reciclado, donde serán tratadas en varias fases hasta la obtención de materiales básicos en la fabricación de nuevas baterías. Este es un proceso continuo que forma parte del ciclo de vida de los coches. A continuación, se describe un resumen de los pasos de reciclado de las baterías eléctricas:

- Recogida y transporte.
- Las baterías se introducen en un horno pirolítico, donde son tratadas a altas temperaturas. Este proceso facilitará la separación de los diferentes componentes en la fase siguiente.
- Troceado y lavado de las baterías pirolizadas.
- Separación de los diferentes materiales por un sistema clasificador, en el que se obtienen los metales reutilizables.



- Los diferentes materiales se llevan a la planta de refinado.
- En un proceso de refinado se aísla el hidróxido de níquel, que es un componente básico de las baterías. Esto se consigue a través de varios procesos: separación de impurezas, obtención de sulfato de níquel, y finalmente la obtención de hidróxido de níquel [43] [28].

Mediante esta serie de procesos es posible obtener un material básico para la fabricación de baterías como es el hidróxido de níquel, reaprovechando gran parte del material utilizado en las baterías que llegaron al final de su ciclo de vida. Con esto se minimiza el impacto medioambiental, se ahorra en costes de extracción del metal, se optimiza el consumo de energía y se tratan de forma adecuada todos los residuos tóxicos [42] [43].

Este reciclaje de baterías suele estar integrado dentro de los procesos de reciclado generales, como los que se encargan de los metales preciosos como el paladio, el platino o el rodio que se utilizan para producir nuevos catalizadores, las partes metálicas de los coches que son aprovechadas para nuevas piezas, y así con todos los componentes, incluidos los líquidos, las partes eléctricas reutilizables, y muchos más componentes [43].

La fabricación y transporte de baterías genera residuos peligrosos y emisiones atmosféricas, que son aparentemente invisibles por estar alejadas de las zonas urbanas. Este hecho contrarresta las emisiones bajas o nulas de gases que produce el uso de autos híbridos y eléctricos. Lo que se pretende hacer con el reciclaje de baterías es reducir las emisiones derivadas de la extracción de los minerales, optimizar el uso de la energía involucrada en todos los procesos y reducir costes. Además, estos procesos de reciclado aseguran el tratamiento adecuado de los residuos tóxicos, porque proporcionan un marco regulador de su tratamiento [39] [43].

Toyota como líder de fabricación de vehículos en serie híbridos ha desarrollado un proceso de reciclaje para componentes específicos híbridos. Es por eso que quiere aumentar en los próximos años la actual cifra de reciclaje del 91 por ciento al 100 por ciento. Por ello que la colaboración en el reciclaje de baterías de híbridos con sus dos socios europeos el principal que viene funcionando desde varios años atrás, se vea extendida hasta el 31 de marzo de 2018 [44].

Si bien es cierto que las baterías de alta tensión del Toyota tienen una vida útil sumamente larga. Es un hecho que dichos componentes pueden fallar en algún momento dado (tal y como ha venido ocurriendo en Ecuador con los vehículos Toyota Prius y Highlander), a causa del mal funcionamiento de las células o fallas en el motor de enfriamiento de la batería [44].

Realizar una regeneración de baterías de alta tensión consiste en hacer que tenga nuevamente su estado original optimizando al máximo los elementos que componen la batería, esto se logra a través de una serie de procesos, en los cuales se debe trabajar tanto en lo que es la batería compacta, como en los módulos de forma individual o packs, de esta manera, se restablece la batería obteniendo su funcionalidad nuevamente [42] [44]. Los procesos se describen en el Capítulo II de este estudio.

Por lo que se crea la necesidad de realizar este estudio, para alargar la vida útil de la batería de alta tensión mediante la ecualización de los packs de la misma y lograr con ello que las personas puedan adquirir autos híbridos, ya que tendrán un respaldo de que sus baterías no deberán ser cambiadas obligatoriamente cada vez que presente cualquier fallo, sino que tendrán la seguridad de que puedan durar por más tiempo.

## **CAPÍTULO II**

### **2. METODOLOGÍA**

#### **2.1. Enfoque**

El presente estudio se basa en un enfoque mixto es decir cualitativo y cuantitativo de acuerdo con las condiciones de funcionamiento de la batería de alta tensión y el establecimiento de valores de tensión, corriente, tiempo y temperatura.

#### **2.2. Tipo de Investigación**

Se hará uso de la investigación experimental mediante ensayos, experimentos, cálculos, mediciones de voltaje, mediciones de tiempo, selección de corriente. Para ello se utilizará un banco de pruebas para baterías de vehículos híbridos de marca Cise Electronics Corp en el laboratorio de pruebas de la empresa C-Tres ubicado en la Avenida Antonio José de Sucre y Río Peripa al nororiente de la ciudad de Quito.

#### **2.3. Técnica de recolección de información**

La observación directa como técnica de recolección de información es esencial para el desarrollo de este estudio, con esta técnica se realizarán diferentes procedimientos para determinar el estado de carga de la batería en función de la variación de valores de voltaje, amperaje, tiempo y temperatura que se registrarán debidamente en hojas de cálculo y así realizar un análisis de resultados estableciendo conclusiones y recomendaciones.

#### **2.4. Muestra**

Para el desarrollo de la muestra se ha tomado como referencia a 1.284 baterías e alta tensión de vehículos híbridos para el año 2011 en el Distrito Metropolitano de Quito como población, debido a que estos vehículos se encuentran con unos 150.000 km/h de recorrido y de acuerdo con el manual de reparación se debe ya cambiar la batería de alta tensión. Para ello se utiliza la siguiente ecuación con la finalidad de determinar la muestra.

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{e^2(N-1) + Z^2 * p * q}$$

Ecuación 1

Donde:

- n es el tamaño de la muestra.
- N corresponde a la población que para el caso de estudio es de 1.284 baterías de alta tensión.
- p es la probabilidad a favor que es de 0,9.
- q es la probabilidad al éxito que es de 0,1.
- e corresponde al error muestral de 0,1.

Con la ecuación anterior la muestra obtenida fue de 24 baterías de alta tensión, durante este estudio que inició en noviembre del 2016 hasta abril del 2017 al taller C-tres se tuvieron 30 baterías de distintos vehículos a los que se realizó el proceso de ecualización.

Para el desarrollo de este estudio se ha seleccionado a la batería de alta tensión del vehículo Toyota Prius de tercera generación ya que este modelo fue uno de los primeros en ingresar al país y a su vez es el más vendido en estos años.

En los Anexos 1 y 2 se detallan las características de un vehículo Toyota Prius de tercera generación, así como la ubicación de los componentes. Los datos más representativos se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones Toyota Prius Tercera Generación

<b>Motor de gasolina:</b>	<b>Motor de aleación de aluminio de 1,5 litros Norteamérica: 57 KW (76 CV). Europa, Australia y otras zonas: 57 KW (77 CV).</b>
<b>Motor eléctrico:</b>	50 KW (68 CV), motor de imanes permanentes
<b>Transmisión:</b>	Solo automática
<b>Batería del HV:</b>	Batería NiMH sellada de 201,6 voltios
<b>Peso en vacío:</b>	Norteamérica: 1.310 kg (2.890 libras), Europa: 1.300 kg, Australia: 1.295 kg
<b>Depósito de combustible:</b>	45 litros / 11,9 galones
<b>Material del bastidor:</b>	Una pieza de acero, paneles de acero y puerta del maletero/capó del motor de aluminio

(Fuente: <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/847-t%C3%A9cnicas-para-cargar-bater%C3%ADas.html>)

### 2.4.1. Selección de la batería de alta tensión

Para la selección de la batería que se utiliza en esta investigación se ha tomado como referencia al Toyota Prius considerado el vehículo más vendido en el país. Por tal razón se ha determinado las características técnicas de esta batería la cual se detalla en la Tabla 3. En el Anexo 4 se muestran las características de la batería de alta tensión del vehículo híbrido.

Tabla 3. Característica de la batería del vehículo PRIUS tercera generación.

Tipo de batería	Níquel e Hidruro metálico
Tensión nominal	201.6 V
Número de packs	14
Número de celdas	28
Número de mini celdas	168
Voltaje por celda	1.2 V
Tipo de conexión entre packs	Serie
Capacidad (Ah)	6.5 (3h)
Peso	39 kg

(Fuente: <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/847-t%C3%A9cnicas-para-cargar-bater%C3%ADas.html>)

### 2.5. Definición de hipótesis o supuestos de partida

Lograr la correcta ecualización de los packs de baterías de los sistemas de alta tensión para vehículos híbridos, prolongando la duración y rendimiento de las mismas, así como su pos uso.

### 2.6. Protocolo de pruebas.

A continuación, se detallan los procedimientos utilizados en el desarrollo del presente estudio.

- Caracterización de los datos del funcionamiento de la batería en el vehículo. Según los protocolos de diagnóstico CAN bajo la norma ISO 11898 que definida en documentos ISO 15765
- Desmontaje de la batería de alta tensión del vehículo. Este parámetro se consideró en función de las baterías que se encuentran en el vehículo. Se tomó como referencia al Manual de Reparación del vehículo Toyota Prius.
- Despiece de la batería. Se realizó en función del Manual de Reparación del vehículo Toyota Prius.
- Restablecimiento de la capacidad de la batería según norma NTP 104 [45].

- Nivelación automática y manual del voltaje inicial según norma NTP 104
- Precarga de restauración de la celda al voltaje nominal según norma NTP 104
- Carga con un estado de carga SOC (*state of charge*) de 30% según norma NTP 104
- Control de la capacidad de carga según norma NTP 104
- Carga y descarga controlada a 28 celdas
- Ecuilibración de los packs de batería de alta tensión
- Ciclaje de la batería

### **2.6.1. Caracterización de los datos de funcionamiento de la batería en el vehículo**

Los inconvenientes principales existentes en los vehículos híbridos hacen referencia al encendido de la luz de diagnóstico en el tablero por problemas en el sistema híbrido, por eso se ha hecho necesario la toma de datos en el vehículo.

El procedimiento es el siguiente:

- Se conecta la interfase en el conector OBDII en el vehículo.
- A continuación, se enciende al equipo de diagnóstico.
- Se enciende al vehículo, este encendido se lo hace a través de un botón que al pulsarlo se coloca en la posición *ready*.
- En la pantalla del equipo de diagnóstico se visualizan datos que corresponden a cada uno de los voltajes de los packs, temperatura y los códigos de avería.

Para el caso de estudio se obtuvieron resultados de un incremento de la tensión en los packs lo que muestra en el equipo de diagnóstico un código de avería P0A80 “Sustituya el paquete de la batería de alta tensión”.

### **2.6.2. Desmontaje de la batería de alta tensión del vehículo**

Al vehículo Toyota Prius de tercera generación se procederá a desmontar la batería de alta tensión que presenta códigos de averías, las mismas que se corregirán utilizando un banco de pruebas para baterías de vehículos. El procedimiento para realizar el desmontaje se describe a continuación:

- Para iniciar con el proceso de desmontaje se debe utilizar ropa protectora (guantes aislantes, guantes de goma, gafas protectoras y calzado de seguridad). Antes de utilizar los guantes de seguridad se debe verificar que no estén rotos, agrietados, rasgados o dañados. No se debe utilizar guantes húmedos.
- Verificar que el vehículo esté apagado, si lo está continuar con el siguiente paso.
- Retirar la llave del vehículo. Esperar 5 minutos antes de iniciar con el desmontaje de la batería de alta tensión.
- Extraer el tablero del piso posterior N° 2.
- Extraer la caja del piso posterior.
- Extraer la caja del piso posterior N° 3.
- Desconectar el terminal negativo de la batería auxiliar.
- Desconectar el *Jumper* que es el conector o interruptor de la batería de alta tensión.
- Extraer la cubierta trasera y protección de la batería.
- Extraer el cojín del asiento posterior.
- Extraer el tablero del piso posterior N° 1.
- Extraer el bastidor del respaldo del asiento posterior.
- Extraer la caja izquierda del piso.
- Extraer el panel lateral izquierdo de la guarnición de la cubierta.
- Extraer el panel lateral derecho de la guarnición de la cubierta.
- Extraer el soporte de la batería.
- Extraer el conducto de ventilación interior lateral trasero N° 2
- Extraer el refuerzo del soporte de la batería.
- Extraer el conducto de ventilación interior lateral trasero N° 1
- Extraer el panel N° 6 del soporte de la batería.
- Retirar el terminal de conexión.
- Extraer el cable del bastidor.
- Extraer la batería de alta tensión.

### **2.6.3. Despiece de la batería**

Para el despiece de la batería de alta tensión es necesario usar guantes Clase “0” con capacidad de 1000 V con protección de cuero, gafas de seguridad con protección lateral dentro de los 15 metros alrededor del vehículo. El procedimiento es el siguiente:

- Se desmonta la tapa superior de la batería.
- A continuación, se desconecta la unidad de control de la batería.
- Se debe desconectar los terminales tanto positivos y negativos de las celdas.
- Desconectar los terminales de conexión de cada una de las celdas.
- Aflojar los pernos de la base de la batería.

#### **2.6.4. Restablecimiento de la capacidad de la batería**

Se requiere un banco de pruebas para someter a la batería de alta tensión a procesos de carga y descarga controlada, verificando el nivel de carga de las celdas, detectando aquellas que se encuentren defectuosas y restableciendo la capacidad de carga de cada una de las celdas obteniendo una batería ecualizada al 100%. El banco de pruebas se lo puede observar en la Figura 6.



Figura 6. Banco de pruebas para baterías de vehículos híbridos.

(Fuente:

[http://www.cise.com/portal/components/com\\_virtuemart/shop\\_image/product/UEI\\_ADL\\_7103\\_4\\_cac9edf6b799.jpg](http://www.cise.com/portal/components/com_virtuemart/shop_image/product/UEI_ADL_7103_4_cac9edf6b799.jpg))

Con la batería desmontada del vehículo se realiza una inspección visual de los terminales de cada celda y de los respectivos contactos ya que estos podrían presentar sulfatación que ocasionaría pérdidas de voltaje y corriente, esto se puede evidenciar en la Figura 11.





Figura 7. Contactos de batería sulfatados.  
(Fuente: Los autores)

### 2.6.5. Nivelación automática y manual del voltaje inicial

A continuación, se procede a dividir la batería en 7 packs de dos celdas cada una, a este conjunto se lo divide a su vez en dos bloques (A y B) de 7 celdas debido a que el banco de pruebas permite el monitoreo de esta forma y no a la batería en conjunto. La conexión se realiza en serie para cada una de las celdas del bloque A. Este proceso se realiza a las siguientes 14 celdas restantes, la división se la puede observar en la Figura 10.



Figura 8. División de la batería.  
(Fuente: Los autores)

Para nivelar el voltaje de todas las celdas de los bloques se realiza un proceso automático de descarga a 5V, 1A durante una hora con la finalidad de mantener el mismo nivel de tensión en todas las celdas. Cuando una de las celdas baje de este nivel se enciende un indicador (luz verde) y el proceso se detiene para evitar que la celda se descargue por completo en la Figura 11 se muestra como referencia la luz indicadora que debe encenderse.



Figura 9. Descarga de la batería a 5V.

(Fuente: Los autores)

Para ello es necesario disminuir el amperaje a 0,5A y un voltaje con un límite inferior de 2V, si este voltaje se reduce aún más se corre el riesgo del cambio de polaridad de las mini celdas produciendo un cortocircuito interno que provoca el daño total de la celda. El procedimiento es el siguiente:

- Dividir la batería en dos bloques denominándoles A y B de 7 packs y 14 celdas cada uno.
- Se realiza una descarga automática de la batería en el banco de pruebas hasta 5V, 1A durante 1 hora.
- Se verifica cuál de las celdas llega a 5 voltios.
- Si una de las celdas llega a 5 voltios se realiza la descarga manual.
- La descarga manual se realiza en el mismo banco de pruebas hasta 2 voltios y 0.5 A. este proceso se lo realiza sin tomar en cuenta el tiempo.
- No dejar que las celdas disminuyan el voltaje de 2V ya que podría generarse en la celda un cambio de polaridad.

#### **2.6.6. Precarga de restauración de la celda al voltaje nominal**

El procedimiento es el siguiente:

- Se realiza una precarga a 1A durante 30 minutos, esto tiene como objetivo restaurar la celda a un voltaje nominal de 7,2V y un voltaje máximo de 9V que corresponde al 100% de la carga de la celda.
- Después de los 30 minutos se deja reposar durante un lapso de 10 minutos a las celdas y aquellas que no se mantengan en este valor de voltaje se las considera como sospechosas de una pérdida muy rápida de carga lo que indica que estas son las que generan el código de avería.

#### **2.6.7. Carga con un estado de carga SOC (*State of Charge*) de 30%**

El procedimiento es el siguiente:

- Con la finalidad de obtener una carga completa de las celdas se configura al banco de pruebas para que entregue 2 A durante 1 hora y determinar los valores de voltaje máximos.
- En caso de sobrepasar los 9V se establece que la celda necesita ser recuperada. Esta carga corresponde a la necesaria para arrancar el vehículo.

#### **2.6.8. Control de la capacidad de carga**

El porcentaje de la capacidad real de la batería está en función de la variación del estado de carga (SOC) ya que se requiere únicamente un 20% de la capacidad de ésta para encender el vehículo, pero para estabilizar cada una de las celdas se entrega un 30% esto quiere decir 2 A por esta razón:

- Se descarga a cada una de las celdas a 1 A por 2 horas hasta un mínimo de 6V. Con este procedimiento las celdas cuyo valor descienden del mínimo requerido para esta prueba serán reacondicionadas por separado.

Desde la nivelación automática y manual hasta el control de la capacidad de carga, son procesos que deben desarrollarse tanto a los bloques A y B respectivamente.

#### **2.6.9. Carga y descarga controlada a 28 celdas**

Con la batería desmontada se procede a realizar cargas y descargas controladas a todas las celdas con la finalidad de determinar la incidencia de magnitudes físicas directamente medibles como son la tensión, corriente y temperatura [32], para ello se hace uso de un cargador de batería de hasta 10.5 V regulable, corriente regulable de 0A hasta 3 A (ver Anexo 5 y 6 de los componentes de las fuentes y diagramas de conexión), para la interfase con el computador y la toma de datos se lo realiza con ARDUINO y el programa Octave. La programación para la medición de temperatura y voltaje se muestra en el Anexo 7.

Para este proceso se realizaron nueve pruebas en función de la corriente y la temperatura. Los resultados corresponden a valores de tensión y tiempo, cada una de las pruebas se describen en las tablas 4 y 5.

Tabla 4 Pruebas de carga.

<b>Pruebas de carga.</b>				
	Corriente (A)	Temperatura (°C)	Voltaje (V)	Consideración
<b>Prueba 1</b>	1	20	8.0	Temperatura ambiente considerándose que la batería no presenta variación en el lugar de aplicación.
<b>Prueba 2</b>	2			
<b>Prueba 3</b>	3			
<b>Prueba 4</b>	1	40	8.0	El valor de temperatura de muestra influye en la capacidad de carga en especial cuando esta se encuentra en operación [32]
<b>Prueba 5</b>	2			
<b>Prueba 6</b>	3			
<b>Prueba 7</b>	1	60	8.0	El valor de temperatura de muestra influye en la capacidad de carga en especial cuando esta se encuentra en operación [32]
<b>Prueba 8</b>	2			
<b>Prueba 9</b>	3			

(Fuente: Los autores)

Tabla 5 Pruebas de carga.

<b>Pruebas de descarga</b>				
	Corriente (A)	Temperatura (°C)	Voltaje (V)	Consideración
<b>Prueba 1</b>	1	20	8.0	Temperatura ambiente considerándose que la batería no presenta variación en el lugar de aplicación.
<b>Prueba 2</b>	2			
<b>Prueba 3</b>	3			
<b>Prueba 4</b>	1	40	8.0	El valor de temperatura de muestra influye en la capacidad de carga en especial cuando esta se encuentra en operación [32]
<b>Prueba 5</b>	2			
<b>Prueba 6</b>	3			
<b>Prueba 7</b>	1	60	8.0	El valor de temperatura de muestra influye en la capacidad de carga en especial cuando esta se encuentra en operación [32]
<b>Prueba 8</b>	2			
<b>Prueba 9</b>	3			

(Fuente: Los autores)

El proceso de descarga para 1A, 2A, 3A, a 20°C, 40°C, 60°C, es el siguiente:

- Conectar la interfase de Arduino a la celda.
- Conectar el sensor de temperatura a la celda.
- Encender el programa para la lectura de datos.
- Colocar un consumidor de 1A en los terminales de la celda.
- Iniciar la lectura de datos.
- Descargar hasta los 6V y finalizar el proceso.

El proceso de carga para 1A, 2A, 3A, a 20°C, 40°C, 60°C, es el siguiente:

- Conectar la interfase de Arduino a la celda.

- Conectar el sensor de temperatura a la celda.
- Encender el programa para la lectura de datos.
- Colocar el cargador de batería a la celda.
- Iniciar la lectura de datos.
- Cargar hasta los 8V y finalizar el proceso.

#### **2.6.10. Ecuación de los packs de batería de alta tensión**

Para finalizar este proceso de reacondicionamiento de los packs de batería se realiza la ecuación, que consiste en conectar todos los terminales positivos con un cable y negativos con otro cable quedando una conexión en paralelo; de esta forma se nivelan las cargas de todas las celdas durante un lapso de 30 minutos, así se obtiene la batería apta para ser colocada en el vehículo. Este procedimiento se lo hace a uno de los lados de la batería ya sea frontal o posterior, al otro se mantiene con los conectores de la batería para lograr la conexión en paralelo. El proceso de ecuación es el siguiente:

- Conectar los terminales positivos de la batería.
- Conectar los terminales negativos de la batería.
- Medir los voltajes con el multímetro.
- Verificar que los voltajes de las celdas se encuentran con un valor de 7.2V.
- Armar la batería y montarla en el vehículo.



Figura 10 Ecuación de los packs.  
(Fuente: Los autores)

#### **2.6.11. Ciclaje de la batería en el vehículo**

El ciclaje de la batería consiste en realizar una prueba similar a los mostrados en el apartado 2.6.1 de este estudio con la condición de que para este punto se

debe realizar un control de los procesos de carga y descarga en un ciclo de conducción y estático.

El procedimiento es el siguiente:

- Se conecta la interfase en el conector OBDII en el vehículo.
- A continuación, se enciende al equipo de diagnóstico.
- Se enciende al vehículo, este encendido se lo hace a través de un botón que al pulsarlo se coloca en la posición *ready*.
- En la pantalla del equipo de diagnóstico se visualizan datos que corresponden a cada uno de los voltajes de los packs, temperatura y los códigos de avería.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados

##### 3.1.1. Datos obtenidos del funcionamiento de la batería en el vehículo

La obtención de los datos se lo hizo a través del equipo de diagnóstico, los datos obtenidos se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Datos obtenidos del equipo de diagnóstico.

PACKS	VOLTAJE DE LOS PACKS [V]	VOLTAJE ESTIMADO POR CELDA (1-14) [V]	VOLTAJE ESTIMADO POR CELDA (15-28) [V]
1	18,05	9,03	9,03
2	17,49	8,75	8,75
3	17,33	8,67	8,67
4	17,46	8,73	8,73
5	17,89	8,95	8,95
6	18,44	9,22	9,22
7	18,60	9,30	9,30
8	18,11	9,06	9,06
9	17,95	8,98	8,98
10	18,65	9,33	9,33
11	18,25	9,13	9,13
12	16,30	8,15	8,15
13	17,21	8,61	8,61
14	18,92	9,46	9,46

(Fuente: Los autores)

Los voltajes obtenidos con el equipo de diagnóstico tanto por packs como por celdas se visualizan en las Figuras 11 y 12 respectivamente.

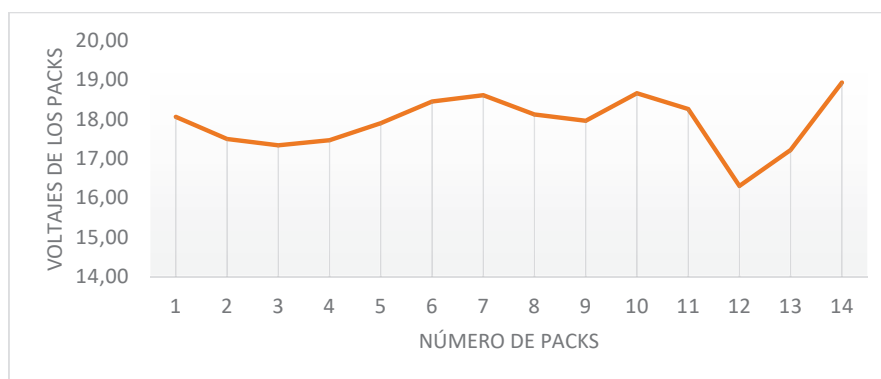


Figura 11 Voltajes vs. Número de packs.  
(Fuente: Los autores)



Figura 12 Voltajes vs. Número de celdas.  
(Fuente: Los autores)

Este procedimiento se realizó con una interfase de diagnóstico Techstream, el cual permitió obtener los datos de funcionamiento del motor que se visualizaron en el computador. La batería de estudio posee tres sensores de temperatura cuyos valores se pueden observar en la Figura 13.

Parametro	Valor	Unidad	Parametro
Temp of Batt TB6	39.0	C	Battery Block Vol -V10
Temp of Batt TB7	44.0	C	Battery Block Vol -V11
Temp of Batt TB8	39.2	C	Battery Block Vol -V12
Battery Block Vol -V01	18.05	V	Battery Block Vol -V13
Battery Block Vol -V02	17.49	V	Battery Block Vol -V14
Battery Block Vol -V03	17.33	V	Battery Block Vol -V15
Battery Block Vol -V04	17.46	V	Detail Code 1
Battery Block Vol -V05	17.89	V	Detail Code 2
Battery Block Vol -V06	18.44	V	Detail Code 3
Battery Block Vol -V07	18.60	V	Detail Code 4
Battery Block Vol -V08	18.11	V	Detail Code 5
Battery Block Vol -V09	17.95	V	123-Information 1

Figura 13 Datos obtenidos a través de Techstream.  
(Fuente: Los autores)

### 3.1.2. Resultados de la carga con un SOC de 30%

#### Primera prueba.

Los valores de voltaje y curvas obtenidos de las celdas del bloque A se tomaron cada 10 minutos, como se observan en la Tabla 7 y Figura 14.



Tabla 7. Carga a 2A. bloque A.

CARGA A 2 AMP	Valor Inicial	10 [min]	20 [min]	30 [min]	40 [min]	50 [min]	60 [min]
A1	8,34	8,34	8,37	8,39	8,40	8,42	8,43
A2	8,33	8,33	8,36	8,38	8,40	8,41	8,42
A3	8,34	8,34	8,37	8,40	8,41	8,43	8,45
A4	8,33	8,33	8,37	8,40	8,42	8,44	8,49
A5	8,33	8,33	8,38	8,41	8,44	8,46	8,51
A6	8,32	8,32	8,38	8,43	8,46	8,48	8,49
A7	8,35	8,35	8,38	8,42	8,44	8,47	8,49
A8	8,39	8,39	8,52	8,61	8,64	8,66	8,67
A9	8,39	8,39	8,47	8,56	8,60	8,64	8,65
A10	8,37	8,37	8,44	8,50	8,54	8,58	8,61
A11	8,36	8,36	8,44	8,50	8,54	8,58	8,60
A12	8,35	8,35	8,46	8,53	8,57	8,62	8,64
A13	8,36	8,36	8,44	8,51	8,55	8,59	8,62
A14	8,37	8,37	8,43	8,48	8,51	8,55	8,57
<b>PROMEDIO</b>	8,35	8,35	8,42	8,47	8,49	8,52	8,55
<b>SOC %</b>		5,13	10,26	15,38	20,51	25,64	30,77

(Fuente: Los autores)

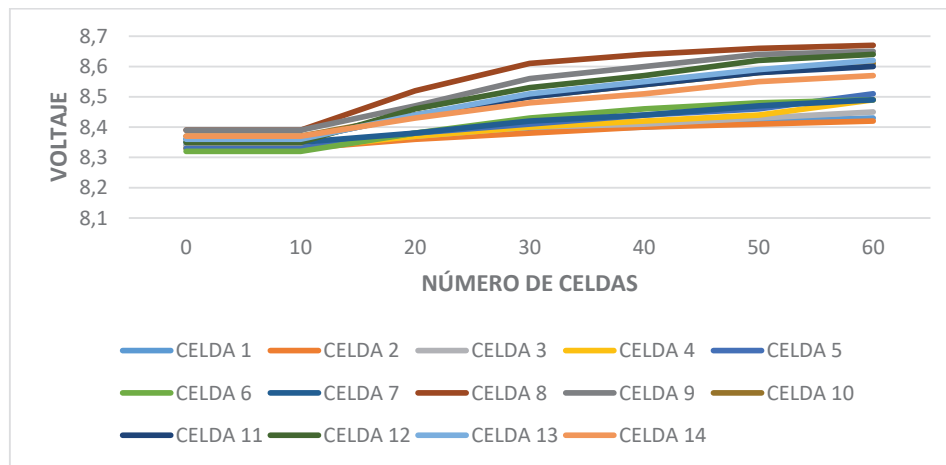


Figura 14. Carga a 2A durante una hora.  
(Fuente: Los autores)

Los valores de voltaje y curvas obtenidos de las celdas del bloque B se tomaron cada 10 minutos, como se observan en la Tabla 8 y Figura 15.

Tabla 8. Carga a 2A. bloque B

CARGA A 2 AMP	Valor Inicial	10 [min]	20 [min]	30 [min]	40 [min]	50 [min]	60 [min]
<b>B1</b>	8,34	8,34	8,38	8,41	8,44	8,46	8,49
<b>B2</b>	8,32	8,32	8,40	8,45	8,49	8,53	8,56
<b>B3</b>	8,33	8,33	8,38	8,43	8,47	8,51	8,54
<b>B4</b>	8,34	8,34	8,40	8,45	8,48	8,51	8,54
<b>B5</b>	8,32	8,32	8,42	8,49	8,54	8,59	8,63
<b>B6</b>	8,33	8,33	8,40	8,46	8,50	8,54	8,56
<b>B7</b>	8,34	8,34	8,43	8,51	8,56	8,61	8,63
<b>B8</b>	8,38	8,38	8,45	8,59	8,54	8,57	8,59
<b>B9</b>	8,38	8,38	8,44	8,50	8,52	8,56	8,59
<b>B10</b>	8,38	8,38	8,41	8,45	8,47	8,49	8,51
<b>B11</b>	8,37	8,37	8,41	8,45	8,46	8,49	8,50
<b>B12</b>	8,36	8,36	8,41	8,44	8,46	8,49	8,51
<b>B13</b>	8,38	8,38	8,42	8,45	8,47	8,49	8,51
<b>B14</b>	8,37	8,37	8,41	8,43	8,45	8,47	8,48
<b>PROMEDIO</b>	8,35	8,35	8,41	8,47	8,49	8,52	8,55
<b>SOC %</b>		5,13	10,26	15,38	20,51	25,64	30,77

(Fuente: Los autores)

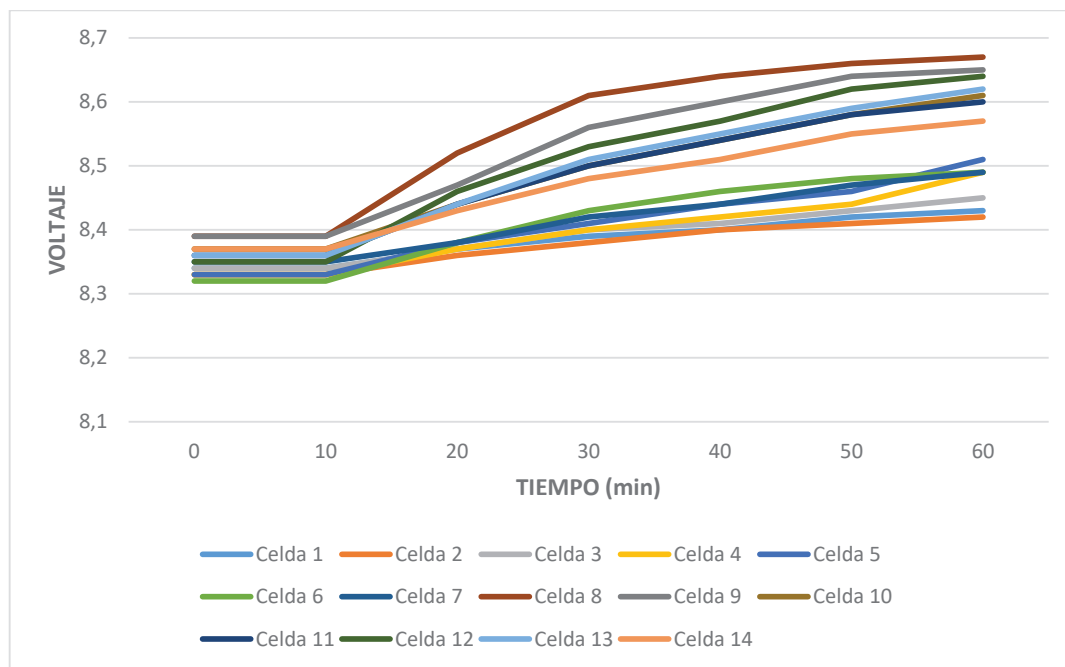


Figura 15. Carga a 2A durante una hora.  
(Fuente: Los autores)

*Segunda prueba.*

Los valores de voltaje y curvas obtenidos de las celdas del bloque A se tomaron cada 10 minutos, como se observan en la Tabla 9 y Figura 16.

Tabla 9. Carga a 2A. bloque A

<b>CARGA A 2 AMP</b>	<b>Valor Inicial</b>	<b>10 [min]</b>	<b>20 [min]</b>	<b>30 [min]</b>	<b>40 [min]</b>	<b>50 [min]</b>	<b>60 [min]</b>
<b>A1</b>	8,18	8,52	8,62	8,69	8,74	8,81	8,83
<b>A2</b>	7,88	8,16	8,24	8,31	8,38	8,45	8,49
<b>A3</b>	7,77	8,11	8,21	8,28	8,33	8,39	8,43
<b>A4</b>	7,72	8,15	8,36	8,51	8,63	8,69	8,73
<b>A5</b>	7,75	8,20	8,41	8,56	8,67	8,74	8,78
<b>A6</b>	7,67	8,10	8,25	8,33	8,40	8,49	8,53
<b>A7</b>	7,79	8,26	8,41	8,49	8,55	8,64	8,68
<b>A8</b>	7,87	8,18	8,25	8,33	8,39	8,46	8,50
<b>A9</b>	7,76	8,10	8,18	8,26	8,32	8,40	8,44
<b>A10</b>	7,82	8,13	8,19	8,25	8,31	8,37	8,42
<b>A11</b>	7,84	8,15	8,22	8,29	8,35	8,43	8,52
<b>A12</b>	7,78	8,17	8,28	8,36	8,45	8,53	8,62
<b>A13</b>	7,83	8,18	8,31	8,39	8,47	8,55	8,65
<b>A14</b>	7,85	8,22	8,38	8,47	8,56	8,64	8,75
<b>PROMEDIO</b>	7,82	8,19	8,31	8,39	8,47	8,54	8,60
<b>SOC %</b>		5,13	10,26	15,38	20,51	25,64	30,77

(Fuente: Los autores)

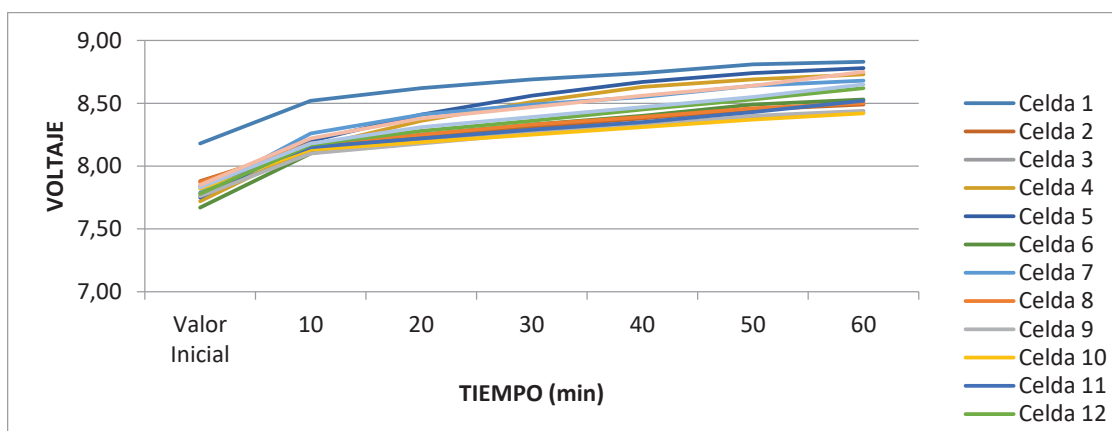


Figura 16. Carga a 2A durante una hora.  
(Fuente: Los autores)

Los valores de voltaje y curvas obtenidos de las celdas del bloque B se tomaron cada 10 minutos, como se observan en la Tabla 10 y Figura 17.

Tabla 10. Carga a 2A. bloque B

CARGA A 2 AMP	Valor Inicial	10 [min]	20 [min]	30 [min]	40 [min]	50 [min]	60 [min]
B1	8,34	8,70	8,79	8,88	8,90	8,93	8,95
B2	7,71	8,12	8,26	8,35	8,43	8,52	8,60
B3	7,68	8,12	8,28	8,39	8,49	8,56	8,61
B4	7,83	8,16	8,29	8,39	8,47	8,54	8,61
B5	7,76	8,06	8,14	8,19	8,23	8,27	8,29
B6	7,64	8,15	8,29	8,38	8,47	8,56	8,59
B7	7,81	8,35	8,50	8,59	8,67	8,77	8,80
B8	7,75	8,05	8,14	8,20	8,25	8,32	8,40
B9	7,82	8,13	8,24	8,36	8,48	8,57	8,66
B10	7,72	8,09	8,18	8,26	8,35	8,43	8,49
B11	7,84	8,14	8,30	8,41	8,49	8,57	8,63
B12	7,78	8,12	8,24	8,37	8,46	8,55	8,67
B13	7,73	8,10	8,18	8,25	8,34	8,42	8,49
B14	7,74	8,12	8,21	8,29	8,37	8,44	8,52
<b>PROMEDIO</b>	7,80	8,17	8,29	8,38	8,46	8,53	8,59
<b>SOC %</b>		5,13	10,26	15,38	20,51	25,64	30,77

(Fuente: Los autores)

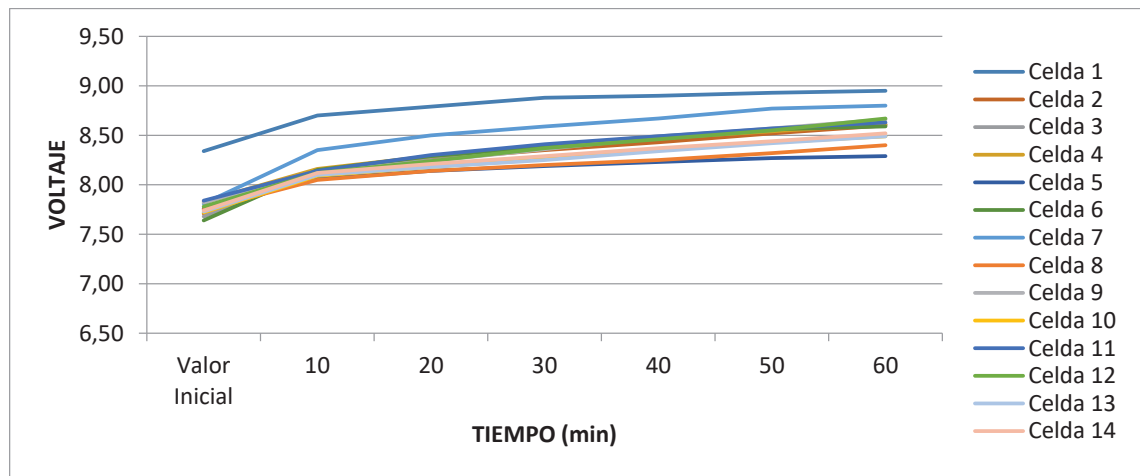


Figura 17. Carga a 2A durante una hora.  
(Fuente: Los autores)

*Tercera prueba.*

Los valores de voltaje y curvas obtenidos de las celdas del bloque A se tomaron cada 10 minutos, como se observan en la Tabla 11 y Figura 18.

Tabla 11. Carga a 2A. bloque A

CARGA A 2 AMP	Valor Inicial	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min
A1	8,18	8,52	8,62	8,69	8,74	8,81	8,83
A2	7,88	8,16	8,24	8,31	8,38	8,45	8,49
A3	7,77	8,11	8,21	8,28	8,33	8,39	8,43
A4	7,72	8,15	8,36	8,51	8,63	8,69	8,73
A5	7,75	8,20	8,41	8,56	8,67	8,74	8,78
A6	7,67	8,10	8,25	8,33	8,4	8,49	8,53
A7	7,79	8,26	8,41	8,49	8,55	8,64	8,68
A8	7,87	8,18	8,25	8,33	8,39	8,46	8,50
A9	7,76	8,10	8,18	8,26	8,32	8,40	8,44
A10	7,82	8,13	8,19	8,25	8,31	8,37	8,42
A11	7,84	8,15	8,22	8,29	8,35	8,43	8,52
A12	7,78	8,17	8,28	8,36	8,45	8,53	8,62
A13	7,83	8,18	8,31	8,39	8,47	8,55	8,65
A14	7,85	8,22	8,38	8,47	8,56	8,64	8,75
PROMEDIO	7,82	8,19	8,31	8,39	8,47	8,54	8,60
SOC %		5,13	10,26	15,38	20,51	25,64	30,77

(Fuente: Los autores)

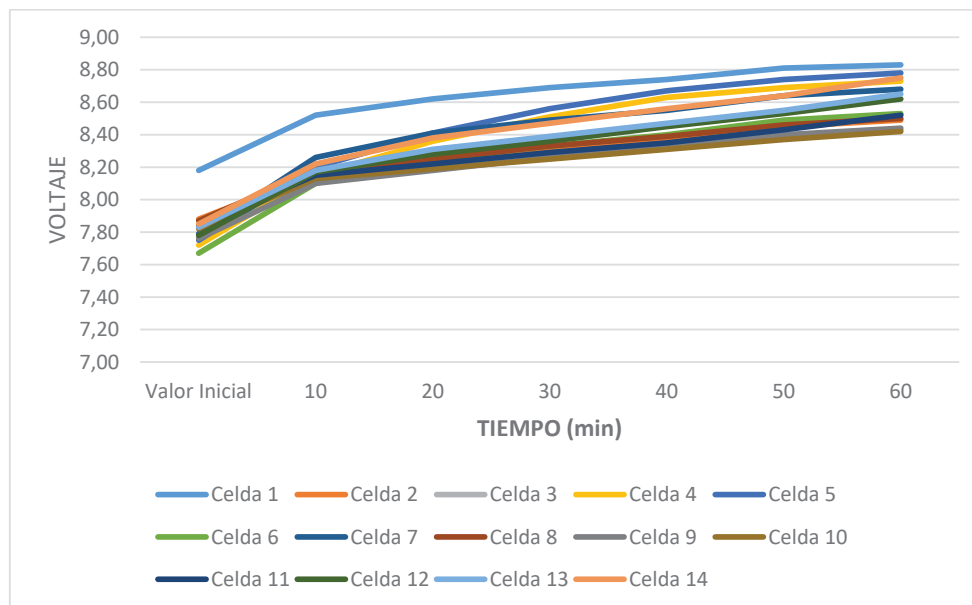


Figura 18. Carga a 2A durante una hora.  
(Fuente: Los autores)

Los valores de voltaje y curvas obtenidos de las celdas del bloque B se tomaron cada 10 minutos, como se observan en la Tabla 12 y Figura 19.

Tabla 12. Carga a 2A. bloque B

CARGA A 2 AMP	Valor Inicial	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min
B1	8,34	8,7	8,79	8,88	8,9	8,93	8,95
B2	7,71	8,12	8,26	8,35	8,43	8,52	8,6
B3	7,68	8,12	8,28	8,39	8,49	8,56	8,61
B4	7,83	8,16	8,29	8,39	8,47	8,54	8,61
B5	7,76	8,06	8,14	8,19	8,23	8,27	8,29
B6	7,64	8,15	8,29	8,38	8,47	8,56	8,59
B7	7,81	8,35	8,5	8,59	8,67	8,77	8,8
B8	7,75	8,05	8,14	8,2	8,25	8,32	8,4
B9	7,82	8,13	8,24	8,36	8,48	8,57	8,66
B10	7,72	8,09	8,18	8,26	8,35	8,43	8,49
B11	7,84	8,14	8,3	8,41	8,49	8,57	8,63
B12	7,78	8,12	8,24	8,37	8,46	8,55	8,67
B13	7,73	8,1	8,18	8,25	8,34	8,42	8,49
B14	7,74	8,12	8,21	8,29	8,37	8,44	8,52
<b>PROMEDIO</b>	7,8	8,17	8,29	8,38	8,46	8,53	8,59
<b>SOC %</b>		5,13	10,26	15,38	20,51	25,64	30,77

(Fuente: Los autores)

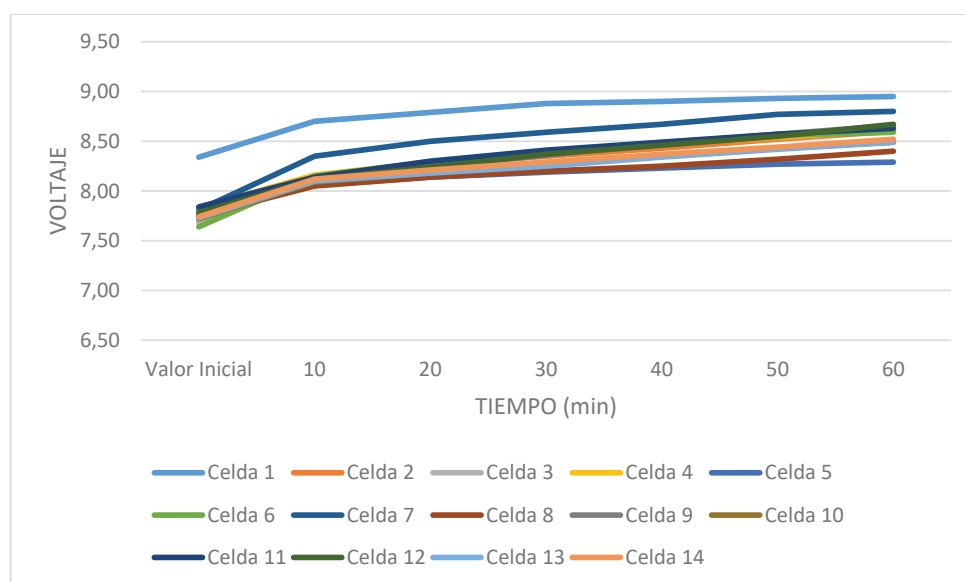


Figura 19. Carga a 2A durante una hora.  
(Fuente: Los autores)

### 3.1.3. Resultados del control de la capacidad de carga

#### Primera prueba

Los voltajes obtenidos al determinar el control de la capacidad real de la carga del bloque A, se pueden observar en la Tabla 13.

Tabla 13. Control de la capacidad de carga a 1A primera prueba bloque A.

DESCARGA	Valor inicial	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	70 min	80 min	90 min	100 min	110 min	120 min
<b>1 AMP</b>													
A1	8,12	8,00	7,86	7,83	7,69	7,59	7,54	-	-	-	-	-	-
A2	8,15	8,04	7,83	7,80	7,66	7,56	7,51	-	-	-	-	-	-
A3	8,10	8,01	7,80	7,76	7,60	6,13	5,40	-	-	-	-	-	-
A4	8,12	8,00	7,71	7,67	7,46	6,93	6,67	-	-	-	-	-	-
A5	8,06	7,93	7,73	7,69	7,49	6,00	5,26	-	-	-	-	-	-
A6	8,08	7,95	7,78	7,74	7,56	7,42	7,35	-	-	-	-	-	-
A7	8,05	7,98	7,66	7,63	7,37	3,16	1,06	-	-	-	-	-	-
A8	8,10	7,91	7,65	6,02	4,54	1,84	0,49	-	-	-	-	-	-
A9	8,04	7,90	7,65	6,98	4,59	3,15	2,43	-	-	-	-	-	-
A10	8,06	7,90	7,68	7,48	6,60	1,90	0,45	-	-	-	-	-	-
A11	8,02	7,88	7,66	7,42	4,95	3,25	2,40	-	-	-	-	-	-
A12	8,07	7,94	7,73	7,52	6,02	5,78	5,66	-	-	-	-	-	-
A13	8,05	7,91	7,69	7,49	7,16	3,13	1,12	-	-	-	-	-	-
A14	8,08	7,91	7,70	7,49	6,14	3,07	1,54	-	-	-	-	-	-
<b>PROM</b>	8,08	7,95	7,72	7,47	6,63	4,78	3,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Var SOC</b>		2,56	5,13	7,69	10,26	12,82	15,38	17,95	20,51	23,08	25,64	28,21	30,77
<b>Capacidad Real</b>		8,33	16,67	25,00	33,33	41,67	50,00	58,33	66,67	75,00	83,33	91,66	100,0

(Fuente: Los autores)

Los voltajes obtenidos al determinar el control de la capacidad real de la carga del bloque B, se pueden observar en la Tabla 14.

Tabla 14. Control de la capacidad de carga a 1A primera prueba bloque B.

DESCARGA	Valor inicial	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	70 min	80 min	90 min	100 min	110 min	120 min
<b>1 AMP</b>													
B1	8,10	7,9	7,67	7,63	7,38	3,25	1,19	-	-	-	-	-	-
B2	8,08	7,9	7,69	7,63	7,39	6,55	6,13	-	-	-	-	-	-
B3	8,09	7,91	7,65	7,59	7,34	3,22	1,16	-	-	-	-	-	-
B4	8,04	7,87	7,71	7,65	7,46	4,53	3,07	-	-	-	-	-	-
B5	8,05	7,91	7,71	7,64	7,43	4,38	2,86	-	-	-	-	-	-
B6	8,06	7,92	7,74	7,67	7,49	4,63	3,2	-	-	-	-	-	-
B7	8,04	7,88	7,67	7,58	7,27	2,9	0,72	-	-	-	-	-	-
B8	8,04	7,9	7,68	7,19	5,8	3,25	1,98	-	-	-	-	-	-
B9	8,07	7,91	7,69	7,5	7,18	3,22	1,24	-	-	-	-	-	-
B10	8,05	7,89	7,68	7,47	5,05	3,17	2,23	-	-	-	-	-	-
B11	8,03	7,92	7,72	7,54	7,37	4,8	3,52	-	-	-	-	-	-
B12	8,03	7,92	7,72	7,53	7,24	5,12	4,06	-	-	-	-	-	-
B13	8,02	7,89	7,68	7,47	6,66	3,18	1,44	-	-	-	-	-	-
B14	8,10	8,01	7,86	7,72	7,63	7,57	7,54	-	-	-	-	-	-
<b>PROM</b>	8,06	7,91	7,71	7,56	7,05	4,27	2,88	0	0	0	0	0	0
<b>Var SOC</b>		2,56	5,13	7,69	10,26	12,82	15,38	17,95	20,51	23,08	25,64	28,21	30,77
<b>Capacidad Real</b>		8,33	16,67	25,00	33,33	41,67	50,00	58,33	66,67	75,00	83,33	91,66	100,0

(Fuente: Los autores)

### Segunda prueba

Los voltajes obtenidos al determinar el control de la capacidad real de la carga del bloque A, se pueden observar en la Tabla 15.

Tabla 15. Control de la capacidad de carga a 1A segunda prueba bloque A.

DESCARGA	Valor inicial	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	70 min	80 min	90 min	100 min	110 min	120 min
1 AMP													
A1	7,94	7,76	7,64	7,53	7,43	7,34	7,27	7,20	7,13	7,06	6,99	6,90	
A2	8,33	8,13	7,99	7,87	7,76	7,67	7,59	7,52	7,44	7,35	7,26	7,13	
A3	8,27	8,06	7,92	7,80	7,69	7,60	7,52	7,44	7,35	7,26	7,15	6,98	
A4	8,45	8,18	8,00	7,87	7,75	7,63	7,51	7,39	7,25	7,08	6,76	2,98	
A5	8,49	8,21	8,03	7,90	7,75	7,65	7,53	7,41	7,26	7,06	5,57	2,99	
A6	8,34	8,09	7,94	7,82	7,72	7,63	7,54	7,45	7,34	7,22	7,10	6,86	
A7	8,14	7,91	7,76	7,65	7,55	7,46	7,38	7,29	7,18	7,06	6,94	6,73	
A8	8,22	8,04	7,88	7,76	7,66	7,59	7,51	7,43	7,32	7,20	7,08	6,94	
A9	8,18	8,05	7,89	7,72	7,64	7,58	7,49	7,40	7,28	7,19	7,06	6,92	
A10	8,24	8,08	7,94	7,87	7,73	7,65	7,55	7,42	7,30	7,18	7,02	6,90	
A11	8,28	8,12	8,00	7,87	7,75	7,64	7,56	7,49	7,38	7,25	7,12	7,00	
A12	8,30	8,15	8,02	7,90	7,79	7,68	7,60	7,51	7,40	7,28	7,16	7,04	
A13	8,26	8,10	7,96	7,85	7,73	7,62	7,50	7,39	7,30	7,17	7,08	6,98	
A14	8,25	8,13	8,01	7,92	7,80	7,68	7,56	7,48	7,38	7,29	7,15	7,01	
PROM	8,2635714	8,07	7,93	7,81	7,70	7,60	7,51	7,42	7,31	7,19	6,96	6,38	0,00
Var SOC		2,56	5,13	7,69	10,26	12,82	15,38	17,95	20,51	23,08	25,64	28,21	30,8
Capacidad Real		8,33	16,67	25,00	33,33	41,67	50,00	58,33	66,67	75,00	83,33	91,66	100,0

(Fuente: Los autores)

Los voltajes obtenidos al determinar el control de la capacidad real de la carga del bloque B, se pueden observar en la Tabla 16.

Tabla 16. Control de la capacidad de carga a 1A segunda prueba bloque B.

DESCARGA	Valor inicial	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	70 min	80 min	90 min	100 min	110 min	120 min
1 AMP													
B1	8,32	7,99	7,81	7,69	7,61	7,53	7,45	7,38	7,26	7,10	6,87	3,58	
B2	8,36	8,08	7,92	7,79	7,69	7,59	7,49	7,38	7,24	7,09	6,86	4,10	
B3	8,37	7,84	7,92	7,79	7,69	7,57	7,45	7,33	7,17	6,86	5,43	4,12	
B4	8,37	8,12	7,96	7,82	7,70	7,59	7,50	7,40	7,27	7,12	6,78	2,72	
B5	8,17	7,99	7,86	7,75	7,65	7,56	7,48	7,40	7,30	7,20	7,08	6,82	
B6	8,38	8,08	7,94	7,78	7,67	7,56	7,44	7,30	7,13	6,85	4,27	4,02	
B7	8,28	8,05	7,81	7,69	7,60	7,49	7,37	7,23	7,06	6,79	4,17	2,59	
B8	8,24	8,10	7,98	7,85	7,73	7,60	7,49	7,40	7,28	7,15	7,04	6,92	
B9	8,18	8,07	7,97	7,89	7,80	7,69	7,58	7,47	7,35	7,24	7,15	7,04	
B10	8,30	8,17	8,00	7,88	7,76	7,65	7,54	7,43	7,31	7,20	7,10	7,00	
B11	8,26	8,13	7,96	7,86	7,75	7,64	7,53	7,42	7,30	7,16	7,05	6,96	
B12	8,16	8,09	7,95	7,84	7,72	7,60	7,49	7,38	7,27	7,15	7,03	6,90	
B13	8,32	8,15	8,02	7,90	7,78	7,67	7,55	7,44	7,32	7,21	7,11	7,01	
B14	8,31	8,12	8,01	7,89	7,77	7,66	7,54	7,43	7,31	7,18	7,09	6,99	
PROM	8,29	8,07	7,94	7,82	7,71	7,60	7,49	7,39	7,26	7,09	6,50	5,48	0,00
Var SOC		2,56	5,13	7,69	10,26	12,82	15,38	17,95	20,51	23,08	25,64	28,21	30,77
Capacidad Real		8,33	16,67	25,00	33,33	41,67	50,00	58,33	66,67	75,00	83,33	91,66	100,0

(Fuente: Los autores)

### Tercera prueba

Los voltajes obtenidos al determinar el control de la capacidad real de la carga del bloque A, se pueden observar en la Tabla 17.



Tabla 17. Control de la capacidad de carga a 1A tercera prueba bloque A.

DESCARGA	Valor inicial	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	70 min	80 min	90 min	100 min	110 min	120 min
1 AMP													
A1	7,94	7,76	7,64	7,53	7,43	7,34	7,27	7,20	7,13	7,06	6,99	6,90	
A2	8,33	8,13	7,99	7,87	7,76	7,67	7,59	7,52	7,44	7,35	7,26	7,13	
A3	8,27	8,06	7,92	7,80	7,69	7,60	7,52	7,44	7,35	7,26	7,15	6,98	
A4	8,45	8,18	8,00	7,87	7,75	7,63	7,51	7,39	7,25	7,12	6,98	6,75	
A5	8,49	8,21	8,03	7,90	7,75	7,65	7,53	7,41	7,26	7,06	6,88	6,70	
A6	8,34	8,09	7,94	7,82	7,72	7,63	7,54	7,45	7,34	7,22	7,10	6,86	
A7	8,14	7,91	7,76	7,65	7,55	7,46	7,38	7,29	7,18	7,06	6,94	6,73	
A8	8,22	8,04	7,88	7,76	7,66	7,59	7,51	7,43	7,32	7,20	7,08	6,94	
A9	8,18	8,05	7,89	7,72	7,64	7,58	7,49	7,40	7,28	7,19	7,06	6,92	
A10	8,24	8,08	7,94	7,87	7,73	7,65	7,55	7,42	7,30	7,18	7,02	6,90	
A11	8,28	8,12	8,00	7,87	7,75	7,64	7,56	7,49	7,38	7,25	7,12	7,00	
A12	8,30	8,15	8,02	7,90	7,79	7,68	7,60	7,51	7,40	7,28	7,16	7,04	
A13	8,26	8,10	7,96	7,85	7,73	7,62	7,50	7,39	7,30	7,17	7,08	6,98	
A14	8,25	8,13	8,01	7,92	7,80	7,68	7,56	7,48	7,38	7,29	7,15	7,06	
PROM	8,26	8,07	7,93	7,81	7,70	7,60	7,51	7,42	7,31	7,19	7,07	6,92	0,00
Var SOC		2,56	5,13	7,69	10,26	12,82	15,38	17,95	20,51	23,08	25,64	28,21	30,77
Capacidad Real		8,33	16,67	25,00	33,33	41,67	50,00	58,33	66,67	75,00	83,33	91,66	100,0

(Fuente: Los autores)

Los voltajes obtenidos al determinar el control de la capacidad real de la carga del bloque B, se pueden observar en la Tabla 18.

Tabla 18. Control de la capacidad de carga a 1A tercera prueba bloque B.

DESCARGA	Valor inicial	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	70 min	80 min	90 min	100 min	110 min	120 min
1 AMP													
B1	8,32	7,99	7,81	7,69	7,61	7,53	7,45	7,38	7,26	7,10	6,87	6,78	
B2	8,36	8,08	7,92	7,79	7,69	7,59	7,49	7,38	7,24	7,09	6,86	6,79	
B3	8,37	8,18	7,92	7,79	7,69	7,57	7,45	7,33	7,17	7,08	6,95	6,84	
B4	8,37	8,12	7,96	7,82	7,70	7,59	7,50	7,40	7,27	7,12	7,01	6,89	
B5	8,17	7,99	7,86	7,75	7,65	7,56	7,48	7,40	7,30	7,20	7,08	6,82	
B6	8,38	8,08	7,94	7,80	7,69	7,58	7,46	7,35	7,26	7,18	7,06	6,94	
B7	8,28	8,05	7,92	7,81	7,72	7,59	7,47	7,36	7,27	7,19	7,09	6,99	
B8	8,24	8,10	7,98	7,85	7,73	7,60	7,49	7,40	7,28	7,15	7,04	6,92	
B9	8,18	8,07	7,97	7,89	7,80	7,69	7,58	7,47	7,35	7,24	7,15	7,04	
B10	8,30	8,17	8,00	7,88	7,76	7,65	7,54	7,43	7,31	7,20	7,10	7,00	
B11	8,26	8,13	7,96	7,86	7,75	7,64	7,53	7,42	7,30	7,16	7,05	6,96	
B12	8,16	8,09	7,95	7,84	7,72	7,60	7,49	7,38	7,27	7,15	7,03	6,90	
B13	8,32	8,15	8,02	7,90	7,78	7,67	7,55	7,44	7,32	7,21	7,11	7,01	
B14	8,31	8,12	8,01	7,89	7,77	7,66	7,54	7,43	7,31	7,18	7,09	6,99	
PROM	8,29	8,09	7,94	7,83	7,72	7,61	7,50	7,40	7,28	7,16	7,04	6,92	0,00
Var SOC		2,56	5,13	7,69	10,26	12,82	15,38	17,95	20,51	23,08	25,64	28,21	30,77
Capacidad Real		8,33	16,67	25,00	33,33	41,67	50,00	58,33	66,67	75,00	83,33	91,66	100,0

(Fuente: Los autores)

### 3.1.4. Resultados de la carga y descarga controlada a 28 celdas

En las Figuras 20, 21 y 22 se detallan los valores obtenidos en carga y descarga a 3A y 60°C.

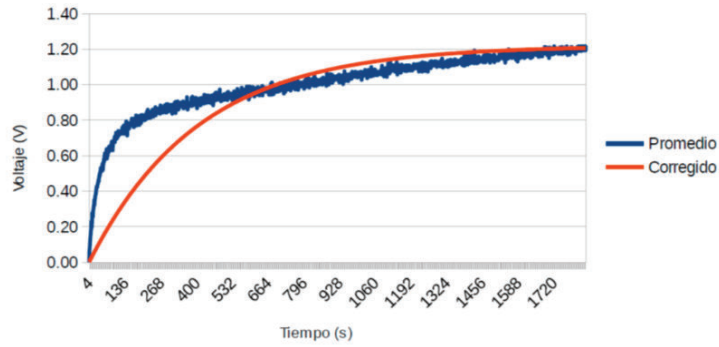


Figura 20. Carga a 3A y 60°.  
(Fuente: Los autores)

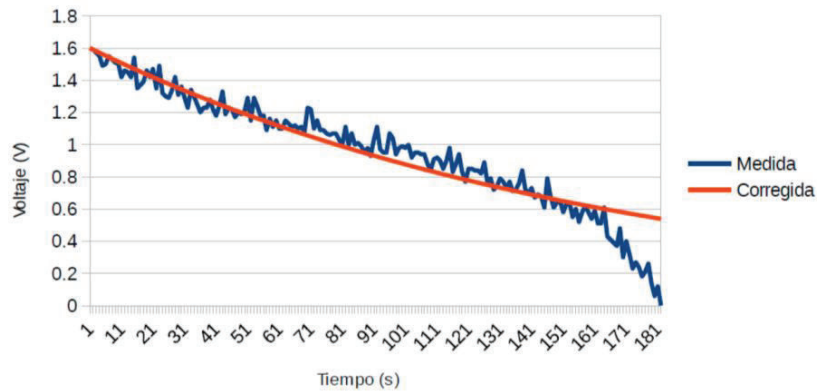


Figura 21. Descarga a 3A y 60°C.  
(Fuente: Los autores)



Figura 22. Conexiones de la celda al cargador individual.  
(Fuente: Los autores)

### 3.1.5. Resultados de la equalización de los packs de batería

En la Tabla 19 se muestran los voltajes equalizados de los packs correspondientes a las 28 celdas. La equalización de los packs se evidencia en

la Figura 23. En el Anexo 8 se muestra la forma de conectar a cada uno de los packs.

Tabla 19. Voltajes ecualizados.

CELDAS	VOLTAJE [V]	PACKS	VOLTAJE [V]	CELDAS	VOLTAJE [V]	PACKS	VOLTAJE [V]
1	8,20	1	16,47	15	8,20	8	16,41
2	8,27			16	8,21		
3	8,20	2	16,40	17	8,23	9	16,45
4	8,20			18	8,22		
5	8,21	3	16,46	19	8,23	10	16,43
6	8,25			20	8,20		
7	8,20	4	16,40	21	8,20	11	16,45
8	8,20			22	8,25		
9	8,24	5	16,47	23	8,27	12	16,50
10	8,23			24	8,23		
11	8,20	6	16,41	25	8,20	13	16,45
12	8,21			26	8,25		
13	8,21	7	16,41	27	8,20	14	16,40
14	8,20			28	8,20		

(Fuente: Los autores)

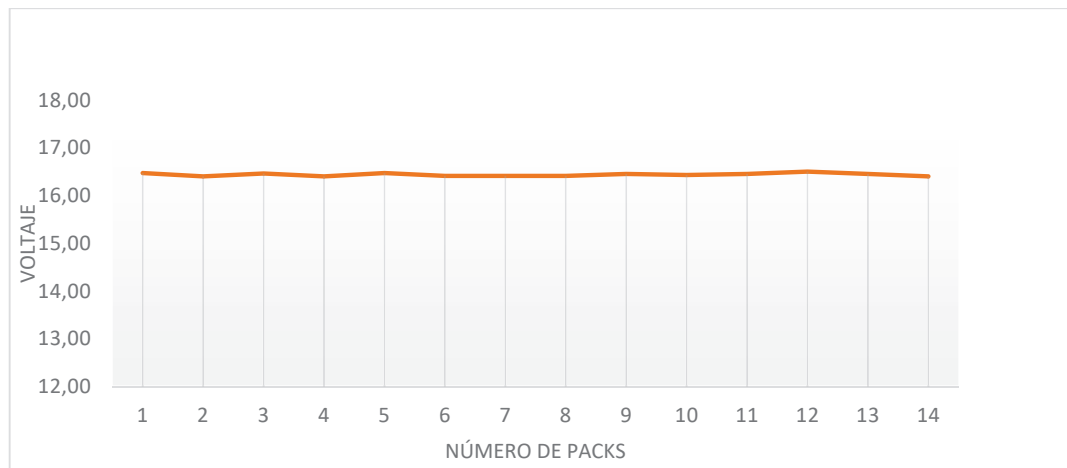


Figura 23. Ecualización de los packs de batería.  
(Fuente: Los autores)

### 3.1.6. Resultados del ciclaje de la batería en el vehículo

#### Primera prueba.

La prueba de ruta arrojó los resultados que se puede evidenciar tanto en la Tabla 20 como en las Figuras 24 y 25.

Tabla 20. Pruebas en el vehículo 1.

PACKS DE BATERÍA	VOLTAJES [V]
1	14,94
2	14,91
3	15,11
4	15,06
5	14,89
6	14,91
7	15,00
8	14,96
9	14,84
10	14,82
11	15,04
12	15,00
13	14,91
14	14,82

(Fuente: Los autores)

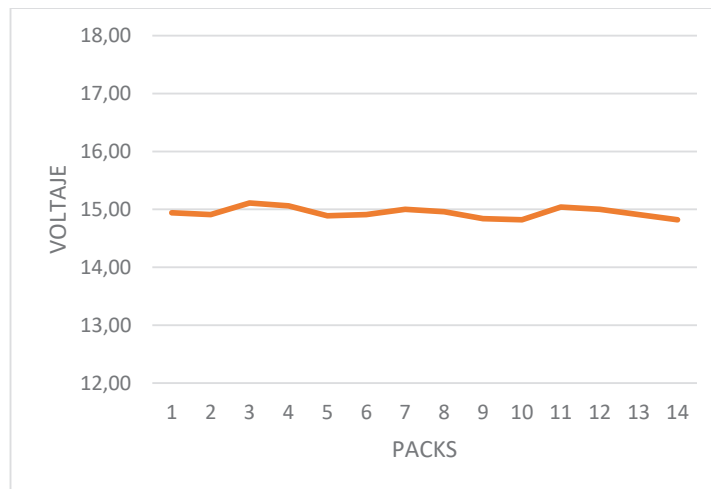


Figura 24. Ecuación prueba de ruta.  
(Fuente: Los autores)

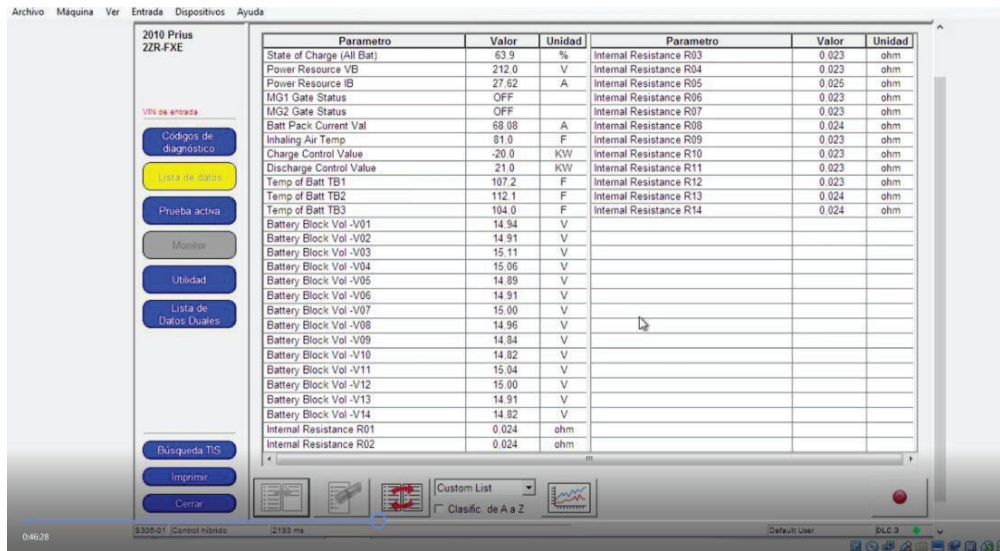


Figura 25. Interfase de los datos del vehículo según el equipo de diagnóstico.  
(Fuente: Los autores)

### Segunda prueba

La prueba de ruta arrojó los resultados que se puede evidenciar tanto en la Tabla 21 como en las Figuras 26 y 27.

Tabla 21. Pruebas en el vehículo 2.

PACKS DE BATERÍA	VOLTAJES [V]
1	15,48
2	15,45
3	15,48
4	15,43
5	15,44
6	15,43
7	15,60
8	15,55
9	15,45
10	15,40
11	15,48
12	15,43
13	15,45
14	15,38

(Fuente: Los autores)

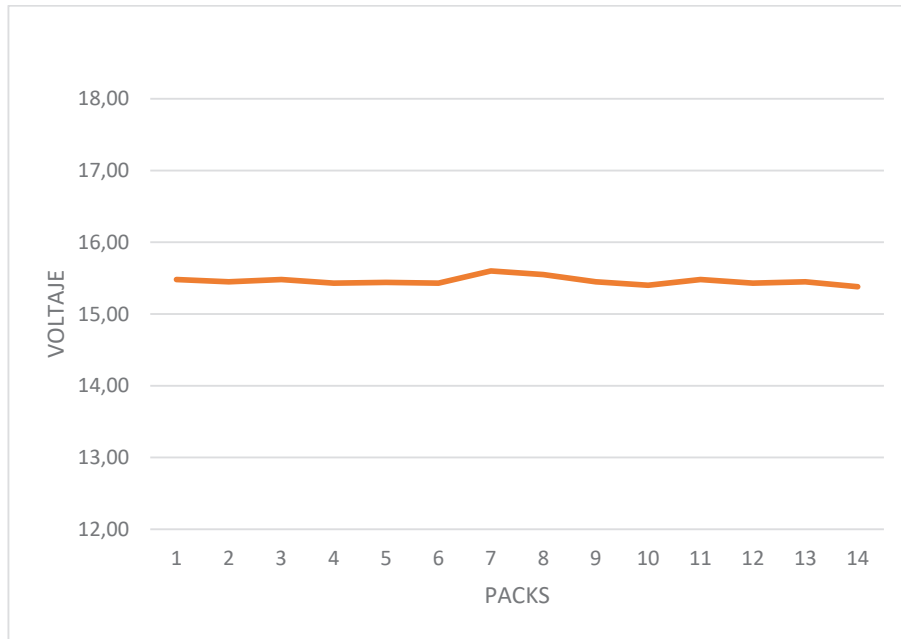


Figura 26. Ecualización prueba de ruta.  
(Fuente: Los autores)

Archivo Máquina Ver Entradas Dispositivos Ayuda

2010 Prius  
2ZR-FXE

VIN de entrada

Códigos de diagnóstico

Listar de datos

Prueba activa

Monitor

Utilidad

Listar de Datos Duales

Pal. clave TIS

Imprimir

Contra

Parametro	Valor	Unidad	Parametro	Valor	Unidad
Engine Revolution	2944	rpm	Batt Pack Current Val	24.28	A
Vehicle Spd	31	MPH	Inhaling Air Temp	72.7	F
Engine Run Time	2573	s	WMP Fan Motor Voltage1	0.0	V
+B	13.57	V	Auxiliary Battery Vol	13.51	V
Ambient Temperature	54	F	Charge Control Value	-25.0	KW
DTC Clear Warm Up	2		Discharge Control Value	21.0	KW
DTC Clear Run Distance	10	mile	Cooling Fan Mode1	0	
Generator(MG1) Rev	7301	rpm	Standby Blower Request	OFF	
Generator(MG1) Torq	-20.50	Nm	Temp of Batt TB1	79.9	F
Accelerator Degree	46.0	%	Temp of Batt TB2	82.2	F
SPC (Oil Dip) (Oil Bar)	2753	%	Temp of Batt TB3	76.6	F
Power Resource VB	217.0	V	Battery Block Vol -V01	15.48	V
Power Resource IB	11.98	A	Battery Block Vol -V02	15.45	V
VL-Voltage before Boosting	216	V	Battery Block Vol -V03	15.48	V
Short Wave Highest Val	3.26	V	Battery Block Vol -V04	15.43	V
Num of Current Code	0		Battery Block Vol -V05	15.44	V
Cooling Fan 0	0.0	%	Battery Block Vol -V06	15.43	V
SOC after IG-ON	47.0	%	Battery Block Vol -V07	15.60	V
Status of Charge Max	58.0	%	Battery Block Vol -V08	15.55	V
Status of Charge Min	44.5	%	Battery Block Vol -V09	15.45	V
SMRB Status	ON		Battery Block Vol -V10	15.40	V
SMRG Status	ON		Battery Block Vol -V11	15.48	V
MG1 Gate Status	OFF		Battery Block Vol -V12	15.43	V
MG2 Gate Status	OFF		Battery Block Vol -V13	15.45	V
Auxiliary Battery Low-Last Operation	0		Battery Block Vol -V14	15.38	V
Auxiliary Battery Low-Last Trip	0		Internal Resistance R01	0.021	ohm
Main Battery Low Voltage-Last Operation	0		Internal Resistance R02	0.021	ohm
Main Battery Low Voltage-Last Trip	0		Internal Resistance R03	0.021	ohm

HV Battery

Clasific. de A a Z

00257 0308-01 Control hibrido 0023 ms Default User

Figura 27. Interfase de los datos del vehículo según el equipo de diagnóstico.  
(Fuente: Los autores)

### Tercera prueba

La prueba de ruta arrojó los resultados que se puede evidenciar tanto en la Tabla 22 como en las Figuras 28 y 29.

Tabla 22. Pruebas en el vehículo 3.

<b>PACKS DE BATERIA</b>	<b>VOLTAJES [V]</b>
1	17,53
2	17,46
3	17,53
4	17,50
5	17,52
6	17,43
7	17,50
8	17,48
9	17,48
10	17,46
11	17,53
12	17,50
13	17,48
14	17,48

(Fuente: Los autores)

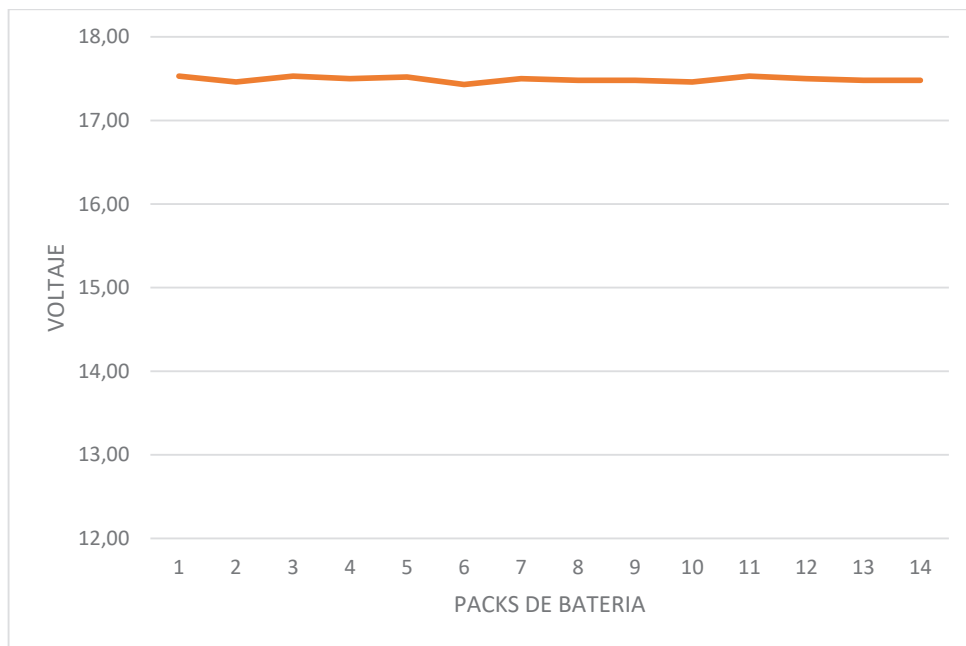


Figura 28. Ecuación prueba de ruta.  
(Fuente: Los autores)

Parametro	Valor	Unidad	Parametro	Valor	Unidad
State of Charge (All Batt)	70.9	%	Internal Resistance R03	0.022	ohm
Power Resource VB	244.0	V	Internal Resistance R04	0.022	ohm
Power Resource IB	-23.70	A	Internal Resistance R05	0.023	ohm
MG1 Gate Status	Off		Internal Resistance R06	0.022	ohm
MG2 Gate Status	OFF		Internal Resistance R07	0.022	ohm
Batt Pack Current Val	-28.92	A	Internal Resistance R08	0.022	ohm
Inhaling Air Temp	83.3	F	Internal Resistance R09	0.022	ohm
Charge Control Value	-14.0	KW	Internal Resistance R10	0.022	ohm
Discharge Control Value	21.0	KW	Internal Resistance R11	0.022	ohm
Temp of Batt TB1	109.0	F	Internal Resistance R12	0.022	ohm
Temp of Batt TB2	114.1	F	Internal Resistance R13	0.023	ohm
Temp of Batt TB3	106.7	F	Internal Resistance R14	0.023	ohm
Battery Block Vol -V01	17.53	V			
Battery Block Vol -V02	17.46	V			
Battery Block Vol -V03	17.53	V			
Battery Block Vol -V04	17.50	V			
Battery Block Vol -V05	17.52	V			
Battery Block Vol -V06	17.43	V			
Battery Block Vol -V07	17.50	V			
Battery Block Vol -V08	17.48	V			
Battery Block Vol -V09	17.48	V			
Battery Block Vol -V10	17.46	V			
Battery Block Vol -V11	17.53	V			
Battery Block Vol -V12	17.50	V			
Battery Block Vol -V13	17.48	V			
Battery Block Vol -V14	17.48	V			
Internal Resistance R01	0.023	ohm			
Internal Resistance R02	0.022	ohm			

Figura 29. Interfase de los datos del vehículo según el equipo de diagnóstico.  
(Fuente: Los autores)

### 3.2. Discusión

#### 3.2.1. Datos obtenidos del funcionamiento de la batería en el vehículo

Al desarrollar el estudio con el vehículo Toyota Prius se determina que los packs que superan el valor de 17.7 voltios generan un código de avería que indica el reemplazo completo de la batería. Se dificulta el conocer cuál de los packs corresponde a la avería, esto debido a que el fabricante en sus instrucciones indica que no se debe manipular ni realizar ningún tipo de mantenimiento tanto a las celdas como a toda la batería en conjunto. Por lo que, si se desea solucionar, es necesario realizar este estudio, que consiste en desmontar la batería del vehículo y proceder con los ciclos de carga y descarga controlados de todas las celdas.

Con los datos mostrados en el diagnóstico preliminar se determina que la batería cuenta con tres sensores o indicadores de temperatura, estos presentaron un valor de 39, 44 y 39,2 °C respectivamente, esto quiere decir que la temperatura incidió en el proceso de carga y descarga. Por pruebas realizadas mediante experimentación las celdas y/o packs que se encuentran en la mitad de la batería son las que siempre tienden a fallar debido a la temperatura existente en el funcionamiento de la misma.



En la Figura 11 se determinó que la curva que muestran los valores de voltaje frente a los packs no es uniforme, esto quiere decir que no está ecualizada, por lo que la batería no va a tener un normal funcionamiento.

Al estar conectadas las celdas de la batería en serie se produce un fenómeno en el pack, este consiste en que, si una celda está más descargada que la otra, la que está más cargada le abastece a la otra produciendo un fenómeno de tipo cascada. En el proceso de carga, debido al efecto memoria que es una de las características de la batería de NiMh [32] las dos celdas del pack llegan a cargarse desde el valor más bajo de voltaje de cada una hasta el requerido por la celda que es de 8.8V.

### **3.2.2. Cargas con un SOC al 30%**

La finalidad del proceso de carga y descarga es reacondicionar a la batería de alta tensión y dejarla en óptimas condiciones para su funcionamiento. Para el estudio se realizaron tres pruebas tomando como base la batería original del vehículo y dos baterías adicionales recicladas para intercambiar las celdas que se encuentren averiadas de acuerdo con la necesidad.

La primera prueba se la realizó con la batería original del vehículo, en este proceso a las celdas se las sometieron a una carga controlada de 2 A durante 60 minutos. Los datos obtenidos que se indican en la Tabla 7 y Figura 14 muestran que las celdas están aptas para el proceso de descarga. Por diseño el valor máximo de carga a este SOC es de 9 voltios para una celda con voltaje nominal de 7.2 voltios, 6 mini celdas de 1.2 voltios cada una.

El SOC se determinó en función de la capacidad de la batería y la carga necesaria para alimentarse. Esto se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$SOC \% = \frac{Carga \times 100}{Capacidad \text{ de la batería}}$$

Solo se necesita el 30% del SOC para encender el vehículo, ya que el mismo se encarga de cargarlo por completo, por tal motivo si se desea este SOC, se determina la corriente necesaria para alimentar a la celda. De la ecuación 1 se determinó que la corriente requerida fue de 1.95 aproximados a 2 amperios con una capacidad de la batería de 6.5 Ah.

La segunda y tercera prueba se realizaron en función al control de la capacidad de carga. Al comprobar las curvas mostradas en las Figuras 14, 15 y 16 se puede concluir que tienen un crecimiento de voltaje uniforme y esto da la aceptación para que se pueda continuar con el siguiente proceso.

### **3.2.3. Control de la capacidad de carga**

La prueba más importante de todo este proceso determinar la capacidad real de cada celda ya que con estos se establece si éstas se encuentran en óptimas condiciones para su normal funcionamiento.

Con los valores obtenidos en la primera prueba con la batería original del Prius se comprueba que la batería se encuentra con el 50% de la capacidad real por lo que no se puede seguir utilizando la misma y debe ser remplazada en su totalidad. Esta batería puede ser reutilizada para otros fines como, por ejemplo, juguetes, iluminación con la ayuda de un panel solar, cargador de baterías de 12V, lámparas etc.

En la segunda batería los valores indican que se encuentra en un 90% pero con la presencia de algunas celdas que necesitan ser reacondicionadas para poder obtener una batería con una capacidad real total del 90%.

Una vez que la batería híbrida no es apta para el automóvil, es decir presenta un estado de carga del 50%, se realiza el cambio total de batería, la misma que puede ser reutilizada en otros ámbitos. Así se tiene que las principales compañías eléctricas están trabajando con General Motors, Ford, Toyota y Nissan para explorar el uso de las baterías usadas en el almacenamiento estacionario de la energía producida en los períodos de baja demanda de

turbinas eólicas y plantas de generación de energía solar. Paquetes de iones de litio también se están probando como sistemas de almacenamiento de energía de reserva para centros de venta al por menor, restaurantes y hospitales, así como para sistemas solares residenciales.

### 3.2.4. Cargas y descargas controladas para 28 celdas

Uno de los modelos para realizar este proceso que se ha tomado en cuenta es el tipo de caja negra [32]. Se lo denomina así porque la química de la batería se desprecia para el estudio. El planteamiento de este método consiste en el análisis de la respuesta que ofrecen las celdas frente a diferentes condiciones de trabajo y en base a la información obtenida, se puede formular un modelo que tiene la capacidad de adaptarse al cambio y tomar datos experimentales [46]. Para este método se utiliza como elementos de entrada la corriente y la temperatura en donde el valor de voltaje obtenidos se lo hace a través de los terminales o bornes de conexión.

El modelo Thevenin de capa simple, el de Thevenin de doble capa y el de Thevenin *Runtime* son modelos fenomenológicos para todo tipo de acumuladores de energía. El modelo de capa simple tiene lugar dentro de la batería, tiene una representación basada en elementos eléctricos como se muestra en la Figura 30 [32] [47].

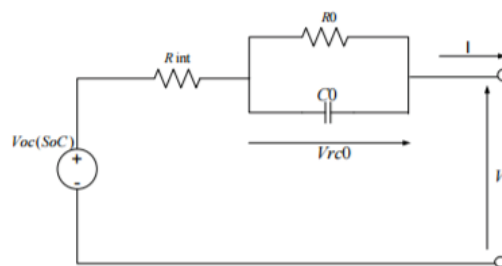


Figura 30. Modelo de Thevenin capa simple.  
(Fuente: Modelo de Thevenin [32] [47])

Al tener doble capa se puede añadir una rama adicional lo que permite el mejoramiento del desempeño en la obtención de datos, pero se vuelve más complejo su análisis como se muestra en la Figura 31 [48].

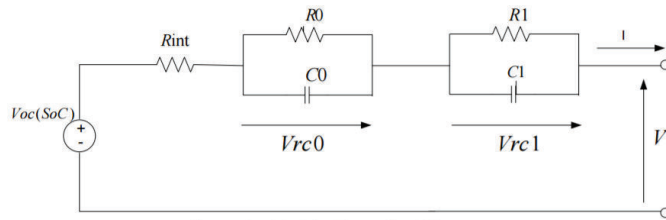


Figura 31. Modelo de Thevenin doble capa.  
(Fuente: Modelo de Thevenin doble capa [32] [48])

El modelo *Runtime* permite una formulación que plantea el tiempo de vida útil del acumulador, esto representa la degradación del acumulador con los ciclos de vida. El modelo circuital a analizar se puede observar en la Figura 32 [32] [49]

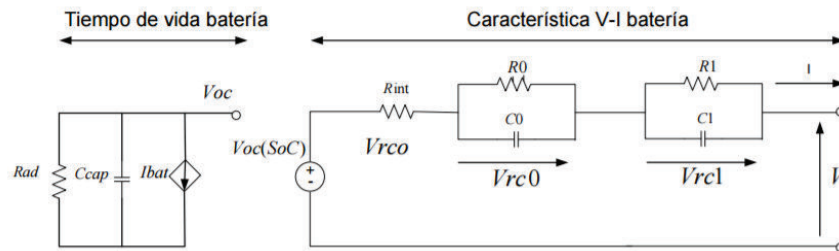


Figura 32. Modelo de Thevenin *Runtime*.  
(Fuente: Modelo de Thevenin Runtime [32] [49])

Al realizar una comparación de los modelos utilizados para estimar la carga y descarga de un acumulador se toma en cuenta el análisis que se hace a un capacitor. Cuando se aplica un voltaje DC creciente a un condensador descargado, el condensador extrae una corriente de carga hacia arriba y cuando se reduce la tensión, el condensador descarga en la dirección opuesta. Debido a que los condensadores son capaces de almacenar energía eléctrica, actúan como baterías pequeñas y pueden almacenar o liberar la energía según se requiera.

La carga (Q) es igual a la capacitancia (C) por el voltaje (V). Esta carga (almacenamiento) y descarga (liberación) de energía de los capacitores no es instantánea, sino que toma cierto tiempo para producirse.

Si una resistencia está conectada en serie con el condensador que forma un circuito RC, el condensador se cargará gradualmente a través de la resistencia hasta que el voltaje a través del condensador alcance la tensión de alimentación. El tiempo de respuesta transitoria requerida para que el condensador se cargue completamente es equivalente a aproximadamente 5 constantes de tiempo o  $5T$ .

En la Figura 33 se muestra un condensador (C) conectado en serie con una resistencia, (R) que forma un Circuito de Carga RC conectado a través de una fuente de alimentación de Corriente Continua ( $V_s$ ) a través de un interruptor mecánico. Cuando el interruptor está cerrado, el condensador se cargará gradualmente a través de la resistencia hasta que el voltaje a través de ella alcance la tensión de alimentación de la batería.

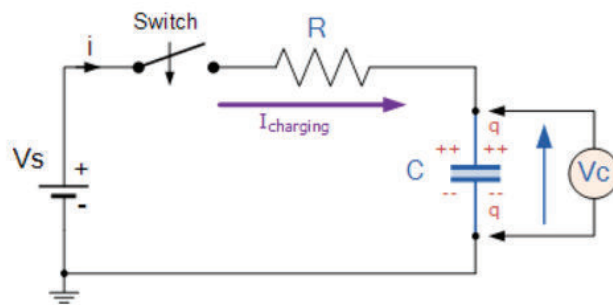


Figura 33. Circuito de carga de un condensador.  
(Fuente: [http://www.electronics-tutorials.ws/rc/rc\\_1.html](http://www.electronics-tutorials.ws/rc/rc_1.html))

Este tiempo de respuesta transitorio  $T$ , se mide en términos de  $\tau = RC$ , en segundos, donde  $R$  es el valor de la resistencia en ohmios y  $C$  es el valor del condensador en Faradios. Esto entonces forma la base de un circuito de carga de RC fueron  $5T$  también se puede considerar como " $5 \times RC$ ".

Dado que la tensión  $V$  está relacionada con la carga de un condensador dada por la ecuación  $V_c = Q / C$ , la tensión a través del valor de la tensión a través del condensador ( $V_c$ ) en cualquier instante durante el período de tiempo está dada por la Ecuación 2.

$$V_c = V_s(1 - e^{\frac{-t}{RC}})$$

Ecuación. 2

Donde:

$V_c$  es la tensión a través del condensador

$V_s$  es la tensión de alimentación

$T$  es el tiempo transcurrido desde la aplicación de la tensión de alimentación

$RC$  es la constante de tiempo del circuito de carga  $RC$

En el caso de las curvas de carga, puede apreciarse que la más homogénea se logra cuando todas las celdas se encuentran a 60°C como se observa en la Figura 20, pudiendo aproximarse la curva, de acuerdo con el modelo de carga y descarga del capacitor.

$$V(t) = 1.22 * (1 - e^{\frac{-t}{403.5}})$$

Para las curvas de descarga mostradas en la Figura 21, se evidencia que las familias de curvas más homogénea son las que se generan nuevamente a 60°C. Este hecho se confirma al observar los valores inversos de las constantes de tiempo: 657 para 1A, 325 para 2A y 166 para 3A, estos valores son inversamente proporcionales a los valores de corriente.

Para otros valores de temperatura con una variación de voltaje de 0; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; 1; 1.2; 1.4; 1.6 y 1.8 y una descarga de 3A a 60°C se toma una medida Corregida en Tiempo (s) vs Voltaje (V) en cada una de las celdas. Los valores de la constante de tiempo no presentan tal correspondencia, de manera que es posible concluir que a 60°C se produce una descarga más homogénea de las baterías.

### **3.2.5. Ecuación de los packs**

Es necesario realizar la ecualización en las celdas de la batería de alta tensión ya que estas no son idénticas, sino que tiene ciertas diferencias como resultado del proceso de fabricación. Esta diferencia provoca que no se carguen al mismo tiempo, lo que supone que durante la carga habrá un momento en el que una

celda puede estar totalmente cargada y otras no, llamando a este el efecto memoria. para ello la ecualización del pack o las celdas deben vencer a esta condición funcional de la batería.

Los resultados de la ecualización de la batería híbrida del Toyota Prius de tercera generación se puede observar en la Figura 23 en donde los voltajes quedan uniformes es decir, que queda muy poco margen de variación de voltaje entre las 28 celdas, por lo que la batería se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento para ser colocada en el vehículo y ponerlo en funcionamiento sin ninguna avería; con ello se garantiza la prolongación del estado de carga de la batería por un tiempo mayor que está en función del ciclo de conducción y de las condiciones de la vía por donde circula el vehículo..

### **3.2.6. Ciclaje de la batería de alta tensión**

Cuando el vehículo se encuentra detenido el motor de combustión interna, el MG1 y el MG2 también tienen esta condición, la batería de 12 voltios es la encargada de abastecer de energía eléctrica a los elementos como son luces, radio y demás elementos que trabajan con este valor de voltaje. Al colocarlo en la posición *Ready* ocurre una condición similar a la anteriormente descrita.

Al empezar a arrancar con el motor de combustión interna, el MG1 opera como un motor de arranque haciendo girar al motor de combustión interna, la energía o carga para que el MG1 entre en funcionamiento, es necesario que la batería e alta tensión alimente a este elemento.

Para mover el vehículo en forma silenciosa es decir con el método eléctrico, el MG2 entra en funcionamiento, esto se lo hace a través de la batería de alta tensión. Para esta condición también MG1 se encuentra activado, el motor de combustión interna se encuentra apagado.

Cuando se acelera el MG1 enciende al motor de combustión interna manteniéndose encendido también MG2 por medio de la alimentación de la batería de alta tensión. En estas condiciones la batería se comporta como una

fuentes de alimentación para los motores generadores. El motor de combustión interna hace que MG1 se comporte como generador, con la finalidad de cargar a la batería de alta tensión a esta se la denomina velocidad crucero.

En base a estas condiciones, el procedimiento para verificar si la batería está apta para el funcionamiento en el vehículo, consistió en realizar un ciclado de la misma, se realizó una prueba de ruta y mediante una interfase entre el vehículo y el computador se pudieron visualizar los datos de funcionamiento de la batería y del sistema híbrido.

En la Figura 25 correspondiente a los resultados del ciclaje de la batería, se determinó un estado de carga de 63.9% esto indica que la corriente requerida por todos los componentes del vehículo es de 4.15 A. El voltaje total de la batería corresponde a la sumatoria de los voltajes de cada una de las celdas y con una batería cargada con un SOC anteriormente descrito da un valor de 212.0 V. Se evidencia que los motores generadores tanto MG1 como MG2 se encuentran en la posición de apagado, esto indica que la batería es la que proporciona toda la carga necesaria para el funcionamiento del vehículo.

Las temperaturas mostradas en los sensores indican el incremento del valor en una de ellas. De acuerdo al estudio, se puede determinar que este sensor se encuentra ubicado en la mitad de la batería, el incremento es de 4.5°C con la menor mostrada en por los otros dos sensores.

Los voltajes de los packs al momento de realizar esta prueba no tuvieron una variación significativa en sus valores como se observa en la Figura 24. La variación no supera los 0.2V siendo 14.91 el menor voltaje del pack y 15.11 el mayor voltaje, esto define que la ecualización es adecuada para esta condición.

En la Figura 27, se puede visualizar como datos más representativos a un SOC de 52.9% muestra un voltaje ecualizado cuya variación entre cada celda no supera los 0.3V, por tal razón la línea ecualizada es casi uniforme; esto se evidencia en la Figura 39. Para esta condición los motores generadores se encuentran apagados, la resistencia de cada uno de los packs no tiene una



variación para ninguna condición de prueba tanto en descarga como en carga. En esta prueba las temperaturas mostradas por los sensores indican una disminución en sus valores esto se debe a que está en funcionamiento el sistema de enfriamiento, el cual permite distribuir el flujo de aire en especial a los extremos de la batería.

Los voltajes de los packs al realizar el proceso de carga se observan en la Figura 29, el moto generador 1 empieza a cargar a la batería de alta tensión, por tal razón el voltaje por pack se incrementa. Del mismo modo que en las anteriores pruebas, la variación entre cada uno de ellos no varía los 0.2V entre el mínimo y el máximo. La carga dada a la batería hace que la temperatura nuevamente se incremente, en estas condiciones de funcionamiento el sistema de refrigeración se activará. De acuerdo a esta prueba realizada al vehículo y con la batería ecualizada se lograron tener resultados óptimos de funcionamiento. La ecualización ha permitido tener una batería reacondicionada y utilizarla sin inconvenientes.

### 3.2.7. Comparación del costo de las baterías de alta tensión

En la tabla 23 se puede observar los diferentes precios de baterías híbridas que existen en el mercado dependiendo de la marca del auto, en donde se refleja cuan costoso es el remplazo de las mismas. Muchas de las personas tienen el temor de comprar los autos híbridos por esta razón.

Tabla 23. Comparación del costo de las baterías de alta tensión.

MARCA	MODELO	COSTO BATERIA	COSTO MANO DE OBRA
TOYOTA	PRIUS	7.500 USD+IVA	230 USD+IVA
HYUNDAI	SONATA	8.000 USD+IVA	250 USD+IVA
FORD	ESCAPE	15.800 USD+IVA	500 USD+IVA
BMW	X6	15.000 USD+IVA	500 USD+IVA
LEXUS	RX450H	13.000 USD+IVA	400 USD+IVA
PORSCHE	CAYENNE HYBRID	20.000 USD+IVA	800 USD+IVA

(Fuente: Los autores)

Por lo que mediante este estudio se puede ahorrar una gran cantidad de dinero y dejar a la batería en óptimas condiciones para su correcto funcionamiento, ya que la mano de obra en el taller autorizado como C-Tres está en 50 USD la hora mientras que el arreglo por celda se encuentra por un valor de 120USD, lo que el valor promedio total de arreglo de una batería que llega con avería de 3 0 4 celdas al taller es de 1200 USD. Entregando una garantía por el trabajo realizado de 3 meses y con un promedio de durabilidad de 100.000 a 150.000 km.

En cuanto a las baterías de hidruro metálico utilizadas en la actualidad por Toyota seguirán en el mercado por un tiempo de 6 a 10 años hasta que una nueva tecnología de baterías pueda suplirlas. Renault considera que la nueva generación de baterías, que aporte cambios relevantes, no estaría en menos de cinco o seis años, que viene a ser la vida útil de un modelo específico de vehículo. Algunos investigadores menos optimistas indican que este cambio puede hacerse realidad a los diez años aproximadamente. General Motors, considera factible tener baterías con más capacidad y además menos coste, en unos cuatro años.

Los autos híbridos en el país están en aumento y cada vez se puede ver rodando en las calles a mas autos como por ejemplo el Hyundai Sonata Hybrid o el mismo Toyota Prius que están teniendo muy buena acogida a comparación de los vehículos eléctricos que se encuentran ingresando al país a realizar las pruebas respectivas y solo 2 autos son comercializados como el Kia Soul EV y el Renault Twizy, el inconveniente de los autos eléctricos actuales es la baja autonomía que brindan así como también las pocas por no decir nulas estaciones de servicio de carga que tienen los usuarios, por tal razón éste proceso se debe realizar en los hogares de los propietarios y dependiendo del voltaje que necesite la batería ésta carga puede durar aproximadamente 12 horas con una alimentación de 110 voltios y entre 6 a 8 horas en 220 voltios.

## CAPÍTULO IV

### 4.1. CONCLUSIONES

- En el vehículo al someterle a un ciclado en una prueba de ruta se determina que las condiciones de carga y descarga influyen directamente en el rendimiento debido a que por cada aceleración brusca que se dé al vehículo, la batería entrega más energía y esta lo hace en valores irregulares lo cual reducen la vida de los packs y es necesario reacondicionarlos.
- Los procesos de carga y descarga controlados a cada una de las celdas determinaron que la temperatura incide directamente a estos procesos en el vehículo. De acuerdo al estudio se determina que a 20°C tanto la carga como la descarga presentan una variación en las curvas que es muy evidente. Mientras que al someterle a una temperatura de 60°C la curva es más homogénea tanto para la carga como para la descarga.
- La dependencia entre el rendimiento del ciclo y la carga-descarga se determinó tanto al variar la temperatura como el tipo de conducción que se realice con el vehículo.
- Se realizaron diferentes mediciones según una prueba de ruta en donde se determinó una variación mínima de los voltajes cuyos valores promedio llegan a 0.2V.
- Se determinó una ecuación característica de este acumulador de energía, se lo puede modelar como un capacitor, este modelado está en función del tiempo y una constante entre la resistencia y capacitancia. La curva tanto de carga como de descarga son similares al modelado de este elemento electrónico.
- Se concluye que se puede reacondicionar las baterías híbridas que presentan fallas o averías en el sistema híbrido por carga y descarga de las celdas y dejarla en óptimas condiciones para su correcto funcionamiento mediante el estudio realizado, con lo que se prolonga la vida útil de la batería.

- Al mantener el auto en una velocidad constante, es decir en velocidad crucero se puede optimizar al máximo la batería híbrida, por lo que se prolonga la vida útil de la misma.
- Se reduce el impacto ambiental por efecto de la industria automotriz al reutilizar una batería de alto voltaje, en este caso la del vehículo Toyota Prius.
- Al mantener el auto en una velocidad constante es decir en velocidad crucero podemos optimizar al máximo la batería híbrida ya que se mantendrá ecualizada y tendrá picos de carga y descarga por lo que prolongaremos la vida útil de la misma.
- Se reduce el impacto ambiental por efecto de la industria automotriz al reutilizar una batería de alto voltaje en este caso la del vehículo Toyota Prius.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

- La adquisición de vehículos híbridos es recomendable ya que tienen un respaldo que garantice que sus baterías van a durar por mucho tiempo y de esta manera contribuir al medio ambiente ya que con cada nuevo vehículo que se venda en el país se puede ahorrar 2.5 toneladas de CO2 ya que este produce 1 tonelada de CO2 por año lo que es igual a la capacidad de 72 árboles de absorber CO2 a comparación de un auto normal el cual produce 3.5 toneladas al año.
- Para realizar los respectivos análisis en las baterías de los autos híbridos se recomienda la utilización de equipos de seguridad como guantes, lentes, zapatos de punta de acero, para evitar la transferencia de alta tensión hacia nuestro cuerpo .
- Es muy importante que todas las personas que adquieran estos autos lean su respectivo manual para que sepan su correcto funcionamiento ya que una gran parte no lo hace y por ende su auto no tiene la vida útil que esperan y cometen muchos errores.

- Hacer periódicamente los mantenimientos de las baterías híbridas es decir cada 20.000km y mediante un scanner determinar el trabajo de la batería, así como también el porcentaje de carga de cada pack.

### **4.3. TRABAJOS FUTUROS**

Debido a que el tema tratado se basó en un análisis del tipo de caja negra, en donde se determina variables de trabajo como son los voltajes de carga y descarga, temperatura y corriente, se sugiere complementar este estudio con un análisis de la estructura y/o comportamiento que presentan los elementos de la batería NiMH cuando está completamente cargada, sin carga y luego de reacondicionarla.

Otro tema pendiente a realizar es el análisis es el de la batería de Ion litio o ion polímero ya que se están utilizando en vehículos eléctricos. Se podría mencionar que casi operan a las mismas condiciones de funcionamiento en el vehículo, con la diferencia que la carga para la batería se da por una fuente de alimentación externa.

## Referencias Bibliográficas

- [1] L. Tang, G. Rizzoni y S. Onori, «Energy Management Strategy for HEVs Including Battery Life Optimization,» *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 1, nº 3, pp. 211-222, 2015.
- [2] S. S. Choi y H. S. Lim, «Factors that affect cycle-life and possible degradation mechanisms of a Li-ion cell based on LiCoO<sub>2</sub>,» *Journal of Power Sources*, vol. 111, nº 1, pp. 130-136, 2002.
- [3] AEADE, «AEADE Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador,» 01 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/aeadeecuador/sector-en-cifras>.
- [4] E. Gies, «Lazarus Batteries,» *Nature*, vol. 526, pp. 100-101, 2015.
- [5] G. Erazo y C. Peñafiel, «Load And Unload Of The Battery HV,» de [https://www.researchgate.net/publication/295912436\\_Load\\_And\\_Unload\\_Of\\_The\\_Battery\\_HV](https://www.researchgate.net/publication/295912436_Load_And_Unload_Of_The_Battery_HV), 2016.
- [6] M. Lavados y E. Bianchi, «Aplicación de acumuladores electroquímicos para el almacenamiento comercial de energía eléctrica en sistemas interconectados,» Santiago de Chile, 2013.
- [7] V. Klass, M. Behm y G. Lindbergh, «A support vector machine-based state-of-health estimation method for lithium-ion batteries under electric vehicle operation,» *Journal of Power Sources*, vol. 270, pp. 262-272, 2014.
- [8] <http://www.retrievtech.com/recycling/nicad-and-nimh>, «NiCad & NiMH,» Administrador Retrieve Technologies, Estados Unidos, 2013.
- [9] Y. Huo, Z. Rao, X. Liu y J. Zhao, «Investigation of power battery thermal management by using mini-channel cold plate,» *Energy Conversion and Management*, vol. 89, p. 387-395, 2015.
- [10] S. Sloop, «Giga Lige Cicle: Manufacture of Cells From Recycled EV - Li-ion Batteries,» pp. 1-25, 2015.
- [11] Parlamento Europeo y del Consejo, *Eliminación de las pilas y acumuladores usados*, Unión Europea: Directiva 2006/66/CE, 2014.
- [12] Smith, Carl,; «Call2Recycle,» [En línea]. Available: <http://www.call2recycle.org/testimony-texas-on-hb-3153/>. [Último acceso: 17 03 2017].
- [13] U. Rohit, L. Yaoyu y D. Anoop, «Equalization integrated online monitoring of health map and worthiness of replacement for battery pack of electric vehicle,» *Power Sources*, pp. 293-305, 2013.
- [14] F. Augeri, «Introducción al funcionamiento y diagnóstico de Vehículos Híbridos I,» CISE Electrónica, Miami, 2009.

- [15] DIARIOMOTOR, «<http://www.diariomotor.com/>,» 01 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/>.
- [16] B. Skugor y J. Deur, «Dynamic programming-based optimisation of charging an electric vehicle fleet system represented by an aggregate battery model,» *Energy*, pp. 1-10, 2015.
- [17] E. Ovrum y T. Bergh, «Modelling lithium-ion battery hybrid ship crane operation,» *Applied Energy (Volumen 152)*, pp. 162-172, 2015.
- [18] M. Corno, N. Bhatt, S. Savaresi y M. Verhaegen, «Electrochemical Model-Based State of Charge Estimation for Li-Ion Cells,» *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 23, pp. 117-127, 2015.
- [19] Y. Wang, C. Zhang y Z. Chen, «A method for joint estimation of state-of-charge and available energy of LiFePO<sub>4</sub> batteries,» *Applied Energy*, vol. 135, pp. 81-87, 2014.
- [20] G. Liu, M. Ouyang, L. Lu, J. Li y J. Hua, «A highly accurate predictive-adaptive method for lithium-ion battery remaining discharge energy prediction in electric vehicle applications,» *Applied Energy*, vol. 149, pp. 297-314, 2015.
- [21] G. Ren, G. Ma y N. Cong, «Review of electrical energy storage system for vehicular applications,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 225-236, 2015.
- [22] L. Shang, S. Wang, Z. Li, H. Deng, Y. Ma y J. Wang, «A novel lithium-ion battery balancing strategy based on global best-first and integrated imbalance calculation,» *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 9, pp. 6213-6224, 2014.
- [23] G. Karimi y A. Dehghan, «Thermal analysis of high-power lithium-ion battery packs using flow network approach,» *Energy Research*, vol. 38, pp. 1793-1811, 2014.
- [24] H. He, Y. Zhang, R. Xiong y C. Wang, «A novel Gaussian model based battery state estimation approach: State-of-Energy,» *Applied Energy*, vol. 151, pp. 41-48, 2015.
- [25] Y. Zheng, M. Ouyang, L. Lu, J. Li, Z. Zhang y X. Li, «Study on the correlation between state of charge and coulombic efficiency for commercial lithium ion batteries,» *Journal of power Sources*, vol. 289, pp. 81-90, 2015.
- [26] K. Chen, G. Unsworth y X. Li, «Measurements of heat generation in prismatic Li-ion batteries,» *Journal of Power Sources*, vol. 261, pp. 28-37, 2014.
- [27] J. Ewanchuk y J. Salmon, «A Modular Balancing Bridge for Series Connected Voltage Sources,» *IEEE Xplore Digital Library*, vol. 29, pp. 4712-4722, 2013.
- [28] M.-Y. Kim, C.-H. Kim, J.-H. Kim y G.-W. Moon, «A Chain Structure of Switched Capacitor for Improved Cell Balancing Speed of Lithium-Ion Batteries,» *IEEE Xplore Digital Library*, vol. 61, pp. 3989 - 3999, 2014.

- [29] H. Wu, S. Yuan, X. Zhang, C. Yin y X. Ma, «Model parameter estimation approach based on incremental analysis for lithium-ion batteries without using open circuit voltage,» *Journal of Power Sources*, vol. 287, pp. 108-118, 2015.
- [30] D. Jon, «High performance nickel metal hydride batteries,» *Battery Conference on Applications and Advances, 1994., Proceedings of the Ninth Annual*, pp. 236-241, 1994.
- [31] H. F. Gibbard, «High performance nickel metal hydride batteries,» *Battery Conference on Applications and Advances, Proceedings of the Ninth Annual*, p. 127, 1994.
- [32] C. D. Burgos, «Estimación del estado de carga para un banco de baterías basada en modelación difusa y filtro extendido de Kalman,» *Universidad de Chile*, 2013.
- [33] K. Lahiri, «Battery - driven system desing: a new frontier in low power design,» *Design Automation Conference, 2002. Proceedings of ASP-DAC 2002. 7th Asia and South Pacific and the 15th International Conference on VLSI Design. Proceedings.*, pp. 261-267, 2002.
- [34] J. P. Adytia y M. Ferdowski, «Comparison of NiMH and Li-ion batteries in automotive applications,» *Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC '08. IEEE*, pp. 1-6, 2008.
- [35] J. McDowall y S. America, «Conventional battery technologies - present and future,» *Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE*, pp. 1538-1540, 2000.
- [36] E. Chávez, «¿Cuáles son las ventajas de los autos híbridos?,» 11 Marzo 2015. [En línea]. Available: [http://revistadiners.com.co/actualidad/23261\\_cuales-son-las-ventajas-de-los-autos-hibridos/](http://revistadiners.com.co/actualidad/23261_cuales-son-las-ventajas-de-los-autos-hibridos/). [Último acceso: 06 04 2017].
- [37] Electricidad La revista energética de Chile, «Venta de autos híbridos creció 150% en ocho años,» 23 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.revistaei.cl/2015/11/23/venta-de-autos-hibridos-crecio-150-en-ocho-anos-hoy-hay-1-830-unidades-en-chile/>. [Último acceso: 8 Abril 2017].
- [38] Perú 21, «Vehículos híbridos: Una opción para cuidar el medio ambiente,» 23 Enero 2015. [En línea]. Available: <http://peru21.pe/tecnologia/vehiculos-hibridos-opcion-cuidar-medio-ambiente-2210047>. [Último acceso: 08 Abril 2017].
- [39] Télam, «En Argentina circulan 11,5 millones de vehículos y es el país con más unidades por habitante de la región,» 12 Abril 2015. [En línea]. Available: <http://www.telam.com.ar/notas/201504/101205-informe-afac-promotive-parque-automotor-argentina.html>. [Último acceso: 08 Abril 2017].
- [40] Motorbit, «Estímulos en países latinoamericanos para adquirir autos eléctricos.,» 30 Mayo 2016. [En línea]. Available: <http://motorbit.com/36947-2/?pais=>. [Último acceso: 08 Mayo 2017].
- [41] La Hora, «En Ecuador los autos cuestan más que en los países vecinos,» 17 Octubre 2011. [En línea]. Available: <http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101221527#.WRPz6lg19PZ>. [Último acceso: 08 Abril 2017].



- [42] Isaac.itq.electrica, «Vehículo híbrido eléctrica ITQ,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/isaacitqelectrica/home/marco-teorico>. [Último acceso: 08 Abril 2017].
- [43] Motorpasion, «Mitos y realidades en el reciclado de baterías eléctricas para coches,» 09 Mayo 2012. [En línea]. Available: <https://www.motorpasion.com/espaciotoyota/mitos-y-realidades-en-el-reciclado-de-baterias-electricas-para-coches>. [Último acceso: 08 Abril 2017].
- [44] Toyoimport, «El costo de reemplazar una batería híbrida,» 09 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.toyoimport.com/costo-reemplazar-una-bateria-hibrida/>. [Último acceso: 08 Abril 2017].
- [45] M. d. T. y. A. S. España, «Ni-Cd Batteries. Use and maintenance Accumulateurs de Ni-Cd. Utilisation et manutention». España Patente NTP 104, 1984.
- [46] D. G. Murillo, «Modelamiento y análisis de sistemas fotovoltaicos,» Tesis doctoral, España, 2003.
- [47] J. Kim y B. H. Cho, «State of Charge Estimation and State of Health Prediction of a Li-Ion Degraded Battery Based on an EKF Combined Whith a Per-Unit System,» *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60, nº 9, pp. 4249-4260, 2011.
- [48] L. Gao, S. Liu y R. A. Dougal, «Dynamic Lithium-Ion Battery Model for System Simulation,» *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, vol. 25, nº 3, pp. 495-505, 2002.
- [49] M. Chen y G. A. Rincon-Mora, «Accurate Electrical Battery Model Capable of Predicting Runtime and I-V Perfomance,» *IEEE Transactions on Energy Conversion* , vol. 21, nº 2, pp. 504-511, 2006.
- [50] A. L. Barhona Rosero y M. V. Yáñez Salcedo, «Análisis de factibilidad técnica y ambiental de la inserción de autos eléctricos en el mercado del Ecuador,» de *Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental*, Quito, Escuela Politécnica Nacional, 2015, pp. 118-120.

## **ANEXOS**

## Anexo1: Característica del Toyota Prius

### Acerca del Prius

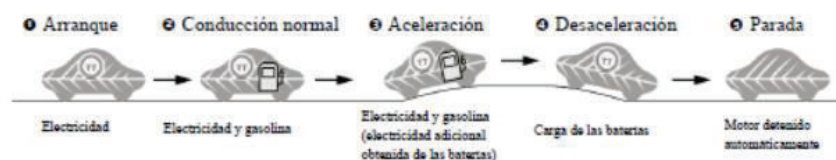
El Toyota Prius (serie NHW20) es un vehículo híbrido eléctrico/de gasolina que salió a la venta en todo el mundo en septiembre de 2003. El término híbrido eléctrico/de gasolina significa que el vehículo utiliza un sistema de propulsión que combina un motor de gasolina y un motor eléctrico. Las dos fuentes de energía híbridas se encuentran dentro del propio vehículo:

1. La gasolina para el motor de gasolina se almacena en el depósito de combustible.
2. La electricidad para el motor eléctrico se almacena en el conjunto de la batería del vehículo híbrido (HV) de alta tensión.

El resultado de la combinación de estas dos fuentes de energía permite mejorar el ahorro de combustible y reducir las emisiones. El motor de gasolina impulsa también un generador eléctrico que recarga el conjunto de la batería. A diferencia de los vehículos totalmente eléctricos, el Prius no necesita recargarse nunca en una fuente de alimentación eléctrica externa.

Dependiendo de las condiciones de conducción, para propulsar el vehículo se utiliza una de las fuentes o ambas. La siguiente ilustración muestra cómo funciona el Prius en diferentes modos de conducción.

- ❶ Al acelerar suavemente a baja velocidad, el vehículo funciona con el motor eléctrico. El motor de gasolina se apaga.
- ❷ En una conducción normal, el vehículo funciona principalmente con el motor de gasolina. El motor de gasolina también se utiliza para recargar el conjunto de la batería.
- ❸ Al acelerar de manera contundente, como al subir una pendiente, el vehículo funciona tanto con el motor de gasolina como con el eléctrico.
- ❹ Al desacelerar o al frenar, el vehículo transforma la energía cinética de las ruedas delanteras en electricidad para recargar el conjunto de la batería.
- ❺ Mientras el vehículo está parado, el motor de gasolina y el eléctrico se desactivan, pero el vehículo permanece encendido y en funcionamiento.



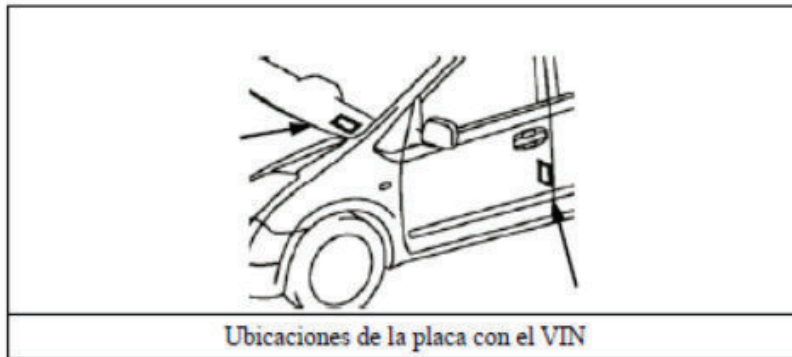
## Identificación del Prius

La apariencia del Prius es similar a la de un modelo familiar con carrocería hatchback de 5 puertas. Para ayudar en la identificación, ofrecemos ilustraciones del exterior, del interior y del compartimiento del motor.

El número de identificación del vehículo (VIN) de 17 caracteres alfanuméricos se encuentra en el cubretablero del parabrisas delantero y en el montante de la puerta del conductor.

VIN de ejemplo: JTDKB22U840020208

(Es posible identificar un Prius por los 6 primeros caracteres alfanuméricos: **JTDKB2**)



## Anexo 2: Ubicación de los componentes del Toyota Prius

### Ubicación y descripción de los componentes híbridos

Componente	Ubicación	Descripción
Batería auxiliar de 12 voltios ❶	Compartimiento de equipajes, lado derecho	Batería de plomo y ácido de baja tensión que controla todo el equipo eléctrico salvo el inversor y el generador del motor eléctrico.
Conjunto de la batería del vehículo híbrido (HV) ❷	Compartimiento de equipajes, montado en el travesaño y detrás del asiento trasero	Conjunto de la batería de níquel-hidruro metálico (NiMH) de 201,6 voltios formado por 28 módulos de baja tensión (7,2 voltios) conectados en serie.
Cables eléctricos ❸	Debajo del vehículo y en el compartimiento del motor	Los cables eléctricos de color naranja conducen corriente continua (CC) de alta tensión entre el conjunto de la batería del HV y el inversor. También transportan corriente alterna trifásica (CA) entre el inversor, el motor y el generador.
Inversor ❹	Compartimiento del motor	Convierte la corriente eléctrica de 200 V de CC del conjunto de la batería del HV en corriente eléctrica de 500 V de CC para accionar el motor eléctrico. Además, convierte la CA del motor y el generador eléctrico (freno regenerativo) en CC que recarga el conjunto de la batería del HV.
Motor de gasolina ❺	Compartimiento del motor	Tiene dos funciones: 1) impulsar el vehículo; 2) impulsar el generador para recargar el conjunto de la batería del HV. El ordenador del vehículo se encarga de arrancar y detener el motor.
Motor eléctrico ❻	Compartimiento del motor	Motor eléctrico/magnético permanente de CA trifásica ubicado en el transeje. Se utiliza para impulsar el vehículo.
Generador eléctrico ❼	Compartimiento del motor	Generador de CA de alta tensión trifásica que se encuentra en el transeje delantero. Sirve para recargar el conjunto de la batería del HV.
Depósito y conductos de combustible ❽	Parte inferior, lado derecho	El depósito de combustible proporciona gasolina al motor a través de un conducto de combustible. El conducto de combustible pasa por debajo del panel del piso del lado derecho.

### Especificaciones

Motor de gasolina:	Motor de aleación de aluminio de 1,5 litros Norteamérica: 57 KW (76 CV). Europa, Australia y otras zonas: 57 KW (77 CV).
Motor eléctrico:	50 KW (68 CV), motor de imanes permanentes
Transmisión:	Solo automática
Batería del HV:	Batería NiMH sellada de 201,6 voltios
Peso en vacío:	Norteamérica: 1.310 kg (2.890 libras), Europa: 1.300 kg, Australia: 1.295 kg
Depósito de combustible:	45 litros / 11,9 galones
Material del bastidor:	Una pieza de acero, paneles de acero y puerta del maletero/capó del motor de aluminio

## Anexo3: Funcionamiento del Toyota Prius

### Funcionamiento del vehículo híbrido eléctrico/de gasolina

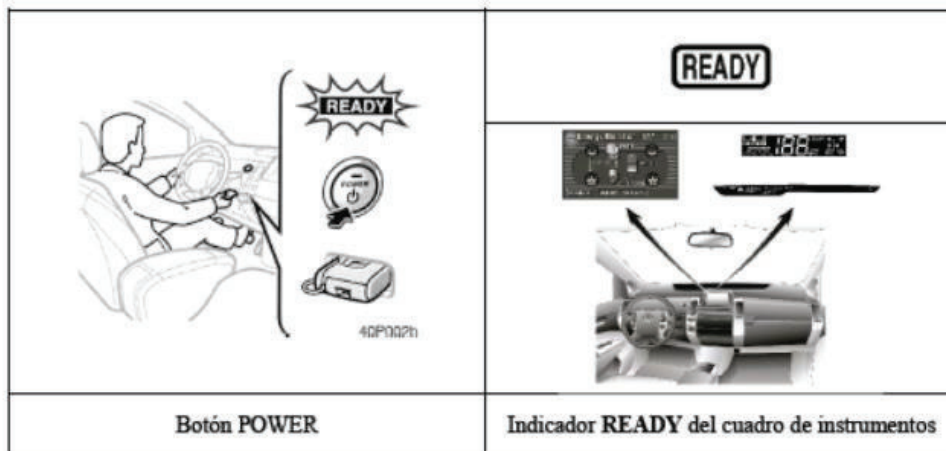
El vehículo se pone en marcha al insertar la llave en la ranura para la llave y pulsar el botón "POWER" mientras se pisa el pedal del freno. Sin embargo, el motor de gasolina no se pone al ralentí como en un automóvil normal, y arranca y se detiene automáticamente. Es importante comprender el indicador **READY** que aparece en el cuadro de instrumentos. Cuando se enciende el indicador **READY**, informa al conductor de que el vehículo está listo para circular aunque el motor de gasolina no se haya puesto en marcha y el compartimiento del motor no emita ningún ruido.

El sistema inteligente de entrada y arranque opcional le permite accionar el botón "POWER" sin insertar la llave en la ranura.

#### Funcionamiento del vehículo

- En el Prius, es posible encender y apagar el motor de gasolina en cualquier momento mientras el indicador **READY** esté encendido.
- Nunca asuma que el vehículo está apagado simplemente porque el motor esté parado. Compruebe siempre el estado del indicador **READY**. El vehículo estará apagado cuando el indicador **READY** esté apagado.
- El vehículo puede ser propulsado por:
  1. El motor eléctrico solamente.
  2. El motor de gasolina solamente.
  3. El motor eléctrico y el de gasolina a la vez.

El ordenador del vehículo determina el modo de funcionamiento del vehículo para mejorar el ahorro de combustible y reducir las emisiones. El conductor no puede seleccionar el modo manualmente.



## Anexo 4: Características de la batería de alta tensión del Toyota Prius

### Conjunto de la batería del vehículo híbrido (HV) y batería auxiliar

El PRIUS dispone de una batería auxiliar de baja tensión y de un conjunto de batería para vehículos híbridos (HV) de alta tensión. El conjunto de la batería del HV contiene módulos de batería de níquel-hidruro metálico (NiMH) sellados a prueba de fugas; la batería auxiliar es de plomo y ácido, como en cualquier otro vehículo convencional.

#### Conjunto de la batería del HV

- El conjunto de la batería del HV se encuentra sellado en una caja metálica firmemente acoplada al travesaño de la bandeja del piso del compartimiento de equipajes, detrás del asiento trasero. La caja metálica está aislada de la alta tensión y oculta por un revestimiento de tela en el compartimiento de equipajes.
- El conjunto de la batería del HV está formado por 28 módulos de baterías de NiMH de baja tensión (7,2 voltios) conectados en serie para producir aproximadamente 201,6 voltios. Cada módulo de batería de NiMH es estanco y está sellado en una caja de plástico.
- El electrolito utilizado en los módulos de baterías de NiMH es una mezcla alcalina de hidróxido de sodio y potasio. El electrolito es absorbido por las placas de las celdas de la batería y forma un gel; es muy poco probable que se produzca una fuga, incluso en caso de colisión.
- En el hipotético caso de que el conjunto de batería se sobrecargue, los gases de ventilación de los módulos se dirigirán fuera del vehículo a través de una manguera de ventilación conectada a cada módulo de la batería de NiMH.

Conjunto de la batería del HV	
Tensión del conjunto de la batería	201,6 voltios
Número de módulos de baterías de NiMH que forman el paquete	28
Peso del conjunto de la batería	39 kg (86 libras)
Tensión del módulo de batería de NiMH	7,2 voltios
Dimensiones del módulo de la batería de NiMH (pulgadas)	276 x 20 x 106 mm (11 x 1 x 4)
Peso del módulo de la batería de NiMH	1.040 gramos (2,3 libras)

#### Componentes alimentados por el conjunto de la batería del HV

- Motor eléctrico
- Generador eléctrico
- Compresor del A/C eléctrico
- Inversor
- Cables eléctricos

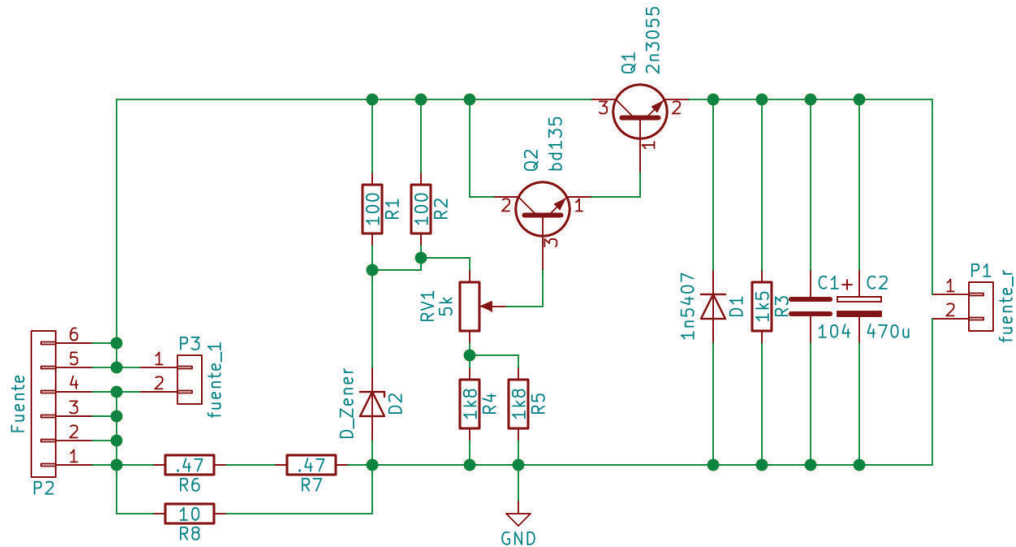
**Anexo 5: Elementos para la fuente transistorizada y carga electrónica.**

No.	Referencia	Componente	Código/Valor
<b>Fuente transistorizada</b>			
1	P1	Bornera doble	12V
2	P2	Bornera doble	12V
3	P2	Bornera doble	GND
4	P2	Bornera doble	GND
5	P3	Bornera doble	10.6V
6	R1	Resistencia 1/4W	100
7	R2	Resistencia 1/4W	100
8	R3	Resistencia 1/2W	1k5
9	R4	Resistencia 1/4W	1k8
10	R5	Resistencia 1/4W	1k8
11	R6	Resistencia 10W	0.47
12	R7	Resistencia 10W	0.47
13	R8	Resistencia 20W	10
14	C1	Condensador cerámico	0.1u
15	C2	Condensador electrolítico	470u
16	D1	Diodo rectificador	1n5407
17	D2	Diodo zener	12V
18	Q1	Transistor de potencia	2n3055
19	Q2	Transistor de mediana pot.	BD135
20	RV1	Potenciómetro metálico	5k
<b>Carga electrónica</b>			
1	R1	Resistencia 1/4W	10k
2	R2	Resistencia 1/4W	10k
3	R3	Resistencia 10W	0.47
4	R4	Resistencia 10W	0.47
5	R5	Resistencia 10W	0.47
6	R6	Resistencia 10W	0.47
7	C1	Condensador cerámico	0.1u
8	C2	Condensador cerámico	0.1u
9	P1	Bornera doble	12V
10	P2	Bornera doble	10.6V
11	P3	Bornera doble	Batería
12	P4	Bornera doble	Amperímetro
13	P5	Bornera triple	Voltímetro
14	Q1	Transistor MOSFET	IRF540N
15	Q2	Transistor MOSFET	IRF540N
16	U1	Amplificador operacional	LM358
17	RV1	Potenciómetro de precisión	10k
18	RV2	Potenciómetro metálico	10k
19	RV3	Potenciómetro metálico	1k5

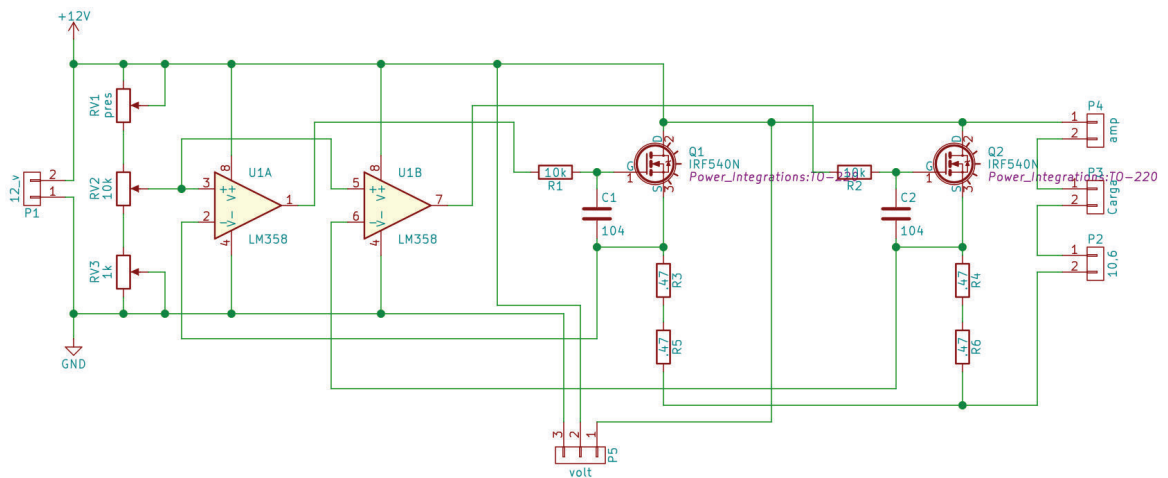


## Anexo 6: Diagramas de conexión para la fuente transistorizada y carga electrónica.

Fuente transistorizada



Carga electrónica



## Anexo 7: Programación en Arduino

Lector de temperatura

```
■
int reading0;
int tempPin0 = A1;
float temp1;
int reading1;
int tempPin1 = A2;
float temp = 0;

void setup() {
  analogReference(INTERNAL1V1);
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
}

void loop() {

  reading1 = analogRead(tempPin1);
  temp1 = reading1 / 9.31;
  reading0 = analogRead(tempPin0);
  temp0 = reading0 / 9.31;
  temp = (temp1 + temp0) / 2;
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(temp1);
  lcd.setCursor(6, 0);
  lcd.print(temp0);
  lcd.setCursor(12, 0);
  lcd.print(temp);
  Serial.print(temp1);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(temp0);
  Serial.print(" ");
  Serial.println(temp);
  delay(1000);
}
```

## Lector de Voltaje

```
*/  
float voltage=0;  
float muestra=0;  
  
// the setup routine runs once when you press reset:  
void setup() {  
  // initialize serial communication at 9600 bits per second:  
  Serial.begin(9600);  
}  
  
// the loop routine runs over and over again forever:  
void loop() {  
  // read the input on analog pin 0:  
  int sensorValue = analogRead(A0);  
  // Convert the analog reading (which goes from 0 - 1023) to a voltage (0 - 5V):  
  voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);  
  muestra=voltage*1.78;  
  // print out the value you read:  
  Serial.println(muestra);  
  delay(1000);  
}
```

## Anexo 8: Ecuación de la batería.

<p>Batería a analizar</p> 	<p>Conexión de los terminales positivos</p> 
<p>Conexión de los terminales negativos</p> 	<p>Medición de los voltajes</p> 