



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: “INVESTIGACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA
DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TOYOTA PRIUS AL IMPLEMENTAR
EL SISTEMA ENCHUFABLE PLUG IN”**

**AUTORES: ANDRÉS SEBASTIÁN MORENO CONSTANTE
LUIS ALFREDO NARANJO TIPÁN**

DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO

LATACUNGA

2017

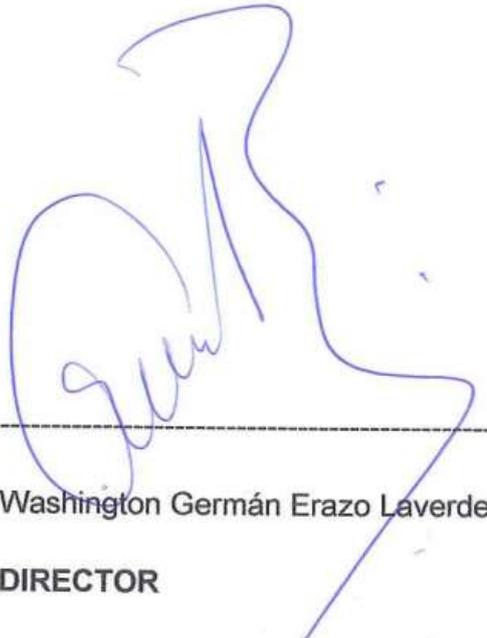


DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“INVESTIGACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TOYOTA PRIUS AL IMPLEMENTAR EL SISTEMA ENCHUFABLE PLUG IN”** realizado por el señor **ANDRÉS SEBASTIÁN MORENO CONSTANTE** y **LUIS ALFREDO NARANJO TIPÁN**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **ANDRÉS SEBASTIÁN MORENO CONSTANTE** y **LUIS ALFREDO NARANJO TIPÁN** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 27 Junio 2017



Washington Germán Erazo Laverde
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **ANDRÉS SEBASTIÁN MORENO CONSTANTE**, con cédula de ciudadanía N° 1722582754 y **LUIS ALFREDO NARANJO TIPÁN** con cédula de ciudadanía N°1719461228, declaro que este trabajo de titulación “**INVESTIGACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TOYOTA PRIUS AL IMPLEMENTAR EL SISTEMA ENCHUFABLE PLUG IN**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 27 de Junio del 2017

Andrés Sebastián Moreno Constante
C.C.:1722582754

Luis Alfredo Naranjo Tipán
C.C.: 1719461228



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **ANDRÉS SEBASTIÁN MORENO CONSTANTE** y **LUIS ALFREDO NARANJO TIPÁN** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio institucional el trabajo de titulación “**INVESTIGACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TOYOTA PRIUS AL IMPLEMENTAR EL SISTEMA ENCHUFABLE PLUG IN**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 27 de Junio del 2017

Andrés Sebastián Moreno Constante
C.C.:1722582754

Luis Alfredo Naranjo Tipán
C.C.: 1719461228

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación principalmente a Dios por permitirme llegar a mi meta planteada por darme sabiduría y perseverancia, además de su infinita bondad y amor.

A mis queridos padres Alfonso Moreno y Yolanda Constante por sus consejos y apoyo incondicional, sobre todo por la motivación continua que me ha permitido culminar con éxito esta etapa de mi vida, por ser un ejemplo de perseverancia y constancia, por el valor mostrado para salir adelante y por su gran amor.

A mi hermano Alex que siempre ha estado conmigo en las buenas y malas, por sus consejos y apoyo en todo momento, por ser el ejemplo a seguir y por ser un pilar fundamental en esta meta alcanzada.

A mi hermano Henry que siempre ha estado pendiente de mí y sobre todo brindándome su apoyo.

“El éxito en la vida no se mide por lo que logras sino por los obstáculos que superas”.

Andrés Sebastián Moreno Constante

DEDICATORIA

Este trabajo le dedico a Dios por darme la sabiduría para lograr mi tan anhelada meta profesional, quien con su bondad me cuidada y me da la fortaleza para continuar adelante con perseverancia, responsabilidad y honestidad poner en práctica los conocimientos recibidos al servicio de la sociedad

A mis padres Alfredo Naranjo y Mirian Tipán quienes con amor han inculcado valores y principios convirtiéndose en el pilar fundamental de mi vida, sus consejos y palabras motivadoras me ayudaron a no darme por vencido.

A mi abuelita Charito a quien amo mucho por compartir momentos significativos, siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento, a mi hermana y a mi sobrina Gabriela y Daniela por su preocupación y cariño convirtiéndose en fuente de motivación e inspiración para superarme cada día más.

Finalmente, a mi novia Carolina Verdezoto por acompañarme en gran parte de mi carrera gracias por estar siempre en los momentos difíciles brindándome tu amor, paciencia y comprensión.

Luis Alfredo Naranjo Tipán

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, me gustaría agradecerle a Dios por bendecirme y ayudarme a culminar con éxito el proyecto de investigación

A mis queridos padres Alfonso Moreno y Yolanda Constante por apoyarme en todo momento y estar pendiente de mí, por brindarme la oportunidad de estudiar y sobre todo de ser un ejemplo de vida a seguir.

A la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA por brindarme la oportunidad de estudiar y ser un profesional. A mi director de tesis Ing. Germán Erazo Laverde por su apoyo, paciencia y motivación y sobre todo el tiempo brindado en el desarrollo del proyecto de investigación.

Al Ing. José Quiroz por brindarnos la facilidad de realizar el proyecto de investigación en el laboratorio de Autotrónica

A mi compañero de investigación por su apoyo en el desarrollo del proyecto y principalmente por su amistad

Finalmente, a todas las personas y amigos que marcaron una etapa de mi vida muchas gracias por todo.

Andrés Sebastián Moreno Constante

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi tutor de tesis el Ing. Germán Erazo quien con su apoyo ha guiado y compartido sus valiosos conocimientos haciendo exitoso el desarrollo del trabajo de investigación, logrando finalmente culminar mi carrera universitaria.

Al Ing. José Quiroz quien facilito los permisos para el desarrollo del proyecto de investigación en el vehículo Toyota Prius 3G del Laboratorio de Autotrónica y además por ser un excelente docente y un gran amigo a la vez demostrando su preocupación y ayuda a cada momento.

Por último, pero no menos importante a mis compañeros con quienes compartí conocimientos, madrugadas de estudios y deberes, alegrías y tristezas, aquellos quienes durante todo este tiempo se convirtieron en buenos amigos: Andrés Moreno, Alex Topón, Luis Villafuerte, y Carlos Escola.

Luis Alfredo Naranjo Tipán

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xx
ÍNDICE DE FIGURAS	xxv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xxxii
RESUMEN.....	xxxiii
ABSTRACT.....	xxxiv

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO DE LA “INVESTIGACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TOYOTA PRIUS AL IMPLEMENTAR EL SISTEMA PLUG IN”

1. Generalidades	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Descripción resumida del proyecto	3
1.4. Justificación e importancia.....	5
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. Objetivo general.....	6
1.5.2. Objetivos específicos	6

1.6.	Metas	7
1.7.	Hipótesis	7
1.8.	Variables de la investigación.....	7
1.8.1.	Variable independiente.	7
1.8.2.	Variable dependiente.	7
1.8.3.	Operacionalización de variables.	8
1.9.	Metodología de desarrollo del proyecto.....	9
a)	Método inductivo	9
b)	Método deductivo	9
c)	Método de síntesis	9
d)	Método experimental	10
e)	Método comparativo	10
f)	Método de observación directa.....	10
h)	Método de matematización	10
	Conclusiones del capítulo	13

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.	Matriz energética	14
2.1.	Estrategia de inversión de la matriz energética en la industria automotriz	14
2.2.	Vehículos híbridos	15
2.3.	Clasificación de los vehículos híbridos.....	16
2.3.1.	Híbridos en serie.....	16
2.3.2.	Híbridos en paralelo	18
2.3.3.	Híbridos mixtos	19
2.4.	Componentes de un vehículo híbrido	21

2.4.1. Motor de combustión interna	21
2.4.2. Moto-generadores	22
a) MG1	23
b) MG2.....	23
2.4.3. Inversor.....	23
2.4.4. Constitución de la batería de alto voltaje.....	24
a) Sensores de temperatura.....	25
b) Unidad de control de la batería (ecu de la batería).....	26
c) Sistema de enfriamiento de la batería HV	26
d) Conector tapón de servicio – jumper de seguridad.	27
e) Conjunto de relés de activación.	28
f) Sensor de corriente.	29
2.5. Baterías de alto voltaje	29
a) Terminología utilizada para la caracterización de baterías	30
b) Parámetros que caracterizan a una batería.	30
2.5.1. Baterías de níquel cadmio	34
a) Características funcionales de las baterías de níquel-cadmio.....	34
2.5.2. Baterías de níquel-hidruro metálico.	36
a) Características funcionales de las baterías de níquel-hidruro metálico	36
2.5.3. Baterías de litio	37
a) Características generales de las baterías de litio	37
2.5.4. Comparación de las prestaciones de los distintos tipos de baterías.....	39
2.6. Vehículos eléctricos: híbridos y enchufables	40
2.6.1. Vehículo eléctrico o EV	41
2.6.2. Vehículos híbridos enchufables	42
2.7. Conectores	43

2.7.1. Tipos de conectores.....	44
2.8. Cargadores de baterías	47
2.8.1. Métodos de carga para baterías de Ni-MH	47
a) Método de carga por goteo	48
b) Método de carga de la variación de tensión	48
c) Método de carga de la variación de temperatura	49
2.8.2. Tipos de cargadores de baterías.....	49
2.8.3. Cargador trifásico.....	51
Conclusiones del capítulo	52

CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PLUG – IN

3. Levantamiento de requerimientos del sistema plug-in.....	53
3.1. Requerimientos iniciales	53
3.2. Análisis de la batería original de alto voltaje del vehículo Toyota Prius 3G.....	54
a) Cálculo de capacidad de potencia de la batería original de alto voltaje.	55
b) Proceso de medición de los bloques de la batería original de alto voltaje por medio del interfaz Techstream.	59
3.3. Parámetros a tomar en cuenta para la selección de la batería adicional.	62
3.3.1. Consumo de energía eléctrica en la red doméstica de la batería adicional del vehículo Toyota Prius 3G	64
3.3.2. Selección de celdas de la batería adicional por medio del método carga y descarga	68
3.4. Dimensionamiento del espacio para la implementación de elementos y módulos del sistema plug in.....	76
3.6. Diseño de los diagramas eléctricos para el sistema plug- in	77

3.6.1.	Circuito de seguridad	77
3.6.2.	Función del circuito de seguridad.....	78
3.6.3.	Funcionamiento del circuito de seguridad	78
3.6.4.	Circuito del sensor app	79
3.6.5.	Función del circuito del sensor app.....	79
3.6.6.	Funcionamiento del circuito del sensor app	79
3.6.7.	Circuito del cargador de la batería adicional del sistema plug in	80
3.6.8.	Función del circuito del cargador de la batería adicional del sistema plug in.....	80
3.6.9.	Funcionamiento del circuito del cargador de la batería adicional del sistema plug in	80
3.6.10.	Circuito de la batería original del vehículo Toyota Prius 3G	82
3.6.11.	Circuito del acople de la batería adicional a la batería original del vehículo Toyota Prius 3G	83
3.7.	Elaboración de las placas electrónicas	84
3.7.1.	Procedimiento para grabar el circuito en las baquelitas	85
3.7.2.	Placa electrónica del circuito de seguridad	86
3.7.3.	Placa electrónica del circuito del sensor app.....	88
3.8.	Implementación de los módulos que componen el sistema plug – in	89
3.8.1.	Implementación del módulo de seguridad	89
3.8.2.	Implementación del módulo del sensor app	90
3.8.3.	Implementación del módulo de conmutación del positivo.....	93
3.8.4.	Implementación del módulo del cargador.....	94
3.9.	Instalación del sistema plug – in en el vehículo Toyota Prius 3G	95
	Conclusiones del capítulo.....	104

CAPÍTULO IV.

PROTOCOLO DE PRUEBAS

4.	Protocolo de pruebas en el vehículo Toyota Prius tercera generación.....	105
4.1	Prueba de consumo de combustible	105
4.2.	Descripción de la ruta carretera – ciudad.....	106
4.2.2.	Ruta carretera.....	106
4.2.3.	Ruta ciudad.....	107
4.3.	Prueba de consumo de energía y tiempo de encendido del MCI del vehículo Toyota Prius 3G.....	109
4.4.	Protocolo de prueba de la batería original de alta voltaje	110
4.4.1.	Batería original de alto voltaje del vehículo Toyota Prius 3G.....	110
a)	Prueba con el multímetro automotriz.....	110
b)	Prueba con el interfaz Mini-VCI j2534 Techstream.....	111
4.5.	Batería adicional de alto voltaje de un vehículo Toyota Prius 3G	114
4.5.1.	Prueba con el multímetro automotriz.....	114
4.6.	Protocolo de pruebas de los módulos del sistema plug-in vehículo estático	116
4.6.1.	Módulo APP.....	116
4.6.2.	Módulo de conmutación del terminal positivo de la batería original a la adicional a través del sensor de corriente	118
4.6.3.	Módulo de seguridad del sistema plug in	119
a)	Mediciones y comprobación de funcionamiento del módulo de seguridad del sistema plug in.....	120
4.6.4.	Módulo del cargador de la batería adicional del sistema plug in	121
4.6.5.	Protocolo de prueba de carga y descarga de la batería	122
4.7.	Protocolo de prueba estática del vehículo Toyota Prius 3G	124
4.8.	Detalles de equipos de medición	125

4.8.1. Multímetro automotriz.....	125
4.8.2. Osciloscopio automotriz.....	126
4.8.3. Toyota Techstream.....	128
4.8.4. Softwares de simulación de circuitos eléctricos.....	129
4.8.5. Pirómetro óptico.....	130
4.8.6. Interfaz OBDLink SX EOBD.....	130
4.8.7. Vehículo Toyota Prius 3G.....	131
Conclusiones del capítulo.....	132

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES REALIZADAS.

5. Análisis de resultados del vehículo Toyota Prius 3G.....	133
5.1. Análisis de la prueba de ruta en carretera.....	133
5.1.1. Resultados de la batería original del vehículo.....	133
a) Análisis de voltaje de cada bloque de la batería original.....	133
b) Análisis estadístico de los valores iniciales de voltaje de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in.....	134
c) Análisis estadístico del voltaje de cada bloque al finalizar la prueba de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in.....	135
d) Análisis de la resistencia interna de cada bloque en función de los valores de cada sensor de temperatura para la prueba en carretera en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in.	135
5.1.2. Análisis de los resultados obtenidos de la batería adicional.....	142
a) Parámetros durante el proceso de carga.....	142
5.1.3. Análisis de los resultados obtenidos de la batería adicional.....	148

a)	Análisis de voltaje de cada bloque de la batería adicional	148
b)	Análisis estadístico de los valores del voltaje al inicio y final de la batería adicional con el sistema Plug in	149
c)	Análisis de la temperatura de funcionamiento de la batería adicional	149
d)	Análisis estadístico de la temperatura de la batería adicional al inicio y final de la prueba con el sistema Plug in.	150
e)	Análisis de los valores de SOC de la batería adicional con el sistema Plug in.	150
5.1.4.	Consumo de combustible en carretera.....	152
a)	Resultado del consumo de combustible por medio del display del vehículo en condición híbrido estándar	152
b)	Resultado del consumo de combustible por medio del display del vehículo en condición híbrido con el sistema plug – in	154
c)	Resultado del consumo de combustible del vehículo por medio del interfaz OBDLINK SX EOBD en condición híbrido estándar	155
d)	Resultado del consumo de combustible del vehículo por medio del interfaz OBDWIZ en condiciones híbrido con el sistema plug – in.....	156
e)	Análisis de resultado del Ahorro de combustible al implementar el sistema plug-in.....	157
f)	Análisis de la autonomía de distancia.....	157
5.1.4.	Análisis de la eficiencia energética del vehículo Toyota Prius 3G... ..	158
a)	Consumo de energía en W-h.....	158
b)	Tiempo que permanece encendido el motor de combustión interna.....	159
5.2.	Análisis de la prueba de ruta en ciudad	160
5.2.1.	Resultados de la batería original del vehículo	160

a)	Análisis de voltaje de cada bloque de la batería original.....	160
b)	Análisis estadístico del voltaje inicial de cada bloque de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in	161
c)	Análisis estadístico del voltaje de cada bloque al finalizar la prueba de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in.....	162
e)	Análisis estadístico de los valores iniciales de la resistencia interna de cada uno de los bloques de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in	164
f)	Análisis estadístico de las resistencias internas de cada uno de los bloques de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in.....	165
g)	Análisis de los valores de SOC y DSOC de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in.	169
i)	Análisis estadístico del DSOC al finalizar la prueba en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in	170
5.2.2.	Análisis de los resultados obtenidos de la batería adicional.....	171
a)	Análisis del voltaje de cada bloque de la batería adicional.....	171
b)	Análisis estadístico de los valores del voltaje al inicio y final de la prueba en ciudad de la batería adicional en	171
c)	Análisis de la temperatura de funcionamiento de la batería adicional.....	172
d)	Análisis estadístico de la temperatura de la batería adicional al inicio de la prueba en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in.....	172
e)	Análisis de los valores de SOC de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in.	173

f)	Análisis estadístico del SOC y el voltaje de pack al inicio de la prueba en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in	173
5.2.3.	Consumo de combustible de la prueba en ciudad.....	174
a)	Análisis estadístico de consumo por medio del interfaz OBDLink SX EOBD.....	175
b)	Consumo con el display del vehículo.....	177
5.2.4.	Análisis de la eficiencia energética del vehículo Toyota Prius 3G	180
a)	Consumo de energía en W-h.....	180
c)	Tiempo que permanece encendido el motor de combustión interna.182	
5.3.	Análisis de la prueba estática del vehículo Toyota Prius 3G	183
5.7.	Análisis de resultados de CO ₂ (dióxido de carbono) que emite el vehículo Toyota Prius 3G	188
	Conclusiones del capítulo	189

CAPÍTULO VI

MARCO ADMINISTRATIVO

6.	Factibilidad de la investigación.....	190
6.1.1.	Talento humano	191
6.1.2.	Recurso financiero	191
a)	Recursos y materiales	191
b)	Recursos tecnológicos	193
6.2.	Título de la propuesta	195
6.2.1.	Estructura de la propuesta	195
6.2.2.	Desarrollo de la propuesta	195
6.2.3.	Influencia socioeconómica de la propuesta.....	195
	Conclusiones del capítulo	199

CONCLUSIONES.....	200
RECOMENDACIONES.....	207
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	210
ANEXOS	214
CERTIFICACIÓN.....	215

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de la variable independiente	8
Tabla 2. Operacionalización de la variable dependiente	8
Tabla 3. Metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevará a cabo el proyecto.....	11
Tabla 4. Comparativa de diferentes tipos de baterías	40
Tabla 5. Requerimientos iniciales necesarios para la implementación del sistema plug-in	53
Tabla 6. Características de la batería HV del vehículo Toyota Prius 3G	55
Tabla 7. Parámetros para calcular la capacidad de la batería.....	55
Tabla 8. Valores de voltaje de las celdas de la batería original de alto voltaje del vehículo Toyota Prius 3G por medio del multímetro automotriz.....	58
Tabla 9. Valores obtenidos por medio del software Techstream.....	61
Tabla 10. Parámetros de Corriente de carga	64
Tabla 11. Valores obtenidos de cada una de las celdas en el proceso de carga a 2A con un reposo de 10 minutos.	69
Tabla 12. Valores del voltaje final obtenidos durante una hora de carga a 2A con el 20 % de tolerancia.	71
Tabla 13. Valores finales obtenidos en proceso de descarga a 1A durante 2 horas.....	72
Tabla 14. Valores obtenidos en el proceso de ecualización de la batería de alto voltaje.....	75
Tabla 15. Reconocimiento de cada uno de los terminales del socket del sensor app	98
Tabla 16. Señales de cada potenciómetro que conforman el sensor app	98
Tabla 17. Datos obtenidos en las pruebas de consumo de combustible – Carretera.....	107
Tabla 18. Distancias tramo a tramo - ruta ciudad.....	107
Tabla 19. Datos obtenidos en las pruebas de consumo de combustible – Ciudad.....	108
Tabla 20. Datos obtenidos en las pruebas de consumo de energía y encendido del MCI en ruta – Carretera	109

Tabla 21. Datos obtenidos en las pruebas de consumo de energía y encendido del MCI en ruta – Ciudad	110
Tabla 22. Mediciones de las celdas de la batería original de alto voltaje. ..	111
Tabla 23. Voltaje y Resistencia interna de los bloques de la batería obtenidos con el interface – Prueba con el sistema híbrido normal Carretera	112
Tabla 24. Voltaje y Resistencia interna de los bloques de la batería obtenidos con el scanner – Prueba con el sistema híbrido normal Ciudad.....	112
Tabla 25. Voltaje y Resistencia interna de los bloques de la batería obtenidos con el scanner – Prueba con el sistema Plug – in Carretera.....	112
Tabla 26. Voltaje y resistencia interna de los bloques de la batería obtenidos con el scanner – Prueba con el sistema Plug – in Ciudad	113
Tabla 27. PID's de la batería de alto voltaje obtenidos con el Interface - Carretera.....	114
Tabla 28. PID's de la batería de alto voltaje obtenidos con el Interface – Ciudad	114
Tabla 29. Voltaje de los bloques de la batería adicional obtenidos con el multímetro automotriz en carretera con el sistema plug-in.....	115
Tabla 30. Voltaje de los bloques de la batería adicional obtenidos con el multímetro automotriz en ciudad con el sistema plug-in	116
Tabla 31. PID's de la batería adicional con el sistema plug-in.	116
Tabla 32. Voltaje de comprobación del módulo App	117
Tabla 33. Valores de aporte de la batería adicional a la original según el estado del vehículo.....	119
Tabla 34. Pruebas del módulo de seguridad del sistema Plug in.	120
Tabla 35. Pruebas del módulo del cargador de la batería adicional del sistema plug in	121
Tabla 36. Medición del voltaje de cada bloque antes del proceso de carga de la batería adicional	123

Tabla 37. Control de los parámetros durante el proceso de carga	123
Tabla 38. Condiciones iniciales de la batería adicional para la prueba de ruta después del proceso de carga.	123
Tabla 39. Proceso de prueba estática en condiciones de híbrido estándar	124
Tabla 40. Proceso de prueba estática en condición con el sistema Plug in.....	125
Tabla 41. Características multímetro Trisco.....	125
Tabla 42. Características y funciones osciloscopio automotriz OTC	127
Tabla 43. Características Techstream	128
Tabla 44. Voltaje de cada bloque de la batería original al inicio y final de la prueba sin el sistema plug-in.....	133
Tabla 45. Voltaje de cada bloque de la batería original al inicio y final de la prueba con el sistema plug-in.	134
Tabla 46. Valores de la resistencia interna de cada uno de los bloques al inicio y final de la prueba con el sistema híbrido estándar.	136
Tabla 47. Valores de los sensores de temperatura de la batería original en la prueba en carretera en condiciones híbrido estándar.	136
Tabla 48. Valores de la resistencia interna de cada uno de los bloques al inicio y final de la prueba de carretera con el sistema plug-in.	136
Tabla 49. Valores de los sensores de temperatura de la batería original con el sistema plug-in.	137
Tabla 50. Control de carga de la batería adicional	145
Tabla 51. Voltaje de cada bloque de la batería adicional al inicio y final de la prueba con el sistema plug-in.....	148
Tabla 52. Valores de los sensores de temperatura de la batería adicional.....	149
Tabla 53. Valores de los PID's de la batería adicional.	150
Tabla 54. Resultados de consumo de combustible, obtenidos durante la prueba de carretera en condiciones de híbrido estándar e híbrido plug in.....	152
Tabla 55. Consumo de combustible del display del vehículo	152

Tabla 56. Consumo de combustible por medio del interfaz OBDLINK SX EOBD	155
Tabla 57. Valores de energía eléctrica en W-h que aporta la batería original al vehículo.	158
Tabla 58. Tiempo que permanece encendido el motor de combustión interna.....	159
Tabla 59. Voltaje de cada bloque de la batería original al inicio y final de la prueba sin el sistema enchufable.....	160
Tabla 60. Voltaje de cada bloque de la batería original al inicio y final de la prueba con el sistema enchufable.....	161
Tabla 61. Valores de la resistencia interna de cada uno de los bloques de la batería original antes de la prueba en ciudad en condición de híbrido estándar.	163
Tabla 62. Valores de los sensores de temperatura de la batería original para la prueba en ciudad en condiciones de híbrido estándar....	163
Tabla 63. Valores de la resistencia interna de cada uno de los bloques de la batería original antes de la prueba en ciudad en condición de híbrido estándar.	164
Tabla 64. Valores de los sensores de temperatura de la batería original para la prueba en ciudad en condiciones de híbrido estándar....	164
Tabla 65. PID's de la batería original	169
Tabla 66. Voltaje de cada bloque de la batería adicional al inicio y final de la prueba con el sistema enchufable.....	171
Tabla 67. Valores de los sensores de temperatura de la batería original. ..	172
Tabla 68. Valores de los PID's de la batería	173
Tabla 69. Resultados del consumo de combustible, obtenidos durante la prueba de ciudad en condiciones híbrido estándar e híbrido plug-in	175
Tabla 70. Consumo de combustible del interfaz OBDLink SX EOBD.....	175
Tabla 71. Consumo de combustible del display del vehículo	177
Tabla 72. Valores de energía eléctrica en W-h que aporta la batería original al vehículo	181
Tabla 73. Tiempo que permanece encendido el motor de combustión interna.....	182

Tabla 74. Valores obtenidos del proceso de la prueba estática en condiciones de híbrido estándar.	183
Tabla 75. Valores obtenidos del proceso de la prueba estática en condiciones de híbrido con el sistema plug-in.	184
Tabla 76. Voltajes de comprobación del módulo App	186
Tabla 77. Valores de aporte de la batería adicional a la original según el estado del vehículo.	187
Tabla 78. Valores de CO2 del vehículo Toyota Prius 3G en la ruta ciudad y carretera	188
Tabla 79. Recursos Materiales	190
Tabla 80. Talento humano	191
Tabla 81. Gastos de materiales de tipo mecánico, eléctrico, electrónico. ..	191
Tabla 82. Gastos de equipos tecnológicos	194
Tabla 83. Costos de la implementación del sistema plug-in.....	196
Tabla 84. Costo de trabajo del sistema plug-in	196
Tabla 85. Plan de costos y flujo de caja.....	197

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama causa y efecto.	2
Figura 2. Componentes del sistema híbrido.	16
Figura 3. Híbridos en serie.	17
Figura 4. Híbridos en paralelo.	18
Figura 5. Híbridos mixtos.	20
Figura 6. Motor de Combustión interna.	22
Figura 7. Moto generadores.	22
Figura 8. Inversor del vehículo Toyota Prius 3G.	24
Figura 9. Disposición de los componentes principales de la batería.	25
Figura 10. Sensor de temperatura de la batería de alto voltaje.	25
Figura 11. Ecu de la Batería de alta voltaje.	26
Figura 12. Ventilador del sistema de enfriamiento de la batería HV.	27
Figura 13. Jumper de Seguridad.	28
Figura 14. Conjunto de relés de activación.	28
Figura 15. Sensor de corriente.	29
Figura 16. Batería níquel-cadmio.	34
Figura 17. Baterías de níquel-hidruro metálico.	36
Figura 18. Batería polímero de litio High Rate Version.	38
Figura 19. Batería de Ion de litio.	39
Figura 20. Baterías de ion litio de cátodo LiFePO ₄	39
Figura 21. Tipos de vehículos eléctricos.	41
Figura 22. Componentes del vehículo eléctrico.	41
Figura 23. Vehículos híbridos enchufables.	42
Figura 24. Conector doméstico tipo schuko.	44
Figura 25. Conector SAE J1772.	45
Figura 26. Conector Mennekes.	45
Figura 27. Conector único combinado.	46
Figura 28. Conector Scame.	46
Figura 29. Conector Chademo.	47
Figura 30. Ubicación de la batería de alta tensión.	57
Figura 31. Voltaje nominal de las celdas de la batería de alta tensión.	58

Figura 32. Medición de ecualización de los valores de voltaje de la batería de alta tensión.....	59
Figura 33. Interfaz Techstream	60
Figura 34. Voltaje de los bloques de la batería de alto voltaje por medio del software Techstream	60
Figura 35. Medición de ecualización de los valores de voltaje de la batería de alta tensión por el interfaz Techstream.....	61
Figura 36. Descarga de las celdas de la batería de alta voltaje.	68
Figura 37. Banco de pruebas de batería de alta voltaje	69
Figura 38. Medición de ecualización del voltaje nominal de las celdas en el proceso de carga a 2A con un reposo de 10 minutos.....	70
Figura 39. Voltaje nominal de la celda con el 20 % de tolerancia de carga. .70	
Figura 40. Medición de ecualización del voltaje nominal de las celdas de la batería de alto voltaje adicional con el 20% de tolerancia...71	
Figura 41. Voltaje nominal de la celda en el proceso de descarga de la batería.....	72
Figura 42. Voltaje nominal de cada una de las celdas en el proceso de descarga.	73
Figura 43. Conexión de las celdas para la ecualización de la batería de alto voltaje.	75
Figura 44. Voltaje de celdas equilibradas	76
Figura 45. Portaequipaje del vehículo Toyota Prius 3G	77
Figura 46. Simulación del circuito de seguridad.....	77
Figura 47. Simulación del circuito del sensor APP	79
Figura 48. Simulación del circuito del cargador.....	80
Figura 49. Circuito de la batería original del vehículo.....	82
Figura 50. Acople de la batería adicional	83
Figura 51. Procedimiento para el grabado de las placas electrónicas.....	86
Figura 52. Esquema del circuito de seguridad	86
Figura 53. Placa electrónica	87
Figura 54. Grabado del circuito en baquelita	87
Figura 55. Esquema del circuito de sensor app	88
Figura 56. Placa electrónica	88
Figura 57. Grabado del circuito en baquelita	89

Figura 58. Componentes del circuito de seguridad	89
Figura 59. Módulo de seguridad	90
Figura 60. Comprobación final del módulo de seguridad	90
Figura 61. Placa del sensor app y sus componentes soldados	91
Figura 62. Componentes del sensor app	91
Figura 63. Módulo del sensor app.....	92
Figura 64. Funcionamiento del módulo del sensor app.....	92
Figura 65. Módulo del sensor app terminado	92
Figura 66. Simulación del módulo del sensor app.....	93
Figura 67. Conexión del módulo de conmutación del positivo.....	93
Figura 68. Módulo de conmutación del positivo	94
Figura 69. Conexión del módulo del cargador.....	94
Figura 70. Módulo de cargador	95
Figura 71. Modelado de la caja donde se realizó la instalación	95
Figura 72. Construcción y lijado de la caja.....	96
Figura 73. Prueba del dimensionamiento de la caja.....	96
Figura 74. Aplicación del recubrimiento	96
Figura 75. Caja terminada	97
Figura 76. Bisagras de la caja	97
Figura 77. Socket del sensor app	97
Figura 78. Señales ascendentes del sensor app	98
Figura 79. Prueba de funcionamiento del módulo del sensor app.....	99
Figura 80. Desmontaje del sensor de corriente.....	99
Figura 81. Adaptación en el positivo	100
Figura 82. Positivo de la batería adicional	100
Figura 83. Ubicación de los módulos en la caja.	101
Figura 84. Jumper de la batería adicional	101
Figura 85. Señal de 12V en contacto	102
Figura 86. Instalación del conector domestico tipo Schuko.....	102
Figura 87. Conector domestico tipo Schuko.....	102
Figura 88. Ubicación del módulo del cargador en el vehículo	103
Figura 89. Aislamiento de los cables del cargador	103
Figura 90. Implementación del sistema plug in	104

Figura 91. Ruta Carretera – Gasolinera PetroEcuador sector el Mayorista de Latacunga hasta Mega Santa María Carapungo, Av. Simón Bolívar, Quito.....	106
Figura 92. Ruta Ciudad - El Condado Shopping hasta el Colegio Vida Nueva, F, Quito.....	108
Figura 93. Módulo APP – del sistema Plug in.	117
Figura 94. Módulo de conmutación del terminal positivo de la batería de alto voltaje original a la adicional a través del sensor de corriente	118
Figura 95. Puntos de medición del módulo de seguridad.....	120
Figura 96. Multímetro Trisco	126
Figura 97. Osciloscopio automotriz OTC	127
Figura 98. Software Toyota Techstream	128
Figura 99. Software de simulación de circuitos eléctricos	129
Figura 100. Pirómetro óptico.....	130
Figura 101. Software OBDWIZ	131
Figura 102. Toyota Prius 3G	132
Figura 103. Valores iniciales de voltaje de cada uno de los bloques de la batería original.....	134
Figura 104. Voltaje final de cada uno de los bloques de la batería original	135
Figura 105. Valores iniciales de la resistencia interna de cada uno de los bloques de la batería original.....	137
Figura 106. Valores finales de la resistencia interna de cada uno de los bloques de la batería original.....	138
Figura 107. Porcentaje de SOH	139
Figura 108. Valores iniciales de los sensores de temperatura de la batería original	140
Figura 109. Valores finales de los sensores de temperatura.....	140
Figura 110. Porcentaje de SOH de los sensores de temperatura	141
Figura 111. Porcentaje total de SOH de la batería adicional.....	142
Figura 112. Proceso de carga de la batería adicional	145
Figura 113. Curva de proceso de carga de la batería adicional	146
Figura 114. Grafica combinada de la Corriente vs Tiempo de carga.....	146

Figura 115. Diagrama combinado del V pack de la batería adicional vs tiempo	147
Figura 116. Valores de TB1, TB2, TB3 de la batería adicional Vs Tiempo.....	147
Figura 117. Valores del voltaje de cada bloque al inicio y final de la prueba	149
Figura 118. Temperatura al inicio y final de prueba de la batería adicional con el sistema plug-in.....	150
Figura 119. Valor del SOC de la batería adicional	151
Figura 120. Valores del V.PACK adicional	151
Figura 121. Valores del consumo de combustible en el estado híbrido estándar y sistema plug-in en carretera.	156
Figura 122. Ahorro de combustible con el sistema plug-in.	157
Figura 123. Aumento de autonomía de distancia del vehículo Toyota Prius 3G	157
Figura 124. Consumo de energía del vehículo Toyota Prius tercera generación.....	158
Figura 125. Tiempo que permanece encendido el motor de combustión interna (MCI).....	159
Figura 126. Voltaje inicial de cada bloque de la prueba en ciudad – Batería original	161
Figura 127. Voltaje de cada bloque al final de la prueba en ciudad batería Original	162
Figura 128. Resistencia interna por bloque - Prueba en ciudad.....	164
Figura 129. Valores de temperatura - Prueba en ciudad.....	165
Figura 130. Resistencia interna por bloque - Prueba en ciudad.....	165
Figura 131. Valores de temperatura - Prueba en ciudad.....	166
Figura 132. Porcentaje de SOH	167
Figura 133. Porcentaje de SOH de los sensores de temperatura	168
Figura 134. Porcentaje total de SOH de la batería adicional	169
Figura 135. Comparación del SOC para la prueba en ciudad.	169
Figura 136. Comparación del DSOC para la prueba en ciudad	170
Figura 137. Voltaje de cada bloque de la batería adicional durante la prueba en ciudad	171

Figura 138. Temperatura de la batería adicional prueba en ciudad	172
Figura 139. SOC de la batería adicional	173
Figura 140. Voltaje total de la batería adicional	174
Figura 141. Datos obtenidos con el Interfaz OBDLINK SX EOBD del consumo de combustible en ciudad	176
Figura 142. Aumento de la autonomía eléctrica en ciudad.....	177
Figura 143. Datos obtenidos en el display del vehículo Toyota Prius 3G del consumo de combustible en ciudad.....	179
Figura 144. Aumento de la autonomía eléctrica en ciudad.....	179
Figura 145. Aumento de autonomía de distancia del vehículo Toyota Prius 3G en ciudad.....	180
Figura 146. Consumo de energía en la prueba de ciudad del vehículo Toyota Prius 3G	181
Figura 147. Consumo total de energía en la prueba de ciudad del vehículo Toyota Prius 3G	182
Figura 148. Tiempo que permanece encendido el motor de combustión interna (MCI).....	183
Figura 149. Curva de descarga de la batería original.....	184
Figura 150. Porcentaje de tiempo adicional a la batería original en el proceso de carga y descarga	185
Figura 151. Curva de descarga y carga del Vpack Vs tiempo de la batería original	186
Figura 152. Voltaje de señal ascendente del sensor del App.....	187
Figura 153. Emisiones de dióxido de carbono del vehículo Toyota Prius 3G	189
Figura 154. Cálculo del VAN Y TIR de la propuesta	198

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Ecuación de la resistencia interna 1	31
Ecuación 2: Ecuación de la resistencia interna 2	31
Ecuación 3: Ecuación de la capacidad de una batería	31
Ecuación 4: Ecuación del índice C	33
Ecuación 5: Ecuación de la potencia eléctrica	55
Ecuación 6: Ecuación de la potencia eléctrica total	56
Ecuación 7: Voltaje total de la batería original	62
Ecuación 8: Voltaje nominal total de la batería original	63
Ecuación 9: Ecuación del voltaje máximo de la batería	63
Ecuación 10: Ecuación de la potencia de carga de la batería adicional	64
Ecuación 11: Ecuación del tiempo de carga de la batería adicional	65
Ecuación 12: Potencia individual de la batería adicional	66
Ecuación 13: Potencia total de la batería adicional	66
Ecuación 14: Potencia total de la batería adicional al 40%	66
Ecuación 15: Ecuación del costo por carga de la batería adicional	67
Ecuación 16: Ecuación de carga de la batería adicional	73
Ecuación 17: Ecuación de la descarga de la batería adicional	74
Ecuación 18: Ecuación de la capacidad real	74
Ecuación 19: Voltaje rectificado AC – DC	81
Ecuación 20: Ecuación del porcentaje de estado de salud de la batería original	138
Ecuación 21: Ecuación del porcentaje de estado de salud de la batería original	141
Ecuación 22: Ecuación del porcentaje de estado de carga de la batería adicional	143
Ecuación 23: Ecuación del consumo de combustible al final de la prueba	153
Ecuación 24: Ecuación del consumo de combustible al final de la prueba en galones	153
Ecuación 25: Ecuación de consumo de combustible	154
Ecuación 26: Ecuación de consumo de combustible en galones	154
Ecuación 27: Ecuación de la autonomía de la distancia del vehículo	155

Ecuación 28: Ecuación del porcentaje de estado de salud de la batería original.....	166
Ecuación 29: Ecuación del porcentaje de estado de salud de la batería original.....	168
Ecuación 30: Ecuación de la autonomía de la distancia del vehículo.....	175
Ecuación 31: Ecuación del consumo de combustible al final de la prueba.....	178
Ecuación 32: Ecuación del consumo de combustible al final de la prueba en galones	178

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se recopiló información bibliográfica de fuentes confiables tales como manuales, tesis artículos científicos y datos técnicos que permitieron un manejo adecuado de los equipos necesarios para la implementación del sistema plug-in en el vehículo híbrido Toyota Prius 3G, teniendo en cuenta que el primer paso que se realizó fue la selección de 28 celdas para preparar la batería adicional, por lo cual se verificó una por una mediante un proceso de carga y descarga, así teniendo en cuenta que el voltaje nominal de cada una de las celdas no debe ser menor de 7,2 V ni tampoco superar el 20% de tolerancia y una capacidad de 6.5 A-h. Se realizó el proceso de ecualización de la batería lo cual es muy importante ya que si durante el ciclo de carga, hay alguna celda deteriorada existe el riesgo que se sobrecargue y exista un aumento de temperatura y la acumulación de presión. Durante la descarga, la celda más débil tendrá una descarga más profunda, incluso llegando a ser posible que el voltaje en las celdas, se invierta. Por medio de los software LiveWire, Bright Spark y PCB Wizard se simuló e implementó las placas electrónicas de cada uno de los módulos que conforman el sistema Plug in los cuales son módulo del sensor App, conmutación del terminal positivo de la batería alto voltaje original a la adicional a través del sensor de corriente, módulo de seguridad y cargador de la batería adicional de alto voltaje que permitieron duplicar la capacidad energética de la batería híbrida a través de su conexión a la red eléctrica doméstica con el propósito de disminuir el tiempo de operación del motor de combustión interna y por consiguiente aumentar la autonomía eléctrica. Se estableció un protocolo a fin de realizar pruebas estáticas y de ruta en ciudad y carretera con el vehículo híbrido estándar y con el sistema híbrido Plug in, para determinar los parámetros como consumo de combustible, autonomía eléctrica, estado de salud de la batería de alto voltaje (SOH) y reducción de CO₂ al medio ambiente.

PALABRAS CLAVE:

- **SISTEMA PLUG – IN**
- **BATERÍA DE ALTO VOLTAJE**
- **VEHÍCULO HÍBRIDO TOYOTA PRIUS 3G**

ABSTRACT

In the present titling work, bibliographical information was gathered from reliable sources such as manuals, theses, scientific articles and technical data that allowed an adequate management of the equipment necessary for the implementation of the plug-in system in the Toyota Prius 3G hybrid vehicle, taking into account Account that the first step was the selection of 28 cells to prepare the additional battery, which was verified one by one by a process of loading and unloading, thus taking into account that the nominal voltage of each of the cells Must not be less than 7.2 V nor exceed 20% tolerance and a capacity of 6.5 Ah. The process of equalizing the battery was performed which is very important because if during the charging cycle, there is some deteriorated cell there is the risk that it is overloaded and there is an increase in temperature and the accumulation of pressure. During discharge, the weakest cell will have a deeper discharge, even if it becomes possible for the voltage in the cells to be reversed. Through LiveWire software, Bright Spark and PCB Wizard simulated and implemented the electronic boards of each of the modules that make up the Plug in system which are App sensor module, switching from the positive terminal of the original high voltage battery to The additional through the current sensor, safety module and additional high-voltage battery charger that allowed to double the energy capacity of the hybrid battery through its connection to the domestic power grid for the purpose of decreasing the operating time Of the internal combustion engine and consequently increase the electric range. A protocol was established in order to perform static and route tests in city and highway with the standard hybrid vehicle and with the hybrid Plug in system, to determine parameters such as fuel consumption, electric range, high battery health Voltage (SOH) and reduction of CO₂ to the environment.

KEYWORDS

- **PLUG - IN SYSTEM**
- **HIGH VOLTAGE BATTERY**
- **TOYOTA PRIUS 3G HYBRID VEHICLE**

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO DE LA “INVESTIGACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TOYOTA PRIUS AL IMPLEMENTAR EL SISTEMA PLUG IN”

En este capítulo se especifica la metodología antecedente y el problema de la investigación considerando la justificación e importancia, los objetivos a ser desarrollados en la investigación, al tomar como alternativa el uso del sistema plug-in y así aportando a la reducción del consumo de combustible del vehículo Toyota Prius 3G para elevar su autonomía de desplazamiento.

1. Generalidades

1.1. Antecedentes

En los últimos años uno de los principales retos a cumplir por parte de los fabricantes de vehículos ha sido reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente ya que el problema del calentamiento global que sufre el planeta, se debe en gran parte a todos los gases tóxicos emitidos por los cientos de millones de vehículos que circulan en el mundo.

Para reducir las emisiones de los vehículos, se ha implementado novedosas tecnologías como los vehículos híbridos, las cuales logran establecer cifras muy importantes de reducción de emisiones colocando esta tecnología en el nivel PZEV (Emisión Cero de forma parcial).

Según (Marketwatch, 2015) “Los autos eléctricos forman parte de una tendencia tecnológica mundial de proyectos a futuro desarrollados principalmente por el sector automotriz. Respecto a esta directriz de progreso el Ecuador se ha planteado promover el avance de dichas tecnologías eléctricas en los automóviles debido a que van de la mano con el cambio de la matriz productiva, enfocada a la producción y distribución energética”

El (Gobierno Nacional de la Republica del Ecuador, 2015) menciona en la página oficial del Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y

Competitividad: “Que con la introducción de la movilidad eléctrica se logrará reducir progresivamente la dependencia del uso de combustibles fósiles (gasolina o diésel); la reducción progresiva de las emisiones de CO₂; mejorar la salud de la ciudadanía; desarrollar la industria automotriz y eléctrica, ser el pionero en el tema ambiental y tecnológico para Sudamérica.

El proceso de introducción de la movilidad eléctrica en el país, contempla además del aprovechamiento del cambio en la Matriz Energética, un cambio de las tecnologías de vehículos, infraestructura, tipos de conducción y el desarrollo de nuevos campos investigativos y productivos”

(Álvarez, 2016) Manifiesta: “En Ecuador existe una política de gobierno que apunta a la matriz energética, la cual poco a poco se ha desarrollado mediante la construcción de las ocho hidroeléctricas con lo cual el gobierno estima que se creará de un 86 % de producción de energía de fuentes renovables y así tendrá un fácil acceso a la creación de electrolineras para recargar la batería de los autos”

1.2. Planteamiento del problema



Figura 1. Diagrama causa y efecto.

La investigación se origina dada a la contaminación ambiental producida por vehículos que utilizan combustibles fósiles, ya que es común entre los usuarios de los vehículos escoger uno con motor de combustión interna ante un eléctrico o híbrido debido a la falta de concientización de la dicha contaminación ambiental y los costos excesivos de este tipo de autos dentro del país generan una desconfianza a la hora de querer adquirirlos. A esto se le puede atribuir a la falta de socialización de parte de los concesionarios que distribuyen estos tipos de vehículos hacia los clientes a la hora de comprar uno con tecnología híbrida o eléctricos puros, además de no tener la disponibilidad de energía renovable en el país.

La excesiva demanda nacional de derivados de petróleo llega aproximadamente en un promedio de 100 millones de barriles al año según publica el diario el Telégrafo y como conocemos que actualmente la producción de barriles de petróleo es más caro que su comercialización lo que está afectando considerablemente la economía del país, sin mencionar la contaminación desmedida de CO₂ que toda esta cantidad de combustible, siendo una de las principales causas del calentamiento global y ocasionando una mala calidad de vida tanto a las personas como a la flora y fauna que se encuentra expuesto a estas emisiones de carácter nocivo para la salud.

El cambio de la matriz energética en el país provocara a futuro que las personas adquieran vehículos con tecnología Plug-in, pero como es de nuestro conocimiento que en nuestro país no existe estaciones de carga de baterías para estos tipos de vehículos. El incumplimiento de la norma vigente acerca de límites de emisiones permitidos en vehículos a gasolina contribuye al incremento constante del deterioro del medioambiente.

1.3. Descripción resumida del proyecto

La " Investigación de la eficiencia energética del vehículo híbrido Toyota Prius al implementar el sistema enchufable Plug-in" consideró los siguientes aspectos:

Se recopiló información tomando en cuenta su procedencia considerando únicamente fuentes confiables como son libros, tesis, manuales, fichas técnicas, normas y publicaciones gubernamentales.

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L, Campus Belisario Quevedo y el sistema fue implementado en el vehículo Híbrido Toyota Prius.

Se dimensionó el espacio en donde se va a realizar la implementación de los elementos de carga del sistema híbrido enchufable plug in en el vehículo híbrido Toyota Prius.

Se realizó la selección de las 28 celdas para preparar la batería adicional necesaria para el presente proyecto de investigación, por lo cual se verificó una por una mediante un ciclo de carga y descarga para determinar el porcentaje de vida útil de las mismas.

Se simuló los diagramas eléctricos necesarios para la conmutación del terminal positivo de la batería alta tensión original a la adicional de a través del sensor de corriente, módulo del sensor App y del circuito de seguridad del sistema Plug in con la ayuda del software LiveWire, lo cual permitió la selección y características de los componentes electrónicos.

Se implementó las placas electrónicas a partir de las simulaciones previamente realizadas con la ayuda del software PCB Wizard, para su posterior instalación en el vehículo y la comprobación del correcto funcionamiento de las mismas.

Se diseñó e implementó el cargador de las baterías de alto voltaje que permita aumentar la capacidad energética de la batería híbrida a través de su conexión a la red eléctrica con el propósito de disminuir el tiempo de operación del motor de combustión interna que permita obtener una mejor gestión energética en el vehículo híbrido.

Se planteó un modelo de protocolo a fin de realizar las pruebas estáticas y de recorrido con el vehículo eléctrico híbrido normal y con el sistema híbrido enchufable Plug in, para determinar los parámetros como

consumo de combustible y autonomía eléctrica del vehículo en ciudad y carretera.

Al final se analizó y tabuló los datos obtenidos para generar un registro de las variaciones de los parámetros mencionados del vehículo híbrido normal y con el sistema híbrido enchufable Plug in.

1.4. Justificación e importancia

Dada la realidad en el Ecuador en el sector automotriz y la realidad socioeconómica generada por la producción de petróleo que, a más de afectar la economía del país, y en relación con los precios que se derivan de él, como en el hecho de ser un recurso no renovable que tiende a agotarse.

En este sentido el desarrollo de investigaciones serias en el ámbito de gestión energética vehicular ofrece buenas perspectivas. El uso de la energía eléctrica en el ámbito automotriz en el Ecuador está en constante aumento, en particular el uso de vehículos ha crecido tanto por el aumento del parque automotor como por las políticas de incentivo por parte del gobierno.

La investigación generó una disminución de combustible fósil como es la gasolina e impulso a usar nuevas tecnologías en el ámbito automotriz, logrando así difundir el uso de vehículos híbridos y vehículos eléctricos puros. Se redujo la contaminación ambiental por la eliminación del dióxido de carbono en los escapes de los automotores y el usar energía renovable como es la electricidad acumulada en baterías de alta tecnología.

La factibilidad de poder implementar el uso de la propulsión por medio de la corriente eléctrica acumulada en baterías de elevado voltaje en un automóvil cada vez es más viable.

Se aumentó la autonomía eléctrica de un vehículo Toyota Prius, para difundir este tipo de tecnología para la propulsión automotriz en la sociedad, quitando el mito que existe acerca de los vehículos híbridos y eléctricos para el bien de las futuras generaciones.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Investigar de la eficiencia energética del vehículo híbrido Toyota Prius al implementar el sistema Enchufable Plug-In para optimizar los parámetros del vehículo híbrido

1.5.2. Objetivos específicos

- Consultar información bibliográfica, manuales y datos técnicos que permitan un manejo adecuado de los equipos, del vehículo Toyota Prius, del sistema híbrido enchufable plug in y del desarrollo del trabajo práctico.
- Delimitar el espacio en donde se va a realizar la implementación de los elementos de carga del sistema híbrido enchufable plug in en el vehículo Toyota Prius.
- Seleccionar las 28 celdas para preparar la batería adicional necesaria para el presente proyecto de investigación, por lo cual se verificó una por una mediante un ciclo de carga y descarga para determinar el porcentaje de vida útil de las mismas.
- Simular los diagramas eléctricos necesarios para la conmutación del terminal positivo de la batería alta tensión original a la adicional de a través del sensor de corriente, módulo del sensor App y del circuito de seguridad del sistema Plug in con la ayuda del software LiveWire, lo cual permitió la selección y características de los componentes electrónicos.
- Implementar las placas electrónicas a partir de las simulaciones previamente realizadas con la ayuda del software PCB Wizard, para su posterior instalación en el vehículo y la comprobación del correcto funcionamiento de las mismas.
- Diseñar e implementar el cargador de las baterías de alto voltaje que permita aumentar la capacidad energética de la batería híbrida a través de su conexión a la red eléctrica doméstica con el propósito de

disminuir el tiempo de operación del motor de combustión interna que permita obtener una mejor gestión energética en el vehículo híbrido.

- Plantear un modelo de protocolo a fin de realizar las pruebas estáticas y de recorrido con el vehículo eléctrico híbrido normal y con el sistema híbrido enchufable Plug in, para determinar los parámetros como consumo de combustible y autonomía eléctrica del vehículo en ciudad y carretera.
- Elaborar una tabla de comparación del consumo de combustible y autonomía de distancia del vehículo Toyota Prius normal y con el sistema híbrido enchufable plug in.

1.6. Metas

- Desarrollar una investigación relacionada con el sistema híbrido enchufable Plug-in y así obtener un aumento en la autonomía de distancia del vehículo en un 20% al 40% con la finalidad de reducir el consumo de combustible en un 15% al 40% en el vehículo híbrido Toyota Prius

1.7. Hipótesis

- La implementación de un sistema Plug-in en el vehículo híbrido Toyota Prius, permitirá elevar la autonomía eléctrica del vehículo de esta manera reduciendo el consumo de combustible y la contaminación.

1.8. Variables de la investigación.

La operacionalización de variables, centra su análisis en verificar conceptos, categoría, indicadores, ítem, técnicas de instrumentos utilizados en la investigación.

1.8.1. Variable independiente.

Sistema enchufable Plug-in.

1.8.2. Variable dependiente.

Eficiencia energética

1.8.3. Operacionalización de variables.

a. Variable independiente

Tabla 1.

Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es un sistema de carga de baterías adicionales para aumentar la autonomía de conducción en modo EV.	Contaminación	CO2	%	Medición Experimentación	Protocolo de Pruebas
		Consumo de combustible	Km/gal	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas. Ecuaciones
	PID's	Voltaje de funcionamiento de los componentes del sistema de control electrónico	V	Medición	Protocolo de pruebas. Ecuaciones
			A	Experimentación	
	Temperatura	°C	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas. Ecuaciones	
Pre factibilidad	Costo	\$	Matematización	Protocolo de pruebas. Ecuaciones	

b. Variable dependiente

Tabla 2.

Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es el uso eficiente de la		SOC	%	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas. Ecuaciones
			A	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas. Ecuaciones

energía es decir consumir menos y producir el mismo trabajo.	Estado de carga de las baterías	TB	°F	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas. Ecuaciones
		Carga de la batería adicional	A	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas. Ecuaciones
		ACC	V	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas. Ecuaciones
		DCC	V	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas. Ecuaciones

1.9. Metodología de desarrollo del proyecto.

a) Método inductivo

Se utilizó este método, ya que la investigación se realizó en un vehículo de marca Toyota, modelo Prius, el cual es de tipo híbrido y se logró implementar el sistema enchufable Plug-in, los resultados y conclusiones generadas se podrán aplicar para todos los vehículos híbridos.

b) Método deductivo

Dado que la investigación se enfocó en analizar la eficiencia energética y reducir los niveles de emisiones producido por los vehículos a combustión, se analizó dichos parámetros que se generan bajo la implementación del sistema enchufable Plug-in en el vehículo Toyota Prius.

c) Método de síntesis

Este método se aplicó en la recopilación de los datos resultantes de las pruebas realizadas bajo la incidencia del sistema enchufable Plug-in.

d) Método experimental

Se utilizó este método puesto que se realizó mediciones y pruebas de ruta con el sistema híbrido y a su vez con el sistema Plug-in respectivamente.

e) Método comparativo

En esta investigación el método comparativo permitió establecer registros de consumo de combustible y autonomía eléctrica y se comparó entre el vehículo híbrido en condiciones normales y al usar el sistema enchufable Plug-in.

f) Método de observación directa

Este método permitió realizar una verificación visual de las variaciones que esta investigación busca establecer, como es la reducción parcial de contaminación y aumentar la autonomía eléctrica.

g) Método de medición

A través del método de medición se propuso un protocolo de pruebas para recopilar valores al monitorear los PID's de las batería original y adicional, tomando en cuenta las escalas de los equipos con los que se realizan las pruebas.

h) Método de matematización

Una vez representados los resultados de la investigación mediante números, se utilizará este método para justificar la eficiencia energética teniendo en cuenta los PID's del control híbrido, también la reducción parcial de contaminación al implementar el sistema enchufable Plug-in.

Tabla 3.

Metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevará a cabo el proyecto

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Inductivo	Se utilizó este método, ya que la investigación se realizó en un vehículo de marca Toyota, modelo Prius, el cual es de tipo híbrido y se logró implementar el sistema enchufable Plug-in, los resultados y conclusiones generadas se podrán aplicar para todos los vehículos híbridos.	<ul style="list-style-type: none"> • Toyota Prius • Sistema enchufable Plug-in. 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica
Deductivo	Dado que la investigación se enfocó en analizar la eficiencia energética y reducir los niveles de emisiones producido por los vehículos a combustión, se analizó dichos parámetros que se generan bajo la implementación del sistema enchufable Plug-in en el vehículo Toyota Prius.	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema enchufable Plug-in. • Toyota Prius 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica • Laboratorio de motores
Síntesis	Este método se aplicó en la recopilación de los datos resultantes de las pruebas realizadas bajo la incidencia del sistema enchufable Plug-in.	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema enchufable Plug-in. • Toyota Prius 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica • Ruta en ciudad y carretera
Experimental	Se utilizó este método puesto que se realizó mediciones y pruebas de ruta con el sistema híbrido y a su vez con el sistema Plug-in respectivamente.	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema enchufable Plug-in. • Toyota Prius 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica • Laboratorio de motores



Comparativo	<p>En esta investigación el método comparativo permitió establecer registros de consumo de combustible y autonomía eléctrica y se comparó entre el vehículo híbrido en condiciones normales y al usar el sistema enchufable Plug-in.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Laptop • Office
Observación Directa	<p>Este método permitió realizar una verificación visual de las variaciones que esta investigación busca establecer, como es la reducción parcial de contaminación y aumentar la autonomía eléctrica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Toyota Prius • Laboratorio de Autotrónica
Medición	<p>A través del método de medición se propuso un protocolo de pruebas para recopilar valores al monitorear los PID's de las batería original y adicional, tomando en cuenta las escalas de los equipos con los que se realizan las pruebas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema enchufable Plug-in. • Toyota Prius • Laptop • Laboratorio de Autotrónica • Laboratorio de motores
Matematización	<p>Una vez representados los resultados de la investigación mediante números, se utilizará este método para justificar la eficiencia energética teniendo en cuenta los PID's del control híbrido, también la reducción parcial de contaminación al implementar el sistema enchufable Plug-in.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Laptop • Office

Conclusiones del capítulo

- Se describió el proceso a realizar para la implementación del sistema Plug in en el vehículo híbrido.
- Se desarrolló el marco metodológico para el desarrollo del proyecto de investigación.
- Se definió los métodos de investigación, para definir la eficiencia de las baterías de alta tensión de los vehículos híbridos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se realiza la investigación bibliográfica en bases digitales, artículos científicos y datos técnicos que fortalezcan el desarrollo de la misma orientadas a pruebas a desarrollarse con equipos de tecnología de punta en el vehículo Toyota Prius tercera generación para ser convertido en un sistema plug in.

2. Matriz energética

(Abril, 2016) menciona que: “Uno de los objetivos más ambiciosos del actual régimen fue la transformación de la matriz energética de Ecuador, que busca disminuir el consumo de productos derivados de petróleo, tener un sistema eléctrico más limpio, eficiente, confiable, y a apuntalar el cambio de la matriz productiva del país.

Con este horizonte, el gobierno planificó la construcción de ocho proyectos hidroeléctricos a nivel nacional. Coca Codo Sinclair, Sopladora, Manduriacu, Delsintanisagua, Minas-San Francisco, Mazar-Dudas, Quijos y Toachi-Pilatón son megaproyectos que permitirán mejorar la matriz energética aprovechando los recursos hídricos”.

2.1. Estrategia de inversión de la matriz energética en la industria automotriz

(Vicepresidencia de la República del Ecuador, 2015) Cita que “El objetivo de fomentar el uso de vehículos eléctricos y su fabricación es principalmente sustituir el uso de combustibles fósiles y reemplazarlos por energía eléctrica, aprovechando el cambio de matriz energética en el país, ya que a mediano plazo el Ecuador contará con superávit de producción eléctrica. Adicionalmente, debido al no uso de combustibles fósiles se promueve disminuir la contaminación ambiental.

Los principales retos de este lineamiento son:

- Autonomía o duración de las baterías eléctricas de los vehículos.
- Red de distribución eléctrica para abastecimiento.
- Tecnología para recargas de baterías en tiempos aceptables.
- Tecnología para la reposición, disposición y desechos de las baterías consumidas de los vehículos para evitar daños ambientales”.

2.2. Vehículos híbridos

(Augeri, 2011) Expone que: “Debido a la necesidad de reducción de emisiones contaminantes por parte de los vehículos y a los elevados costos que los combustibles convencionales han logrado alcanzar tecnologías alternativas, que permitan mejorar las condiciones de propulsión del vehículo reduciendo los contaminantes.

Dentro de las más novedosas tecnologías se encuentra la de los vehículos híbridos, las cuales logran establecer cifras muy importantes de reducción de emisiones colocando esta tecnología en el nivel PZEV (Emisión Cero de forma parcial). Esto quiere decir que el vehículo por momentos genera emisiones cero, un logro muy importante puesto que en el momento que esta tecnología este de forma masiva existirá momentos de operación de los vehículos en los cuales no generan emisiones y esto reduce de forma importante los niveles de contaminación.

La base importante de un vehículo híbrido figura 2 está dada por un motor de combustión interna que trabaja de forma alternada con un motor eléctrico, este motor puede ser también generador en algunas condiciones y todo el sistema utiliza una batería de alto voltaje para almacenar carga eléctrica. Esta tecnología es bastante avanzada y permite utilizar por ejemplo la cinética del frenado para convertir al Motor en Generador y restablecer la carga de la batería de alta tensión. Lógicamente todo este evento se logra por la electrónica incorporada en cada unidad de control del sistema” (p.4)

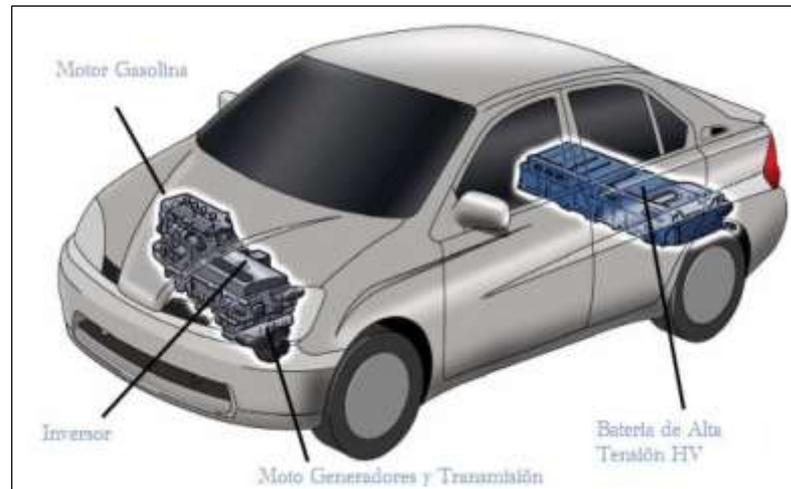


Figura 2. Componentes del sistema híbrido.

Fuente: (Augeri, 2011).

2.3. Clasificación de los vehículos híbridos

(Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automovil, 2007) “El funcionamiento de un vehículo híbrido se basa en la combinación de dos tipos de motores, uno eléctrico y otro convencional o de combustión interna, a través de un sofisticado sistema de control híbrido y de un paquete de baterías. En general, un vehículo híbrido funciona como uno convencional al que se le ha unido un motor eléctrico cuya misión es bien ayudar al motor de combustión cuando se precise una mayor potencia o bien impulsar él solo al vehículo, con el motor de combustión desconectado, cuando la potencia requerida sea pequeña, por ejemplo, en condiciones favorables de conducción. Los vehículos híbridos se clasifican en tres tipos atendiendo al modo en que se conectan ambos motores: híbridos en serie, híbridos en paralelo e híbridos mixtos” (p. 7).

2.3.1. Híbridos en serie

(Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automovil, 2007) “En los híbridos en serie el vehículo es impulsado enteramente por el motor eléctrico gracias a la electricidad suministrada por el motor de combustión, el cual arrastra a su vez un generador eléctrico. La batería actúa por lo tanto como acumulador de la electricidad (energía) sobrante y, cuando está cargada, permite la desconexión temporal del motor de combustión, de

forma que el vehículo puede impulsarse momentáneamente de manera totalmente eléctrica.

Los flujos energéticos característicos de la configuración en serie son los siguientes:

- a. El motor de combustión, a través del generador, puede alimentar al motor eléctrico y también cargar la batería.
- b. La batería puede alimentar al motor eléctrico, pero también, gracias a la capacidad de éste de actuar como freno regenerativo, el motor eléctrico puede, a su vez, recargar la batería. El frenado regenerativo consiste en decelerar el vehículo no del modo convencional basado en el rozamiento de las pastillas contra los discos de freno, sino invirtiendo el funcionamiento del motor eléctrico y haciéndolo funcionar como un generador de electricidad. Una analogía puede servir para explicar el concepto de freno regenerativo: del mismo modo que un ventilador emplea electricidad para hacer girar sus aspas mientras que un aerogenerador utiliza el viento para obtener electricidad, un motor eléctrico en un automóvil puede emplear electricidad para impulsarlo o bien utilizar dicho impulso para generar electricidad” (p. 8).

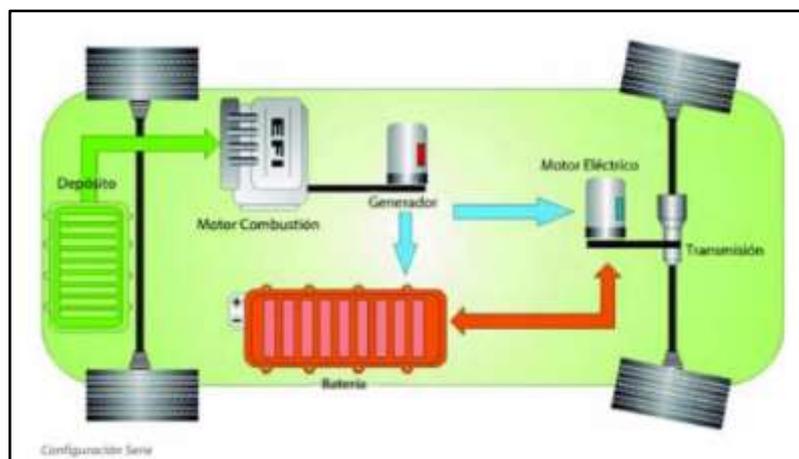


Figura 3. Híbridos en serie.

Fuente: (Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil, 2007).

2.3.2. Híbridos en paralelo

(Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automovil, 2007) “En los híbridos con arquitectura paralela tanto el motor de combustión como el motor eléctrico trabajan simultáneamente para impulsar las ruedas del vehículo. El sistema de tracción no es excesivamente complejo mecánicamente en esta arquitectura, puesto que el motor eléctrico simplemente trabaja en paralelo con el motor de combustión. Esto supone una notable simplificación a la hora de desarrollar una hibridación por parte de cualquier fabricante.

Los flujos energéticos característicos de la configuración en serie son los siguientes:

- a. El motor de combustión, a través del motor eléctrico, puede también impulsar al vehículo y, también, cargar la batería funcionando este último como un alternador.
- b. La batería puede alimentar al motor eléctrico y, gracias a la capacidad del freno regenerativo, el motor eléctrico puede también recargar la batería” (p. 9).

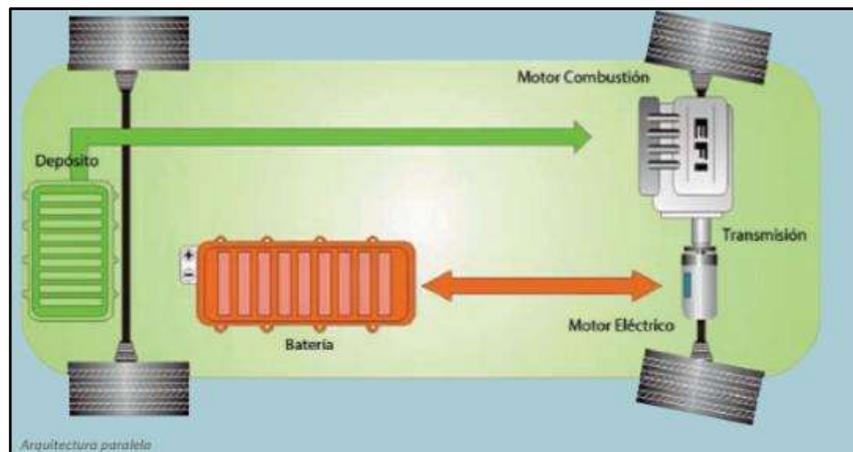


Figura 4. Híbridos en paralelo.

Fuente: (Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automovil, 2007).

2.3.3 Híbridos mixtos

(Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil, 2007) “Esta configuración proporciona la posibilidad de propulsar al vehículo enteramente mediante el motor de combustión, enteramente mediante el motor eléctrico o mediante una combinación de ambos motores.

El concepto de un vehículo mixto es el de un vehículo híbrido con arquitectura serie en el que se ha conectado el motor de combustión directamente a las ruedas. Así, tanto el motor de combustión como el generador y el motor eléctrico están todos ellos interconectados a través de un sistema de engranajes diferencial el cual, a su vez, está conectado a la transmisión del vehículo.

El flujo de la energía en los vehículos con arquitectura mixta es el siguiente:

- a. El motor de combustión impulsa al vehículo a través del conjunto diferencial.
- b. El generador, que está también conectado a ese conjunto diferencial, es impulsado por el motor de combustión produciendo así electricidad. Esa electricidad es usada unas veces para recargar las baterías y otras para alimentar al motor eléctrico, según las necesidades.
- c. El motor eléctrico es alimentado por las baterías y a su vez éste es capaz de recargar las baterías en los momentos que funcione a modo de freno regenerativo.
- d. El motor eléctrico impulsa las ruedas a través del conjunto diferencial.

Las ventajas del sistema híbrido mixto con respecto a los demás sistemas son las siguientes:

- Gracias al conjunto diferencial, el motor de combustión puede ser conectado a las ruedas en aquellos momentos en los que opere en el rango óptimo de revoluciones (rango de máximo rendimiento y mínimo consumo).

- Al trabajar el motor de combustión en dichas condiciones y al disponer del refuerzo del motor eléctrico, ya no es necesario dotar a estos vehículos de complicadas, y caras, cajas de cambios. El sistema de control de ambos motores consigue que el funcionamiento del conjunto esté siempre optimizado.

Las desventajas incluyen el incremento de la complejidad mecánica en general, con el correspondiente aumento del costo tanto en la parte mecánica como en la relativa al sistema de control del conjunto. Por otro lado, un vehículo híbrido se puede también clasificar en función de su nivel de electrificación. Según esta segunda clasificación existen dos grados de hibridación: total o parcial. Cuando el vehículo es capaz de funcionar tanto con cada motor de modo totalmente independiente como de hacerlo con ambos motores simultáneamente, se denomina “full hybrid” o híbrido total. La hibridación total admite todas las combinaciones posibles de funcionamiento y es por lo tanto la más completa y compleja de gestionar, además de por supuesto la más eficiente. En segundo lugar, cuando el vehículo es capaz de hacer funcionar a los dos motores a la vez pero sólo al motor de combustión de forma independiente se dice que es del tipo “mild hybrid”, híbrido parcial, híbrido suave o vehículo con asistencia eléctrica. A este grado de hibridación se le considera parcial o incompleto al carecer de la capacidad de funcionar de modo exclusivamente eléctrico” (p. 10).

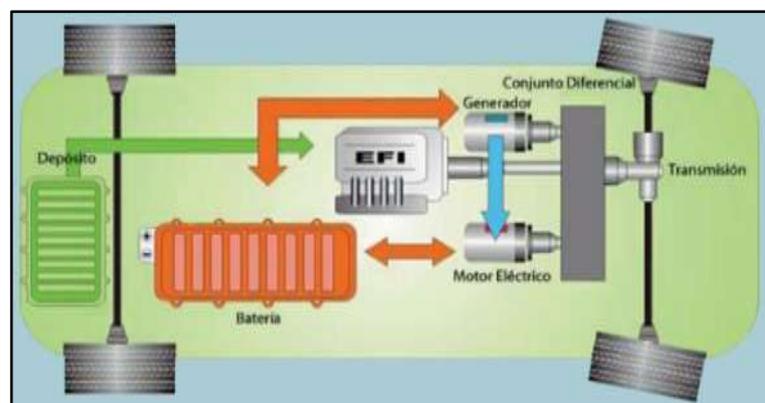


Figura 5. Híbridos mixtos.

Fuente: (Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automovil, 2007).

2.4. Componentes de un vehículo híbrido

2.4.1. Motor de combustión interna

(Gordillo, 2014) describe que “El motor de combustión interna que lleva el Toyota Prius es un motor de 4 cilindros ciclo Atkinson de 1.8 litros que proporciona 98 HP de potencia y posee una distribución variable VVT-i, es el primer motor el cual no tiene correas de accesorios ya que su bomba agua y compresor aire acondicionado son eléctricos, la dirección asistida también es eléctrica y no posee alternador, ni motor de arranque; si bien es cierto que el motor ciclo Atkinson es el motor de menor emisión de HC y NOx del mundo y más eficiencia en lo que se respecta al consumo de combustible; es mucho menos la potencia entregada en comparación con un motor ciclo Otto de mismas características, sin embargo trabajando el motor ciclo Atkinson conjuntamente con el motor eléctrico, la potencia combinada del Toyota Prius se eleva a 136 HP, sus principales funciones son impulsar el vehículo y alimentar el generador (MG1) para recargar la batería HV, el motor se arranca y se detiene bajo el control de la ECU principal del vehículo” (p.32).

(Gnceros, 2013) Cita que “El ciclo Atkinson aprovecha las ventajas que supone una alta relación de compresión reduciendo la duración efectiva de la carrera de compresión con respecto a la de expansión del tradicional ciclo Otto. La forma más viable y sencilla de conseguir esto es retrasar el cierre de la válvula de admisión, permitiendo un cierto reflujo de gases hacia el colector de admisión mientras el pistón asciende. Esa mezcla se aprovecha en el siguiente ciclo de aspiración.

El cierre de la válvula determina la cantidad de gases que permanecen en el interior del cilindro y el comienzo de la compresión. La menor cantidad de mezcla retenida se traduce en unas menores prestaciones, pero autoriza a usar relaciones de compresión altas (13:1 en el Toyota Prius) sin que se produzca detonación, lo que permite un mayor aprovechamiento de la energía liberada en la combustión durante la carrera de expansión. Este ciclo ha sido en ocasiones denominado como de cinco tiempos: admisión, reflujo de gases, compresión, expansión y escape”.



Figura 6. Motor de Combustión interna

Fuente: (Gnceros, 2013)

2.4.2. Moto-generadores

(Gordillo, 2014) plantea que “Los moto-generadores son motores eléctricos trifásicos de imán permanente que trabajan con un voltaje nominal de 650 V y sus ventajas dentro del vehículo híbrido son su compacidad, su fácil refrigeración, su bajo mantenimiento, su baja sonoridad tal como lo indican los catálogos Toyota; también tienen desventajas como su posibilidad de desmagnetización, riesgo de averías en el inversor, su limitada entrega de par a alta velocidad y por supuesto su alto costo en caso de avería y requiera ser reemplazado, estos motores son parte fundamental para que el sistema híbrido del Toyota Prius funcione” (p.37).



Figura 7. Moto generadores

Fuente: (Gordillo, 2014)

a) MG1

(Gordillo, 2014) Describe que “A pesar de que el moto-generador MG1 tiene su principal función de generar corriente alterna (AC) trifásica para recargar la batería HV; tiene también funciones como dar energía al moto generador MG2 como apoyo y reemplazar el motor de arranque para encender el motor de combustión interna” (p.37).

b) MG2

(Gordillo, 2014) define que “El moto-generador MG2 es más conocido como motor eléctrico por generar propulsión al vehículo de forma eléctrica hasta 50 km/h o ayudar al motor de combustión interna para alcanzar 100 km/h en 10.9 segundos; también tiene funciones de generador eléctrico al momento de frenadas y desaceleraciones y aportando a la carga de la batería HV, este moto generador tiene una potencia máxima de 60 kW y un Par máximo de 207 Nm pero acoplado al reductor de velocidad (mencionado anteriormente) este se eleva a 546 Nm; 146 Nm más que el Moto-generador incluido en la anterior versión del Toyota Prius el cual entregaba 400 Nm” (p.38).

2.4.3. Inversor

(Calle, 2012) Manifiesta que “Este componente es parte fundamental del vehículo Híbrido, incorpora una gran cantidad de elementos electrónicos y eléctricos, pero toda la gestión de funcionamiento es controlada por la unidad de control del sistema híbrido ECU HV, esta última se encarga de controlar al inversor y generar cualquier tipo de diagnóstico del mismo incluidos los DTC. El inversor se encarga de transformar y administrar el flujo de electricidad entre la batería y el motor eléctrico. Además, posee un convertidor integrado que envía parte de la electricidad del sistema a la batería auxiliar de 12 V. El inversor se encarga de las siguientes funciones:

- Convierte los 201,6 V DC (corriente continua) que entrega la batería HV en 201,6 V AC trifásica (corriente alterna). Multiplica estos 201,6 V

AC trifásica hasta un máximo de 500 V AC trifásica al motor y al generador eléctricos del THSD

- Convierte los 201,6 V DC en 201,6 V AC para el compresor eléctrico del aire acondicionado.
- Convierte los 201,6 V DC en 12V DC y 100 A. para recargar la batería de 12V, dada la ausencia de alternador y alimentar a los demás elementos eléctricos del vehículo (luces, audio, ventiladores, etc.).
- Permitir el control de los Moto Generadores MG1 - MG2 con un circuito constituido en su interior, que toma la tensión de la batería de alto voltaje HV la cual se encuentra en 220 V DC aproximadamente y mediante un circuito de potencia genera una corriente alterna en tres fases que permita el movimiento de los motores eléctricos
- Permitir el movimiento del Moto Generador 1 MG1 en condición de arranque para el motor de combustión interna, esto especialmente en el momento que se genere un consumo de la batería de alta tensión HV” (p.46).



Figura 8. Inversor del vehículo Toyota Prius 3G

2.4.4. Constitución de la batería de alto voltaje

(Garzón, 2015) Menciona que “En el caso del vehículo Toyota Prius tercera generación, la batería está formada por 28 celdas de 7.2 V cada una y que van conectadas en serie de dos en dos, formando paquetes de 14.4 V cada uno, hasta unirse en un total de 14 paquetes con 201.6 V de voltaje nominal y 241.92 V de voltaje máximo de carga, valor que representa un 20% más de la carga nominal.

La batería del sistema híbrido está constituida por varios elementos, como se muestra en la figura 9, los cuales trabajan en conjunto para que el sistema funcione de manera correcta y se eviten posibles fallas” (p.38).

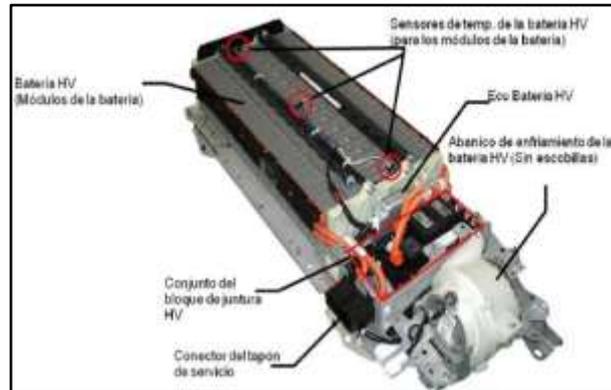


Figura 9. Disposición de los componentes principales de la batería
Fuente: (Garzón, 2015)

a) Sensores de temperatura.

(Delgado, 2013) Cita que “El paquete completo de batería posee 3 sensores de temperatura (termistores) que llevan información a la ECU de la batería de la temperatura a la que se encuentra la batería. Adicionalmente las baterías poseen un sistema de desfogue de vapores para evitar que los vapores de la batería salgan y formen depósitos en las partes eléctricas y electrónicas cercanas, y también un sistema de ventilación que circula alrededor de la batería completa envolviéndola con aire y posibilitando su enfriamiento. Los 3 sensores de temperatura de la batería se encuentran en la parte superior del conjunto de la batería HV” (p.40).



Figura 10. Sensor de temperatura de la batería de alto voltaje.

b) Unidad de control de la batería (ecu de la batería).

(Jiménez, 2013) Menciona que “La ECU de la batería proporciona las siguientes funciones:

- Monitorea el amperaje de carga / descarga, carga de salida.
- Gestiona la cantidad de calor generado durante la carga y descarga, ajusta el ventilador de refrigeración para mantener la temperatura de la batería HV
- Controla la temperatura y el voltaje de la batería y si se detecta un mal funcionamiento, puede limitar o detener la carga y descarga para proteger la batería de alto voltaje” (p.38).



Figura 11. Ecu de la Batería de alta voltaje

c) Sistema de enfriamiento de la batería HV

(Jiménez, 2013) Define que “Para asegurar el rendimiento adecuado de la batería HV mientras genera calor durante los ciclos repetitivos de carga y descarga, se ha adoptado un sistema de enfriamiento exclusivo para la batería HV. Se incorpora un ventilador de enfriamiento en el lado derecho del portaequipaje, con el fin de aspirar el aire de la cabina mediante la entrada de aire situada en el lado derecho del asiento trasero. De este modo, el aire de entrada que se introduce por la parte superior derecha de la batería circula entre los módulos de la batería desde la parte superior a la inferior para enfriarlos.

Entonces, el aire circula por el conducto de escape y la cabina, para descargarse al exterior del vehículo. La ECU de la batería controla la operación del ventilador de enfriamiento. La ECU de la batería controla la temperatura de la batería HV a un nivel apropiado de acuerdo con las señales proporcionadas por los sensores de la temperatura de la batería que están incorporados en la batería HV, y un sensor de la temperatura del aire de entrada” (p.35).



Figura 12. Ventilador del sistema de enfriamiento de la batería HV

d) Conector tapón de servicio – jumper de seguridad.

(Augeri, F, 2010) propone que “El jumper de seguridad o conector de servicio se muestra en la figura 13 es una clavija de color naranja ubicada en la batería que tiene la función de al momento de retirarla dividir el voltaje en dos secciones, esto cambia según el fabricante, el jumper es monitoreado por la ECU HV la cual detecta que está conectado correctamente caso contrario bloquea el sistema y no permite que el vehículo se encienda, es importante mencionar que cada que se realiza una operación de mantenimiento se tiene que retirar el Jumper por seguridad protegiendo el sistema de descargas eléctricas fuertes”.



Figura 13. Jumper de Seguridad

e) Conjunto de relés de activación.

(Delgado, 2013) Describe que “El sistema principal de relés (SMR) conecta y desconecta la alimentación del circuito de alta tensión sobre la base de comandos de la ECU de Alto Voltaje. Un total de tres relés (uno para el lado negativo y dos para el lado positivo) se proporcionan para garantizar un funcionamiento correcto. Cuando el circuito está energizado, SMR1 SMR3 y se encienden. La resistencia en línea con SMR1 protege el circuito de la corriente inicial excesiva (llamado 'irrupción' actual). A continuación, SMR2 se enciende y se apaga SMR1, lo que permite que la corriente fluya libremente en el circuito. Cuando se des energiza, SMR2 SMR3 y se apaga en ese orden y la ECU HV comprueba que los relés correspondientes, han sido debidamente apagados” (p.43).



Figura 14. Conjunto de relés de activación.

f) Sensor de corriente.

(Garzón, 2015) Plantea que “La batería de alto voltaje posee un sensor de corriente de efecto hall, como se muestra en la figura 15, que está montado en el polo negativo de la batería HV. Este sensor emite una tensión que va desde 0 a 5 voltios; si la tensión del sensor de corriente es mayor a 2.5 V, indica que la batería HV se está descargando y si la tensión es menor a 2.5 V indica que se está cargando” (p.33).

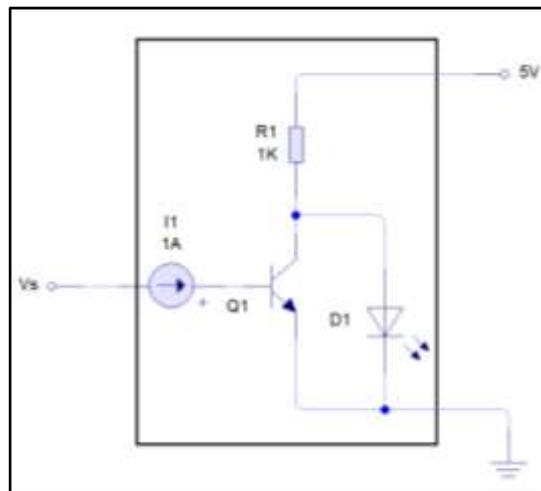


Figura 15. Sensor de corriente.

2.5. Baterías de alto voltaje

(Ordoñez, 2011) “La electricidad hoy en día tiene innumerables aplicaciones, esto es debido a la facilidad con que se transforma en otras formas de energía, como mecánica, química o térmica. El principal suministro de energía eléctrica se realiza a través de la red eléctrica, sin embargo, hay muchas ocasiones en las que se necesita disponer de energía eléctrica sin poder adquirirla de la red eléctrica. Uno de los principales problemas de la energía eléctrica, es la dificultad a la hora de su almacenamiento. Las baterías son una de las pocas formas fiables de almacenar la energía eléctrica, convirtiendo la energía eléctrica, en energía química y viceversa. De esta manera podemos disponer de energía eléctrica cuando deseemos sin depender de la red. El desarrollo en los últimos años de nuevas aplicaciones (vehículos eléctricos, sistemas fotovoltaicos, sistemas de alimentación ininterrumpida, etc.) han propiciado el surgimiento y desarrollo de nuevas

tecnologías de baterías, cada vez más eficientes y fiables. En los siguientes apartados de este capítulo, se clasifican los diferentes tipos de baterías y se describe la terminología que se ha adoptado. Además, se realiza un análisis comparativo de las principales tecnologías de baterías” (p. 16).

a) Terminología utilizada para la caracterización de baterías

Durante el desarrollo del presente proyecto es necesario plantear las diferentes terminologías y parámetros que caracterizan a las baterías. Conforme a esto y para el progreso de los siguientes capítulos del proyecto, es fundamental presentar los dichos parámetros.

b) Parámetros que caracterizan a una batería.

(Ordoñez, 2011) Menciona los parámetros para la caracterización de una batería son:

- “Celda: El menor elemento que forma una batería, pueden ser asociada en serie o en paralelo con otras, con el objetivo de conseguir los valores de corriente o de tensión deseados.
- Estado de carga (SOC) %: Expresión que indica el estado de carga de la batería de manera porcentual, respecto al cien por cien de la capacidad cuando la batería está completamente cargada.
- Profundidad de descarga: Relación entre la capacidad en amperios-hora (Ah) entregada por una batería durante su descarga y la capacidad nominal de la misma. DOD (Depth Of Discharge).
- Tensión en vacío (E_0): La tensión que una batería tiene entre sus terminales, cuando no se cierra un circuito a través de ellos, su valor depende de la naturaleza de la química que se utilice.
- Tensión en circuito cerrado (E): Tensión que aparece entre los terminales de una batería cuando está conectada a una carga. Cuando una batería suministra energía a una carga, su tensión disminuye tanto o más, cuanto mayor sea la corriente de descarga.
- Resistencia interna: Se define como un concepto que ayuda a modelar las consecuencias eléctricas de las complejas reacciones químicas que se producen dentro de una batería. Es imposible medir directamente la

resistencia interna de una batería, pero ésta puede ser calculada mediante los datos de corriente y voltaje medidos sobre ella. Así, cuando a una batería se le aplica una carga, la resistencia interna se puede calcular mediante cualquiera de las siguientes ecuaciones:

$$R_B = \left(\frac{V_S - V}{I} \right)$$

Ecuación 1: Ecuación de la resistencia interna 1

$$R_B = \left(\frac{V_S}{I} \right) - R_L$$

Ecuación 2: Ecuación de la resistencia interna 2

R_B : Resistencia interna de la batería.

V_S : Voltaje de la batería en vacío.

V : Voltaje de la batería con la carga.

R_L : Resistencia de la carga.

I : Intensidad suministrada por la batería.

La resistencia interna varía con la edad de la batería, pero en la mayoría de baterías comerciales la resistencia interna es del orden de 1 ohmio.

- Capacidad: La capacidad de una batería es la cantidad medida de amperios-hora m (Ah), que puede suministrar o aceptar una batería. El valor de la capacidad de una batería (C), se calcula como la integral de la corriente a lo largo de un determinado periodo de tiempo, esta relación se muestra en la siguiente ecuación:

$$C = \int_{t_1}^{t_2} i * dt$$

Ecuación 3: Ecuación de la capacidad de una batería

La ecuación es de aplicación general tanto para la descarga (capacidad extraída de la batería) como para la carga (capacidad suministrada a la batería). Aunque esta ecuación es una definición básica de capacidad, existen

diferentes definiciones dependiendo de las condiciones bajo las cuales se realiza la medida de capacidad

- Capacidad nominal: Capacidad que puede entregar una batería desde plena carga, hasta alcanzar una tensión en descarga determinada, a una temperatura ambiente fijada y utilizando una razón de descarga específica. Por ejemplo, una batería tiene una capacidad nominal de 100 Ah, cuando descargándola desde su estado de plena carga, con una corriente constante de 20 A y a temperatura de 23°C, es capaz de mantener la tensión por encima de 1 V/celda durante al menos 5 horas.
- Capacidad real: Capacidad que puede entregar una batería desde su estado de plena carga y en condiciones de funcionamiento diferentes a las establecidas para definir la capacidad nominal de la batería, excepto la tensión de finalización de la descarga. La capacidad real puede ser menor o mayor que la capacidad nominal, dependiendo de la razón de descarga utilizada y de la temperatura ambiente del entorno donde está funcionando la batería.
- Capacidad retenida: Capacidad conservada por la batería después de un periodo de reposo o inactividad.
- Máxima corriente de descarga continua: Máxima corriente que la batería puede descargar de forma continuada. Este límite viene definido por el fabricante para evitar daños o una posible reducción de la capacidad de la batería.
- Máxima corriente en intervalos: Corriente máxima a la que la batería puede ser descargada en intervalos de tiempo (en torno a 10 ms), límite que viene fijado por el fabricante con el fin de evitar daños y pérdidas de prestaciones. La máxima corriente por intervalos suele ser sensiblemente más alta que la máxima corriente continua.
- Índice C: El culombio o coulomb (símbolo C), es la unidad derivada del sistema internacional para la medida de la magnitud física “cantidad de electricidad” (carga eléctrica). Es la razón de carga o descarga expresada en amperios y hora. Con frecuencia se utilizan múltiplos y submúltiplos de este índice, para definir la magnitud de la corriente de carga o de descarga de la batería. Se define como la cantidad de carga

transportada en un segundo por una corriente de un amperio de intensidad de corriente eléctrica.

$$1C = 1 * A * s$$

Ecuación 4: Ecuación del índice C

- Autodescarga: Pérdida de capacidad de una batería, cuando se mantiene en circuito abierto. Generalmente, la auto descarga se expresa en términos de porcentaje de pérdida de capacidad, con respecto a la capacidad nominal en un periodo de tiempo de un mes.
- Sobrecarga: Proceso que tiene lugar cuando se continúa cargando una batería, después de que se pierde la eficiencia de las reacciones electroquímicas a la carga.
- Energía específica: Energía que puede almacenar una batería por unidad de peso (W-h/kg).
- Potencia Específica: Potencia que puede entregar una batería por unidad de peso (W/kg).
- Vida útil: Tiempo que la batería puede mantener sus prestaciones por encima de unos límites mínimos predeterminados. Definido también como el número de veces que la batería puede ser recargada, para recobrar su capacidad completa después de su uso.
- Eficacia (%): Es la fracción de energía eléctrica que devuelve la batería, en proporción a la energía que ha sido necesaria para cargarla. Cuanto más alta, mayor será su rendimiento, idealmente el 100%. También es importante que una batería mantenga su eficacia en función del tiempo de almacenamiento.
- Tiempo de recarga normal (h): Es el tiempo necesario para recargar completamente la batería.
- Tiempo de recarga rápida: Son los tiempos necesarios para recargar la batería a la mitad o al 99% de su capacidad. Este tipo de carga no está enfocado a las actuales baterías de litio, en la que su tiempo de carga ronda los 60 minutos o menos.
- Curvas de carga y descarga: Gráfica utilizada para definir el funcionamiento y prestaciones de una batería.

- Descargas anormales: Son aquella que se separa al menos un 10% de la normal teórica estimada para su curva de descarga (subjetiva a cada fabricante)” (p. 17-22).

2.5.1. Baterías de níquel cadmio

(Ordoñez, 2011) “Utilizan un cátodo de hidróxido de níquel, un ánodo de un compuesto de cadmio y un electrolito de hidróxido de potasio. Esta configuración de materiales permite recargar la batería una vez está agotada, para su reutilización. Sin embargo, su densidad de energía es de tan sólo 50 W-h/kg, por lo que poseen una capacidad media. Admiten sobrecargas, además de poder seguir siendo cargadas cuando ya no admiten más carga (aunque no se almacene). En la proximidad al estado de plena carga, se produce un aumento súbito de la tensión de la batería, provocada por un incremento de su resistencia interna, este efecto es conocido como “delta peak” y es utilizado por el cargador para evaluar el final de la carga” (p. 25).



Figura 16. Batería níquel-cadmio

Fuente: Grupo Industronic, Monterrey, Nuevo León, México

a) Características funcionales de las baterías de níquel-cadmio.

(Ordoñez, 2011) “Desde el punto de vista funcional, las baterías de níquel-cadmio superan en sus prestaciones a la tecnología de plomo-ácido (tanto abiertas como de válvula regulada).

Ventajas:

- Tecnología muy establecida.
- Buen comportamiento en un amplio margen de temperaturas (-40°C ÷ 60°C).
- Admiten sobrecargas, se pueden seguir cargando cuando ya no admiten más carga, aunque no la almacenan.
- Vida cíclica larga (superior a los 1.500 ciclos, de dos a tres veces lo alcanzado por la tecnología de plomo-ácido).
- Gran robustez ante abusos eléctricos y mecánicos.
- Gran fiabilidad, no fallan de forma repentina como las baterías de plomo-ácido.

A pesar de las ventajas de esta tecnología de batería existen inconvenientes que han frenado su uso más generalizado.

Desventajas:

- Precio elevado, en comparación con las baterías de plomo-ácido.
- Dentro de los componentes utilizados en la fabricación de estas baterías se encuentra el cadmio, elemento altamente contaminante y que obliga a aumentar la eficiencia en el reciclado de estas baterías, una vez que quedan fuera de servicio. En la actualidad existen técnicas para el reciclado total de este tipo de baterías y los esfuerzos encaminados en este sentido están apoyados de forma conjunta por los gobiernos y los grandes fabricantes de baterías.
- Actualmente ya no se fabrican en muchos de los países desarrollados.
 - Autodescarga de un 10% mensual.
- La tensión nominal es de 1,2 V/celda, un valor bastante bajo por celda, lo que requiere la conexión en serie de un mayor número de celdas para alcanzar una determinada tensión.
- Efecto memoria muy alto.
- Sufren envejecimiento prematuro con el calor” (p. 26).

2.5.2. Baterías de níquel-hidruro metálico.

(Ordoñez, 2011) “El hidruro metálico de níquel (NiMH) se introdujo comercialmente en la última década del siglo XX. Tiene un rendimiento similar al de la batería de NiCd, siendo la principal diferencia que en la batería de NiMH utiliza un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo de una aleación de hidruro metálico, que las hacen libre de cadmio, lo que conlleva una ventaja considerable. Estas ventajas se centran básicamente en un aumento de la capacidad, una disminución del peso y un menor efecto memoria.



Figura 17. Baterías de níquel-hidruro metálico

a) Características funcionales de las baterías de níquel-hidruro metálico.

La tecnología de níquel-hidruro metálico tiene características eléctricas similares a la tecnología de níquel-cadmio. La tensión nominal por celda es 1,2V y las curvas de carga y descarga son bastante parecidas. Al igual que en las baterías de NiCd es el efecto “delta peak” el utilizado para marcar el fin de carga en las baterías

Ventajas:

- Una mayor densidad energética y mayor energía específica, que el NiCd.
- Tecnología libre de cadmio (menos contaminante).
- Pueden ser cargadas con un cargador convencional.
- Seguras.
- Fácil manejo comparado con la tecnología del litio.

Aunque se han conseguido avances importantes con la tecnología de níquel-hidruro metálico estas baterías presentan ciertas desventajas que han limitado su uso:

Desventajas:

- Alta razón de autodescarga, entre un 15 a un 20% por mes.
- Menor fiabilidad que las baterías Ni-Cd,
- No soportan fuertes descargas.
- Voltaje bajo de 1,2V por celda.
- Vida media de aproximadamente 300-500 ciclos de carga (en función del fabricante)
- Tiempos de carga superiores al Ni-Cd” (p. 27).

2.5.3. Baterías de litio

(Ordoñez, 2011) “En 1990 aparecieron las baterías de ion-litio, ofreciendo mayores capacidades y menores pesos. El litio (Li) es el metal más ligero que existe, ya que, al tener únicamente tres protones, su peso atómico es muy bajo. Permitiendo un gran potencial químico para crear baterías de gran capacidad con poco peso” (p. 27).

a) Características generales de las baterías de litio

(Ordoñez, 2011) “El voltaje de una celda de la familia de litio oscila entre los 3.3 a 3.7 Voltios, lo que permite diseñar baterías de una única celda que se utilizan especialmente en teléfonos o aeromodelos de vuelo indoor. Recordemos que para alcanzar un voltaje similar con una batería de níquel-Cadmio sería necesario utilizar tres células conectadas en serie.

Las baterías de la familia del litio no requieren mantenimiento, cosa que no puede decirse de otras baterías. No tienen efecto memoria y no es necesario realizar un reciclado cada cierto número de cargas. Además, el ratio de autodescarga de una batería almacenada es menos de la mitad de otros tipos de batería.

Pero también hay que tener en cuenta que su estructura es frágil y requieren de un circuito de seguridad. Se hace necesario un circuito que limita el voltaje máximo que puede alcanzar cada célula durante la carga, y también limitar el voltaje mínimo de cada célula durante la descarga. Aproximadamente el factor de carga de una batería es de 1C o 2C.

Ventajas:

- Alta densidad de energía.
- Alta energía específica.
- Alta capacidad de descarga en algunos tipos de baterías de litio.
- No necesitan de mantenimiento.
- Sin efecto memoria.
- Bajo efecto de autodescarga.

Desventajas:

- Requiere un circuito de seguridad para mantener los límites de voltaje máximo
- y mínimo por celda.
- Almacenar en lugar frío al 40% de su carga.
- Baja capacidad de descarga en las baterías de iones de litio.
- Limitaciones en su transporte aéreo.
- Precio superior a otras baterías” (p. 30).

Dentro de la familia de las baterías de litio, existen diferentes tipos así:

- Polímero de Litio (LiPo).



Figura 18. Batería polímero de litio High Rate Version

Fuente: www.eemb.com

- Ion de Litio (con cátodo de LiCoO_2).



Figura 19. Batería de Ion de litio

Fuente: Master Instruments Pty Ltd.

- Ion de litio con cátodo de LiFePO_4 .

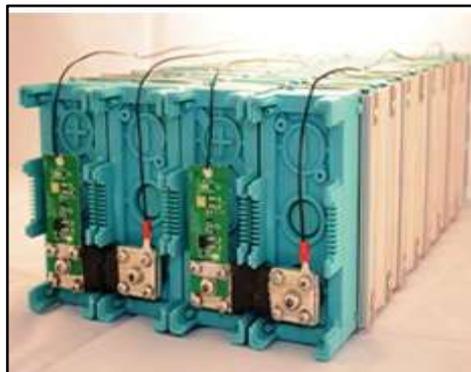


Figura 20. Baterías de ion litio de cátodo LiFePO_4

Fuente: Hybrid Stein Group

2.5.4. Comparación de las prestaciones de los distintos tipos de baterías.

(Ordoñez, 2011) “A continuación se muestran las principales características que definen una batería. Estas características serán las que determinen que tipo de baterías es más adecuada en función de su uso. Recordar que este proyecto nace de la necesidad de buscar documentación para ampliar el conocimiento sobre las baterías actuales en el mercado. En concreto para su aplicación en una moto de competición eléctrica” (p. 34).

Tabla 4.

Comparativa de diferentes tipos de baterías

Tecnología	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ion [LiCoO ₂]	LiFe	Li-PO
Parámetros					
Voltaje (V/celda)	1.2v	1.2v	3.6/3.7v	3.3v	3.7v
Autodescarga (%/mes)	10%	30%	8%	-	5%
Descarga en continua	10c	8c	1c	26c	20-45c
Descarga por picos	-	-	-	52c	30-90c
Mantenimiento	Malo	Regular	Fácil	Bueno	Fácil
Ciclos de vida	1500-2000	300-500	400-1200	2000	>1000
Densidad energética [W-h/l]	50-150	140-300	250-360	220	300
Energía específica [W-h/kg]	40-60	30-80	100-250	90-110	130-200
Potencia específica [W/Kg]	150	250-1000	250-340	3000	7100
Corriente carga rápida [C]	1- 2	1-2	1	4	1-2
Eficiencia. carga/descarga	70%-90%	66%	80%-90%	-	99.8%
Tolerancia a sobrecargas	M. buena	Media	M. mala	Mala	M. mala
Robustez a impactos	M. buena	Buena	M. mala	Media	M. mala
Altas temperaturas	M. buena	Media	M. mala	Mala	M. Mala
Problemas de ecualización	No	No	Si	Si	Si
Seguridad	M. buena	M. buena	M. buena	M. buena	Buena

2.6. Vehículos eléctricos: híbridos y enchufables

(López, 2017) Formula que “Los vehículos de accionamiento eléctrico usan la electricidad como fuente principal de energía o la utilizan para mejorar la eficiencia de diseños vehiculares convencionales. Estos vehículos se pueden dividir en tres categorías:

- Vehículo híbrido eléctrico o HEV (Hybrid Electric Vehicle)
- Vehículo híbrido enchufable o PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)
- Vehículo eléctrico o EV (Electric Vehicle)” (p.17).

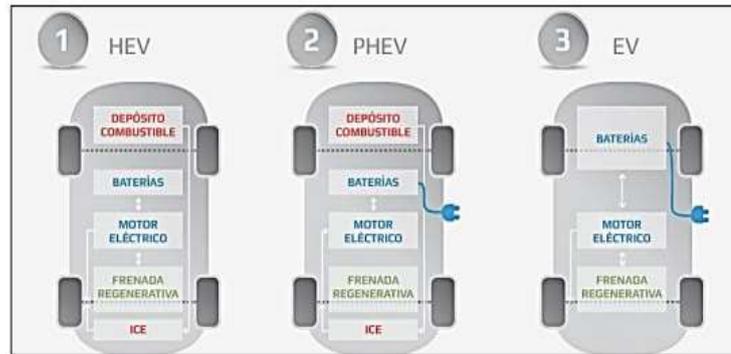


Figura 21. Tipos de vehículos eléctricos

Fuente: (López, 2017)

2.6.1. Vehículo eléctrico o EV

(Iniesta, A, 2015) Describe que “El vehículo totalmente eléctrico o vehículo eléctrico de baterías elimina el motor de combustión, por lo que las ruedas son impulsadas por un motor eléctrico. La energía para ello se almacena en las baterías que llega a través de los puntos de recarga a la red o mediante la frenada regenerativa. Estos vehículos permiten recorrer distancias de hasta 150 y 300 km debido a que están abastecidos con la tecnología más avanzada en baterías, como las de litio” (p.21).

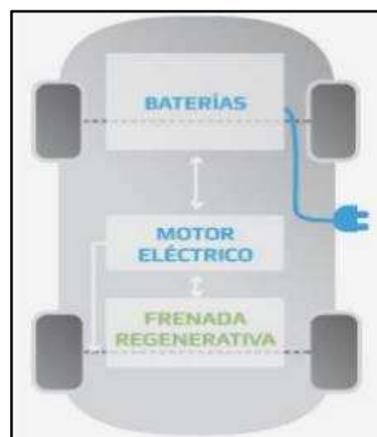


Figura 22. Componentes del vehículo eléctrico

Fuente: (Iniesta, A, 2015)

(Córdova, A, 2015) Propone que “El vehículo eléctrico, es impulsado por uno o varios motores eléctricos, presentando un alto rendimiento en lo que respecta a la transformación de energía eléctrica de la batería en energía mecánica con la cual se moverá el automóvil alcanzando un 60- 85% a

diferencia de los vehículos convencionales que emplean motores de combustión interna cuyo rendimiento oscila entre 15- 20%. Se destaca también el frenado regenerativo en el cual las baterías se cargan automáticamente cada vez que el automóvil se detiene.

El vehículo eléctrico no contamina mientras está funcionando, la energía eléctrica necesaria para mover el vehículo eléctrico provoca emisiones contaminantes dependiendo de cómo se haya generado dicha energía. Ecuador cuenta con un gran potencial hídrico lo cual repercutiría en tener vehículos con emisiones mínimas” (p.8).

2.6.2. Vehículos híbridos enchufables

(Iniesta, A, 2015) Plantea que “Estos vehículos son conocidos como vehículos Plug-in y se diferencian del vehículo híbrido en que las baterías tienen acceso a ser recargas de forma independiente a través de una conexión a la red eléctrica. Estos vehículos tienen un doble comportamiento, pues en las distancias cortas funcionan como vehículo eléctrico y en las distancias largas como híbrido eléctrico. En cuanto a características estructurales, cabe destacar que el motor de combustión interna es más pequeño que el del vehículo convencional, dado que en esta tipología el uso del motor eléctrico va a ser mayor, sacándole el mayor partido y consiguiendo mayores autonomías en modo eléctrico durante 25 y 50 km, gracias al equipamiento de baterías de mayor tamaño” (p.20).



Figura 23. Vehículos híbridos enchufables

Fuente: (Iniesta, A, 2015)

(Iniesta, A, 2015) Enuncia que “Dado que estadísticamente la sociedad emplea el vehículo como medio de transporte para desplazamientos reiterados y de poca distancia, el híbrido enchufable es ideal para un entorno urbano donde se puede recuperar la energía en las frenadas y no consumir durante las paradas. Este sería impulsado por el motor eléctrico, contando siempre con el motor térmico para realizar autonomías mayores. Pero lo realmente importante es que, realizando un análisis global, la mayoría de kilómetros recorridos serían gracias al uso del motor eléctrico y, por tanto, sustentados con energía limpia de la red” (p.20).

Las ventajas que presenta el Vehículo Híbrido Enchufable son las siguientes:

- Menor consumo de combustible por cada kW-h consumido.
- Mayor eficiencia del combustible.
- Se consiguen mayores autonomías en modo eléctrico.
- Menores emisiones contaminantes, sobre todo si la electricidad consumida es de origen renovable como la eólica.

Con ellos surge la posibilidad de comportarse como acumuladores de energía y poder devolver la energía sobrante a la red. Sin embargo, la desventaja de esta tipología reside en el incremento del grado de hibridación, pues como consecuencia a ello el coste del vehículo se ve aumentado, al igual que ocurre con el peso y el tamaño de las baterías.

Cabe concluir que el PHEV se presenta como una alternativa al coche eléctrico, tanto por su semejante comportamiento en desplazamientos urbanos, como por una mayor flexibilidad y rendimiento en recorridos interurbanos.” (p.22).

2.7. Conectores

(Palomeque, 2015) “El conector es un dispositivo que permite enlazar circuitos eléctricos. Se caracteriza por su forma de pines, construcción, resistencia al contacto y vibración, tamaño, fiabilidad, facilidad de conexión desconexión. Estos dispositivos se pueden configurar para evitar malas

conexiones con sistemas de bloqueo para asegurar el dispositivo y brindan protección durante la recarga” (p. 4).

2.7.1. Tipos de conectores

(Martín, 2015) “Los tipos de conectores todavía no están estandarizados a nivel mundial. Así que hay varios enchufes, con diferente tamaño y propiedades. Ha habido un intento de unión entre los fabricantes alemanes y los norteamericanos con el sistema combinado, pero no se han puesto de acuerdo con los franceses y los japoneses”.

- (Martín, 2015) “Conector doméstico tipo Schuko, responde al estándar CEE 7/4 Tipo F y es compatible con las tomas de corriente europeas. Tiene dos bornes y toma de tierra y soporta corrientes de hasta 16 A, solo para recarga lenta y sin comunicación integrada. Lo podemos encontrar en múltiples electrodomésticos” (p. 55)



Figura 24. Conector doméstico tipo schuko

Fuente: (Martín, 2015).

- (Magarín, 2013) “Conector SAE J1772, a veces conocido también como Yazaki. Es un estándar norteamericano, y es específico para vehículos eléctricos. Mide 43 mm de diámetro. Tiene cinco bornes, los dos de corriente, el de tierra, y dos complementarios, de detección de proximidad (el coche no se puede mover mientras esté enchufado) y de control (comunicación con la red).

- Nivel 1: Hasta 16 A, para recarga lenta.
- Nivel 2: Hasta 80 A, para recarga rápida” (p. 56).



Figura 25. Conector SAE J1772

Fuente: (Martín, 2015)

- (Martín, 2015) “Conector Mennekes, es un conector alemán de tipo industrial, VDE-AR-E 2623- 2-2, a priori no específico para vehículos eléctricos. Mide 55 mm de diámetro. Tiene siete bornes, los cuatro para corriente (trifásica), el de tierra y dos para comunicaciones.
 - Monofásico, hasta 16 A, para recarga lenta.
 - Trifásico, hasta 63 A (43,8 kW) para recarga rápida” (p. 56)



Figura 26. Conector Mennekes

Fuente: (Martín, 2015)

- (Martín, 2015) “Conector único combinado, se ha propuesto por norteamericanos y alemanes como solución estándar. Tiene cinco bornes, para corriente, protección a tierra y comunicación con la red. Admite recarga tanto lenta como rápida” (p. 57).



Figura 27. Conector único combinado

Fuente: (Martín, 2015)

- (Martín, 2015) “Conector Scame, también conocido como EV Plug-in Alliance, principalmente apoyado por los fabricantes franceses. Tiene cinco o siete bornes, ya sea para corriente monofásica o trifásica, tierra y comunicación con la red. Admite hasta 32 A (para recarga semirápida)” (p. 57).



Figura 28. Conector Scame

Fuente: (Martín, 2015)

- (Martín, 2015) “Conector Chademo, es el estándar de los fabricantes japoneses (Mitsubishi, Nissan, Toyota y Fuji, de quien depende Subaru). Está pensado específicamente para recarga rápida en corriente continua. Tiene diez bornes, toma de tierra y comunicación con la red. Admite hasta 200 A de intensidad de corriente (para recargas ultra-rápidas). Es el de mayor diámetro, tanto el conector como el cable” (p. 58).



Figura 29. Conector Chademo

Fuente: (Martín, 2015).

2.8. Cargadores de baterías

(Cuji-Sánchez, 2015) “Transforma corriente alterna a corriente directa o continua, mediante un circuito de carga adecuado para ello además de ser regulada y es almacenada en las baterías es necesario además que el nivel de voltaje este constantemente monitoreado ya que si existe un voltaje excesivo puede causar accidentes para lo cual se apoyara en la electrónica avanzada para lograr cumplir con varios parámetros de carga”.

La carga de corriente depende de la tecnología y de la capacidad de la batería a cargar. Por ejemplo, para el proyecto se utilizó baterías de tipo Níquel-Hidruro Metálico (Ni-MH) cada una compuesta por 6 celdas de 1,2V nominal mediante una configuración en serie obteniendo así 7,2V nominal y una capacidad de 6,5A. La corriente y la tensión que debería suministrarse como indica la tabla 4 para una recarga segura de la batería.

2.8.1. Métodos de carga para baterías de Ni-MH

(Magarín, 2013) “El calor es el gran enemigo de las baterías de NiMH. Si se carga una batería con una corriente elevada y una vez alcanzada la carga máxima se sigue suministrando corriente, esta se disipa en el interior de la batería en forma de calor, pudiendo deteriorarla o incluso destruirla.

Existen cargadores de baterías comerciales que detectan el momento de carga máxima, pues en ese punto se observa un pico en el voltaje. Estos

cargadores permiten un proceso de carga relativamente rápido, se observa que las baterías están tibias.

El voltaje para cargar las baterías se mueve en un rango de entre 1.2 y 1.4 veces la tensión nominal de la batería.

En general, un método de carga a voltaje constante no se puede usar para cargas automáticas. Un apunte importante es que no se pueden intercambiar cargadores entre los diferentes tipos de baterías, es decir, un cargador para baterías de NiCd no puede ser usado para este tipo de baterías. A continuación, se indican los métodos de carga que se suelen utilizar” (p. 23).

a) Método de carga por goteo

(Magarín, 2013) “Es el modo más seguro de cargar las baterías de Ni-MH, ya que se basa en aplicar un corriente de pequeña magnitud incluso sin tener en cuenta el tiempo de carga. Muchos fabricantes aseguran que la sobrecarga es segura a bajas corrientes, por debajo de 0.1C, aunque por norma general se recomienda limitar el tiempo de carga entre 10 y 20 horas. Algunos cargadores pasan a funcionar con un índice de carga (IC) de C/300 al terminar el ciclo de carga para así contrarrestar la descarga natural de la propia batería” (p. 23).

b) Método de carga de la variación de tensión

(Magarín, 2013) “Este método es más rápido que la carga por goteo, pero el cargador tiene que saber cuándo terminar la carga para evitar dañar la batería. El método consiste en monitorizar el voltaje de la batería. Cuando la batería se ha cargado por completo, su tensión disminuye ligeramente. Esta disminución de tensión puede ser casi inapreciable en las baterías de Ni-MH cuando la corriente de carga es pequeña. Lo que se suele hacer es controlar la tensión y terminar la carga cuando la variación de tensión con el tiempo es igual a cero, pero se corre el riesgo de provocar un corte en la carga de forma prematura.

Con este método se puede aplicar un índice de carga mucho mayor, llegando a un valor de 1 C. Con este índice de carga la caída de tensión al

final del proceso de carga está aproximadamente entre 5 y 10mV por celda. Para realizar este tipo de carga se tiene que aplicar corriente constante durante la carga” (p. 24).

c) Método de carga de la variación de temperatura

(Magarín, 2013) “Este método es similar al anterior. Cuando la batería no está completamente cargada, la mayoría de la energía suministrada se convierte en energía almacenada. Sin embargo, a partir del momento en que la batería se ha cargado por completo, la energía suministrada se disipa en forma de calor en la batería. El incremento en la temperatura de la batería puede ser detectado por un sensor. Por norma general una variación de 1 °C por minuto indica que se ha alcanzado el final de la carga.

Con el método de variación de tensión y el método de variación de temperatura se recomienda, una vez que se ha detectado que la batería está cargada, aplicar por un tiempo el método de carga por goteo” (p. 24).

2.8.2. Tipos de cargadores de baterías

(Tenorio-Vallejo, 2010) Menciona en su proyecto de titulación que: existen diferentes tipos de cargadores de baterías.

- **Mantenimiento**

“Un cargador de mantenimiento es un tipo de cargador sencillo que carga la batería muy despacio, a la velocidad de auto descarga; es el tipo de cargador más lento. Una batería puede dejarse en un cargador de este tipo por tiempo indefinido, manteniéndose cargada por completo sin riesgo de sobrecarga o calentamiento. Está indicado para el mantenimiento de la fuente de energía de sistemas desatendidos, como sistemas de alarma o de iluminación de emergencia” (p. 28).

- **Con temporizador**

“La corriente de salida de un cargador de este tipo se corta tras un tiempo predeterminado. Estos cargadores fueron los más comunes para baterías Ni-Cd de alta capacidad a finales de la década de 1990.

(Para las pilas de consumo NiCd, de baja capacidad, se suele usar un cargador sencillo). Es frecuente encontrar a la venta este tipo de cargadores junto a un paquete de pilas. El tiempo de carga viene configurado para ellas. Si se utilizan en ellos otras pilas de menor capacidad, podrían sufrir una sobrecarga. De otro lado, si se cargan pilas de mayor capacidad que las originales solo quedarán cargadas parcialmente. Los avances en este tipo de tecnología incrementan la capacidad de las pilas cada año, por lo que un cargador antiguo puede que solo cargue parcialmente las pilas actuales. Los cargadores basados en un temporizador tienen también el inconveniente de provocar sobrecargas en pilas que, aun siendo las adecuadas, no están totalmente descargadas cuando se ponen a cargar” (p. 28).

- Inteligente

“La corriente de salida depende del estado de la batería. Este cargador controla el voltaje de la batería, su temperatura y el tiempo que lleva cargándose, proporcionando una corriente de carga adecuada en cada momento. El proceso de carga finaliza cuando se obtiene la relación adecuada entre voltaje, temperatura y/o tiempo de carga. En las baterías de Ni-Cd, el voltaje que puede ofrecer la batería aumenta poco a poco durante el proceso de carga hasta que la batería está totalmente cargada. Tras esto el voltaje disminuye, lo que indica a un cargador inteligente que la batería está totalmente cargada. Un cargador inteligente típico carga la batería hasta un 85% de su capacidad máxima en menos de una hora, entonces cambia a carga de mantenimiento, lo que requiere varias horas hasta conseguir la carga completa” (p. 29).

- Rápido

“Un cargador rápido puede usar el circuito de control de la propia batería para conseguir una carga rápida de ésta sin dañar los elementos de sus celdas. Muchos de estos cargadores disponen de un ventilador para mantener la temperatura controlada. Suelen actuar

como un cargador normal, carga en una noche si se usan con pilas normales de NiMH, que no tienen un circuito de control. Algunos, como los fabricados por Energizer, pueden realizar una carga rápida de cualquier batería NiMH aunque ésta no disponga del circuito de control” (p. 29).

2.8.3. Cargador trifásico

(Tenorio-Vallejo, 2010) “Los cargadores trifásicos serán alimentados desde una fuente trifásica de 210 V, 60 Hz, se debe tener, tanto para la entrada como para las salidas a la carga externa y a las baterías, fusibles de alta capacidad de ruptura, de calibre adecuado, con indicador de fallas.

Los rectificadores serán del tipo trifásico con puentes de diodos de silicio y deberán suministrar en funcionamiento a flote una tensión de $\pm 1\%$ respecto a la nominal frente a variaciones de tensión de alimentación de $\pm 15\%$ y de frecuencia $\pm 5\%$ y de la carga entre 10 y 100 % de la corriente nominal.

La estabilización de la tensión deberá ser efectuada mediante reactores saturables o tiristores controlados por una corriente proporcional a la diferencia entre la tensión de salida y la tensión de referencia. Esta última podrá regularse manualmente en forma continua.

Los cargadores deberán limitar automáticamente la corriente de salida a un valor máximo de 100% de la corriente nominal bajando para ello la tensión de salida. De esta manera se obtendrá para carga a fondo una característica del tipo corriente constante inicial tensión constante final.

La conmutación de carga "a flote" a carga "a fondo" deberá poder ser seleccionada para operar en forma manual o automática. La conmutación automática a posición de carga a fondo será por baja tensión de batería y/o con posterioridad a una falta de tensión de entrada. Una vez completada la carga a fondo de, la batería y transcurrido el tiempo seleccionado para la carga final a tensión constante, el cargador pasará automáticamente a la posición normal de carga a flote.

Los cargadores deben contar con filtro sobre la derivación al consumo para mantener la forma de onda dentro de los valores especificados.

Deberán contar, además, sobre la derivación al consumo, un sistema adecuado para mantener la tensión dentro de los rangos máximos y mínimos especificados cuando se realiza la carga a fondo de la batería. Se deberá contar con diodos dispuestos de manera tal de evitar la descarga de la batería sobre el cargador en caso de baja tensión de este último” (p. 31).

Conclusiones del capítulo

- Se desarrolló la investigación bibliográfica, manuales, bases digitales, artículos científicos y datos técnicos que permitieron un manejo adecuado de los equipos, del vehículo Toyota Prius tercera generación, del sistema híbrido plug in y del desarrollo del trabajo práctico.
- Se determinó diferentes ecuaciones para determinar los parámetros que caracterizan a una batería de alto voltaje.
- Se estructuró la tabla de comparación de las prestaciones de los distintos tipos de baterías en los vehículos híbridos y eléctricos.

CAPÍTULO III.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PLUG – IN

En este capítulo se presenta el procedimiento de la selección de las celdas que contiene la batería adicional de alto voltaje, cálculos para la selección de los materiales electrónicos, diagramas eléctricos, pacas electrónicas de cada uno de los módulos que son necesarios para la implementación del sistema plug-in.

3. Levantamiento de requerimientos del sistema plug-in.

3.1. Requerimientos iniciales

Los requerimientos necesarios para la implementación del sistema plug-in y la selección de la batería de alto voltaje se detallan en la tabla 5.

Tabla 5.

Requerimientos iniciales necesarios para la implementación del sistema plug-in

Requerimientos iniciales de la batería original del vehículo Toyota Prius 3G	
Requerimientos	Valores
Voltaje total de la batería	201,6 V
Voltaje total de la batería más el 20 % de carga	241,9 V
Número de celdas	28
Peso del conjunto de la batería	39 kg
Voltaje de celda individual	7,2 V
Capacidad	6,5 A-h
Voltaje de cada mini celda	1,2 V
Número de mini celdas	6
Potencia individual por celda	0,0468 KW
Potencia total de la batería	1,3104 KW
Requerimientos iniciales de la batería adicional para el sistema plug-in	
Número de celdas	28
Voltaje total de la batería	201,6 V
Voltaje total de la batería más el 20 % de carga	241,9 V
Peso del conjunto de la batería	39 kg
Voltaje de celda individual	7,2 V

Capacidad	6,5 A-h
Voltaje de cada mini celda	1,2 V
Número de mini celdas	6
Potencia individual por celda	0,0468 KW
Potencia total de la batería	1,3104 KW
Capacidad real de la batería	75 %
Requerimientos iniciales de la carga de batería adicional de alto voltaje	
Corriente de carga	0,7 A
Tiempo de carga	3 h 42 minutos
Potencia de carga	0,154 KW
Potencia de carga total al 40%	0,524 KW
Consumo de KW de la red	\$ 5,24

3.2. Análisis de la batería original de alto voltaje del vehículo Toyota Prius 3G

(Toyota Motor, 2004) Menciona que “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 celdas de baterías de NiMH de baja tensión (7,2 voltios) conectados en serie para producir aproximadamente 201,6 voltios y además cada celda consta de un 20% de carga adicional dando un total de 241.9 V
- El electrolito utilizado en las celdas 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.
- Consta de tres sensores de temperatura los cuales van ubicados aleatoriamente en la batería HV los cuales tienen como función

monitorear la temperatura al momento que exista una carga o descarga de la batería según las necesidades del vehículo” (p.9).

Tabla 6.

Características de la batería HV del vehículo Toyota Prius 3G

CARÁCTERÍSTICAS DE LA BATERÍA HV DEL VEHÍCULO TOYOTA PRIUS 3G	
Voltaje total de la batería	201,6 V
Voltaje total de la batería más el 20 % de carga	241,9 V
Número de celdas	28
Peso del conjunto de la batería	39 kg
Voltaje de celda individual	7,2 V
Capacidad	6,5 A-h
Voltaje de cada mini celda	1,2 V
Número de mini celdas	6

a) Cálculo de capacidad de potencia de la batería original de alto voltaje.

Para obtener la potencia de la batería HV del vehículo Toyota PRIUS 3G se obtiene de la siguiente manera.

Tabla 7.

Parámetros para calcular la capacidad de la batería

PARAMETROS DE CAPACIDAD DE LA BATERÍA		
Capacidad de la batería	Voltaje Nominal de cada celda	Número de celdas
6,5 A-h	7,2 V	28

$$P_{o \text{ ind}} = V_{\text{ndc}} * \text{Cap. b}$$

Ecuación 5: Ecuación de la potencia eléctrica

Donde:

$P_{o\ ind} =$ Potencia individual de la batería original

$V_{\ ndc} =$ Voltaje nominal de cada celda

$Cap.\ b =$ Capacidad de la batería

Así:

$$P_{o\ ind} = V_{\ ndc} * Cap.\ b$$

$$P_{o\ ind} = 7,2\ V * 6,5\ A - h$$

$$P_{o\ ind} = 46,8\ W$$

$$P_{o\ ind} = 0,0468\ kW\ por\ celda$$

$$P_{o\ t} = P_{o\ ind} * N_c$$

Ecuación 6: Ecuación de la potencia eléctrica total

Donde:

$P_{o\ t} =$ Potencia total de la batería original

$P_{o\ ind} =$ Potencia individual de la batería original

$N_c =$ Número de celdas

Así:

$$P_{o\ t} = P_{o\ ind} * N_c$$

$$P_{o\ t} = 0,0468\ kW * 28$$

$$P_{o\ t} = 1.3104\ kW$$

a) Proceso de medición del voltaje nominal de cada una de las celdas de la batería original de alto voltaje por medio del multímetro automotriz.

Antes de iniciar con la implementación del sistema plug – in se debe conocer si la batería original del vehículo Toyota Prius 3G está en óptimas condiciones, por lo cual se debe realizar la medición del voltaje nominal de cada una de sus celdas con un multímetro automotriz y a su vez con la interface Techstream en el cual se puede visualizar los valores de voltaje de los 14 bloques que está compuesta la batería de alta tensión.

Se debe tener presente las siguientes consideraciones antes de empezar a desmontar la carcasa de la batería original de alto voltaje:

1. El vehículo debe estar apagado.
2. Identificar en qué lugar se encuentra la batería de alta tensión y el jumper de seguridad.



Figura 30. Ubicación de la batería de alta tensión.

3. Antes de empezar con el desmontaje de la carcasa de la batería de alto voltaje, desconectar el jumper de seguridad y la batería de 12v.
4. Una vez desmontada la carcasa de la batería de alta tensión con un multímetro automotriz realizar la medición del voltaje nominal de las 28 celdas.

5. Trabajar siempre con los equipos de seguridad como son guantes aislantes y zapatos punta de acero para no correr riesgos de algún tipo de descarga de la batería de alta tensión.



Figura 31. Voltaje nominal de las celdas de la batería de alta tensión

Tabla 8.

Valores de voltaje de las celdas de la batería original de alto voltaje del vehículo Toyota Prius 3G por medio del multímetro automotriz.

BATERÍA DE ALTO VOLTAJE – ORIGINAL			
Número de celda	Voltaje (voltios)	Número de celda	Voltaje (voltios)
1	7,93 V	15	7,92 V
2	7,92 V	16	7,91 V
3	7,92 V	17	7,92 V
4	7,91 V	18	7,91 V
5	7,92 V	19	7,92 V
6	7,91 V	20	7,91 V
7	7,92 V	21	7,92 V
8	7,91 V	22	7,91 V
9	7,92 V	23	7,92 V
10	7,91 V	24	7,91 V
11	7,92 V	25	7,92 V



12	7,91 V	26	7,92 V
13	7,92 V	27	7,93 V
14	7,91 V	28	7,92 V

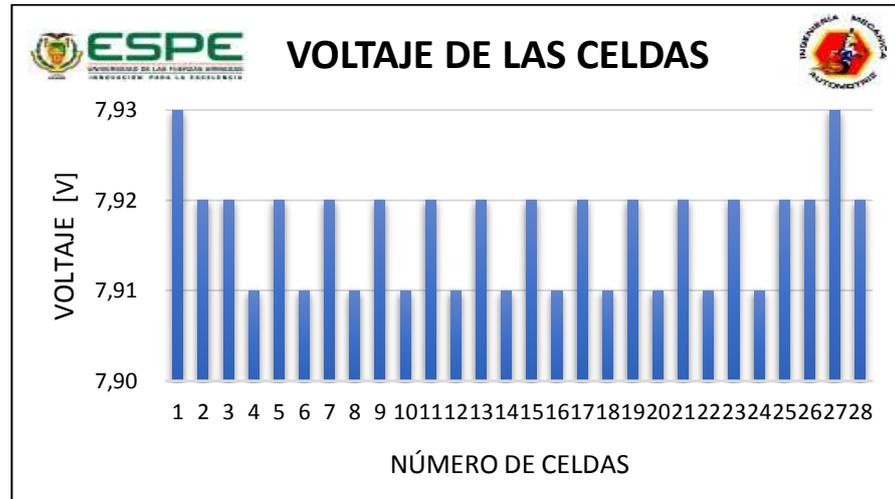


Figura 32. Medición de ecualización de los valores de voltaje de la batería de alta tensión

En la figura 32 se observa que ninguna de las celdas está por debajo del voltaje nominal de 7,2 v ni por encima del 20% de tolerancia lo cual indica que la batería original se encuentra en óptimo estado y es viable la implementación del sistema plug – in.

b) Proceso de medición de los bloques de la batería original de alto voltaje por medio del interfaz Techstream.

Se debe identificar el conector OBD II y acoplar el Interfaz Techstream en el vehículo para observar en tiempo real el voltaje de los 14 bloques de la batería original del vehículo Toyota Prius 3 G.

Se debe tener presente las siguientes consideraciones al acoplar el interfaz:

1. El vehículo debe estar encendido o en contacto.
2. Conectar el cable MINI-VCI J2534 a la computadora y monitorear los valores de voltaje de cada bloque de la batería de alta tensión por medio del software Techstream.

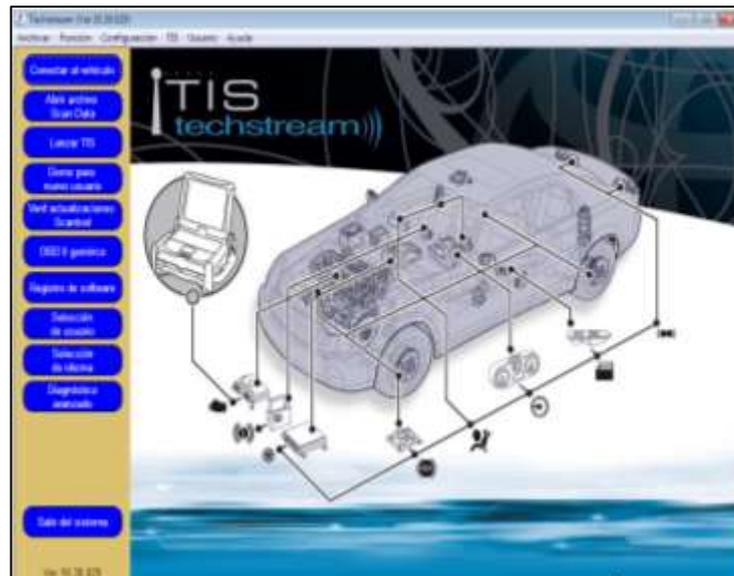


Figura 33. Interfaz Techstream

3. Visualizar los 14 bloques de la batería de alta tensión los cuales no deben estar en un voltaje menor de 14,4 v ni por encima del 20% de tolerancia.

2010 Prius 2ZR-FXE	Parametro	Valor	Unidad
VIN de entrada Códigos de diagnóstico Lista de datos Prueba activa Monitor Utilidad Lista de Datos Duales	VMF Fan Motor Voltage1	0,0	V
	Auxiliary Battery Vol	14,45	V
	Charge Control Value	-21,5	KW
	Discharge Control Value	19,5	KW
	Cooling Fan Mode1	0	
	Standby Blower Request	OFF	
	Temp of Batt TB1	72,0	F
	Temp of Batt TB2	72,3	F
	Temp of Batt TB3	71,1	F
	Battery Block Vol -V01	15,08	V
	Battery Block Vol -V02	15,01	V
	Battery Block Vol -V03	15,08	V
	Battery Block Vol -V04	15,01	V
	Battery Block Vol -V05	15,04	V
Battery Block Vol -V06	15,00	V	
Battery Block Vol -V07	15,04	V	
Battery Block Vol -V08	15,01	V	
Battery Block Vol -V09	15,04	V	
Battery Block Vol -V10	15,00	V	
Battery Block Vol -V11	15,06	V	
Battery Block Vol -V12	15,01	V	
Battery Block Vol -V13	15,04	V	
Battery Block Vol -V14	15,04	V	

Figura 34. Voltaje de los bloques de la batería de alto voltaje por medio del software Techstream

Tabla 9.

Valores obtenidos por medio del software Techstream.

BATERÍA DE ALTO VOLTAJE – ORIGINAL			
Número de celda	Voltaje (voltios)	Número de celda	Voltaje (voltios)
1	15,08 V	8	15,01 V
2	15,01 V	9	15,04 V
3	15,08 V	10	15,00 V
4	15,01 V	11	15,06 V
5	15,04 V	12	15,01 V
6	15,00 V	13	15,04 V
7	15,04 V	14	15,04 V

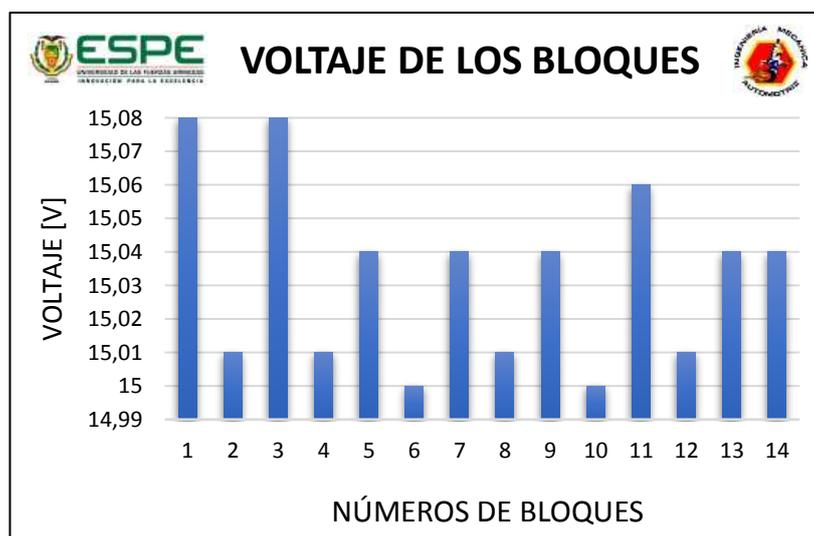


Figura 35. Medición de ecualización de los valores de voltaje de la batería de alta tensión por el interfaz Techstream.

En la figura 35 se observa que ningún bloque está por debajo de 14,4V, ni por encima del 20% de tolerancia lo cual indica que el bloque de la batería original se encuentra en optimo estado y es viable la implementación del sistema plug – in.

3.3. Parámetros a tomar en cuenta para la selección de la batería adicional.

Para la implementación de la batería adicional no es necesario una batería nueva ya que la mayoría de baterías que son dadas de baja son las que tienen una diferencia de 1 v por cada celda lo cual nos genera un código de error en el vehículo, pero eso no quiere decir que las baterías están deterioradas ya que existe la posibilidad de identificar las celdas que están en mal estado por el método de ciclado de la batería y a su vez dar un porcentaje de vida útil de la misma

Se debe tener en cuenta que el voltaje de la batería adicional tiene que ser igual al voltaje de la batería original del vehículo Toyota Prius 3G el cual tiene un voltaje total nominal de 201,6 V y con un 20 % de carga adicional dando 241,9 V.

Para el número de celdas que debe tener la batería HV adicional se obtiene de la siguiente manera:

$$V t = Nc * Vndc$$

Ecuación 7: Voltaje total de la batería original

Donde:

$$V t = \text{Voltaje total}$$

$$Nc = \text{Número de celda}$$

$$Vndc = \text{Voltaje nominal de cada celda}$$

Así:

$$V t = Nc * Vndc$$

$$Nc = \frac{V t}{Vndc}$$

$$Nc = \frac{201,6 V}{7,2 V}$$

$$Nc = 28$$

$$V_{nt} = N_c * V_{ndc}$$

Ecuación 8: Voltaje nominal total de la batería original

Donde:

$$V_{nt} = \text{Voltaje nominal total}$$

$$N_c = \text{Número de celda}$$

$$V_{ndc} = \text{Voltaje nominal de cada celda}$$

Así:

$$V_{nt} = N_c * V_{ndc}$$

$$V_{nt} = 28 * 7,2 V$$

$$V_{nt} = 201,6 V$$

Una vez realizado el cálculo del número de celdas que debe tener la batería adicional se toma una batería del vehículo Toyota Prius 3G el cual consta de 28 celdas las cuales tienen 6 micros celdas de 1,2 V dando 7,2 V y a su vez dando un total de 201,6 V y así igualando el voltaje que se necesitó para el presente proyecto de investigación. Para obtener el valor máximo del voltaje de la batería adicional se debe tener en cuenta que tiene un 20% de carga adicional.

$$V_m = V_{nt} + (V_{nt} * 20\%)$$

Ecuación 9: Ecuación del voltaje máximo de la batería

Donde:

$$V_m = \text{Voltaje máximo}$$

$$V_{nt} = \text{Voltaje nominal total}$$

Así:

$$\text{Voltaje máximo} = V_{nominal total} + (V_{nominal total} * 20\%)$$

$$\text{Voltaje máximo} = 201,6 V + (201,6 V * 20\%)$$

$$\text{Voltaje máximo} = 201,6 V + (201,6 V * 20\%)$$

$$\text{Voltaje máximo} = 241,9 V$$

3.3.1. Consumo de energía eléctrica en la red doméstica de la batería adicional del vehículo Toyota Prius 3G

Se planteó que el consumo de energía eléctrica en la red doméstica es de 0,09 centavos el kW hora en una toma de corriente alterna (CA) de 220 V

Se debe tener en cuenta diferentes parámetros que influyen durante el proceso de carga del vehículo Toyota Prius 3G como son los siguientes:

Tabla 10.

Parámetros de Corriente de carga

PARÁMETROS DE CORRIENTE DE CARGA			
Corriente [A]	Voltaje [V]	Tiempo de carga [horas]	Capacidad de la batería adicional [Ah]
0,7	220	3,71	6,5

$$Pa = Ia * Va$$

Ecuación 10: Ecuación de la potencia de carga de la batería adicional

Donde:

Pa = Potencia de carga de la batería adicional

Ia = Corriente de carga a la batería adicional

Va = Voltaje de la red doméstica

Así:

$$Pa = Ia * Va$$

$$Pa = 0,7 * 220 V$$

$$Pa = 154 W$$

$$Pa = 0,154 KW$$

Una vez que se obtiene la potencia que necesita la batería adicional se debe tener en cuenta que la batería nunca va a caer del 40% de su carga y que va a llegar máximo al 80% de carga, por lo cual solo se debe cargar un 40 % faltante

En la ecuación 11 se puede observar el tiempo que necesita la batería adicional para llegar al 40% de carga restante tomando en cuenta que la batería tiene una capacidad de carga de 6,5 A-h.

$$t_{c\ 40\%} = \left(\frac{C_{ba}}{C_{cr}} \right) * 40\%$$

Ecuación 11: Ecuación del tiempo de carga de la batería adicional

Donde:

$t_{c\ 40\%}$ = tiempo de carga para llegar al 40 %

C_{ba} = Capacidad de la batería adicional

C_{cr} = Corriente de carga de la red domestica

Así:

$$t_{c\ 40\%} = \left(\frac{C_{ba}}{C_{cr}} \right) * 40\%$$

$$t_{c\ 40\%} = \left(\frac{6,5A * 1h}{0,7A} \right) * 40\%$$

$$t_{c\ 40\%} = 3,71\ h$$

Una vez realizado el cálculo se necesita 3 horas con 42 minutos para cargar la batería adicional al 40% restante con un amperaje de 0,7 A.

Obtenida la potencia con la cual se va a cargar la batería y teniendo en cuenta que la batería solo necesita un 40% de carga se realiza el siguiente cálculo de la ecuación 12 y así lograr saber cuánto de KW-h se consume de la red doméstica.

$$P_{a\ ind} = V_{a\ ndc} * Cap.\ ba$$

Ecuación 12: Potencia individual de la batería adicional

Donde:

$P_{a\ ind}$ = Potencia individual de la batería adicional

$V_{a\ ndc}$ = Voltaje nominal de cada celda de la batería adicional

$Cap.\ ba$ = Capacidad de la batería adicional

Así:

$$P_{a\ ind} = V_{a\ ndc} * Cap.\ ba$$

$$P_{a\ ind} = 7,2\ V * 6,5\ A - h$$

$$P_{a\ ind} = 46,8\ W$$

$$P_{a\ ind} = 0,0468\ kW\ \text{por celda}$$

$$P_{a\ t} = P_{a\ ind} * Nca$$

Ecuación 13. Potencia total de la batería adicional

Donde:

$P_{a\ t}$ = Potencia total de la batería adicional

$P_{a\ ind}$ = Potencia individual de la batería adicional

Nca = Número de celdas de la batería adicional

Así:

$$P_{a\ t} = P_{a\ ind} * Nca$$

$$P_{a\ t} = 0,0468\ kW * 28$$

$$P_{a\ t} = 1.31\ kW$$

$$P_{a\ t40\%} = P_{a\ t} * 40\%$$

Ecuación 14: Potencia total de la batería adicional al 40%

Donde:

$P_{a\ t40\%}$ = Potencia total de la batería adicional al 40%

$P_{a\ t}$ = Potencia total de la batería adicional

Así:

$$Pa\ t40\% = Pa\ t * 40\%$$

$$Pa\ t40\% = 1,31\ kW * 40\%$$

$$Pa\ t40\% = 1,31\ kW * 40\%$$

$$Pa\ t40\% = 0,524\ kw$$

Considerando que el valor de kW hora tiene un valor de \$0,09 en el Ecuador y teniendo en cuenta que se necesita cargar 0,524 kW durante 3 horas con 42 minutos se realiza el cálculo en la ecuación 15 para obtener el valor a cancelar al mes.

$$Val.\ d = t.\ car * Val\ KW - h$$

Ecuación 15: Ecuación del costo por carga de la batería adicional

Donde:

$$Val.\ d = Valor\ a\ cancelar\ al\ día$$

$$t.\ car = tiempo\ de\ carga$$

$$Val.\ KW - h = Valor\ del\ KW - h$$

$$Val.\ m = Valor\ a\ cancelar\ al\ mes$$

$$Cons.\ EV = Consumo\ de\ energía\ del\ vehículo$$

Así:

$$Val.\ d = (Cons.\ EV * t.\ car) * Val\ KW - h$$

$$Val.\ d = (0,524Kw * 3,71\ horas) * \$ 0,09\ centavos$$

$$Val.\ d = \$ 0,174\ centavos$$

$$Val.\ m = \$ 0,174\ centavos * 30\ días$$

$$Val.\ m = \$ 5,24\ dólares$$

3.3.2. Selección de celdas de la batería adicional por medio del método carga y descarga

Una vez teniendo en cuenta las celdas que se va utiliza en el proyecto se debe hacer una selección de las mismas aplicando el método de carga y descarga así ir descartando las celdas que no cumplen con los parámetros ya mencionados.

Procedimiento que se debe cumplir en el proceso de carga y descarga:

1. Comprobar que cada celda esté dentro del voltaje nominal de 7,2 v y si no es así ir descartando.
2. Descargar cada celda de la batería con un foco Halógeno de 12 W durante 1 hora agregar tiempo si es necesario e ir comprobando el voltaje de cada celda hasta llegar a 3 voltios.



Figura 36. Descarga de las celdas de la batería de alta voltaje.

3. Una vez que todas las celdas estén en un voltaje de 3V, cargar a 2A por medio del banco de pruebas de las baterías de alta voltaje durante 15 minutos y dejar 10 minutos de reposo las cuales debe mantener el voltaje nominal de 7,2V y si no es así ir descartando las celdas que bajen del voltaje nominal.



Figura 37. Banco de pruebas de batería de alta voltaje

Tabla 11.

Valores obtenidos de cada una de las celdas en el proceso de carga a 2A con un reposo de 10 minutos.

VOLTAJE DE LAS CELDAS - BATERÍA ADICIONAL			
Número de celda	Voltaje (voltios)	Número de celda	Voltaje (voltios)
1	7,67 V	15	7,91 V
2	7,67 V	16	7,52 V
3	7,83 V	17	7,55 V
4	7,94 V	18	7,57 V
5	7,84 V	19	7,79 V
6	8 V	20	7,37 V
7	7,93 V	21	7,59 V
8	7,89 V	22	7,74 V
9	7,92 V	23	7,4 V
10	7,84 V	24	7,69 V
11	7,82 V	25	7,39 V
12	7,92 V	26	7,6 V
13	7,83 V	27	7,98 V
14	7,73 V	28	7,54 V

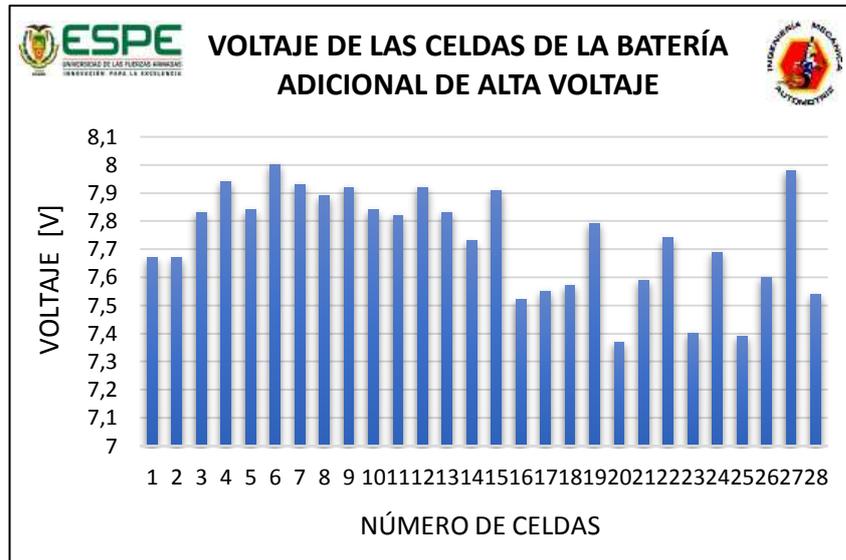


Figura 38. Medición de ecualización del voltaje nominal de las celdas en el proceso de carga a 2A con un reposo de 10 minutos.

4. Tener en cuenta que para realizar la carga se debe dividir la batería de alta voltaje en dos bloques, cada bloque contiene 14 celdas.
5. Cargar la batería de alta voltaje a 2A durante una hora, cada 20 minutos medir las celdas las cuales no deben pasar del 20 % de tolerancia del voltaje nominal, si sobrepasa nos indica que las celdas están teniendo una carga muy rápida, lo cual significa que están en mal estado.



Figura 39. Voltaje nominal de la celda con el 20 % de tolerancia de carga.

Tabla 12.

Valores del voltaje final obtenidos durante una hora de carga a 2A con el 20 % de tolerancia.

VOLTAJE NOMINAL DE LAS CELDAS CON EL 20 % DE TOLERANCIA			
Número de celda	Voltaje (voltios)	Número de celda	Voltaje (voltios)
1	8,64 V	15	8,5 V
2	8,63 V	16	8,4 V
3	8,53 V	17	8,3 V
4	8,63 V	18	8,5 V
5	8,62 V	19	8,6 V
6	8,55 V	20	8,5 V
7	8,48 V	21	8,4 V
8	8,51 V	22	8,5 V
9	8,62 V	23	8,5 V
10	8,55 V	24	8,4 V
11	8,44 V	25	8,3 V
12	8,45 V	26	8,5 V
13	8,64 V	27	8,5 V
14	8,61 V	28	8,6 V

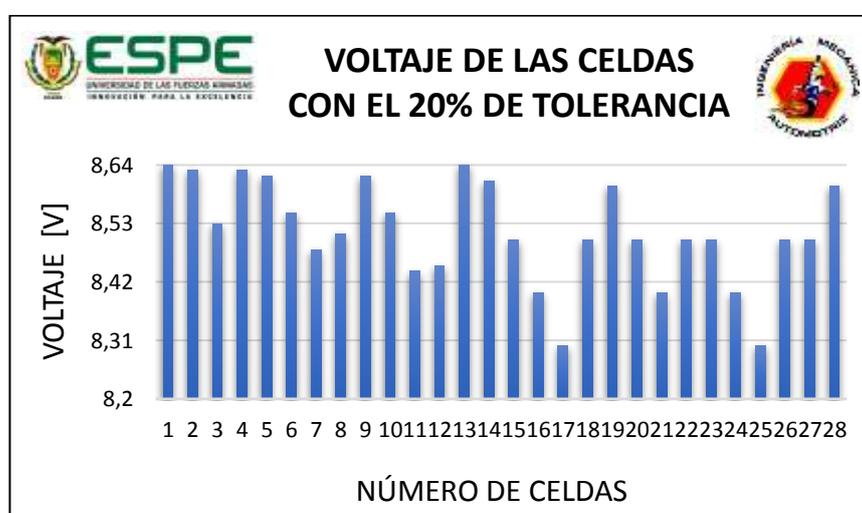


Figura 40. Medición de ecualización del voltaje nominal de las celdas de la batería de alto voltaje adicional con el 20% de tolerancia

6. Descargar la batería de alto voltaje por medio del banco de pruebas a 1A durante 2 horas y a su vez ir monitoreando cada 10 minutos el voltaje nominal de cada celda el cual no debe caer del 7,2 V.



Figura 41. Voltaje nominal de la celda en el proceso de descarga de la batería.

Tabla 13.

Valores finales obtenidos en proceso de descarga a 1A durante 2 horas

BATERÍA DE ALTO VOLTAJE – ADICIONAL			
Número de celda	Voltaje (voltios)	Número de celda	Voltaje (voltios)
1	7,26 V	15	7,21V
2	7,22 V	16	7,2V
3	7,27 V	17	7,24 V
4	7,23 V	18	7,25 V
5	7,25 V	19	7,23 V
6	7,21 V	20	7,21 V
7	7,23 V	21	7,22 V
8	7,25 V	22	7,24 V
9	7,23 V	23	7,21V
10	7,21 V	24	7,2V
11	7,26 V	25	7,24 V
12	7,24 V	26	7,26V
13	7,23 V	27	7,2V
14	7,24 V	28	7,21 V

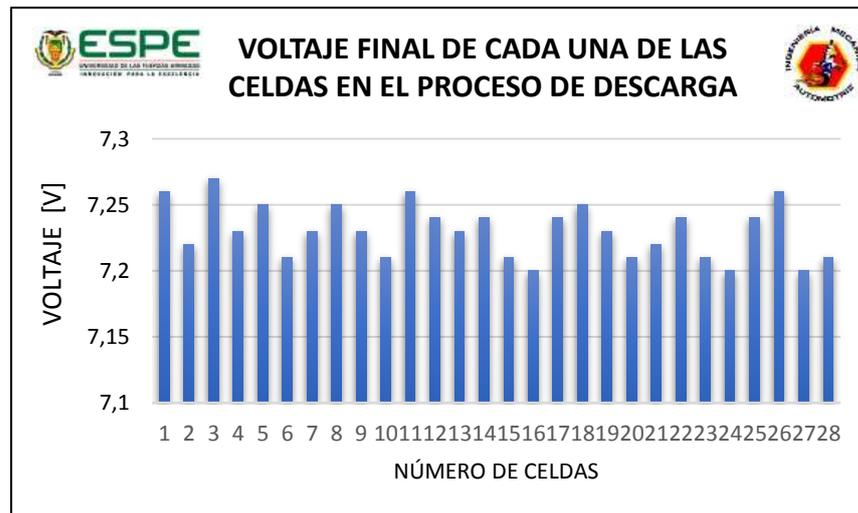


Figura 42. Voltaje nominal de cada una de las celdas en el proceso de descarga.

7. Establecer una relación de descarga y carga para obtener la capacidad real de la batería adicional.

$$\text{Carga} = I_c(\text{A}) * T_c(\text{h})$$

Ecuación 16: Ecuación de carga de la batería adicional

Donde:

$I_c(\text{A})$ = Intensidad de carga

$T_c(\text{h})$ = Tiempo de carga

Así:

$$\text{Carga} = I_c(\text{A}) * T_c(\text{h})$$

$$\text{Carga} = 2(\text{A}) * 1(\text{h})$$

$$\text{Carga} = 2 \text{ Ah}$$

$$\text{Descarga} = I_d(A) * T_d(h)$$

Ecuación 17: Ecuación de la descarga de la batería adicional

Donde:

$$I_d(A) = \text{Intensidad de descarga}$$

$$T_d(h) = \text{Tiempo de descarga}$$

Así:

$$\text{Descarga} = I_d(A) * T_d(h)$$

$$\text{Descarga} = 1(A) * 1.5(h)$$

$$\text{Descarga} = 1.5 A - h$$

$$\text{Capacidad Real} = \left(\frac{\text{Descarga}}{\text{Carga}} \right) * 100\%$$

Ecuación 18: Ecuación de la capacidad real

$$\text{Capacidad Real} = \left(\frac{1.5 A - h}{2 A - h} \right) * 100\%$$

$$\text{Capacidad Real} = 75 \%$$

8. Luego de obtener la capacidad real de la batería adicional de alto voltaje se debe realizar la equalización de las mismas, y así lograr que el voltaje de cada una de las celdas se encuentre equilibradas y lograr un correcto funcionamiento de la batería.

Si no se realiza este procedimiento en la batería adicional, se puede correr los siguientes riesgos en los procesos de carga y descarga.

(Ordoñez, 2011) Menciona que “Durante el ciclo de carga, si hay alguna celda degradada con capacidad disminuida, existe el peligro de que una

vez que alcance su carga completa, esté sujeta a una sobrecarga hasta que el resto de las celdas, alcancen su carga completa. El resultado es el aumento de temperatura, la acumulación de presión y el posible daño a la celda.

Durante la descarga, la celda más débil tendrá una descarga más profunda, incluso llegando a ser posible que el voltaje en las celdas, se invierta a medida que estén completamente descargadas” (p.54).

9. Para la ecualización de la batería adicional de alto voltaje se debe conectar los polos positivos y negativos en serie de cada una de las celdas como se muestra en la figura 43. logrando así que las 28 celdas se equilibren.



Figura 43. Conexión de las celdas para la ecualización de la batería de alto voltaje.

Tabla 14.

Valores obtenidos en el proceso de ecualización de la batería de alto voltaje.

VALORES DE BATERÍA ADICIONAL DE ALTO VOLTAJE – PROCESO DE ECUALIZACIÓN			
Número de celda	Voltaje (voltios)	Número de celda	Voltaje (voltios)
1	7,4 V	15	7,4V
2	7,4 V	16	7,4V

3	7,39 V	17	7,4 V
4	7,39 V	18	7,39 V
5	7,4 V	19	7,4 V
6	7,41 V	20	7,41 V
7	7,4 V	21	7,4 V
8	7,4 V	22	7,4 V
9	7,39 V	23	7,39V
10	7,41 V	24	7,4V
11	7,4 V	25	7,4 V
12	7,4 V	26	7,4 V
13	7,4 V	27	7,39 V
14	7,4 V	28	7,4 V



Figura 44. Voltaje de celdas equilibradas

3.4. Dimensionamiento del espacio para la implementación de elementos y módulos del sistema plug in

Se debe tener en cuenta la disponibilidad de espacio en el vehículo Toyota Prius 3G por lo cual es necesario delimitar el sitio en donde se va a realizar la implementación del sistema plug-in y así no variar el diseño original del vehículo.

Con la ayuda de un flexómetro se realizó las mediciones en el portaequipaje del vehículo y así considerar si es factible la implementación de la batería adicional y módulos del sistema plug –in que se necesita en el proyecto. En la

figura 45 se puede observar en el espacio en donde se va realizar la instalación.



Figura 45. Portaequipaje del vehículo Toyota Prius 3G

3.6. Diseño de los diagramas eléctricos para el sistema plug- in

Para la implementación del sistema Plug in, es necesario el diseño en software de los diagramas eléctricos para lo cual se utilizó el programa Live Aire y Bright Spark.

Los diagramas eléctricos realizados fueron:

- Circuito de seguridad “Interlock”
- Circuito del sensor APP
- Circuito eléctrico de la batería original
- Circuito eléctrico de la adaptación de la batería adicional

3.6.1. Circuito de seguridad

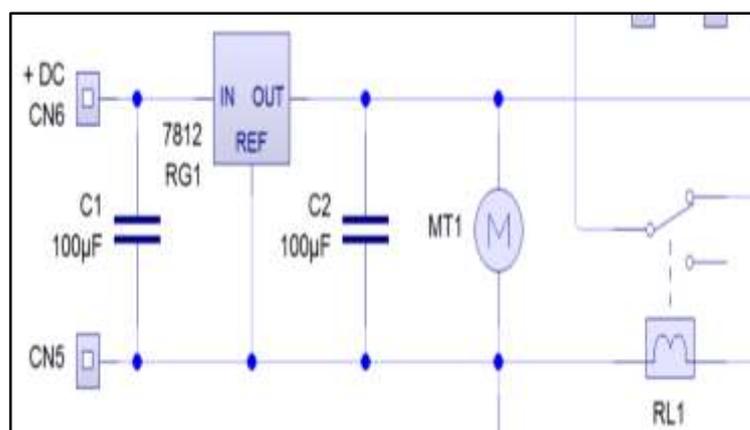


Figura 46. Simulación del circuito de seguridad

3.6.2. Función del circuito de seguridad

El circuito de seguridad es fundamental para el desarrollo del proyecto debido que este no permite poner "READY" al vehículo en caso de que el conductor olvide que el cable de la toma corriente se encuentra conectado al vehículo, generando un código de diagnóstico, siendo necesario realizar el siguiente procedimiento:

- Desconectar el cable de la toma corriente una vez que el Temporizador este en cero.
- Colocar en contacto el vehículo, para proceder con la ayuda del Interfaz Techstream Mini-VCI J2534 borrar el DTC generado.
- Desacoplar el interfaz y verificar que en el tablero del vehículo no se encuentre el mensaje de "Inspección del sistema Híbrido"
- Encender el vehículo y comprobar que está en "READY", condición a la cual se puede proceder a su conducción normal

3.6.3. Funcionamiento del circuito de seguridad

El circuito consta de los siguientes componentes:

- Transformador 220V a 12V AC
- Puente de diodos KWP
- Regulador de voltaje a 12V DC 7812
- 2 capacitores de 100Uf
- Relé electrónico de 12V
- Ventilador

El circuito es alimentado en el momento que se conecta a la toma corriente de la red eléctrica 220V que pasa por el transformador reduciendo a 12V AC, el puente de diodos realiza la conversión de AC a DC, el regulador de voltaje evita cualquier tipo de variación de voltaje manteniendo a 12V exactos, estos 12V servirán para alimentar un polo de la bobina del relé y el otro polo de la bobina directamente a tierra activando el relé siempre que permanezca conectado el cable a la red eléctrica. Los terminales comunes y normalmente cerradas del relé van conectados haciendo by-pass a uno de los dos cables del Interlock.

3.6.4. Circuito del sensor app

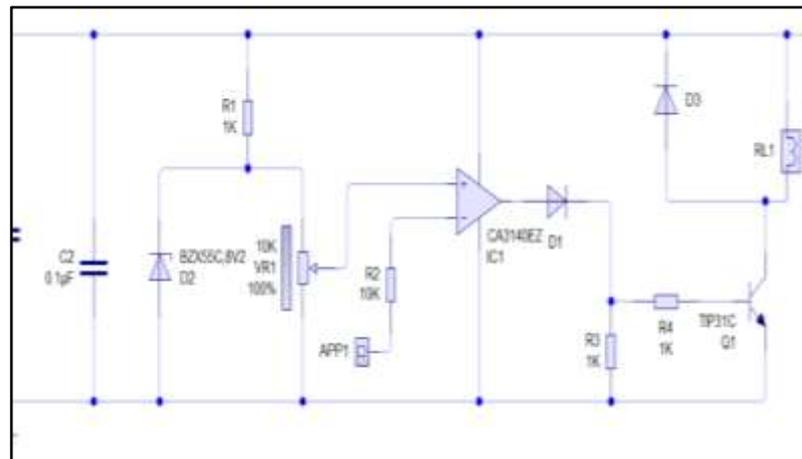


Figura 47. Simulación del circuito del sensor APP

3.6.5. Función del circuito del sensor app

El circuito del sensor APP tiene como función principal comparar una de las dos señales ascendentes que posee el vehículo Toyota Prius tercera generación, para aquello se utiliza el comparador lógico CA3140E tipo mosfet, el cual es muy sensible a las frecuencias bajas siendo ideal para la implementación de este circuito, para cuando apenas se presione el pedal del acelerador active al relé RL1.

3.6.6. Funcionamiento del circuito del sensor app

El circuito consta de los siguientes componentes:

- Condensador electrolítico de 470 uF
- Condensador electrolítico de 0,1 uF
- Diodo Zener
- 2 diodos
- Comparador analógico CA3140E
- Potenciómetro de precisión 10 K
- Resistencia 10K
- 3 resistencias de 1k
- Transistor TIP31C
- Relé electrónico

El circuito es alimentado directamente de la batería de 12V los condensadores C1 y C2, además del diodo Zener D2 actúan como un regulador de la tensión evitando picos que puedan afectar el funcionamiento del circuito, el potenciómetro VR1 se calibra según la señal del sensor app para que el circuito integrado CA3140E se active y alimente la bobina del relé obteniendo así que realice el cambio del normalmente cerrado al normalmente abierto.

3.6.7. Circuito del cargador de la batería adicional del sistema plug in

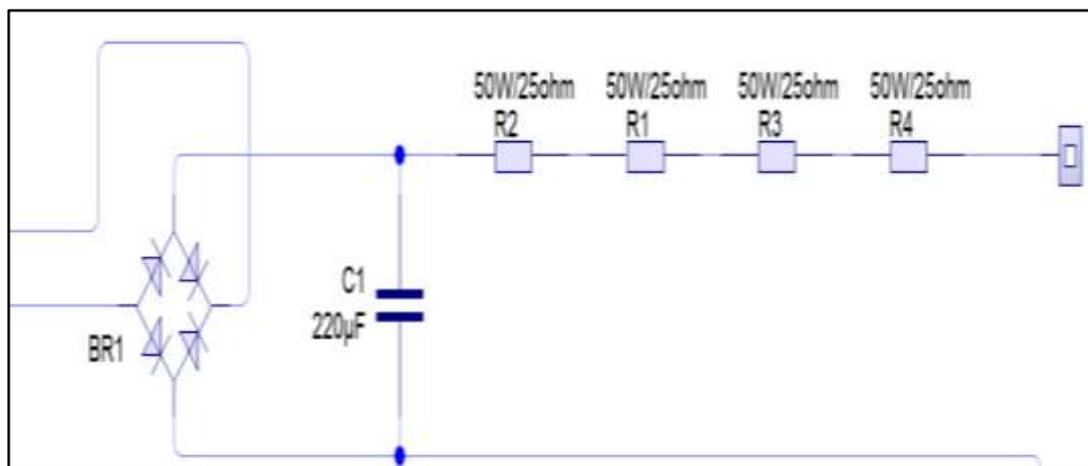


Figura 48. Simulación del circuito del cargador

3.6.8. Función del circuito del cargador de la batería adicional del sistema plug in

El circuito del circuito del cargador de la batería adicional del sistema plug in tiene como función principal recargar la batería adicional del sistema implementado, estableciendo el tiempo manualmente mediante un “TIMMER” y lo realiza al conectar a la red eléctrica 220V a una corriente de 0,74A.

3.6.9. Funcionamiento del circuito del cargador de la batería adicional del sistema plug in

El circuito consta de los siguientes componentes:

- Puente rectificador de diodos
- Condensador 220 uf, 500V
- 4 resistencias de 50W/25ohm

El funcionamiento del cargador es simple ya que se alimenta directamente de la red eléctrica 220 V, la cual entra al puente de diodos rectificando de voltaje alterno a continuo por una constante de 1,4 así:

$$V_f = V_{red} * 1,4$$

Ecuación 19: Voltaje rectificado AC – DC

Donde:

V_f : Voltaje de carga

V_{red} : Voltaje que entrega la red

Así:

$$V_f = V_{red} * 1,4$$

$$V_f = 220V * 1,4$$

$$V_f = 308 V$$

Al teniendo esta alimentación de 308 V y conectado directamente el pack de la batería consume 4,5 A, por lo cual se vio la necesidad de reducir este consumo excesivo debido a que es recomendable una carga lenta usando una corriente baja, utilizando cuatro resistencias en serie de 50W/25ohm y así regulando la corriente a 0,74 A.

3.6.10. Circuito de la batería original del vehículo Toyota Prius 3G

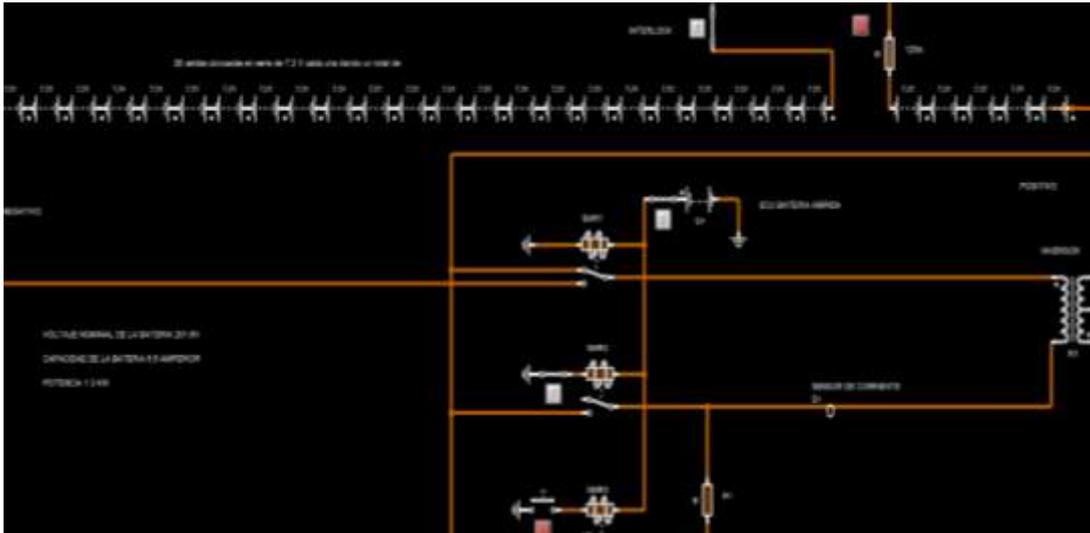


Figura 49. Circuito de la batería original del vehículo

Para proceder a la implementación previamente es necesario conocer el funcionamiento de la batería original de vehículo Toyota Prius 3G, su conexión y componentes del sistema híbrido en general ya que la implementación del sistema se vincula en paralelo.

Como se puede observar en la figura 49. Detallan los siguientes componentes:

- 28 celdas de 7,2 Vn
- Jumper e interlock
- Sensor de corriente
- Resistencia
- Conjunto de relés denominado SMR (1-2-3)
- ECU del control híbrido
- Inversor

(Castillo-Torres, 2011) “La batería dispone de dos relés (SMR3 En el negativo y SMR2 en el positivo) para realizar la conexión al sistema, un relé para cada polo y adicionalmente posee un relé (SMR1) que lleva conectado en serie una resistencia de 20 ohm. Este relé SMR1 sirve para protección del sistema ya que primero actúa el relé SMR3 de conexión a negativo y luego

Conociendo el funcionamiento del sistema híbrido del vehículo Toyota Prius 3G, se realizó la simulación de la conexión en paralelo de la batería adicional con las adaptaciones necesarias como se representa en la figura 50.

El polo negativo de la batería adicional va directamente conectado con el polo negativo de la batería original, para la conexión del positivo se implementó un módulo de conmutación ya que es necesario que la ECU del control híbrido nos detecte anomalías debido a la instalación de una batería adicional por esta razón el módulo del sensor app se comunica con el módulo de conmutación del positivo al presionar apenas el pedal del acelerador activan los relés RL1 y RL2 para que de esta manera el aporte de la batería adicional sea antes o después del sensor de corriente, de la siguiente manera:

- Cuando el pedal del acelerador no está presionado 0%, los relés están desactivados, es decir, el aporte es antes del sensor de corriente.
- Cuando el pedal del acelerador se presiona un 5%, los relés están activados y el aporte es después del sensor de corriente.

Esto con el objetivo de que la ECU no detecte anomalías y genere algún código de diagnóstico y presente irregularidades en el SOC del vehículo.

3.7. Elaboración de las placas electrónicas

A partir de las simulaciones realizadas previamente se procede a realizar las placas electrónicas usando el software “PCB Wizard”, teniendo en cuenta los datasheet de los componentes electrónicos donde detallan la conexión de cada uno y además sus dimensiones, consideraciones importantes que se debe conocer para la realización de cada una de las placas electrónicas. A continuación, se detalla los materiales necesarios:

- Software PCB Wizard
- Impresora láser
- Plancha
- Cinta adhesiva
- Alcohol antiséptico

- Algodón
- 3 baquelitas
- Cloruro férrico
- Papel fotográfico
- Recipiente plástico
- Lija 1000
- Taladro y brocas 1/32 o 1/16

3.7.1. Procedimiento para grabar el circuito en las baquelitas

1. Exportar la simulación de los circuitos de Live Wire a PCB Wizard.
2. Usando la impresora láser, imprimir el circuito en papel fotográfico.
3. Recortar la impresión y de igual manera la baquelita a las dimensiones deseadas.
4. Limpiar la baquelita levemente con la lija 1000 y luego con el algodón mojado de alcohol.
5. Con la cinta adhesiva fijar la impresión sobre el lado de cobre de la baquelita de tal manera que no se mueva.
6. Calentar la plancha y colocarla sobre la impresión durante 10 minutos.
7. Llenar con agua la mitad del recipiente plástico e introducir la baquelita dejar aproximadamente 2 minutos.
8. Retirar cuidadosamente el papel fotográfico y no tocar con los dedos para evitar que las líneas se borren o se corten.
9. Preparar la mezcla del cloruro férrico y agua para quemar la baquelita (retirar el exceso de la superficie cobre).
10. Perforar la baquelita y empezar a soldar los componentes electrónicos.



Figura 51 Procedimiento para el grabado de las placas electrónicas

3.7.2. Placa electrónica del circuito de seguridad

Exportar la simulación del circuito de Live Wire a PCB Wizard, la figura 52 es usada para saber la posición de los componentes electrónicos.

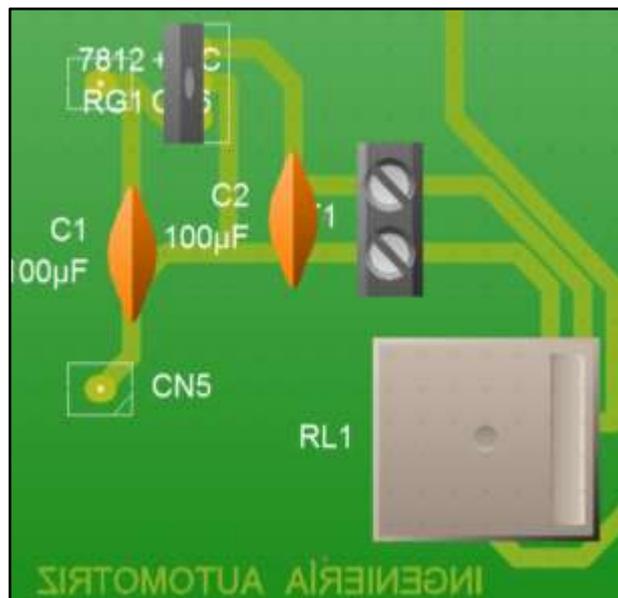


Figura 52. Esquema del circuito de seguridad

La figura 53 es la usada para imprimir en el papel fotográfico para posteriormente realizar el proceso de grabado en baquelita.

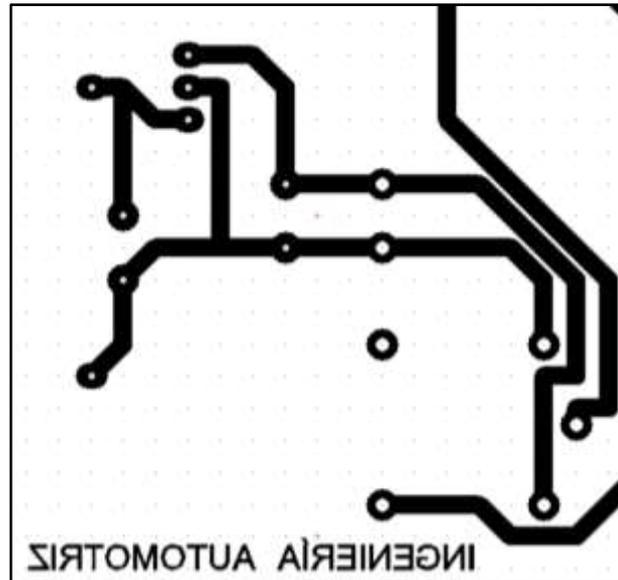


Figura 53. Placa electrónica

En la figura 54 se observa la baquelita grabada el circuito

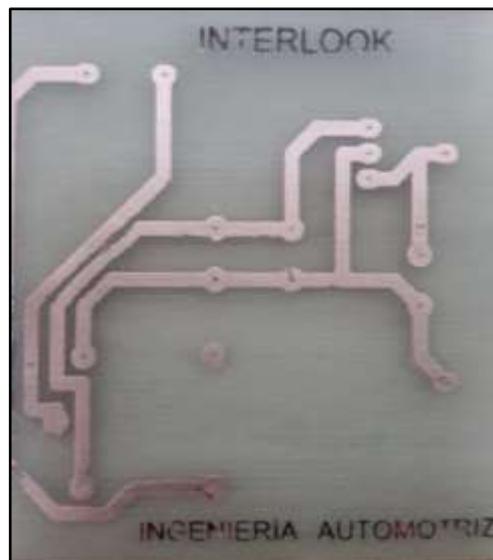


Figura 54. Grabado del circuito en baquelita

3.7.3. Placa electrónica del circuito del sensor app

Exportar la simulación del circuito de Live Wire a PCB Wizard, la figura 55 es usada para saber la posición de los componentes electrónicos.



Figura 55 Esquema del circuito de sensor app

La figura 56 es la usada para imprimir en el papel fotográfico para posteriormente realizar el proceso de grabado en baquelita.

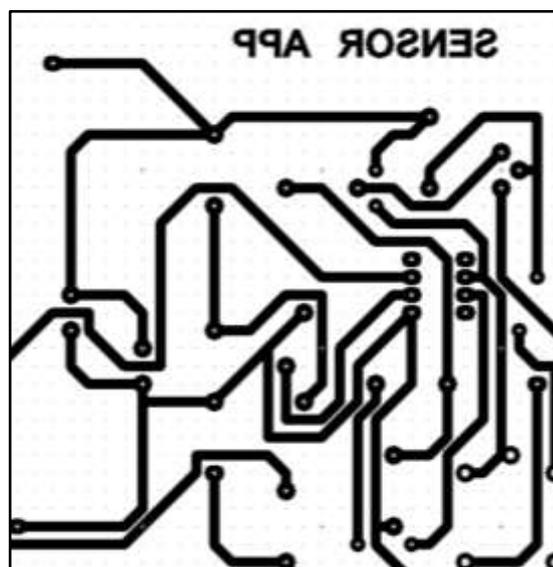


Figura 56. Placa electrónica

En la figura 57 se observa la baquelita grabada el circuito

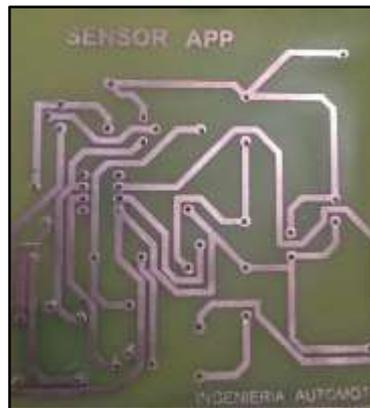


Figura 57. Grabado del circuito en baquelita

3.8. Implementación de los módulos que componen el sistema plug – in

Para la poner en funcionamiento sistema Plug In fue necesario llevar a cabo los siguientes módulos:

- Módulo de seguridad
- Módulo del sensor app
- Módulo de conmutación del positivo
- Módulo del cargador

3.8.1. Implementación del módulo de seguridad

Una vez teniendo la baquelita grabada y perforada se procede a soldar los componentes electrónicos.



Figura 58. Componentes del circuito de seguridad

Después de revisar que los componentes estén correctamente soldados, que estén perfectamente fijos se procede a colocar en una caja de proyecto.



Figura 59. Módulo de seguridad

Finalmente se realizan las pruebas de funcionamiento correspondientes y se cierra la caja de proyecto. Para posteriormente ubicar en el vehículo.



Figura 60. Comprobación final del módulo de seguridad

3.8.2. Implementación del módulo del sensor app

Con la baquelita grabada se procede a soldar los componentes electrónicos.

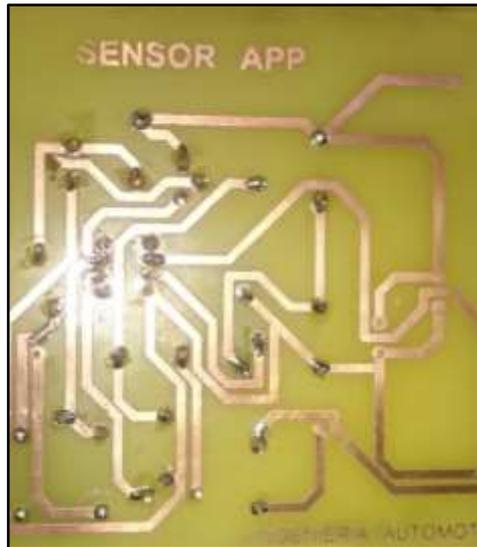


Figura 61. Placa del sensor app y sus componentes soldados

Revisión de que los componentes de la placa se encuentran fijados correctamente.



Figura 62. Componentes del sensor app

Después de revisar que los componentes estén correctamente soldados, que estén perfectamente fijos se procede a colocar en una caja de proyecto.



Figura 63. Módulo del sensor app

Finalmente se realizan las pruebas de funcionamiento correspondientes y se cierra la caja de proyecto. Para posteriormente ubicar en el vehículo.



Figura 64. Funcionamiento del módulo del sensor app

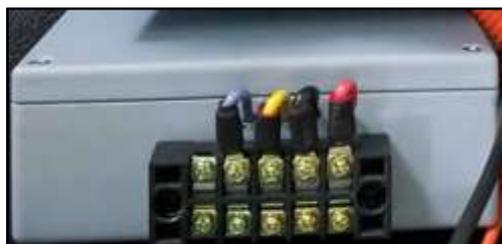


Figura 65. Módulo del sensor app terminado

3.8.3. Implementación del módulo de conmutación del positivo

Para el módulo de conmutación del positivo debido a que se manejan voltajes y corrientes elevados, se realizó la conexión de los componentes electrónicos con cable de cobre #12 y #8 para lo cual se realizó la simulación en Live Wire.

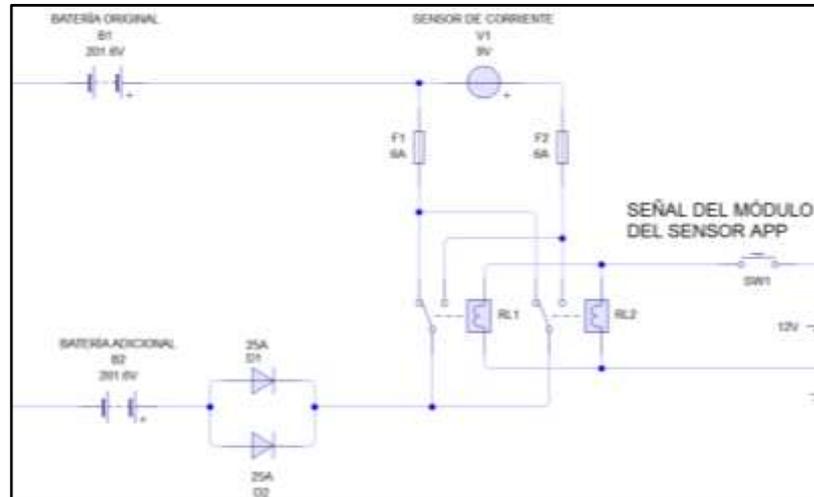


Figura 66. Simulación del módulo del sensor app.

Materiales necesarios para la implementación:

- 2 relés 12V – 40A
- 2 diodos de 25A
- 2 interruptores con fusibles de 6A

Conexión y ubicación de los componentes electrónicos siguiendo el diagrama eléctrico de la simulación en Live Wire.



Figura 67. Conexión del módulo de conmutación del positivo

Finalmente se realizan las pruebas de funcionamiento correspondientes y se cierra la caja de proyecto. Para posteriormente ubicar en el vehículo.



Figura 68. Módulo de conmutación del positivo

3.8.4. Implementación del módulo del cargador

Con en el caso del módulo de conmutación del positivo se realizó las conexiones con cable #12 y partiendo del circuito simulado en Live Wire se precedió a poner en funcionamiento el cargador de la batería adicional del sistema Plug in.

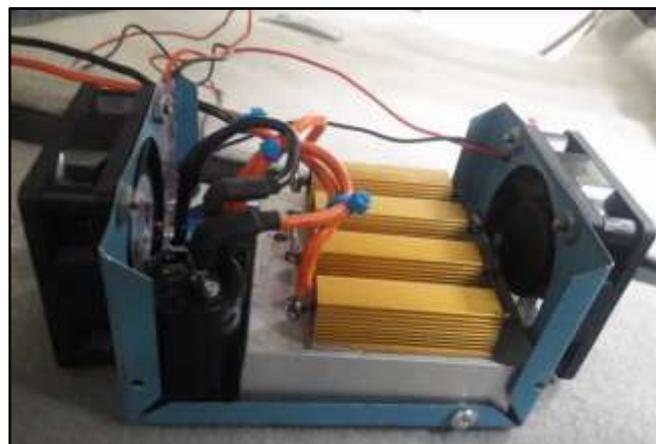


Figura 69. Conexión del módulo del cargador

Finalmente se realizan las pruebas de funcionamiento correspondientes y se cierra la caja de proyecto. Para posteriormente ubicar en el vehículo.



Figura 70. Módulo de cargador

3.9. Instalación del sistema plug – in en el vehículo Toyota Prius 3G

La instalación y ubicación de los módulos en el vehículo se realizó el dimensionamiento en Inventor Profesional y se construyó una caja de madera para poner en marcha el sistema Plug in.

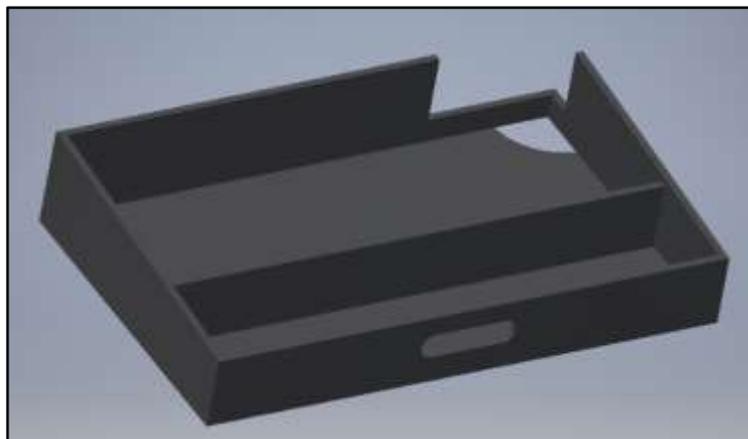


Figura 71. Modelado de la caja donde se realizó la instalación



Figura 72. Construcción y lijado de la caja



Figura 73. Prueba del dimensionamiento de la caja.

Como siguiente paso se le dio un recubrimiento de acuerdo al estilo interior del vehículo para conservar su estética.



Figura 74. Aplicación del recubrimiento



Figura 75. Caja terminada

Instalación de las bisagras



Figura 76. Bisagras de la caja

Identificación de los terminales del sensor app para la toma de la de uno de los dos potenciómetros y de esta manera poner en funcionamiento el módulo del sensor app.

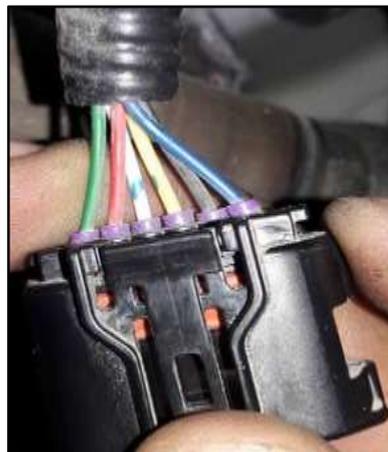


Figura 77. Socket del sensor app

Tabla 15.

Reconocimiento de cada uno de los terminales del socket del sensor app

COLOR	[V] CONECTADO	[V] DESCONECTADO	IDENTIFICACIÓN
VERDE	5 [V]	5	Vref
ROJO	8,2 [mV]	8,2 [mV]	GND
BLANCO	-	1,620 [V]	15%
		3,87 [V]	100%
AMARILLO	5 [V]	5	Vref
NEGRO	8,2 [mV]	8,2 [mV]	GND
AZUL	-	0,808 [V]	15%
		3,119 [V]	100%

Tabla 16.

Señales de cada potenciómetro que conforman el sensor app

% PEDAL	APP1	APP2
15	1,62	0,808
100	3,87	3,119

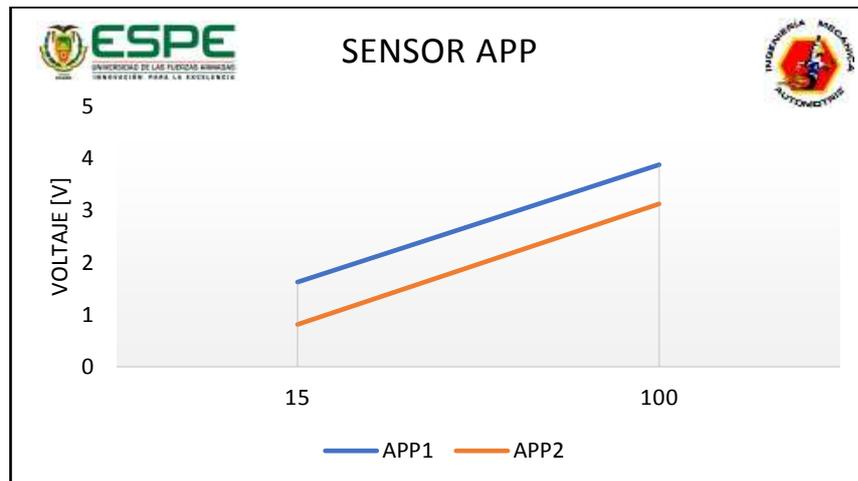


Figura 78. Señales ascendentes del sensor app

La selección de la señal que se empleó para la puesta en marcha del módulo del sensor app es la del potenciómetro 1 (APP1), en este caso las dos señales sirven para la implementación del módulo.

Comprobación y vinculación del módulo del sensor app con el sistema híbrido del vehículo Toyota Prius 3G.



Figura 79. Prueba de funcionamiento del módulo del sensor app

Conexión del módulo de conmutación del positivo siguiendo el circuito de la simulación en Live Wire y teniendo las siguientes precauciones:

- Batería de 12V desconectada
- Jumper desconectado

Como primer paso se retiró el sensor de corriente, que se encuentra ubicado en la caja del conjunto de relés SMR.

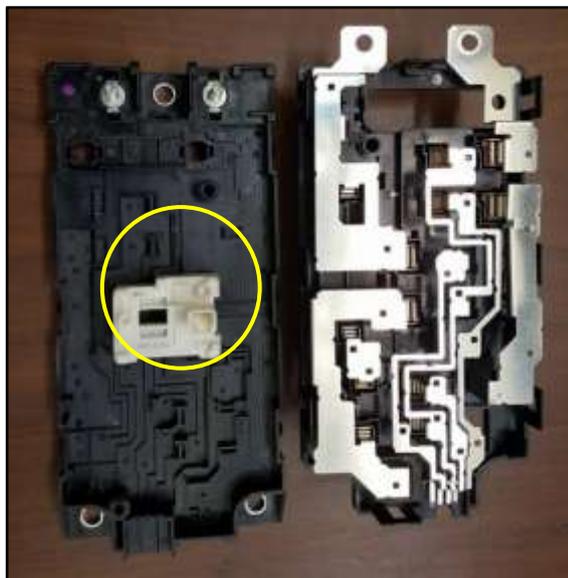


Figura 80. Desmontaje del sensor de corriente

Se cortó el cable del positivo de la batería original y se realizó la adaptación necesaria para vincularla con la batería adicional y que ésta aporte se realice antes y después del sensor de corriente según sea la condición.



Figura 81. Adaptación en el positivo

Conexión con la batería adicional y el módulo.



Figura 82. Positivo de la batería adicional

Ubicación y conexión de los módulos de sistema Plug in hacia el sistema híbrido del vehículo Toyota Prius 3G.



Figura 83. Ubicación de los módulos en la caja.

Para la manipulación o mediciones que se requieran hacer dentro del sistema Plug in se instaló un método de seguridad similar al de la batería original que es un jumper para la batería adicional.

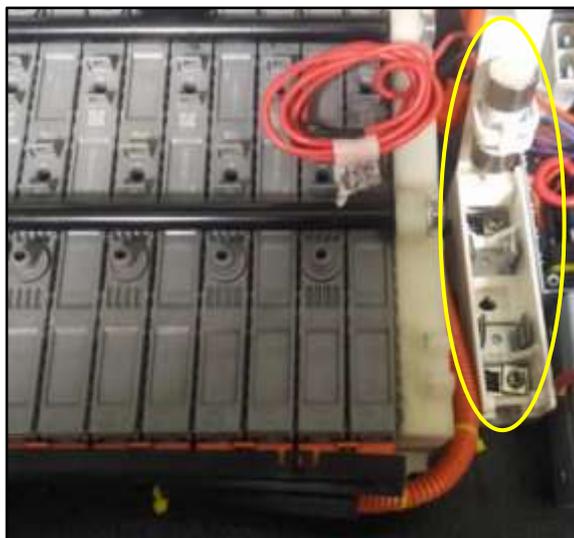


Figura 84. Jumper de la batería adicional

Toma de una señal de 12V cuando el vehículo se lo ponga en contacto para poder activar los ventiladores.



Figura 85. Señal de 12V en contacto

Adaptación del conector del conector en el guardachoque posterior.



Figura 86. Instalación del conector domestico tipo Schuko



Figura 87. Conector domestico tipo Schuko

Se fijó a la carrocería del vehículo el módulo del cargador de tal manera que se encuentre cerca del conector domestico tipo Schuko.



Figura 88. Ubicación del módulo del cargador en el vehículo

Se usó manguera corrugada y cinta aislante para prevenir corto circuitos provocados por polvo o fricción con los cables y la carrocería del vehículo.



Figura 89. Aislamiento de los cables del cargador

Se realizó las conexiones necesarias para el temporizador y el voltímetro – amperímetro y además de la tapa para cubrir todo el sistema.



Figura 90. Implementación del sistema plug in

Conclusiones del capítulo

- Se realizó el levantamiento de requerimientos iniciales para la implementación del sistema Plug in en el vehículo Toyota Prius 3G.
- Se utilizó los softwares de simulación Live Wire, Bright Spark y PCB Wizard para la elaboración de las placas electrónicas.
- Se seleccionaron los componentes que conforman cada uno de los módulos de que son necesarios para poner en funcionamiento el sistema Plug in.
- Se realizó el cálculo del costo por carga de la batería adicional, asumiendo que esta se realiza una vez al día.

CAPÍTULO IV.

PROTOCOLO DE PRUEBAS

En este capítulo se establece un protocolo de pruebas para comprobar la implementación de los módulos y componentes del sistema plug – in en diferentes rutas y estados del vehículo Toyota Prius 3G. Además, se detalla los equipos que se utilizaran durante las pruebas de ruta tanto en ciudad como en carretera.

4. Protocolo de pruebas en el vehículo Toyota Prius tercera generación

4.1 Prueba de consumo de combustible

Para la prueba de consumo de combustible se utiliza:

Display de medición de combustible del vehículo establecido en litros/100 Km.

Interfaz OBDLink SX EOBD y software OBDWIZ para verificar en tiempo real el consumo de combustible.

Para realizar la prueba de consumo de combustible se debe seguir los siguientes ítems:

1. Encender el vehículo y comprobar que no existan fugas.
2. Visualizar que se encuentre en buen estado el medidor de combustible del vehículo.
3. Observar que el display del vehículo este funcionando ya que es primordial para visualizar el consumo de combustible promedio y conocer el kilometraje exacto del recorrido
4. Identificar el conector OBD II y acoplar el Interfaz OBDwiz para observar en tiempo real el consumo de combustible
5. Los ítems mencionados se deben realizar para cada una de las pruebas ya sea en el sistema híbrido normal y con sistema Plug – in
6. Comenzar a manejar por la ruta seleccionada carretera – ciudad y obtener los datos deseados

4.2. Descripción de la ruta carretera – ciudad

4.2.2. Ruta carretera

La ruta seleccionada para este proyecto tiene una longitud de 108 Kilómetros los cuales se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

- 108 kilómetros de carretera con un tiempo 1h32 desde la gasolinera PetroEcuador sector el Mayorista de Latacunga hasta Mega Santa María Carapungo, Av. Simón Bolívar, Quito.

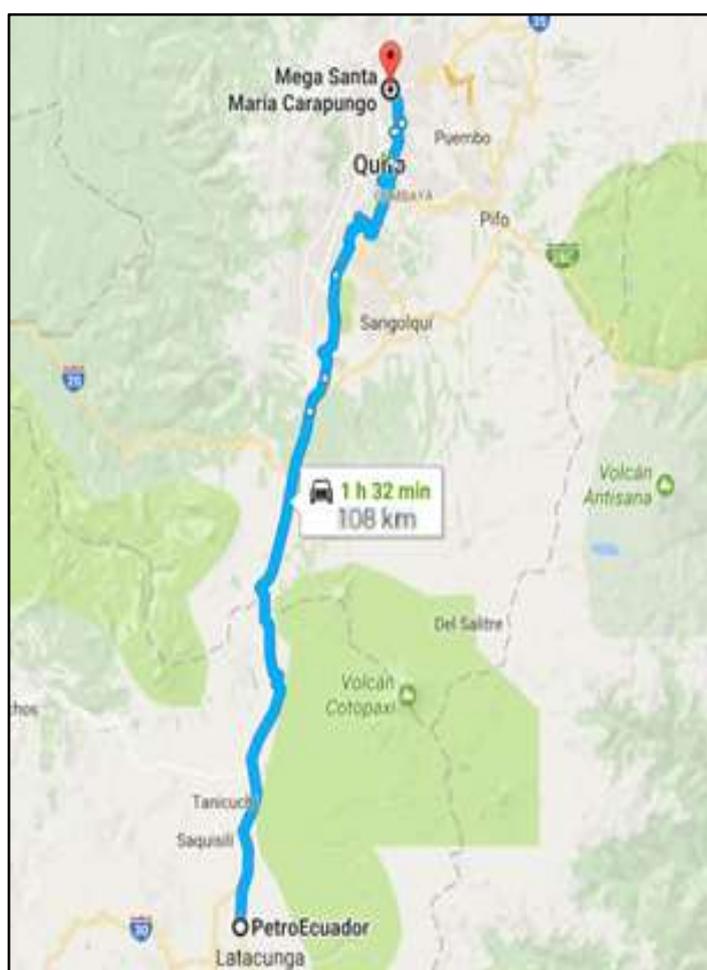


Figura 91. Ruta Carretera – Gasolinera PetroEcuador sector el Mayorista de Latacunga hasta Mega Santa María Carapungo, Av. Simón Bolívar, Quito.

Tabla 17.**Datos obtenidos en las pruebas de consumo de combustible – Carretera**

Hora Inicio	Hora final	Condición	Consumo promedio Display [l]	Distancia [km]	Consumo Interfaz OBDwiz [gl]
		Híbrido estándar		108	
		Sistema Plug in		108	

4.2.3. Ruta ciudad

La ruta seleccionada para este proyecto tiene una longitud de 100 Kilómetros los cuales se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

- 100 kilómetros de ciudad con un tiempo 6 horas desde El Condado Shopping hasta el Colegio Vida Nueva, F, Quito

Tabla 18.**Distancias tramo a tramo - ruta ciudad**

Tramo	Distancia [km]	Ruta
El Condado Shopping, Quito – Av. Maldonado, Quito	31.1	Ciudad
Av. Maldonado, Quito – Villaflora, Quito	11.8	Ciudad
Villaflora, Quito – Colegio Montufar, Quito	2.4	Ciudad
Colegio Montufar, Quito – Carlos Fortines, Quito	16.3	Ciudad
Carlos Fortines, Quito – Panamericana Norte, Quito	4.8	Ciudad
Panamericana Norte, Quito – Ave Patria, Quito	13.5	Ciudad
Ave Patria, Quito – Terminal Quitumbe, Quito	15	Ciudad
Terminal Quitumbe, Quito - Colegio Vida Nueva, F, Quito	6.1	Ciudad

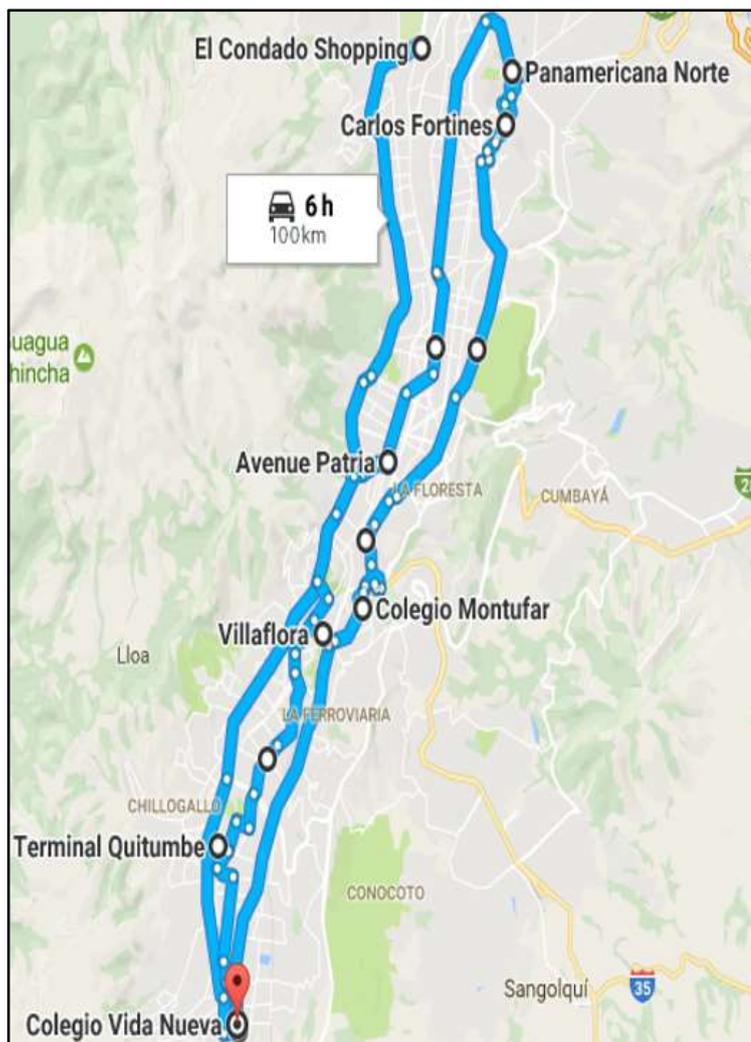


Figura 92. Ruta Ciudad - El Condado Shopping hasta el Colegio Vida Nueva, F, Quito

Tabla 19.

Datos obtenidos en las pruebas de consumo de combustible – Ciudad

Hora Inicio	Hora final	Condición	Consumo promedio Display [l]	Distancia [km]	Consumo Interfaz OBDwiz [gl]
		Híbrido estándar		100	
		Sistema Plug in		100	

4.3. Prueba de consumo de energía y tiempo de encendido del MCI del vehículo Toyota Prius 3G.

Para la prueba de consumo de energía y tiempo de encendido del MCI en ruta se utiliza:

Display de medición de energía establecido en 50 W-h.

Interfaz OBDLink SX EOBD y software OBDWIZ para verificar el tiempo de encendido del MCI en cada una de las rutas.

Para realizar la prueba de consumo de energía y tiempo de encendido del MCI del vehículo Toyota Prius 3G se debe seguir los siguientes ítems:

1. Encender el vehículo.
2. Observar que el display del vehículo este funcionado ya que es primordial para visualizar el consumo de energía.
3. Identificar el conector OBD II y acoplar el Interfaz OBDLink SX EOBD para observar el tiempo de encendido del MCI en ruta.
4. Los ítems mencionados se deben realizar para cada una de las pruebas ya sea en el sistema híbrido normal y con sistema Plug – in
5. Comenzar a manejar por la ruta seleccionada carretera – ciudad y obtener los datos deseados

Tabla 20.

Datos obtenidos en las pruebas de consumo de energía y encendido del MCI en ruta – Carretera

Condición	Tiempo de encendido MCI [s]	Consumo de Energía [W-h]	Tiempo de Prueba [h]
Híbrido estándar			
Sistema Plug in			

Tabla 21.

Datos obtenidos en las pruebas de consumo de energía y encendido del MCI en ruta – Ciudad

Condición	Tiempo de encendido MCI [s]	Consumo de Energía [W-h]	Tiempo de Prueba [h]
Híbrido estándar			
Sistema Plug in			

4.4. Protocolo de prueba de la batería original de alto voltaje

4.4.1. Batería original de alto voltaje del vehículo Toyota Prius 3G

La prueba de la batería de alto voltaje original se realizó con la ayuda de un multímetro automotriz en el cual se visualiza el voltaje de cada una de las 28 celdas que compone la batería, cada celda debe estar con un voltaje nominal de 7,2 v cada una con el 20% de carga adicional dando un voltaje de 201,6 v normal y un voltaje 241,9 v con el 20%

Con la ayuda del Interfaz Mini-VCI J2534 Techstream se puede monitorear los 14 bloques y a la vez observar la resistencia interna de la batería y así obtener los datos deseados que muestra que la batería original esta acta para proceder con la instalación del sistema plug - in

a) Prueba con el multímetro automotriz

Para la realización de la prueba de la batería de alto voltaje con el multímetro automotriz se debe seguir los siguientes ítems:

1. Asegurarse que el vehículo se encuentre apagado
2. Retirar el jumper de seguridad que se encuentra en la parte posterior del vehículo.
3. Quitar la batería de 12 v que se encuentra en el maletero del vehículo parte posterior.

4. Separar las protecciones y seguros de la batería de alto voltaje.
5. Una vez desmontado las protecciones se puede observar las 28 celdas que componen la batería de alto voltaje.
6. Identificar las celdas de la batería y obtener el voltaje de cada una con la ayuda del multímetro automotriz.

Tabla 22.

Mediciones de las celdas de la batería original de alto voltaje.

BATERÍA DE ALTO VOLTAJE – ORIGINAL			
Número de celda	Voltaje (voltios)	Número de celda	Voltaje (voltios)
1		15	
2		16	
3		17	
4		18	
5		19	
6		20	
7		21	
8		22	
9		23	
10		24	
11		25	
12		26	
13		27	
14		28	

b) Prueba con el interfaz Mini-VCI j2534 Techstream

1. Encender o estar en contacto el vehículo.
2. Identificar el conector OBD II y acoplar el Interfaz Mini-VCI J2534 Techstream para observar en tiempo real el voltaje de cada uno de los bloques de la batería y el voltaje total de la batería.
3. Analizar la resistencia interna de la batería de alto voltaje.

Tabla 23.

Voltaje y Resistencia interna de los bloques de la batería obtenidos con el interface – Prueba con el sistema híbrido normal Carretera

VOLTAJE DE LOS BLOQUES Y RESISTENCIA INTERNA DE LA BATERÍA HV									
Núm. de bloque	Voltaje (voltios)		Resistencia interna (ohm)		Núm. de bloque	Voltaje (voltios)		Resistencia interna (ohm)	
	Inicio	Final	Inicio	Final		Inicio	Final	Inicio	Final
1					8				
2					9				
3					10				
4					11				
5					12				
6					13				
7					14				

Tabla 24.

Voltaje y Resistencia interna de los bloques de la batería obtenidos con el scanner – Prueba con el sistema híbrido normal Ciudad

VOLTAJE DE LOS BLOQUES Y RESISTENCIA INTERNA DE LA BATERÍA HV									
Núm. de bloque	Voltaje (voltios)		Resistencia interna (ohm)		Núm. de bloque	Voltaje (voltios)		Resistencia interna (ohm)	
	Inicio	Final	Inicio	Final		Inicio	Final	Inicio	Final
1					8				
2					9				
3					10				
4					11				
5					12				
6					13				
7					14				

Tabla 25.

Voltaje y Resistencia interna de los bloques de la batería obtenidos con el scanner – Prueba con el sistema Plug – in Carretera

VOLTAJE DE LOS BLOQUES Y RESISTENCIA INTERNA DE LA BATERÍA HV									
Núm. de bloque	Voltaje (voltios)		Resistencia interna (ohm)		Núm. de bloque	Voltaje (voltios)		Resistencia interna (ohm)	
	Inicio	Final	Inicio	Final		Inicio	Final	Inicio	Final

1	8
2	9
3	10
4	11
5	12
6	13
7	14

Tabla 26.

Voltaje y resistencia interna de los bloques de la batería obtenidos con el scanner – Prueba con el sistema Plug – in Ciudad

VOLTAJE DE LOS BLOQUES Y RESISTENCIA INTERNA DE LA BATERÍA HV									
Núm. de bloque	Voltaje (voltios)		Resistencia interna (ohm)		Núm. de bloque	Voltaje (voltios)		Resistencia interna (ohm)	
	Inicio	Final	Inicio	Final		Inicio	Final	Inicio	Final
1					8				
2					9				
3					10				
4					11				
5					12				
6					13				
7					14				

4. Observar el estado de carga de la batería (SOC) el cual se encuentra en % en el interfaz Mini-VCI J2534 Techstream.
5. Mirar el estado de descarga de la batería (DSOC) en cual está en (Amp).
6. Observar los datos de los tres sensores la temperatura con el interfaz Mini-VCI J2534 Techstream.
7. Los ítems mencionados se deben realizar al inicio de la prueba y al final de la misma ya sea en el sistema híbrido normal y con sistema Plug – in
8. Comenzar a manejar por la ruta seleccionada carretera – ciudad y obtener los datos deseados

Tabla 27.

PID's de la batería de alto voltaje obtenidos con el Interface - Carretera

CONDICIÓN	SOC [%]		DSOC [A]		TEMPERATURA ° C					
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio Final					
Híbrido estándar					TB1	TB2	TB3	TB1	TB2	TB3
Sistema Plug in										

Tabla 28.

PID's de la batería de alto voltaje obtenidos con el Interface – Ciudad

CONDICIÓN	SOC [%]		DSOC [A]		TEMPERATURA ° C					
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio Final					
Híbrido estándar					TB1	TB2	TB3	TB1	TB2	TB3
Sistema Plug in										

4.5. Batería adicional de alto voltaje de un vehículo Toyota Prius 3G

Una vez realizada la selección de cada una de las celdas de la batería adicional se realizó la prueba con la ayuda de un multímetro automotriz en el cual se visualiza el voltaje de cada una de las 28 celdas que compone la batería, cada celda debe estar con un voltaje nominal de 7,2 V y con el 20% de carga adicional dando un voltaje de 201,6 V normal y un voltaje 241,9 V con la carga adicional.

4.5.1. Prueba con el multímetro automotriz

Para realizar la prueba de la batería de alto voltaje se utiliza el multímetro automotriz y se debe seguir los siguientes ítems:

1. Asegurarse que el vehículo se encuentre apagado
2. Retirar el jumper de seguridad que se encuentra en la implementación del sistema Plug – in parte posterior del vehículo.
3. Quitar la batería de 12 v que se encuentra en el maletero del vehículo parte posterior.
4. Monitorear con el multímetro automotriz el voltaje de los 14 bloques que componen la batería adicional.
5. Por medio de cálculos establecer el SOC inicial y final de la batería adicional.
6. Con la ayuda de un pirómetro realizar tres medidas de temperatura de la batería adicional al inicio y final de la prueba.
7. Realizar la medición del voltaje inicial y final del pack de la batería adicional.
8. Los ítems mencionados se deben realizar al inicio de la prueba y al final de la misma.

Tabla 29.

Voltaje de los bloques de la batería adicional obtenidos con el multímetro automotriz en carretera con el sistema plug-in.

BATERÍA ADICIONAL DE ALTO VOLTAJE – CARRETERA					
Número de bloques	Voltaje (voltios)		Número de bloques	Voltaje (voltios)	
	Inicio	Final		Inicio	Final
1			8		
2			9		
3			10		
4			11		
5			12		
6			13		
7			14		

Tabla 30.

Voltaje de los bloques de la batería adicional obtenidos con el multímetro automotriz en ciudad con el sistema plug-in

BATERÍA ADICIONAL DE ALTO VOLTAJE – CIUDAD					
Número de bloques	Voltaje (voltios)		Número de bloques	Voltaje (voltios)	
	Inicio	Final		Inicio	Final
1			8		
2			9		
3			10		
4			11		
5			12		
6			13		
7			14		

Tabla 31.

PID's de la batería adicional con el sistema plug-in.

RUTA	SOC [%]		VOLTAJE PACK [V]		TEMPERATURA ° C						
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio			Final			
					TB1	TB2	TB3	TB1	TB2	TB3	
Carretera											
Ciudad											

4.6. Protocolo de pruebas de los módulos del sistema plug-in vehículo estático

Para realizar las pruebas de los módulos del sistema Plug – in se debe seguir los siguientes ítems:

4.6.1. Módulo APP

1. El vehículo debe estar encendido
2. Identificar el módulo App que se encuentra en el maletero del vehículo junto a la batería adicional

- Identificar los 4 conectores de salidas del módulo App en los cuales se procederá a realizar las mediciones

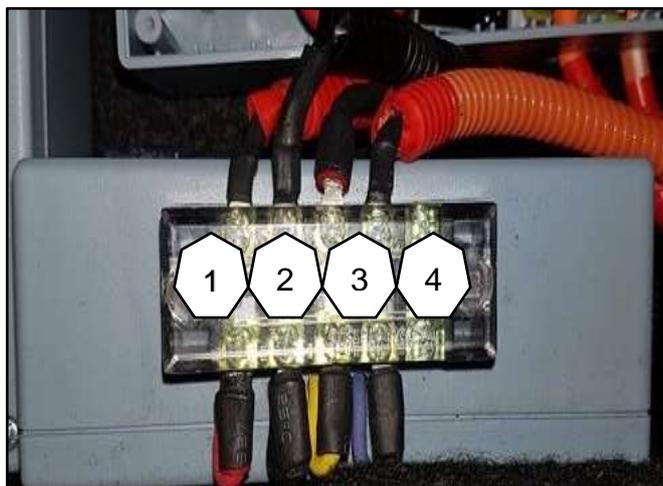


Figura 93. Módulo APP – del sistema Plug in.

- En el conector 1 y 2 del módulo App se puede realizar la medición de alimentación de 12 v.
- El conector 3 del módulo App se monitorea el voltaje de señal del sensor App el cual va a variar según el conductor presione el pedal dando un voltaje de 1,6 v sin presionar el pedal y 3,87 v al presionar le pedal a fondo.
- Visualizar el conector 4 el cual da un voltaje de 12 v ya que es el voltaje de salida del módulo App el cual ayuda a la activación de dos relés que se encuentra en el módulo de conmutación del terminal positivo de la batería alta tensión original a la batería adicional a través del sensor de corriente y así tener un aporte adicional antes y después del sensor de corriente según sea presionado el pedal por el conductor.

Tabla 32.

Voltaje de comprobación del módulo App

TERMINALES DE CONEXIÓN DEL MÓDULO APP			
Terminal 1	Terminal 2	Terminal 3	Terminal 4

Presionado	Sin presionar
------------	------------------

4.6.2. Módulo de conmutación del terminal positivo de la batería de alto voltaje original a la adicional a través del sensor de corriente

1. Identificar el módulo de conmutación del terminal positivo de la batería de alto voltaje original a la adicional a través del sensor de corriente que se encuentra en el maletero del vehículo junto a la batería adicional.

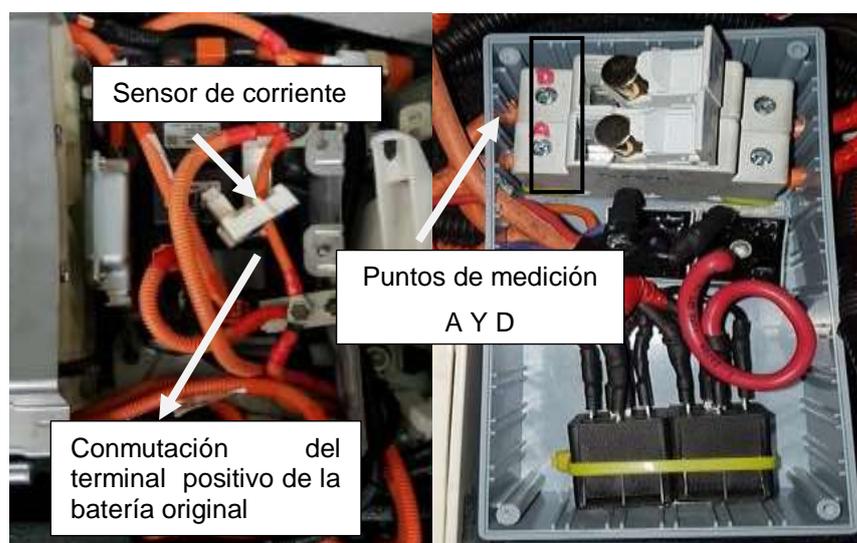


Figura 94. Módulo de conmutación del terminal positivo de la batería de alto voltaje original a la adicional a través del sensor de corriente

2. Visualizar los dos interruptores con fusibles de 6A en el módulo de la conmutación los cuales permitir el aporte antes o después del sensor de corriente dependiendo siempre el estado de activación el cual lo proporciona el módulo App
3. En los puntos de medición del interruptor A Y D se obtiene ocho valores según cual sea el aporte de la batería adicional, el estado del vehículo y la condición de activación del módulo App los valores van desde 220 V batería adicional descarga y 240 V batería adicional cargada.

4. Para obtener los valores mencionados tener presente que los puntos de medición A Y D es positivo por lo cual en el multímetro automotriz la punta de medición positivo debe ir a los puntos A Y D y la punta negativa debe ir al terminal negativo de la batería adicional.

Tabla 33.

Valores de aporte de la batería adicional a la original según el estado del vehículo.

ESTADO DEL VEHÍCULO	PUNTOS DE MEDICIÓN (V)	
	A (Aporte antes del sensor de corriente)	D (Aporte después del sensor de corriente)
APAGADO		
EN CONTACTO		
ENCENDIDO EL VEHÍCULO		
AL PRESIONAR EL PEDAL DEL ACELERADOR		

4.6.3. Módulo de seguridad del sistema plug in

Este módulo es el encargado de no permitir que mientras se realiza el proceso de carga de la batería adicional y aunque el temporizador haya terminado de contar y aun se encuentre conectado de la red eléctrica 220V al conector del vehículo al intentar encender el vehículo no va a permitir colocar en "READY" debido a que abre el circuito de interbloqueo y genera un código de diagnóstico el cual es necesario borrar usando el Interfaz Techstream Mini-VCI J2534.

1. El vehículo se encuentra estacionado en la posición P.
2. Usando el multímetro automotriz en la opción de continuidad en los terminales 4 y 5 la alarma del multímetro automotriz suena indicando que existe continuidad es decir el circuito de interbloqueo está cerrado y no genera ningún código de diagnóstico.

3. Encender el vehículo y comprobar que este en “READY”.
4. Apagar el vehículo y colocar en la posición P.
5. Conexión de la red eléctrica 220V al conector del vehículo ubicado en el guardachoque posterior.
6. Usando el multímetro automotriz en la opción de continuidad en los terminales 3 y 4 la alarma del multímetro automotriz no suena indicando que no existe continuidad es decir el circuito de interbloqueo está abierto.
7. Intentar encender el vehículo en el display se observa una alerta ⚠ “Inspeccione el Sistema Híbrido”.
8. Es necesario Al escanear el vehículo con la ayuda del Interfaz Techstream Mini VCI J2534.

a) Mediciones y comprobación de funcionamiento del módulo de seguridad del sistema plug in

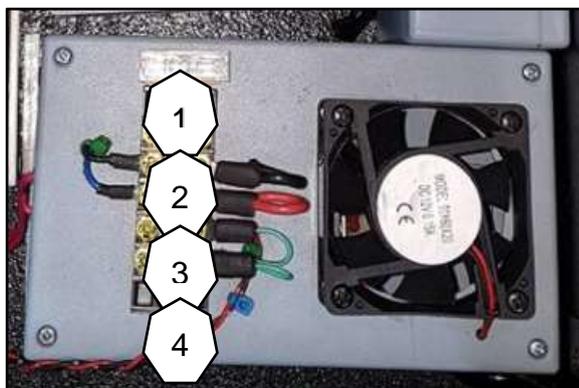


Figura 95. Puntos de medición del módulo de seguridad

- Para el fusible con el multímetro en continuidad.
- En los terminales 1 y 2 con el multímetro en Voltios.
- En los terminales 3 y 4 con el multímetro en continuidad.

Tabla 34.

Pruebas del módulo de seguridad del sistema Plug in.

CONDICIÓN	FUSIBLE	TERMINALES A2 Y A3	TERMINALES A4 Y A5	ESTADO DEL VENTILADOR
Conectado a la red eléctrica 220 V				

Desconectado
de la red
eléctrica 220 v

4.6.4. Módulo del cargador de la batería adicional del sistema plug in

Este módulo es el encargado de recargar la batería adicional del sistema plug in, el cual es alimentado por la red eléctrica de 220V y mediante un puente de diodos rectifica la corriente alterna a continua y conectado resistencias en serie para regular la corriente a 0,70 amperios.

Una vez rectificado a corriente continua se conecta en paralelo a la batería adicional para de esta manera conectar y establecer el tiempo de carga requerida para obtener un SOC de 80% de la batería adicional.

1. El vehículo se encuentra estacionado en la posición P.
2. Conexión de la red eléctrica 220V al conector del vehículo ubicado en el guardachoque posterior.
3. Comprobar el estado de los ventiladores del módulo del cargador de la batería adicional del sistema plug in.
4. Ingresar el tiempo de carga en el "TIMMER" y posteriormente presionar el botón "START", para iniciar la carga de la batería adicional.
5. Verificar el voltaje y amperaje total del pack de la batería adicional en el voltímetro/amperímetro ubicado en la parte posterior del vehículo junto a la batería adicional.
6. Verificar que el voltaje total del pack vaya aumentando constantemente y al finalizar el amperímetro este en cero (indicando que ya no está cargado la batería adicional).
7. Desconectar de la red eléctrica 220V al conector del vehículo ubicado en el guardachoque posterior.

Tabla 35.

Pruebas del módulo del cargador de la batería adicional del sistema plug in

CONDICIÓN	VOLTIMETRO		AMPERIMETRO		TIEMPO DE CARGA	ESTADO DEL VENTILADOR
	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL		
Conectado a la red eléctrica 220 V						

CONTINÚA 

4.6.5. Protocolo de prueba de carga y descarga de la batería

(Bertolín Corisco, 2014) “La norma UNE-EN 61851: Sistema conductivo de recarga para vehículos eléctricos, define los tipos y requisitos de modelos de recarga que emplearán los vehículos eléctricos en España. Los modos de recarga tienen que ver con el nivel de comunicación entre el vehículo eléctrico y la infraestructura de recarga, y con el control que se puede tener del proceso de recarga y así programarla, conocer su estado, pararla, reanudarla.

Modo 1

Infraestructura de recarga en toma tipo Schuko (toma doméstica) sin comunicaciones entre infraestructura de recarga y vehículo eléctrico. Empleo de una toma de corriente normalizada pero no exclusiva para vehículos eléctricos Conexión del VE a la red de corriente alterna con una intensidad máxima permitida de hasta 16 A. Se considera un modo de recarga a nivel privado; aunque en algunos países, como EE. UU, está prohibido”. (p. 28).

1. El vehículo apagado y estacionado en la posición P (parking).
2. Lectura del voltímetro digital ubicado en la parte posterior del vehículo junto a la batería adicional.
3. Conexión de la red eléctrica 220V al conector del vehículo ubicado en el guardachoque posterior.
4. Calcular el SOC inicial de la batería adicional, para determinar el tiempo necesario de la recarga.
5. Tras realizar la conexión el Timmer se encenderá, colocar manualmente el tiempo estimado previamente mediante cálculos y presionar el botón “Start” para que empiece a cargar la batería adicional.
6. Realizar el cálculo correspondiente para determinar el SOC final después de la carga de la batería adicional.

7. Medición de cada bloque usando el multímetro automotriz para verificar el voltaje de los mismos.
8. Comparar la lectura del voltímetro digital con la medición del multímetro automotriz para verificar que el voltaje total de la batería adicional es correcto.

Tabla 36.

Medición del voltaje de cada bloque antes del proceso de carga de la batería adicional

BATERÍA DE ALTO VOLTAJE – ADICIONAL					
Número de bloques	Voltaje (voltios)		Número de bloques	Voltaje (voltios)	
	Inicio	Final		Inicio	Final
1			8		
2			9		
3			10		
4			11		
5			12		
6			13		
7			14		

Tabla 37.

Control de los parámetros durante el proceso de carga

SOC [%]	Tiempo [h]	Corriente de carga [A]	Voltaje total del Pack [V]	Temperatura del Pack [°F]
	0,5			
	1			
	1,5			
	2			
	2,5			
	3			
	3,5			

Tabla 38.

Condiciones iniciales de la batería adicional para la prueba de ruta después del proceso de carga.

SOC [%]	Voltaje Total del Pack [V]

4.7. Protocolo de prueba estática del vehículo Toyota Prius 3G

La prueba estática del vehículo consiste en cuantificar el tiempo que permanece el vehículo en “READY” y en ralentí con el MCI en “OFF”, es decir en condiciones 100% eléctrico.

1. El vehículo se encuentra estacionado en la posición P.
2. Poner en contacto el vehículo y colocar el interfaz Mini-VCI J2534 para acceder a la lista de datos del control híbrido en el Software Techstream 10.30.29
3. Verificar el SOC inicial en el que se encuentra la batería original del vehículo Toyota Prius.
4. Encender el vehículo y verificar que esté en “READY”
5. Tomar el tiempo y monitorear mediante el Software Techstream la lista de datos de la batería original hasta que el MCI se coloque en “ON”.
6. Este proceso realizar tanto en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in.

Tabla 39.

Proceso de prueba estática en condiciones de híbrido estándar.

SOC [%]	Tiempo [min]	Estado MCI On/Off	V Pack [v]
	0		
	5		
	10		
	15		
	20		
	25		
	30		
	35		
	40		
	45		
	50		
	55		
	60		

Tabla 40.

Proceso de prueba estática en condición con el sistema Plug in.

SOC [%]	Tiempo [min]	Estado MCI	V Pack [v]
		On/Off	
	0		
	5		
	10		
	15		
	20		
	25		
	30		
	35		
	40		
	45		
	50		
	55		
	60		

4.8. Detalles de equipos de medición**4.8.1. Multímetro automotriz.**

El multímetro automotriz es una herramienta de prueba y de diagnóstico empleado por los técnicos en talleres mecánicos, para realizar distintas mediciones como el equipo lo permita.

El multímetro que se empleó para las diferentes pruebas es el de la marca Trisco que contiene las siguientes funciones.

Tabla 41.

Características multímetro Trisco

Función	Descripción
Rpm	Tacómetro para encendido convencional y DIS (300 – 12000rpm)
Hz	Medición de frecuencia (4khz – 40mhz)
Logic probe:	Sonda lógica
Kv	: escala especial para medir kilovoltios en secundario de bobina, cables de bujía (0 – 40kv)
Pulse weight (ms)	Mide el tiempo de inyección en milisegundos (0 – 40ms)
Duty %	Porcentaje de duración del ciclo de trabajo
Dwell	Para 4, 6, 8 cilindros

Tps/maf	Escala especial para chequeo de tps y maf
O2	Escala especial para chequeo de la sonda de oxígeno
Temperatura:	En grados centígrados y Fahrenheit
Amperaje	En ac y dc hasta 20 amp.
Probador de diodos	
Resistencia	Hasta 40 mega ohmios y pito en continuidad
Voltaje	Hasta 500v. Ac y dc

Fuente: Equipos de diagnóstico automotriz autoadvance



Figura 96. Multímetro Trisco

Fuente: Equipos de diagnóstico automotriz autoadvance

4.8.2. Osciloscopio automotriz

(Equipos de diagnóstico automotriz autoadvance, 2017) Menciona que “Este equipo contiene información para la mayoría de vehículos americanos y algunos importados. Tiene incorporado en la misma pantalla los procedimientos de conexión lo que facilita el trabajo. Con una velocidad de 25 MHz. es el más rápido osciloscopio automotriz del mercado, con multímetro gráfico. Comparación en tiempo real de las mediciones con las formas de onda de referencia”.



Figura 97. Osciloscopio automotriz OTC

Fuente: Equipos de diagnóstico automotriz autoadvance

Sus características y funciones se detallan en la Tabla 42:

Tabla 42. Características y funciones osciloscopio automotriz OTC

Orden	Función
1	Analizador de 2 canales.
2	Muestreo de 25 MHz por canal para rápidas actualizaciones de datos.
3	Mediciones y gráficos reales de RMS y GMM (Multímetro gráfico).
4	Una exclusiva trampa de fallas captura, despliega y ocasionalmente salva formas anormales de señal en el modo de analizador para la prueba de componentes.
5	Comparación en tiempo real entre las formas de onda real y formas de onda de referencia en la misma pantalla para la prueba de componentes.
6	Pruebas preestablecidas de revisión de sensores y actuadores.
7	La potente información de referencia incorporada para cada prueba preestablecida incluye procedimiento de prueba y patrón de señal normal de referencia, teoría operativa e indicios para la localización de fallas.
8	Un menú de ayuda extremadamente potente u extenso le permitirá encontrar respuestas rápidamente.
9	La función simple de ignición secundaria muestra la forma de onda junto con el voltaje de chispa, RPM, tiempo de combustión y voltaje de combustión, todo al mismo tiempo.
10	La función diésel permite la regulación de las bombas de inyección y rpm, usando los accesorios opcionales diésel.
11	El interfase USB actualiza códigos y datos enviados por Internet

Fuente: Equipos de diagnóstico automotriz autoadvance

4.8.3. Toyota Techstream

(López, 2017) Describe que “El escáner Techstream es un instrumento destinado a analizar los valores y el funcionamiento del vehículo de marca Toyota Lexus y Scion con el cual se puede verificar el valor de los voltajes de las baterías de los autos híbridos además de DTCs y diferentes datos en tiempo real.

El Toyota Techstream Lite, permite diagnosticar todos los sistemas de motores, ABS, airbag, transmisión, etc., realiza un diagnóstico vía CAN 50 veces más rápido que los equipos convencionales” (p. 60).

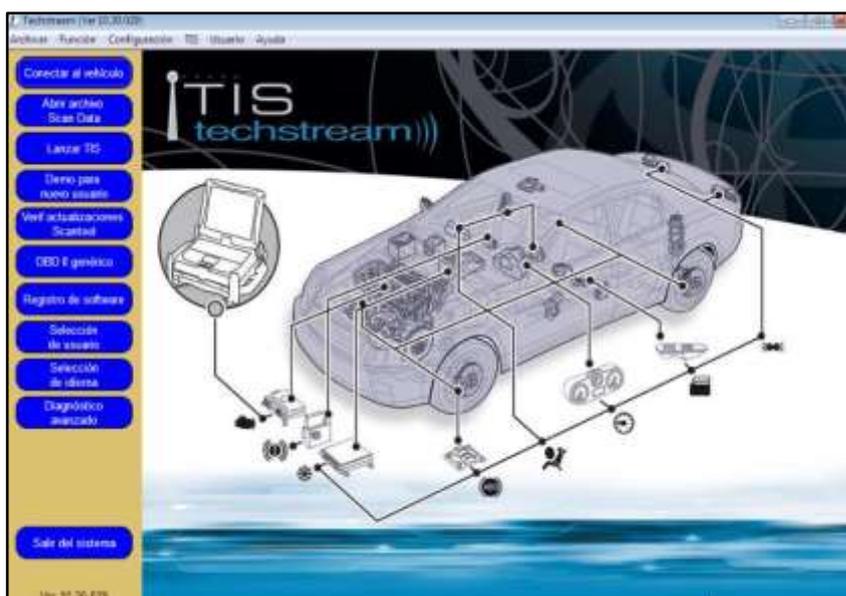


Figura 98. Software Toyota Techstream

(López, 2017) Detalla que “Conexión fácil y rápida por USB, para realizar aplicaciones de sistemas con su PC. Trabaja a nivel concesionario. Es un equipo original para todo Toyota con conector OBD2 para híbridos con amplia cobertura toda la línea global, gasolina y diésel” (p. 60).

Tabla 43. Características Techstream

Orden	Características
1	Lectura de datos del Vehículos PID Data list
	Lectura de códigos de falla (DTC)

CONTINÚA



3	Activación de Relays, Solenoide, etc. (Active Test)
4	Reprogramación de ECUs
5	Memoria de datos para verificación de problemas (Snapshot)
6	Cambio de opciones en sistemas electrónicos del Body

Fuente: (López, 2017)

4.8.4. Softwares de simulación de circuitos eléctricos

Los softwares de simulación de circuitos eléctricos utilizados en el presente proyecto presentan una manera gráfica sencilla. Donde se puede visualizar el flujo de la corriente y el comportamiento de los componentes electrónicos mientras se genera una simulación de su funcionamiento, el software es amigable y fácil de utilizar incluso por aquellos que primera vez empiezan a usar simuladores, así que nadie tendrá problemas al utilizarlo. Al iniciar el programa, abre una ventana de guía sobre el funcionamiento de algunos dispositivos electrónicos y de la corriente. Se relaciona con LiveWire y PCB Wizard.

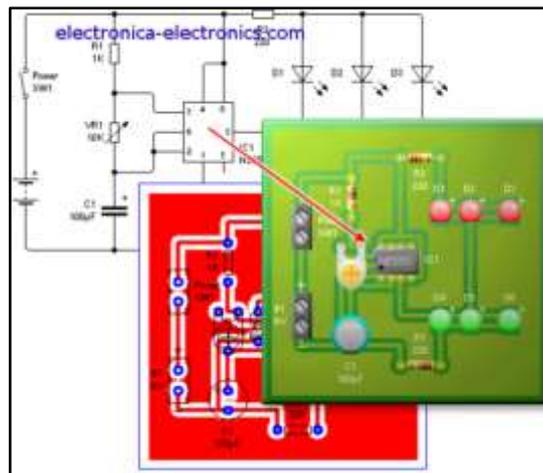


Figura 99. Software de simulación de circuitos eléctricos

Fuente: (Puentes, 2015)

4.8.5. Pirómetro óptico

(SÁNCHEZ, 2005) Menciona que “Un pirómetro óptico es usado para medir la temperatura de un cuerpo. Funciona comparando el brillo de la luz emitida por la fuente de calor con la de una fuente estándar. Consta de dos partes: un telescopio y una caja de control. El telescopio contiene un filtro para color rojo y una lámpara con un filamento calibrado, sobre el cual la lente del objetivo enfoca una imagen del cuerpo cuya temperatura será medida” (p. 12).



Figura 100. Pirómetro óptico

Fuente: (Marketing Digital - Diseño Web, 2006)

4.8.6. Interfaz OBDLink SX EOBD

Es un software automotriz que diagnostica con rapidez y precisión los problemas del motor y proporcionará datos en tiempo real con la ayuda de una computadora portátil con un puerto USB y capaz de apagar la luz MIL y detectar DTC que posee el vehículo

Crea sus propias pantallas de diseño personalizado, mide y muestra la economía de combustible, distancia recorrida y tiempo de encendido del motor de combustión interna entre otros PID's característicos de cada modelo de vehículo.



Figura 101. Software OBDWIZ

4.8.7. Vehículo Toyota Prius 3G

(López, 2017) menciona que “El vehículo Híbrido del Prius 3G posee dos motores, uno eléctrico que cumple con dos funciones, la de propulsión y la de generador según se requiera, el motor a gasolina convencional de 1.8 litros. La función de propulsión entrega potencia al vehículo con alto ahorro de combustible en reemplazo del motor a gasolina, mientras que cuando se encuentra utilizando el motor a gasolina, el motor eléctrico cumple con la función de generador, recargando la batería híbrida gracias al sistema de frenado regenerativo, motivo por el cual el Prius 3G no requiere de una fuente externa de energía para recargarse.

La transmisión de este moderno vehículo tiene el nombre de E-CVT, Transmisión continuamente variable controlada electrónicamente. Esta transmisión ayuda a tener un desempeño progresivo de la potencia del motor entregada a las ruedas, lo que se traduce en no tener pérdidas de energía al momento de realizar diferentes cambios de marcha. Esta transmisión cuenta con una marcha marcada con la letra B, Break, la cual funciona como un freno motor, disminuyendo la velocidad del vehículo, pero ayudando a que la batería híbrida se recargue más rápido.

El principal objetivo de los vehículos híbridos de Toyota es disminuir considerablemente el consumo de combustible y reducir al máximo las emisiones de CO” (p. 63).



Figura 102. Toyota Prius 3G

Fuente: (Toyota Ecuador, 2017)

Conclusiones del capítulo

- Se elaboró un protocolo de pruebas en donde se evalúa el funcionamiento del sistema plug in en las diferente rutas ciudad y carretera.
- Se planteó una prueba estática del vehículo en donde se monitorea el tiempo de encendido del MCI implementado el sistema plug-in.
- Se realizó la descripción de los equipos y software utilizados durante las pruebas de ruta y estáticas que ayudaron en la recopilación de datos para su posterior análisis.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES REALIZADAS.

En este capítulo se analiza los datos del monitoreo de los PID's del control híbrido recopilados durante las pruebas estáticas y de ruta, para lo cual se estableció un protocolo para que de esta manera realizar una comparación cuando se utiliza el vehículo en diferentes condiciones es decir en híbrido estándar y con el sistema plug-in.

5. Análisis de resultados del vehículo Toyota Prius 3G.

5.1. Análisis de la prueba de ruta en carretera

A continuación, se detalla los datos obtenidos durante la prueba de ruta en carretera tanto en condiciones de híbrido estándar e híbrido plug-in, usando el interface Toyota Mini VCI J2534 Techstream para determinar los PID's iniciales y finales, el interface OBDLink SX EOBD y display del vehículo que permitió realizar una tabla comparativa del consumo de combustible y el aumento de la autonomía eléctrica al implementar dicho sistema.

5.1.1. Resultados de la batería original del vehículo

a) Análisis de voltaje de cada bloque de la batería original

Se muestra los valores obtenidos del voltaje de cada uno de los bloques de la batería original al inicio y final de la prueba los cuales se obtuvo por medio del Interfaz Mini-VCI J2534 Techstream en la condición de híbrido estándar y con el sistema plug-in como se puede identificar en la tabla 44 y 45 respectivamente.

Tabla 44.

Voltaje de cada bloque de la batería original al inicio y final de la prueba sin el sistema plug-in.

Núm. de bloque	Voltaje [V]		Núm. de bloque	Voltaje [V]	
	Inicio	Final		Inicio	Final
1	15,79	15,82	8	15,79	15,77
2	15,84	15,79	9	15,77	15,77

3	15,79	15,82	10	15,72	15,74
4	15,79	15,79	11	15,77	15,77
5	15,78	15,79	12	15,70	15,74
6	15,82	15,74	13	15,77	15,77
7	15,77	15,79	14	15,74	15,74

Tabla 45.

Voltaje de cada bloque de la batería original al inicio y final de la prueba con el sistema plug-in.

Núm. de bloque	Voltaje [V]		Núm. de bloque	Voltaje [V]	
	Inicio	Final		Inicio	Final
1	15,78	15,89	8	15,79	15,87
2	15,83	15,84	9	15,76	15,82
3	15,79	15,92	10	15,72	15,77
4	15,79	15,89	11	15,77	15,89
5	15,78	15,87	12	15,70	15,84
6	15,81	15,89	13	15,76	15,84
7	15,77	15,87	14	15,74	15,82

b) Análisis estadístico de los valores iniciales de voltaje de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in

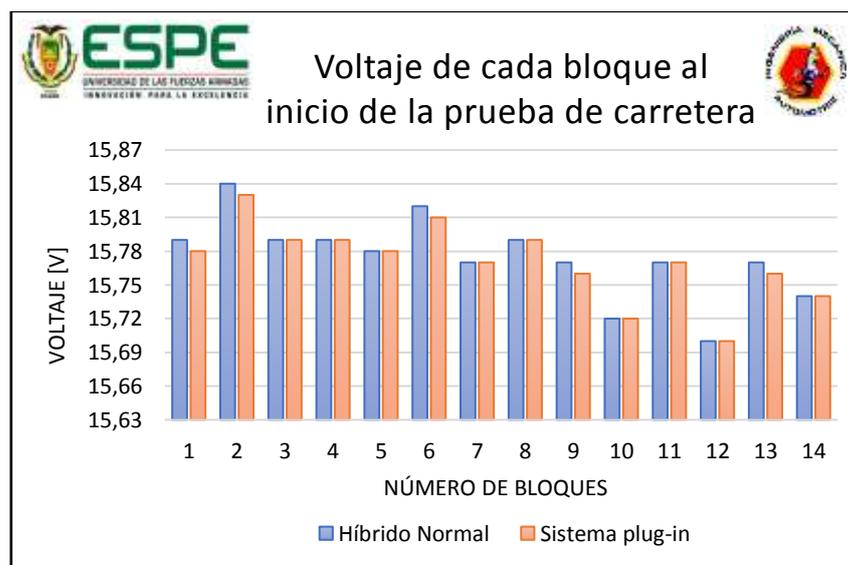


Figura 103. Valores iniciales de voltaje de cada uno de los bloques de la batería original

En la figura 103 se visualiza que las condiciones iniciales el voltaje de cada uno de los bloques son casi similares, lo cual es primordial para realizar

una comparación con los voltajes al final de la prueba tanto con el sistema híbrido estándar y el sistema plug-in

c) Análisis estadístico del voltaje de cada bloque al finalizar la prueba de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in

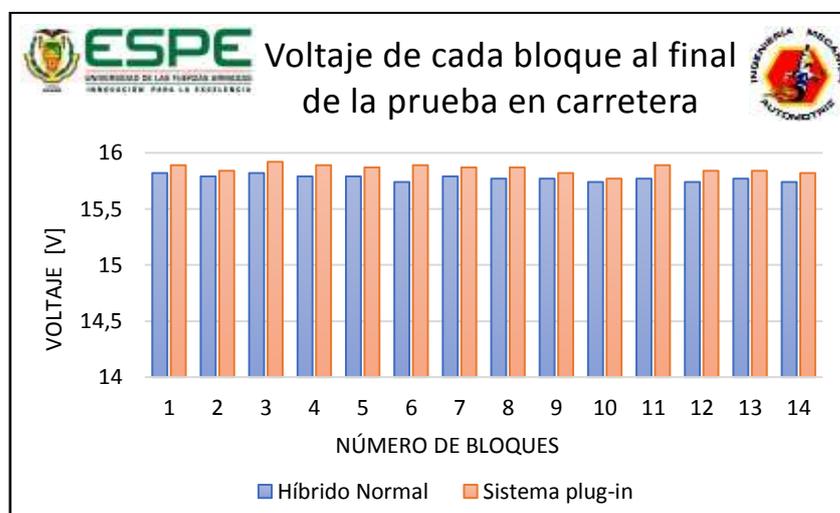


Figura 104. Voltaje final de cada uno de los bloques de la batería original

En la figura 104 se identifica que el sistema plug-in tiene un voltaje por bloque mayor que del híbrido estándar debido a que la ruta establecida posee pendientes pronunciadas y una velocidad promedio de 90km/h lo cual provoca que el motor de combustión interna permanezca más tiempo encendido y constantemente cargue la batería de alto voltaje del vehículo Toyota Prius 3G y otra razón es por el freno regenerativo el cual durante el descenso este tiende a cargar la batería original.

d) Análisis de la resistencia interna de cada bloque en función de los valores de cada sensor de temperatura para la prueba en carretera en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in.

A continuación, se observa la resistencia interna de cada uno de los bloques de la batería original y los valores de los tres sensores de temperatura al inicio y final de la prueba los cuales fueron monitoreados por el Interfaz Mini-VCI J2534 Techstream en la condición de híbrido estándar y con el sistema plug-in.

Tabla 46.

Valores de la resistencia interna de cada uno de los bloques al inicio y final de la prueba con el sistema híbrido estándar.

Núm. de bloque	Resistencia Interna [Ω]		Núm. de bloque	Resistencia Interna [Ω]	
	Inicio	Final		Inicio	Final
1	0,021	0,025	8	0,021	0,024
2	0,021	0,024	9	0,021	0,025
3	0,021	0,024	10	0,021	0,024
4	0,021	0,024	11	0,021	0,024
5	0,021	0,026	12	0,021	0,025
6	0,020	0,024	13	0,021	0,024
7	0,021	0,024	14	0,022	0,024

La distribución de los sensores de temperatura es TB1 del bloque 1 al 5, TB2 del bloque 6 al 9 y finalmente el sensor TB3 del bloque 10 al 14.

Tabla 47.

Valores de los sensores de temperatura de la batería original en la prueba en carretera en condiciones híbrido estándar.

T. Inicio [$^{\circ}\text{C}$]			T. Final [$^{\circ}\text{C}$]		
TB1	TB2	TB3	TB1	TB2	TB3
31,77	32,27	29,38	47,27	49,72	46,27

Tabla 48.

Valores de la resistencia interna de cada uno de los bloques al inicio y final de la prueba de carretera con el sistema plug-in.

Núm. de bloque	Resistencia Interna [Ω]		Núm. de bloque	Resistencia Interna [Ω]	
	Inicio	Final		Inicio	Final
1	0,022	0,023	8	0,020	0,023
2	0,021	0,023	9	0,020	0,023
3	0,020	0,023	10	0,021	0,023
4	0,020	0,023	11	0,021	0,023



5	0,021	0,024	12	0,021	0,023
6	0,020	0,023	13	0,021	0,023
7	0,020	0,023	14	0,022	0,024

Tabla 49.

Valores de los sensores de temperatura de la batería original con el sistema plug-in.

T. Inicio [°C]			T. Final [°C]		
TB1	TB2	TB3	TB1	TB2	TB3
31,5	32	29,54	41,72	44	40,72

e) Análisis estadístico de los valores iniciales de la resistencia interna de cada uno de los bloques de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in

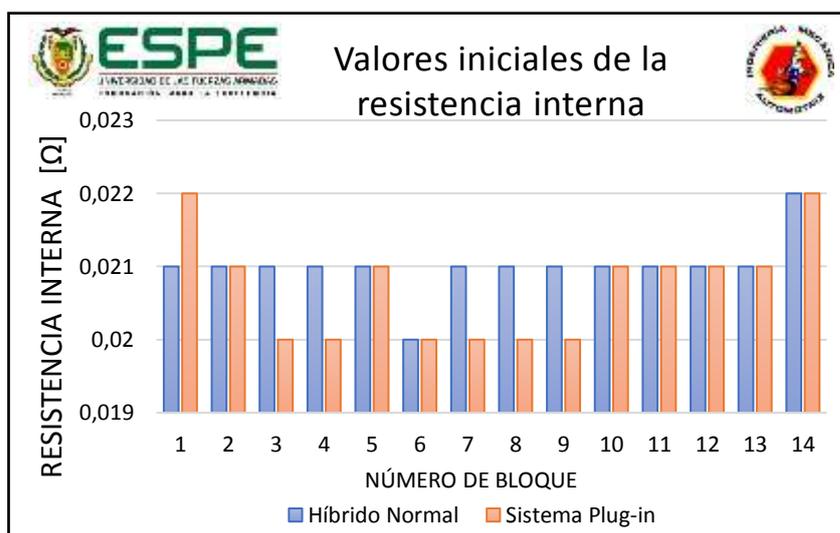


Figura 105. Valores iniciales de la resistencia interna de cada uno de los bloques de la batería original

En la figura 105 se observa los valores iniciales de la resistencia interna de los bloques son casi similares, lo cual es importante para hacer una comparación con los valores de la resistencia interna final y así determinar si el estado de salud SOH de la batería original aumenta.

- f) **Análisis estadístico de los valores finales de la resistencia interna de cada uno de los bloques de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in**

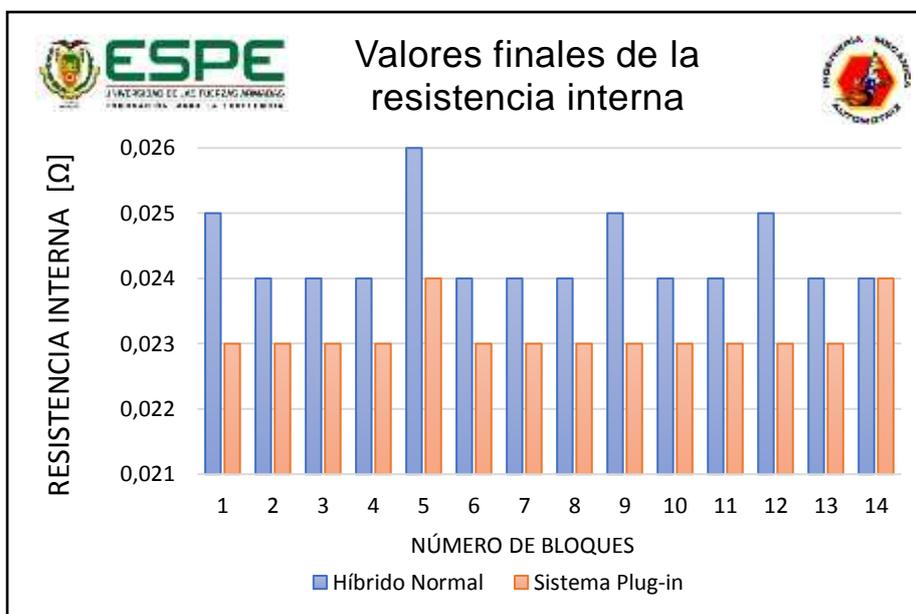


Figura 106. Valores finales de la resistencia interna de cada uno de los bloques de la batería original

En la figura 106 se observa que la implementación del sistema plug-in reduce la resistencia interna de cada uno de los bloques de la batería original a comparación del sistema híbrido estándar y aumenta el estado de salud de la misma SOH en el siguiente porcentaje.

Para obtener el % de SOH se realizó un promedio de los valores finales de la resistencia interna de cada una de las condiciones ya sea híbrido estándar y con el sistema plug-in.

$$\% \text{ SOH} = \left(\frac{\text{Prom. R. I. Plug in} * 100}{\text{Prom. R. I. HN}} \right)$$

Ecuación 20: Ecuación del porcentaje de estado de salud de la batería original

Donde:

$\% \text{ SOH} = \text{Porcentaje de estado de salud}$

$\text{Prom. R.I. Plug-in} = \text{Promedio de la resistencia interna - Plug in}$

$\text{Prom. R.I. HN} = \text{Promedio de la resistencia interna - híbrido norma}$

Así:

$$\% \text{ SOH} = \left(\frac{0,0231 * 100}{0,0243} \right)$$

$$\% \text{ SOH} = 95,06 \%$$

$$\% \text{ SOH} = 100 - 95,06 \%$$

$$\% \text{ SOH} = 4,94 \%$$

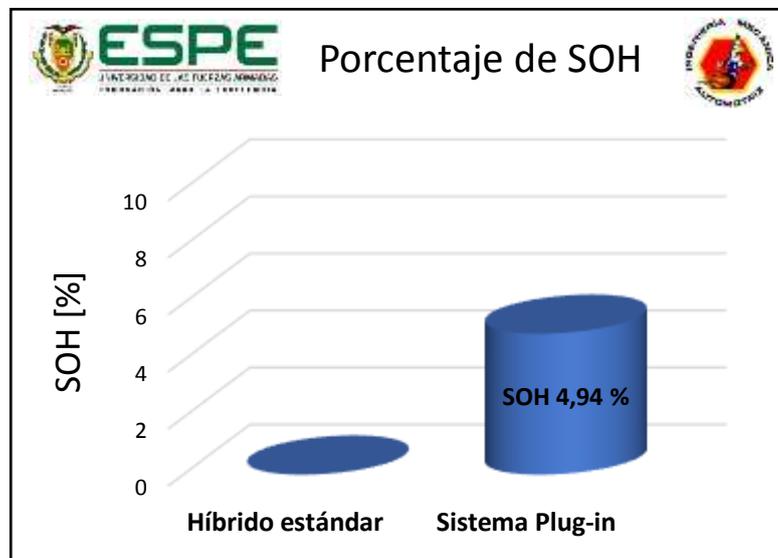


Figura 107. Porcentaje de SOH

En la figura 107 se observa que la implementación del sistema plug-in reduce la resistencia interna de la batería de cada uno de los bloques aumentando en un 5% el estado de salud SOH.

- g) Análisis estadístico de los valores iniciales de los sensores de temperatura de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in**

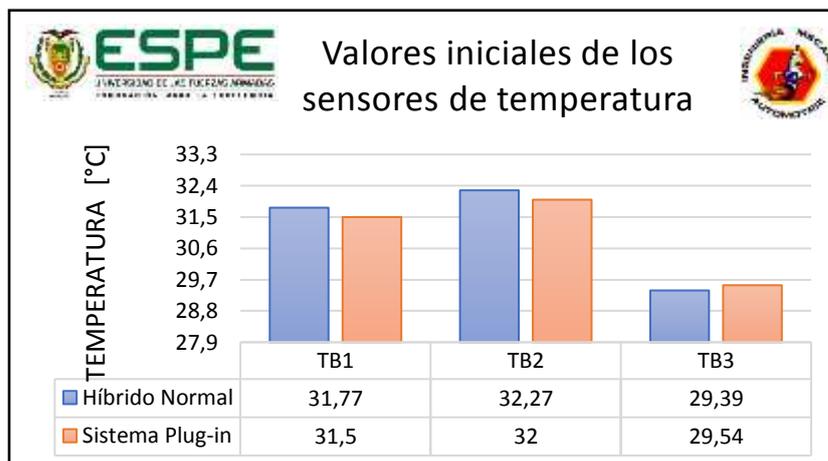


Figura 108. Valores iniciales de los sensores de temperatura de la batería original

En la figura 108 se identifica los valores iniciales de los tres sensores de temperatura que dispone la batería original y teniendo en cuenta que el TB2 siempre va tener la mayor medición de temperatura porque es ahí donde se acumula el calor.

h) Análisis estadístico de los valores finales de los sensores de temperatura de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in

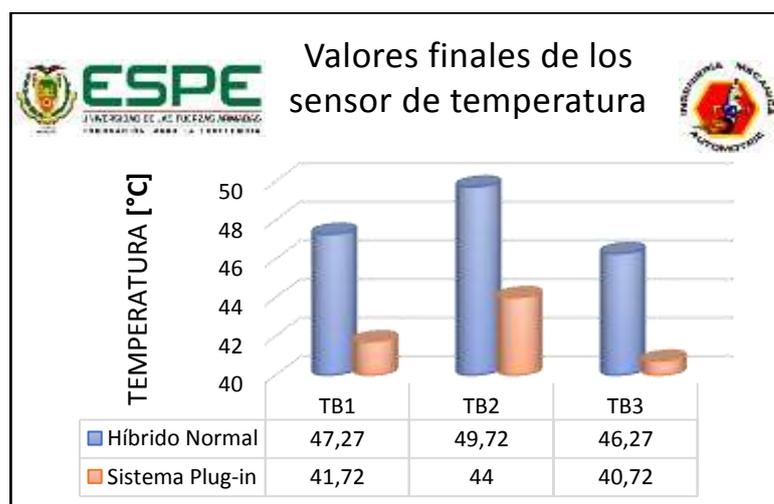


Figura 109. Valores finales de los sensores de temperatura

En la figura 109 se verifica que los valores de temperatura disminuyeron con el sistema plug-in y dando así mas estado de salud SOH a la batería original en el siguiente porcentaje %

$$\% \text{ SOH} = \left(\frac{\text{Prom. T. Plug in} * 100}{\text{Prom. T. HN}} \right)$$

Ecuación 21: Ecuación del porcentaje de estado de salud de la batería original

Donde:

$\% \text{ SOH}$ = Porcentaje de estado de salud

$\text{Prom. T. Plug - in}$ = Promedio de la temperatura – Plug in

Prom. T. HN = Promedio de la temperatura – híbrido normal

Así:

$$\% \text{ SOH} = \left(\frac{42,15 * 100}{47,75} \right)$$

$$\% \text{ SOH} = 88,27 \%$$

$$\% \text{ SOH} = 100 - 88,27 \%$$

$$\% \text{ SOH} = 11,73 \%$$

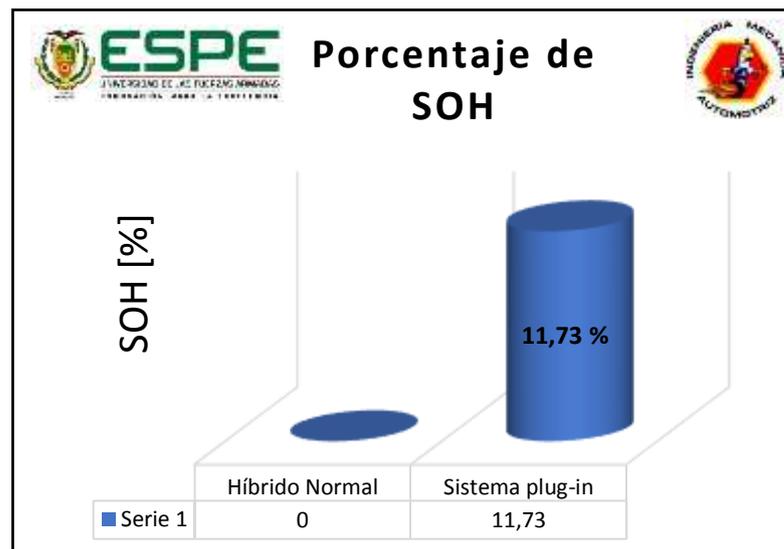


Figura 110. Porcentaje de SOH de los sensores de temperatura

En la figura 106 se observa gráficamente que la resistencia interna de cada uno de los bloques disminuye y en la figura 109 se observa que también los valores de los sensores de temperatura se reduce gracias a la

implementación del sistema plug -in dándole así un aumento de salud SOH total de 16,67 % a la batería original del vehículo

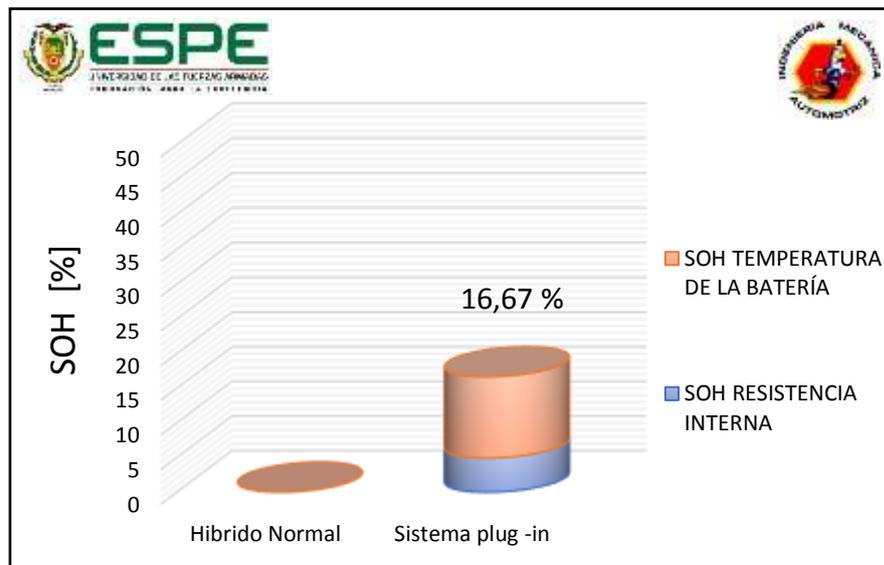


Figura 111. Porcentaje total de SOH de la batería adicional

5.1.2. Análisis de los resultados obtenidos de la batería adicional

A continuación, se idéntica los datos obtenidos de cada uno de los parámetros del proceso de carga de la batería adicional, y los valores obtenidos del voltaje de cada uno de los bloques al inicio y final de la prueba con el sistema plug –in.

a) Parámetros durante el proceso de carga

Las mediciones realizadas a continuación se aplican para las dos pruebas en carretera y ciudad al emplear el sistema Plug in, ya que antes de cada prueba de ruta es indispensable cargar la batería adicional. Se detalla los datos obtenidos durante el proceso de carga, usando el multímetro automotriz, amperímetro digital y pirómetro.

El tiempo de carga que se aplicó a la batería adicional fue 3,71 horas, a un amperaje de 0,7 A y el estado de carga SOC se lo calculo tomando en cuenta la capacidad de carga total en base al 100% de eficiencia y se lo obtuvo de la siguiente manera:

$$\% SOC.A_t = \left(\frac{Carga * 100}{Cap.ba} \right) + \% SOC.A_{40\%}$$

$$\% SOC.A_t = \left(\frac{(I(A) * T(h)) * 100}{Cap.ba} \right)$$

Ecuación 22: Ecuación del porcentaje de estado de carga de la batería adicional

Donde:

$\% SOC.A$ = Porcentaje de estado de carga de la batería adicional (%)

t = Rango de tiempo en (horas)

$I(A)$ = Amperaje de carga en (Amperios)

$T(h)$ = Tiempo de carga en (horas)

$Cap.ba$ = Capacidad de la batería adicional en (A – h)

$\% SOC.A_{40\%}$ = 40% de carga que posee la batería adicional

Así:

$$\% SOC.A_{0,5h} = \left(\frac{(0,7A * 0,5h) * 100}{6,5 A - h} \right) + 40 \%$$

$$\% SOC.A_{0,5h} = 5,384 \% + 40 \%$$

$$\% SOC.A_{0,5h} = 45,38\%$$

$$\% SOC.A_{1h} = \left(\frac{(0,7A * 1h) * 100}{6,5 A - h} \right) + 40 \%$$

$$\% SOC.A_{1h} = 10,77 \% + 40 \%$$

$$\% SOC.A_{1h} = 50,77\%$$

$$\% SOC.A_{1,5h} = \left(\frac{(0,7A * 1,5h) * 100}{6,5 A - h} \right) + 40 \%$$

$$\% SOC.A_{1,5h} = 16,15 \% + 40 \%$$

$$\% SOC.A_{1,5h} = 56,15\%$$

$$\% SOC.A_{2h} = \left(\frac{(0,7A * 2h) * 100}{6,5 A - h} \right) + 40 \%$$

$$\% SOC.A_{2h} = 21,54 \% + 40 \%$$

$$\% SOC.A_{2h} = 61,54$$

$$\% SOC.A_{2,5h} = \left(\frac{(0,7A * 2,5h) * 100}{6,5 A - h} \right) + 40 \%$$

$$\% SOC.A_{2,5h} = 26,92 \% + 40 \%$$

$$\% SOC.A_{2,5h} = 66,92\%$$

$$\% SOC.A_{3h} = \left(\frac{(0,7A * 3h) * 100}{6,5 A - h} \right) + 40 \%$$

$$\% SOC.A_{3h} = 32,30\% + 40 \%$$

$$\% SOC.A_{3h} = 72,30\%$$

$$\% SOC.A_{3,5h} = \left(\frac{(0,7A * 3,5h) * 100}{6,5 A - h} \right) + 40 \%$$

$$\% SOC.A_{3,5h} = 37,69\% + 40 \%$$

$$\% SOC.A_{3,5h} = 77,69\%$$

$$\% SOC.A_{3,71h} = \left(\frac{(0,7A * 3,71h) * 100}{6,5 A - h} \right) + 40 \%$$

$$\% SOC.A_{3,71h} = 39,95\% + 40 \%$$

$$\% SOC.A_{3,71h} = 80\%$$

Tabla 50.

Control de carga de la batería adicional

SOC [%]	Tiempo [h]	Corriente de carga [A]	Voltaje total del Pack [V]	Temperatura del Pack [°C]		
45,38	0,5	0,7	231,1	22,4	23,1	22,2
50,77	1	0,7	235,3	22,6	23,7	24,2
56,15	1,5	0,7	236,4	25	25,4	25,4
61,54	2	0,7	236,7	26,3	26,6	26,1
66,92	2,5	0,7	237,1	26,8	27,1	26,7
72,31	3	0,7	238,5	27,1	27,5	27,3
77,69	3,5	0,7	239,1	27,4	27,8	27,6
80	3,71	0,7	240,2	27,9	28,4	28,1

b) Análisis estadístico % SOC vs Tiempo en el proceso de carga de la batería adicional

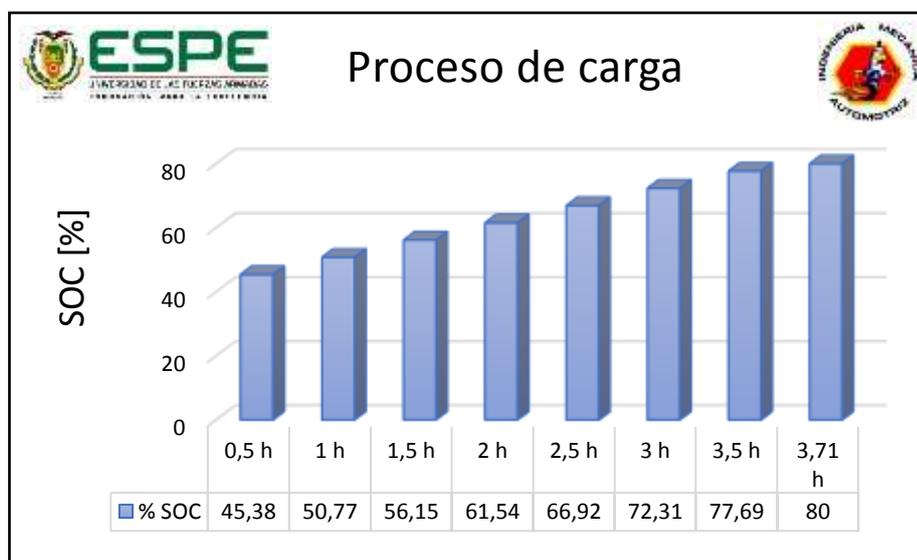


Figura 112. Proceso de carga de la batería adicional

En la figura 112 se contempla el proceso de carga de la batería adicional en un tiempo de 3,71 h se obtuvo un 40 % de SOC teniendo en cuenta que la batería siempre va a tener 40 % de carga es por eso que se sumó al resultado del SOC alcanzado dando un total de 80% que es lo máximo que se la puede cargar.

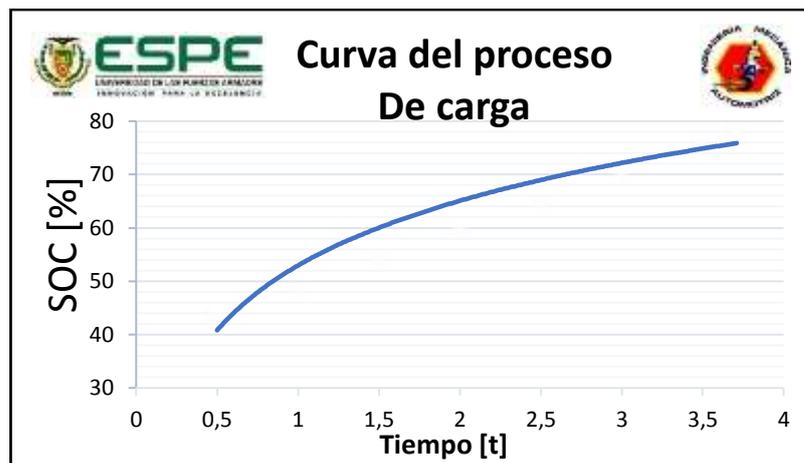


Figura 113. Curva de proceso de carga de la batería adicional

c) Análisis estadístico Corriente vs Tiempo en el proceso de carga de la batería adicional

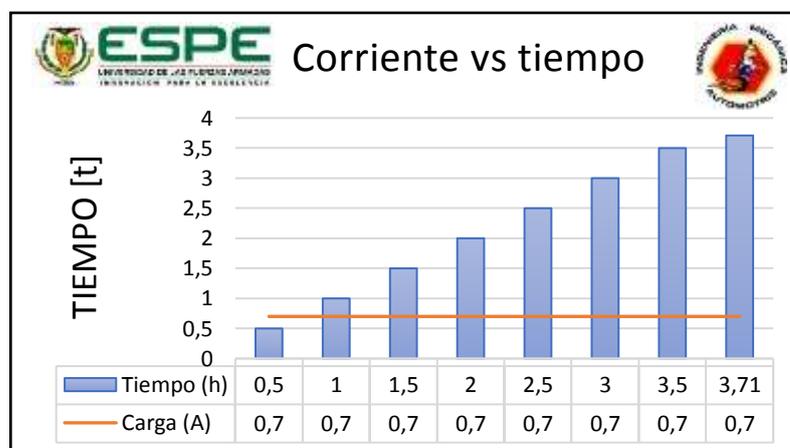


Figura 114. Grafica combinada de la Corriente vs Tiempo de carga

En la gráfica 114 se muestra el amperaje de carga de la batería adicional que fue de 0,7 A el cual se monitoreando cada 30 minutos hasta llegar al tiempo establecido de 3,71 h o 3 horas con 42 minutos para llegar al 80 % de SOC.

d) Análisis estadístico V pack vs Tiempo en el proceso de carga de la batería adicional

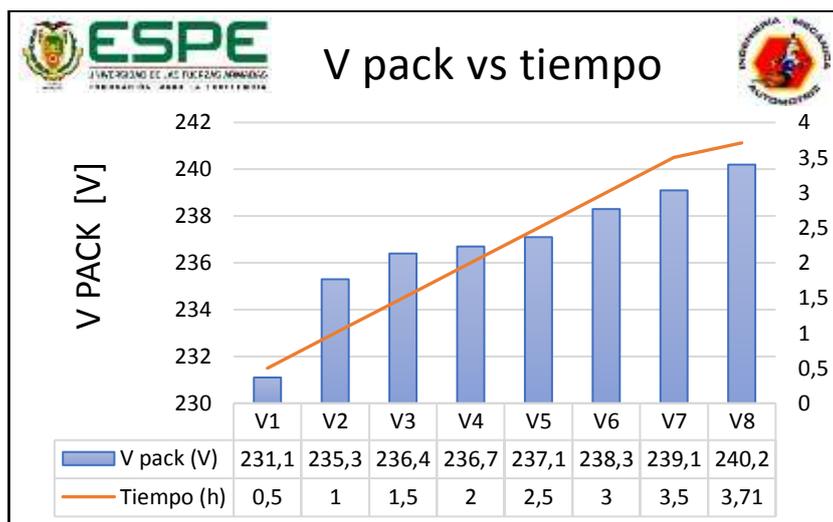


Figura 115. Diagrama combinado del V pack de la batería adicional vs tiempo

En la gráfica 115 se distingue el voltaje del pack de la batería adicional va aumentando progresivamente hasta llegar a un voltaje de 240,2 V en un tiempo de 3,71 h o 3 con 42 minutos.

e) Análisis estadístico TB1, TB2, TB3 vs Tiempo en el proceso de carga de la batería adicional

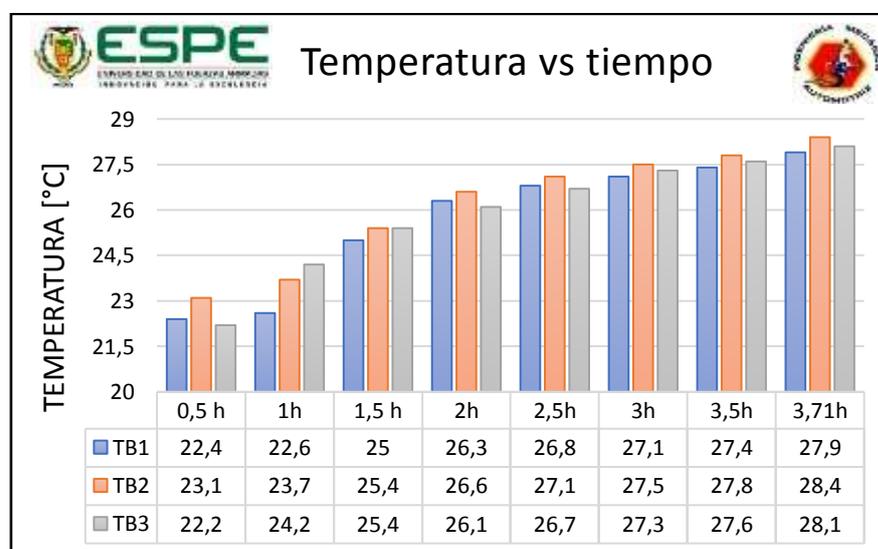


Figura 116. Valores de TB1, TB2, TB3 de la batería adicional Vs Tiempo

En la figura 116 se mira las temperaturas de los tres puntos donde se tomó medidas de la batería adicional con el pirómetro en el proceso de carga, después de las 3 horas con 42 minutos la máxima temperatura que se visualizó fue de 28,4°C lo cual indica que la batería no va correr ningún riesgo de sobrecalentamiento y no es necesario de un sistema de refrigeración con comparación de la batería original que llega a temperaturas superiores de 49°C donde corre el riesgo de un aumento de presión de cada uno de sus celdas.

5.1.3. Análisis de los resultados obtenidos de la batería adicional

Este análisis se desarrolla únicamente cuando se realiza la prueba de ruta en condiciones de Híbrido Plug in ya que solo y únicamente en este caso entra en funcionamiento la batería adicional del sistema implementado las mediciones se realizaron con la ayuda de un multímetro automotriz.

a) Análisis de voltaje de cada bloque de la batería adicional

Tabla 51.

Voltaje de cada bloque de la batería adicional al inicio y final de la prueba con el sistema plug-in.

Núm. de bloque	Voltaje [V]		Núm. de bloque	Voltaje [V]	
	Inicio	Final		Inicio	Final
1	17,1	16,02	8	17,15	15,8
2	17,15	15,75	9	16,95	15,8
3	17,1	15,52	10	17,15	15,9
4	17	15,8	11	17	16
5	16,95	15,7	12	16,95	15,7
6	17,15	15,6	13	16,95	15,8
7	16,95	15,7	14	17,1	16

b) Análisis estadístico de los valores del voltaje al inicio y final de la batería adicional con el sistema Plug in.

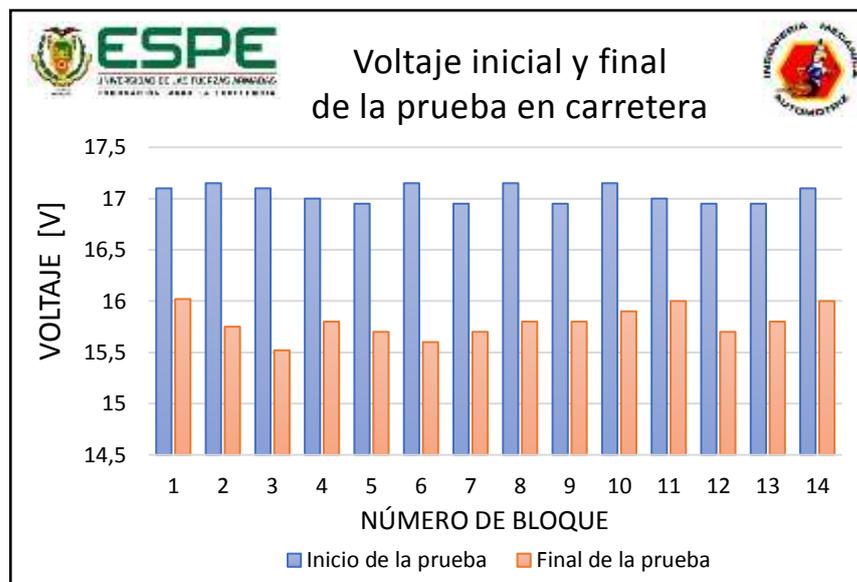


Figura 117. Valores del voltaje de cada bloque al inicio y final de la prueba

En la gráfica 117 se divisa el voltaje inicial de cada uno de los bloques con un total de 238,65 V y al finalizar la prueba se observa que el voltaje disminuye a 221,09 V lo cual demuestra que la batería adicional aporato a la batería original y así extender la autonomía eléctrica del vehículo.

c) Análisis de la temperatura de funcionamiento de la batería adicional

Se realizó la medición en tres puntos usando un pirómetro con el cual se simuló a los sensores de temperatura que dispone la batería original. Los cuales son TB1 del bloque 1 al 5, TB2 del bloque 6 al 9 y finalmente el sensor TB3 del bloque 10 al 14.

Tabla 52.

Valores de los sensores de temperatura de la batería adicional.

T. Inicio [°C]			T. Final [°C]		
TB1	TB2	TB3	TB1	TB2	TB3
18,9	24,3	23,9	26,4	28,7	28,1

d) Análisis estadístico de la temperatura de la batería adicional al inicio y final de la prueba con el sistema Plug in.

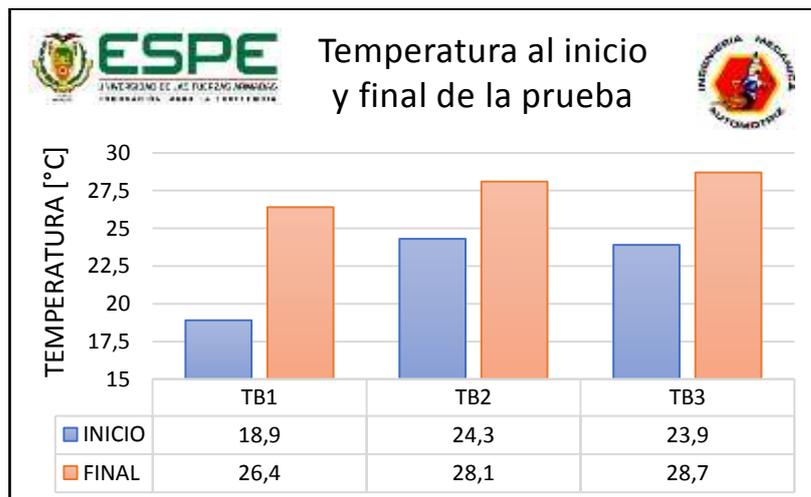


Figura 118. Temperatura al inicio y final de prueba de la batería adicional con el sistema plug-in

En la figura 118 se analiza los valores iniciales y finales de los tres puntos de medición que se realizó a la batería adicional al final de la prueba la mayor temperatura que alcanzo fue de 28,7°C al recorrer 108 km lo que significa que no existe la posibilidad que ocurra un sobrecalentamiento.

e) Análisis de los valores de SOC de la batería adicional con el sistema Plug in.

Se realizó la medición de los PID's al inicio y final de la prueba como es el SOC y el voltaje del pack de la batería adicional como se muestra en la tabla 53.

Tabla 53.

Valores de los PID's de la batería adicional.

SOC [%]		VOLTAJE DEL PACK [V]	
Inicio	Final	Inicio	Final
72,31	40	238,65	221,09

f) **Análisis estadístico del porcentaje (%) de SOC al inicio y final de la prueba con el sistema Plug in**

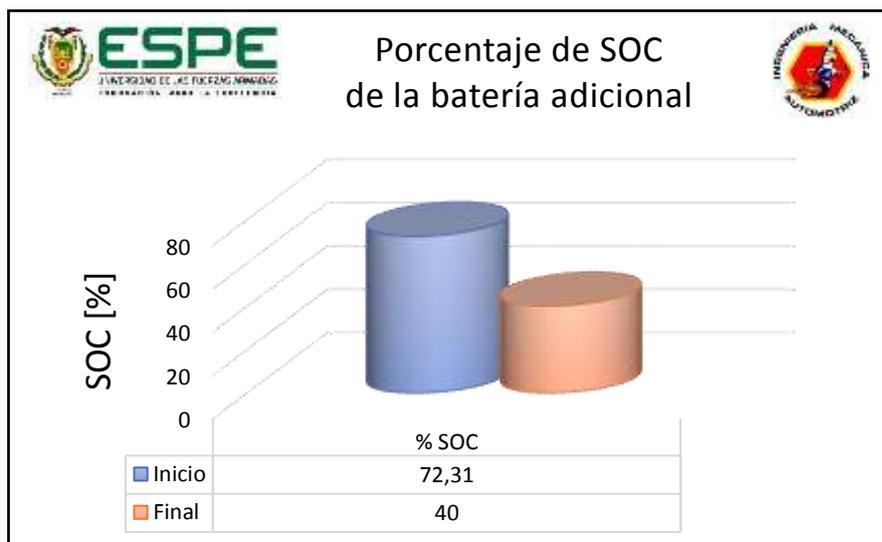


Figura 119. Valor del SOC de la batería adicional

En la figura 119 se observa el porcentaje del SOC de 72,31 % inicial de la batería adicional el cual fue calculado por medio de la capacidad de la batería, tiempo de carga como se muestra en la ecuación 22 y SOC final es de 40 % ya que la batería nunca baja de ese parámetro.

g) **Análisis estadístico del voltaje de pack al inicio y final de la prueba con el sistema Plug in**



Figura 120. Valores del V.PACK adicional

En la figura 120 se distingue el voltaje inicial del pack adicional de 238,65 V y al recorrer 108 km el voltaje disminuyó a 221,09 V así comprobando el aporte de la batería adicional a la original.

5.1.4. Consumo de combustible en carretera

A continuación, se analiza los resultados de las pruebas de consumo de combustible por medio del display del vehículo que se encuentra en litros/100 km, el interfaz OBDLink SX EOBD en galones (gl) logrando conseguir datos experimentales los cuales ayudaron a realizar una relación entre consumo de combustible y autonomía eléctrica de desplazamiento del vehículo Toyota Prius 3G en la ruta carretera Latacunga - Quito en condiciones de híbrido estándar y con el sistema plug in.

Tabla 54.

Resultados de consumo de combustible, obtenidos durante la prueba de carretera en condiciones de híbrido estándar e híbrido plug in

Hora Inicio	Hora final	Condición	Consumo promedio Display [l]	Distancia [km]	Consumo Interfaz OBDwiz [gl]
07:45	09:17	Híbrido estándar	5,0	108	1,46
07:45	09:17	Plug in	4,1	108	1,26

a) Resultado del consumo de combustible por medio del display del vehículo en condición híbrido estándar

Se presenta los resultados obtenidos con el display del vehículo, el cual tiene como distintivo mostrar el consumo de combustible cada 5 minutos y también al final de la prueba, la autonomía de distancia se muestra en km los resultados obtenidos fueron los siguientes.

Tabla 55.

Consumo de combustible del display del vehículo

CONDICIÓN	CONSUMO [l/100km]	DISTANCIA [Km]
Híbrido estándar	5,0	108
Plug in	4,1	108

Se distingue el consumo de combustible de 5 l/100km en 108 km de recorrido en carretera con el vehículo en híbrido estándar con un tiempo de 1h 32 minutos, con estos resultados experimentales se estableció una relación entre el consumo de combustible y distancia de autonomía y así obtener el consumo real del vehículo.

$$\text{Cons. } C = \text{Med. } D * \text{dist. } V$$

Ecuación 23: Ecuación del consumo de combustible al final de la prueba

Donde:

Cons. C = Consumo de combustible al final de la prueba

Med. D = Medición del display del vehículo

dist. V = Distancia recorrida por el vehículo

Así:

$$\text{Cons. } C = \text{Med. } D * \text{dist. } V$$

$$\text{Cons. } C = \left(\frac{5l}{100 \text{ km}} \right) * 108 \text{ km}$$

$$\text{Cons. } C = 5,4 \text{ litros en } 108 \text{ k}$$

$$\text{Cons. } C \text{ en gl} = \frac{\text{Cons. } C * k}{1 l}$$

Ecuación 24: Ecuación del consumo de combustible al final de la prueba en galones

Donde:

Cons. C en gl = Consumo de combustible al final de la prueba en galones

K = Constante para transformar de litros a galones

$$1 \text{ litro} = 0,264172 \text{ gl}$$

Así:

$$\text{Cons. } C \text{ en gl} = \frac{\text{Cons. } C * k}{1 l}$$

$$\text{Cons. } C \text{ en gl} = \frac{5,4l * 0,264172 \text{ gl}}{1 l}$$

$$\text{Cons. } C \text{ en gl} = 1,43 \text{ gl en } 108 \text{ km}$$

b) Resultado del consumo de combustible por medio del display del vehículo en condición híbrido con el sistema plug – in

El consumo de combustible es de 4,1litros/100km en 108 km de recorrido en carretera con el sistema plug-in con un tiempo de 1h 34 minutos, con estos resultados experimentales se estableció una relación entre el consumo de combustible, autonomía de distancia y así obtener el consumo real del vehículo.

$$\text{Cons. } C = \text{Med. } D * \text{dist. } V$$

$$\text{Cons. } C = \left(\frac{4,1l}{100 \text{ km}} \right) * 108 \text{ km}$$

$$\text{Cons. } C = 4,4 \text{ litros en } 108 \text{ km}$$

Ecuación 25: Ecuación de consumo de combustible

$$\text{Cons. } C \text{ en gl} = \frac{\text{Cons. } C * k}{1 l}$$

$$\text{Cons. } C \text{ en gl} = \frac{4,4l * 0,264172 \text{ gl}}{1 l}$$

$$\text{Cons. } C \text{ en gl} = 1,16 \text{ gl en } 108 \text{ km}$$

Ecuación 26: Ecuación consumo de combustible en galones

c) Resultado del consumo de combustible del vehículo por medio del interfaz OBDLINK SX EOBD en condición híbrido estándar

Se presenta los resultados obtenidos con el interfaz OBDLINK SX EOBD el cual tiene como particularidad mostrar el consumo de combustible en tiempo real en galones y la autonomía de distancia en millas y los resultados obtenidos fueron los siguientes.

Tabla 56.

Consumo de combustible por medio del interfaz OBDLINK SX EOBD

CONDICIÓN	CONSUMO [gal]	DISTANCIA [Millas]
Híbrido estándar	1,46	67,10
Plug in	1,26	67,10

Se distingue el consumo de combustible de 1,46 galones en 67,10 millas de recorrido en Carretera con el vehículo en híbrido estándar con un tiempo de 1h 32 minutos, con estos resultados experimentales se estableció una relación entre el consumo de combustible, autonomía de distancia y así obtener el consumo real del vehículo.

$$Auto. d = dist. OBDWIZ * \left(\frac{1,609 \text{ km}}{1 \text{ milla}} \right)$$

Ecuación 27: Ecuación de la autonomía de la distancia del vehículo

Donde:

$$Auto. d = \text{Autonomia de distancia del vehículo}$$

$$dist. OBDWIZ = \text{Distancia obtenida con el interfaz en (millas)}$$

Así:

$$Auto. d = 67,10 \text{ millas} * \left(\frac{1,609 \text{ km}}{1 \text{ milla}} \right)$$

$$Auto. d = 107,9639 \text{ km}$$

$$Auto. d = 108 \text{ km}$$

En la ecuación 27 se realizó la transformación de millas a km y así obtener las mismas unidades del display del vehículo y la autonomía de distancia fue de 1,46 galones en 108 km.

d) Resultado del consumo de combustible del vehículo por medio del interfaz OBDWIZ en condiciones híbrido con el sistema plug – in

Se observa el consumo de combustible de 1,26 galones en 67,10 millas de recorrido en carretera con el sistema plug-in con un tiempo de 1h 34 minutos, con estos resultados experimentales se estableció una relación entre el consumo de combustible, distancia de autonomía y así obtener el consumo real del vehículo. Se realizó la transformación de millas a km y así obtener las mismas unidades del display del vehículo y la autonomía de distancia fue de 1,26 galones en 108 km.

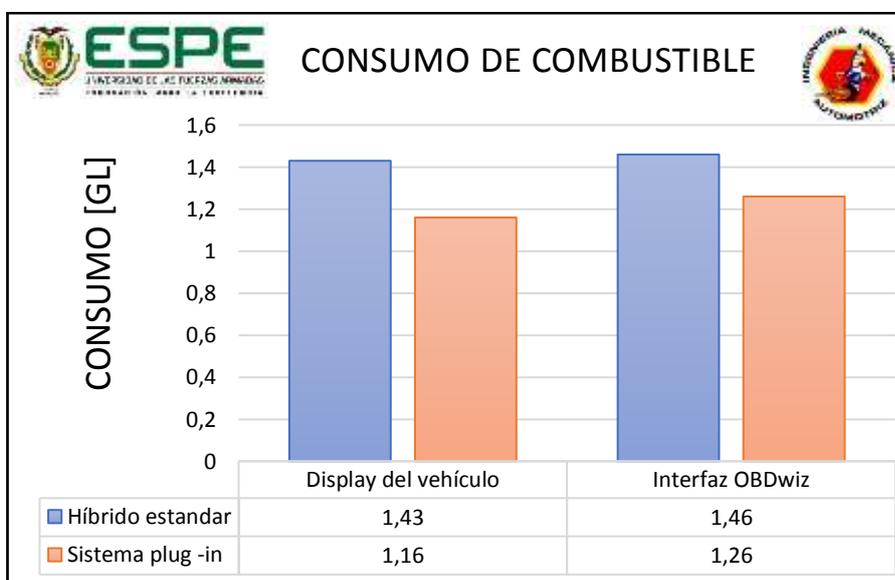


Figura 121. Valores del consumo de combustible en el estado híbrido estándar y sistema plug-in en carretera.

e) Análisis de resultado del Ahorro de combustible al implementar el sistema plug-in.

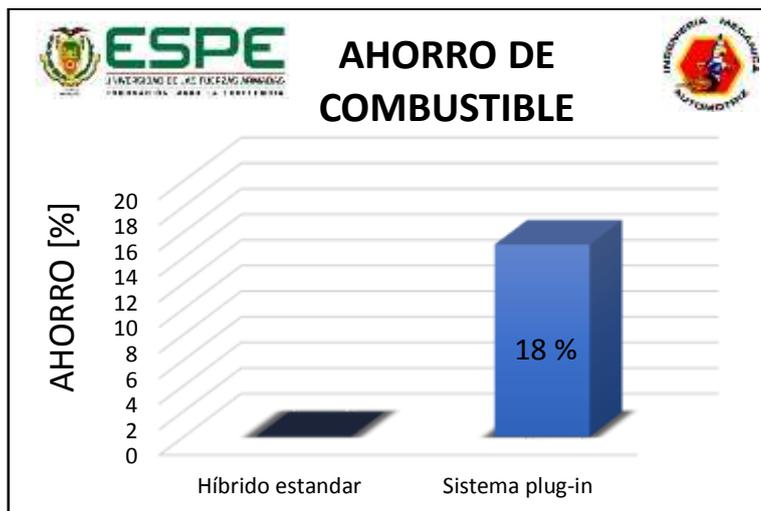


Figura 122. Ahorro de combustible con el sistema plug-in.

Al implementar el sistema plug - in en el vehículo Toyota Prius 3G se determinó que existió un ahorro de 18 % de consumo de combustible en la prueba de carretera, con los valores obtenidos se determinó cuantos kilómetros más de autonomía de distancia nos brinda la implementación.

f) Análisis de la autonomía de distancia

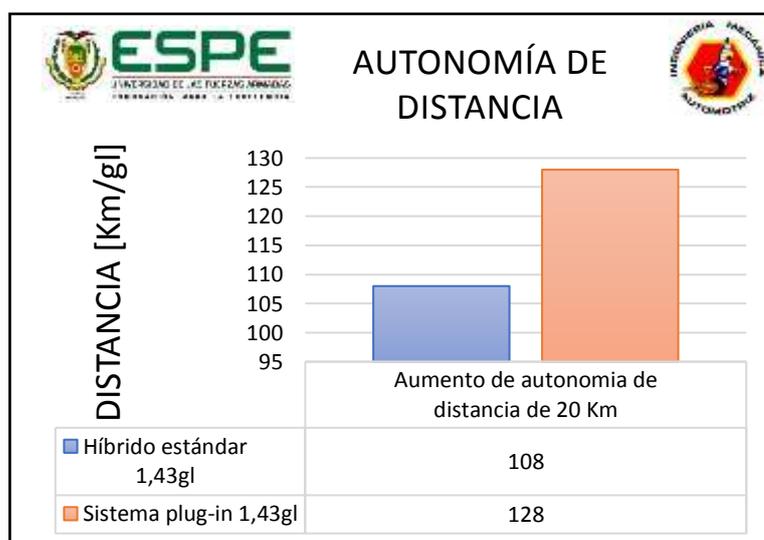


Figura 123. Aumento de autonomía de distancia del vehículo Toyota Prius 3G

En la prueba de carretera se obtuvo que el vehículo híbrido estándar tiene un consumo de 108 kilómetros por 1,43 galones mientras que con el sistema plug-in fue 128 kilómetros por 1,43 galones obteniendo 20 km más de autonomía de distancia como se puede visualizar en la figura 123

5.1.4. Análisis de la eficiencia energética del vehículo Toyota Prius 3G

a) Consumo de energía en W-h

Por medio del display del vehículo se puede observar el consumo de energía en W-h del vehículo Toyota Prius 3G el cual se monitorea cada 30 minutos la prueba duró 1 h 32 con el sistema híbrido estándar y con el sistema plug-in como se muestra en la tabla 57.

Tabla 57.

Valores de energía eléctrica en W-h que aporta la batería original al vehículo

Tiempo (h)	Energía (W-h) híbrido estándar	Energía (W-h) sistema plug-in	Distancia (Km)
30 min	500	750	45
60 min	150	300	70
92 min	850	1050	108

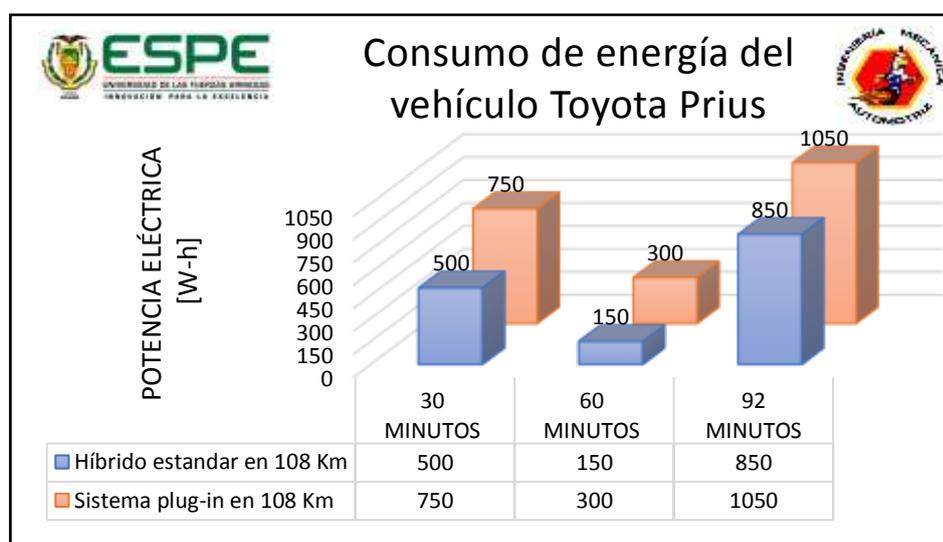


Figura 124. Consumo de energía del vehículo Toyota Prius tercera generación

En la prueba de eficiencia de energía se obtuvo que el vehículo híbrido estándar tiene un consumo de 1,5 kW- h en 108 kilómetros mientras que con el sistema plug-in fue de 2,1 kW- h en la misma distancia obteniendo una diferencia de 0,6 kW- h y así logrando tener los 20 km más de autonomía eléctrica de distancia.

b) Tiempo que permanece encendido el motor de combustión interna

Se muestra los resultados obtenidos con el interfaz OBDLINK SX EOBD en el cual se observa el tiempo que permanece encendido el motor de combustión interna en segundos(s), en condiciones de híbrido estándar y con el sistema plug-in a continuación se muestra los valores obtenidos en la siguiente tabla.

Tabla 58.

Tiempo que permanece encendido el motor de combustión interna

Condición	Tiempo de encendido MCI [s]	Tiempo de Prueba [min]
Híbrido estándar	3270	92
Sistema Plug in	2786,74	92

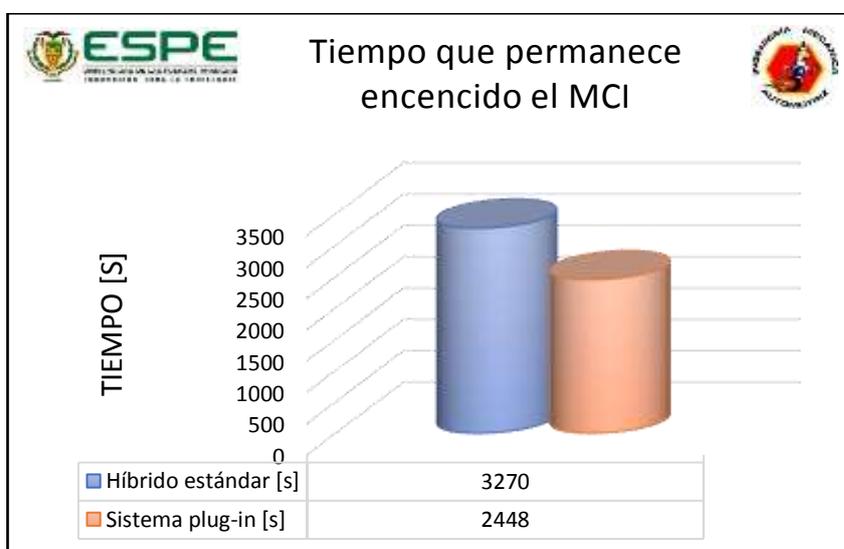


Figura 125. Tiempo que permanece encendido el motor de combustión interna (MCI)

La prueba duro 92 minutos en la ruta de carretera en la figura 125 se observa el tiempo que permanece encendido el MCI el cual disminuyo de 3270 [s] en híbrido estándar a 2786,74 [s] al implementar el sistema plug-in con una diferencia de 483,26 [s] lo que representa un 14,77 % de ahorro de combustible y dando más de autonomía eléctrica al vehículo.

5.2. Análisis de la prueba de ruta en ciudad

A continuación, se detalla los datos obtenidos durante la prueba de ruta en ciudad, tanto como híbrido normal y con el sistema enchufable, usando el multímetro automotriz para medir los voltajes y condiciones iniciales y finales de la batería adicional y empleando el interfaz Toyota Mini VCI J2534 las condiciones iniciales y finales de la batería original además los PID's como son el SOC, DSCOC y resistencia interna de cada bloque y finalmente haciendo uso del interfaz OBDLink SX EOBD y el display del vehículo para determinar el consumo de combustible. De esta manera permita realizar una tabla comparativa del consumo de combustible y las mejoras en la autonomía eléctrica al usar el sistema Plug in implementado.

5.2.1. Resultados de la batería original del vehículo

a) Análisis de voltaje de cada bloque de la batería original

Se muestra los valores obtenidos del voltaje de cada uno de los bloques de la batería original al inicio y final de la prueba los cuales se obtuvo por medio del Interfaz Mini-VCI J2534 Techstream en la condición de híbrido estándar y con el sistema plug-in como se puede identificar en la tabla 59 y 60 respectivamente.

Tabla 59.

Voltaje de cada bloque de la batería original al inicio y final de la prueba sin el sistema enchufable.

Núm. de bloque	Voltaje [V]		Núm. de bloque	Voltaje [V]	
	Inicio	Final		Inicio	Final
1	16.48	15.11	8	16.45	15.06



2	16.45	15.06	9	16.45	15.08
3	16.50	15.13	10	16.43	15.04
4	16.45	15.11	11	16.48	15.11
5	16.48	15.11	12	16.48	15.06
6	16.43	15.6	13	16.45	15.11
7	16.48	15.11	14	16.43	15.06

Tabla 60.

Voltaje de cada bloque de la batería original al inicio y final de la prueba con el sistema enchufable.

Núm. de bloque	Voltaje [V]		Núm. de bloque	Voltaje [V]	
	Inicio	Final		Inicio	Final
1	15,28	14,82	8	15,23	14,79
2	15,23	14,77	9	15,26	14,79
3	15,30	14,87	10	15,28	14,77
4	15,28	14,82	11	15,28	14,84
5	15,26	14,82	12	15,23	14,82
6	15,23	14,77	13	15,26	14,79
7	15,28	14,84	14	15,21	14,77

b) Análisis estadístico del voltaje inicial de cada bloque de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in

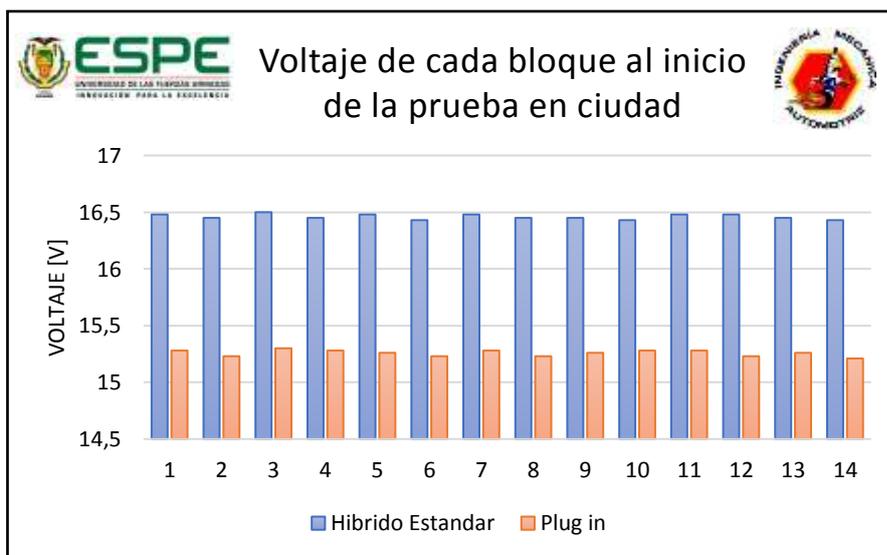


Figura 126. Voltaje inicial de cada bloque de la prueba en ciudad – Batería original

Como se puede apreciar en la Figura 126 las condiciones iniciales de la prueba el voltaje de cada bloque con híbrido estándar es mayor en aproximadamente 1V, lo cual es una variación leve que no afecta en los resultados de la prueba.

c) Análisis estadístico del voltaje de cada bloque al finalizar la prueba de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in

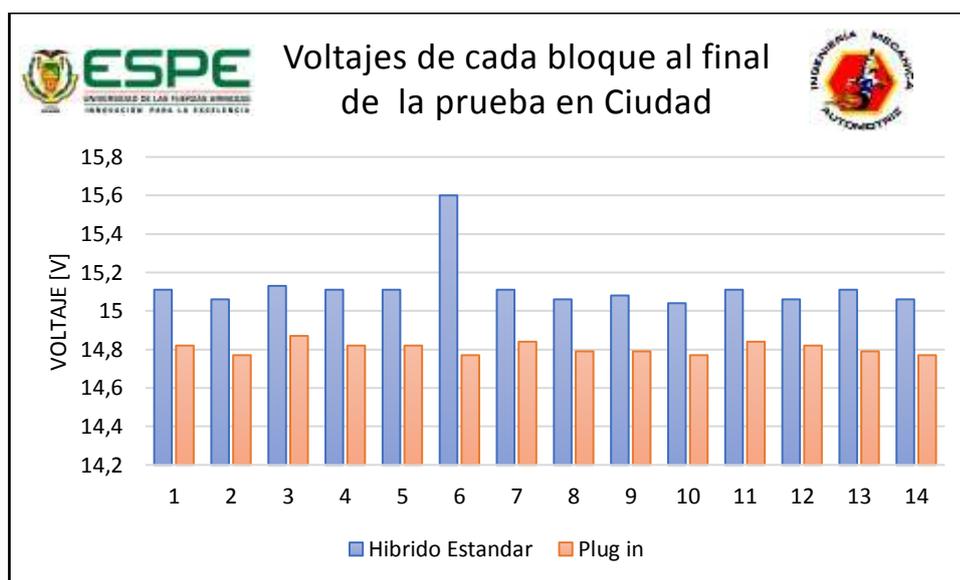


Figura 127. Voltaje de cada bloque al final de la prueba en ciudad batería Original

Como se puede apreciar en la Figura 127 al final de la prueba en ciudad el voltaje con el sistema plug in es menor que con la prueba sin el sistema, lo que nos demuestra que con el sistema Plug in el motor de combustión interna permanece más tiempo apagado y permite que la batería original se descargue más obteniendo finalmente un ahorro en el consumo de combustible y por lo tanto aumentar la autonomía eléctrica del vehículo Toyota Prius 3G.

d) Análisis de la resistencia interna de cada bloque en función de los valores de cada sensor de temperatura para la prueba en ciudad en condiciones de híbrido normal y con el sistema Plug in.

A continuación, se observa la resistencia interna de cada uno de los bloques de la batería original y los valores de los tres sensores de temperatura al inicio y final de la prueba los cuales fueron monitoreados por el Interfaz Mini-VCI J2534 Techstream en la condición de híbrido estándar y con el sistema plug-in.

Tabla 61.

Valores de la resistencia interna de cada uno de los bloques de la batería original antes de la prueba en ciudad en condición de híbrido estándar.

Núm. de bloque	Resistencia Interna [Ω]		Núm. de bloque	Resistencia Interna [Ω]	
	Inicio	Final		Inicio	Final
1	0,023	0,025	8	0,022	0,024
2	0,022	0,024	9	0,022	0,024
3	0,022	0,024	10	0,022	0,024
4	0,022	0,024	11	0,022	0,024
5	0,023	0,026	12	0,022	0,024
6	0,022	0,024	13	0,022	0,025
7	0,022	0,024	14	0,023	0,025

La distribución de los sensores de temperatura son TB1 del bloque 1 al 5, TB2 del bloque 6 al 9 y finalmente el sensor TB3 del bloque 10 al 14.

Tabla 62.

Valores de los sensores de temperatura de la batería original para la prueba en ciudad en condiciones de híbrido estándar.

Inicio			Final		
TB1	TB2	TB3	TB1	TB2	TB3
46,22	49,11	45	45,28	47,61	44,89

Tabla 63.

Valores de la resistencia interna de cada uno de los bloques de la batería original antes de la prueba en ciudad en condición de híbrido estándar.

Núm. de bloque	Resistencia Interna [Ω]		Núm. de bloque	Resistencia Interna [Ω]	
	Inicio	Final		Inicio	Final
1	0,024	0,023	8	0,023	0,023
2	0,023	0,023	9	0,023	0,023
3	0,023	0,023	10	0,023	0,023
4	0,023	0,023	11	0,023	0,023
5	0,024	0,024	12	0,023	0,023
6	0,023	0,023	13	0,023	0,023
7	0,023	0,023	14	0,024	0,024

Tabla 64.

Valores de los sensores de temperatura de la batería original para la prueba en ciudad en condiciones de híbrido estándar.

Inicio			Final		
TB1	TB2	TB3	TB1	TB2	TB3
45,89	48,89	45,11	35,72	37	35,28

e) Análisis estadístico de los valores iniciales de la resistencia interna de cada uno de los bloques de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in

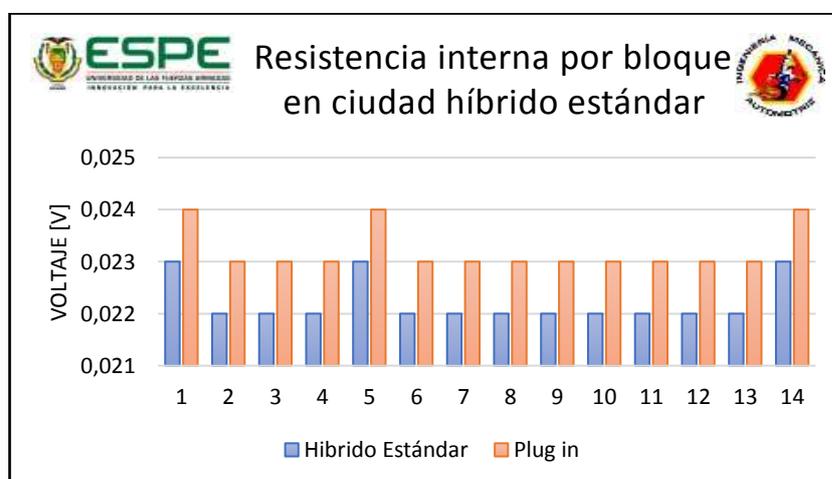


Figura 128. Resistencia interna por bloque - Prueba en ciudad

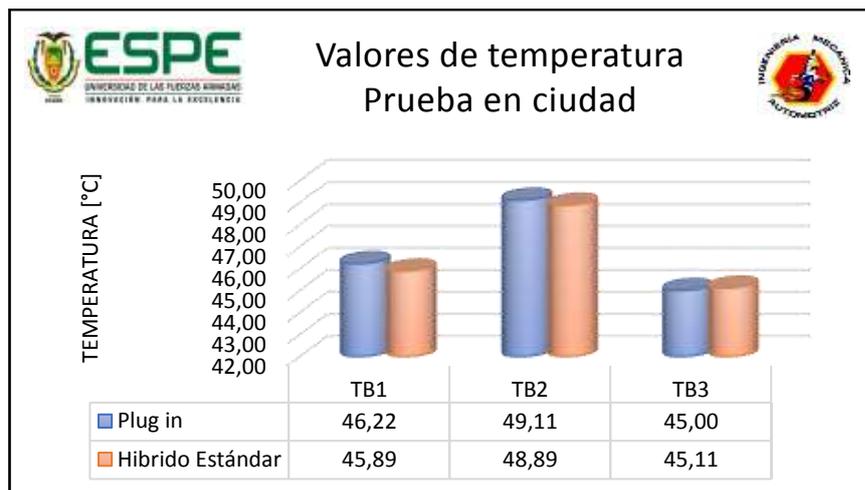


Figura 129. Valores de temperatura - Prueba en ciudad

En la figura 128 y 129 se observan gráficamente los resultados de la resistencia interna para cada uno de los bloques de la batería adicional y de la temperatura de los sensores TB1, TB2 y TB3 respectivamente, que son las condiciones iniciales y como se puede apreciar son similares tanto para híbrido estándar como para con el sistema Plug in lo cual nos permite determinar el SOH de la batería original del vehículo Toyota Prius 3G.

f) Análisis estadístico de las resistencias internas de cada uno de los bloques de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in

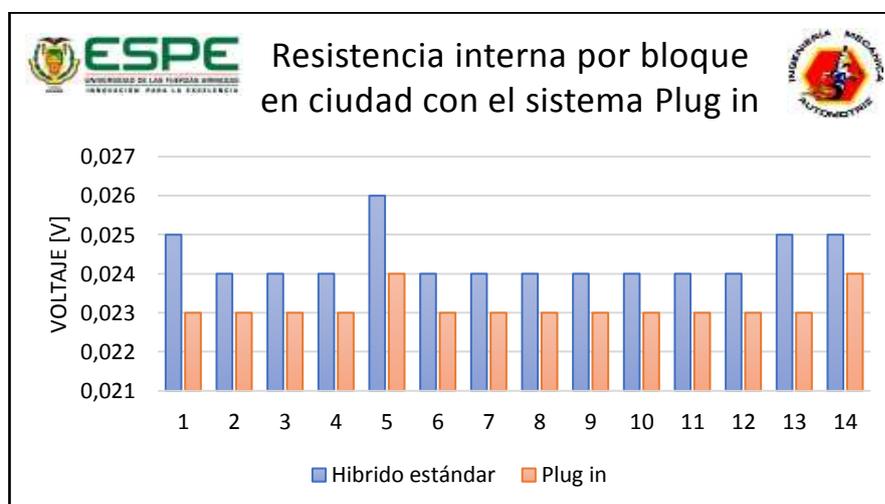


Figura 130. Resistencia interna por bloque - Prueba en ciudad

En la figura 130 se observa que la implementación del sistema plug-in reduce la resistencia interna de cada uno de los bloques de la batería original a comparación del sistema híbrido estándar y aumenta el estado de salud de la misma SOH en el siguiente porcentaje.

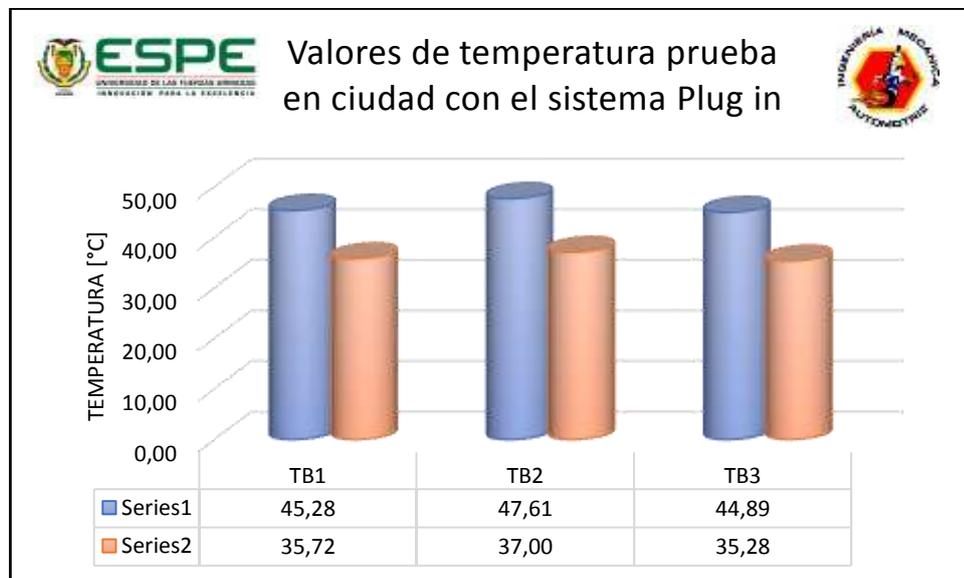


Figura 131. Valores de temperatura - Prueba en ciudad

En la figura 130 y 131 se observan gráficamente los resultados de la resistencia interna para cada uno de los bloques de la batería adicional y de la temperatura de los sensores TB1, TB2 y TB3 respectivamente, conociendo que la resistencia interna de una celda es directamente proporcional a la temperatura y gráficamente se denota una reducción considerable en resistencia y por consecuencia en temperatura, obteniendo de esta manera un aumento en el SOH de la batería original del vehículo Toyota Prius 3G.

Para obtener el % de SOH se realizó un promedio de los valores finales de la resistencia interna de cada una de las condiciones ya sea híbrido estándar y con el sistema plug-in.

$$\% \text{ SOH} = \left(\frac{\text{Prom. R. I. Plug in} * 100}{\text{Prom. R. I. HN}} \right)$$

Ecuación 28: Ecuación del porcentaje de estado de salud de la batería original

Donde:

% SOH = Porcentaje de estado de salud

Prom. R. I. Plug – in = Promedio de la resistencia interna – Plug in

Prom. R. I. HN = Promedio de la resistencia interna – híbrido normal

Así:

$$\% \text{ SOH} = \left(\frac{0,023 * 100}{0,024} \right)$$

$$\% \text{ SOH} = 95,83 \%$$

$$\% \text{ SOH} = 100 - 95,06 \%$$

$$\% \text{ SOH} = 4,17 \%$$

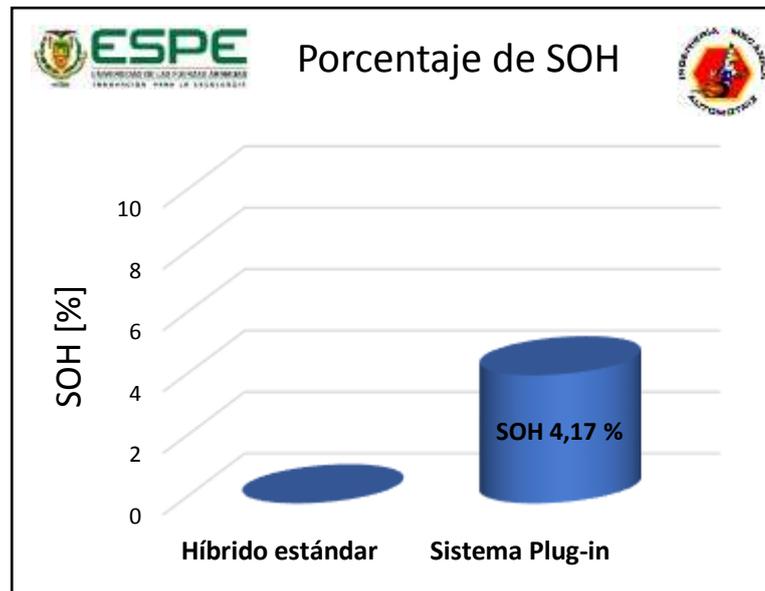


Figura 132. Porcentaje de SOH

En la figura 132 se observa que la implementación del sistema plug-in reduce la resistencia interna de la batería de cada uno de los bloques aumentando en un 4,17% el estado de salud SOH. En la figura 131 se verifica que los valores de temperatura disminuyeron con el sistema plug-in y dando así más estado de salud SOH a la batería original en el siguiente porcentaje.

$$\% \text{ SOH} = \left(\frac{\text{Prom. T. Plug in} * 100}{\text{Prom. T. HN}} \right)$$

Ecuación 29: Ecuación del porcentaje de estado de salud de la batería original

Donde:

$\% \text{ SOH}$ = Porcentaje de estado de salud

Prom. T. Plug – in = Promedio de la temperatura – Plug in

Prom. T. HN = Promedio de la temperatura – híbrido normal

Así:

$$\% \text{ SOH} = \left(\frac{36 * 100}{45,93} \right)$$

$$\% \text{ SOH} = 78,38 \%$$

$$\% \text{ SOH} = 100 - 78,38 \%$$

$$\% \text{ SOH} = 21,61 \%$$

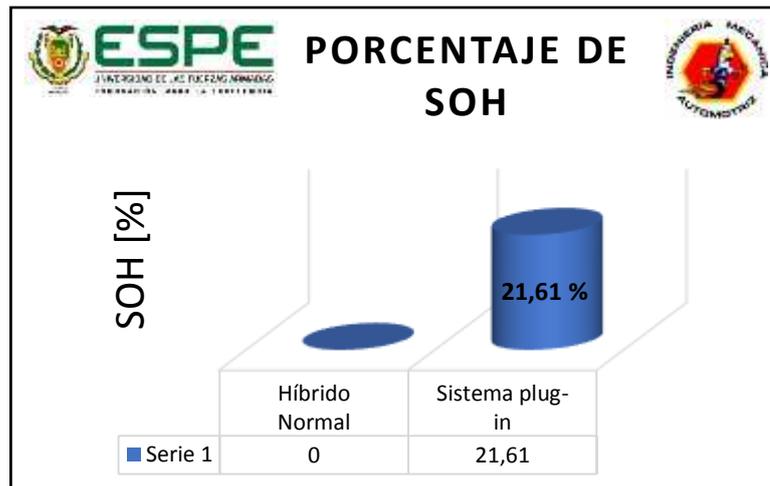


Figura 133. Porcentaje de SOH de los sensores de temperatura

En la figura 132 se verifica que la resistencia interna de cada uno de los bloques disminuye y en la figura 131 se observa que también el valor de los sensores de temperatura se reduce gracias a la implementación del sistema plug -in dándole así un aumento de salud SOH total de 25,78 % a la batería original del vehículo.

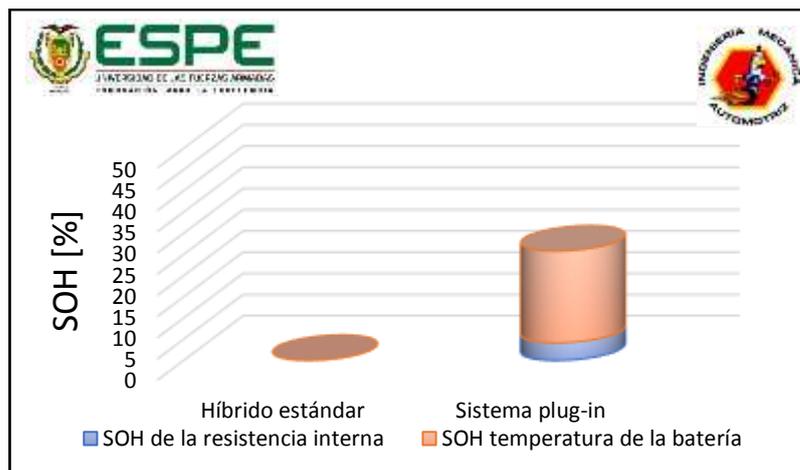


Figura 134. Porcentaje total de SOH de la batería adicional

g) Análisis de los valores de SOC y DSOC de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in.

Tabla 65.

PID's de la batería original

CONDICIÓN	SOC [%]		DSOC [A]	
	Inicio	Final	Inicio	Final
Híbrido estándar	62,4	44,7	1,25	1,87
Sistema Plug in	58,7	39	1,92	0,8

h) Análisis estadístico del SOC al inicio de la prueba en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in

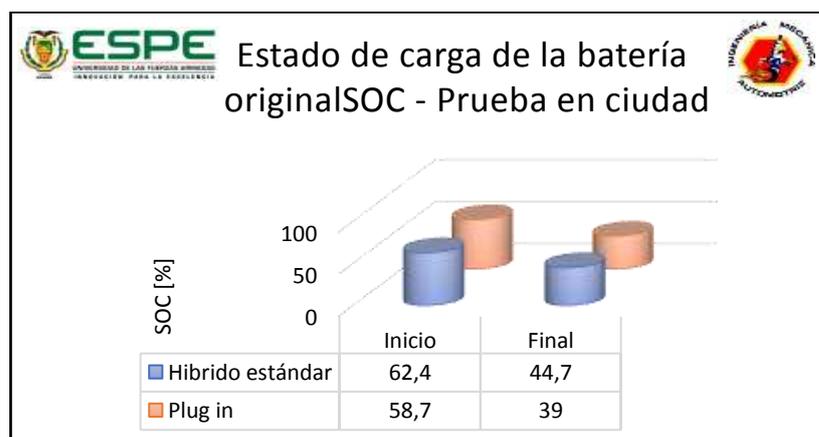


Figura 135. Comparación del SOC para la prueba en ciudad.

Como se puede distinguir en la figura 135 al inicio de la prueba se desarrolló en similares condiciones de SOC (batería original) e incluso se puede notar que con el sistema Plug in es menor pero no es una variación considerable y que afecte durante la prueba. Al final de la prueba el SOC es menor, es decir que la batería HV del vehículo se consumió hasta agotarse y evitando que el motor de combustión interna se encienda para cargar la batería y de esta manera aumentar la autonomía eléctrica del vehículo Toyota Prius 3G.

i) Análisis estadístico del DSOC al finalizar la prueba en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in

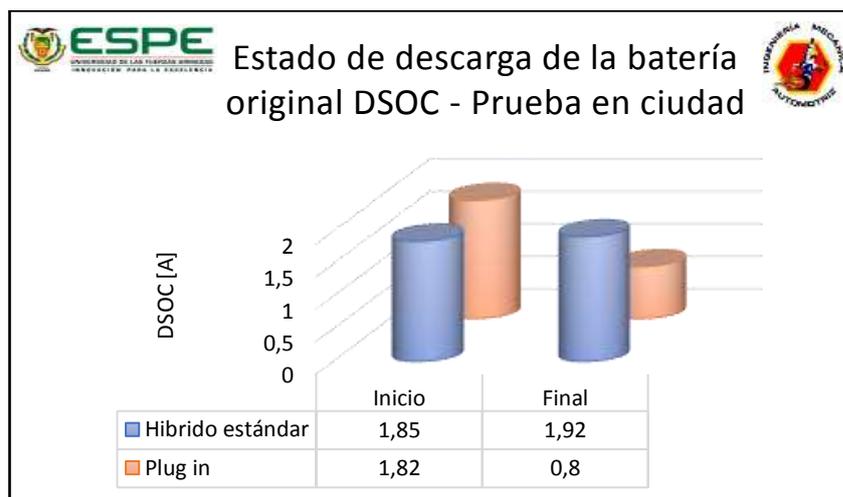


Figura 136. Comparación del DSOC para la prueba en ciudad

Como se puede contemplar en la figura 136 las condiciones iniciales del DSOC (estado de descarga de la batería original) son iguales por lo que permitió que el desarrollo de la prueba se desarrolle sin ninguna complicación o variación en los datos obtenidos. Al final se puede ver en el gráfico una reducción debido a que al aumentar la capacidad de la batería y hacer que el aporte de la batería adicional se realice antes y después del sensor de corriente la ECU del control híbrido se estabiliza en un valor coherente de descarga de la batería HV del vehículo Toyota Prius 3G.

5.2.2. Análisis de los resultados obtenidos de la batería adicional

Este análisis se desarrolla únicamente cuando se realiza la prueba de ruta en condiciones de Híbrido Plug in ya que solo y únicamente en este caso entra en funcionamiento la batería adicional del sistema implementado las mediciones se realizaron con la ayuda de un multímetro automotriz.

a) Análisis del voltaje de cada bloque de la batería adicional

Tabla 66.

Voltaje de cada bloque de la batería adicional al inicio y final de la prueba con el sistema enchufable.

Núm. de bloque	Voltaje [V]		Núm. de bloque	Voltaje [V]	
	Inicio	Final		Inicio	Final
1	15,91	15,23	8	15,7	14,8
2	15,69	14,69	9	15,7	14,9
3	15,4	14,49	10	15,8	15,1
4	15,7	14,9	11	15,6	14,9
5	15,5	14,6	12	15,8	15
6	15,6	14,6	13	15,6	14,7
7	15,6	14,8	14	15,9	14,9

b) Análisis estadístico de los valores del voltaje al inicio y final de la prueba en ciudad de la batería adicional en condiciones de híbrido Plug in

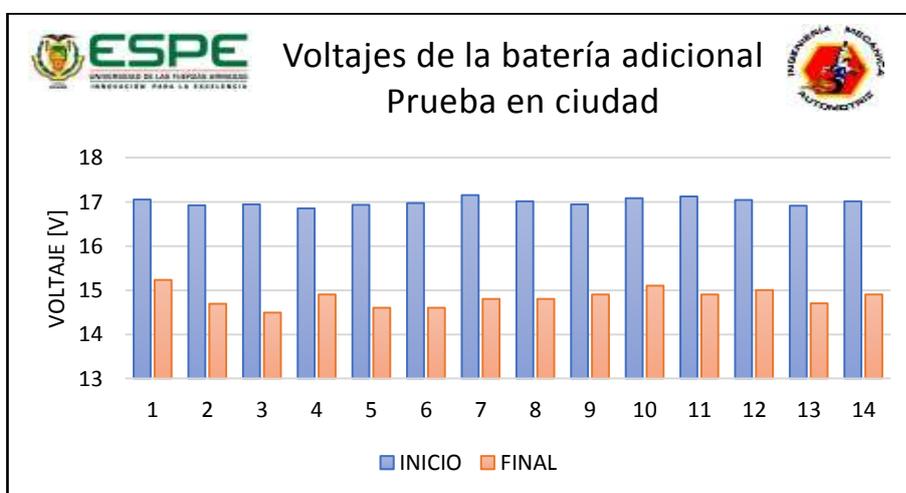


Figura 137. Voltaje de cada bloque de la batería adicional durante la prueba en ciudad

Como se puede visualizar en la figura 137 el voltaje inicial de la batería adicional de cada bloque con un voltaje superior al 16,5V lo cual indica que está cargada adecuadamente y se pudo iniciar la prueba de ruta en ciudad y que el aporte en paralelo a la batería adicional sea eficaz, al finalizar la prueba los bloques presentan valores de 14,5 en promedio por bloque lo que muestra que la batería se fue agotando hasta casi llegar a su voltaje nominal debido a que durante la prueba estuvo contribuyendo a extender la autonomía eléctrica del vehículo híbrido.

c) Análisis de la temperatura de funcionamiento de la batería adicional

Se realizó la medición en tres puntos usando un pirómetro con el cual se simuló a los sensores de temperatura que dispone la batería original. Los cuales son TB1 del bloque 1 al 5, TB2 del bloque 6 al 9 y finalmente el sensor TB3 del bloque 10 al 14.

Tabla 67.

Valores de los sensores de temperatura de la batería original.

Inicio[°C]			Final[°C]		
TB1	TB2	TB3	TB1	TB2	TB3
23,6	25,5	25,6	29,3	30,3	30,6

d) Análisis estadístico de la temperatura de la batería adicional al inicio de la prueba en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in

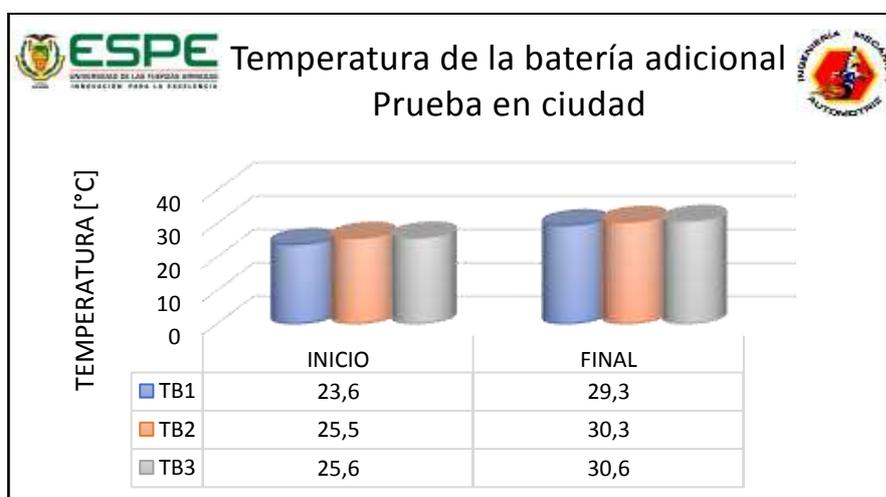


Figura 138. Temperatura de la batería adicional prueba en ciudad

En la figura 138 se visualiza gráficamente el comportamiento de la temperatura de la batería adicional al inicio y al final de la prueba de ruta dentro de la ciudad de Quito las mediciones se realizaron con la ayuda de un pirómetro. En las cuales se puede observar que el TB3 en ambos casos al inicio y al final es levemente mayor que TB1 Y TB2, ya que los módulos del sistema implementado se encuentran justo a ese lado de la batería, pero no son temperaturas bajas en las cuales trabaja la batería adicional.

e) Análisis de los valores de SOC de la batería original en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in.

Tabla 68.

Valores de los PID's de la batería

	SOC [%]	VOLTAJE DEL PACK V]
INICIO	78,18	238,6
FINAL	42	207

f) Análisis estadístico del SOC y el voltaje de pack al inicio de la prueba en condiciones de híbrido estándar y con el sistema Plug in



Figura 139. SOC de la batería adicional

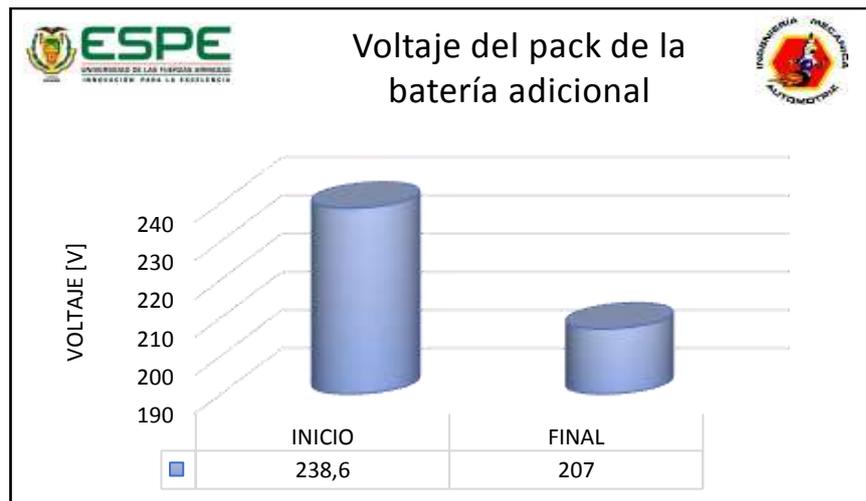


Figura 140. Voltaje total de la batería adicional

Como se visualiza en las figuras 139 y 140, los resultados tanto al inicio como al final de la prueba con el sistema Híbrido Plug in en ciudad iniciando la prueba con un SOC de 78,18% y un voltaje del pack adicional de 238,6V mediciones que indican que la batería adicional se encuentra cargada y lista para poner en funcionamiento y al finaliza la prueba con un SOC de 42% y un voltaje de 207V, medidas que muestra que durante la prueba se descargó aportando en incrementar la autonomía eléctrica y la autonomía eléctrica del vehículo Toyota Prius 3G.

5.2.3. Consumo de combustible de la prueba en ciudad

A continuación se analiza los resultados de la pruebas de consumo de combustible con la ayuda de tres instrumentos de medición los cuales son el display del vehículo que se encuentra en litros/100 km, el interfaz OBDLink SX EOBD en galones (gl) logrando conseguir datos experimentales los cuales ayudaron a realizar una relación entre consumo de combustible y autonomía eléctrica de desplazamiento del vehículo Toyota Prius 3G en la ruta ciudad dentro de Quito en condiciones de híbrido estándar y con el sistema plug in.

Tabla 69.

Resultados del consumo de combustible, obtenidos durante la prueba de ciudad en condiciones híbrido estándar e híbrido plug-in

Hora Inicio	Hora final	Condición	Consumo promedio Display [l]	Distancia [km]	Consumo Interfaz OBDwiz [gl]
08:40	14:40	Híbrido estándar	5,8	100	1,55
08:40	14:40	Plug in	3,02	100	0,8

a) Análisis estadístico de consumo por medio del interfaz OBDLink SX EOBD

A continuación, se indican los resultados obtenidos con el interfaz OBDLink SX EOBD el cual tiene como particularidad mostrar el consumo de combustible en tiempo real en galones y la distancia en millas como se detalla a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 70.

Consumo de combustible del interfaz OBDLink SX EOBD

CONDICIÓN	CONSUMO [gal]	DISTANCIA [Millas]	DISTANCIA [Km]
Híbrido estándar	1,55	62,14	100
Plug in	0,8	62,14	100

$$Auto.d = dist.OBDWIZ * \left(\frac{1,609 \text{ km}}{1 \text{ milla}} \right)$$

Ecuación 30: Ecuación de la autonomía de la distancia del vehículo

Donde:

Auto.d = Autonomía de distancia del vehículo

dist.OBDWIZ = Distancia obtenida con el interfaz en (millas)

Así:

$$Auto. d = 62,14 \text{ millas} * \left(\frac{1,609 \text{ km}}{1 \text{ milla}} \right)$$

$$Auto. d = 99,98 \text{ km}$$

$$Auto. d = 100 \text{ km}$$

En la ecuación 30 se realizó la transformación de millas a km y así obtener las mismas unidades del display del vehículo y la autonomía de distancia fue de 1,55 galones en 100 km.

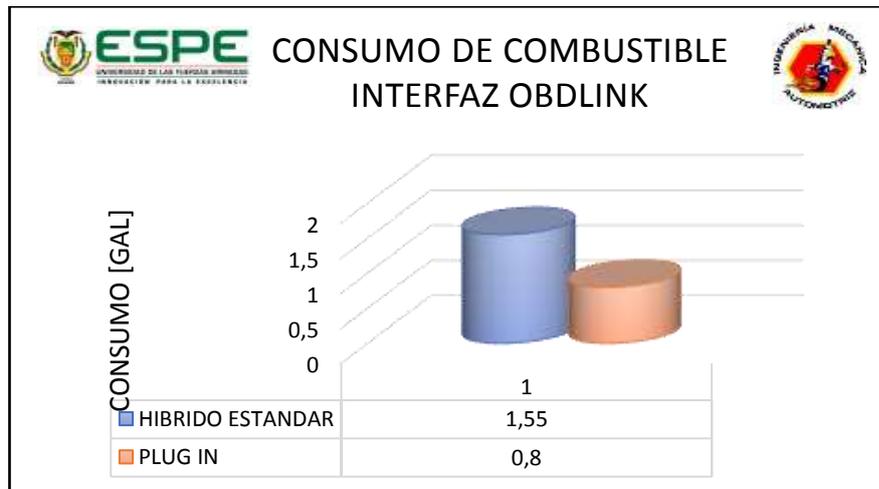


Figura 141. Datos obtenidos con el Interfaz OBDLINK SX EOBD del consumo de combustible en ciudad

En la figura 141 se puede distinguir el consumo de combustible de 1,55 galones en 62,14 millas de recorrido en ciudad con el vehículo en condiciones híbrido estándar y con el sistema plug in un consumo de combustible de 0,8 galones en 62,14 millas de recorrido en ciudad con el vehículo en condiciones híbrido Plug in, con un tiempo de 6 horas. Con estos resultados experimentales se estableció una relación entre el consumo de combustible, autonomía de distancia y así obtener el consumo real del vehículo.

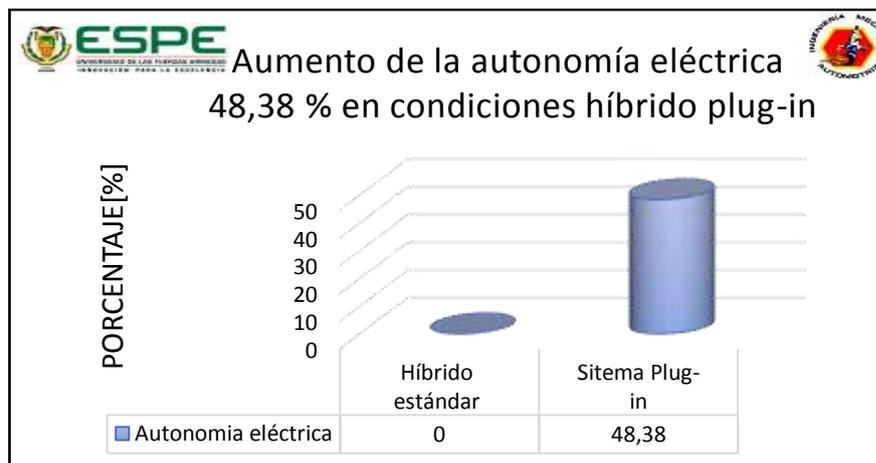


Figura 142. Aumento de la autonomía eléctrica en ciudad

Como se puede apreciar en la figura 142 se evidencia gráficamente un aumento considerable en la autonomía eléctrica del vehículo Toyota Prius 3G en condiciones de Híbrido Plug in en ciudad, en función de la lectura del consumo de combustible obtenido con el interfaz OBDLink SX EOBD, debido al aumento de la capacidad de la batería de alto voltaje tras la implementación del sistema. Esto se traduce que en ciudad se obtuvo 48,38 Km de autonomía eléctrica.

b) Consumo con el display del vehículo

Tabla 71.

Consumo de combustible del display del vehículo

CONDICIÓN	CONSUMO [l/100km]	DISTANCIA [Km]
Híbrido estándar	5,8	100
Plug in	3,02	100

Se distingue el consumo de combustible de 5,8 l/100km en 100 km de recorrido en ciudad con el vehículo en híbrido estándar con un tiempo de 6 horas, con estos resultados experimentales se estableció una relación entre el consumo de combustible y distancia de autonomía y así obtener el consumo real del vehículo.

$$\text{Cons. } C = \text{Med. } D * \text{dist.}$$

Ecuación 31: Ecuación del consumo de combustible al final de la prueba

Donde:

Cons. C = Consumo de combustible al final de la prueba

Med. D = Medición del display del vehículo

dist. V = Distancia recorrida por el vehículo

Así:

$$\text{Cons. } C = \text{Med. } D * \text{dist. } V$$

$$\text{Cons. } C = \left(\frac{5,8l}{100 \text{ km}} \right) * 100 \text{ km}$$

$$\text{Cons. } C = 5,8 \text{ litros en } 108 \text{ k}$$

$$\text{Cons. } C \text{ en gl} = \frac{\text{Cons. } C * k}{1 \text{ l}}$$

Ecuación 32: Ecuación del consumo de combustible al final de la prueba en galones

Donde:

Cons. C en gl = Consumo de combustible al final de la prueba en galones

K = Constante para transformar de litros a galones

$$1 \text{ litro} = 0,264172 \text{ gl}$$

Así:

$$\text{Cons. } C \text{ en gl} = \frac{\text{Cons. } C * k}{1 \text{ l}}$$

$$\text{Cons. } C \text{ en gl} = \frac{5,8 \text{ l} * 0,264172 \text{ gl}}{1 \text{ l}}$$

$$\text{Cons. } C \text{ en gl} = 1,53 \text{ gl en } 100 \text{ km}$$

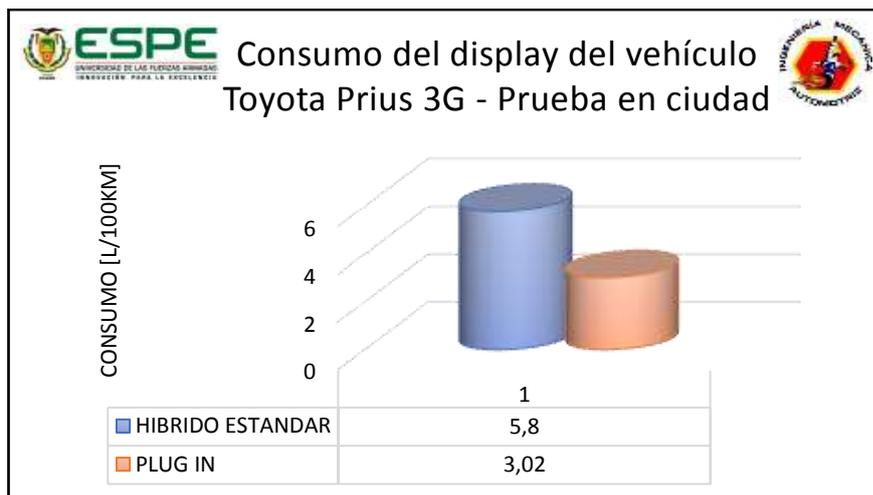


Figura 143. Datos obtenidos en el display del vehículo Toyota Prius 3G del consumo de combustible en ciudad

En la figura 143 se evidencia el consumo de combustible de 5,8 /100km en 62,14 millas de recorrido en ciudad con el vehículo en condiciones híbrido estándar y con el sistema plug in un consumo de combustible de 3,02 L/100km en 62,14 millas de recorrido en ciudad con el vehículo en condiciones híbrido Plug in, con un tiempo de 6 horas. Con estos resultados experimentales se estableció una relación entre el consumo de combustible, autonomía de distancia y así obtener el consumo real del vehículo.

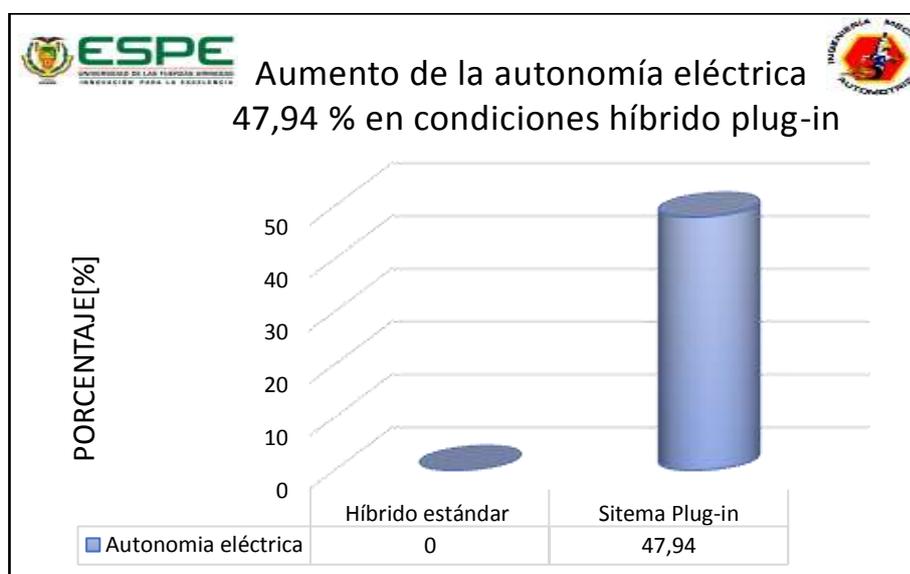


Figura 144. Aumento de la autonomía eléctrica en ciudad

Como se puede apreciar en la figura 144 se puede observar gráficamente un aumento considerable en la autonomía eléctrica en función de la lectura del consumo de combustible reflejado en el display del vehículo Toyota Prius 3G en condiciones de Híbrido Plug in en ciudad, debido al aumento de la capacidad de la batería de alto voltaje tras la implementación del sistema. Esto se traduce que en ciudad.

c) Análisis de la autonomía eléctrica del vehículo Toyota Prius 3G

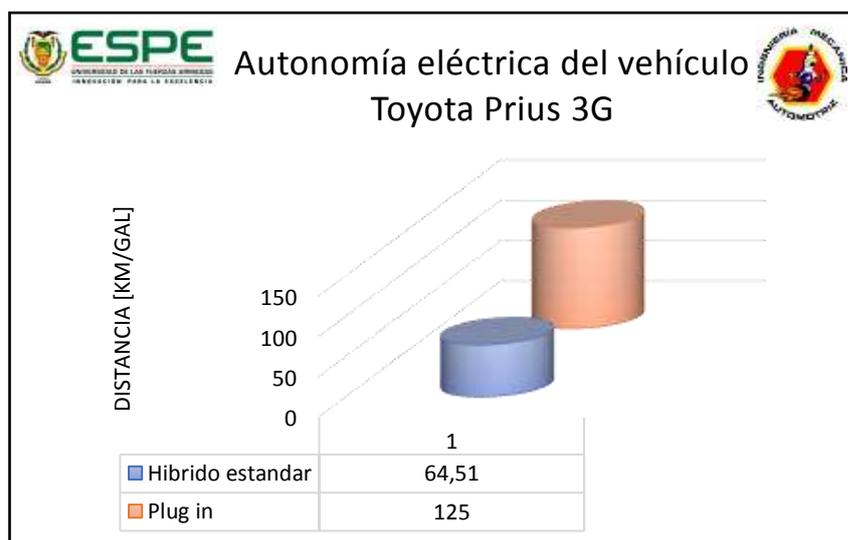


Figura 145. Aumento de autonomía de distancia del vehículo Toyota Prius 3G en ciudad

En la prueba de ciudad se obtuvo que el vehículo híbrido estándar tiene un consumo de 64,51 kilómetros por galón mientras que con el sistema plug-in fue 125 kilómetros por galón obteniendo 60,5 km/gal más de autonomía eléctrica y consiguiendo emisiones cero al conducir el vehículo en condición de híbrido plug in como se puede apreciar en la figura 145.

5.2.4. Análisis de la eficiencia energética del vehículo Toyota Prius 3G

a) Consumo de energía en W-h

Por medio del display del vehículo se puede observar el consumo de energía en W-h del vehículo Toyota Prius 3G el cual se monitoreado cada 30 minutos la prueba duro 6 horas con el sistema híbrido estándar y con el sistema plug-in como se muestra en la tabla.

Tabla 72.

Valores de energía eléctrica en W-h que aporta la batería original al vehículo

Tiempo (h)	Energía (W-h) híbrido estándar	Energía (W-h) sistema plug-in	Distancia (Km)
30 min	600	600	12,6
60 min	425	500	30,1
90 min	300	450	38,4
120 min	150	700	44,0
150 min	100	425	49,4
180 min	300	400	58,1
210 min	0	450	65,9
240 min	400	550	75,6
270 min	200	300	84
300 min	150	200	88,9
330 min	100	450	95,3
360 min	450	450	100

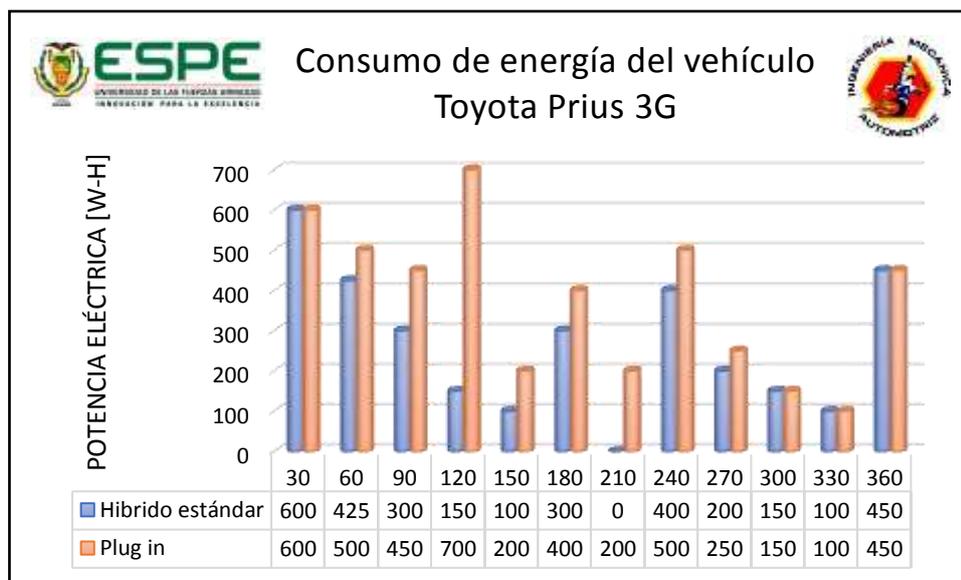


Figura 146. Consumo de energía en la prueba de ciudad del vehículo Toyota Prius 3G

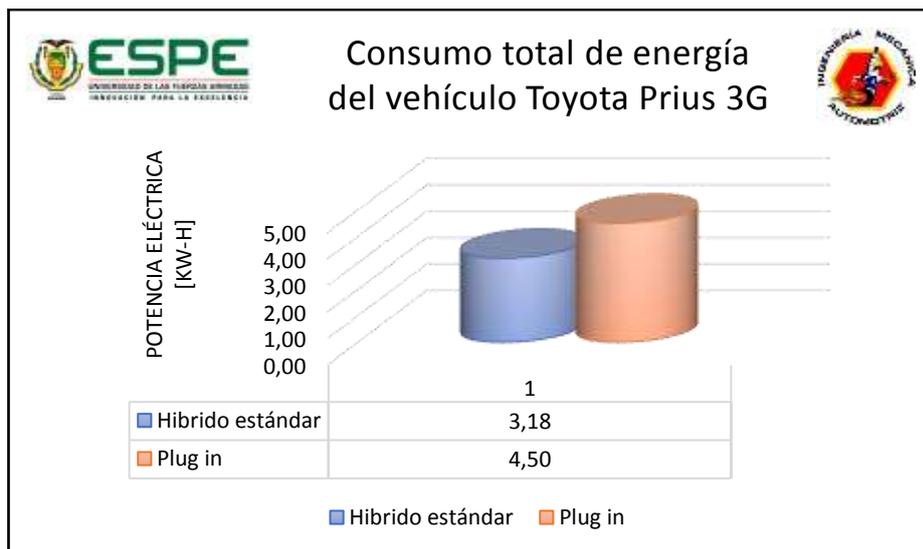


Figura 147. Consumo total de energía en la prueba de ciudad del vehículo Toyota Prius 3G

En la prueba de eficiencia de energía se obtuvo que el vehículo híbrido estándar tiene un consumo de 3,18 kW- h en 100 kilómetros mientras que con el sistema plug-in fue de 4,50 kW- h en 100km de distancia, obteniendo así una diferencia de 1,33 kW- h que es el aporte de la batería adicional y así logrando tener los 60,5 km más de autonomía eléctrica de distancia.

c) Tiempo que permanece encendido el motor de combustión interna

Se muestra los resultados obtenidos con el interfaz OBDLINK SX EOBD en el cual se observa el tiempo que permanece encendido el motor de combustión interna en segundos(s), en condiciones de híbrido estándar y con el sistema plug-in a continuación se muestra los valores obtenidos en la siguiente tabla.

Tabla 73.

Tiempo que permanece encendido el motor de combustión interna

Condición	Tiempo de encendido MCI [s]	Tiempo de Prueba [min]
Híbrido estándar	12967,2	360
Sistema Plug in	6775,2	360

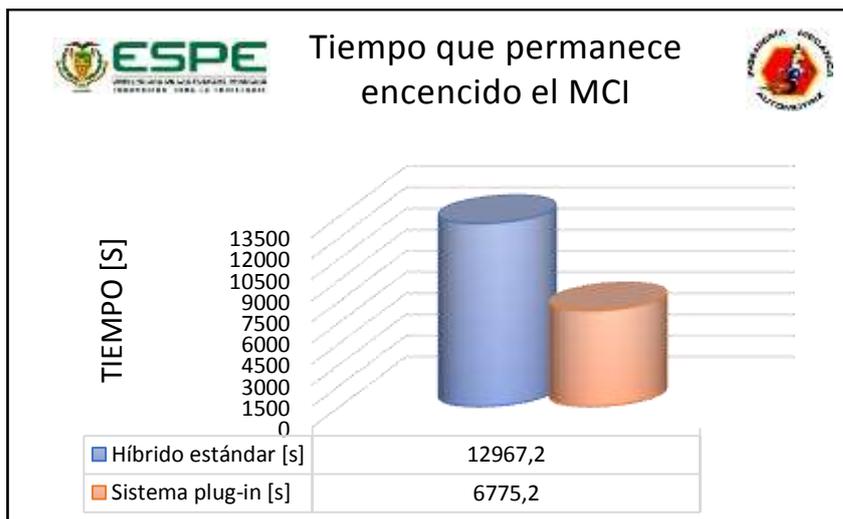


Figura 148. Tiempo que permanece encendido el motor de combustión interna (MCI).

La prueba duro 92 minutos en la ruta de ciudad en la figura 148 se observa el tiempo que permanece encendido el MCI el cual disminuyo de 12967,2 [s] en híbrido estándar a 6775,2 [s] al implementar el sistema plug-in con una diferencia de 6192 [s] lo que representa un 47,75 % de ahorro de combustible y dando más de autonomía eléctrica al vehículo.

5.3. Análisis de la prueba estática del vehículo Toyota Prius 3G

A continuación, se idéntica los datos obtenidos de la prueba estática del vehículo que consistió en cuantificar el tiempo que permanece el vehículo en “READY” y en ralentí con el MCI en “OFF”, es decir en condiciones 100% eléctrico.

Tabla 74.

Valores obtenidos del proceso de la prueba estática en condiciones de híbrido estándar.

SOC [%]	Tiempo [min]	Estado MCI On/Off	V Pack [v]
60	0	OFF	230
58	5	OFF	227
56,4	10	OFF	225
54,1	15	OFF	222
51,7	20	OFF	219
49,4	25	OFF	216
47	30	OFF	213
44,7	35	OFF	210

41,9	40	OFF	207
40	41	ON	205
50,1	44,35	OFF	231

Tabla 75.

Valores obtenidos del proceso de la prueba estática en condiciones de híbrido con el sistema plug-in.

SOC [%]	Tiempo [min]	Estado MCI On/Off	V Pack [v]
60	0	OFF	230
59,8	5	OFF	227
58,1	10	OFF	225
57,8	15	OFF	222
57,2	20	OFF	219
55,6	25	OFF	217
54,5	30	OFF	216
52,9	35	OFF	214
51,7	40	OFF	213
50,5	45	OFF	212
49	50	OFF	211
47,4	55	OFF	211
45,8	60	OFF	209
43,5	65	OFF	208
40	70	ON	205
50,1	72	OFF	232

a) Análisis del porcentaje SOC vs Tiempo en el proceso de descarga y carga de la batería original

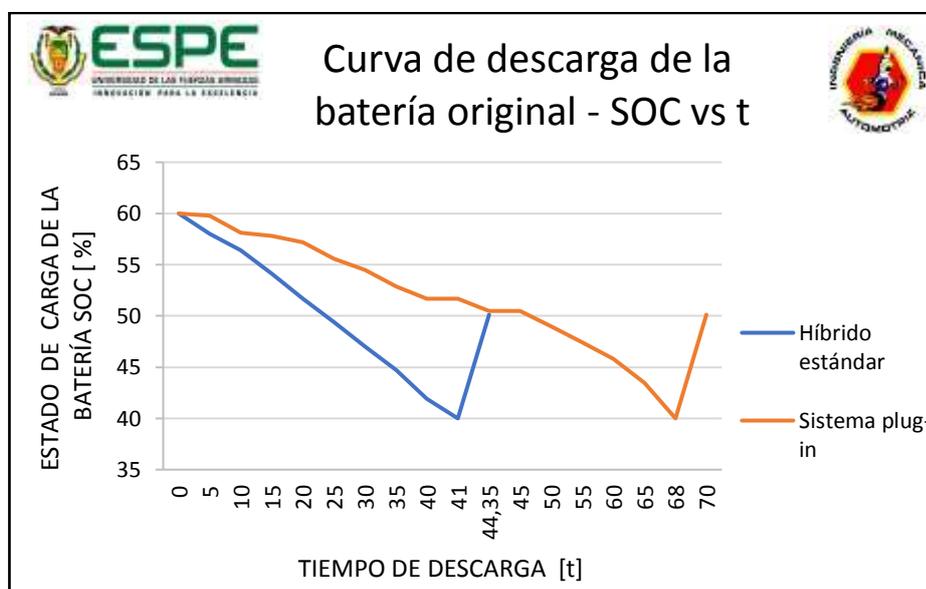


Figura 149. Curva de descarga de la batería original

En la figura 149 se puede visualizar el proceso de descarga de la batería original con el sistema híbrido estándar el cual empieza con un SOC de 60% y dura 41 minutos hasta llegar a un SOC de 40% lo cual indica que la batería esta descargada y enciende el motor de combustión interna durante 3,35 minutos para cargar la batería hasta llegar a un SOC de 50,1 %.

Con el sistema plug-in se tiene las mismas condiciones iniciales y dura 68 minutos la descarga hasta un SOC 40% lo cual indica que la batería esta descargada y enciende el motor de combustión interna durante 2 minutos para cargar la batería hasta llegar a un SOC de 50,1 %.

b) Análisis estadístico del porcentaje de tiempo de descarga y carga de la batería original

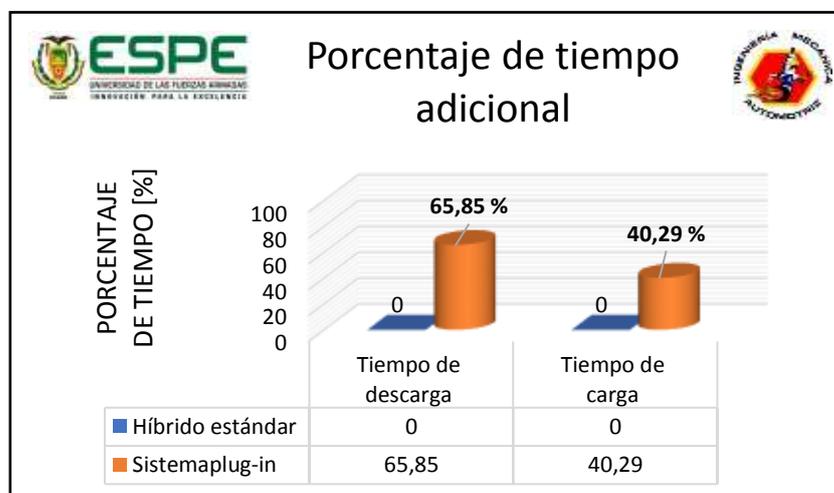


Figura 150. Porcentaje de tiempo adicional a la batería original en el proceso de carga y descarga

En la figura 150 se observa el tiempo adicional que brinda la implementación del sistema plug-in, en el proceso de descarga ofrece un tiempo de 27 minutos que es el 65,85 % extra para que el motor de combustión interna se encienda y en el proceso de carga al llegar la batería a SOC de 40% con un tiempo de 1,35 minutos que es el 40,29 % menos para que el motor de combustión interna se apague.

c) Análisis del V pack vs Tiempo en el proceso de descarga y carga de la batería original

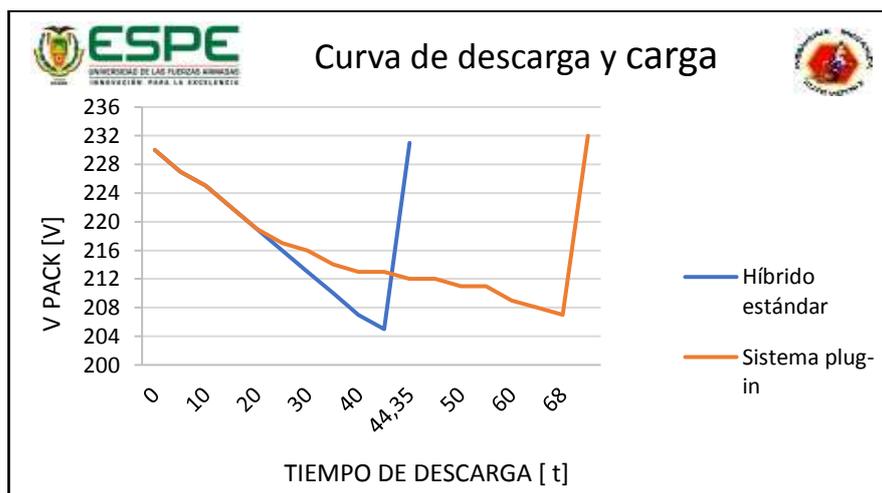


Figura 151. Curva de descarga y carga del Vpack Vs tiempo de la batería original

En la figura 151 se identifica el V pack de la batería original con el sistema híbrido estándar teniendo en cuenta que en el proceso de descarga empieza en 230 V hasta 205 V en un tiempo de 41 minutos y en el proceso de carga empieza 205 V hasta 231 V en un tiempo de 3 minutos y 35 segundos y con el sistema plug-in empieza en 230 V hasta 205 V en un tiempo de 68 minutos y en el proceso de carga empieza 205 V hasta 232 V en un tiempo de 2 minutos

5.6. Análisis de pruebas de los módulos del sistema plug-in vehículo estático

a) Análisis del módulo App

A continuación, se observa los valores obtenidos de la prueba estática del módulo App del sistema plug – in que consistió en realizar mediciones en los 4 conectores de salida ya establecidos con la ayuda del multímetro automotriz como se muestra en la tabla 76.

Tabla 76. Voltajes de comprobación del módulo App

TERMINALES DE CONEXIÓN DEL MÓDULO APP			
Terminal 1	Terminal 2	Terminal 3	Terminal 4



12 V	Sin Presionar	Presionado	12 V
	1,6 V	3,87 V	
	15 %	100 %	

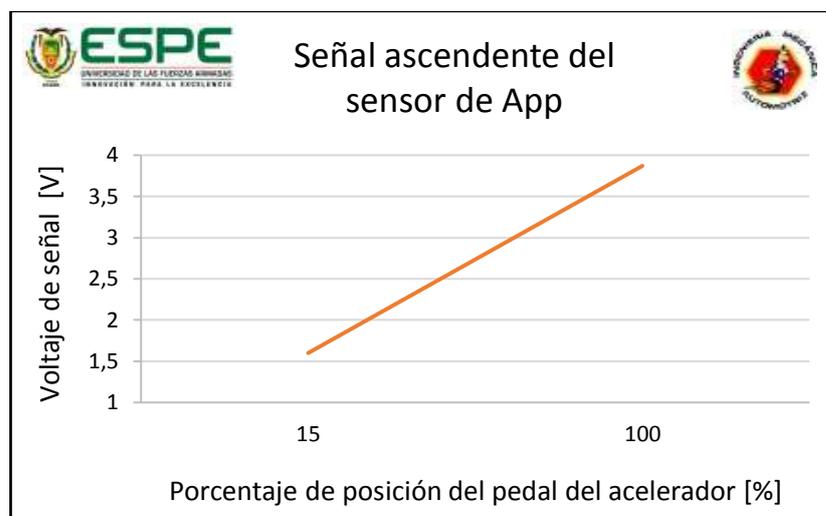


Figura 152. Voltaje de señal ascendente del sensor del App

En la figura 152 se observa el voltaje de señal ascendente del sensor App el cual varía según el conductor presione el pedal del acelerador dando un voltaje de 1,6 V al 15 % de la posición y 3,87 V al 100 %.

b) Análisis del Módulo de conmutación del terminal positivo de la batería de alto voltaje original a la adicional a través del sensor de corriente

Se observa los valores obtenidos de la prueba estática del módulo de conmutación del terminal positivo de la batería de alto voltaje original a la adicional a través del sensor de corriente del sistema plug – in que consistió en realizar mediciones en los diferentes estados del vehículo como se muestra en la tabla 77.

Tabla 77. Valores de aporte de la batería adicional a la original según el estado del vehículo.

ESTADO DEL VEHÍCULO	PUNTOS DE MEDICIÓN [V]	
	A (Aporte antes del sensor de corriente)	D (Aporte después del sensor de corriente)
APAGADO	0	220 – 240

CONTINÚA



EN CONTACTO	220 – 240	0
ENCENDIDO EL VEHÍCULO	220 – 240	0
AL PRESIONAR EL PEDAL DEL ACELERADOR	220 – 240	220 – 240

Se obtuvo ocho valores de voltaje según sea el estado del vehículo y la condición de activación del módulo App los datos obtenidos van desde 220 V batería adicional descarga y 240 V batería adicional cargada.

5.7. Análisis de resultados de CO₂ (dióxido de carbono) que emite el vehículo Toyota Prius 3G

(Calle F. J., 2012) menciona que “Según la Dirección Nacional de Hidrocarburos (DNH) un vehículo emite 2,4 kg de CO₂ por litro de gasolina consumido” (p.32). Al implementar el sistema plug-in al vehículo ayudo a reducir el consumo de combustible y disminuir el CO₂ al medio ambiente como se muestra en la tabla 78.

Tabla 78. Valores de CO₂ del vehículo Toyota Prius 3G en la ruta ciudad y carretera

Condición	Ruta carretera		Ruta ciudad		
	Consumo de combustible 108 [km]	CO ₂	Consumo de combustible 100 [km]	CO ₂	
Híbrido estándar	5 [litros]	12 kg CO ₂	Híbrido estándar	5,8[litros]	13,92 kg CO ₂
Sistema plug-in	4,1 [litros]	9,84 kg CO ₂	Sistema plug-in	3,02[litros]	7,25 kg CO ₂

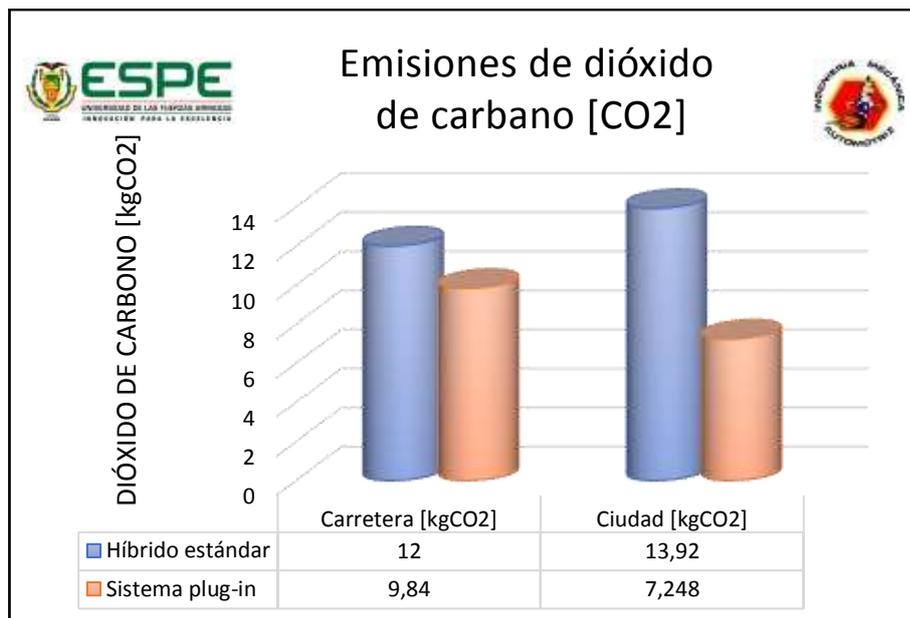


Figura 153. Emisiones de dióxido de carbono del vehículo Toyota Prius 3G

En la figura 153 se observa el dióxido de carbono que emite el vehículo Toyota Prius 3G en la ruta de carretera con una distancia de 108 km y una emisión de 12 kgCO₂ con híbrido estándar y al implementar el sistema plug-in se reduce a 9,84 kgCO₂ lo que equivale al 18 % menos de CO₂ al medio ambiente.

En la ruta de ciudad con una distancia de 100 km y una emisión de 13 kgCO₂ con híbrido estándar y al implementar el sistema plug-in se reduce a 7,248 kgCO₂ lo que equivale al 44,24 % menos de CO₂ al medio ambiente.

Conclusiones del capítulo

- Se realizó el análisis del protocolo de pruebas en donde se evaluó el funcionamiento del sistema plug in en las diferente rutas ciudad y carretera.
- Se desarrolló el análisis de la prueba estática del vehículo en donde se monitoreo el tiempo de encendido del MCI al ser implementado el sistema plug-in.
- Se analizó la resistencia interna de cada uno de los bloques de la batería original del vehículo Toyota Prius al implementar el sistema plug – in.

CAPÍTULO VI

MARCO ADMINISTRATIVO

Los aspectos económicos y administrativos del proyecto de investigación fundamentan los parámetros relacionados con la factibilidad y la viabilidad de los recursos.

6. Factibilidad de la investigación

En el presente capítulo se analizó los recursos materiales y humanos los cuales son fundamentales para la puesta en marcha del proyecto. De tal forma es necesario realizar una planificación del presupuesto tomando en cuenta los siguientes parámetros.

6.1. Recursos materiales

Los recursos materiales son todos los elementos físicos que fueron necesarios para la implementación del proyecto de investigación y a continuación se detallan los mismos:

Tabla 79.

Recursos Materiales

Orden	Ítem
1	Pack de batería de 28 celdas de Níquel hidruro metálico
2	Cable flexible N° 12 ,14 y 8
3	Compartimiento de madera
4	Módulo del sensor App
5	Módulo de conmutación del terminal positivo de la batería de alto voltaje original a la adicional por medio del sensor de corriente
6	Módulo de seguridad
7	Módulo del cargador de la batería adicional

6.1.1. Talento humano

El personal de apoyo para el proyecto de investigación está integrado por:

Tabla 80.

Talento humano

Andrés Moreno	Investigador
Luis Naranjo	Investigador
Ing. Germán Erazo	Director del proyecto de titulación
Ing. José Quiroz	Jefe de Laboratorio Autotrónica (Uso de instrumentación)

6.1.2. Recurso financiero

El financiamiento del proyecto de investigación es de recursos propios, el costo total utilizado en el proyecto es de \$2034 el mismo que están divididas de acuerdo a los materiales de tipo mecánico, eléctrico, electrónico e insumos y equipos tecnológicos usados en la propuesta.

a) Recursos y materiales

Al recurso material se lo conoce a todo el elemento físico que se utiliza en la culminación de la implementación del proyecto de investigación como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 81.

Gastos de materiales de tipo mecánico, eléctrico, electrónico.

Gastos de materiales				
N°	Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Plancha MDF	1	45	45
2	Bisagras	2	4	8
3	Amortiguadores	2	15	30
4	Cubierta de aluminio	1	10	10
5	Tornillos de madera	100	0,03	3



6	Batepiedra	1 lt	10	10
7	Pack adicional de 28 celdas de 7.2 Voltios	1	400	400
8	Kit de Accesorios de la batería de alta tensión	1	100	100
8	Alambre flexible N° 12	20 m	0,60	12
9	Alambre flexible N° 14	20 m	0,60	12
10	Alambre flexible N° 8	10 m	0,60	6
11	Cinta Aislante	6	0,90	5,40
12	Cajas de proyecto de plástico	3	2,50	7,50
13	Cajas de proyecto de metal	2	2	4
14	Transformador de 220V a12 V AC	1	20	20
15	Puente de diodos 600 V 50 A	3	1,50	4,50
16	Regulador de voltaje a 12V DC (7812)	2	0,40	0,80
17	Capacitadores de 100 uF	2	0,10	0,20
18	Relé electrónico de (12V – 5 A) DC	2	1	2
19	Relé mecánico 220 V 50 A	2	0,70	1,40
20	Ventilador de 12 V DC	5	2	10
21	Condensador electrolítico de 470 uF	1	0,10	0,10
22	Condensador electrolítico de 0,1 uF	1	0,10	0,10
23	Diodo Zener	1	0,20	0,20
24	Diodo 1N4007	2	0,15	0,30
25	Comparador analógico CA3140 E	1	2	2
26	Potenciómetro de precisión 10 K	1	0,50	0,50
27	Resistencia 10 K	1	0,20	0,20
28	Resistencia de 1K	3	0,20	0,60
29	Transistor TIP31C	1	1,50	1,50



30	Condensador de 220 uF, 500V	1	1,50	1,50
31	Resistencias de 50W/25Ω	8	8	64
32	Baquelita	3	1,50	4,50
33	Acido cloruro férrico	5	0,70	3,50
34	Lijas N° 1000	1	0,50	0,50
35	Brocas 1/32 y 1/16	1	1,50	1,50
37	Interruptores para fusibles	3	2	6
38	Fusible de 500V 63 A	1	2	2
39	Fusible de 250 V 20 A	2	1	2
40	Estaño	5 m	0,90	4,50
41	Conector domestico tipo Schuko 300 V	1	20	20
42	Borneras	2	0,50	1
43	Pulsadores	2	1,50	3
44	Extensión de 220 V AC	3m	2	6
45	Cautín	2	10	20
46	Resma de papel Bond A4	1	7	7
47	Copias e Impresiones	1000	0,06	60
48	Anillados	3	25	75
49	Placa de graduación	1	15	15
50	Viáticos (almuerzos, pasajes) Andrés Moreno	50	6	300
51	Viáticos (almuerzos, pasajes) Andrés Moreno	50	6	300
52	Gastos Varios	1	150	150
TOTAL				1744

b) Recursos tecnológicos

Los recursos tecnológicos son los medios que coopera y permite la elaboración de la parte escrita del proyecto de investigación y a su vez se

realizar tablas donde se puede tabular los resultados obtenidos de las pruebas.

Las herramientas tecnológicas computarizadas utilizadas se muestran a continuación:

Software PBC Wizard	Elaboración de diagramas para ser utilizados en la baquelita
Software Techstream	Control de los PID's de la batería de alto voltaje
Software Live Wire	Diseño de los diagramas eléctricos
Software Bright Spark	Diseño de los diagramas eléctricos
Software OBDWIZ	Control del consumo de combustible
Software Autodesk Inventor Profesional	Diseño y modelado del compartimiento del sistema

Tabla 82.

Gastos de equipos tecnológicos

Recurso Tecnológico				
N°	Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Voltímetro amperímetro (600V – 50A)DC	1	70	70
2	Timmer digital (240V)AC	1	80	80
3	Software PBC wizard	1	30	30
4	Interfaz MINI VCI J2534	1	50	50
	Software Techstream	1	20	20
5	Software Live Wire	1	20	20
6	Software Bright Spark	1	20	20

CONTINÚA



7	Interfaz OBDLink SX EOBD	1	0	0
8	Software OBDWIZ	1	0	0
9	Software Autodesk Inventor Professional	1	0	0
TOTAL				290

6.2. Título de la propuesta

Con el uso de la implementación del sistema plug-in en vehículos híbridos eléctricos se obtiene una reducción de consumo de combustible, aumento de autonomía eléctrica y extender el estado de salud SOH de la batería original

6.2.1. Estructura de la propuesta

La propuesta se orienta al uso de la implementación del sistema plug-in en vehículos híbridos eléctricos y así obtener un aumento de autonomía eléctrica debido al aporte de la batería adicional y a su vez mejorar el estado de salud SOH de la batería original, logrando la reducción de consumo de combustible y disminuir las emisiones de CO al medio ambiente.

6.2.2. Desarrollo de la propuesta

La propuesta necesita diferentes recursos como son los siguientes: talento humano, físico, tecnológico y material los cuales se requieren en la investigación y el cual proporciona un costo al realizar la implementación del sistema plug-in

El costo aproximado de la investigación estaría en un valor de \$ 2034 sin considerar el recurso humano.

6.2.3 Influencia socioeconómica de la propuesta

Se muestra un análisis económico acerca de la propuesta de la implementación del sistema plug-in en el vehículo Toyota Prius tercera

generación a partir de un Pack de batería de alto voltaje y se debe tener presente las siguientes consideraciones.

La investigación del sistema plug-in se consideró para vehículos híbridos eléctricos que por lo general recorren una distancia de 20000 Km al año, como también el consumo de energía a la red doméstica que se debe realizar a diario y un mantenimiento preventivo del sistema plug-in cada 2 años, por cual se plantea un análisis durante 6 años desde su implementación y los gastos que conlleva dicha instalación se observa a continuación.

Tabla 83.

Costos de la implementación del sistema plug-in

ITEM	COSTO
Pack adicional de 28 celdas de 7.2 Voltios	500
Kit de Accesorios de la batería de alta tensión	100
Compartimiento de madera	106
Módulos y componentes electrónicos y mecánicos	211
TOTAL	917

En la tabla número 83 se observa los costos que tiene la implementación del sistema plug-in en el vehículo Toyota Prius tercera generación como valor inicial de la propuesta es de \$ 917 dólares. Estimando un 40 % de utilidad el honorario por implementar el sistema estaría oscilando en 1400 USD.

Tabla 84.

Costo de trabajo del sistema plug-in

ÍTEM	INVERSIÓN INICIAL	VALOR ANUAL	VALOR SEGUNDO AÑO
Implementación	1400		
Mantenimiento del sistema plug – in		0	180
Consumo de corriente kW-h		62,88	62,88
Total			242,88

En la tabla 84 se observa el costo de mantenimiento del sistema plug-in el cual se debe realizar cada 2 años y su valor es de \$ 180 y también el gasto del consumo de corriente de la red doméstica el cual se debe hacer cada día, se elaboró por cálculos el consumo al mes con un valor de \$ 5,24 y así el total en el primer año es de \$ 62,88 y el segundo año \$ 242,88 para obtener un correcto funcionamiento de la implementación.

Para obtener los valores que genera la implementación del sistema plug –in se parte de un protocolo de pruebas donde se realizó en ciudad y carretera en diferentes condiciones del vehículo ya sea con el híbrido estándar con un consumo de 1,55 galones por 100km y con el híbrido plug-in un consumo de 0,8 galones en la misma distancia teniendo en cuenta que por cada 48 km tenemos un ahorro de 0,75 galones, con la distancia de 20000 kilómetros que recorre un vehículo se tiene un ahorro de 312,5 galones y considerando que el valor de un galón de gasolina súper es de \$ 2,02 tenemos un ahorro de \$ 631,25 al año.

Tabla 85.

Plan de costos y flujo de caja

Años	0	1	2	3	4	5	6
Inversión	1400						
Ingresos		631,25	631,25	631,25	631,25	631,25	631,25
Egresos		62,88	242,8	62,88	242,8	62,88	242,8
Flujos	(1400)	568,37	388,45	568,37	388,45	568,37	388,45

Se realiza una proyección para 6 años teniendo en cuenta que la inversión inicial fue de \$ 1400 al realizar la implementación del sistema plug -in, los ingresos anuales son de \$ 631,25 resultado del ahorro de combustible y los egresos son los valores que generan la implementación, con los datos obtenidos se desarrolla el cálculo del valor actual neto (VAN) con una tasa de descuento del 10% y de la tasa interna de retorno (TIR).

Proyecto A

Desembolso Inicial
-1400

Tasa de Actualización porcentual
10

Flujos de Caja

Añadir Flujo

1	568,37
2	388,45
3	568,37
4	388,45
5	568,37
6	388,45
7	
8	
9	

Max 50

Borrar Seleccionado

Resultado

VAN:	638,42
TIR:	26,3%

Figura 154. Cálculo del VAN Y TIR de la propuesta

Los valores obtenidos del VAN fueron de \$ 638,42 dólares y un TIR de 26,3 % con los datos obtenidos se define que la investigación debe ser aceptada porque el VAN es mayor que cero y el TIR tiene una tasa de interés alta.

El periodo de recuperación de la inversión (PRI) es un instrumento con el cual se mide el tiempo que es necesario para recuperar la inversión inicial de \$ 1400 al implementar el sistema plug-in en vehículo Toyota Prius tercera generación, se refleja que al sumar los FNE en el tercer periodo ya se recupera la inversión lo cual entre la suma se obtiene \$ 1525,19 una vez que se obtienen el valor mencionado se debe tomar el valor del segundo periodo y se resta de la suma de los tres periodos y se consigue \$ 1136,74 dividiendo este valor para el flujo del siguiente año que es de \$ 388,45 se obtuvo un resultado de 0.34 este valor se multiplica por 12 meses y se obtiene 4.08 el número entero indica los meses y la parte decimal indica los días, la parte decimal 0,08 se multiplica por 30 días y se obtiene un valor de 2,4 lo que señala que es 3 días.

Para obtener el PRI se necesita 2 años 4 meses y 3 días.

Conclusiones del capítulo

- Se mostró una propuesta para la implementación del sistema plug-in en el vehículo Toyota Prius tercera generación.
- Se realizó el cálculo del VAN y TIR donde se obtuvo valores favorables teniendo la investigación una tasa de interés alta.
- Se obtuvo el valor del PRI con el cual se demostró que el tiempo de recuperación de la implementación es de 2 años 4 meses y 3 días.

CONCLUSIONES

- Para la implementación del sistema enchufable en el vehículo Toyota Prius 3G inicialmente se analizó los requerimientos del sistema, componentes y su disposición dentro del vehículo para posteriormente dimensionar y ubicar cada uno de los módulos que conforman el sistema Plug in.
- Se recopiló información de fuentes confiables para el desarrollo de la investigación consiguiendo un respaldo verás, de libros, artículos científicos, tesis, manuales, normas y fichas técnicas.
- La selección de las 28 celdas para armar la batería adicional fue mediante un ciclado individual por celda, es decir un proceso de carga y descarga para estimar de cierta manera la vida útil del nuevo pack que funciona en paralelo con la batería original duplicando su capacidad a 13[Ah].
- Se investigó la eficiencia energética del vehículo híbrido Toyota Prius 3G con la implementación del sistema enchufable, haciendo énfasis en el aspecto ambiental donde se consideró los PID's del control híbrido, consumo combustible, consumo de energía, costos de carga y autonomía eléctrica.
- Usando el software Live Wire y Bright Spark se simuló y comprobó los circuitos tanto del comportamiento del control híbrido estándar y tras la implementación del sistema Plug in con sus respectivos módulos y cargador, teniendo en cuenta que el MCI no debe encenderse para cargar la batería adicional.
- Para la implementación de los módulos que forman parte del sistema Plug in, se utilizaron las simulaciones realizadas previamente en el software Live Wire y exportando al software PCB Wizard y de esta manera realizar el grabado en baquelita y poder soldar los componentes electrónicos.
- Debido a que en el país no existen normativas para vehículos híbridos, híbridos enchufables y eléctricos puros la disposición del enchufe se ubicó al mismo lado del depósito de combustible y para el cargador se

basó en la norma UNE-EN 61851: Sistema conductivo de recarga para vehículos eléctricos que define los tipos y requisitos de modelos de recarga que emplearán los vehículos eléctricos en España y se utilizó el modo 1 de recarga en toma tipo Schuko (toma doméstica) sin comunicaciones entre infraestructura de recarga y el vehículo.

- Se suspendió la bandeja posterior de plástico y el diseño de la caja donde se instaló el sistema se realizó en el software Autodesk Inventor Profesional donde se verificó minuciosamente cada aspecto en relación al diseño y finalmente obtener los planos para el corte y posterior ensamblaje procurando conservar su estética.
- Se dispuso de un par de bisagras y amortiguadores que colaboran a que el sistema se pueda levantar fácilmente para tener acceso en caso de necesitar la llanta de emergencia o las herramientas necesarias para realizar el cambio de neumático.
- Las conexiones de los módulos y la batería adicional que conforman el sistema plug in se realizó verificando los diagramas del control híbrido del vehículo Toyota Prius 3G para no causar cortocircuitos y quemar los componentes del vehículo.
- Para la recolección de datos, se estableció un protocolo de pruebas estáticas y de ruta tanto en ciudad como en carretera con un recorrido de 100Km para realizar una comparación de los PID's y mediciones en condiciones de híbrido estándar y con el sistema plug in.
- La prueba de ruta en ciudad se desarrolló dentro de la capital a la misma hora y por consiguiente similar flujo de tráfico para así obtener resultados similares que posteriormente contribuyeron a comparar y analizar cada aspecto de interés en el proyecto mediante el uso del interface Toyota Techstream Mini VCI J2534 y equipos de medición.
- La prueba de ruta en ciudad fue imprescindible iniciar en similares condiciones para la batería original el voltaje por cada bloque en promedio de 16,46V y 15,26V, estado de carga SOC 62,4% y 58,7% para el vehículo en estado de híbrido estándar y con el sistema plug in respectivamente lo que favoreció a la veracidad de los datos recopilados.

- Otro aspecto inicial importante que se tuvo en cuenta fue la resistencia interna y la temperatura, parámetros que determinan de una manera estimada la vida útil SOH de las baterías que conforman el pack original del vehículo Toyota Prius 3G, así la prueba en ciudad con $0,022\Omega$ y $0,023\Omega$, la lectura de temperatura obtenida de los sensores de temperatura que dispone la batería inicialmente TB1 $46,22^{\circ}\text{C}$ y $45,89^{\circ}\text{C}$, TB2 $49,11^{\circ}\text{C}$ y $48,89^{\circ}\text{C}$ finalmente TB3 45°C y $45,11^{\circ}\text{C}$ para el vehículo en estado de híbrido estándar y con el sistema plug in respectivamente.
- Al finalizar la prueba en ciudad los PID's de la batería original el voltaje por cada bloque en promedio $15,13\text{V}$ y $14,81\text{V}$, estado de carga SOC $44,7\%$ y 39% para el vehículo en estado de híbrido estándar y con el sistema plug in respectivamente.
- La prueba en ciudad finalizó con una resistencia de $0,024\Omega$ y $0,023\Omega$, la lectura de temperatura obtenida de los sensores que dispone la batería TB1 $45,28^{\circ}\text{C}$ y $35,22^{\circ}\text{C}$, TB2 $47,61^{\circ}\text{C}$ y 37°C finalmente TB3 $44,89^{\circ}\text{C}$ y $35,28^{\circ}\text{C}$ para el vehículo en estado de híbrido estándar y con el sistema plug in respectivamente.
- Para la batería adicional de igual manera se obtuvo datos realizando mediciones similares a la batería original haciendo énfasis al voltaje de cada bloque, temperatura y potencia eléctrica aportada al sistema.
- El voltaje de cada bloque de la batería adicional en promedio durante la prueba en ciudad fue al inicio $16,99\text{V}$ con un SOC de 78% y al finalizar la ruta $14,83\text{V}$ con un SOC de 42% evidencia del aporte que se obtuvo del sistema contribuyendo al aumento de autonomía eléctrica y por lo tanto una reducción considerable del consumo de combustible y emisiones al ambiente.
- La temperatura de la batería adicional se midió usando un pirómetro óptico simulando los sensores de temperatura escogiendo tres puntos de medición obteniendo así $23,6^{\circ}\text{C}$, $25,5^{\circ}\text{C}$ y $25,6^{\circ}\text{C}$ al inicio de la prueba y $29,3^{\circ}\text{C}$, $30,3^{\circ}\text{C}$ y $30,6^{\circ}\text{C}$ demostrando de esta manera que mientras la batería adicional aporta su temperatura aumenta, pero no

en una cantidad considerablemente teniendo la certeza que su funcionamiento será por un largo tiempo.

- El consumo de combustible se desarrolló usando el display del vehículo donde nos muestra el consumo en litros por cada 100Km [l/100km] obteniendo así en prueba de ruta en ciudad 5,8[l/100km] como híbrido estándar y de 3,02[l/100km] con el sistema plug in y usando el interface OBDLINK SX EOBD el cual mediante el software OBDwiz nos brinda una lectura del consumo en galones [gal] 1,55[gal] en condición de híbrido estándar y por último 0,8[gal] con el sistema plug in.
- Dado los resultados del consumo obtenidos se realizó una relación para determinar la autonomía eléctrica obteniendo un 48% o en otras palabras 48km solo eléctrico en 100km de ruta en ciudad.
- La eficiencia energética obtenida en ciudad con el sistema plug in fue 1,33kW-h que es el aporte de la batería adicional que esto se traduce en un aumento de la autonomía eléctrica del vehículo Toyota Prius 3G.
- La prueba de carretera se efectuó desde la Ciudad de Latacunga hacia Quito con una distancia de 108 Km a la misma hora y con las mismas condiciones iniciales y así realizar una comparación con los datos obtenidos por medio del interface Toyota Techstream Mini VCI J2534 y OBDLink SX EOBD.
- Se inició la prueba de ruta en carretera con los siguientes PID's de la batería original con un voltaje por cada bloque en promedio de 15,77 V y 15,77 V, estado de carga SOC 53,34% y 54,7% para el vehículo en estado de híbrido estándar y con el sistema plug in
- Se monitoreo en la prueba de carretera la resistencia interna y la temperatura en las condiciones de híbrido estándar y plug-in los cuales son parámetros importantes para determinar el estado de vida de la batería original SOH.
- El promedio de la resistencia interna y promedio de la temperatura de la batería original con el sistema híbrido estándar al inicio de la prueba en carretera fueron los siguientes 0,021 Ω , y de la temperatura de los tres sensores TB1 31,77°C, TB2 32,27°C, TB3 29,38°C con el sistema plug-in fue 0,020 Ω con unas temperaturas de TB1 31,5°C, TB2 32°C,

TB3 29,54°C lo que indica que realizó la ruta con parámetros casi similares.

- El promedio de la resistencia interna y promedio de la temperatura de la batería original con el sistema híbrido estándar al final de la prueba en carretera fueron los siguientes 0,0231Ω, y de la temperatura de los tres sensores TB1 47,27°C, TB2 49,27°C, TB3 46,27°C con el sistema plug-in fue 0,0243 Ω con unas temperaturas de TB1 41,72°C, TB2 44°C, TB3 40,72°C lo que indica que al finalizar la ruta se redujo la resistencia interna como la temperatura de la batería original.
- Se incrementó en un 4,94% de SOH al reducir la resistencia interna y 11,73 % al reducir la temperatura de la batería original dando un total de 16,67% de incremento de la vida útil.
- Se redujo la temperatura del TB2 de 49,27 °C a 44 °C lo cual es importante ya que es ahí donde se acumula el calor y reduce la vida útil de las celdas de la batería adicional.
- El tiempo de carga que se aplicó a la batería adicional fue 3,71 h a un amperaje de 0,7 A y el estado de carga SOC se lo calculo tomando en cuenta la capacidad de carga total en base al 100% de eficiencia.
- El cálculo del SOC de la batería adicional se realizó con la siguiente fórmula: $\% SOC . A_t = \left(\frac{Carga * 100}{Cap.ba} \right) + \% SOC . A_{40\%}$
- Se realizó el monitoreo los PID's al inicio de la carga de la batería adicional cada 30 minutos con un SOC de 40% y un voltaje 231,1 V y temperaturas de 22,4°C, 23,1°C y 22,2°C en tres puntos diferentes simulando los sensores de temperatura que dispone la batería original del vehículo.
- Al finalizar la carga después de 3,71h los PID's de la batería adicional fueron: SOC de 80% y un voltaje 240,2 V y temperaturas de 27,9°C, 28,4°C y 28,1°C, lo que indica que la batería adicional llega a tener una temperatura de 28,4°C y no tiene riesgo de tener un sobrecalentamiento.
- El voltaje promedio de cada bloque de la batería adicional durante la prueba en carretera fue de 17,07 V con un SOC de 78% y al finalizar la

ruta 15,79 V con un SOC de 40% lo cual indica el aporte que se obtuvo por parte del sistema.

- La temperatura de la batería adicional en la prueba de carretera se la realizo con un pirómetro óptico en tres puntos diferentes simulando los sensores de temperatura los valores fueron los siguientes: 18,9°C, 24,3°C y 23,9°C al inicio de la prueba y 26,4°C, 28,7°C y 28,1°C al final indicando que la temperatura aumenta pero no en un rango tan considerable mostrando así que la batería adicional tiene un óptimo funcionamiento.
- El consumo de combustible en carretera se redujo de 1,46 galones a 1,26 galones al utilizar el sistema plug-in en 108 km, dando así al vehículo una autonomía eléctrica de 20 km adicionales y teniendo un ahorro de combustible en un 18 %.
- La eficiencia de energía en carretera con el vehículo híbrido estándar tiene un consumo de 1,5 kW- h en 108 kilómetros mientras que con el sistema plug-in fue de 2,1 kW- h en la misma distancia obteniendo una diferencia de 0,6 kW- h y así logrando tener los 20 km más de autonomía eléctrica de distancia.
- Se realizó la prueba estática que consistió en cuantificar el tiempo que permanece el vehículo en “READY” y en ralentí con el MCI en “OFF”, es decir en condiciones 100% eléctrico, se monitoreo cada 5 minutos.
- El proceso de descarga de la batería original con el sistema híbrido estándar empieza con un SOC de 60% y dura 41 minutos hasta llegar a un SOC de 40% lo cual indica que la batería esta descargada y enciende el motor de combustión interna durante 3,35 minutos para cargar la batería hasta llegar a un SOC de 50,1 %.
- Con el sistema plug-in se tiene las mismas condiciones iniciales y dura 68 minutos la descarga hasta un SOC 40% lo cual indica que la batería esta descargada y enciende el motor de combustión interna durante 2 minutos para cargar la batería hasta llegar a un SOC de 50,1 %.
- El tiempo adicional que brinda la implementación del sistema plug-in, en la prueba estática en el proceso de descarga ofrece un tiempo de 27 minutos que es el 65,85 % extra para que el motor de combustión

interna se encienda y en el proceso de carga al llegar la batería a un SOC de 40% se demora 1,35 minutos que es el 40,29 % menos para que el motor de combustión interna se apague mostrando así la eficiencia del sistema.

- Los valores obtenidos del VAN fueron de \$ 1077,51 dólares y un TIR de 49,2 % con los datos conseguidos se define que la investigación debe ser aceptada porque el VAN es mayor que cero y el TIR tiene una tasa de interés alta.
- Se realizó el análisis del el periodo de recuperación de la inversión (PRI) con el cual se mide el tiempo que es necesario para recuperar la inversión inicial dando como resultado que se necesita 2 años 4 meses y 3 días.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda revisar el manual técnico del vehículo híbrido Toyota Prius 3G para conocer el comportamiento del sistema híbrido, ubicación de sus componentes y parámetros de funcionamiento para poder realizar la instalación evitando ocasionar algún cortocircuito que queme componentes del sistema híbrido original.
- Se aconseja realizar el mantenimiento de la batería híbrida original del vehículo Toyota Prius 3G verificando que no exista impurezas acumuladas entre las celdas y en el ventilador de refrigeración de la batería de alto voltaje, limpiar el sulfato acumulado en los terminales de las celdas por y último realizar un ciclado y ecualización del pack original.
- Realizar el mantenimiento preventivo de acuerdo al kilometraje del vehículo antes de realizar cualquier prueba de ruta debido a que cada una tiene un recorrido de 100km y el vehículo debe funcionar perfectamente durante el tiempo que dure cada prueba.
- Es aconsejable antes de realizar las conexiones simular los módulos y el acople de la batería adicional que conforman el sistema plug in en los softwares Live Wire, Bright Spark y PCB Wizard programas que son fáciles de usar y muestran gráficamente el comportamiento de cada componente, flujos de corriente entre otros parámetros.
- El presente proyecto de investigación se puede aplicar en cualquier vehículo híbrido en serie y se recomienda verificar el voltaje y capacidad de la batería de alto voltaje y según sea el caso seleccionar el número de celdas necesarias para igualar a la batería original.
- Al momento de realizar la instalación del sistema se aconseja usar guantes aislantes para evitar el contacto directo con el sistema de alto voltaje del vehículo llegando a causar daños irreversibles a la salud de la persona que se encuentre manipulando el sistema.
- Se recomienda usar baterías híbridas recicladas y seleccionar las celdas que se necesitan mediante un proceso de carga y descarga para estimar de cierta manera el porcentaje de vida útil de cada celda y armar un nuevo pack por sobre él 50%.

- Para el dimensionamiento del compartimiento donde se va a instalar el sistema considerar un diseño que sea amigable para todas las personas de fácil uso y que al momento que sea necesario el cambio de neumático de emergencia no se requiera de un gran esfuerzo.
- Diseñar y modelar el compartimiento para obtener los planos usando el software Autodesk Inventor Profesional donde se realizan diseños en 3d, ensamblar y animar cualquier la estructura de una manera realista y finalmente ensamblar e instalar en el vehículo.
- Se recomienda realizar el mantenimiento preventivo cada 2 años o 40000km del sistema Plug in debido a la acumulación de polvo y el sulfato en los terminales y realizar un ciclado y ecualización de la batería adicional para que su funcionamiento no se vea afectado.
- Impulsar el uso de la tecnología híbrida y eléctrica en los distintos vehículos que ingresan al país para reducir el impacto en las emisiones de CO y por consiguiente mejorar la calidad de vida de todos los seres vivos de grandes y pequeñas ciudades.
- Los vehículos híbridos son de autonomía limitada, esta investigación se enfoca en aumentar este parámetro y se recomienda desarrollar temas enfocados en superar y promover el uso de vehículos de propulsión eléctrica.
- Al momento de cargar la batería verificar el voltaje y colocar en el TIMMER el tiempo recomendado mediante cálculos que es de 3 horas con 30 minutos y al finalizar deja de circular corriente hacia la batería adicional, aunque el cable del toma corriente aun siga conectado al vehículo.
- Mientras se realiza la carga de la batería adicional y el cable del toma corriente se encuentre conectado al vehículo por ningún motivo tratar de encender ya que se genera un código de diagnóstico siendo necesario usar el interface Toyota Techstream Mini VCI J2534 para borrar el código y que el vehículo nuevamente permita poner en READY.
- Se recomienda realizar una investigación relacionado al cargador del sistema plug in para que sea versátil es decir tanto para 110V y 220V

y que mantenga su amperaje de carga para prevenir daños en las celdas e incluso cuando el SOC de esta llegue al 80% deje de permitir el paso de corriente y corte la carga.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril, L. (15 de Enero de 2016). El Cambio de la matriz energética y la rehabilitación de la red vial marcan un antes y un después en el Ecuador. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Álvarez, D. (2016). Energía limpia en los autos del Ecuador. *Carburando*, 7.
- Augeri, F. (2010). *Batería de Alta Tensión en el Toyota Prius Híbrido*. Buenos Aires.
- Augeri, F. (17 de Abril de 2011). *CISE Electronics Corp*. Obtenido de <http://www.cise.com/portal/descargas/file/17-introduccion-al-funcionamiento-y-diagnostico-de-los-vehiculos-hibridos.pdf.html>
- Bertolín Corisco, S. (2014). Gestión de demanda en una smart-grid con vehículos eléctricos. 149.
- Calle. (2012). Evaluación técnica del desempeño y prestaciones del vehículo TOYOTA PRIUS III generación en la ciudad de Cuenca. 53.
- Calle, F. J. (2012). Evaluación técnica del desempeño y prestaciones del vehículo Toyota Prius III generación en la ciudad de Cuenca.
- Castillo-Torres, F.-A. (2011). Análisis de rendimiento, consumo y emisiones generadas por los vehículos híbridos. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga*, 192.
- Córdova, A. (2015). *Factibilidad para la integración de vehículos Eléctricos al sistema de distribución eléctrico*.
- Cuji-Sánchez, H. L. (2015). Diseño y construcción de un modelo de un sistema de recarga inductiva para autos eléctricos. 110.
- Delgado, L. F. (2013). Diseño y aplicación de un protocolo de mantenimiento, diagnóstico y reparación del sistema de baterías de vehículos híbridos.
- Equipos de diagnóstico automotriz. Recuperado el 06 de Junio del 2017. *Autoadvance*. Obtenido de <http://www.autoavance.co/equipos-diagnostico-automotriz/osciloscopio-automotriz-otc-3840f>

- Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automovil. (2007). Tecnologías de propulsión híbridas y las evidencias científicas de su eficacia. *Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automovil*, 16.
- Garzón, E. S. (2015). Diseño y construcción de un “sistema eléctrico y electrónico, para aumentar la autonomía eléctrica de un vehículo híbrido marca toyota, modelo prius, adaptando un sistema PHEV (Plug-In Hybrid Electric Vehicle), en un sistema HEV (Hybrid Electric Vehicle)”.
- Gnceros. (Mayo de 2013). *Tecnología Híbrida* . Recuperado el 11 de Enero del 2017. Obtenido de http://www.gnceros.com.ar/bib/tecnologia/vehiculos_hibridos.php
- Gobierno Nacional de la Republica del Ecuador. (12 de febrero de 2015). *Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad*. Obtenido de <http://www.produccion.gob.ec/vehiculos-electricos-una-realidad-en-ecuador/>
- Gordillo, H. S. (2014). Análisis de fallas frecuentes de un vehículo híbrido con el estudio de correcciones y realización de una guía para prácticas sobre un Toyota Prius.
- Guevara, E. (2015). Diseño y construcción de un “sistema eléctrico y electrónico, para aumentar la autonomía eléctrica de un vehículo híbrido marca toyota, modelo prius, adaptando un sistema phev (plug-in hybrid electric vehicle), en un sistema hevev (Hybrid Electric Vehicle)”.
- Universidad Tecnológica Equinoccial*, 115.
- Holguín, E. (2015). Estudio y analisis de la transmisión del vehículo Toyota. *Universidad internacional del ecuador*, 94.
- Iniesta, A. (2015). *Vehículo eléctrico: ¿Una opción de futuro en los sistemas eléctricos?*

- Jiménez, J. E. (2013). Estudio del sistema híbrido, diseño, construcción e implementación de un modelo de conexión de fuerzas propulsoras de transmisión.
- López, W. D. (2017). "Análisis energético de la incidencia de la capacidad de la batería de elevado voltaje en el consumo de combustible del vehículo Toyota Prius C. Diseño del sistema de control de energía para elevar la autonomía de desplazamiento del vehículo plug-in Toy.
- Magarín, M. C. (2013). Cargador de paquetes de de baterías de Ni-MH de 24 V, 10 Ah para vehículos eléctricos. 71.
- Marketing Digital - Diseño Web. (2006). *ph Electrónica sa*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2016. Obtenido de <http://www.phelectronica.com.ar/producto.php?id=220>
- Marketwatch. (25 de Abril de 2015). *Marketwatch Inteligencia de Mercado*. Recuperado el 03 de Noviembre de 2016. Obtenido de <http://marketwatch.com.ec/author/imnegocios/page/14/>
- Martín, A. G. (2015). Valoración técnico-económica del automóvil eléctrico e híbrido frente al automovil convencional como solución para un particular/empresa.
- Ordoñez, C. P. (2011). Estudio de baterías para vehículos eléctricos. 106.
- Palomeque, E. F. (2015). El vehículo eléctrico análisis de su infraestructura de carga y su integración a una smart grid. 9.
- Puentes, W. G. (Mayo de 2015). *Electronica electronics*. Recuperado el 13 de Febrero de 2017. Obtenido de <https://electronica-electronics.com/software/electronica-software/livewire.html>
- Sánchez, O. I. (2005). Simulador de un sistema de comunicación óptico. *Instituto Politécnico Nacional Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital*, 165.
- Tenorio-Vallejo, C.-N. (2010). Estudio, dimensionamiento y aplicaciones para el uso de ultracapacitores en el arranque de un motor asíncrono de 2hp,

como respaldo al banco de baterías del prototipo de un vehículo híbrido realizado por el ministerio de electricidad y energía renovable. 116.

Toyota Ecuador. (06 de Junio de 2017). *Toyota*. Recuperado el 11 de Abril de 2017, Obtenido de <http://toyota.com.ec/toyota-prius-3g-diseno>

Toyota Motor, C. (2004). Manual Toyota Prius.

Vicepresidencia de la República del Ecuador. (Marzo de 2015). *Estrategia Nacional para el cambio de la matriz productiva*. Recuperado el 22 de Enero de 2017. Obtenido de <http://www.vicepresidencia.gob.ec/secretaria-tecnica-del-comite-interinstitucional-para-el-cambio-de-la-matriz-productiva/>

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores MORENO
CONSTANTE ANDRÉS SEBASTIÁN Y NARANJO TIPÁN LUIS ALFREDO.
En la ciudad de Latacunga a los 27 del mes de Junio de 2017.

Aprobado por:

Ing. Germán Erazo
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Danilo Zambrano
DIRECTOR DE LA CARRERA

Dr. Freddy Jaramillo
SECRETARIO ACADÉMICO