



**Procesos de operación, diagnóstico y mantenimiento de inversores utilizados en propulsión  
eléctrica**

Paute Agreda, Briggithe Fernanda y Tigse Herrera, Ana Maria

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del Título de Ingeniero Automotriz

Ing. Erazo Laverde, Washington German MSc.

23 de febrero 2024

Latacunga



### Reporte de verificación de contenido



### TRABAJO DE TITULACIÓN, TIGSE, PAU...

#### Scan details

Scan time: February 22th, 2024 at 17:47 UTC  
 Total Pages: 66  
 Total Words: 18300

#### Plagiarism Detection

Types of plagiarism	Words
Identical: 3.2%	204
Minor Changes: 2%	0
Paraphrased: 0%	0
Cancelled (AI/LLM): 13.2%	2753

#### AI Content Detection

Test coverage: AI text, Human text  
 N/A

#### Plagiarism Results: (5)

**Copyleaks Internal Database** 1%  
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

**Copyleaks Internal Database** 1%  
 Trabajo de Integración curricular, previo a la obtención del título de

**Copyleaks Internal Database** 0.9%  
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

**Copyleaks Internal Database** 0.8%  
 el mismo que cumple con los requisitos legales, técnicos, éticos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán

0501432637



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Certificación**

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Procesos de operación, diagnóstico y mantenimiento de inversores utilizados en propulsión eléctrica”** fue realizado por las señoritas **Paute Agreda, Briggithe Fernanda** y **Tigse Herrera, Ana Maria**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 23 de febrero 2024

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán

0501432637



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de Autoría

Nosotras, **Paute Agreda, Briggithe Fernanda** y **Tigse Herrera, Ana Maria**, con cédulas de ciudadanía N° **1753123742** y **0504026220**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **"Procesos de operación y mantenimiento de inversores utilizados en propulsión eléctrica "** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 23 de febrero 2024

**Tigse Herrera, Ana Maria**

0504026220

**Paute Agreda, Briggithe Fernanda**

1753123742



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de Publicación

Nosotras, **Paute Agreda, Briggithe Fernanda, Tigse Herrera, Ana Maria**, con cédulas de ciudadanía N° **1753123742** y **0504026220**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **"Procesos de operación, diagnóstico y mantenimiento de inversores utilizados en propulsión eléctrica"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga. 23 de febrero 2024

Tigse Herrera, Ana Maria

0504026220

Paute Agreda, Briggithe Fernanda

1753123742

### Dedicatoria

Este trabajo de integración curricular dedico principalmente a Dios por su guía y fortaleza en el trayecto de mis estudios universitarios para convertirme en una buena profesional y a mis queridos padres por su amor, apoyo y siempre estar a mi lado durante todos estos años donde me han inculcado valores y principios que me han permitido ser una buena persona.

A mis hermanas por su apoyo incondicional durante este proceso de mi carrera en la universidad.

**Paute Agreda, Briggithe Fernanda**

## Agradecimiento

Inicialmente a Dios por darme vida y salud para poder cumplir mi sueño y meta de convertirme  
en Ingeniería Automotriz

A mis padres Darwin Paute y Mónica Agreda su guía y apoyo emocionalmente en las diferentes  
adversidades, pero sobre todo en los éxitos que surgieron durante todo el trayecto de mis estudios de  
nivel superior.

A mis hermanas Alina Paute y Briana Paute por su apoyo y amor incondicional.

A mi padrino Wilson Calle que en paz descanse, quien siempre me apoyo y aconsejo para que  
cumpla con mis propósitos y sueños.

A Rodrigo Poveda, quien a estado a mi lado en este proceso de aprendizaje y crecimiento,  
brindándome su apoyo y cariño incondicional.

A todos y cada una de las personas que me han acompañado y apoyado en este proceso de  
superación y desarrollo profesional.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga y profesionales educativos por  
inculcarme conocimiento, preparación y experiencias a nivel educativo que me han permitido forjarme  
como una buena profesional.

Al ingeniero German Erazo, quien nos preparó y guio en el siguiente trabajo de integración  
curricular con su conocimiento y experiencia en el campo de los vehículos eléctricos y demás.

**Paute Agreda, Briggithe Fernanda**

### Dedicatoria

El siguiente trabajo de integración curricular dedico a mí querida madre que siempre ha estado junto a mí para aconsejarme, guiarme y fortaleciéndome en el trayecto de mis estudios inculcándome valores y principios que han hecho de mí una buena persona y futura profesional.

A mis hermanos y hermanas que me han dedicado su apoyo y amor durante todo el proceso de mi carrera universitaria.

A mi esposo por el amor y el apoyo incondicional que me ha brindado en el transcurso de mi vida universitaria.

**Tigse Herrera, Ana Maria**



## Agradecimiento

En primer lugar, a mi madre Rosa Herrera por su amor, guía y apoyo tanto económico como emocionalmente para cumplir con mis sueños y metas que surgieron desde niña, como el ser Ingeniería Automotriz.

A mis hermanos y hermanas que me han ayudado, pero sobre todo a mi hermano Jorge Tigse por su apoyo incondicional y el cariño brindado en el trayecto de mis estudios.

A mi esposo Erick Serrano por su amor y soporte durante este proceso de aprendizaje y preparación para ser una futura profesional.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga e ingenieros que forman parte de ella, por compartirme su conocimiento y experiencias para forjar mi persona y capacitación profesional.

Al ingeniero Washington Germán Erazo por su ayuda y guía en el desarrollo del presente trabajo de integración curricular impartiéndonos su conocimiento y experiencia en el campo de los vehículos eléctricos y demás.

**Tigse Herrera, Ana María**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido .....	2
Certificación .....	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación .....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento .....	7
Dedicatoria.....	8
Agradecimiento .....	9
Índice de contenido .....	10
Índice de figuras .....	15
Índice de tablas.....	17
Resumen .....	19
Abstract.....	20
Capítulo I: Marco metodológico .....	21
Antecedentes investigativos .....	21
Planteamiento del problema .....	22
Justificación e importancia .....	23
Objetivos .....	24
<i>Objetivo general</i> .....	24

<i>Objetivos específicos</i> .....	25
Metas del proyecto .....	25
Hipótesis.....	25
Variables de investigación. ....	25
<i>Variable independiente</i> .....	25
<i>Variable dependiente</i> .....	25
Metodología de desarrollo del proyecto .....	25
Método deductivo e inductivo .....	26
Método experimental .....	26
Capítulo II: Marco teórico.....	27
Movilidad Eléctrica.....	27
<i>Ventajas</i> .....	28
<i>Beneficios</i> .....	28
Importancia de los inversores en el sistema de propulsión de vehículos híbridos y eléctricos. ....	28
Función de los Inversores en Vehículos Eléctricos.....	29
Función en la conversión de energía en vehículos eléctricos .....	30
Tipos de Inversores: .....	34
<i>Inversores de tracción</i> .....	34
<i>Inversores Brushless</i> .....	35
<i>Inversores trifásicos</i> .....	36
<i>Inversores monofásicos</i> .....	36
<i>Inversor de voltaje</i> .....	37
<i>Inversor de corriente</i> .....	38
<i>Inversor de frecuencia</i> .....	39

<i>Ventajas</i> .....	39
Características de cada tipo de inversor .....	40
Inversores en la regulación de la velocidad en vehículos eléctricos. ....	40
<i>Control de frecuencia</i> .....	40
Modulación de ancho de pulso (PWM).....	41
<i>Control vectorial</i> .....	41
Inversores en la regulación de la potencia en vehículos eléctricos.....	41
Regeneración de frenado.....	41
Componentes Clave de los Inversores .....	42
Eficiencia y Pérdidas en Inversores:.....	44
Estrategias para mejorar la eficiencia en inversores de vehículos eléctricos .....	45
Avances Tecnológicos en Inversores: .....	46
Seguridad y protección en inversores.....	47
Normativas y estándares de seguridad aplicables a inversores en vehículos eléctricos. ....	48
Capítulo III: Protocolo del proceso de operación, diagnóstico y mantenimiento de inversores .....	49
Levantamiento de requerimientos .....	50
<i>Interfaz Multifuncional Circuit Board Tester – FADOS9F1 detector de fallas y Osciloscopio</i> .....	50
<i>Descripción del FADOS9F1 detector de fallas y Osciloscopio y el monitor</i> .....	51
<i>Especificación del probador VI</i> .....	51
<i>Especificación del osciloscopio para pc</i> .....	52
<i>Escáner Automotriz Platinum Latin Master THINKCAR</i> .....	52
Requerimientos tecnológicos del sistema.....	53
<i>Software FADOS9F1</i> .....	53
<i>Vehículo Toyota Prius PHV 2010</i> .....	54

Proceso de desarmado .....	55
<i>Proceso de verificación del Inversor Toyota Prius</i> .....	56
<i>Desmontaje del inversor</i> .....	56
Reconocimiento de partes de los inversores.....	60
Trazado De Circuitos.....	63
<i>Suministro de corriente para los motogeneradores por medio del inversor</i> .....	63
Convertidor de DC/DC .....	66
<i>Primera etapa que corresponde a alta tensión</i> .....	66
<i>Segunda etapa que corresponde a baja tensión</i> .....	67
Obtención de las imágenes de Lissajous para los inversores.....	68
<i>Estudio de las imágenes de Lissajous del Inversor Toyota Highlander</i> .....	68
Inversor para MG1 Y MG2. ....	68
<i>Módulo IPM de la Toyota Higlander</i> .....	76
<i>Estudio de las gráficas de Lissajous del Inversor Toyota Prius</i> .....	78
<i>Módulo de inversor para el MG1 Y MG2</i> .....	78
<i>Gráficas de Lissajous del capacitor del Toyota Prius</i> .....	80
<i>Gráficas de Lissajous de los reactores de los vehículos Toyota Prius y Hihglander</i> .....	82
Proceso de armado de los inversores .....	83
Pasos para el armado del Toyota Prius .....	84
Estudio de la distribución de pines del inversor Toyota Prius .....	88
Estudio de la distribución de pines del inversor Toyota Highlander .....	90
Monitoreo de datos con el Escáner .....	91
<i>Temperatura</i> .....	91
<i>Voltaje y corriente</i> .....	91

<i>Frecuencia de conmutación</i> .....	92
Estudio del inversor del Toyota Prius 2010 con el escáner.....	92
<i>Estudio del inversor del Toyota Prius C 2011 con el escáner</i> .....	96
<i>Estudio del inversor del Toyota Corolla Cross HV con el escáner</i> .....	98
Reconocimiento de los DTC del inversor.....	101
Operación del módulo de entrenamiento para vehículos eléctricos .....	102
<i>Vehículo detenido</i> .....	102
<i>Freno regenerativo</i> .....	105
Capítulo IV: Marco administrativo .....	106
Recursos .....	106
<i>Recursos humanos</i> .....	106
<i>Recursos tecnológicos</i> .....	106
<i>Análisis de costos del proyecto de investigación</i> .....	107
<i>Análisis de costo - beneficio</i> .....	108
Conclusiones y recomendaciones .....	109
Conclusiones .....	109
Recomendaciones .....	110
Bibliografía .....	111
Anexos .....	115

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Centros de carga de Vehículos Eléctricos .....	28
<b>Figura 2</b> Inversor del Toyota Prius .....	29
<b>Figura 3</b> Inversor de tracción.....	35
<b>Figura 4</b> Inversor Bruhless .....	35
<b>Figura 5</b> Inversor trifásico .....	36
<b>Figura 6</b> Inversor monofásico .....	37
<b>Figura 7</b> Inversor de voltaje .....	38
<b>Figura 8</b> Inversor de corriente .....	38
<b>Figura 9</b> Inversor de frecuencia .....	39
<b>Figura 10</b> Inversor de regulación de la velocidad .....	40
<b>Figura 11</b> FADOS9F1 detector de fallas y Osciloscopio .....	50
<b>Figura 12</b> Escáner Automotriz Platinum Latin Master THINKCAR .....	53
<b>Figura 13</b> Software FADOS9 .....	54
<b>Figura 14</b> Toyota Prius PHV 2010.....	55
<b>Figura 15</b> Inversor del Toyota Prius .....	55
<b>Figura 16</b> Circuito del inversor.....	64
<b>Figura 17</b> Circuito del inversor en la etapa A.....	64
<b>Figura 18</b> Circuito del inversor en la etapa B.....	65
<b>Figura 19</b> Circuito del inversor cuando trabaja el generador .....	65
<b>Figura 20</b> Primera etapa que corresponde a alta tensión .....	66
<b>Figura 21</b> Segunda etapa que corresponde a baja tensión .....	67
<b>Figura 22</b> Identificación de entradas y salidas de tensión en el inversor para MG1 y MG2.....	68
<b>Figura 23</b> Gráficas del Lissajous de las entradas A y B del inversor del MG1 y MG2.....	70

<b>Figura 24</b> <i>Gráficas de Lissajous de las entradas C y A del inversor para el MG1 y MG2</i> .....	71
<b>Figura 25</b> <i>Gráficas del Lissajous de las entradas A y G del inversor para el MG1 y MG2</i> .....	73
<b>Figura 26</b> <i>Orden alfabético de las entradas y salidas del capacitor del Toyota Highlander</i> .....	73
<b>Figura 27</b> <i>Gráficas de Lissajous de las entradas A y D del capacitor</i> .....	74
<b>Figura 28</b> <i>Gráficas de Lissajous de las entradas entre C y D del capacitor del Toyota Highlander</i> .....	75
<b>Figura 29</b> <i>Designación de entradas en el módulo IPM</i> .....	76
<b>Figura 30</b> <i>Gráficas de Lissajous de las entradas A y B del módulo IPM del Toyota Highlander</i> .....	77
<b>Figura 31</b> <i>Gráficas de Lissajous de las entradas A y C del módulo IPM del Toyota Highlander</i> .....	77
<b>Figura 32</b> <i>Gráficas de Lissajous de las entradas C y A del módulo IPM del Toyota Highlander</i> .....	78
<b>Figura 33</b> <i>Identificación de entradas y salidas de tensión en el inversor para MG1 y MG2</i> .....	78
<b>Figura 34</b> <i>Gráficas de Lissajous de las entradas A y B del módulo inversor para MG1 y MG2</i> .....	79
<b>Figura 35</b> <i>Gráficas de Lissajous de las entradas A y C del módulo inversor para MG1 y MG2</i> .....	80
<b>Figura 36</b> <i>Orden alfabético de las entradas y salidas del capacitor del Toyota Prius</i> .....	80
<b>Figura 37</b> <i>Gráficas de Lissajous de las entradas A y F del capacitor</i> .....	81
<b>Figura 38</b> <i>Gráfica de Lissajous del reactor del Toyota Prius</i> .....	83
<b>Figura 39</b> <i>Gráfica de Lissajous del reactor del Toyota Highlander</i> .....	83
<b>Figura 40</b> <i>Estableciendo conexión el vehículo con el Escáner Automotriz</i> .....	91
<b>Figura 41</b> <i>Pines OBDII del vehículo Toyota Prius</i> .....	92
<b>Figura 42</b> <i>Página principal de acceso del scanner</i> .....	92
<b>Figura 43</b> <i>Datos proporcionados del vehículo Toyota Prius 2010</i> .....	93
<b>Figura 44</b> <i>Toyota Prius C 2011</i> .....	96
<b>Figura 45</b> <i>Datos proporcionados del vehículo Toyota Prius C 2011</i> .....	96
<b>Figura 46</b> <i>Toyota Corolla Cross HV</i> .....	99
<b>Figura 47</b> <i>Resultados del Scanner del Toyota Corolla Cross HV</i> .....	102



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Partes y características del inversor</i> .....	30
<b>Tabla 2</b> <i>Características de cada tipo de inversor</i> .....	40
<b>Tabla 3</b> <i>Componentes clave de los inversores</i> .....	42
<b>Tabla 4</b> <i>Seguridad y protección de los inversores</i> .....	47
<b>Tabla 5</b> <i>Especificaciones probadas Corriente - Voltaje</i> .....	51
<b>Tabla 6</b> <i>Potencia y características de temperatura IR</i> .....	52
<b>Tabla 7</b> <i>Especificación del osciloscopio para PC</i> .....	52
<b>Tabla 8</b> <i>Desarmado del inversor Toyota Prius</i> .....	56
<b>Tabla 9</b> <i>Desarmado del inversor Toyota highlander</i> .....	58
<b>Tabla 10</b> <i>Partes internas y externas del conjunto inversor de los vehículos toyota Hihglander y Prius.</i> ....	60
<b>Tabla 11</b> <i>Gráficas de Lissajous de las entradas del inversor para el MG1 y MG2</i> .....	69
<b>Tabla 12</b> <i>Gráficas del Lissajous de las entradas del inversor para el control MG1 y MG2 parte 2</i> .....	71
<b>Tabla 14</b> <i>Gráficas de Lissajous de las entradas del capacitor del Toyota Highlander</i> .....	74
<b>Tabla 15</b> <i>Gráficas de Lissajous de las entradas del capacitor del Toyota Highlander</i> .....	76
<b>Tabla 13</b> <i>Gráficas de Lissajous de las entradas del capacitor Toyota Prius</i> .....	81
<b>Tabla 16</b> <i>Pasos para armar el inversor Toyota Prius</i> .....	84
<b>Tabla 17</b> <i>Pasos para armar el inversor Toyota Highlander</i> .....	86
<b>Tabla 18</b> <i>Inversor Toyota Prius</i> .....	88
<b>Tabla 19</b> <i>Inversor Toyota Highlander</i> .....	90
<b>Tabla 20</b> <i>Datos del vehículo Prius.</i> .....	94
<b>Tabla 21</b> <i>Temperaturas de funcionamiento del inversor</i> .....	95
<b>Tabla 22</b> <i>Datos del vehículo Prius C</i> .....	97
<b>Tabla 23</b> <i>Temperaturas de funcionamiento del inversor Toyota Prius C</i> .....	98

<b>Tabla 24</b> <i>Datos del vehículo Prius Carrola Cross HV</i> .....	100
<b>Tabla 25</b> <i>Temperaturas de funcionamiento del inversor Toyota Corolla Cross HV</i> .....	100
<b>Tabla 26</b> <i>Evidencia de los parámetros del funcionamiento del módulo didáctico en Ready</i> .....	103
<b>Tabla 27</b> <i>Parámetros del funcionamiento cuando el vehículo está detenido y el MCI arranca</i> .....	103
<b>Tabla 28</b> <i>Parámetros del funcionamiento cuando se inicia la carga a la batería HV</i> .....	104
<b>Tabla 29</b> <i>Parámetros del funcionamiento con la carga mientras el MCI arranca y en movimiento.</i> .....	104
<b>Tabla 30</b> <i>Parámetros del funcionamiento en potencia media y alta mientras está en movimiento</i> .....	105
<b>Tabla 31</b> <i>Parámetros del funcionamiento en modo freno regenerativo</i> .....	105
<b>Tabla 32</b> <i>Tabla de recursos humanos</i> .....	106
<b>Tabla 33</b> <i>Tabla de recursos tecnológicos</i> .....	106
<b>Tabla 34</b> <i>Tabla de recursos materiales</i> .....	107
<b>Tabla 35</b> <i>Análisis de costos del proyecto de investigación</i> .....	107

## Resumen

En el trabajo de investigación presenta el proceso de operación, diagnóstico y el mantenimiento del inversor en propulsión eléctrica. En el capítulo I considera el marco metodológico para el desarrollo de la investigación. En el capítulo II se encuentra el marco teórico con la información necesaria de componentes internos y externos con el fin de determinar el funcionamiento del inversor utilizado en movilidad eléctrica, además de las estrategias necesarias para mejorar la eficiencia del inversor. En el capítulo III se presenta el desarmado y el armado del inversor, con el análisis correspondiente a través del uso de instrumentos de diagnóstico avanzado que establecen el monitoreo y operación del conjunto de control electrónico enfocado a establecer la relación de funcionamiento, localización de averías y soluciones, complementando con los requerimientos tecnológicos del sistema a utilizar en el trazador de curvas y escáner. El estudio de las imágenes de Lissajous permite conocer el estado de cada uno de los componentes y si este se encuentra en buen estado o no. En el capítulo IV se encuentra el marco administrativo, que hace referencia a los recursos tecnológicos, materiales, análisis de costos del trabajo de integración curricular. Posteriormente se encuentran las conclusiones y recomendaciones para que sean consideradas por la academia en general.

*Palabras clave:* movilidad eléctrica, inversores, convertidor, control electrónico.

## Abstract

The research work presents the process of operation, diagnosis and maintenance of the inverter in electric propulsion. Chapter I considers the methodological framework for the development of the research. Chapter II contains the theoretical framework with the necessary information of internal and external components in order to determine the operation of the inverter used in electric mobility, as well as the necessary strategies to improve the efficiency of the inverter. Chapter III presents the disassembly and assembly of the inverter, with the corresponding analysis through the use of advanced diagnostic tools that establish the monitoring and operation of the electronic control set focused on establishing the operating relationship, troubleshooting and solutions, complemented with the technological requirements of the system to be used in the curve tracer and scanner. The study of the Lissajous images allows to know the state of each component and if it is in good condition or not. Chapter IV contains the administrative framework, which refers to the technological resources, materials and cost analysis of the curricular integration work. Subsequently, there are the conclusions and recommendations to be considered by the academy in general.

*Key word:* electric mobility, inverters, converter, electronic control.

## Capítulo I

### Marco metodológico

#### Antecedentes investigativos

Kirsch, D. A. (2000) afirmo lo siguiente:

Los vehículos híbridos y eléctricos representan una respuesta innovadora a los desafíos ambientales y de eficiencia energética en la industria del transporte. Aunque la idea de vehículos eléctricos tiene raíces que se remontan al siglo XIX, el renacimiento de los vehículos eléctricos modernos se aceleró en la década de 1990 con el lanzamiento del Toyota Prius, el primer automóvil híbrido producido en masa.

Axsen, Kurani, & McCarthy (2014) afirman que:

La adopción de vehículos eléctricos ha sido impulsada en gran medida por una combinación de factores, que incluyen regulaciones ambientales más estrictas, la búsqueda de una mayor eficiencia energética y el interés en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, los incentivos gubernamentales, como los créditos fiscales y las políticas de estacionamiento preferencial, han contribuido significativamente a la popularización de estos vehículos.

Los inversores son componentes esenciales en sistemas de movilidad eléctrica, como vehículos eléctricos e híbridos enchufables, ya que convierten la corriente continua (DC) de las baterías en corriente alterna (AC) para alimentar el motor eléctrico. A lo largo de los años, se han producido avances significativos en la tecnología de inversores mejorando la eficiencia y el rendimiento de los vehículos eléctricos e híbridos.

(Saggini et al., 2017) Uno de los hitos significativos en la evolución de los inversores en movilidad eléctrica fue la transición de la tecnología de inversores basados en módulos IGBT (Transistor Bipolar de Puerta Aislada) a los inversores basados en tecnología SiC (Carburo de Silicio) y GaN (Nitruro

de Galio). Estos nuevos materiales semiconductores ofrecen ventajas clave, como menor resistencia y menor pérdida de conmutación, lo que resulta en una mayor eficiencia y densidad de potencia.

(Vorperian, 2003) Además de los avances en los componentes de hardware, los inversores modernos utilizan algoritmos de control y estrategias de conducción más avanzados. Estos sistemas de control optimizan el funcionamiento del inversor en tiempo real, adaptándolo a las condiciones de conducción y carga. Por ejemplo, pueden ajustar la forma en que se suministra energía al motor eléctrico para maximizar la eficiencia o proporcionar un rendimiento excepcional en aceleraciones rápidas

Estos avances en la tecnología de inversores han sido cruciales para mejorar la eficiencia, el rendimiento y la confiabilidad de los sistemas de propulsión eléctrica en vehículos eléctricos e híbridos enchufables, lo que ha contribuido significativamente al éxito de la movilidad eléctrica.

### Planteamiento del problema

(Díaz et al., 2019) La movilidad eléctrica ha experimentado un crecimiento significativo debido a su contribución a la reducción de emisiones de carbono y la dependencia de los combustibles fósiles en el sector del transporte. Los inversores desempeñan un papel fundamental en estos sistemas al convertir la corriente continua (DC) de las baterías en corriente alterna (AC) necesaria para alimentar el motor eléctrico. Sin embargo, la operación, el diagnóstico y el mantenimiento de estos inversores presentan desafíos que pueden afectar la eficiencia, la confiabilidad y la seguridad de los vehículos eléctricos e híbridos enchufables.

Los inversores en sistemas de propulsión eléctrica deben operar de manera eficiente y confiable en una variedad de condiciones de conducción y carga. Sin embargo, existen desafíos en la gestión de la operación para garantizar la máxima eficiencia y reducir las pérdidas de energía. Esto incluye la optimización de la modulación de ancho de pulso (PWM) y la gestión térmica del inversor para evitar el sobrecalentamiento.

(Kahle et al., 2017) El diagnóstico oportuno y preciso de problemas en los inversores es crucial para evitar fallas catastróficas y garantizar la seguridad del vehículo. Sin embargo, la detección temprana de problemas, como cortocircuitos o fallos en los componentes electrónicos, es un desafío. La falta de sistemas de diagnóstico avanzados puede resultar en tiempos de inactividad no planificados y costosos

(Liu et al., 2016) El mantenimiento efectivo de los inversores es esencial para prolongar su vida útil y garantizar un rendimiento constante. Sin embargo, la estrategia de mantenimiento adecuada es un área problemática. El mantenimiento preventivo programado puede ser costoso y, a veces, innecesario, mientras que la falta de mantenimiento puede llevar a la degradación gradual de los inversores.

El desarrollar métodos y técnicas que aborden los desafíos en los procesos de operación, diagnóstico y mantenimiento de inversores utilizados en sistemas de propulsión eléctrica. Se busca mejorar la eficiencia operativa, la detección temprana de problemas y la optimización de las estrategias de mantenimiento para garantizar un funcionamiento confiable y prolongar la vida útil de los inversores en vehículos eléctricos e híbridos enchufables.

Como el desarrollo de sistemas de diagnóstico basados en sensores y técnicas de análisis de datos. Además, se explorarán estrategias de mantenimiento basadas en el monitoreo continuo del estado de los inversores y la implementación de mantenimiento predictivo.

La investigación garantiza la eficiencia, la confiabilidad y la seguridad de los sistemas de propulsión eléctrica en vehículos eléctricos e híbridos enchufables, lo que contribuirá al avance continuo de la movilidad eléctrica.

#### **Justificación e importancia**

(Díaz et al., 2019) Los inversores son fundamentales en la conversión de energía en sistemas de propulsión eléctrica de vehículos. La justificación para abordar los procesos de operación, diagnóstico y mantenimiento de inversores es una cuestión de eficiencia, confiabilidad y seguridad en la movilidad eléctrica. La transición hacia vehículos eléctricos e híbridos enchufables exige una atención minuciosa.

Los inversores son esenciales en la eficiencia del sistema de propulsión. La operación eficiente de los inversores es crucial para minimizar las pérdidas de energía durante la conversión de corriente y, por lo tanto, maximizar la autonomía de los vehículos.

(Kahle et al., 2017) La confiabilidad del sistema de propulsión depende en gran medida de la fiabilidad de los inversores. Un diagnóstico y mantenimiento deficientes pueden llevar a fallas inesperadas, aumentando los costos de reparación y los tiempos de inactividad no planificados.

(Liu et al., 2016) La seguridad de los ocupantes y los técnicos de mantenimiento es primordial. La falta de diagnóstico adecuado y mantenimiento preventivo puede aumentar el riesgo de fallos catastróficos, incluidos cortocircuitos y sobrecalentamiento.

La importancia de los procesos de operación, diagnóstico y mantenimiento de inversores radica en su impacto directo en la viabilidad y el éxito continuo de la movilidad eléctrica. Estos procesos son esenciales para: Garantizar la eficiencia energética y, por lo tanto, la autonomía de los vehículos eléctricos. Evitar costosos tiempos de inactividad no planificados y reparaciones. Mejorar la seguridad de los ocupantes y personal de mantenimiento.

El alcance de estos procesos abarca la operación diaria de inversores en vehículos eléctricos e híbridos enchufables, el desarrollo de sistemas de diagnóstico avanzado para detectar problemas tempranamente y la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo.

Estos procesos son cruciales para garantizar la eficiencia, la confiabilidad y la seguridad de los sistemas de propulsión eléctrica en vehículos eléctricos e híbridos enchufables, lo que a su vez contribuirá al avance de la movilidad eléctrica como una alternativa sostenible en el transporte.

## Objetivos

### *Objetivo general*

-Investigar los procesos de operación, diagnóstico y mantenimiento de inversores utilizados en propulsión eléctrica.



### *Objetivos específicos*

- Investigar información referente a inversores utilizados en movilidad eléctrica.
- Definir los parámetros de operación y comportamiento de inversores utilizados en movilidad eléctrica.
- Definiciones de PID's – DTCs y flujos de datos de inversores.
- Protocolos de diagnóstico, reparación y mantenimiento de inversores de alta tensión.

### **Metas del proyecto**

Realizar el protocolo de verificación de inversores utilizados en la propulsión eléctrica en función de los procesos de operación, diagnóstico y mantenimiento, analizados en el siguiente proyecto curricular.

### **Hipótesis**

¿La investigación de los procesos de operación, diagnóstico y mantenimiento de inversores utilizados en propulsión eléctrica permitirá tener a punto la instalación de correspondiente a la creación de voltajes de alta y baja tensión de vehículos con propulsión eléctrica?

### **Variables de investigación.**

#### *Variable independiente*

Investigación de los procesos de operación, diagnóstico y mantenimiento de inversores.

#### *Variable dependiente*

Instalaciones en vehículos con propulsión eléctrica.

### **Metodología de desarrollo del proyecto**

La investigación sobre el proceso de operación, diagnóstico y mantenimiento de inversores en el sistema de propulsión de vehículos híbridos y eléctricos requiere la aplicación de un enfoque metodológico sólido y la utilización de diversas técnicas de investigación. La combinación de métodos deductivos, inductivos, experimentales, trabajo de campo, medición, síntesis y otros enfoques proporciona una comprensión integral de estos procesos esenciales en la movilidad eléctrica.

### **Método deductivo e inductivo**

(Tse, 2014) El método deductivo se emplea para establecer las hipótesis iniciales y las teorías basadas en principios científicos y conocimientos previos. Se partirá de las leyes y conceptos fundamentales de la electrónica de potencia y la tecnología de inversores, aplicándolos al contexto de vehículos híbridos y eléctricos.

(Easterby-Smith et al., 2012) Por otro lado, el método inductivo será utilizado para recolectar datos empíricos del funcionamiento de inversores en vehículos reales. A través de observaciones y análisis de casos, se identificarán patrones y tendencias que permitirán desarrollar conclusiones generales sobre el rendimiento y la confiabilidad de los inversores.

### **Método experimental**

(Díaz et al., 2019) Con los experimentos que se llevaran a cabo en el laboratorio para evaluar el rendimiento y la eficiencia de los inversores en condiciones controladas. Estos experimentos incluirán pruebas de carga, ciclos de operación y análisis de los datos resultantes para comprender mejor el comportamiento de los inversores.

(Kahle et al., 2017) El trabajo de campo implica la interacción con vehículos eléctricos e híbridos reales y la recopilación de datos en situaciones de operación cotidiana. Esto incluye el mantenimiento de los inversores de vehículos de prueba y la observación directa de su funcionamiento en condiciones reales y carga.

## Capítulo II

### Marco teórico

#### Movilidad Eléctrica

(Bernal, 2019) Conceptualmente, la electromovilidad hace referencia al uso de vehículos eléctricos, aquellos que hacen uso de combustibles y/o energía alternativa impulsada por uno o más motores eléctricos. Los vehículos van en constante crecimiento en su tecnología creando mejor seguridad, confort y optimización de accesorios completamente eléctricos.

Según la investigación de Erik Solheim, y Jolita Butkeviciene (Enel, 2016), afirman que el despliegue de la movilidad eléctrica en la región disminuirá un aproximado de 1.4 Giga de toneladas de CO<sub>2</sub>, con un ahorro de 85 mil millones de dólares en combustible, donde se menciona que al momento de la incrementación de las tecnologías y estadísticamente, en el 2025 existirá una mejora en la disminución de las gases y el consumo de combustible, permitiendo que la economía invertida en los vehículos híbridos y eléctricos sea optima en la vida de las personas.

La electromovilidad busca que se vaya incrementando el uso de la tecnología en los vehículos la movilidad eléctrica consiste en agregar nuevas tecnologías para el desplazamiento, lo que es uno de los principales objetivos del mundo reduciendo la contaminación del medio ambiente reduciendo el efecto invernadero.

La movilidad eléctrica es aquella que hace uso de uno o más motores eléctricos para generar la locomoción. Actualmente este tipo de movilidad ofrece soluciones en viajes y cargas pequeñas (con bicicletas, scooters y motocicletas eléctricas) hasta viajes largos y con carga pesada (con vehículos de transporte público eléctricos), la incrementación de tecnología en los autos hace que sea llamativo.

**Figura 1**

*Centros de carga de Vehículos Eléctricos*



*Nota.* Centro de carga de los vehículos con cero emisiones en los centros de carga. Tomado de (Enel, 2016)

### ***Ventajas***

Mejora la calidad de vida que tienen las personas al no emitir gases tóxicos, evitando las toneladas de gases de efecto invernadero.

La tecnología se encuentra en constante evolución por lo que cada vez tiene nuevos usos electrónicos en camiones, aviones y botes.

### ***Beneficios***

(Enel, 2016) Los inversores utilizados en vehículos híbridos pueden necesitar ser más versátiles en adaptarse a diferentes modos de operación, como el funcionamiento en modo eléctrico puro, modo híbrido o modo de carga de la batería. En cambio, los inversores de vehículos eléctricos pueden estar diseñados para un único modo de operación, ya que estos vehículos funcionan exclusivamente con energía eléctrica.

### **Importancia de los inversores en el sistema de propulsión de vehículos híbridos y eléctricos.**

El sistema de propulsión de los vehículos híbridos y eléctricos es la integración y gestión de un conjunto de componentes y tecnología que permiten el desplazamiento del vehículo por medio del

funcionamiento de un motor de combustión interna junto con un motor eléctrico, de forma eficiente y sostenible.

Uno de los elementos principales de este sistema es el inversor, “equipo electrónico que transforma, controla y procesa la energía de corriente continua CC de la batería HV del vehículo en energía de corriente alterna CA, que posteriormente se utiliza para alimentar el motor eléctrico del vehículo”. (Iliquin & Cárdenas, 2023, p. 32).

### **Función de los Inversores en Vehículos Eléctricos**

(Husain, 2003) La función de los inversores es que con la corriente almacenada en la batería convierte la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC), para alimentar a los motores eléctricos permitiendo que los vehículos funcionen correctamente de manera eficiente, al momento que el vehículo es frenado o desacelera, ayuda a que la energía que tiene le cargue a la batería permitiendo que tenga una mejor eficiencia en el futuro, debido a que controla la potencia que se entrega al motor eléctrico.

### **Figura 2**

*Inversor del Toyota Prius*



*Nota.* Inversor del Toyota Prius mostrando el sistema de refrigeración.

## Función en la conversión de energía en vehículos eléctricos

En los vehículos eléctricos (EV) la energía eléctrica almacenada en la fuente de alimentación la convierte en energía mecánica para propulsar las ruedas, en este proceso de conversión de energía participan diferentes componentes en varias etapas como el inversor, que tiene la función de:

Mediante un circuito amplificador elevar la tensión de 220V a una de 500 V de corriente continua.

Generar CA en tres fases utilizando la electrónica de potencia junto con la tensión de 500VDC para que funcionen los MG1 Y MG2 de manera independiente.


Invertir la operación de los MG1 y MG2 para que trabajen como generadores y llevar la carga producida hasta la batería de alta tensión HV.

Crear corriente alterna para operar el motor eléctrico que permite la función del sistema compresor del aire acondicionado mediante el uso de la tensión de la batería HV.



Suministrar carga a la batería de 12V y alimenta accesorios eléctricos mediante un circuito convertidor DC – DC incorporado en el mismo sistema utilizando como fuente la carga suministrada por la batería HV.

Tabla 1




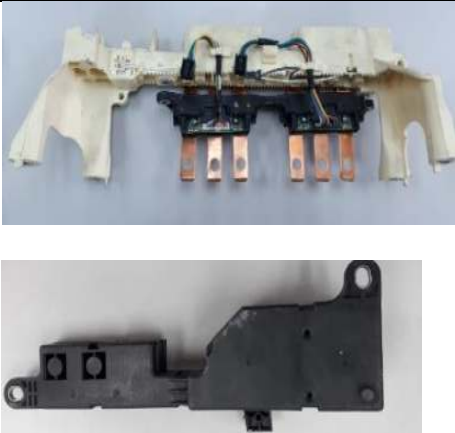
*Partes y características del inversor*



Ord	Nombre	Descripción	Gráficos del Toyota (Prius /Highlander)
1	Chasis	El chasis es el elemento en donde se alojan todos los elementos del inversor y es la división del conjunto A y B.	

Ord	Nombre	Descripción	Gráficos del Toyota (Prius /Highlander)
2	Capacitor	Almacena energía y ayuda al filtrado del voltaje que va hacia los inversores.	
3	Resistencia	La resistencia se encarga de la descarga del capacitor el circuito Booster	
4	Capacitor	Almacena energía y ayuda al filtrado del voltaje que va hacia los inversores	
5	Carcasa	Cubre los elementos del inversor.	

Ord	Nombre	Descripción	Gráficos del Toyota (Prius /Highlander)
6	Conversor DC/DC	<p>Reduce el voltaje máximo de la batería de alto voltaje de 201.6 V DC a 12 V DC, con el fin de alimentar voltaje a los componentes eléctricos del vehículo.</p> <p>También carga la batería auxiliar.</p>	
7	Reactor	<p>Eleva la tensión en picos para poder subir el voltaje de la batería hibrida, es el elemento principal del Booster y se encuentra completamente aislado.</p>	



Ord	Nombre	Descripción	Gráficos del Toyota (Prius /Highlander)
8	Inversor para MG1 y MG2	Es el inversor principal ya que controla los dos motores generadores principales del vehículo.	
9	Sensor de carcasa	Se encarga de informar si la carcasa se encuentra abierta o sellada	
10	Placa principal	La placa principal es la que procesa toda la información del inversor la interpreta y determina su buen o mal funcionamiento.	
11	Sensor de corriente	Se encarga del censado de la corriente en el inversor de tracción posterior.	

Ord	Nombre	Descripción	Gráficos del Toyota (Prius /Highlander)
12	Inversor para MG3 (Highlander)	Es el inversor que controla el tercer motor generador	
13	Módulo IPM (Highlander)	Es el encargado de realizar la conmutación entre los transistores para evitar la tensión en los motogeneradores.	

*Nota.* Partes y características del inversor

Tipos de Inversores:

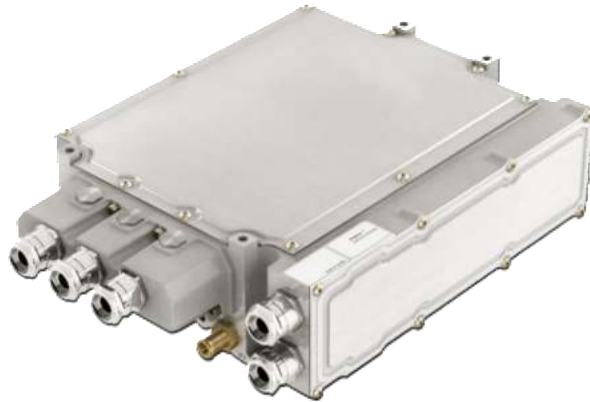
#### *Inversores de tracción*

(Keeping, 2021) Los inversores de tracción tienen un gran impacto en cuanto a la aceleración del vehículo y su autonomía. Su función es convertir la CC proporcionada por la batería de alto voltaje en CA necesaria para que el motor eléctrico produzca el par necesario que mueva la tracción delantera y posterior del vehículo.

Un inversor de tracción se compone normalmente de tres elementos de medio puente (interruptores de lado alto más lado bajo), uno para cada fase del motor, con controladores de puerta que controlan la conmutación del lado bajo de cada transistor. Todo el conjunto debe estar aislado galvánicamente de los circuitos de baja tensión (BT) que alimentan el resto de los sistemas del vehículo.

**Figura 3**

*Inversor de tracción*



*Nota.* Inversor de tracción CO150. Tomado de (CYBERCAR, 2020)

#### *Inversores Brushless*

Son inversores sin escobillas utilizados en vehículos de propulsión eléctrica para aumentar la eficiencia y vida útil al eliminar el desgaste ocasionado por las escobillas. Controla la secuencia y tiempo de conmutación de la CA en los diferentes derivados del motor, controlando de esta forma la velocidad y el par motor.

**Figura 4**

*Inversor Brushless*



*Nota.* Inversor bk inv200 12v a 110v 200w 2usb. Tomado de (SONIKA, 2022)

### *Inversores trifásicos*

Son inversores que generan tres fases de CA que permiten controlar con mayor precisión el motor eléctrico de alta potencia. Generando un rendimiento suave y más eficiente.

Posee una configuración lógica de tres inversores monofásicos, donde la señal de control que utilizan se desfasa entre 120 a 180 grados con el objetivo de obtener voltajes trifásicos balanceados. Estos sistemas utilizan dispositivos de control de encendido, apagado como transistores bipolares de unión (BJT), de efecto de campo o metal oxido semiconductor (MOSFET), bipolares de compuerta aislada (IGBT). (Morales, 2016, p. 25)

**Figura 5**

*Inversor trifásico*



*Nota.* Inversor trifásico IPG5 de 800 voltios. Tomado de (HE, 2022)

### *Inversores monofásicos*

Se suele utilizar en vehículos eléctricos con motores de baja potencia donde la simplicidad es la clave porque genera una sola fase de corriente alterna. Este tipo de inversores se clasifican como:

Inversores de voltaje VSI donde la tensión de entrada permanece constante

Inversores de corriente CSI donde la corriente de entrada es constante.

Variable DC linked convert inverter posee una entrada de tensión controlada por otros convertidores.

El principio de funcionamiento de un inversor monofásico consiste en un circuito con dos transistores. Cuando el primero se active en un determinado tiempo, el voltaje es positivo. Mientras que si el segundo transistor se enciende en un tiempo determinado el voltaje es negativo. Estos no pueden encenderse al mismo tiempo. (Morales, 2016, p. 25)

Figura 6

*Inversor monofásico*



*Nota.* Inversor Fronius Primo 3kW OnGrid Monofásica, IP65, versión Full. Tomado de (Matchile, 2005)

*Inversor de voltaje*

(Pinto, 2018) Es un elevador de tensión que transforma de corriente continua en corriente alterna, alimenta al motor generador en la transmisión delantera y el diferencial trasero, incorpora la gran cantidad de elementos electrónicos y eléctricos, controlada por la unidad de control del sistema Híbrido ECU HV que es la que se encarga de controlar al inversor, generando cualquier tipo de diagnóstico.

Figura 7

*Inversor de voltaje*



*Nota.* Inversor de voltaje de 12V a 110V de 3000 W. Tomado de (VOLTA, 2014)

*Inversor de corriente*

(Prostar, 2021) El inversor se encarga de monitorear distintos circuitos electrónicos con el fin de hacer que el flujo de la corriente continua cambie la dirección de forma periódica, convirtiéndola en un voltaje alterna ideal para su uso diario.

Al momento de conocer la potencia de watts, habrá que dividir ese número entre la potencia máxima que es capaz de soportar cada inversor, sin importar si es de onda pura u onda modificada, que, si ambos se comparan, el segundo es calificado como el más económico. Un punto positivo que hay que mencionar, es que los inversores permiten mantener los valores estables de voltaje y conservan la forma de las ondas, sin importar del todo la variabilidad del estado de carga de las baterías. Evitando que ante cualquier perturbación el voltaje colapse.

Figura 8

*Inversor de corriente*



*Nota.* Inversor de corriente automotriz Steren INV-075 75 W (" VCC a 110 VCA) que pesa 0.15 kg.

Tomado de (kissu, 2005)

### *Inversor de frecuencia*

(Paúl, 2020) Son sistemas que se encuentran entre la fuente de alimentación eléctrica y los motores eléctricos. Sirven para regular la velocidad de giro de los motores de corriente alterna (AC).

### Figura 9

*Inversor de frecuencia*



*Nota.* Un inversor de frecuencia negra con panel de control en gabinete eléctrico del sistema de control de automatización en planta industrial. Tomado de (Ukraine, 2022)

### *Ventajas*

(Paúl, 2020) Evita complicar la instalación: el variador de frecuencia sustituye otros métodos tradicionales; desaparece la necesidad de utilizar las correas trapeciales de los reguladores mecánicos. El convertidor o variador de frecuencia puede ir conectado a varios motores directamente.

Al reducir estos factores mecánicos, se eliminan también los residuos generados y mantenimiento extraordinario, con menos espacio y menos ruidoso. Debido a que el caudal y/o presión se regulan mediante el variador o convertidor de frecuencia, ya no es necesaria la instalación de válvulas o reguladores de compuertas. Los variadores de frecuencia pueden tener fama de ser unos dispositivos poco económicos, pero ayudan en primer lugar a evitar una instalación de un sistema más grande y costos, aparte de garantizar ahorro energético y menor mantenimiento.

## Características de cada tipo de inversor

Tabla 2

*Características de cada tipo de inversor*

Tipo de inversor	Fases de CA	Características Simplicidad	Aplicación
Monofásico	1	En diseño y construcción	En donde se requiere una potencia menor
Trifásico	3	Para manejar mayores niveles de potencia	Industriales y comerciales
Brushless	Motor eléctrico para gestionar la conmutación en las fases	Más eficiente y vida útil más larga	Trabaja con motores eléctricos sin escobillas

*Nota.* Características de cada tipo de inversor

### Inversores en la regulación de la velocidad en vehículos eléctricos.

Es necesario controlar el voltaje de salida, para conocer las variaciones de CC, regular el voltaje y frecuencia según los requisitos de control, en esta aplicación en los inversores existen diferentes métodos que se describirán a continuación.

Figura 10

*Inversor de regulación de la velocidad*



*Nota.* Un inversor de regulación de la velocidad. Tomado de (CISE electrónica, 2020)

### Control de frecuencia

(Crespo, 2022) El inversor es también un variador de Frecuencia (VFD), la velocidad a la que el voltaje cambia de positivo a negativo y viceversa puede cambiar rápidamente. Controlando esta



frecuencia se controla la velocidad de rotación del motor. Es decir que al cambiar la frecuencia de la corriente alterna, la onda magnética gira considerablemente rápido y el rotor cambia de velocidad, por ende, el vehículo también.

#### Modulación de ancho de pulso (PWM)

El inversor mediante la modulación de ancho pulso ajusta la duración de los pulsos CA, supervisando así la cantidad de energía suministrada al motor y por lo tanto la velocidad.

En el inversor la modulación de ancho pulso parte del voltaje de corriente continua y mediante interruptores se pasa a voltaje trifásico alterno. Este se controla en los instantes de conmutación de los interruptores estáticos, que se realiza comparando dos señales denominadas la moduladora y portadora. Donde se podrán obtener los tiempos de disparos en la intercepción de estas dos señales. A la salida del inversor se obtiene una señal sinusoidal casi perfecta en valores de voltaje y tiempo. (Recio, 2016, p. 10)

#### *Control vectorial*

Los sistemas eléctricos con mayor desarrollo utilizan un inversor con control vectorial para ajustar la orientación del campo magnético del motor obteniendo un control de la velocidad y par con mayor precisión. Esto debido a que se basa en “desacoplar el par electromagnético de la máquina y el flujo magnético, de tal forma que en el sistema trifásico se puedan manejar de forma independiente de la misma manera que una máquina de corriente continua.” (Valera, 2020, p. 30).

**Inversores en la regulación de la potencia en vehículos eléctricos.**

#### Regeneración de frenado

El inversor permite la regeneración de energía al instante en el que se acciona el freno, es decir, “cuando el vehículo baja la velocidad utilizando el motor térmico o el pedal del freno causando que el motor eléctrico deje de proporcionar movimiento y trabaje como un generador de energía” (Lliquin &

Cárdenas, 2023, p. 34) convirtiendo la energía cinética en electricidad y almacenándola en la batería.


Regulando de esta forma la carga de la batería y controlando la potencia generando durante el frenado.

### Componentes Clave de los Inversores


Los inversores son componentes esenciales en sistemas de conversión de energía, especialmente en aplicaciones de electrónica de potencia donde se requiere convertir corriente continua en corriente alterna. Aquí están los componentes clave de un inversor típico:

Tabla 3

*Componentes clave de los inversores*

Componente	Característica	Gráfica
Transistores de potencia	<p>Los transistores de potencia son los dispositivos semiconductores responsables de conmutar la corriente eléctrica en un inversor.</p> <p>Los tipos más comunes de transistores utilizados son los MOSFET (Transistor de Efecto de Campo Metal-Óxido-Semiconductor), IGBT (Transistor Bipolar de Puerta Aislada) y BJT (Transistor Bipolar de Unión). Estos transistores se utilizan para crear una forma de onda de salida alterna a partir de una señal de entrada de corriente continua.</p>	

Componente	Característica	Gráfica
Diodos de Rueda Libre	<p>Los diodos de rueda libre, también conocidos como diodos de circulación, se utilizan para proporcionar un camino de retorno de la corriente de carga inductiva cuando los transistores de potencia se apagan. Esto evita picos de voltaje inverso y protege los transistores de daños.</p>	
Inductores	<p>Los inductores se utilizan para filtrar la corriente y suavizar la forma de onda de salida del inversor. También ayudan a reducir la fluctuación de corriente y a proteger los transistores de potencia contra sobretensiones y picos de corriente.</p>	
Capacitores	<p>Los capacitores filtran el voltaje de salida y mantener la estabilidad del sistema. Ayudan a suavizar la forma de onda de salida y a reducir el ruido eléctrico en el circuito.</p>	

Componente	Característica	Gráfica
Controladores y Circuitos de Control	<p>Los controladores y circuitos de control son responsables de gestionar el funcionamiento de los transistores de potencia, asegurando una conmutación adecuada y sincronizada. Estos circuitos también pueden implementar técnicas de modulación de ancho de pulso (PWM) para controlar la salida del inversor y regular la tensión y frecuencia de salida.</p>	

*Nota.* Componentes clave de los inversores

#### Eficiencia y Pérdidas en Inversores:

(Berisso, 2021) La autonomía de un vehículo eléctrico e híbrido está relacionada de forma directa con la buena eficiencia del inversor sin importar que opere en modo de tracción o en modo de frenado regenerativo. Las partes de un inversor se encuentran en una placa y encapsulados de forma que todos los circuitos y refrigerados. No obstante, el bloque controlador microelectrónico está sobre una placa de circuito impresa integrada de 16 a 32 bits que comandan el bloque de potencia con el objetivo de minimizar las pérdidas de conmutación y maximizar la eficiencia térmica.

La potencia que maneje el inversor de un vehículo eléctrico afecta el bloque de conmutación causando que este necesite refrigeración con agua. Debido a los altos valores de corriente que maneja las perdidas en el inversor se convierten en calor que se trasmite a todos los circuitos. Por esta razón, es importante no sobrepasar los valores de temperatura permitidos para este módulo.

## Estrategias para mejorar la eficiencia en inversores de vehículos eléctricos

(Husain, 2003) Mejorar la eficiencia en inversores de vehículos eléctricos, se pueden emplear diversas estrategias que abordan aspectos como la reducción de pérdidas de conmutación, la optimización de la topología del inversor, el uso de materiales de alta calidad y la implementación de técnicas avanzadas de control. Aquí hay algunas estrategias comunes, respaldadas por una fuente bibliográfica relevante:

**Reducción de pérdidas de conmutación:** Las pérdidas de conmutación pueden ser una fuente significativa de pérdidas en inversores de vehículos eléctricos. Estrategias como la selección adecuada de dispositivos de conmutación (MOSFETs, IGBTs, etc.), la minimización de los tiempos de conmutación y el uso de técnicas de suavizado de conmutación pueden ayudar a reducir estas pérdidas.

**Optimización de la topología del inversor:** La selección de la topología adecuada del inversor puede influir en su eficiencia. Por ejemplo, las topologías de puente completo con modulación de ancho de pulso (PWM) son comunes en aplicaciones de vehículos eléctricos debido a su eficiencia y capacidad de control.

**Mejora de la gestión térmica:** Un adecuado diseño de gestión térmica puede ayudar a reducir las pérdidas por calor y mejorar la eficiencia del inversor. Estrategias como la utilización de materiales de alta conductividad térmica, la implementación de sistemas de refrigeración eficientes y la distribución adecuada de componentes pueden contribuir a una mejor gestión térmica.

**Implementación de técnicas avanzadas de control:** La implementación de algoritmos de control avanzados, como el control predictivo por modelo (MPC) o el control vectorial de campo orientado (FOC), puede mejorar la eficiencia y el rendimiento dinámico del inversor. Estas

técnicas permiten optimizar el funcionamiento del sistema en tiempo real, minimizando las pérdidas y maximizando la eficiencia.

#### Avances Tecnológicos en Inversores:

Existen dos tecnologías diferentes para realizar el inversor, MOSFET e IGBT. La tecnología del transistor de efecto de campo metal óxido semiconductor MOSFET, trabaja en baja tensión y con potencias más reducidas, y llegó a superar en uso al transistor de unión bipolar, pero la tendencia actual en electrónica de potencia es utilizar la tecnología del transistor bipolar de puerta aislada IGBT, que puede operar a potencias y tensiones más elevadas, superiores a 375 V, y con corrientes medias y altas, de 10 a 1.000 A (Martínez Escudero, 2017, p. 30)

(Garica, 2022) En la industria automotriz los avances tecnológicos en cuanto a los inversores utilizados en vehículos electrónicos e híbridos son significativos ya que se enfocan en mejorar la eficiencia y disminuir las pérdidas de este para obtener un mayor rendimiento de los vehículos. Impulsado la continua investigación y desarrollo en el campo de la movilidad electrónica. A continuación, se describen algunas de las tecnologías presentes en los inversores.

Inversor de SIC fue desarrollo por la división de motores XPT con un transistor de efecto de campo semiconductor de óxido metálico de carburo de silicio, que convierten la CC a CA mediante el proceso de conmutación, pero de forma más rápida y manejando mayor energía. Teniendo la posibilidad de cambiar la frecuencia de 40kHz. Además, posee una relación de potencia peso de 54CV/kg a 134 CV/kg. Por lo que, No afirma que las pérdidas por conmutación se reducen en más de un 30%, las pérdidas de energía en general en un 4% y la energía aumenta en un 5%.

## Seguridad y protección en inversores

La seguridad y protección en inversores es de suma importancia, especialmente en aplicaciones críticas como los vehículos eléctricos. Aquí hay algunas consideraciones y medidas de seguridad comunes, respaldadas por una fuente bibliográfica relevante:

Tabla 4

*Seguridad y protección de los inversores*

	<b>Seguridad</b>	<b>Protección</b>
Protección contra sobretensiones y sobrecorrientes	Deben estar equipados con dispositivos de protección contra sobretensiones y sobrecorrientes para evitar daños en los componentes y garantizar un funcionamiento seguro.	Incluir dispositivos como diodos de bloqueo inverso, fusibles, relés de sobrecorriente y circuitos de protección contra sobretensiones.
Protección térmica	Los inversores pueden generar calor durante su funcionamiento normal, por lo que es importante implementar medidas de protección térmica para evitar el sobrecalentamiento de los componentes.	Esto puede lograrse mediante el uso de sensores de temperatura, ventiladores de enfriamiento, disipadores de calor y algoritmos de control de temperatura.
Aislamiento eléctrico	Para garantizar la seguridad del usuario y proteger contra descargas eléctricas, los inversores deben estar diseñados con un aislamiento eléctrico adecuado entre las partes de alta y baja tensión.	Esto puede lograrse mediante el uso de aisladores, transformadores de aislamiento y diseño de barreras de seguridad.
Protección contra cortocircuitos	Los inversores deben contar con dispositivos de protección contra cortocircuitos para evitar daños en los componentes y riesgos en la seguridad.	Esto puede incluir la implementación de detectores de cortocircuitos, sistemas de desconexión rápida y fusibles de protección contra cortocircuitos.
Diseño robusto y pruebas de seguridad	Es importante que los inversores sean diseñados y fabricados siguiendo estándares de seguridad reconocidos y que se sometan a pruebas rigurosas para garantizar su funcionamiento seguro en diversas condiciones de operación.	Esto puede incluir pruebas de temperatura, pruebas de cortocircuito, pruebas de aislamiento y pruebas de resistencia a la vibración y choques mecánicos.

*Nota.* Seguridad y protección de los inversores. Tomado de (Husain, 2003)

## Normativas y estándares de seguridad aplicables a inversores en vehículos eléctricos.

En el campo de los vehículos eléctricos es importante que los inversores utilizados en estos vehículos cumplan con las normativas y estándares de seguridad que garanticen un funcionamiento óptimo y seguro del mismo. Es necesario tomar en cuenta los estándares que aborden aspectos relacionados la seguridad eléctrica, compatibilidad electromagnética y resistencia a condiciones ambientales adversa. Por ejemplo:

ISO 26262 – Seguridad funcional para vehículos automotores

IEC 61800-5-1- Convertidores de potencia de motores eléctricos.

IEC-60950-1- Equipos eléctricos de tecnología de la información

ISO 6469- Seguridad eléctrica en vehículos de carretera.

UNECE Reglamento N 100- Requisitos uniformes para vehículos eléctricos e híbridos

ISO 6469-3- Seguridad eléctrica en vehículos de carretera – Campos magnéticos eléctricos

IEC 61000- Serie de normas de compatibilidad electromagnética



### Capítulo III

#### Protocolo del proceso de operación, diagnóstico y mantenimiento de inversores

Los desafíos ambientales y energéticos del siglo XXI son una constante en crecimiento y evolución que tiene como respuesta la movilidad eléctrica, con el objetivo de crear conciencia del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Siendo esta una alternativa con mayor eficiencia y sostenibilidad al usar energía eléctrica como fuente principal o complementaria para el desplazamiento vehicular.

La implementación de motores eléctricos ha demostrado que tienen mayor eficiencia que los motores de combustión interna a nivel de capacidad energética y menor dependencia de recursos no renovables, elimina drásticamente la emisión de gases contaminantes contribuyendo a un cambio en el medio ambiente; impulsa la creatividad e innovación en tecnologías de baterías, inversores, energía alternativa, sistemas y gestión de cargas entre otros.

No obstante, el crecimiento de esta rama en el campo de la industria automotriz enfrenta ciertos desafíos como la infraestructura de carga limitada, gestión de los recursos e implementos utilizados y sobre todo su costo inicial.

Por esta razón, es importante conocer el desempeño y funcionamiento de uno de los componentes principales para un óptimo trabajo de la movilidad eléctrica, el inversor; dispositivo esencial en la gestión de la energía eléctrica en los vehículos VE y PHEV, asistiendo de mejor forma a su sostenibilidad, rendimiento y autonomía.

Operación que requiere de un protocolo de funcionamiento, diagnóstico y mantenimiento que debe tener las bases para un rendimiento óptimo y seguro de los sistemas, módulos, elementos que lo componen de forma que se pueda visualizar el enfoque, avances tecnológicos y prácticas emergentes que existan en los inversores dentro del desarrollo constante de la movilidad eléctrica.

La operación eficiente es uno de los objetivos principales en esta investigación donde se detallará los procedimientos adecuados para la operación de los inversores en los vehículos eléctricos e híbridos y que este funcione de manera óptima en las instalaciones en vehículos con propulsión eléctrica.

Levantamiento de requerimientos

### *Interfaz Multifuncional Circuit Board Tester – FADOS9F1 detector de fallas y Osciloscopio*

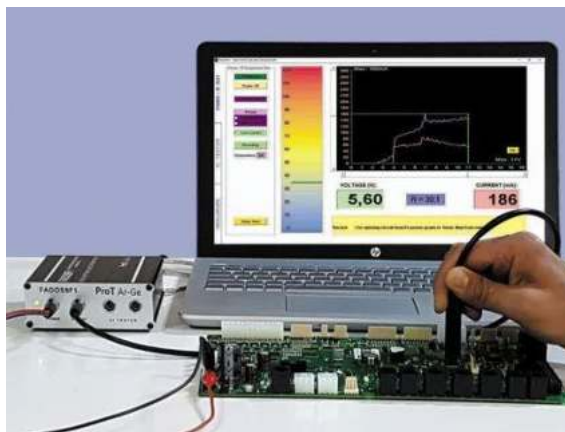
Dispositivo que ha sido desarrollado para determinar fallas en diferentes placas de circuito electrónico mediante el uso de computadora en las pruebas de voltaje VI y análisis de corriente en un tiempo de 5 a 10 veces menos en comparación a otros dispositivos de medición. A continuación, se enlistan las siguientes características:

Tiene una fuente de alimentación DC programable con la potencia de salida entres (0 -16) V y (20 – 15000) mA donde se forma el gráfico DC V/I de las placas electrónicas.

Sonda de medición de temperatura a distancia por infrarrojos.

Figura 11

*FADOS9F1 detector de fallas y Osciloscopio*



*Nota.* El gráfico representa los componentes a utilizar como el Interfaz Multifuncional Circuit Board Tester – FADOS9F1 detector de fallas y Osciloscopio y el monitor. Tomado de (GSAS Micro Systems Private Limited, 2023)

FADOS9F1 es un dispositivo multifuncional de prueba (V/I) Corriente - voltaje y osciloscopio, durante el uso de esta función su software analizador de gráfico VI indica un diagrama del circuito equivalente del punto tocado en las placas. Además, muestra los valores de los materiales en el esquema. Estos datos tienen como objetivo de ofrecer un poco más de información al usuario que un dispositivo de medición normal.

#### *Descripción del FADOS9F1 detector de fallas y Osciloscopio y el monitor*

En el siguiente apartado se presentará una descripción breve sobre las diferentes especificaciones del FADOS9FS1 en cuanto a la prueba de corriente – voltaje, potencia y características y finalmente sobre las especificaciones que debe tener el osciloscopio para pc, de forma que se tenga el conocimiento total del funcionamiento correcto del detector de fallas.

#### *Especificación del probador VI*

Tabla 5

#### *Especificaciones probadas Corriente - Voltaje*

Voltajes de prueba	$\pm 1V, \pm 3V, \pm 6V, \pm 12V, \pm 24V$
Resistencia de prueba (nivel actual)	Baja: 47 K $\Omega$ , Media1: 3,5 K $\Omega$ , Media2: 700 $\Omega$ , Alta: 250 $\Omega$
Frecuencias de prueba	Frecuencia muy baja: 2,16 Hz Frecuencia baja2: 6,85 Hz Frecuencia baja1: 20,56 Hz Frecuencia de prueba: 54,82 Hz De $\pm 1V$ : Alta frecuencia (inductor bajo): 7,81 KHz Para $\pm 3V$ : Alta frecuencia (condensador bajo): 2,23 KHz
número de canales	2 (CH 1: sonda ROJA y CH 2: sonda AZUL)
Modo de escaneo	Pasos de selección manual/automático de voltaje, corriente y frecuencia.
Otras características	1: Suena diferente en puntos compatibles e incompatibles 2: Diagrama de circuito equivalente. 3: Medición de resistencias, condensadores y diodos. 4: Grabar datos y compararlos con los datos registrados. 5: Se pueden visualizar simultáneamente 3 gráficos con diferentes ajustes.

*Nota.* Tomado de (GSAS Micro Systems Private Limited, 2023)

### *Potencia – características de temperatura IR*

**Tabla 6**

*Potencia y características de temperatura IR*

Fuente de alimentación DC	Salida de voltaje: 0 a 16 V, Salida de corriente: 20 mA a 1500 mA
Sensor de infrarrojos (infrarrojos)	Por encima de la temperatura ambiente de 0 a 120° C

*Nota.* Tomado de (GSAS Micro Systems Private Limited, 2023)

### *Especificación del osciloscopio para pc*

**Tabla 7**

*Especificación del osciloscopio para pc*

Tasa de muestreo	400 k/s
Voltaje de entrada	Sonda 1X: $\pm 5$ V, Sonda 10X: $\pm 50$ V
Sensibilidad	2,5 mV
Tasa de imagen	0,02 ms/div - 100 ms/div
Memoria momentánea	64 KB
Canal/ADC	2 canales / 12 bits
SALIDA DIGITAL Y ANALÓGICA	
Voltaje	-12V a +12V
Generador de frecuencia	Canal 2: Onda cuadrada: 0,2 KHz a 25 KHz

*Nota.* Tomado de (GSAS Micro Systems Private Limited, 2023)

### *Escáner Automotriz Platinum Latin Master THINKCAR*

Escáner Automotriz Platinum Latin Master THINKCAR es un modelo de dispositivo que sirve para diagnosticar de forma universal vehículos a gasolina, híbridos, eléctricos y diésel de 12V en 174 marcas y 20 000 modelos de automóviles incluyendo los de marca china. Siendo una herramienta en el parque automotor ecuatoriano debido a su crecimiento y demanda en marcas tradicionales y crecimiento en las marcas chinas. A continuación, se presenta alguna de sus características generales:

Lectura y diagnóstico del 100% de datos BI. DIRECCIONAL en todas las computadoras y sistemas que tengan el vehículo

Lectura y eliminación de códigos de ser el caso de su existencia.

Diagnóstico de datos completos, prueba de actuadores, codificaciones, funciones especiales, sistemas de encendido, estado de baterías, inversores, sensores, etc.

Portátil y liviano de fácil acceso, con la capacidad de diagnosticar a 174 marcas con todas las funciones y BI – DIRECCIONAL.

Admite protocolos CAN, ISO, UDS, PWM, CAD FD Y VPW.

**Figura 12**

*Escáner Automotriz Platinum Latin Master THINKCAR*



*Nota.* Escáner automotriz Thinkcar utilizado en el diagnóstico del funcionamiento de los inversores en un vehículo eléctrico e híbrido junto con sus implementos a utilizar como el OBD II para obtener la señal desde los sistemas y computadoras del automóvil. Tomado de (Automotrices, 2023)

**Requerimientos tecnológicos del sistema**

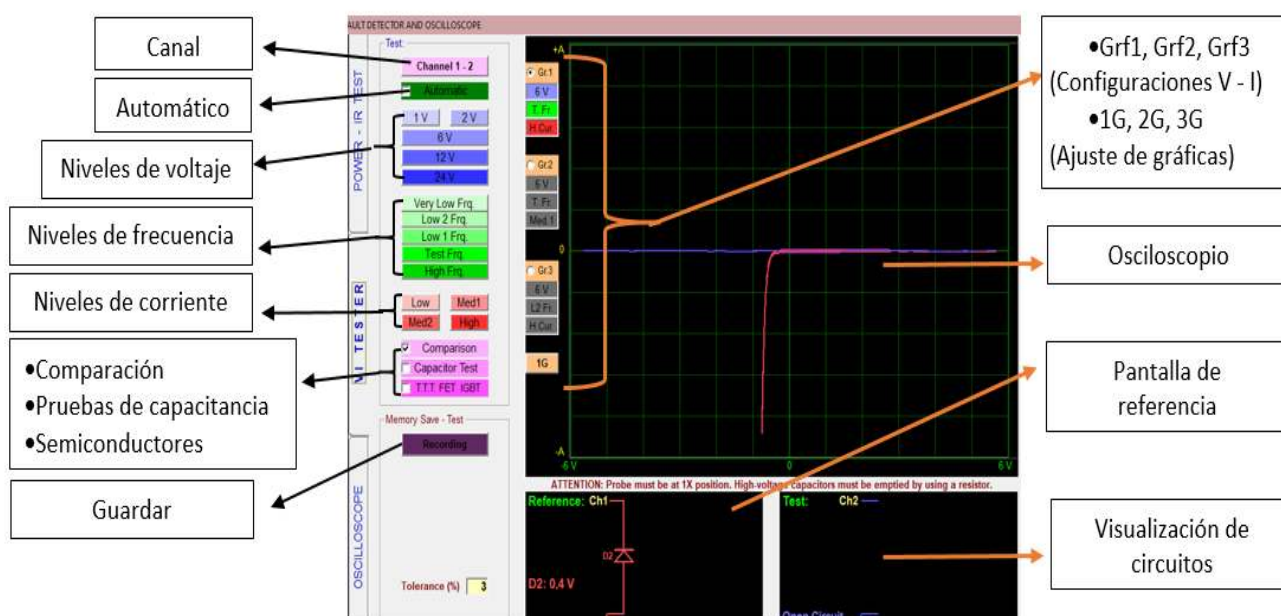
***Software FADOS9F1***

En la siguiente imagen se podrá visualizar como se proyecta la pantalla del software FADOS9F1 junto con sus características; que se utilizará para diagnosticar las fallas y el circuito de las placas y otros

componentes de los inversores a trabajar. Mediante una medición pasiva, la cual consiste en realizar un proceso de diagnóstico sin necesidad de la alimentación de una fuente externa mediante la existencia de un trazador de curvas.

Figura 13

Software FADOS9



Nota. Parámetros que se pueden visualizar o modificar en el software de FADOS9F1

### Vehículo Toyota Prius PHV 2010

El vehículo Toyota Prius PHV 2010 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga del departamento de Energía y Mecánica fue la herramienta final que se utilizó para diagnosticar el funcionamiento de los inversores en un vehículo eléctrico e híbrido mediante la obtención de datos como el voltaje en el sistema del inversor, temperatura del inversor en el MG1 y MG2, temperatura del inversor del AC y flujo de diagramas, utilizando el Escáner Automotriz Platinum Latin Master THINKCAR.

**Figura 14**

*Toyota Prius PHV 2010*



*Nota.* Vehículo para pruebas con el escáner automotriz. Tomado de (Brugada, 2021)

A continuación, la ubicación de uno de los inversores del Toyota Prius.

**Figura 15**

*Inversor del Toyota Prius*

A close-up view of the engine compartment of a Toyota Prius. The image shows the hybrid drive components, including the engine cover with the Toyota logo and the text "HYBRID SYNERGY DRIVE". A magnifying glass is positioned over the inverter (inverter) component, which is a large, rectangular, metallic unit with various electrical connections. An arrow points from the magnifying glass to the inverter.

*Nota.* Inversor del Toyota Prius

### Proceso de desarmado

Para continuar con la investigación sobre los procesos de operación, diagnóstico y mantenimiento de inversores utilizados en propulsión eléctrica. Es necesario conocer las partes y





componentes que conforman a un inversor de tal forma que en el siguiente apartado se describirá el proceso de desarmado del inversor. Para ello se trabajó con los inversores de dos vehículos eléctricos e híbridos Toyota Prius, Toyota Highlander

### *Proceso de verificación del Inversor Toyota Prius*

#### *Desmontaje del inversor*

#### Tabla 8

#### *Desarmado del inversor Toyota Prius*

Proceso	Ilustración
<p data-bbox="253 1037 781 1136">Retirar los plásticos que protegen los pines y los pernos de las tapas de los inversores.</p>	 
<p data-bbox="269 1551 764 1724">Extraer los condensadores de alta tensión seguido de la desconexión DC-DC y BOOSTER.</p>	 







Proceso	Ilustración
	
Desconectar las placas DC-DC y el reactor	
Quitar los pernos que sujetan la carcasa y retirarlos, en este se encuentra un condensador y una resistencia como se puede observar en la imagen.	
Retirar el sensor de corriente del inversor.	
Quitar los pernos de las chapas que conectan al inversor y este se lo retira.	

*Nota.* Proceso del desarmado del inversor del Toyota Prius.

Tabla 9

*Desarmado del inversor Toyota highlander*

Proceso	Ilustración
<p data-bbox="233 457 683 699">Quitar la tapa inferior y posterior para poder remover todos los pernos que corresponden al desconectar sus conexiones.</p>	
<p data-bbox="237 846 680 1020">Quitar los pernos que sujetan el reactor, capacitor y placas para sacar el capacitor.</p>	
<p data-bbox="237 1203 675 1377">Retirar el reactor y el módulo IPM, seguido de la placa de conversor DC-DC.</p>	
<p data-bbox="233 1623 683 1724">Desconectar las conexiones y le dar la vuelta a la carcasa.</p>	

Proceso	Ilustración
<p data-bbox="243 430 673 619">Desconectar el condensador con la placa principal y sus bases para retirarlo.</p>	 The first photograph shows a green printed circuit board (PCB) with various electronic components, including a large capacitor, mounted on a metal chassis. The second photograph is a close-up of the capacitor being disconnected from the board using a soldering iron.
<p data-bbox="235 850 682 1039">Retirar los pernos de los sensores de corriente para encontrar el inversor del MG1, MG2 y MG3.</p>	 A close-up photograph of the metal chassis showing several current sensors. The pins of these sensors are being removed from their respective locations on the board.
<p data-bbox="243 1134 673 1323">Terminar de sacar los pernos de las placas de inversores seguidamente está la resistencia.</p>	 A photograph showing a person's hands working on the metal chassis, specifically focusing on the removal of pins from the inverter boards. The green PCB is visible in the background.
<p data-bbox="292 1480 625 1522">Desconectar la resistencia.</p>	 A close-up photograph of a resistor being disconnected from the metal chassis. The resistor is mounted on a metal plate, and the connection points are being worked on.








*Nota.* Proceso de desarmado del Toyota Highlander







## Reconocimiento de partes de los inversores






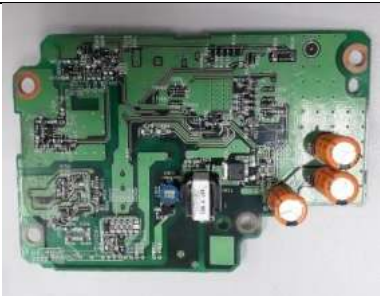


A partir del proceso de desarmado de los inversores de los vehículos Toyota Prius y Highlander se procede a reconocer las partes internas y externas que conforman un inversor de forma unificada. A continuación, se las en lista.

Tabla 10

*Partes internas y externas del conjunto inversor de los vehículos toyota Hihglander y Prius.*

Ítem	Nombre	Conjunto inversor Toyota Highlander	Conjunto inversor Toyota Prius
1	Chasis del inversor		
2	Resistencia		
3	Inversor para MG3		----
4	Inversor para MG1 y MG2		

Ítem	Nombre	Conjunto inversor Toyota Highlander	Conjunto inversor Toyota Prius
5	Sensores de corriente		
6	Reactor		
7	Carcasa		

Ítem	Nombre	Conjunto inversor Toyota Highlander	Conjunto inversor Toyota Prius
8	Placa principal		
9	Capacitor		
10	Convertor DC/DC		
11	Condensador		

Ítem	Nombre	Conjunto inversor Toyota Highlander	Conjunto inversor Toyota Prius
12	Módulo IPM		

*Nota.* Partes internas y externas del conjunto inversor de los vehículos toyota Hihglander y Prius.

### Trazado De Circuitos

#### *Suministro de corriente para los motogeneradores por medio del inversor*

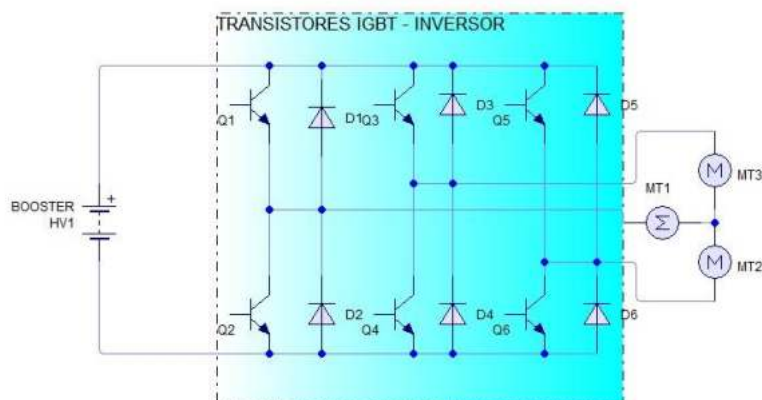
El inversor es el componente que suministra energía en corriente alterna al MG1, MG2 Y MG3 a partir de la conversión de la energía de CC a CA. Una característica esencial de estos motores es que tienen una configuración de tipo estrella con 120 grados de desfase con respecto a la rotación del motor, y a su vez la corriente que debe existir en cada una de las fases de este componente cambia de sentido con respecto al tiempo y que a la vez debe tener un desfase correcto.

El inversor controla esta operación mediante la función de los transistores IGBT que son sincronizados por la unidad de control y transforma la CC a CA y viceversa, comportándose como un rectificador de onda.

El proceso del funcionamiento del motor generador se divide en dos situaciones, la primera cuando este se comporta como un motor y la segunda cuando actúa como generador.

Figura 16

*Circuito del inversor*

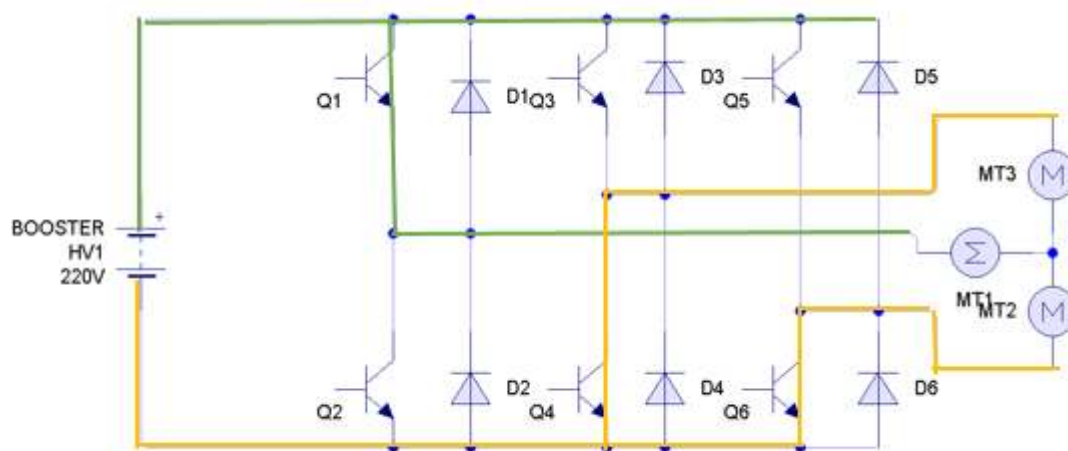


*Nota.* Circuito inversor.

En la primera fase del funcionamiento del motor generador se controla de manera alterna los transistores a una frecuencia aproximadamente de 20KHz obtener una corriente alterna que posteriormente se suministra al MG que opere como motor. Inicialmente se activan solo 3 transistores IGBT cumpliendo así el primer semiciclo de la función del inversor en la operación del motor generador.

Figura 17

*Circuito del inversor en la etapa A*



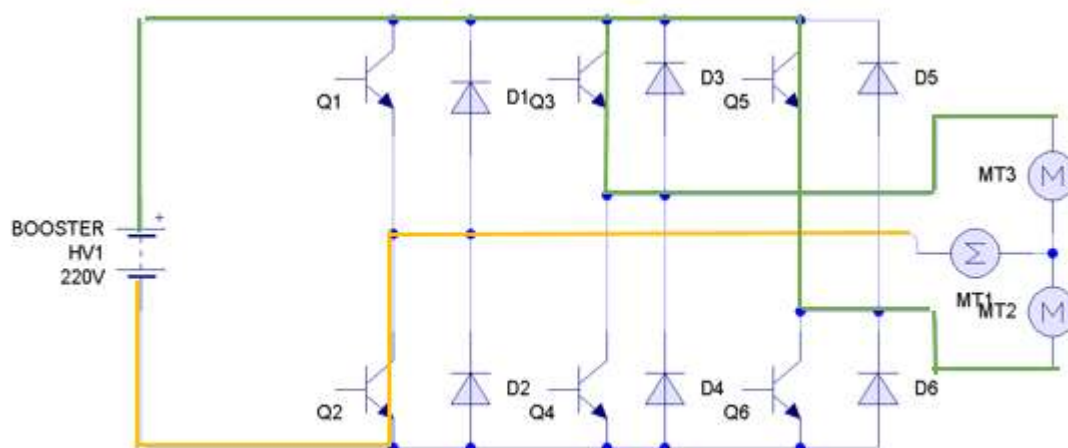
*Nota.* Circuito del inversor en su fase inicial del proceso de operación del motor generador.



Para el siguiente semiciclo se activan los tres siguientes inversores suministrando al igual que en la primera fase corriente alterna a altas frecuencias.

Figura 18

*Circuito del inversor en la etapa B*

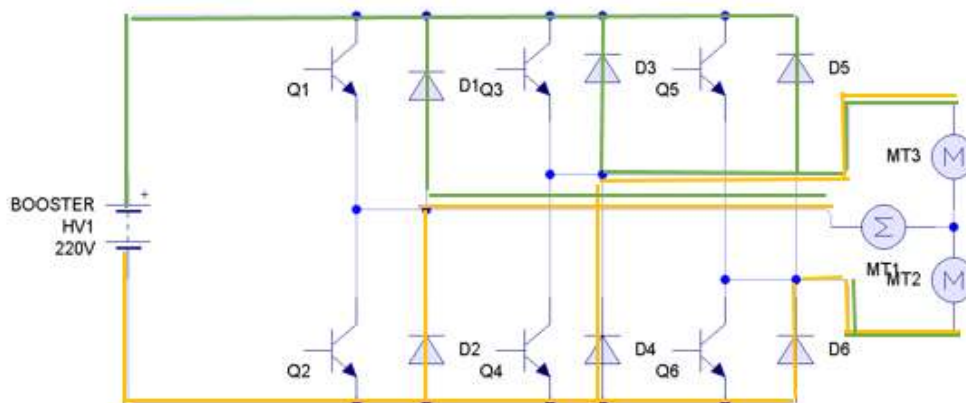


*Nota.* Circuito del inversor del segundo semiciclo para el proceso de operación del motor generador.

Mientras que cuando el motor generador actúa como segunda opción, los diodos D7, D9 y D11 permiten el paso de señales positivas, lo contrario a los diodos D8, D10, y D12 que permiten el paso a señales solo negativas, convirtiendo la corriente alterna emitida por la batería HV en corriente directa.

Figura 19

*Circuito del inversor cuando trabaja el generador*



*Nota.* Circuito del inversor cuando el motor generador opera únicamente como generador.

## Convertidor de DC/DC

En los vehículos híbridos y eléctricos no existe un alternador que normalmente cumple la función de cargar a la batería de 12V (que se denomina en este campo como batería de bajo voltaje a comparación de la batería HV de 200V). Por lo que cuando el vehículo está detenido o se desplaza en velocidades menores de 20km/h el motor de combustión interna se encuentra apagado. Es decir que no existirá alimentación a las baterías del motor eléctrico por lo tanto este dejará de funcionar en un lapso.

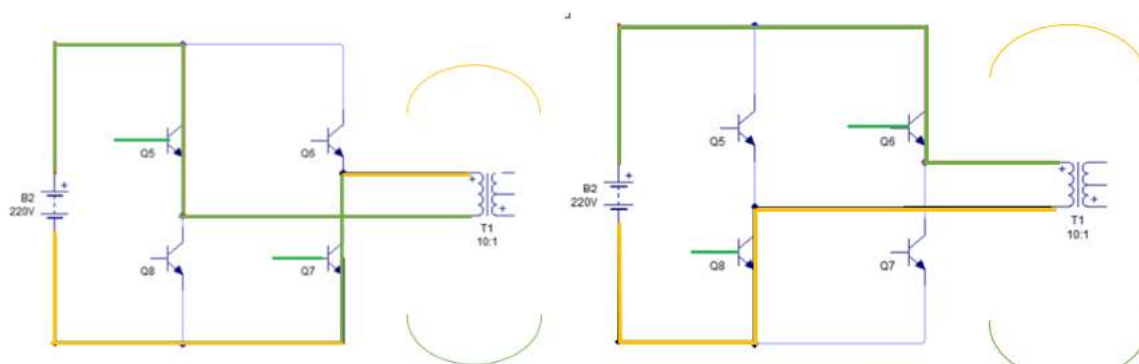
Por lo que en un vehículo híbrido el inversor cumple la función de detectar cuando a batería de 12V empieza a descargarse gradualmente para suministrarle carga a través de la tensión de la batería de alto voltaje. Tomando en cuenta que si la carga baja a un 30% el motor de combustión interna se enciende. Esta conversión tiene dos etapas:

### *Primera etapa que corresponde a alta tensión*

En esta etapa el circuito recibe el voltaje en corriente continua para convertirlo en corriente alterna de 220V mediante cuatro transistores; los dos primeros en serie y dos siguientes también en serie, pero en paralelo a los anteriores. En el primer semiciclo los transistores se activan de forma cruzada; Q5 y Q7.

Figura 20

*Primera etapa que corresponde a alta tensión*



**Nota.** Primera etapa que corresponde a alta tensión

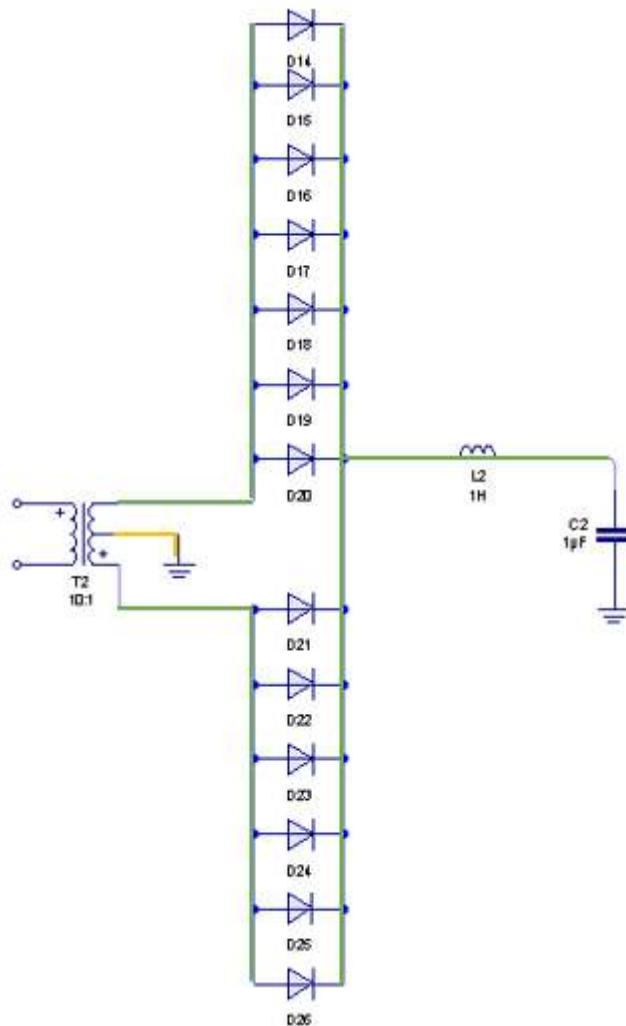
Mientras que para el semiciclo B se accionaran los transistores Q6 y Q8 logrando una conmutación perfecta, de ser lo opuesto y un transistor se quede activado existirá un corto.

*Segunda etapa que corresponde a baja tensión*

En esta etapa se convierte la corriente continua en corriente alterna la cual se reducirá mediante el transformador a 14V que serán rectificadas por un conjunto de diodos para que posteriormente se suministren a la batería de accesorios.

Figura 21

*Segunda etapa que corresponde a baja tensión*



*Nota. Segunda etapa que corresponde a baja tensión*

## Obtención de las imágenes de Lissajous para los inversores

Los osciloscopios analógicos permiten que el usuario visualice la evolución temporal de una señal y la evolución de una señal con referencia a otra.

(Pallas, 2006) Aplica a un canal vertical la señal que se va a representar y a otro canal, designado como x; se le aplica la señal de referencia. A la vez, esta señal de referencia se envía al sistema de desviación horizontal, en vez de enviar a éste la señal del generador de barrido. Si las dos señales son armónicas, se obtienen las denominadas figuras de Lissajous

A continuación, se presentan las figuras de Lissajous obtenidas en los diferentes componentes de los inversores.

### *Estudio de las imágenes de Lissajous del Inversor Toyota Highlander*

#### Inversor para MG1 Y MG2.

Inicialmente se enumera alfabéticamente las entradas de tensión hacia el booster y salidas de tensión para el MG1 y MG2.

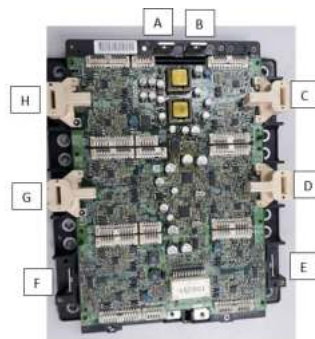
A Y B: Entradas de tensión hacia el Booster

C, D, E: salidas de tensión hacia el motor generador 1

F, G, H: salidas de tensión hacia el motor generador 2

#### Figura 22

*Identificación de entradas y salidas de tensión en el inversor para MG1 y MG2*

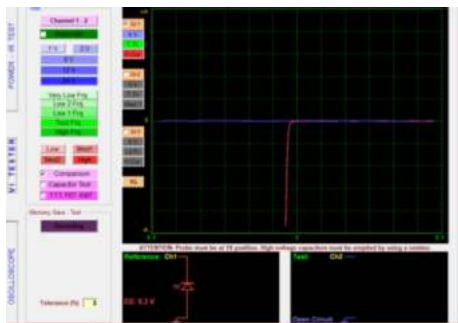
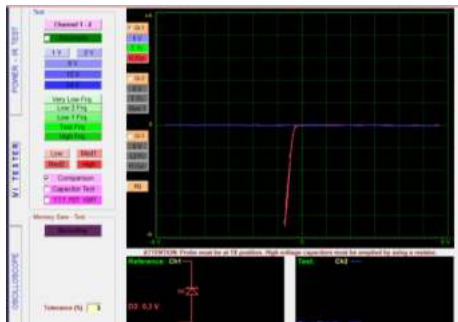
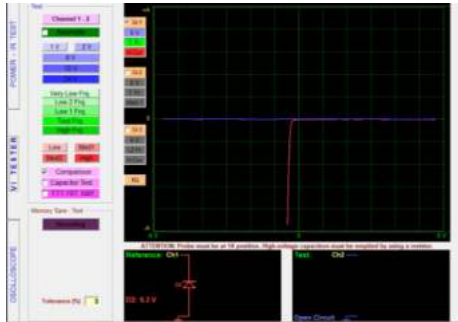


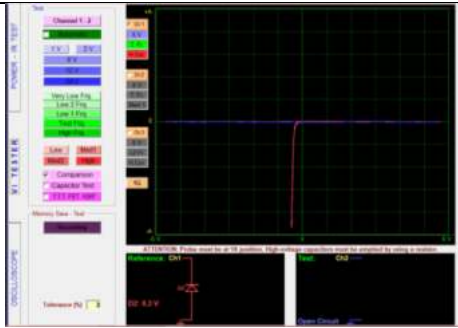

*Nota.* Identificación de entradas y salidas de tensión en el inversor para MG1 y MG2

Posterior a ello se inicia con la medición de la placa del inversor para MG1 y MG2 de del inversor del Toyota Highlander con el programa e interfaz de FADOS9F1, partiendo desde la entrada A en forma horaria. Entre A y B, A y C, A y D, A y E, F y A, A y H se genera una curva de diodo de germanio con una referencia de 0.3V a 0.4V. Encontrándose en un buen estado.

Tabla 11

*Gráficas de Lissajous de las entradas del inversor para el MG1 y MG2*

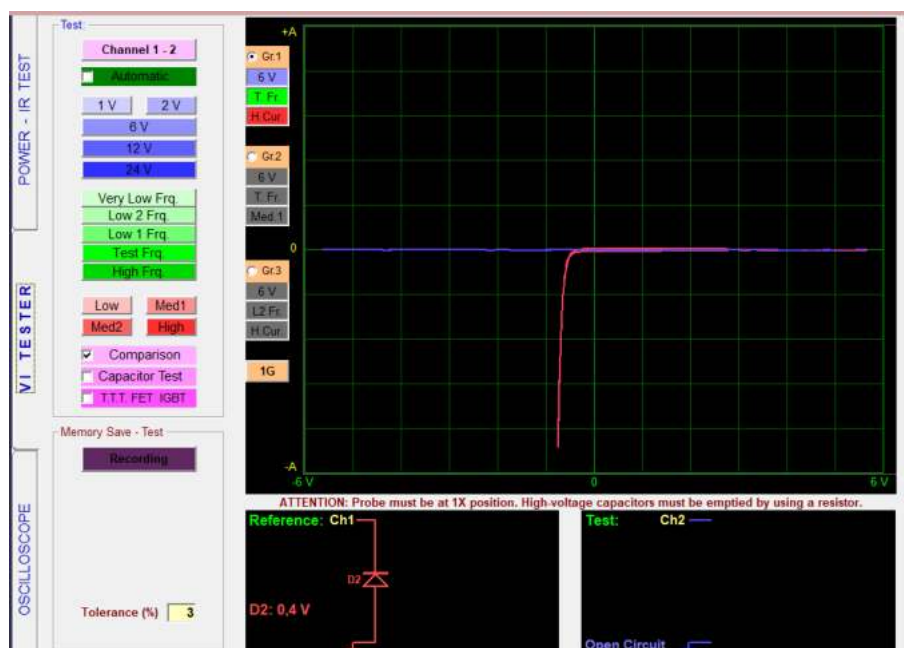
Ord	Entradas	Imagen
1	A y C	
2	A y D	
3	A y E	

Ord	Entradas	Imagen
4	F y A	
5	A y H	

*Nota.* Gráficas de Lissajous del inversor para el MG1 y MG2

Figura 23

*Gráficas del Lissajous de las entradas A y B del inversor del MG1 y MG2*

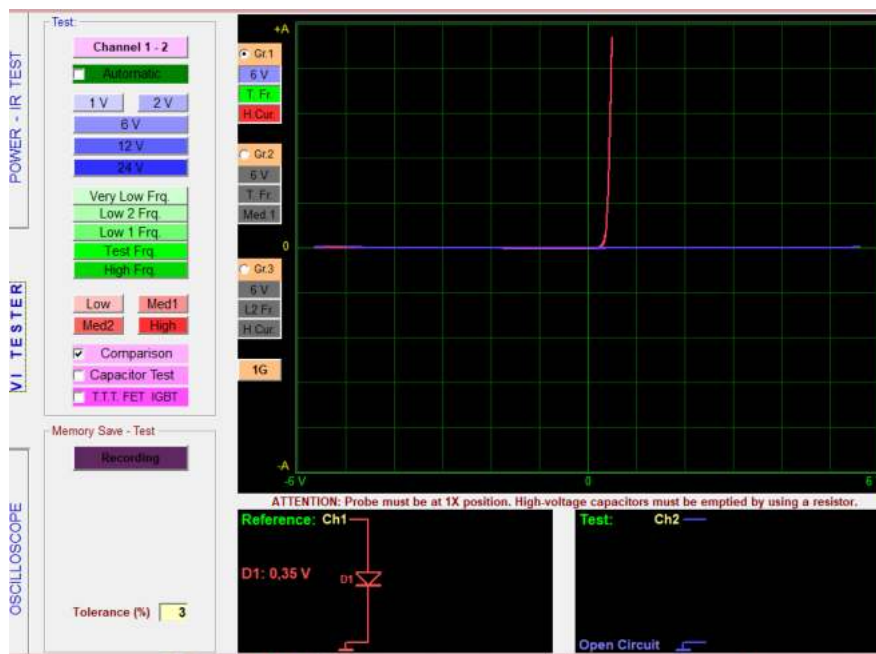


*Nota.* Entradas A y B del inversor para el MG1 y MG2

Mientras que las entradas B y A, C y A, D y A, E y A, A y F, H y A se genera una curva de diodo de germanio en polarización inversa con una referencia de 0.35V a 0.36V. Encontrándose en un buen estado en buen estado de igual forma.

Figura 24

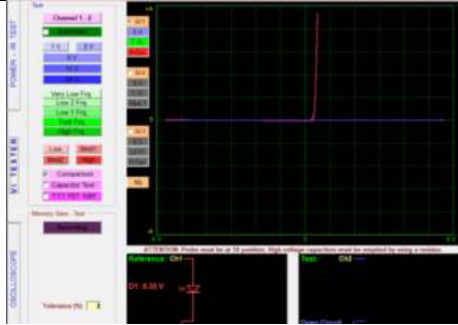
Gráficas de Lissajous de las entradas C y A del inversor para el MG1 y MG2

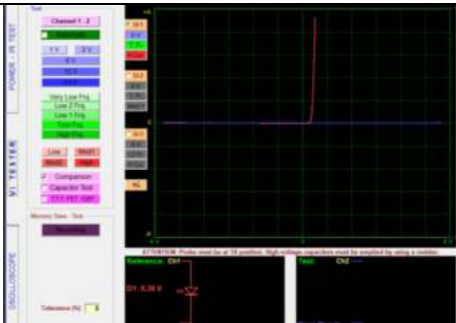
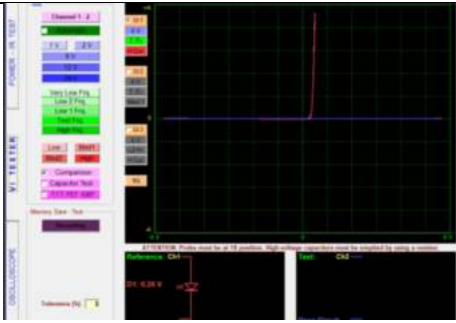
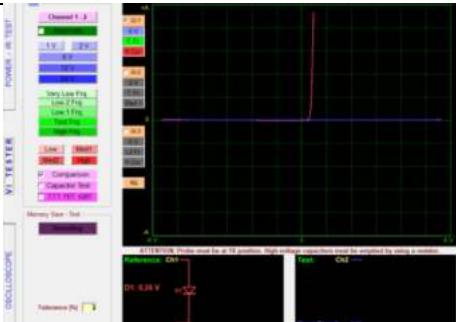
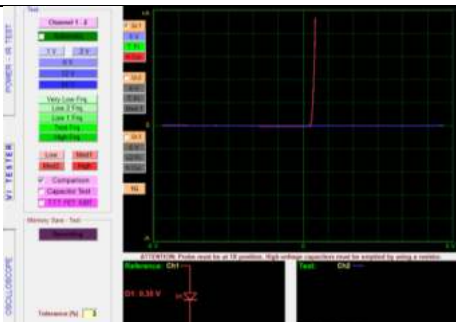


Nota. Entradas C y A del inversor para el MG1 y MG2

Tabla 12

Gráficas del Lissajous de las entradas del inversor para el control MG1 y MG2 parte 2

Ord	Entradas	Imagen
1	B y A	

Ord	Entradas	Imagen
2	D y A	
3	E y A	
4	A y F	
5	H y A	

*Nota.* Entradas del inversor para el control MG1 y MG2 parte 2

Por otro lado, las entradas entre A y G no presentan ninguna figura de lissajous lo que significa que los transistores de estas entradas se encuentran defectuosos por ende no emiten ninguna señal,



esto se puede comprobar con el circuito de referencia el cual tampoco se presenta, es decir que en estas entradas el circuito está abierto.

Figura 25

Gráficas del Lissajous de las entradas A y G del inversor para el MG1 y MG2



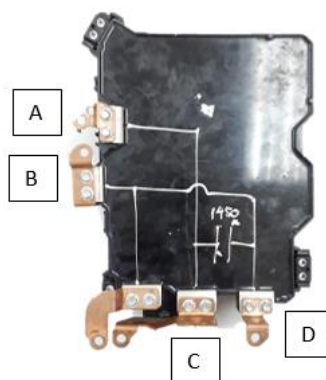
Nota. Entradas A y G del inversor para el MG1 y MG2

### Capacitor Del Toyota Highlander

A continuación, se presenta el orden en el que se analizara las entradas y salidas del capacitor a la salida del Booster del inversor de la Toyota Highlander.

Figura 26

Orden alfabético de las entradas y salidas del capacitor del Toyota Highlander

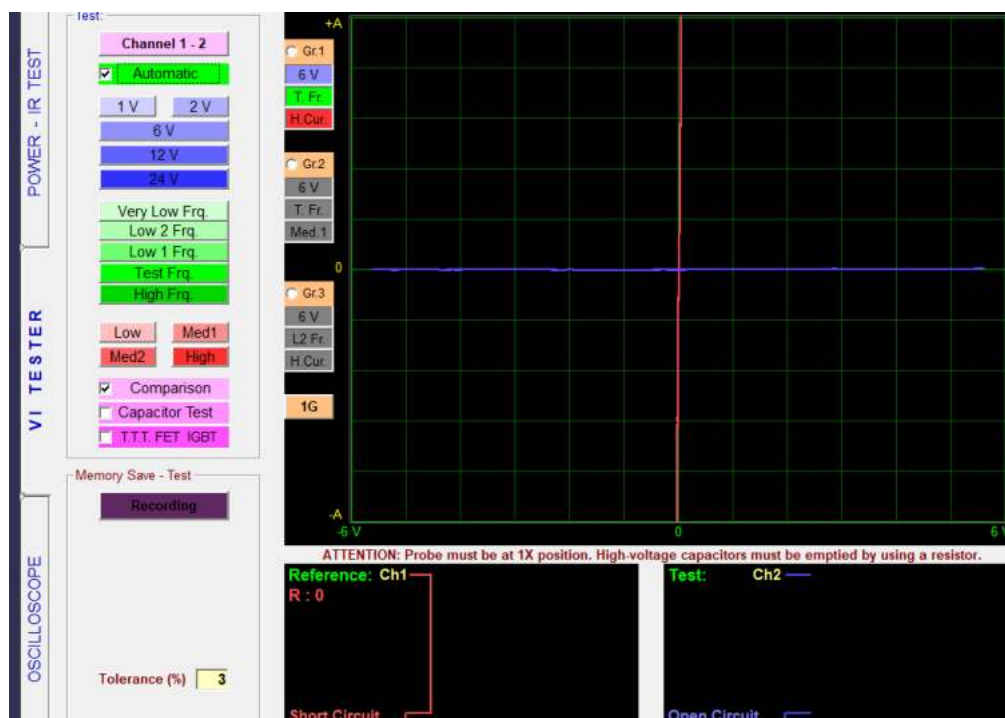


Nota. Capacitor del Toyota Highlander

En las entradas entre A y B, A y D. B y C se puede observar que existe continuidad representada por representación del circuito en forma de corto, línea vertical.

Figura 27

Gráficas de Lissajous de las entradas A y D del capacitor

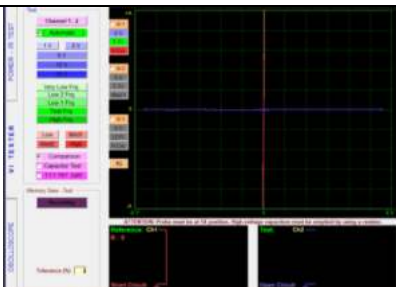


Nota. Entradas A y D del capacitor

Tabla 14

Gráficas de Lissajous de las entradas del capacitor del Toyota Highlander

Ord	Entradas	Imagen
1	A y B	

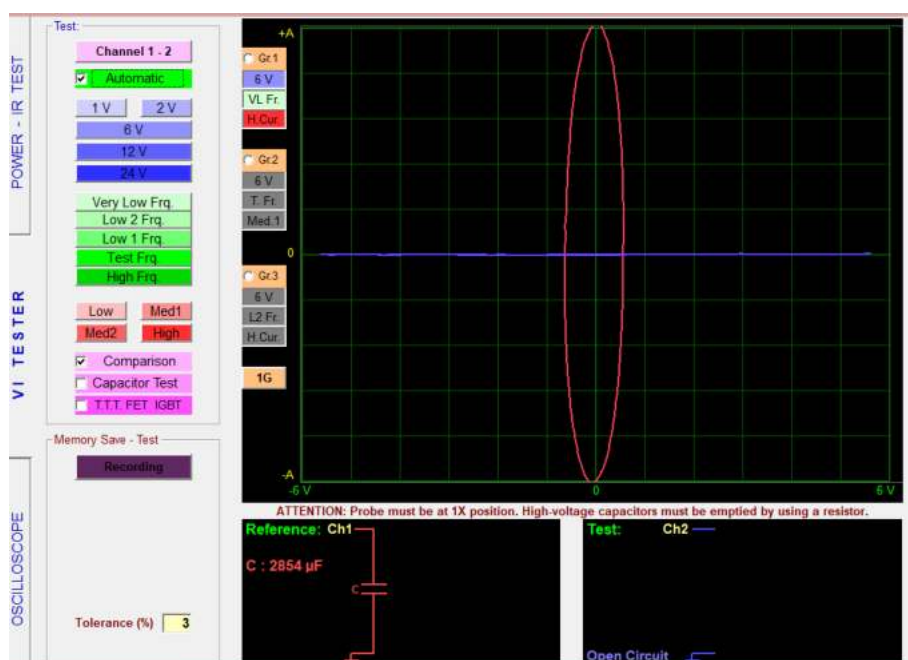
Ord	Entradas	Imagen
2	B y C	

*Nota.* Entradas del capacitor del Toyota Highlander

Por otro lado, las entradas entre A y C, A y E, C y D se puede visualizar que se traza la curva de un capacitor cuyos valores son 20807 uF, 2806 uF y 2757 uF respectivamente, verificando así su funcionamiento en el inversor al igual que se encuentra en los valores determinados por el fabricante.

Figura 28

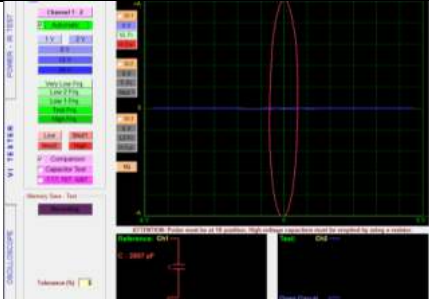
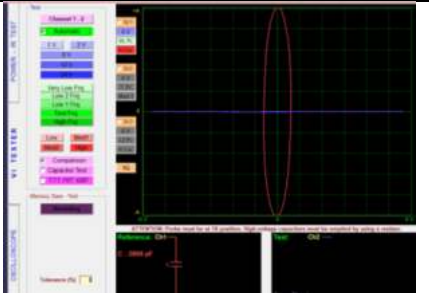
*Gráficas de Lissajous de las entradas entre C y D del capacitor del Toyota Highlander*



*Nota.* Entradas entre C y D del capacitor del Toyota Highlander

Tabla 15

*Gráficas de Lissajous de las entradas del capacitor del Toyota Highlander*

Ord	Entradas	Imagen
1	A y C	
2	A y E	

*Nota.* Entradas del capacitor del Toyota Highlander

### *Módulo IPM de la Toyota Higlander*

Para la toma de gráficas de Lissajous del módulo IPM se procederá a asignar una letra en forma alfabética a cada una de las entradas. Como se indica en la imagen.

Figura 29

*Designación de entradas en el módulo IPM*

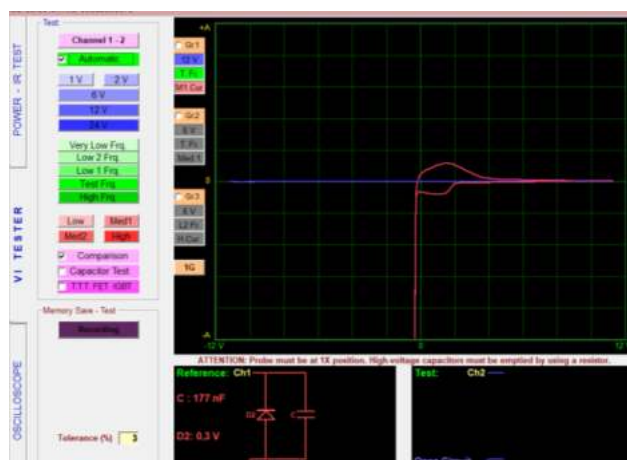


*Nota.* Módulo IPM

Entre las entradas de A y B, A y C se encuentran representadas por un diodo en paralelo junto con un condensador, y finalmente C y A se puede visualizar la imagen de un diodo de germano invertido en paralelo a un capacitor. Cada una de estos tiene una capacitancia de: 177 nF, 180 nF, 170 nF, a un voltaje de 0.3 a 0.35V.

Figura 30

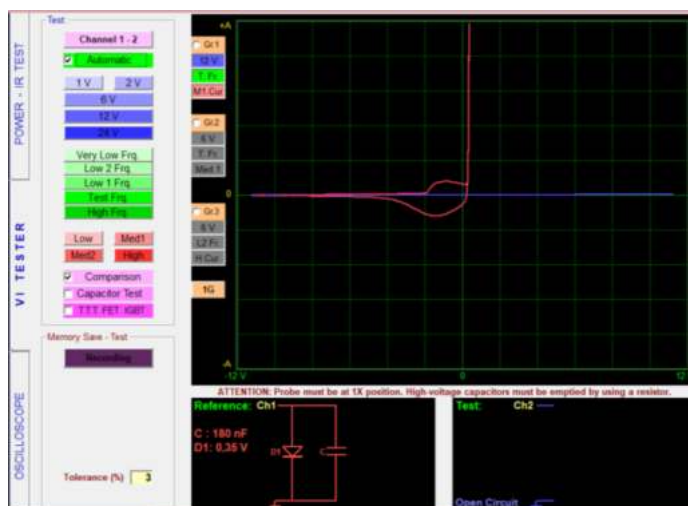
Gráficas de Lissajous de las entradas A y B del módulo IPM del Toyota Highlander



Nota. Entradas A y B del módulo IPM del Toyota Highlander

Figura 31

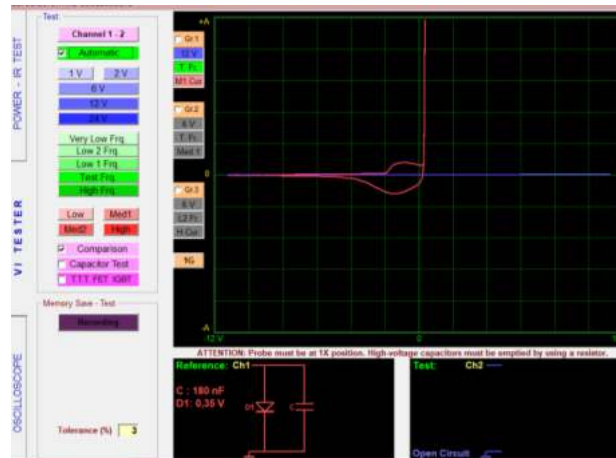
Gráficas de Lissajous de las entradas A y C del módulo IPM del Toyota Highlander



Nota. Entradas A y C del módulo IPM del Toyota Highlander

Figura 32

Gráficas de Lissajous de las entradas C y A del módulo IPM del Toyota Highlander



Nota. Entradas C y A del módulo IPM del Toyota Highlander

Estudio de las gráficas de Lissajous del Inversor Toyota Prius

Módulo de inversor para el MG1 Y MG2

De igual forma inicialmente se ordenará de forma alfabética las entradas de voltaje desde el booster y las salidas hacia el MG1 y MG2.

A Y B: Entradas de tensión hacia el Booster

C, D, E: salidas de tensión hacia el motor generador 1

F, G, H: salidas de tensión hacia el motor generador 2

Figura 33

Identificación de entradas y salidas de tensión en el inversor para MG1 y MG2

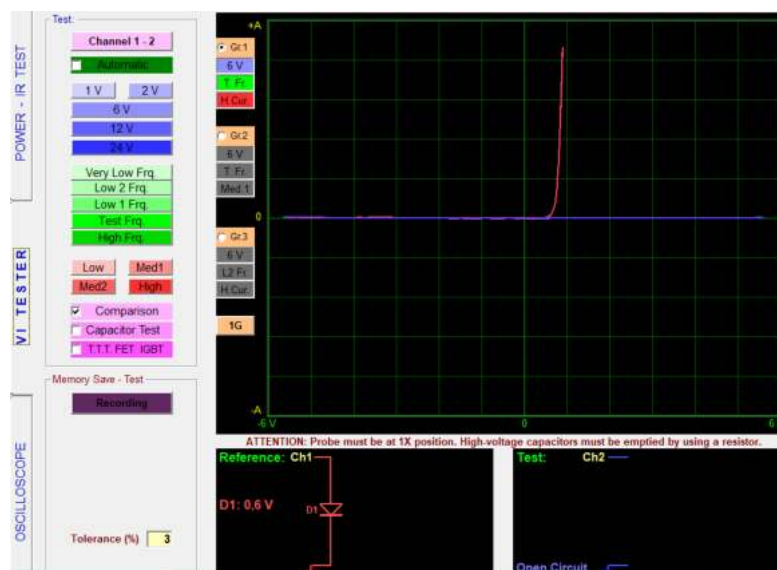


Nota. Entradas y salidas de tensión en el inversor para MG1 y MG2

A continuación, se procederá a medir las entradas de la placa del inversor para MG1 y MG2 de del inversor del toyota Prius con el programa e interfaz de FADOS9F1, partiendo desde la entrada A en forma horaria. Entre A y B se genera una curva de diodo de germanio en forma inversa, con una referencia de 0.6V. Encontrándose en un buen estado.

Figura 34

*Gráficas de Lissajous de las entradas A y B del módulo inversor para MG1 y MG2*

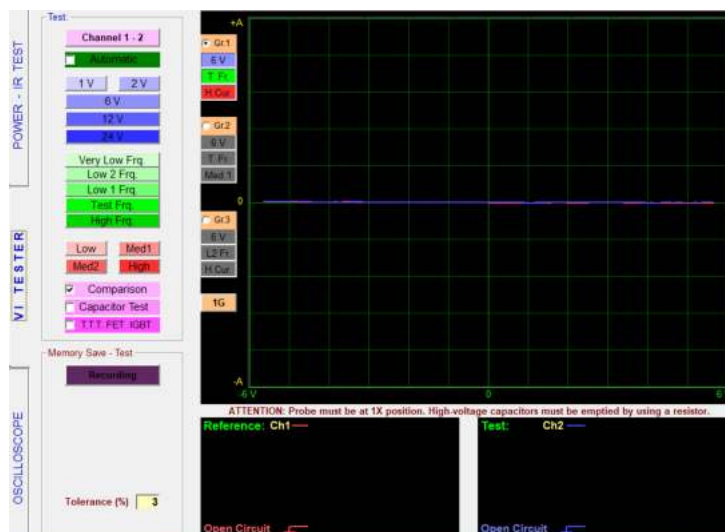


*Nota.* Entradas A y B del módulo inversor para MG1 y MG2

Por otro lado, el resto de las entradas no presentan ninguna figura de Lissajous lo que significa que los transistores de estas entradas se encuentran dañados por ende no emiten ninguna señal y reflejan un circuito abierto en toda la placa. No obstante, para comprobar lo mencionado se comprobó circuito y continuidad entre las dos filas de puntos de señal de la placa. Comprobando que si existe se encuentra bien la placa superior del inversor, pero la inferior tiene un cortocircuito lo cual no permite emitir señales.

Figura 35

Gráficas de Lissajous de las entradas A y C del módulo inversor para MG1 y MG2



Nota. Entradas A y C del módulo inversor para MG1 y MG2

Gráficas de Lissajous del capacitor del Toyota Prius

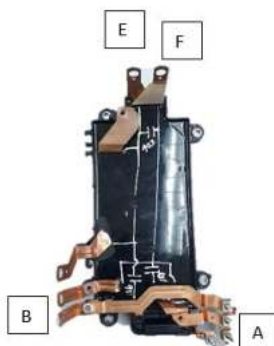
Para el siguiente apartado se trabajará con el capacitor de la salida del booster del toyota Highland, a continuación, se enumera alfabéticamente las entradas y salidas de tensión.

A Y B: entradas de tensión

C y D: Salidas de tensión

Figura 36

Orden alfabético de las entradas y salidas del capacitor del Toyota Prius



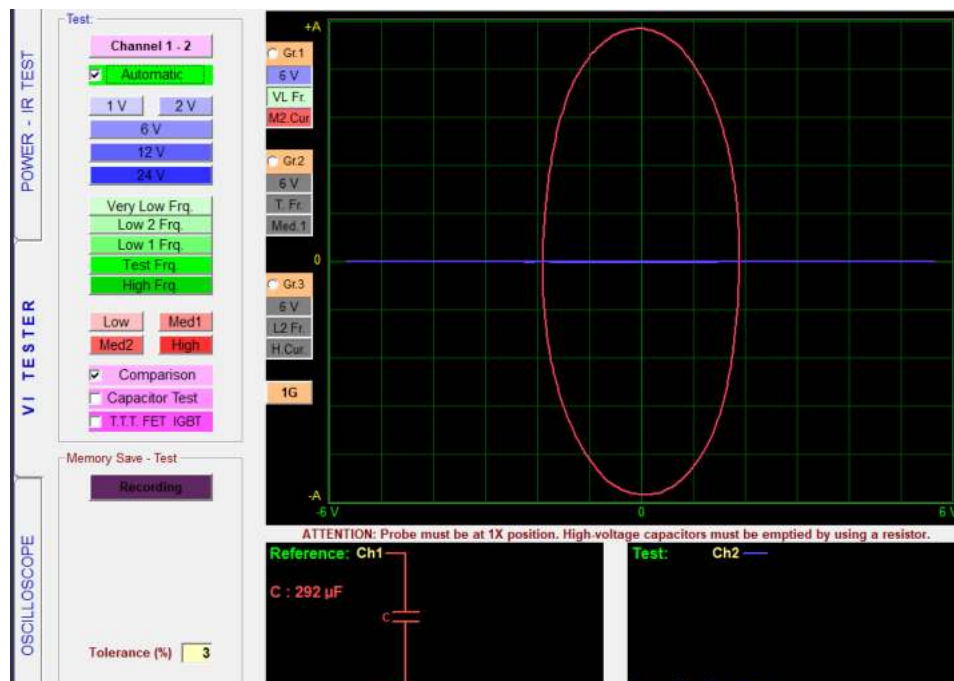
Nota. Entradas y salidas del capacitor del Toyota Prius



Se pudo determinar que entre las entradas A y B, A y F, A y E, E y F se traza la curva de un capacitor cuyos valores son: 314uF, 292 uF, 217uF, 815uF, lo cual nos indica que el capacitor del inversor se encuentra trabajando en buena forma. Ya que no existe evidencia de ningún corto circuito

Figura 37

Gráficas de Lissajous de las entradas A y F del capacitor

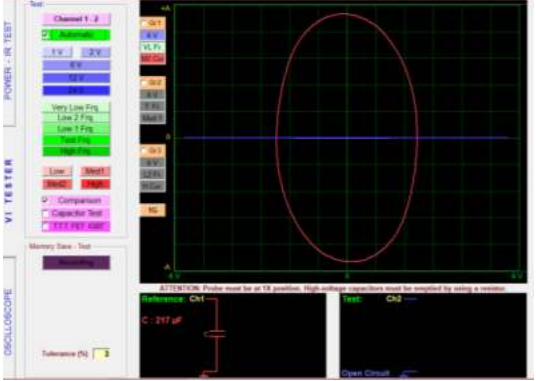
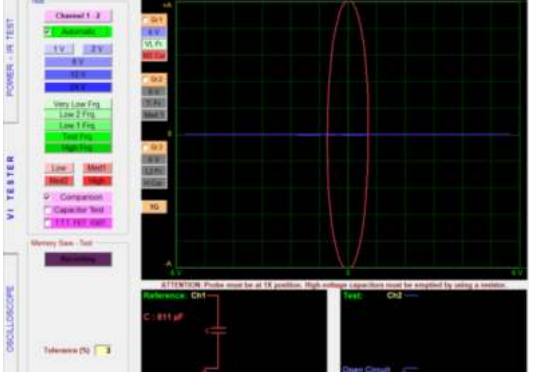


Nota. Entradas A y F del capacitor

Tabla 13

Gráficas de Lissajous de las entradas del capacitor Toyota Prius

Ord	Entradas	Imagen
1	A y B	

Ord	Entradas	Imagen
2	A y E	
3	E y F	

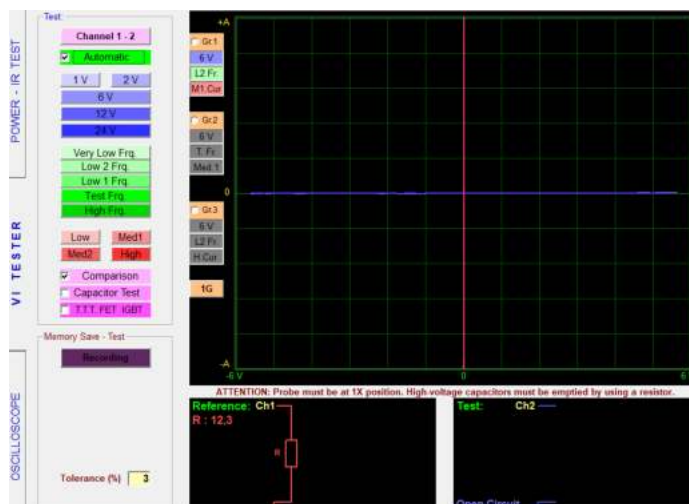
*Nota.* Entradas del capacitor del Toyota Prius

### *Gráficas de Lissajous de los reactores de los vehículos Toyota Prius y Hihglander*

En esta prueba se detecta que los reactores de ambos vehículos no presentan un valor de resistencia fijo, esto es debido a que se encuentran sometidos a grandes aislamientos. Para el reactor del inversor de la Toyota Prius se tiene un valor que oscila entre los 12 a 13 ohm mientras que el reactor del inversor Toyota Hihglander se encuentra entre 1.3 a 2.2 ohm. A continuación, se presenta las imágenes obtenidas tanto de la gráfica de Lissajous como del circuito representativo.

Figura 38

Gráfica de Lissajous del reactor del Toyota Prius



Nota. Gráfica de Lissajous del reactor del Toyota Prius

Figura 39

Gráfica de Lissajous del reactor del Toyota Highlander



Nota. Gráfica de Lissajous del reactor del Toyota Highlander

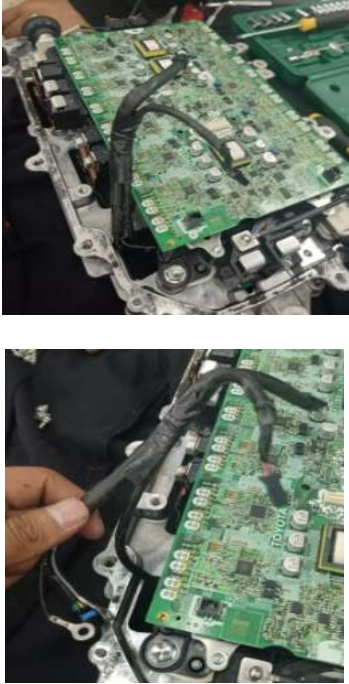


## Proceso de armado de los inversores




En el siguiente apartado se describirá como se realiza el proceso de armado de inversores del Toyota Prius y Toyota Highlander


## Pasos para el armado del Toyota Prius

Tabla 16

*Pasos para armar el inversor Toyota Prius*

Ord	Proceso	Ilustración
1.	Colocar el inversor para MG1 y MG2 pasando los cables por a lado de las placas.	
2.	Colocar la placa principal, conectándolo al inversor para MG1 y MG2.	
3.	Colocar el sensor de corriente para colocar la tapa que es su chasis.	

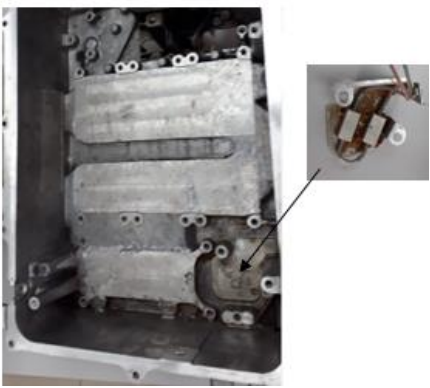

Ord	Proceso	Ilustración
4.	Colocar el reactor y el convertidor en el chasis, con sus respectivas conexiones.	
5.	Colocar el otro convertidor DC-DC	
6.	Colocar las dos tapas del chasis con sus respectivos pernos	


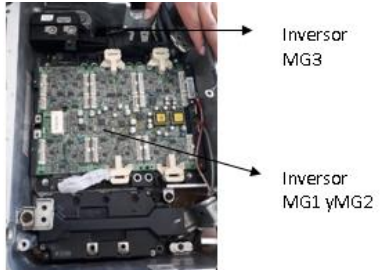



Ord	Proceso	Ilustración
7.	Colocar la carcasa y las tapas correspondientes.	




*Nota.* Proceso de armado del inversor Toyota Prius

Tabla 17

*Pasos para armar el inversor Toyota Highlander*

Proceso	Ilustración
<p>1. Conectar el cable que pasa por el centro de la carcasa para conectar las resistencias</p>	
<p>2. Colocar el condensador y sus bases para asegurar la resistencia.</p>	

Proceso	Ilustración
<p data-bbox="264 510 721 611">3. Colocar el inversor para MG3 y la placa del inversor para MG1 y MG2</p>	  <p data-bbox="1170 596 1240 642">Inversor MG3</p> <p data-bbox="1170 743 1263 789">Inversor MG1 yMG2</p>
<p data-bbox="289 982 699 1157">4. Colocar bien los pernos en el sensor de corriente y lo insertar sobre el inversor MG1 y MG2.</p>	
<p data-bbox="289 1329 716 1503">5. Colocar la placa principal y el capacitor para colocar la carcasa y darle la vuelta al inversor.</p>	
<p data-bbox="272 1644 699 1745">6. Poner los cables para colocar el reactor y el módulo IPM.</p>	


Proceso	Ilustración
7. Colocar el reactor y el módulo IPM	
8. Colocar el conversor DC-DC y sus conexiones	
9. Colocar el condensador y finalmente la tapa, que es su carcasa.	

*Nota.* Proceso de armado del inversor Toyota Highlander

Estudio de la distribución de pines del inversor Toyota Prius


Tabla 18

*Inversor Toyota Prius*

Descripción	Ilustración
<p>Es donde recibe la alta tensión en CC por la conexión de la batería de alta tensión.</p>	



Descripción	Ilustración
<p>Son las conexiones de la salida del motor trifásico del MG1 y MG2.</p>	
<p>Es donde se conecta la batería de 12 voltios al inversor.</p>	
<p>Son las pinzas amperimétricas para medir el amperaje que se tiene en las fases que tiene los motores.</p>	
<p>Es la conexión de mando de la unidad del inversor</p>	
<p>Es el fusible que protege para la calefacción</p>	
<p>Es el puente de seguridad, al momento de retirar la tapa se desconecta los circuitos de alta tensión para que se pueda trabajar de manera segura en el inversor.</p>	

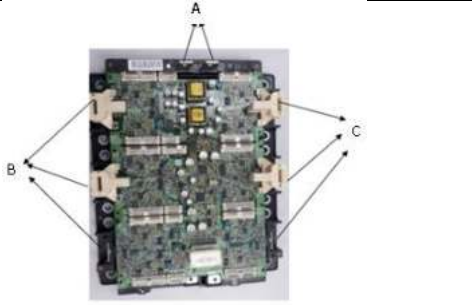
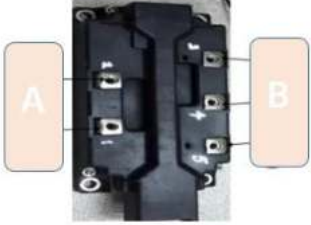

Descripción	Ilustración
<p>Es la salida que tiene para la calefacción.</p>	

*Nota.* La distribución de los pines del inversor para conocer sus conexiones que tiene cada uno.

### Estudio de la distribución de pines del inversor Toyota Highlander

Tabla 19

*Inversor Toyota Highlander*

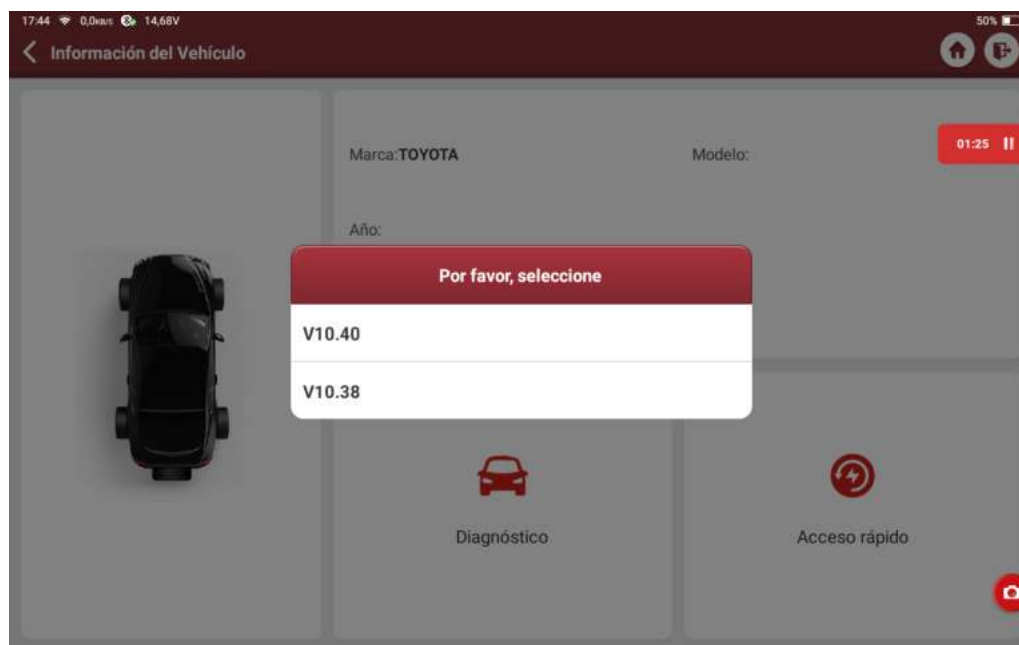
Descripción	Ilustración
<p>Donde A es la entrada de la tensión del Booster, B son las salidas hacia MG2 y C son las salidas a MG1</p>	
<p>En el punto A son las entradas de voltaje desde el Booster, mientras que en B son las salidas hacia el motogenerador.</p>	
<p>Son los terminales que se conectan al motogenerador que va conectado al capacitor y la resistencia que es el circuito que equivale al bobinado.</p>	

*Nota.* Distribución de cada uno de los pines del inversor del Toyota Highlander.

## Monitoreo de datos con el Escáner

Figura 40

*Estableciendo conexión el vehículo con el Escáner Automotriz*



*Nota.* Conexión el vehículo con el Escáner Automotriz

El scanner automotriz ThinkCar permite al usuario obtener diferente información sobre el funcionamiento del inversor en un vehículo eléctrico o híbrido estos están relacionados con:

### *Temperatura*

Por medio de estos datos se puede verificar que el inversor este trabajando dentro de los rangos establecidos, que corresponde a 50 a 60 grados Celsius para su funcionamiento óptimo en diferentes condiciones y ya sea con el MG1 y MG2.

### *Voltaje y corriente*

Con os siguientes datos el usuario podrá verificar el voltaje y corriente que pasa por el inversor durante su funcionamiento.

### *Frecuencia de conmutación*

Es el dato con el que el inversor cambia entre los estados de apagado o encendido dependiendo de la operación que esté cumpliendo el vehículo en ese momento.

### **Estudio del inversor del Toyota Prius 2010 con el escáner**

Para iniciar esta operación se procedió del conocimiento de los pines OBD II del vehículo Toyota Prius 2010, posteriormente realizar la conexión del scanner Thinkcar y obtener el reconocimiento automático del vehículo, a continuación, en las siguientes imágenes se pueden visualizar el inicio del proceso mencionado.

**Figura 41**

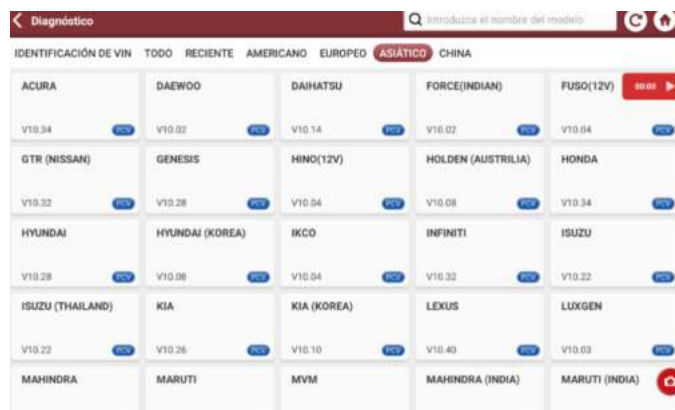
*Pines OBDII del vehículo Toyota Prius*



*Nota.* Pines OBDII, conexión para el Scanner del Toyota Prius 2010

**Figura 42**

*Página principal de acceso del scanner*



*Nota.* Pantalla inicial del scanner THINKKAR para seleccionar el tipo de vehículo.

A partir de la información mencionada se presenta los datos obtenidos con escáner Automotriz Platinum Latin Master THINKCAR en el vehículo eléctrico híbrido Toyota Prius PHV año 2010.

Inicialmente se presenta la lectura de los diferentes sistemas que tiene el vehículo eléctrico de estudio identificando con colores la disponibilidad y funcionamiento de cada uno de ellos:

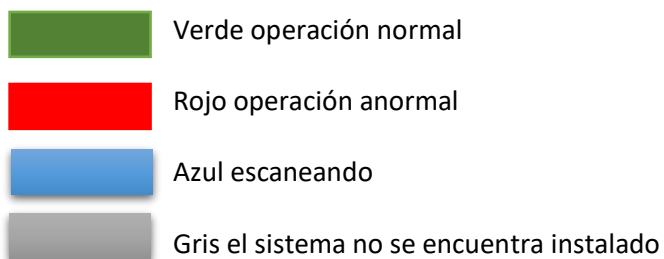
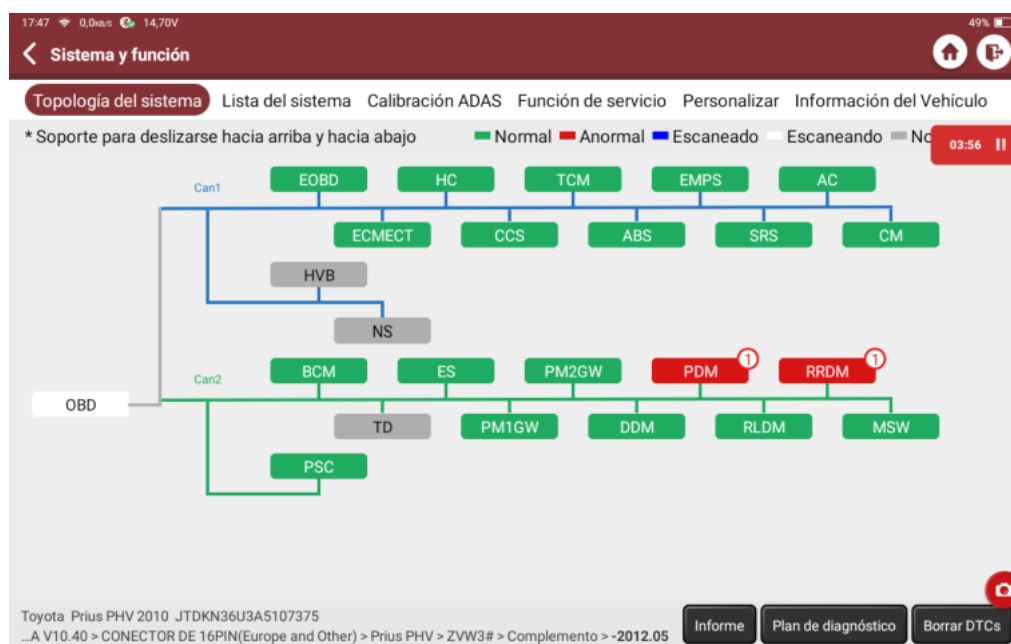


Figura 43

Datos proporcionados del vehículo Toyota Prius 2010



Nota. Datos del vehículo

El vehículo Toyota Prius PHV dispone de 18 sistemas en total, los cuales son:

1. The following systems are OK:
2. EOBD/OBD II
3. ECMECT (Motor y ECT)

4. HC (Control Híbrido)
5. CCS (Control de Crucero)
6. TCM (Módulo de Control de Transmisión)
7. ABS (Sistema de Frenos Antibloqueo) / VSC (Control de Estabilidad del Vehículo) / TRC (Sistema de Control de Tracción)
8. EMPS (Dirección Asistida Electrónica del Motor)
9. SRS (Sistema de Restricción Inflable Suplementaria)
10. AC (Aire Acondicionado)
11. CM (Medidor de Combinación)
12. BCM (Módulo de Control de la Carrocería)
13. ES (Entrada y Arranque)
14. PM1GW (Gateway PM1)
15. PM2GW (Gateway PM2)
16. DDM (Motor de la Puerta del Conductor)
17. RLDM (Motor de la Puerta Trasera Izquierda)
18. MSW (Interruptor Maestro)
19. PSC (Control de Fuente de Alimentación)

A continuación, se presenta la tabla de datos generales sobre el vehículo a diagnosticar los diferentes sistemas que conforman al automóvil.

Tabla 20

*Datos del vehículo Prius.*

<b>Datos del vehículo</b>	
Marca	Toyota
Año	2010

Datos del vehículo	
Vin	JTDKN36U3A5107375
Modelo	Prius PHV
Kilometraje	18910.00 millas
Versión del software	V10.40

*Nota.* Datos del scanner automotriz thinkcar

Para el análisis del funcionamiento del inversor se seleccionó el sistema control híbrido HC que tiene una salida de tensión de 14.53 en una aceleración de 0. Es decir que tiene 0km de desplazamiento en cuanto a distancia de marcha y operatividad.

En este diagnóstico la entrada de sobre voltaje del convertidor e inversor se encuentra en modo apagado al igual que el cierre del inversor y fallo del MG1 y MG2. La frecuencia de conmutación u operación de control de funcionamiento del inversor se encuentra en un 62.5%.

Por otro lado, mediante este diagnóstico se puede conocer la temperatura del convertidor en DC/DC tanto superior como inferior, la temperatura después de encendido conectado, temperatura máxima del motor generador 1 como del motor generador 2. A continuación se presentan los datos obtenidos y si estos se encuentran dentro del rango de trabajo normal que corresponde no más de 50 a 60 °C

**Tabla 21**

*Temperaturas de funcionamiento del inversor*

Categoría	Temperatura °C	No más de 50 a 60 °C
Temperatura del Convertidor de DC/DC (Inferior)	34	SI
Temperatura del Convertidor de DC/DC (superior)	35	SI
Temperatura del Convertidor Después de Encendido Conectado	25	SI
Temperatura del Invertidor (MG1) Después de Encendido Conectado	24	SI
Temperatura del Invertidor (MG2) Después de Encendido Conectado	25	SI
Temperatura del Invertidor- (MG1)	33	SI
Temperatura del Invertidor- (MG2)	34	SI

*Nota.* Datos del scanner automotriz thinkcar

### Estudio del inversor del Toyota Prius C 2011 con el escáner

También se realizará el análisis del scanner THINKCAR con el vehículo Toyota Prius C año 2011 para poder observar de mejor forma los datos que se pueden obtener del funcionamiento del inversor en vehículos VH y PHEV. A continuación, se presenta el vehículo a trabajar.

Figura 44

Toyota Prius C 2011

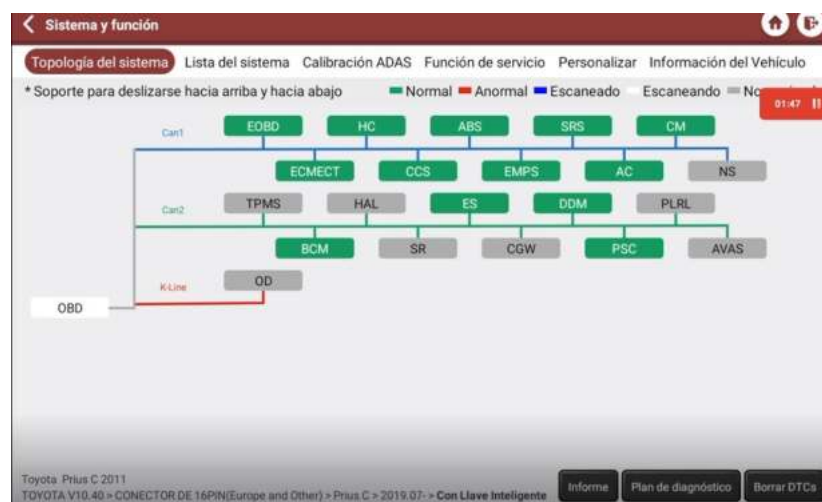
Se procede a observar los sistemas y funciones del vehículo en la pantalla del escáner en la



Nota. Tomado de: (García, 2018)

Figura 45

Datos proporcionados del vehículo Toyota Prius C 2011



Nota. Pantalla de topología del sistema del escáner

El vehículo Toyota Prius C 2011 dispone de 13 sistemas en total, los cuales son:

1. EOBBD/OBD II



2. ECMECT (Motor y ECT)
3. HC (Control Híbrido)
4. CCS (Control de Crucero)
5. ABS (Sistema de Frenos Antibloqueo) / VSC (Control de Estabilidad del Vehículo) / TRC (Sistema de Control de Tracción)
6. EMPS (Dirección Asistida Electrónica del Motor)
7. SRS (Sistema de Restricción Inflable Suplementaria)
8. AC (Aire Acondicionado)
9. CM (Medidor de Combinación)
10. BCM (Módulo de Control de la Carrocería)
11. ES (Entrada y Arranque)
12. DDM (Motor de la puerta del Conductor)
13. PSC (Control de Fuente de Alimentación)

A continuación, se presenta la tabla de datos generales sobre el vehículo a diagnosticar los diferentes sistemas que conforman al automóvil.

**Tabla 22**

*Datos del vehículo Prius C.*

<b>Datos del vehículo</b>	
Marca	Toyota
Año	2011
Tipo de motor	1NZFXE(HV)(HV)
Modelo	Prius C
Kilometraje	82418.00 MILAS
Versión del software	V10.40

*Nota.* Datos del scanner automotriz thinkcar

Tabla 23

*Temperaturas de funcionamiento del inversor Toyota Prius C*

Categoría	Temperatura °C	Cumple el rango inferior a 50 °C
Temperatura del Convertidor de DC/DC (Inferior)	28	S
Temperatura del Convertidor de DC/DC (superior)	29	SI
Temperatura del Convertidor Después de Encendido Conectado	26	SI
Temperatura del Invertidor (MG1) Después de Encendido Conectado	26	SI
Temperatura del Invertidor (MG2) Después de Encendido Conectado	26	SI
Temperatura del Invertidor- (MG1)	30	SI
Temperatura del Invertidor- (MG2)	26	SI

*Nota.* Obtenidos a partir del scanner automotriz thinkcar

*Estudio del inversor del Toyota Corolla Cross HV con el escáner*

El vehículo Toyota Corolla Cross HV dispone de 26 sistemas en total, los cuales son:

1. EOBD/OBD II
2. ECM (Módulo de Control del Motor)
3. HC (Control Híbrido)
4. RCC (Cruce por Radar) 1
5. RCC (Cruce por Radar) 1
6. ABS (Sistema de Frenos Antibloqueo) / VSC (Control de Estabilidad del Vehículo) / TRC (Sistema de Control de Tracción)
7. EMPS (Dirección Asistida Electrónica del Motor)
8. SAS (Sensor de Ángulo de Dirección)
9. SRS (Sistema de Restricción Inflable Suplementaria)
10. PCS (Sistema de Pre-Colisión)
11. AC (Aire Acondicionado)
12. CM (Medidor de Combinación)

13. MG (Motor Generador)
14. SR (Techo Corredizo)
15. CGW (Gateway Central)
16. DDM (Motor de la Puerta del Conductor)
17. PDM (Motor de Puerta de Pasajeros)
18. RLDM (Motor de la Puerta Trasera Izquierda)
19. RRDM (Motor de la Puerta Trasera Derecha)
20. MSW (Interruptor Maestro)
21. RHS (Sensor de Lluvia y/o Humedad)
22. FRS (Sensor de Radar Frontal)
23. FRC (Cámara de Reconocimiento Frontal)
24. FRCFLC (Cámara de Reconocimiento Frontal (Control de Iluminación Frontal))
25. LC (Control de Carril)
26. CS (Sonar de Despeje)

**Figura 46**

*Toyota Corolla Cross HV*



*Nota.* Tomado de (LUQUE, 2021)

A continuación, se presenta la tabla de datos generales sobre el vehículo a diagnosticar los diferentes sistemas que conforman al automóvil.

Tabla 24

*Datos del vehículo Prius Carrola Cross HV*

Datos del vehículo	
Marca	Toyota
Año	2022
Vin	9BRKZAAG5R0663540
Modelo	Carrolla Cross HV
Kilometraje	4947.00 millas
Versión del software	V10.40

*Nota.* Datos del scanner automotriz thinkcar

Tabla 25

*Temperaturas de funcionamiento del inversor Toyota Corolla Cross HV*

Categoría	Temperatura °C	Cumple el rango inferior a 50 °C
Temperatura de Agua del Refrigerante del Invertidor	28	SI
Temperatura Calculada del Invertidor del Generador justo después del Encendido conectado	28	SI
Temperatura del Convertidor de Impulso (Inferior)	30	SI
Temperatura del Convertidor de Impulso (Superior)	30	SI
Temperatura del Convertidor de Impulso Después de Encendido Conectado	28	SI
Temperatura del inversor del motor	25	SI
Temperatura del inversor del motor justo después del encendido conectado	23	SI
Temperatura Máxima del Convertidor de Impulso	34	SI
Temperatura Máxima del Inversor del Motor	30	SI

*Nota.* Obtenidos a partir del scanner automotriz Thinkcar

## Reconocimiento de los DTC del inversor

A continuación, se presentan los códigos DTC (Códigos de Problemas de Diagnóstico), son los códigos de falla que puede presentarse en un dispositivo electrónico que impide el funcionamiento óptimo del mismo; en este caso los inversores según Fernando Augeri en su artículo *Códigos generados por defectos del sistema HW-Toyota Prius*, afirma que los códigos que suelen aparecer en el sistema HV son:

-DTC P3120: Mal Funcionamiento de la Transmisión Híbrida, donde el balance de energía es anormal este impide que el vehículo funcione.

-DTC P3125: Malfuncionamiento del Conversor Inversor DC-DC, es una falla que la carga de la batería es interrumpida produciendo baja tensión, que impide que el vehículo se encienda.

-DTC P3009: Fuga de aislamiento detectada, cuando existe una fuga de alto voltaje.

Información que se puede verificar por la estructura de los DTC que informa alguna falla o error que se presentan en los inversores.

-P0xxx: Son códigos genéricos y donde indicar problemas con el sistema de propulsión eléctrica.

-P1xxx: Son específicos en los sistemas híbridos o eléctricos, pueden indicar problemas específicos del inversor.

-P3xxx: Los que interfieren en el sistema de propulsión eléctrica o híbrida.

A continuación, se presentan los códigos de falla que se han generado en el Toyota Corolla Cross HV que refleja que estos reflejan problemas referentes al chasis y su carrocería.

Figura 47

Resultados del Scanner del Toyota Corolla Cross HV

Vehicle Information		
Año:	2025	
Marca:	TOYOTA	
Modelo:	Corolla Cross HV	
VIN:	9BRKZAAG5R0663540	
Kilometraje:	4947.00 millas	
Versión del software del vehículo:	V10.40	
Resultados de la prueba		
BCM (Módulo de Control de la Carrocería)	6 problems exist	
1.E2321	Detención de la comunicación con la ECU del motor de la puerta del conductor	HISTORIA
2.E2322	Detención de la comunicación con la ECU del motor de la puerta del pasajero	HISTORIA
3.E2323	Detención de la comunicación con la ECU del motor de la puerta RR	HISTORIA
4.E2324	Detención de la comunicación con la ECU del motor de la puerta RL	HISTORIA
5.B1206	Comunicación de la ECU del interruptor maestro de P/W detenida	HISTORIA
6.B1273	Comunicación de la ECU del techo deslizante detenida	HISTORIA
ES (Entrada y Arranque)	2 problems exist	
1.U0142	Pérdida de comunicación con el módulo 'B' de control de la carrocería	HISTORIA
2.U0155	Comunicación perdida con módulo de control del panel de instrumentos (IPC)	HISTORIA
PSC (Control de Fuente de Alimentación)	1 problems exist	
1.U0140	Pérdida de comunicación con el módulo de control de la carrocería	HISTORIA

Nota. DTC del Toyota Corolla Cross HV.

Operación del módulo de entrenamiento para vehículos eléctricos

#### Vehículo detenido

La siguiente prueba se realiza simulando que el vehículo se encuentra detenido, pero tiene la suficiente carga es decir que se encuentra en Ready, en este estado el primer flujo de energía va desde la batería HV hacia el inversor y de este hacia la batería auxiliar, donde se puede observar que el convertidor DC - DC es el único que se encuentra trabajando y por ende suministrando energía tanto a los sistemas auxiliares del vehículo como a la de 12V.

Tabla 26

*Evidencia de los parámetros del funcionamiento del módulo didáctico en Ready*

Vehículo detenido con carga suficiente	
Batería HV	Descargada
Booster	OFF
Salida del inversor	0V
Convertidor DC-DC	ON

**Nota.** Datos del funcionamiento un vehículo PHV cuando se encuentra detenido y con suficiente carga a nivel de la batería HV, booster, voltaje de salida del inversor y trabajo del conversor DC – DC.

Cuando el sistema detecta que la carga de la batería HV disminuye en un 50% mientras el vehículo sigue detenido, el inversor suministra energía al MG1 para que a su vez este encienda el motor de combustión interna; Es decir que la tensión de corriente continua de salida del inversor es de aproximadamente de 500VAC según el módulo, al igual que el MCI trabaja a 1200 rpm y el MG1 a 3500.

Tabla 27

*Parámetros del funcionamiento cuando el vehículo está detenido y el MCI arranca*

Vehículo detenido MCI arranca	
Batería HV	Descargada
Booster	ON
Salida del inversor	500 V AC
Convertidor DC-DC	ON

**Nota.** Parámetros del funcionamiento cuando el vehículo está detenido y el MCI arranca

Mediante los datos obtenidos en este apartado se puede afirmar que el flujo de energía tiene un solo sentido y que este va desde la batería hacia el inversor, y de este hacia el MG1 que a su vez suministra energía al MCI para que opere.

Motor de combustión Interna MGI que al mismo tiempo arrastra al MG1, el cual genera un VAC en tres fases, que es modificado por 6 diodos rectificadores, que se encuentran en el interior del inversor, para posteriormente almacenarlo y suministrarlo a la batería de alto voltaje y de esta forma cargarla nuevamente.

Tabla 28

*Parámetros del funcionamiento cuando se inicia la carga a la batería HV*

Vehículo detenido cargando batería	
Batería HV	Descargada
Booster	OFF
Salida del inversor	200 V AC
Convertidor DC-DC	ON

**Nota.** Parámetros del funcionamiento cuando se inicia la carga a la batería HV Vehículo en movimiento

En esta sección de prueba el objetivo es simular el funcionamiento del motor de combustión interna donde se observe el accionamiento del MG1 que proporciona el arranque del motor de combustión interna, junto con el movimiento eléctrico del vehículo. Por lo que en esta ocasión el flujo de energía cambia el sentido cargando la batería de HV mientras el vehículo híbrido se encuentra en movimiento. Por lo que se puede observar que el inversor está entregando una salida tensión de 500VAc, al igual que se visualiza la función motor – generador que está cumpliendo el MG2 a 4500rpm, para que exista la condición mencionada anteriormente.

Tabla 29

*Parámetros del funcionamiento con la carga mientras el MCI arranca y en movimiento.*

Vehículo en movimiento el MCI arranca carga la batería			
Batería HV			Descargada
Booster			ON
Salida del inversor			500 V AC
Convertidor DC-DC			ON
	STATE	COND	RPM
MCI	ON	MOVIMIENTO	3500
MG1	ON	GENER	4500
MG2	OFF	–	0

**Nota.** Funcionamiento cuando se inicia la carga a la batería HV mientras el MCI arranca y se encuentra en movimiento el vehículo.

De igual forma se simula cuando el vehículo se encuentra bajo el manejo de media y alta potencia, donde el inversor administra la dirección de la energía que entrega para iniciar esta condición.



Por lo que el flujo de energía se encuentra en un círculo cerrado, direccionando la energía que se le entrega al MG1 hacia el MG2, con el objetivo de apoyar la operación del motor de combustión interna, mover el vehículo eléctrico mediante la potencia generada.

**Tabla 30**

*Parámetros del funcionamiento en potencia media y alta mientras está en movimiento*

Vehículo en movimiento / Media Alta / Potencia			
	Batería HV		-
	Booster		OFF
	Salida del inversor		500 V AC
	Convertidor DC-DC		ON
	STATE	COND	RPM
MCI	ON	MOVIMIENTO	2500
MG1	ON	GENER	4500
MG2	ON	MOT	6000

*Nota.* Funcionamiento en potencia media y alta mientras el vehículo está en movimiento

### **Freno regenerativo**

En esta ocasión se buscará simular la operación que cumple el freno regenerativo mediante la operación del MG2 como generador recuperando la energía, el cual entrega un VCA en tres fases en dirección al inversor que procede a rectifica VCA en su interior para poder almacenarlo en la batería HV. En las pantallas LCD se puede observar que el motor generador dos está trabajando como generador a 1500 revoluciones por minuto.

**Tabla 31**

*Parámetros del funcionamiento en modo freno regenerativo*

FRENO REGENERATIVO			
	STATE	COND	RPM
MCI	OFF	-	0000
MG1	OFF	-	0000
MG2	ON	GENER	1500

*Nota.* Funcionamiento en modo freno regenerativo

## Capítulo IV

### Marco administrativo

#### Recursos

Se realizó la siguiente investigación se revisó y detallo los parámetros que se consideran importantes para llevar a cabo el proyecto, como: recursos tecnológicos, materiales, de apoyo y finalmente un previo análisis de los costos.

#### *Recursos humanos*

El recurso humano que trabajo en el proceso y ejecución de la investigación presente se describe en la siguiente tabla:

Tabla 32

*Tabla de recursos humanos*

<b>Ord</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Función</b>
1	Paute Agreda Briggithe Fernanda	1	Investigador
2	Tigse Herrera Ana María	1	Investigador
3	Ing. Washington Germán Erazo Laverde	1	Colaborador científico

*Nota.* Recursos humanos

#### *Recursos tecnológicos*

En el siguiente apartado se muestran los recursos tecnológicos utilizados como una oportunidad en cuanto al costo beneficio para el desarrollo del siguiente trabajo investigativo.

Tabla 33

*Tabla de recursos tecnológicos*

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (\$)</b>
Interfaz Multifuncional Circuit Board Tester – FADOS9F1	1	100
Escáner Automotriz Platinum Latin Master THINKCAR	1	200
	<b>Total</b>	<b>300</b>

*Nota.* Recursos tecnológicos

### Recursos de materiales

Es necesario conocer los materiales principales, vehículos a utilizar y software que se necesite para el desarrollo de la siguiente investigación. A continuación, se enlistan en la siguiente tabla.

Tabla 34

*Tabla de recursos materiales*

Ord.	Cant.	Detalle	Costo (\$)	Total (\$)
1	2	Alquiler de vehículos	50	100
2	1	Software de especificaciones	300	200
3	1	Componentes eléctricos – electrónicos	100	100
4	1	Herramientas básicas de reparación	100	100
5	1	Inversor	200	100
7	1	Capacitación básica	200	100
			Total	700

*Nota.* Recursos materiales

### *Análisis de costos del proyecto de investigación*

En el siguiente apartado se referencia y toma en cuenta todos los recursos tecnológicos, recursos de apoyo y materiales que fueron esenciales para el desarrollo del proyecto investigativo.

Tabla 35

*Análisis de costos del proyecto de investigación*

Detalle	Cantidad	Costo (\$)
Recursos tecnológicos	1	300
Recursos materiales	1	700
Movilización	1	100
Imprevistos		200
		Total
		1300

*Nota.* Costos del proyecto de investigación

### *Análisis de costo - beneficio*

Es importante que se realice un análisis sobre el costo beneficio del trabajo de integración curricular “Procesos de operación, diagnóstico y mantenimiento de inversores utilizados en propulsión eléctrica.” Ya que este tipo de dispositivos están sometidos a constantes investigaciones tecnológicas y prácticas emergentes para obtener un desarrollo constante en la movilidad eléctrica, con el objetivo de que su funcionamiento sea óptimo en la gestión de la energía eléctrica en los vehículos VE y PHEV. Siendo una alternativa de mayor impacto en la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.

## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

El presente trabajo de integración curricular nos permitió conocer la importancia y operación de los inversores utilizados en propulsión eléctrica, en específico de los vehículos de marca Toyota, para determinar un proceso de diagnóstico y establecer un adecuado mantenimiento de estos; información que podrá ser utilizada en futuras promociones como base técnica para el estudio de estos componentes.

Es importante indicar, que la tendencia mundial para el sector automotor es la eliminación de gases contaminantes de efecto invernadero; dando lugar a autos eléctricos e híbridos, donde el sistema inversor es fundamental en este tipo de vehículos, por lo que en nuestro trabajo se definió los parámetros de operación y comportamiento de los inversores en las variables de temperatura, rpm, condiciones de trabajo y su influencia en el rendimiento durante el proceso de propulsión eléctrica.

Con el uso del software FADOS9F1 se puede diagnosticar las fallas en los circuitos de las placas y otros componentes de los inversores a trabajar, mostrando en el programa graficas donde se visualiza si la entrada o salida del elemento se encuentra en buen estado, en corto circuito o en circuito abierto. Donde se observó que una de las salidas de la placa del inversor para el MG1 y MG2 se encontraba en modo abierto, interrumpiendo la comunicación correcta con los condensadores, reactor y demás componentes, causando dificultades en el funcionamiento optimo del inversor.

Con el uso del escáner tenemos la facilidad de visualizar los parámetros en tiempo real del funcionamiento del vehículo, en específico para el diagnóstico del inversor nos interesa la temperatura de operación, la misma que no debe sobrepasar de los 60 grados Celsius; los inversores analizados en el presente proyecto mantuvieron una temperatura de funcionamiento entre 23 – 34 grados Celsius.

## Recomendaciones

Realizar experimentos prácticos donde se analice el comportamiento y parámetros de operación de inversores en situaciones de funcionamiento real. Con el objetivo de obtener mayores datos sobre su funcionamiento.

Usar el escáner automotriz especializado o un trazador de curvas como el FADOS9F1 para evaluar de forma correcta el funcionamiento de los inversores u otros dispositivos de los automóviles eléctricos e híbridos. Ya que estas herramientas proporcionarán datos precisos sobre el rendimiento y la salud del dispositivo tanto en tiempo real como en el desarmado del componente.

Es importante revisar la normativa de protección, para comprender los requisitos vigentes de seguridad para realizar trabajos en los inversores utilizados en los vehículos eléctricos e híbridos.

## Bibliografía

- Automotrices, G. e. (2023, 07 11). *globaltech-car*. Retrieved from Escáner automotriz platinum latin master CAN FD: <https://globaltech-car.com/producto/escaner-automotriz-platinum-latin-master/>
- Bernal, G. (2019, Mayo). *Asesoría Técnica Parlamentaria*. Retrieved from [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27343/1/BCN\\_\\_\\_Electromovilidad\\_Experiencias\\_comparadas\\_.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27343/1/BCN___Electromovilidad_Experiencias_comparadas_.pdf)
- Brugada, A. (2021, Julio 20). *AutoDinámico*. Retrieved from <https://autodinamico.mx/entradas/el-toyota-prius-c-estrena-generacion-a-nivel-global/>
- CISE electrónica*. (2020, Abril 29). Retrieved from <https://www.cise.com/portal/component/k2/item/917-especialidad-inversores-de-h%C3%ADbridos-y-el%C3%A9ctricos-online.html#startOfPageId917>
- Crespo, M. (2022, 03 31). *forococheelectricos*. Retrieved from Inversor, el héroe anónimo del coche eléctrico: <https://forococheelectricos.com/diccionario/inversor-coche-electrico>
- CYBERCAR. (2020, Septiembre 11). *CYBERCAR.COM*. Retrieved from <https://cybercar.es/producto/inversor-de-traccion-co150-hibridos/>
- Enel. (2016). *Movilidad Eléctrica*. Retrieved from <https://www.enelamericas.com/es/historias/a202110-la-movilidad-elctrica-y-sus-ventajas0.html>
- Espinosa Chicaiza, J. L. (2019). *Investigación de los parámetros de funcionamiento del sistema inversor para vehículos híbridos a través de la construcción de un módulo difásico*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.
- García, G. (2018, 01 25). *motorpasion*. Retrieved from Toyota Prius C: Precios, versiones y equipamiento en México: <https://www.motorpasion.com.mx/industria/toyota-prius-c-precios-versiones-y-equipamiento-en-mexico>

- Garica, G. (2022, 03 28). *hibridosyelectricos*. Retrieved from Nuevos inversores de 800 voltios: más potencia y más autonomía para los coches eléctricos:  
[https://www.hibridosyelectricos.com/coches/nuevos-inversores-800-voltios-mas-potencia-mas-autonomia-coches-electricos\\_55818\\_102.html](https://www.hibridosyelectricos.com/coches/nuevos-inversores-800-voltios-mas-potencia-mas-autonomia-coches-electricos_55818_102.html)
- GSAS Micro Systems Private Limited, B. (2023, Julio 05). *indiamart*. Retrieved from FADOS9F1 - Detector De Fallas De PCB 9 Funciones En 1: <https://m.indiamart.com/proddetail/fados9f1-pcb-fault-detector-9-features-in-1-7573848491.html>
- HE. (2022, Marzo 28). *HE.COM*. Retrieved from [https://www.hibridosyelectricos.com/coches/nuevos-inversores-800-voltios-mas-potencia-mas-autonomia-coches-electricos\\_55818\\_102.html](https://www.hibridosyelectricos.com/coches/nuevos-inversores-800-voltios-mas-potencia-mas-autonomia-coches-electricos_55818_102.html)
- Husain, I. (2003). Vehículos Híbridos y Eléctricos. Bora Ratón Londres Nueva York: Prensa CRC.
- Keeping, S. (2021, 07 28). *digikay*. Retrieved from Cómo diseñar en MOSFET de SiC para mejorar la eficiencia del inversor de tracción del vehículo eléctrico:  
<https://www.digikay.es/es/articles/how-to-design-in-sic-mosfets-to-improve-ev-traction-inverter-efficiency#:~:text=El%20inversor%20de%20tracci%C3%B3n%20de,necesario%20para%20mover%20el%20veh%C3%ADculo.>
- kissu*. (2005, Enero 01). Retrieved from <https://www.kissu.com.ec/producto.php?n=2940>
- LUQUE, J. C. (2021, 02 12). *caranddriver*. Retrieved from Toyota Corolla Cross: Licencia para venirse arriba: <https://www.caranddriver.com/es/coches/novedades/a33256913/toyota-corolla-cross/>
- Matchile*. (2005, Enero 01). Retrieved from <https://ematchile.com/categoria-producto/inversores/monofasicos/>
- Pallas, R. (2006). *Instrumentos electrónicos básicos*. España: Marcombo S.A.



- Paúl. (2020, Enero 7). *S&P*. Retrieved from [https://www.solerpalau.com/es-es/blog/variador-de-frecuencia/#:~:text=Los%20variadores%20o%20convertidores%20de%20frecuencia%20son%20sistemas%20que%20se,de%20corriente%20alterna%20\(AC\).](https://www.solerpalau.com/es-es/blog/variador-de-frecuencia/#:~:text=Los%20variadores%20o%20convertidores%20de%20frecuencia%20son%20sistemas%20que%20se,de%20corriente%20alterna%20(AC).)
- Pinto, C. A. (2018). *Maqueta del sistema y funcionamiento de un inversor*. Quito.
- Prostar*. (2021, Diciembre 10). Retrieved from <https://www.prostarsolar.net/es/para-que-sirve-un-inversor-de-corriente.html#:~:text=El%20inversor%20se%20encarga%20de,ideal%20para%20su%20uso%20diario.>
- Salazar, B. D. (2017). *Investigación del diagnóstico por imagen*. Latacunga : Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L.
- Salazar, B. D. (2017). *Investigación del diagnóstico por imagen del grupo de inversor-propulsor de vehículos híbridos*. Latacunga.
- SONIKA. (2022, Septiembre 26). *SONIKA.COM*. Retrieved from <https://sonikaecuador.com/reguladores/6929-inversor-bk-inv200-12v-a-110v-200w-2usb-.html>
- Ukraine, K. R. (2022, Septiembre ). *dreamstime*. Retrieved from <https://es.dreamstime.com/inversor-de-frecuencia-negra-con-panel-control-en-gabinete-el%C3%A9ctrico-del-sistema-automatizaci%C3%B3n-planta-industrial-kryvyi-rih-image259046830>
- VOLTA*. (2014, Mayo 28). Retrieved from [https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-547561424-inversor-de-voltaje-12v-a-110v-1000w-1500w-2000w-3000w-4000w-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-547561424-inversor-de-voltaje-12v-a-110v-1000w-1500w-2000w-3000w-4000w-_JM)
- ya, C. (2021, 05 27). *carroya*. Retrieved from Así es la nueva Toyota Corolla Cross, el SUV que llega a conquistar el país: <https://www.carroya.com/noticias/noticias-y-lanzamientos/asi-es-la-nueva-toyota-corolla-cross-el-suv-que-llega-conquistar-el-pais>

- Saggini, S., et al. (2017). SiC MOSFETs and GaN HEMTs technologies for high-efficiency and high-power density inverter applications. In Proceedings of the IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) (pp. 1918-1925).
- Vorperian, V. (2003). Simplified analysis of PWM converters using the model of the DC link. IEEE Transactions on Power Electronics, 18(3), 796-807.
- Kovalenko, I., et al. (2013). Design of a high-efficiency powertrain for a plug-in hybrid electric vehicle. In Proceedings of the IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC) (pp. 1-6).
- Tse, C. K. (2014). Modern DC-to-AC inverters for automotive applications. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 61(6), 2879-2891.
- Easterby-Smith, M., et al. (2012). Management and business research. Sage.
- Diaz, F., et al. (2019). High-efficiency traction drive inverter for EV/HEV with 40-kW/L power density. IEEE Transactions on Industry Applications, 55(4), 3811-3819.
- Kahle, J., et al. (2017). Advanced fault detection and diagnosis in automotive power electronic converters. IEEE Transactions on Power Electronics, 32(10), 7700-7715.
- Liu, H., et al. (2016). Reliability and maintenance strategy of power electronic converters in electrified vehicles. IEEE Transactions on Transportation Electrification, 2(3), 377-387.
- Kahle, J., et al. (2017). Advanced fault detection and diagnosis in automotive power electronic converters. IEEE Transactions on Power Electronics, 32(10), 7700-7715.
- Liu, H., et al. (2016). Reliability and maintenance strategy of power electronic converters in electrified vehicles. IEEE Transactions on Transportation Electrification, 2(3), 377-387.

Anexos