



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

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

**TEMA: “INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE  
FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA INVERSOR PARA VEHÍCULOS  
HÍBRIDOS A TRAVÉS DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO  
DIDÁCTICO”**

**AUTORES: ESPINOZA CHICAIZA, JORGE LUIS  
FLORES VILLACIS, JONNATHAN ANDRÉS**

**DIRECTOR: ING. ERAZO LAVERDE, WASHINGTON GERMAN**

**LATACUNGA**

**2019**



# ESPE

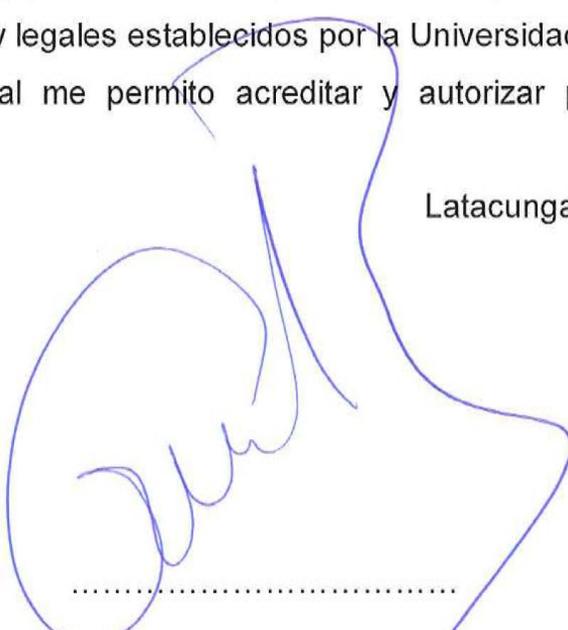
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA INVERSOR PARA VEHÍCULOS HÍBRIDOS A TRAVÉS DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO”*** fue realizado por los señores **Jorge Luis Espinoza Chicaiza y Jonnathan Andrés Flores Villacis**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 25 de enero del 2019



.....  
Ing. Washington Germán Erazo Laverde  
C. C.: 050143263-7



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **Espinoza Chicaiza, Jorge Luis** y **Flores Villacis, Jonnathan Andrés**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Investigación de los parámetros de funcionamiento del sistema inversor para vehículos híbridos a través de la construcción de un módulo didáctico”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

**Latacunga, 25 de enero del 2019**

**Espinoza Chicaiza, Jorge Luis**

C. C.: 1500848203

**Flores Villacis, Jonnathan Andrés**

C. C.: 0704417534



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORIZACIÓN**

*Nosotros, **Espinoza Chicaiza, Jorge Luis y Flores Villacis, Jonnathan Andrés**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Investigación de los parámetros de funcionamiento del sistema inversor para vehículos híbridos a través de la construcción de un módulo didáctico”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.*

**Latacunga, 25 de enero del 2019**

**Firma:**

**Firma:**



**Espinoza Chicaiza, Jorge Luis**

C. C.: 1500848203



**Flores Villacis, Jonnathan Andrés**

C. C.: 0704417534

## **DEDICATORIA**

Dedico de manera especial a mis padres Jorge Espinoza e Imelda Chicaiza por el enorme esfuerzo que hacen cada día para apoyarme a cumplir cada meta propuesta, pues ellos han sido el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional. A mi esposa Emérita y mi querido hijo Emilio quienes han sido la base de mi responsabilidad y deseos de superación. A todos mis abuelos, por ser mis segundos padres y apoyarme en todo momento. A mis hermanos Liseth y Billy, por estar siempre juntos, apoyándonos en todo momento y darme la dicha de contar con ellos.

**Jorge Luis Espinoza Chicaiza**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación se lo dedico en primer lugar a mis padres Henry Flores y Verónica Villacis quienes con su esfuerzo y apoyo incondicional me ayudaron a salir adelante y culminar con éxito el primer escalón de mi vida profesional, son mi ejemplo a seguir. A mi esposa Mildred Cajas quien me acompañó gran parte de mi vida universitaria y siempre me brindó el apoyo necesario, invitándome a ser una persona de bien con muchas más aspiraciones de superación. A mi hija Emilia Flores quién me motiva (tan solo con su presencia y risas) cada día a esforzarme y alcanzar nuevas metas. A mis hermanos Cristian Flores y Christopher Flores con quien puedo contar en todo momento.

**Jonnathan Andrés Flores Villacis**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, a mis padres por su respaldo y ayuda para la culminación de una etapa más en mi vida, a los profesores quienes han compartido sus conocimientos con el fin de apoyarnos en la formación profesional, a mi tutor de tesis Germán Erazo por su valiosa asesoría y tiempo empleado en el desarrollo del proyecto, a mi hermana Liseth quien ha sido una guía y ejemplo de superación para mi vida y por último a todos mis familiares por sus consejos y apoyo que me han brindado día a día.

**Jorge Luis Espinoza Chicaiza**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, a mis padres Henry Flores y Verónica Villacis por su apoyo incondicional, por sus consejos y confianza para la culminación de ésta etapa en mi vida, a los ingenieros quienes me han compartido sus conocimientos para poder iniciar mi vida profesional, a mi tutor de tesis Germán Erazo por su valiosa asesoría y tiempo empleado en el desarrollo del proyecto, a Edwin Cajas y Rita Buenaño quienes me abrieron las puertas de hogar los últimos semestres y me brindaron su apoyo, han sido una guía en mi camino y por último a todos mis familiares y amigos quienes me acompañaron en este trayecto de la vida universitaria.

**Jonnathan Andrés Flores Villacis**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CARÁTULA

CERTIFICACIÓN .....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvi
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT .....	xx

### CAPÍTULO I

#### MARCO METODOLÓGICO DE LA “INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA INVERSOR PARA VEHÍCULOS HÍBRIDOS A TRAVÉS DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO”

1. Generalidades.....	1
1.1. Antecedentes investigativos.....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	3
1.2.1. Árbol de problemas .....	5

	ix
1.3. Descripción resumida del proyecto .....	5
1.4. Justificación e importancia .....	6
1.5. Objetivos .....	7
1.5.1. Objetivo general .....	7
1.5.2. Objetivos específicos .....	8
1.6. Metas .....	8
1.7. Hipótesis .....	9
1.8. Operacionalización de variables .....	9
1.8.1. Variable dependiente .....	9
1.8.2. Variable independiente .....	10
1.9. Metodología de desarrollo del proyecto .....	11

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1. Introducción .....	19
2.2. Clasificación de los vehículos híbridos.....	20
2.2.1. Vehículos híbridos en serie .....	21
2.2.2. Vehículos híbridos en paralelo.....	23
2.2.3. Vehículos híbridos mixtos .....	25
2.3. Modos de funcionamiento eléctrico de vehículos híbridos .....	27
2.3.1. Modo marcha .....	27

2.3.2. Modo recarga.....	x 28
2.4. Componentes principales del vehículo híbrido.....	29
2.4.1. Motor de combustión interna.....	30
2.4.2. Moto Generadores .....	31
2.4.3. Batería de alta tensión HV .....	33
2.4.4. Inversor.....	35
2.5. Sistema Inversor .....	36
2.5.1. Funciones del inversor .....	39
2.5.2. Aplicación de los inversores.....	40
2.5.3. Componentes principales del inversor .....	41
2.5.4. Convertidor de corriente CC/CC .....	43
2.5.5. Elevador de tensión .....	45
2.5.6. Inversor del aire acondicionado .....	46
2.6. Funcionamiento del inversor .....	47
2.7. Transmisión .....	52
2.7.1. Tren epicicloidial .....	54
2.7.2. Funcionamiento .....	55
2.8. Modos de operación.....	57

### **CAPÍTULO III**

## **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO DEL SISTEMA INVERSOR PARA VEHÍCULOS HÍBRIDOS**

3.	Levantamiento de requerimientos.....	64
3.1.	Descripción del módulo didáctico.....	64
3.2.	Características del módulo didáctico .....	66
3.3.	Estudio del sistema inversor .....	66
3.3.1.	Herramientas tecnológicas utilizadas en la investigación. ....	67
3.4.	Selección eléctrica y electrónica de los elementos para el módulo didáctico .....	77
3.4.1.	Pantalla TFT .....	78
3.4.2.	Pantallas LCD .....	79
3.4.3.	Teclado .....	80
3.4.4.	Motores.....	81
3.4.5.	Microcontroladores.....	81
3.4.6.	Arduino nano.....	84
3.5.	Diseño de las placas para módulo didáctico .....	85
3.5.1.	Placa principal.....	86
3.5.2.	Secuencia de flujo de energía.....	88
3.5.3.	Activación del inversor MG1 y MG2.....	89
3.5.4.	Activación del conversor DC-DC.....	91
3.5.5.	Mediciones en el módulo didáctico .....	92

3.6. Diseño del tren epicicloidal .....	xii
	93

## **CAPÍTULO IV**

### **OPERACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

4.1. Operación del módulo didáctico.....	100
4.2. Pruebas.....	102
4.2.1. Modo 1.....	103
4.2.2. Modo 2.....	105
4.2.3. Modo 3.....	107
4.2.4. Modo 4.....	109
4.2.5. Modo 5.....	111
4.2.6. Modo 6.....	113
4.2.7. Modo 7.....	115
4.2.8. Modo 8.....	117
4.2.9. Modo 9.....	119
4.3. Pruebas de mediciones en el sistema.....	120
4.4. Conducción simulada.....	122
4.5. Osciloscopio.....	122

## **CAPÍTULO V**

### **MARCO ADMINISTRATIVO**

5.1. Recursos.....	125
5.1.1. Recursos humanos .....	125

	xiii
5.1.2. Recursos materiales .....	125
5.1.3. Recursos tecnológicos .....	126
5.2. Costo neto del proyecto .....	127
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>128</b>
<b>RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>130</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>131</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>135</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Variable dependiente: Parámetros de operación de híbridos.....	9
<b>Tabla 2.</b> Variable independiente: Módulo didáctico.....	10
<b>Tabla 3.</b> Metodología, instrumentación y laboratorios donde se va a realizar la investigación.....	14
<b>Tabla 4.</b> Modos de operación.....	57
<b>Tabla 5.</b> Características del módulo didáctico.....	66
<b>Tabla 6.</b> Características vehículo Toyota Prius .....	68
<b>Tabla 7.</b> Características G-SCAN 2 .....	69
<b>Tabla 8.</b> <i>Modos de operación</i> .....	71
<b>Tabla 9.</b> Procedimiento para obtención de parámetros en los diferentes modos de operación.....	71
<b>Tabla 10.</b> Parámetros adicionales del vehículo.....	76
<b>Tabla 11.</b> Materiales electrónicos utilizados.....	77
<b>Tabla 12.</b> Características pantalla TFT .....	78
<b>Tabla 13.</b> Características pantalla LCD.....	80
<b>Tabla 14.</b> Características PIC 16F628A.....	83
<b>Tabla 15.</b> Parámetros de funcionamiento modo 1.....	104
<b>Tabla 16.</b> Parámetros de funcionamiento modo 2.....	105
<b>Tabla 17.</b> Estado engranajes transmisión modo 2 .....	106
<b>Tabla 18.</b> Parámetros de funcionamiento modo 3.....	107
<b>Tabla 19.</b> Estado engranajes transmisión modo 3 .....	108

<b>Tabla 20.</b> Parámetros de funcionamiento modo 4.....	109
<b>Tabla 21.</b> Estado engranajes transmisión modo 4 .....	110
<b>Tabla 22.</b> Parámetros de funcionamiento modo 5.....	111
<b>Tabla 23.</b> Estado engranajes transmisión modo 5 .....	113
<b>Tabla 24.</b> Parámetros de funcionamiento modo 6.....	114
<b>Tabla 25.</b> Estado engranajes transmisión modo 6 .....	115
<b>Tabla 26.</b> Parámetros de funcionamiento modo 7.....	115
<b>Tabla 27.</b> Estado engranajes transmisión modo 7 .....	117
<b>Tabla 28.</b> Parámetros de funcionamiento modo 8.....	117
<b>Tabla 29.</b> Estado engranajes transmisión modo 8 .....	118
<b>Tabla 30.</b> Parámetros de funcionamiento modo 9.....	119
<b>Tabla 31.</b> Estado engranajes transmisión modo 9 .....	120
<b>Tabla 32.</b> Mediciones de componentes.....	120
<b>Tabla 33.</b> Recursos Humanos.....	125
<b>Tabla 34.</b> Recursos Materiales.....	126
<b>Tabla 35.</b> Recursos Tecnológicos .....	127
<b>Tabla 36.</b> Costo Neto del Proyecto .....	127

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Árbol de problemas.....	5
<b>Figura 2.</b> Híbrido en serie .....	21
<b>Figura 3.</b> Configuración en serie.....	22
<b>Figura 4.</b> Híbrido en paralelo .....	23
<b>Figura 5.</b> Configuración en paralelo.....	24
<b>Figura 6.</b> Híbridos mixtos .....	26
<b>Figura 7.</b> Configuración mixta .....	26
<b>Figura 8.</b> Elementos importantes en el vehículo híbrido.....	29
<b>Figura 9.</b> Motor de combustión interna ciclo Atkinson .....	31
<b>Figura 10.</b> Moto-generadores Toyota Prius .....	33
<b>Figura 11.</b> Módulos de la batería de alto voltaje Toyota Prius.....	35
<b>Figura 12.</b> Inversor.....	38
<b>Figura 13.</b> Sistema de refrigeración del inversor .....	39
<b>Figura 14.</b> Módulo IPM.....	42
<b>Figura 15.</b> Transistor IGBT .....	43
<b>Figura 16.</b> Convertidor de corriente CC/CC .....	44
<b>Figura 17.</b> Configuración del elevador de Tensión .....	46
<b>Figura 18.</b> Configuración del inversor del sistema de aire acondicionado.....	47
<b>Figura 19.</b> Circuito elevador de tensión .....	48
<b>Figura 20.</b> Circuito de carga de la batería.....	49
<b>Figura 21.</b> Circuito de control de motores trifásicos.....	51

	xii
<b>Figura 22.</b> Tren de potencia de un vehículo híbrido.....	53
<b>Figura 23.</b> Sistema tren epicicloidal.....	55
<b>Figura 24.</b> Esquema del engranaje planetario en los híbridos.....	56
<b>Figura 25.</b> Modo de operación 1.....	59
<b>Figura 26.</b> Modo de operación 4.....	60
<b>Figura 27.</b> Modo de operación 5.....	61
<b>Figura 28.</b> Modo de operación 7.....	62
<b>Figura 29.</b> Modo de operación 8.....	63
<b>Figura 30.</b> Vehículo Toyota Prius.....	67
<b>Figura 31.</b> G-SCAN 2.....	69
<b>Figura 32.</b> Pantalla TFT.....	78
<b>Figura 33.</b> Pantalla LCD.....	79
<b>Figura 34.</b> Teclado.....	80
<b>Figura 35.</b> Motor DC.....	81
<b>Figura 36.</b> PIC 12F675.....	82
<b>Figura 37.</b> PIC 16F628A.....	83
<b>Figura 38.</b> Arduino nano.....	84
<b>Figura 39.</b> Placa principal con sus entradas.....	85
<b>Figura 40.</b> Diseño de la placa principal.....	86
<b>Figura 41.</b> Diagrama placa principal.....	87
<b>Figura 42.</b> Diseño placa secuencias.....	88
<b>Figura 43.</b> Diagrama placa secuencias.....	88
<b>Figura 44.</b> Placa de secuencia.....	89

	xiii
<b>Figura 45.</b> Diseño placas secuencia motogeneradores .....	89
<b>Figura 46.</b> Circuito para simulación activación motogeneradores.....	90
<b>Figura 47.</b> Placa Secuencia motogeneradores .....	90
<b>Figura 48.</b> Diseño para activación transistores conversor DC-DC.....	91
<b>Figura 49.</b> Circuito conversor DC-DC .....	91
<b>Figura 50.</b> Placa conversor DC-DC .....	92
<b>Figura 51.</b> Placa principal con microcontrolador de mediciones .....	93
<b>Figura 52.</b> Engranaje planetario.....	95
<b>Figura 53.</b> Engranaje satélite.....	96
<b>Figura 54.</b> Corona.....	98
<b>Figura 55.</b> Soporte corona .....	98
<b>Figura 56.</b> Porta satélites.....	99
<b>Figura 57.</b> Diseño de la transmisión .....	99
<b>Figura 58.</b> Pantalla menú principal .....	102
<b>Figura 59.</b> Pantalla opción A Modos de operación .....	103
<b>Figura 60.</b> Acelerador .....	122
<b>Figura 61.</b> Pantalla principal TFT .....	123
<b>Figura 62.</b> Pantalla de teoría del módulo .....	123
<b>Figura 63.</b> Pantalla de inicio de la práctica .....	124
<b>Figura 64.</b> Modos de operación pantalla TFT .....	124

## **RESUMEN**

En la actualidad, la tecnología vehicular ha dado grandes saltos, los cuales han permitido que el mercado se expanda a nuevos horizontes como son los vehículos híbridos, eliminando parcialmente el uso de combustibles fósiles, para poder mover estos vehículos es necesario colocar baterías, motores eléctricos, inversor y otros elementos y componentes que hacen posible su funcionamiento. El funcionamiento de todos los sistemas en conjunto de los vehículos híbridos, es más complejo de lo que se está acostumbrado en vehículos de combustión interna debido a la complejidad presentes en la electrónica de potencia del automóvil. Con el cambio presente en el parque automotor, es necesario estudiar a fondo los vehículos híbridos, para entender su funcionamiento, conocer sus partes constitutivas y posibles averías en sus sistemas, es por tal motivo que en esta investigación se pretende realizar un módulo didáctico de entrenamiento, donde se puede ver los sistemas por los que están compuestos los vehículos, y como se realiza la entrega de energía de los diferentes sistemas dentro del vehículo, la secuencia de activación de los transistores para la conversión de energía, y los parámetros de operación con los que el vehículo híbrido funciona en cada modo de operación.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **VEHÍCULOS HÍBRIDOS - SISTEMA INVERSOR**
- **VEHÍCULOS HÍBRIDOS - MÓDULO DIDÁCTICO**
- **VEHÍCULOS HÍBRIDOS – OPERACIÓN**

## **ABSTRACT**

Currently, vehicle technology has made great leaps, which have allowed the market to expand to new horizons such as hybrid vehicles, partially eliminating the use of fossil fuels, to be able to move these vehicles it is necessary to place batteries, electric motors, inverter and other elements and components that will make possible its operation. The operation of all the systems as a whole of hybrid vehicles is more complex than what is customary in internal combustion vehicles due to the complexity present in the automotive power electronics. With the present change in the automotive fleet, it is necessary to thoroughly study the hybrid vehicles, to understand their operation, know their constituent parts and possible faults in their systems, that is why this research intends to carry out a training didactic module , where you can see the systems by which the vehicles are composed, and how the energy delivery of the different systems inside the vehicle is carried out, the sequence of activation of the transistors for the energy conversion, and the operation parameters with those that the hybrid vehicle works in each mode of operation.

### **KEYWORDS:**

- **HYBRID VEHICLES - INVERTER SYSTEM**
- **HYBRID VEHICLES - DIDACTIC MODULE**
- **HYBRID VEHICLES - OPERATION HYBRID VEHICLE**

## CAPÍTULO I

# MARCO METODOLÓGICO DE LA “INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA INVERSOR PARA VEHÍCULOS HÍBRIDOS A TRAVÉS DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO”

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Según, (Polanco, 2014) un vehículo eléctrico VE (o alternativamente EV del inglés Electric Vehicle) es un medio de movilización de una o más personas que hace uso de, al menos, un motor eléctrico con el propósito de tracción. Respecto de su conexión eléctrica los VE se caracterizan por operar aislados del terreno (por ejemplo, un vehículo híbrido o uno solar), conectados al terreno (por ejemplo, el metro o trenes colgantes) o bien con una conexión parcial al terreno a través de un cargador durante las horas que requiere el proceso de carga del sistema de baterías. Pág. 8

Añade (Amaguaya & Solano, 2010) que un vehículo eléctrico es capaz de lograr una eficiencia energética mucho mayor que la de uno movido mediante un ICE. Siglas en inglés (Interna Combustión Energy) (Energía de Combustión Interna) La técnica bien establecida del "frenado regenerativo" puede recapturar la energía del movimiento que está ahora disipada (y desperdiciada) en los frenos de las ruedas, y retro accionarla en las baterías del vehículo. Los motores eléctricos empleados para accionar las ruedas

funcionan también como generadores eléctricos que toman energía de las ruedas y la vuelven a convertir en energía eléctrica. Pág. 25

Menciona, (Vargas, 2012) Dentro de los sistema que constituyen un vehículo híbrido y eléctrico, se tiene el sistema inversor el cual posee un variador de frecuencia que convierte la corriente continua que entregan las baterías a corriente alterna trifásica con la que opera el motor de inducción. Incorpora algoritmos de control de velocidad al recibir la señal del acelerador. Además, su procesador es el encargado de recibir la información del acelerador y de desplegar información hacia el usuario. Pág. 32

Según (Cevallos & Velasco, 2010) los variadores de frecuencia más empleados son los PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) que emplean en el circuito de entrada puente de diodos rectificadores. En el circuito intermedio poseen condensadores y bobinas para linealizar la tensión rectificada, además las bobinas ayudan a disminuir el contenido armónico de la corriente generada por el variador de frecuencia y por ende a mejorar el factor de potencia. Algunos fabricantes emplean las bobinas de línea en lugar de las bobinas DC del circuito intermedio, pero tienen la desventaja de ocupar más espacio, generar una caída de tensión mayor y disminuir la eficiencia del variador.

En estos vehículos la energía eléctrica se transmite al motor a través de una unidad electrónica de potencia. Este transforma la corriente continua de 200V en corriente alterna trifásica, para alimentar el rotor y el estator de los motores generadores, el cuál regula asimismo la potencia y el par del motor eléctrico. Situado en el mismo lugar que el ondulator un transformador Bock, convierte la corriente continua de 200V almacenada

en la batería de tracción en corriente continua de 12V para alimentar la red de a bordo tradicional y las funciones auxiliares de algunos vehículos eléctricos como el Renault Kangoo be bop Z.E. En un controlador AC, crea tres ondas senoidales tomando la corriente de las baterías y emitiendo impulsos de encendido y apagado. En un controlador de CA, existe la necesidad adicional de invertir la polaridad del voltaje unas 60 veces por segundo. Por lo tanto, se necesitan seis conjuntos de transistores dos en cada conjunto en un controlador de CA, mientras que sólo necesita un conjunto en un controlador de DC. (Amaguaya & Solano, 2010) Pág. 45 y 49

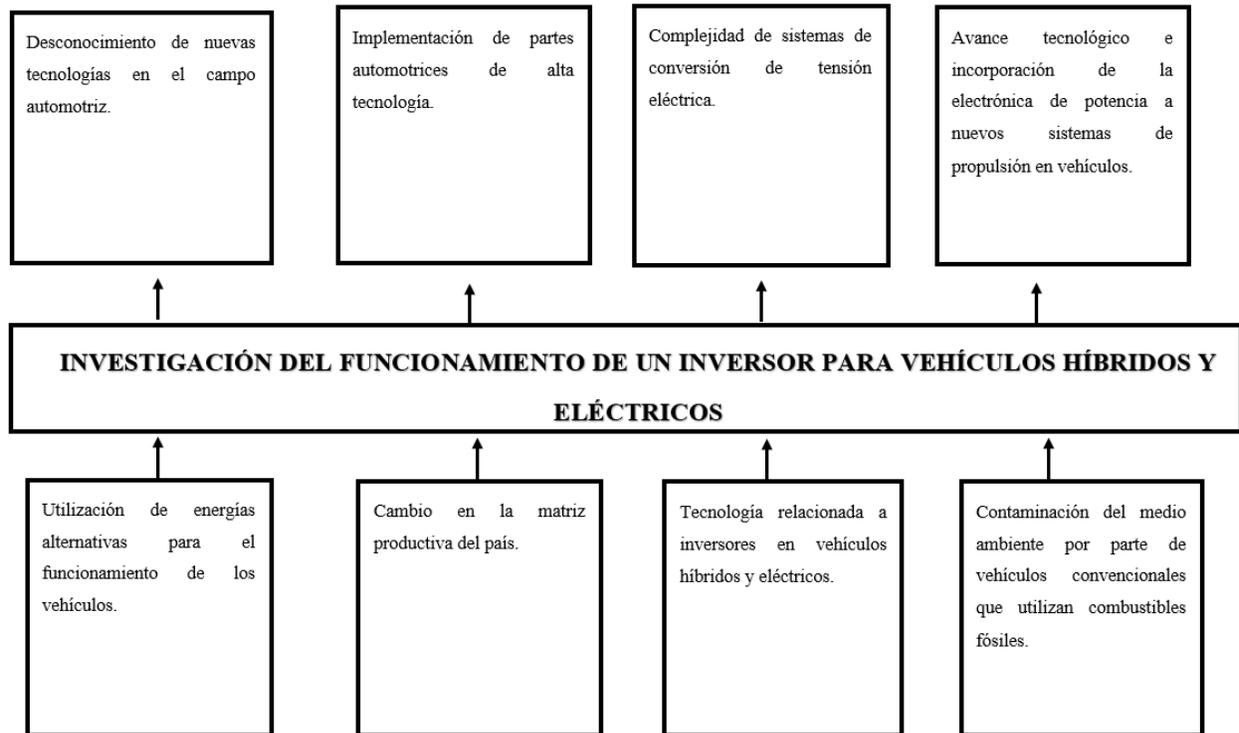
## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El desarrollo tecnológico del parque automotor, también el cambio de la matriz productiva que se viene por delante, obliga al uso de energías alternativas para el funcionamiento de los vehículos, que son los principales contaminantes, una de las estrategias es la implementación de energía eléctrica para generar movimiento en motores trifásicos y ubicarlos en vehículos para diversos propósitos, es un tema de gran utilidad para muchos países que buscan reducir los altos niveles de contaminación por combustibles fósiles.

Los vehículos híbridos y eléctricos son una realidad que no tardan en llegar a nuestro país y es un tema que cada vez atrae más a estudiantes y profesionales que poseen una ideología verde siguiendo el margen de la tecnología.

La utilización de energías alternativas para el funcionamiento de vehículos es un tema nuevo en nuestro país lo cual conlleva a un desconocimiento de esta tecnología en el campo automotriz, alterando así la matriz productiva e implementando partes automotrices de alta tecnología. El desconocimiento de nuevas tecnologías crea la necesidad de investigar el funcionamiento de inversores para vehículos híbridos y eléctricos, tomando en cuenta el avance tecnológico e incorporación de la electrónica de potencia en nuevos sistemas de propulsión, así como la complejidad de sistemas de conversión de tensión eléctrica. Con la finalidad de reducir la contaminación del medio ambiente por parte de vehículos convencionales que utilizan combustibles fósiles.

### 1.2.1. ÁRBOL DE PROBLEMAS



**Figura 1.** Árbol de problemas

### 1.3. DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO

- Se buscó información técnica-científica confiable de bases digitales.
- Se investigó a profundidad el funcionamiento de las distintas etapas de conversión de corriente, así como los modos de operación que poseen los inversores para vehículos híbridos.

- Se realizó una simulación y programación de un microcontrolador el cual simula el tiempo de saturación de los transistores IGBTs incorporados en el inversor, con el fin de obtener valores de conmutación apropiados para el funcionamiento y activación de un motor eléctrico trifásico.
- Se simuló condiciones de funcionamiento de un inversor para vehículos híbridos, así como sus distintas fases de conversión de corriente.
- Se seleccionó los componentes eléctricos y electrónicos para el módulo didáctico.
- Se construyó el módulo didáctico para la representación de la investigación realizada.
- Se realizó pruebas de funcionamiento para constatar la funcionalidad del módulo.
- Se analizó los resultados obtenidos de la investigación para la documentación del funcionamiento del módulo didáctico para vehículos híbridos.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

El desconocimiento de las nuevas tecnologías en el campo automotriz es una debilidad que debe ser erradicada en nuestro país mediante investigaciones de sistemas complejos, como el sistema inversor, que relacionen el uso de energías alternativas para el funcionamiento de vehículos, este nuevo concepto en la industria automotriz conlleva a un cambio en la matriz productiva, acarreando así nuevas partes automotrices de alta tecnología.

La tecnología implementada en inversores para vehículos híbridos y eléctricos exhibe una gran complejidad en cuanto a procedimientos de conversión de tensión eléctrica, lo cual requiere de una investigación minuciosa en sistemas de gran avance tecnológico que poseen un alto porcentaje de electrónica de potencia en su funcionamiento, con el fin de adentrarse en este nuevo campo de la electrónica en la industria automotriz y tratar así de disminuir la contaminación que producen los vehículos que funcionan con combustibles fósiles, se realiza una investigación del sistema inversor para vehículos híbridos y eléctricos.

El desarrollo de este proyecto favorece a la facultad de Ingeniería Automotriz. Mediante la implementación de un módulo didáctico que corrobore la investigación, se podrá identificar el funcionamiento de un conjunto inversor para vehículos híbridos y eléctricos, así como el control que realiza su módulo de potencia, permitiendo reconocer las distintas etapas de conversión de voltaje y su posterior procesamiento para la generación de movimiento de los motores generadores que posee el automóvil.

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

- Investigar los parámetros de funcionamiento del sistema inversor para vehículos híbridos a través de la construcción de un módulo didáctico.

### **1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar información técnica y teórica inherente al funcionamiento del conjunto inversor utilizado en vehículos híbridos.
- Investigar el proceso de conversión de corriente que realiza un inversor para vehículos híbridos.
- Simular y programar un microcontrolador que simule el tiempo de saturación de los transistores IGBT para conversión de la tensión eléctrica y flujos de energía dentro del vehículo híbrido.
- Simular condiciones de funcionamiento de un inversor para vehículos híbridos.
- Realizar la selección de los componentes eléctricos y electrónicos para el desarrollo del módulo didáctico.
- Construir un módulo didáctico donde se pueda verificar los parámetros programados y obtener datos de funcionamiento.
- Realizar pruebas de funcionamiento al módulo construido.
- Analizar los resultados obtenidos del módulo didáctico para la documentación del funcionamiento del módulo de entrenamiento para vehículos híbridos.

### **1.6. METAS**

- Recopilar información técnica-científica acerca de las propiedades, características y parámetros de operación de los vehículos híbridos.

- Construir un módulo didáctico que simule el 80% del funcionamiento del conjunto inversor utilizado en vehículos híbridos.

## 1.7. HIPÓTESIS

La simulación de módulos inversores para vehículos híbridos permitirá se verifiquen los diferentes parámetros de operación en los vehículos.

## 1.8. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

### 1.8.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Parámetros de operación de vehículos de híbridos

**Tabla 1.**

*Variable dependiente: Parámetros de operación de híbridos*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
<b>Los parámetros de operación del inversor son la conversión de CC en CA, lo contrario la conversión de CA en CC, y la elevación o reducción de voltaje que sirven para hacer funcionar las diferentes partes</b>	Tecnología	Voltaje	V	Medición	Pruebas de funcionamiento.
		Corriente	A	Medición	Pruebas de funcionamiento.
		Resistencia	$\Omega$	Medición	Pruebas de funcionamiento.
		Frecuencia	Hz	Medición	Pruebas de funcionamiento.

**CONTINÚA** 

---

que conforman los vehículos híbridos y eléctricos.

---

## 1.8.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Módulo didáctico

**Tabla 2.**

*Variable independiente: Módulo didáctico*

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
<b>El módulo didáctico simula la conversión, disminución y elevación del flujo de electricidad que se encuentra entre la batería y el motor eléctrico, además simula los flujos de energía dentro los vehículos híbridos.</b>	Tecnología	Circuito electrónico conversión CC a CA	V	Medición	Guía de pruebas
		Circuito electrónico conversión CA a CC	V	Medición	Guía de pruebas
		Circuito electrónico conversión CC a CC	V	Medición	Guía de pruebas

---

## 1.9. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL PROYECTO

Para la investigación de los parámetros de operación del sistema de inversión de vehículos híbridos a través de la construcción de módulos didácticos, se utilizó los métodos de investigación científica que se encuentran a continuación:

- **Método descriptivo**

Según (Abreu, 2014) “El método descriptivo busca un conocimiento inicial de la realidad que se produce de la observación directa del investigador y del conocimiento que se obtiene mediante la lectura o estudio de las informaciones aportadas por otros autores. Se refiere a un método cuyo objetivo es exponer con el mayor rigor metodológico, información significativa sobre la realidad en estudio con los criterios establecidos por la academia”.

Con el método descriptivo se busca información sobre los inversores que actualmente se encuentran en el mercado y los modos de operación que tienen, para poder realizar la simulación de acuerdo con la necesidad de cada vehículo sea híbrido o eléctrico.

- **Método inductivo**

“El método inductivo es utilizado en la ciencia experimental. Consiste en basarse en enunciados singulares, tales como descripciones de los resultados de observaciones o experiencias para plantear enunciados universales, tales como hipótesis o teorías. Ello es como decir que la naturaleza se comporta siempre igual cuando se da las mismas

circunstancias, lo cual es como adquirir que bajo las mismas condiciones experimentales se obtienen los mismos resultados, base de la repetitividad de las experiencias, lógicamente aceptado”. (Cegarra, 2012)

Se aplica el método inductivo en esta investigación basándonos en la hipótesis de realizar pruebas para verificar los parámetros de operación del sistema inversor de vehículos híbridos y eléctricos a través de la construcción de los módulos didácticos.

- **Método deductivo**

Según (Abreu, 2014) “El método deductivo permite determinar las características de una realidad particular que se estudia o el resultado de los atributos o enunciados contenidos en proposiciones o leyes científicas de carácter general formuladas con anterioridad. Mediante la deducción se derivan las conclusiones generales aceptadas.”

Mediante este método se comprueba los parámetros de operación de los módulos del inversor que tenga los rangos de funcionamiento ideales para que pueda funcionar en los vehículos sin problemas.

- **Método experimental**

Según (Rodríguez & Valldeoriola, 2014) “El método experimental se caracteriza por la manipulación intencional de unas o más variables independientes, para observar, medir su influencia en una o más variables dependientes, y por la asignación aleatoria de los sujetos.”

Se utilizó el método experimental para poder reflejar los resultados de la simulación al ir variando los parámetros de operación de los diferentes circuitos de los que consta

el inversor y ver qué modo de operación es el más factible para poder obtener resultados operativos correctos.

- **Método de medición**

“En la investigación científica los fenómenos a explicar y por lo tanto a medir tienen como base, la teoría. La teoría juega un papel clave en la manera de establecer los elementos en el proceso de medición. Esta circunstancia obliga al investigador a conocer a profundidad la teoría que orienta su pregunta de investigación, es necesario, tener claridad en las relaciones que existen en sus constructos, para que pueda estar preparado para utilizar instrumentos de medición confiables y válidos”. (Mendoza & Garza, 2009)

Con el método de medición se verifica los parámetros de operación a la salida del inversor sean los indicados, se obtendrán valores de voltaje y corriente que en cada modo de operación del inversor para que pueda distribuir a cada uno de las partes en los vehículos.

- **Método analítico**

Según (Abreu, 2014) “Es un método fundamental para toda investigación científica o académica y es necesario para realizar operaciones teóricas como son la conceptualización y la clasificación.”

Se aplica el método analítico en la investigación debido a que hay diferentes circuitos en el inversor y se debe clasificar todos los circuitos que se vayan a utilizar dependiendo de las necesidades de cada vehículo.

- **Método de matematización**

Mencionan (Sotomayor & Espinoza, 2014) que “el método de matematización generaliza el aspecto cuantitativo de los fenómenos, compara las magnitudes medibles y los procesos lógicos que representan la información a través de números. La matematización está constituida por los métodos estadísticos y el cálculo de las probabilidades. Los métodos estadísticos se ocupan de las técnicas y procesos estadísticos con la finalidad de probar las hipótesis; el cálculo de probabilidades es el conjunto de reglas que permiten calcular las probabilidades que existen para que ocurra un fenómeno.”

Se aplica este método para comparar los valores obtenidos en la simulación con los valores reales de funcionamiento, como voltaje y corriente, y para poder calcular los valores de las resistencias a utilizar en cada circuito del inversor.

### Tabla 3.

*Metodología, instrumentación y laboratorios donde se va a realizar la investigación*

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
<b>Descriptivo</b>	El método descriptivo busca un conocimiento inicial de la realidad que se produce de la observación directa del investigador y del conocimiento que se obtiene mediante la lectura o estudio de las informaciones aportadas por otros autores. Se refiere a un método cuyo objetivo es exponer con el mayor rigor metodológico, información significativa sobre la realidad en estudio con los criterios establecidos por la academia. (Abreu, 2014)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Artículos</li> <li>• Tesis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biblioteca</li> </ul>

**CONTINÚA** 

---

Con el método descriptivo se va a buscar información sobre los inversores que actualmente se encuentran en el mercado y los modos de operación que tienen, para poder realizar la simulación de acuerdo con la necesidad de cada vehículo sea híbrido o eléctrico.

**Inductivo**

El método inductivo es utilizado en la ciencia experimental. Consiste en basarse en enunciados singulares, tales como descripciones de los resultados de observaciones o experiencias para plantear enunciados universales, tales como hipótesis o teorías. Ello es como decir que la naturaleza se comporta siempre igual cuando se da las mismas circunstancias, lo cual es como adquirir que bajo las mismas condiciones experimentales se obtienen los mismos resultados, base de la repetitividad de las experiencias, lógicamente aceptado. (Cegarra, 2012)

Se aplica el método inductivo en esta investigación basándose en la hipótesis de realizar pruebas para verificar los parámetros de operación del sistema inversor de vehículos híbridos y eléctricos a través de la construcción de los módulos didácticos.

- Módulos didácticos del inversor
- Multímetro
- Laboratorio de Autotrónica de la Universidad

**CONTINÚA** 

<b>Deductivo</b>	<p>Según (Abreu, 2014) “El método deductivo permite determinar las características de una realidad particular que se estudia o el resultado de los atributos o enunciados contenidos en proposiciones o leyes científicas de carácter general formuladas con anterioridad. Mediante la deducción se derivan las conclusiones generales aceptadas.”</p> <p>Mediante este método se comprueba los parámetros de operación de los módulos del inversor que tenga los rangos de funcionamiento ideales para que pueda funcionar en los vehículos sin problemas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Módulos didácticos del inversor</li> <li>• Multímetro</li> <li>• Escáner Automotriz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laboratorio de Autotrónica de la Universidad</li> </ul>
<b>Experimental</b>	<p>Según (Rodríguez &amp; Valdeoriola, 2014) “El método experimental se caracteriza por la manipulación intencional de unas o más variables independientes, para observar, medir su influencia en una o más variables dependientes, y por la asignación aleatoria de los sujetos.”</p> <p>Se utilizó el método experimental para poder reflejar los resultados de la simulación al ir variando los parámetros de operación de los diferentes circuitos de los que consta el inversor y ver qué modo de operación es el más factible para poder obtener resultados operativos correctos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Módulos didácticos del inversor</li> <li>• Circuitos electrónicos diseñados</li> <li>• Multímetro</li> <li>• Escáner Automotriz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laboratorio de Autotrónica de la Universidad</li> </ul>
<b>Medición</b>	<p>En la investigación científica los fenómenos a explicar y por lo tanto a medir tienen como base, la teoría. La teoría juega un papel clave en la manera de establecer los elementos en el proceso de medición. Esta circunstancia obliga al investigador a conocer a profundidad la teoría que orienta su pregunta de investigación, es necesario, tener claridad en las relaciones que existen en sus</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Módulos didácticos del inversor</li> <li>• Multímetro</li> <li>• Escáner Automotriz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE</li> </ul>

**CONTINÚA** 

---

constructos, para que pueda estar preparado para utilizar instrumentos de medición confiables y válidos. (Mendoza & Garza, 2009)

Con el método de medición se verifican los parámetros de operación a la salida del inversor sean los indicados, se obtendrán valores de voltaje y corriente que en cada modo de operación del inversor para que pueda distribuir a cada uno de las partes en los vehículos.

### **Analítico**

Según (Abreu, 2014) "Es un método fundamental para toda investigación científica o académica y es necesario para realizar operaciones teóricas como son la conceptualización y la clasificación." Se aplica el método analítico en la investigación debido a que hay diferentes circuitos en el inversor y se debe clasificar todos los circuitos que se vayan a utilizar dependiendo de las necesidades de cada vehículo.

- Tesis
- Artículos
- Excel

- Biblioteca

### **Matematización**

Mencionan (Sotomayor & Espinoza, 2014) que "el método de matematización generaliza el aspecto cuantitativo de los fenómenos, compara las magnitudes medibles y los procesos lógicos que representan la información a través de números. La matematización está constituida por los métodos estadísticos y el cálculo de las probabilidades. Los métodos estadísticos se ocupan de las técnicas y procesos estadísticos con la finalidad de probar las hipótesis; el cálculo de probabilidades es el conjunto de reglas que permiten calcular las probabilidades que existen para que ocurra un fenómeno."

- Computadora
- Excel
- Circuitos electrónicos

Laboratorio de Autotrónica de la Universidad

---

**CONTINÚA** 

---

Se aplica este método para comparar los valores obtenidos en la simulación con los valores reales de funcionamiento, como voltaje y corriente, y para poder calcular los valores de las resistencias a utilizar en cada circuito del inversor.

---

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Introducción**

En la actualidad la tecnología con respecto a los vehículos a dado grandes saltos, por lo que ahora hay en el circulando en el mercado vehículos híbridos y eléctricos con los que se elimina parcial o totalmente el uso de combustibles, para poder mover estos vehículos se hace necesario colocar baterías, motores eléctricos y otros elementos que hacen posible su funcionamiento.

Según (Araujo, 2015) “Las exigencias actuales en el enfoque automotriz son cada vez mayores, por las metas trazadas de los fabricantes, tal es el caso de presenciar un vehículo que utilizan dos tipos de energía, más comúnmente llamados híbridos. Lo extraordinario es que para lograr el funcionamiento del motor y movimiento del vehículo se usan dos tipos de energías de manera coordinada y solicitada se realiza con una tecnología cada vez más desarrollada”.

“Los vehículos por lo general disponen de un o dos motores eléctricos, los cuales pueden combinarse con otras tecnologías que pueden ser: celdas de combustible de hidrógeno, motores de aire comprimido y motores de combustión interna. Se consideran más utilizados los vehículos híbridos con motores eléctricos combinado con un motor de combustión interna. Dependiendo del tipo de uso con el que se los diseñó, en los

transportes híbridos su tren motriz, se puede conectar en serie, en paralelo o mixto.” (Torres, Urriolagoitia, Hernández, & Romero, 2010)

Dicen (Cajamarca & García, 2010) que “Los híbridos se equipan con motores de combustión interna, diseñados para funcionar con su máxima eficiencia. Si se genera más energía de la necesaria, el motor eléctrico se usa como generador y carga las baterías del sistema. En otras situaciones, funciona sólo el motor eléctrico, alimentándose de la energía guardada en la batería. En algunos híbridos es posible recuperar la energía cinética al frenar, que suele disiparse en forma de calor en los frenos, convirtiéndola en energía eléctrica.”

Debido a la necesidad de reducir la emisión de contaminantes de los vehículos y también que los combustibles han llegado a unos elevados costos en los últimos tiempos, desde hace algunos años se han comenzado a introducir en la mayoría de países, tecnologías alternativas, las cuales permitan mejorar las prestaciones del vehículo reduciendo los contaminantes, para comenzar a eliminar el uso de combustibles en el transporte.

## **2.2. Clasificación de los vehículos híbridos**

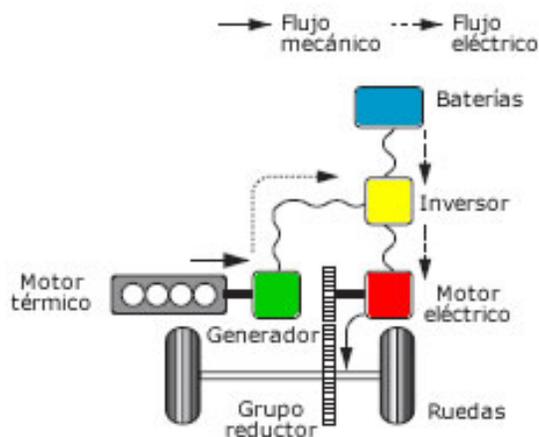
Los vehículos híbridos se clasifican en tres tipos, que depende de la manera en que se encuentren conectados los motores eléctricos con los motores de combustión:

- Vehículos híbridos en serie

- Vehículos híbridos en paralelo
- Vehículos híbridos mixtos.

### 2.2.1. Vehículos híbridos en serie

“Los vehículos híbridos en serie son impulsados totalmente por el motor eléctrico, debido a la electricidad que es entregada por el motor de combustión interna, el cual impulsa también a un generador eléctrico. La batería en esta configuración solo actúa como acumulador de la electricidad sobrante y, cuando ya se encuentra cargada, consiente la desconexión temporal del motor de combustión interna, así, el vehículo híbrido en serie puede moverse por un momento de manera totalmente eléctrica”. (Fitsa, 2006)



**Figura 2.** Híbrido en serie

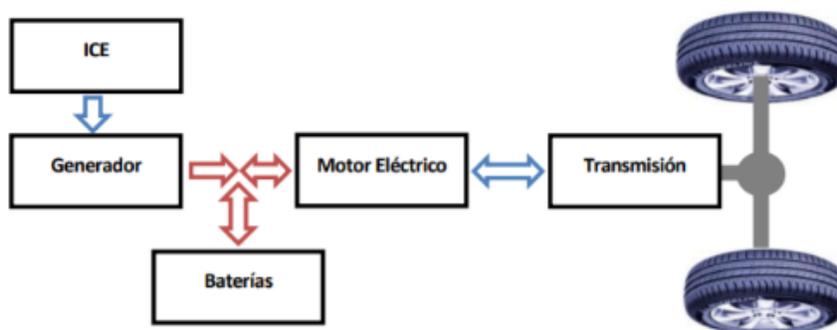
Fuente: (Méndez, Cely, & Willan, 2016)

Las características de la configuración de vehículos híbridos en serie son:

a) Con el motor de combustión interna, alimentado al motogenerador, este se encarga de accionar al motor eléctrico para que se mueva el vehículo y cargue la batería de alta tensión.

b) La batería de alta tensión es la que se encarga de alimentar al motor eléctrico, y, también como el motor eléctrico puede ser generador, este actúa como freno regenerativo, y el motor eléctrico a su vez puede recargar la batería.

La configuración del vehículo en serie corresponde a una extensión de un vehículo eléctrico puro. Posee un generador que se acopla al motor de combustión interna debido a que la autonomía de la batería en los automóviles con configuración en serie es muy reducida, el motor de combustión interna opera cargando las baterías cuando el nivel de carga es inferior al SOC mínimo. En esta configuración la conexión mecánica entre la ICE y las ruedas se elimina disminuyendo las pérdidas de energía.



**Figura 3.** Configuración en serie

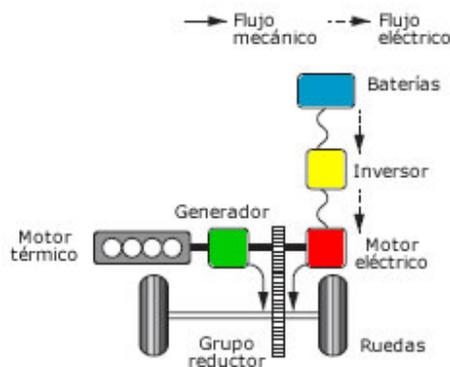
Fuente: (Urrutia, 2011)

## 2.2.2. Vehículos híbridos en paralelo

Para (Fitsa, 2006) en “los vehículo híbridos con diseño en paralelo, los dos motores, el motor eléctrico y el motor de combustión interna trabajan al mismo tiempo para impulsar el movimiento del vehículo. En esta configuración el sistema de tracción no es muy complejo en la parte mecánica, debido a que los dos motores, el motor eléctrico y el motor de combustión trabajan en. Esto significa que existe una notable simplificación a la hora de desarrollar una hibridación por parte de cualquier fabricante.

Las características de la configuración en serie se detallan a continuación:

- a) Mediante el motor eléctrico, el motor combustión interna puede mover al vehículo, y también, puede cargar la batería funcionando como un alternador.
- b) La batería alimenta al motor eléctrico y debido a que poseen freno regenerativo, el motor eléctrico también puede recargar la batería.”

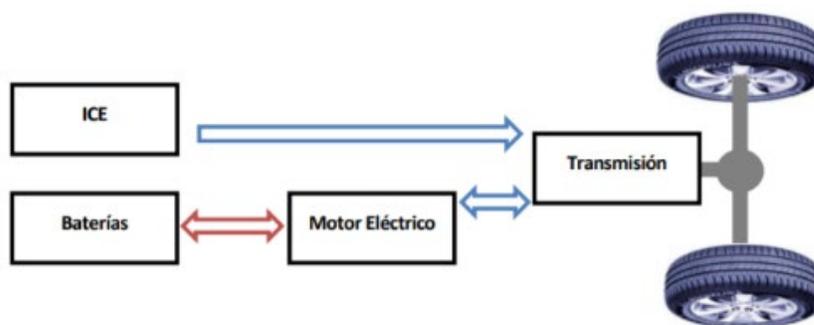


**Figura 4.** Híbrido en paralelo

Fuente: (Méndez, Cely, & Willan, 2016)

“Dentro de los vehículos híbridos paralelos se pueden distinguir dos tipos: los que emplean un generador independiente para cargar las baterías y los que aprovechan el motor eléctrico para funcionar también como generador, este último es el encargado del freno regenerativo permitiendo la desaceleración del vehículo y logrando recuperar energía mientras el motor eléctrico actúe como generador”. (Méndez, Cely, & Willan, 2016)

En la configuración en paralelo la energía es entregada de manera conjunta a un sistema de transmisión especial, la cual se encarga de sumar las contribuciones paralelas de torque que son generados por el motor térmico y por el motor eléctrico, de manera que cuando necesita una potencia constante de salida el sistema híbrido trabaja en el punto de máxima eficiencia.



**Figura 5.** Configuración en paralelo

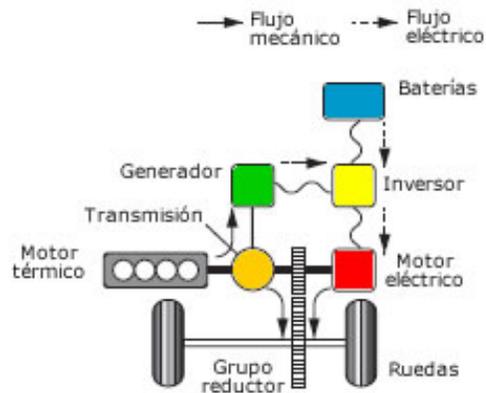
Fuente: (Urrutia, 2011)

### 2.2.3. Vehículos híbridos mixtos

“Mediante la configuración mixta existe la posibilidad de poder impulsar al automóvil solamente con motor de combustión interna o con el motor eléctrico, o mediante la combinación de los dos motores. Los vehículos mixtos son la combinación de los híbridos en serie y los híbridos en paralelo, donde los híbridos en serie conectan directamente el motor de combustión interna a las ruedas, la transmisión de los híbridos mixtos es muy sencilla tanto que el motor de combustión interna y los motogeneradores están interconectados a través de un sistema de engranajes diferencial que, a su vez, está conectado a la transmisión del vehículo.

Las características de la configuración mixta se detallan a continuación:

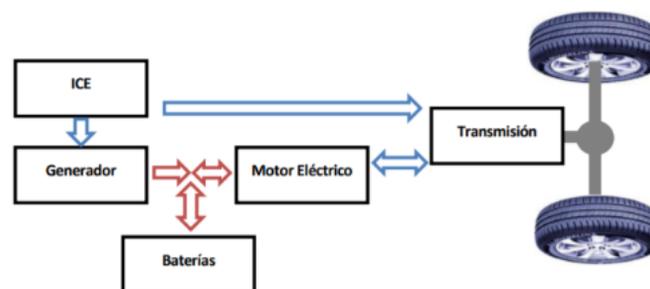
- a) Mediante la transmisión el motor de combustión impulsa al vehículo.
- b) El motor de combustión interna impulsa al generador para producir electricidad. Y esta electricidad se usa para cargar las baterías o para impulsar al motor, dependiendo de la necesidad del vehículo.
- c) La batería de alta tensión alimenta al motor eléctrico y cuando actúa como generador carga las baterías mediante el freno regenerativo.
- d) El motor eléctrico mueve las ruedas mediante el conjunto diferencial.” (Fitsa, 2006)



**Figura 6.** Híbridos mixtos

Fuente: (Méndez, Cely, & Willan, 2016)

La configuración mixta es una mezcla de las dos configuraciones, en serie y paralelo, al que se puede sumar otros componentes que mejoran sus prestaciones, pero con esto aumenta la complejidad y el costo. En este sistema el motor de combustión interna es capaz de contribuir torque al eje motriz o al generador las cuales cargan las baterías directamente.



**Figura 7.** Configuración mixta

Fuente: (Urrutia, 2011)

## **2.3. Modos de funcionamiento eléctrico de vehículos híbridos**

Para (Flores, 2004) “El sistema eléctrico de un vehículo híbrido (VH) tiene básicamente dos modos de funcionamiento modo marcha y modo recarga. Estos modos de funcionamiento se refieren a la forma en que opera el convertidor bidireccional cuando el vehículo comienza a funcionar y la forma en la que después funciona una vez que el vehículo ya está en operación permanente”.

### **2.3.1. Modo marcha**

Según (Flores, 2004) “Para que el sistema eléctrico de un vehículo híbrido se ponga en funcionamiento, lo debe hacer tomando energía de la batería de baja tensión. La manera de conseguirlo, es utilizando el convertidor que en éste caso eleva la tensión. La tensión llega hasta un nivel en el que el sistema eléctrico de alta tensión se pueda poner en marcha. Pueden existir restricciones de tiempo de carga que dificulten el diseño del convertidor.

La puesta en marcha del vehículo, también depende del tipo de sistema que se tenga en el lado de alta tensión (baterías, condensadores o celdas de combustible). A continuación, se explica la puesta en marcha del sistema en cada uno de los casos”:

- “Puesta en marcha con celdas de combustible. - En el sistema que cuenta con celdas de combustible, el hidrógeno está almacenado en un contenedor a alta presión. Para inicializar éste sistema, la energía almacenada en la batería de baja tensión es

transferida al bus de alta tensión a través del convertidor bidireccional. Con ésta transferencia de energía se pone a funcionar un compresor de aire que libera oxígeno a la celda de combustible. El oxígeno interactúa con el hidrógeno que provee el contenedor de alta presión y se genera el voltaje para el bus de alta tensión. Durante éste proceso, para poner en marcha el vehículo, la energía se transfiere del bus de baja tensión hacia el bus de alta tensión y el convertidor funciona como un convertidor elevador "Boost".

- Puesta en marcha con batería de alta tensión. - Aunque no se utiliza por ahora, utilizar batería en el lado de alta tensión sería una forma adecuada de operar el Vehículo Híbrido. Esta batería de alta tensión por si misma podría poner en marcha el vehículo. El convertidor solo se utilizaría en el caso de que la batería de alta tensión no tuviera la carga suficiente para conseguir poner en marcha el vehículo. Esta configuración resultaría muy cómoda, ya que, al contar con batería en ambos lados del convertidor, la topología que se utilice no tendría que trabajar con tensiones de salida de 0V". (Flores, 2004)

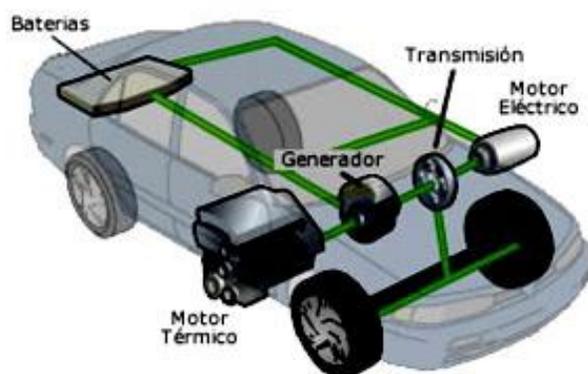
### **2.3.2. Modo recarga**

Según (Flores, 2004) "Este modo de operación se presenta una vez que el vehículo ya ha inicializado su marcha y es movido por el motor de explosión. Una vez que el vehículo se pone en movimiento, existe una regeneración de energía por parte del

sistema mecánico del vehículo que devuelve energía tanto al bus de alta tensión como a la batería de baja tensión. En el caso de la recarga de la batería de baja tensión, se hace a través del mismo convertidor que en un principio se utilizó para poner en marcha el vehículo. Este proceso de carga de la batería de baja tensión, obliga que el convertidor deba ser bidireccional. Durante este proceso de carga de la batería de baja tensión, el convertidor funciona como un convertidor reductor Buck”.

#### 2.4. Componentes principales del vehículo híbrido

Los vehículos híbridos se componen de varias partes dentro de los elementos importantes de un vehículo híbrido se encuentra el motor de combustión interna, los Motores Generadores, la batería de alta tensión HV y el inversor.



**Figura 8.** Elementos importantes en el vehículo híbrido

Fuente: (Cajamarca & García, 2010)

### **2.4.1. Motor de combustión interna**

En los vehículos híbridos el motor de combustión interna que se colocan tienen ciclo Atkinson, tiene un mecanismo que logra bajar el consumo de combustible. El ciclo Atkinson tiene relaciones de compresión más alta, con esto se consigue que la detonación de la mezcla de combustible y aire llegue mucho antes que en el ciclo Otto, con esto se logra eficiencia en el rendimiento termodinámico, que se lo consigue retrasando el cierre de las válvulas de admisión y esto permite vuelvan a fluir dentro de la cámara de combustión, lo cual permite una relación de compresión mayor.

El motor de combustión interna entra en funcionamiento cuando se aumenta la velocidad o se solicita más potencia en el automóvil, o cuando la computadora del vehículo híbrido detecta que el SOC se encuentra en el mínimo. El proceso de encendido del motor de combustión interna lo realiza de forma automática y sin que el conductor note el cambio o el trabajo de uno u otro motor, esto solo se puede observar en el monitor que se encuentra dentro del vehículo, donde informa a los ocupantes de los flujos de energía térmica y eléctrica, el estado de carga de la batería y cuando se produce la recuperación de energía por parte del freno regenerativo. La recuperación de energía presenta grandes ventajas en el auto porque no se desperdicia mucha energía, debido a que cuando se frena se recargan las baterías. (Cajamarca & García, 2010)



**Figura 9.** Motor de combustión interna ciclo Atkinson

Fuente: (Cajamarca & García, 2010)

#### **2.4.2. Moto Generadores**

El motogenerador debe ser capaz de generar energía eléctrica de una manera que se ajuste rápidamente con las condiciones de funcionamiento del vehículo en el instante que se lo necesite y esto debe hacerlo de tal manera que su eficiencia sea elevada. Los generadores son dispositivos que transforman en electricidad el trabajo del motor de combustión interna y también pueden funcionar como motor de arranque para el motor térmico. Los motogeneradores son de corriente alterna trifásica.

En el sistema de motogenerador de los vehículos híbridos Toyota Prius se encuentran dos motores generadores trifásicos que trabajan en alta tensión, aproximadamente 500 VCA, cada uno de estos cumple con una función específica y son

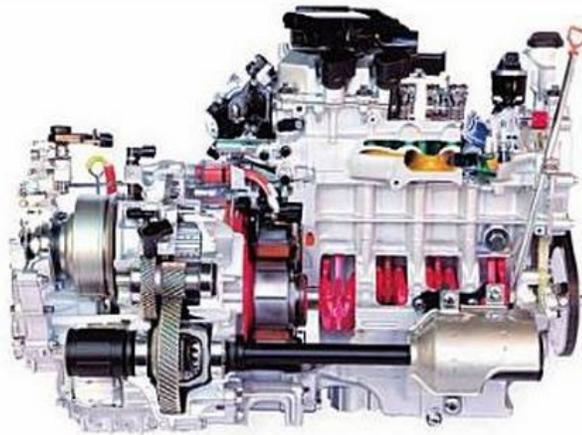
denominados como MG1 y MG2. La corriente alterna es lograda a través del inversor, en el caso del modelo Toyota Prius, el motogenerador 1 (MG1) es la encargada de generar carga que se distribuye entre la batería y el motogenerador 2 (MG2). El motogenerador 2 (MG2) se encarga de alternar con el motor de combustión interna el movimiento de las ruedas, ya sea marcha hacia adelante o marcha hacia atrás (reversa), la unidad de control electrónica de todo el sistema híbrido controla el funcionamiento de cualquier condición en la se encuentre el vehículo. (Romo & Hidalgo, 2013)

“Los motores/generadores eléctricos funcionan con corriente alterna trifásica y la batería del Prius produce corriente continua, por lo que es necesaria una electrónica que haga esa conversión; es por ello que cada MG tiene un "inversor" que realiza esta función.

Considerando la función de los motogeneradores se crea una gran eficiencia al sistema debido a que esta energía que antes se perdía durante la fricción en las pastillas de freno, ahora es aprovechada como carga para la batería, de todas formas, el vehículo cuenta con un sistema hidráulico de frenado que opera de forma paralela similar a cualquier vehículo con sistema ABS, solo que en este caso en particular también incorpora control electrónico de la presión de frenado EBD.

Para el arranque del motor de combustión interna existen varias estrategias que incorporan los motores/generadores, puesto que no se cuenta con un motor de arranque convencional, en estado detenido al arranque lo maneja el motor/generador No. 1 y el movimiento del vehículo se logra por una acción del MG1 y MG2, todos los movimientos

del vehículo son posibles por la acción de un sistema de transmisión continua que incorpora un eficiente sistema de engranajes planetarios que relaciona el movimiento del vehículo con el motor de combustión interna y los motores/generadores MG1 y MG2". (Merchán, 2015)



**Figura 10.** Moto-generadores Toyota Prius

Fuente: (Merchán, 2015)

### **2.4.3. Batería de alta tensión HV**

“En general, todas las baterías tienen como propósito el almacenamiento de la energía eléctrica; sin embargo, el desarrollo tecnológico presente en las baterías de los sistemas híbridos, es una tecnología madura en comparación con las baterías convencionales. Las baterías híbridas están formadas por nuevas aleaciones, las cuales son extremadamente caras y completamente inviables para su comercialización en la

actualidad. Además, en la mayoría de casos, tienen un ciclo de vida más corta que los demás elementos del sistema híbrido, lo cual provoca una cara sustitución, posteriormente”. (Romo & Hidalgo, 2013)

“Algunas baterías HV están formadas por un paquete de Módulos que consiste de 28 módulos de baterías de Ni-MH de bajo voltaje (7.2 voltios) conectados en serie para producir aproximadamente 201.6 voltios. Cada módulo de baterías de Ni-MH tiene diseño anti derrames y está en una caja hermética. El electrolito que se usa en el módulo de baterías de Ni-MH es una mezcla alcalina de potasio e hidróxido de sodio. El electrolito se absorbe en las placas de las celdas de la batería y normalmente no tendrá fugas, incluso en caso de una colisión”. (Gómez & Hidalgo, 2014)

“La corriente máxima que provee la batería de alto voltaje es de 80 amperios de descarga y 50 amperios de carga. La capacidad nominal de la batería es de 6.5 amperios – h; sin embargo, el control electrónico del vehículo Toyota Prius sólo permite un 40% de esta capacidad para ser utilizado, con el fin de prolongar la vida útil de la batería. Además, se restringe en la batería de alto voltaje, en la condición de carga, que varíe únicamente entre 40% y 80% de la carga total nominal. El híbrido Prius posee además una batería auxiliar de plomo-ácido, la misma que se encuentra en el lado izquierdo del vehículo. Esta batería suministra 12 VDC y 28 Amperios – h, el propósito de la batería auxiliar es suministrar de energía eléctrica a todos los accesorios y a la electrónica presente en el vehículo cuando el sistema híbrido se encuentra apagado y cuando el relé de alto voltaje

de la batería principal no está energizado. Si funciona el sistema híbrido la tensión de alimentación de 12 VDC proviene del sistema de alto voltaje por medio de un transformador de CC a CC. Además, se puede cargar esta batería auxiliar, si es necesario, desde la batería de alta tensión”. (Romo & Hidalgo, 2013)



**Figura 11.** Módulos de la batería de alto voltaje Toyota Prius

Fuente: (Gómez & Hidalgo, 2014)

#### **2.4.4. Inversor**

“El sistema inversor es el encargado de enviar la corriente que se encuentra en la batería de alto voltaje hacia los motogeneradores MG1 y MG2, también dentro del inversor se encuentra un convertidor de corriente continua-continua, el cual se encarga de alimentar al sistema de batería convencional de 12 V. la principal función del inversor es convertir el voltaje de la batería principal que es de 201.6 VCC, la convierte en voltaje

alterno mediante la activación y desactivación de los transistores IGBT en 201.6 VAC y después se encarga de elevar este voltaje a 500 VAC que lo utiliza para alimentar a los motores eléctricos. Además, tiene otras funciones adicionales, como es de alimentar otro motor eléctrico el cual es para el sistema de aire acondicionado y también alimenta al sistema convencional de 12 voltios. Dentro del inversor, el diseño del circuito se divide en dos partes: una que se encarga de controlar el funcionamiento de los motogeneradores y la otra parte controla el motor eléctrico del aire acondicionado del vehículo y la parte de conversión de energía CC/CC para la batería de accesorios de 12V. En la parte de controlar el motor del aire acondicionado se la realiza mediante la transformación de corriente continua en alterna y no es necesario elevar la tensión porque el motor trabaja con 220 VAC.” (Barros, 2015)

“Todo el sistema, además, el motor generador 1 y el motor generador 2, es enfriado por un radiador que es especialmente diseñado para el sistema híbrido de enfriamiento del vehículo.” (Barros, 2015)

## **2.5. Sistema Inversor**

El inversor en los vehículos híbridos es una de las partes más esenciales para el sistema híbrido, debido a que mediante este se pueden mover los motores eléctricos y todos los accesorios dentro del automóvil, contiene una gran cantidad de componentes eléctricos y electrónicos. Debido a la gran cantidad de factores a controlar se hace

necesario una unidad de control electrónica que maneje todos los parámetros en el sistema híbrido. La computadora o unidad de control es la encargada de controlar el inversor y si hay alguna falla, generar diagnóstico del mismo, si es necesario dar códigos de falla.

Dentro del sistema inversor se puede encontrar varias etapas que se detallan a continuación:

- “La etapa que controla los dos motogeneradores (MG1 y MG2). Esta etapa es alimentada a través de la batería de alto voltaje HV, que tiene un voltaje de 220 VDC aproximadamente. A través de un circuito de potencia en los que actúan los transistores IGBT genera corriente alterna de trifásica, que es la que los motores eléctricos necesitan para poder moverse.
- La siguiente etapa es la que permite alimentar al motor eléctrico del aire acondicionado, así mismo, con el voltaje de la batería de alta tensión, genera corriente alterna trifásica para controlar el motor eléctrico de frecuencia variable. Este motor controla el sistema de aire acondicionado, debido a que motor de combustión interna no siempre pasa encendido se hace necesario en algunas condiciones de funcionamiento del híbrido.
- Otra etapa del inversor es la que contiene el convertidor CC/CC, la cual se alimenta de la batería de alta tensión, y convierte la tensión de 201.6 VDC a 12 VDC para mantener la carga a una batería adicional de 12 VDC.

- La etapa que permite la carga de la batería de alta tensión, se la realiza mediante los motogeneradores MG1 y MG2, que en esta etapa actúan como generadores. Y esto se lo consigue mediante los elementos electrónicos de potencia, como son los IGBT, los cuales se activan en sentido contrario para cargar la batería.
- La última etapa es cuando el inversor controla el movimiento de MG1 que sirve como arranque para el motor de combustión interna. MG1 actúa como motor de arranque cuando detecta que la batería de alta tensión se encuentra por debajo de lo preestablecido del SOC". (Romo & Hidalgo, 2013)



**Figura 12.** Inversor

Fuente: (Cajamarca & García, 2010)

(Romo & Hidalgo, 2013) manifiestan que durante la operación del sistema híbrido el inversor genera calor y necesita evacuar este calor, para evacuar la alta temperatura

cuenta con un sistema de refrigeración por agua. De esta manera se logra que toda la electrónica presente cuente con el nivel de seguridad necesaria para su óptimo desempeño.



**Figura 13.** Sistema de refrigeración del inversor

Fuente: (Romo & Hidalgo, 2013)

### 2.5.1. Funciones del inversor

“Dentro del conjunto que se conoce como inversor se puede encontrar varias etapas o sistemas independientes, dentro de las funciones de este elemento se tienen, por ejemplo:

- Elevar la tensión de 220 V aproximadamente a una tensión de 500 VDC aproximadamente, esto lo logra con un circuito Amplificador.
- Con la tensión de 500VDC y usando la electrónica de potencia generar una corriente Alterna en tres fases para conseguir el movimiento de MG2 y MG1 de forma

independiente, dentro del inversor se consigue la etapa de potencia, pero el control está a cargo de la unidad de control del sistema HV.

- Permitir invertir la situación de operación de MG1 Y MG2, logrando por momentos convertirlos en generadores, y llevando esta carga hasta la batería de alta tensión HV.
- Mediante la utilización del voltaje de la batería de alta tensión, se genera una corriente alterna trifásica, la cual se utiliza para mover el motor eléctrico que opera el sistema compresor para el aire acondicionado.
- Permitir la carga de la batería de 12 V utilizando como fuente la carga de alta tensión de la batería HV, para esto utiliza un circuito conversor DC – DC incorporado en el mismo conjunto del inversor, toda la gestión es dada por la unidad de control electrónico del sistema híbrido HV”. (Cajamarca & García, 2010)

### **2.5.2. Aplicación de los inversores**

Según (Santos, Castro, & Corral, 2012) “La mayoría de las aplicaciones de las fuentes renovables de energía cuentan con una etapa de conversión, o sea, utilizan convertidores o inversores para su funcionamiento. Debido a su bajo costo, alta eficiencia, robustez, especificación de alta tensión y corriente, estos convertidores CA-CD se usan mucho, en casi todas las transmisiones de CD en alta tensión y en muchas aplicaciones industriales tales como: control de elevadores; propulsores de velocidad

variable; interruptores estáticos; control de motores; recortadores e inversores; cargadores de baterías; circuitos de protección; control de potencia en calefactores eléctricos”.

### **2.5.3. Componentes principales del inversor**

Los elementos que se tomó en cuenta, son los que más relevancia aportan al inversor.

#### **a) Condensadores del circuito inversor**

(Barros, 2015) menciona que “Para las etapas donde se aplica electrónica de potencia, se hace necesario recargar la batería HV, y en esto están involucrados los condensadores, los que se encuentra en varias partes del circuito y son de importancia para la potencia y la disipación, con estos acumuladores podemos manipular la potencia.”

#### **b) Conjunto de resistencias**

Según (Barros, 2015) “en el circuito las resistencias son importantes debido a que protegen los elementos y sin ellas el circuito se puede quedar cargado después que se apaga en la condición OFF del automóvil y con tensión dentro del sistema puede provocar riesgos en el sistema y componentes.”

### c) Módulo IPM

Según (Barros, 2015) “el módulo IPM es el que controla los transistores IGBT, los cuales mediante la activación y desactivación y tiempos muy pequeños generan las ondas senoidales, además que tienen características eléctricas las cuales permiten trabajar a altas frecuencias y cargas grandes. El modulo sirve para proteger la memoria del circuito y mediante este se completa la salida de potencia a los motores.”



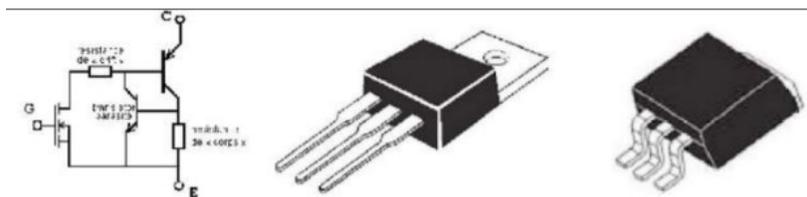
**Figura 14.** Módulo IPM

Fuente: (Barros, 2015)

### d) Transistores IGBT

“Mediante la conmutación de los transistores IGBT el inversor es capaz de transformar la corriente que recibe de la batería de alto voltaje. Esto lo logra gracias a la excitación del pack de 6 transistores internos que utilizan una compuerta aislada tipo MOSFET con la cual se controla la conmutación por voltaje y no por corriente. Como se trata de una activación por medio de MOSFET la excitación se tendrá en la base, y como

se emplea un bipolar en la llave electrónica ahí se tendrá colector para la fuente y emisor para el circuito a conmuta”. (Barros, 2015)



**Figura 15.** Transistor IGBT

Fuente: (Barros, 2015)

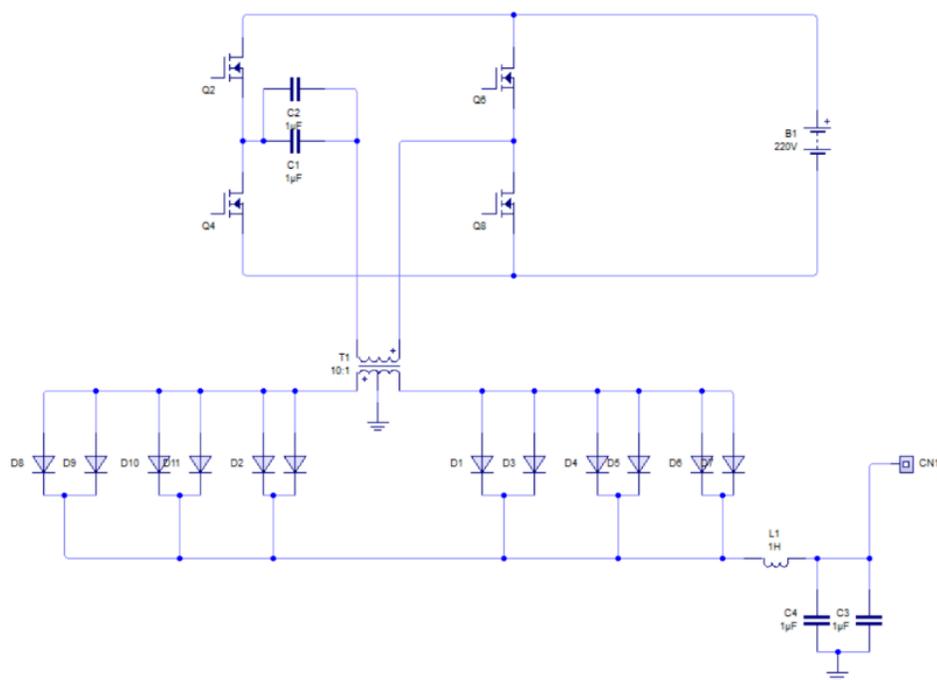
#### 2.5.4. Convertidor de corriente CC/CC

“la batería de accesorios también necesita de una fuente de alimentación para los componentes auxiliares en el automóvil, como las computadoras ECU, que comandan a los sensores y actuadores, el sistema de luces, todos estos elementos necesitan alimentarse con 12 V de corriente continua (CC). Y con el problema que la batería de alto voltaje tiene una tensión muy alta, no se puede conectar, se necesita un convertidor el cual ayude a transformar de 201.6 VCC a 12 V CC para recargar la batería auxiliar y actuar como alternador.

Los convertidores CC/CC pueden realizarse de dos formas diferentes: una es la modulación de ancho de pulso (PWM). Los sistemas de frecuencia fija tienen el problema que la frecuencia fija y variable hay un ruido que es generado por el interruptor. La forma

de conmutación con PWM produce más ruido que la que se la realiza con la conmutación ZCS”. (Barros, 2015)

Según (Meneses, 2018) “Dentro del circuito inversor, se encuentra un conjunto de resistencias, las cuales son importantes ya que, si esas no existieran, podría permanecer mucho tiempo cargado el circuito luego de que el vehículo se encuentre apagado, lo que se traduce en un riesgo inminente”.



**Figura 16.** Convertidor de corriente CC/CC

### 2.5.5. Elevador de tensión

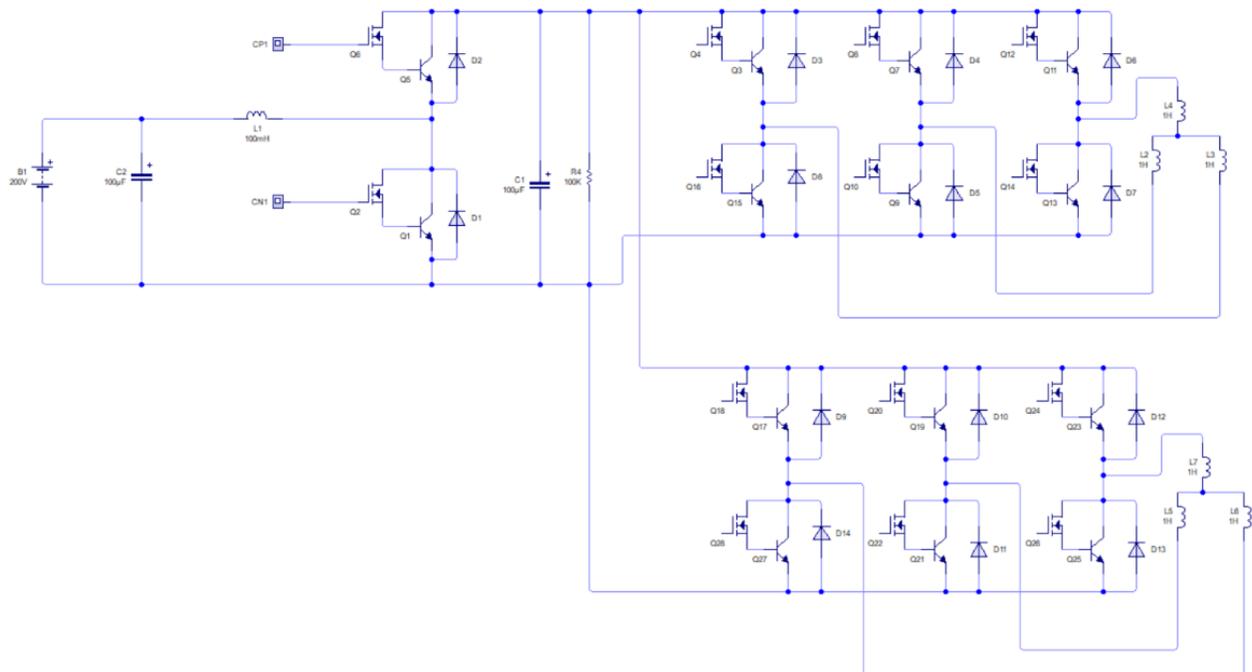
El circuito de elevación de tensión tiene el propósito de elevar la tensión nominal que hay en la batería de alto tensión HV, 201.6 VDC, a un voltaje máximo de alrededor de 500 VDC.

“El circuito de elevación de voltaje se compone de un reactor y el módulo IPM, que como ya se explicó contiene en su interior los transistores IGBT que su función es el control de la activación de la conmutación, en el reactor se guarda la energía. Con los dos elementos el convertidor funciona elevando la tensión.

Las funciones que tiene este elemento son:

- Cuando detecta que el vehículo está frenando tiene que activar el transistor permitiendo el paso de la tensión absorbida hacia la batería de alta voltaje cuando los motores trabajen como generadores en el momento del freno regenerativo.
- Es como un interruptor el cual mantiene la elevación y control de los motogeneradores.”

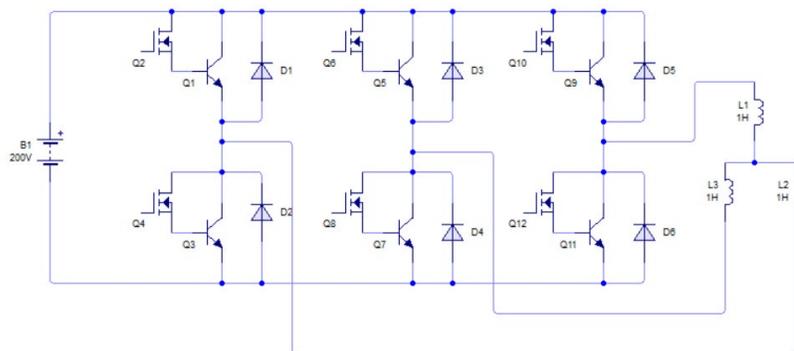
“Estos dos elementos, el módulo IPM y el reactor son los que producen la elevación de tensión. Cuando el motorgenerador 1 y el motorgenerador 2 son generadores, el sistema inversor transforma la corriente alterna (que puede estar entre 200 y 500 VAC) generada por MG1 o MG2 a corriente continua, y una vez transformada a continua la reduce según sea el caso hasta 200 VCC para cargar la batería de alta tensión HV.”  
(Barros, 2015)



**Figura 17.** Configuración del elevador de Tensión

### 2.5.6. Inversor del aire acondicionado

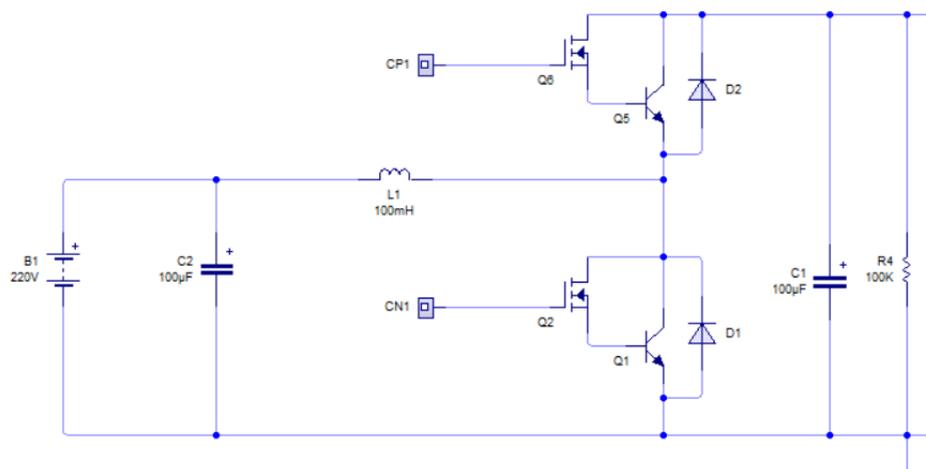
Según (Barros, 2015) “Dentro del conjunto del inversor se ha incluido un inversor exclusivo para el sistema de A/C que suministra la energía necesaria para impulsar el compresor eléctrico del sistema. Este inversor convierte la tensión de la batería de alto voltaje 201.6 V CC a 201.6 V CA necesarios para la operación del compresor del sistema A/C”.



**Figura 18.** Configuración del inversor del sistema de aire acondicionado

## 2.6. Funcionamiento del inversor

(Meneses, 2018) manifiesta que “el inversor, es un compuesto importante en un vehículo híbrido ya que incorpora elementos eléctricos y electrónicos, controlados por la unidad del sistema ECU HV; su función es convertir la corriente continua en alterna o viceversa, alimentando a las motos generadoras en la transmisión delantera y trasera. Para obtener un movimiento del motor generador se utiliza una corriente de tres fases, obtenida por un circuito amplificador que eleva la tensión de 220V a 650V de corriente directa a alterna, otra función que cumple este compuesto es que se convierte por instantes en generadores para elevar la carga de batería”.



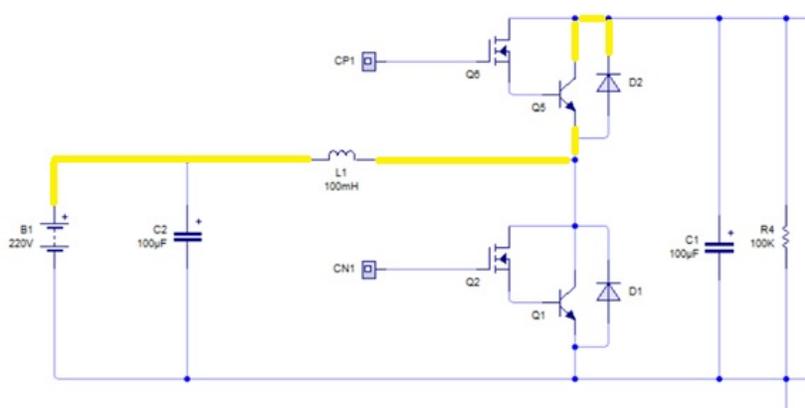
**Figura 19.** Circuito elevador de tensión

“Cuando la unidad de control del sistema Híbrido HV desactiva el transistor Q1, se genera una auto inducción en la bobina rectora. En este momento el Transistor Q5 se encuentra desactivado, quedando como único paso el diodo D2 el cual se polariza con una tensión positiva, es decir, solo pasara hacia el condensador tensiones positivas, y D1 no permite el paso de esa tensión positiva a masa puesto que no lograra ser polarizado.

Al pasar los picos de extra tensión a través del diodo se llega al conjunto de condensadores los cuales ayudan a estabilizar esta tensión”. (Augeri, 2009)

Para la operación del IPM en la estrategia de carga de la batería, cada una de las fases de los motogeneradores operan corriente alterna, esta es generada por el inversor

y va hacia uno de los motogeneradores cuando trabaje como motor eléctrico, pero por momentos este va a generar energía eléctrica usando por ejemplo el movimiento de vehículo que se denomina freno regenerativo. En ese momento funcionara como generador y en ese caso es MG1 o MG2 quienes generen la corriente alterna. Esta corriente debe entrar a la batería como corriente directa.



**Figura 20.** Circuito de carga de la batería

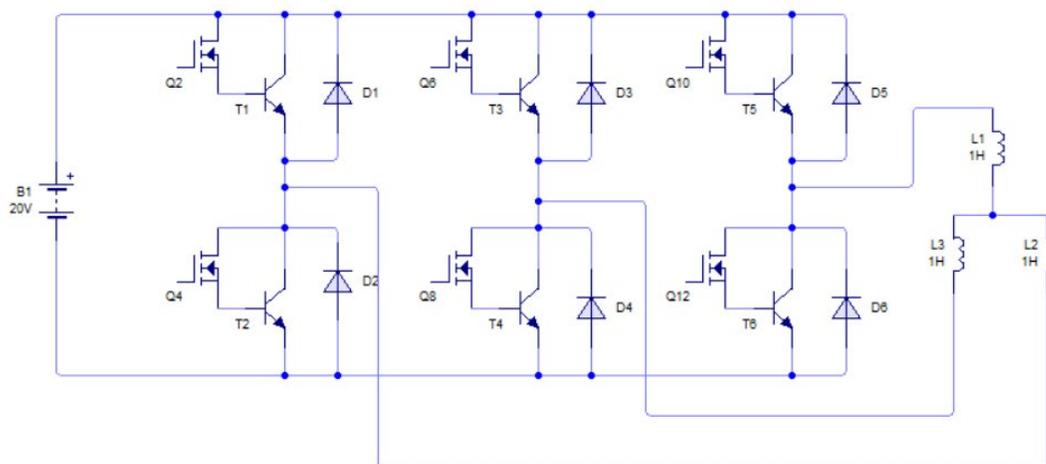
“La tensión para que ingrese debe ser mayor que la de la batería HV como primera medida, luego cuando llegue a la IPM esta tensión no podría pasar directamente puesto que el diodo D2 no está correctamente polarizado. Es en ese instante cuando ECU del sistema híbrido no activa a T1 y activa al transistor Q5 para crear el paso de tensión necesaria.

En ese momento comienza a ingresar carga a la batería, que pasa por el reactor, que tiene una baja resistencia, y no es tanta la caída de tensión”. (Augeri, 2009)

### **Activación de los motogeneradores**

“El motor trifásico se compone fundamentalmente de un rotor y un estator. Ambas partes están formadas por un gran número de láminas ferromagnéticas, que disponen de ranuras, en las cuales se alojan los devanados estatóricos y rotóricos respectivamente. Al alimentar el bobinado trifásico del estator, con un sistema de tensiones trifásicas, se crea un campo magnético giratorio, el cual induce en las espiras del rotor una fuerza electromagnética, y como todas las espiras forman un circuito cerrado, circula por ellas una corriente, obligando al rotor a girar en el mismo sentido que el campo giratorio del estator.

Para la activación de estos motores y representar el arreglo de estrella del motor en tres fases se va a utilizar bobinas. En la figura inferior se puede observar el conjunto de los transistores IGBT y como se conecta cada fase del motor. Se muestra cómo se genera la inversión de la corriente”. (Augeri, 2009)



**Figura 21.** Circuito de control de motores trifásicos

“En primera medida se van a activar los IGBT 1, 4, 6 y al activarse el transistor 1 lleva el positivo que del colector y así lo traslada hacia la fase V. En ese instante se puede ver que el número 4 cambia al negativo de la fase W, y al mientras está activado el transistor número 6 se pone el negativo en la fase U, cuando se desee invertir la corriente sobre las bobinas de los Motores, se debe activar los transistores 2, 3,5, de esta manera al activarse el transistor número 2 se hace negativa a la fase V, la parte negativa la tiene el emisor y lo conmuta mediante el colector.

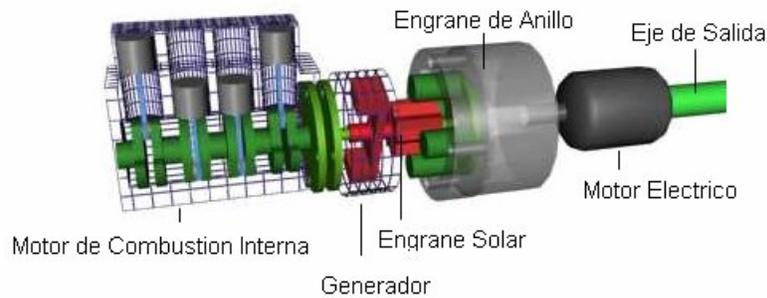
Quando se activa el transistor número 3, lleva el positivo a la fase V, el positivo lo tiene el colector y lo pasa a la fase mediante el emisor, y en el momento que se activa el

transistor 5, este conmutara positivo también a la fase U, el colector lo recibe y lo pasa a la fase mediante el emisor.” (Augeri, 2009)

## **2.7. Transmisión**

(Zelaya, 2006) manifiesta que “la transmisión en un híbrido realiza la misma función básica que en un vehículo convencional, pero para poder realizar esa función es mucho más compleja pues, incorpora el motor eléctrico, diferencial y generador en la mayoría de los casos. Algunos híbridos como el Honda Insight tienen transmisiones convencionales; sin embargo, la transmisión de Honda no es igual a la de un auto de cambios manuales pues se parece más a la de un auto Formula 1. Ningún vehículo híbrido de la actualidad tiene cambios de marcha manuales pues, no es posible debido a la velocidad a la que tendría que reaccionar el piloto”.

“En un sistema híbrido para que llegue a funcionar correctamente necesita primero cumplir varias condiciones que están establecidas en la ECU, la transmisión de los híbridos no tiene la transmisión tradicional, así el motor de combustión interna y los dos motogeneradores están unidos por un solo elemento llamado engranaje planetario el cual nos permite unir la potencia de cada uno de los motores. Al no poseer una caja de cambio normal y pesada se nota las ventajas como son no pesa mucho, existe más espacio y no hay pérdidas de potencia por la fricción”. (Suntaxi & Roberto, 2010)



**Figura 22.** Tren de potencia de un vehículo híbrido

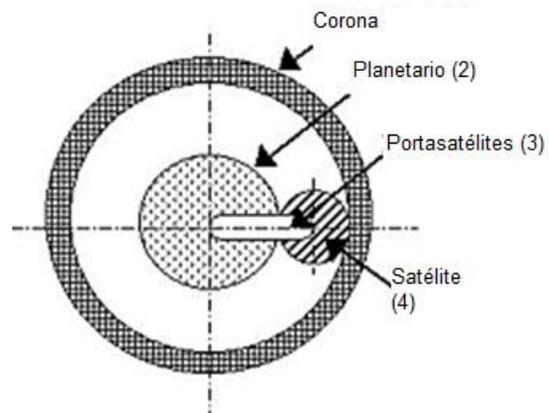
Fuente: (Zelaya, 2006)

“El sistema de división de potencia es el corazón del Toyota Prius, esta es una brillante caja de velocidades que se une al motor de gasolina, el generador y al motor eléctrico; todo junto. Le permite al vehículo operar como un híbrido paralelo, el motor eléctrico puede impulsar el vehículo por si solo y el motor de gasolina puede impulsar al vehículo solo y también pueden funcionar juntos. El sistema de repartición de potencia le permite al vehículo operar como un híbrido en serie, el motor de gasolina puede operar independientemente de la velocidad del auto, cargando las baterías y suministrando potencia a las baterías si es necesario; también funciona como una transmisión continua variable CVT, eliminando la necesidad de una transmisión manual o automática, finalmente le permite al generador encender al motor, el auto no necesita un motor de arranque.

El sistema de división de potencia es básicamente un sistema de engranaje planetario. El motor eléctrico está conectado a un anillo dentado y al juego de engranajes planetarios, también está conectado directamente al diferencial, que propulsa las ruedas, así a cualquier velocidad que el motor eléctrico y el anillo dentado gira a determinada velocidad; determinando la velocidad del auto". (Zelaya, 2006)

### **2.7.1. Tren epicycloidal**

“Los trenes epicycloidales son aquellos trenes de engranajes en los cuales alguna rueda gira en torno a un eje que no es fijo, sino que gira en el espacio. Al portasatélites que gira se le llama portasatélites. A la rueda que gira alrededor de dicho eje se la denomina satélite. El sistema, de esta manera, tiene dos grados de libertad que se restringen a uno haciendo girar al satélite alrededor de una rueda fija o central llamada planetario. En el caso de los trenes epicycloidales, también cabe hablar de trenes recurrentes o no recurrentes, según que los ejes de entrada y salida sean o no coaxiales. Este mecanismo ofrece tres movimientos de giro concéntrico. Sin embargo, en una caja de velocidades los ejes de entrada y salida son únicos, por lo que uno de los tres giros parece redundante, de hecho, las tres relaciones de marcha se obtendrán eliminando ese giro redundante de diferentes maneras mediante frenos y embragues”. (Suntaxi & Roberto, 2010)



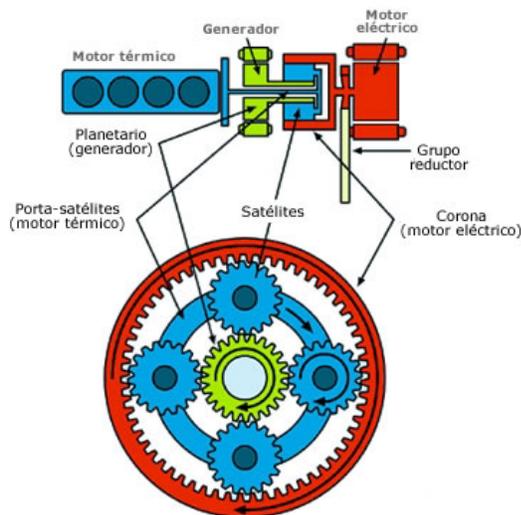
**Figura 23.** Sistema tren epicycloidal

Fuente: (Suntaxi & Roberto, 2010)

### 2.7.2. Funcionamiento

El sistema de transmisión de se conforma por tres engranajes, los cuales se detallan a continuación:

- Planeta o engranaje planetario
- Engranajes satélites
- Corona



**Figura 24.** Esquema del engranaje planetario en los híbridos

Fuente: (Suntaxi & Roberto, 2010)

“Si el motor térmico se mueve no quiere decir que también existe movimiento en las ruedas, debido a que si se mueve el motor de combustión y esta frenada la corona que se conecta a MG2 solo se va a mover MG1. Es decir, si el eje de salida es bloqueado (posición de parqueo) y el motor de combustión está funcionando, necesariamente tiene que moverse MG1 cargando así las baterías.

MG2 se conecta directo a la corona y por tal razón también al movimiento de las ruedas, mediante los ejes se bloquea los diferentes engranajes para no se mueva el vehículo, si se desbloqueara el eje y MG2 se mueve, el vehículo se puede mover, de esta forma comienza a moverse el vehículo, cuando se cambia el sentido de giro de MG2, es para dar reversa. En esta misma idea si MG2 está en movimiento y MG1 coloca

resistencia, se mueve todo el conjunto como un solo elemento aportando potencia MG2 y el motor de combustión y MG1 sería arrastrado generando energía al sistema.

En este tipo de transmisiones se tiene que diferenciar dos partes esenciales del transeje como son: la parte del divisor de potencia y la parte de reducción de velocidad de motor". (Suntaxi & Roberto, 2010)

## 2.8. Modos de operación

En la utilización del vehículo híbrido se presentan varios modos de operación en los que se puede encontrar el vehículo, desde que se enciende o cuando se prende el motor de combustión interna, son diferentes parámetros los que cambian el modo en el que se encuentra el automóvil.

La siguiente tabla describe los modos de operación que existen en los vehículos híbridos:

**Tabla 4.**  
*Modos de operación*

<b>Modo</b>	<b>Nombre</b>
Modo 1	Vehículo detenido con carga suficiente
Modo 2	Vehículo detenido MCI arranca
Modo 3	Vehículo detenido cargando baterías
Modo 4	Vehículo en movimiento (baja carga) salida eléctrica

**CONTINÚA** 

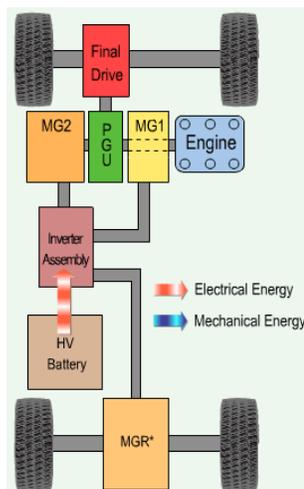
---

Modo 5	Vehículo en movimiento MCI arranca
Modo 6	Vehículo en movimiento media y alta potencia cargando baterías
Modo 7	Vehículo en movimiento máxima potencia
Modo 8	Freno regenerativo
Modo 9	Reversa

---

### **Modo 1. Vehículo detenido con carga suficiente.**

(Suntaxi & Roberto, 2010) manifiestan que “en este momento solo se encuentra colocada la ignición o bien puede estar el motor prendido con la batería cargada, en cuyo en el display aparece la palabra READY indicándonos que está listo para ponerse en marcha, en este momento MG1 y MG2 se entran parados. En el control de bloqueo de estacionamiento, el mecanismo del bloqueo de estacionamiento es el encargado del enganchamiento del trinquete con el engranaje de estacionamiento que está integrado con el engranaje compuesto bloquea el movimiento del vehículo”.



**Figura 25.** Modo de operación 1

Fuente: (Toyota, Toyota hybrid system, 2010)

### **Modo 2. Vehículo detenido MCI arranca**

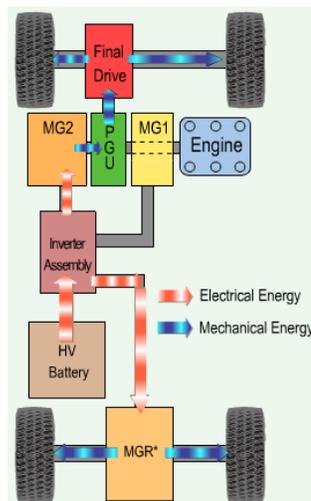
Cuando el vehículo se encuentra en esta posición, significa que está en contacto y en modo parqueo, el automóvil está encendido, la computadora del sistema híbrido detecta que la batería se encuentra baja y que se necesita cargar, entonces alimenta a MG1 que funciona como motor de arranque para el motor térmico, se enciende el motor de combustión interna hasta que se cargue la batería, el vehículo se encuentra detenido.

### **Modo 3. Vehículo detenido cargando baterías**

Una vez que el modo dos entra en acción y el motor de combustión interna ya se encuentra encendido, el MG1 en cambio ya no funciona como motor, si no, función como generador, cambia de parámetro, y envía el voltaje recibido al inversor para luego cargar la batería de alta tensión.

#### Modo 4. Vehículo en movimiento (baja carga) salida eléctrica

Según (Suntaxi & Roberto, 2010) “cuando el auto comienza a rodar y encuentra una buena carga de batería y que además no hay una exigencia alta en aceleración, puede ser movido únicamente por MG2, entonces se tiene rpm positivos en MG2 que nos indica que el auto está en movimiento por acción de este, en tanto que MG1 presentara rpm negativos ya que debe rodar en sentido contrario para que no haga encender el motor térmico”.



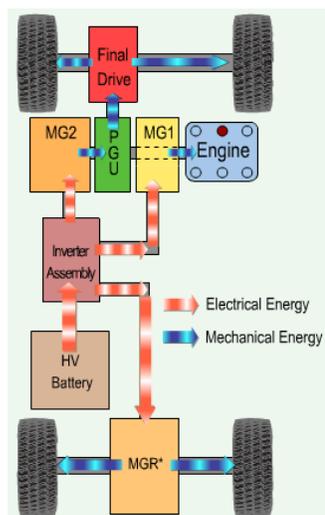
**Figura 26.** Modo de operación 4

Fuente: (Toyota, Toyota hybrid system, 2010)

#### Modo 5. Vehículo en movimiento MCI arranca

El modo 5 es cuando el vehículo se encuentra en movimiento y la computadora del sistema híbrido detecta que la batería se está agotando, entonces el MG1 que venía

siendo arrastrado y con rpm negativas, es alimentado por el inversor y actúa como motor de arranque para encender al motor de combustión interna.



**Figura 27.** Modo de operación 5

Fuente: (Toyota, Toyota hybrid system, 2010)

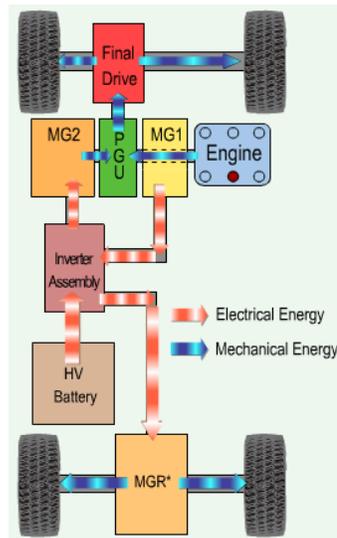
### **Modo 6. Vehículo en movimiento media y alta potencia cargando baterías**

(Suntaxi & Roberto, 2010) manifiesta que “en esta condición, se requiere que se enciende el motor térmico para que convierta la acción del motor en generador, entonces MG2 sigue con rpm positivas por la acción del movimiento y MG1 toma ahora un valor también positivo para poder encender el motor térmico y comenzar la generación”.

### **Modo 7. Vehículo en movimiento máxima potencia**

Cuando el vehículo se encuentra rodando y el conductor le exige toda la potencia entonces entra al modo 7, donde la energía para mover las ruedas es repartida de todos

lados, de los dos motogeneradores MG1 y MG2, del motor de combustión interna y también de la batería de alta tensión.

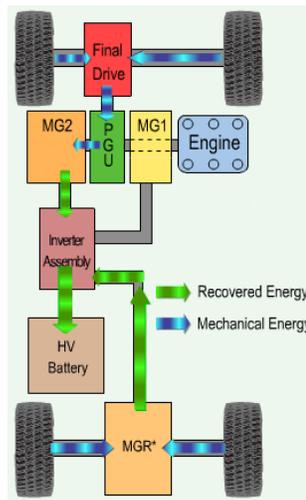


**Figura 28.** Modo de operación 7

Fuente: (Toyota, Toyota hybrid system, 2010)

### **Modo 8. Freno regenerativo**

“En la acción de frenado regenerado no requiere que el motor térmico este prendido pues para cargar la batería pues utilizo el movimiento del mismo auto, por lo tanto, el motor MG1 esta con valor de rpm negativo para no encender al motor térmico y MG2 con un valor de rpm positivo del movimiento que esta vez sirve de carga a la batería, así como de freno eléctrico”. (Suntaxi & Roberto, 2010)



**Figura 29.** Modo de operación 8

Fuente: (Toyota, Toyota hybrid system, 2010)

### Modo 9. Reversa

La condición de reversa es muy parecida al modo de operación 4 porque para realizar la marcha atrás solo la realiza en modo eléctrico, empieza su movimiento con MG2, pero cambiado de giro el motor.

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO DEL SISTEMA INVERSOR PARA VEHÍCULOS HÍBRIDOS**

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para obtener información apropiada, así como la selección de elementos electrónicos, diagramas eléctricos, funcionamiento del tablero y programación de los microcontroladores que se utilizaron para la construcción y desarrollo del módulo didáctico del sistema inversor para vehículos híbridos y eléctricos.

### **3. Levantamiento de requerimientos**

#### **3.1. Descripción del módulo didáctico**

- El módulo contiene una pantalla táctil TFT donde se pueden observar los parámetros de operación como son la velocidad del vehículo, la carga de la batería, en qué modo de operación se encuentra, y las curvas características en la conversión de energía, posee dos pantallas LCD donde se muestra parámetros de operación como voltajes y rpm, tiene un teclado para seleccionar la función que se quiera utilizar, un acelerador que se lo utiliza escogiendo la opción B, donde se realiza una conducción simulada del automóvil, posee un tren epicicloidal el cual simula la activación de los motogeneradores, tiene interruptores para realizar mediciones en el sistema híbrido,

posee tres motores eléctricos MG1, MG2 y motor del aire acondicionado, y por ultimo tiene secuencias conformadas con leds, las cuales nos indican hacia donde se dirige la energía en cualquier modo de operación.

- El módulo didáctico debe ser alimentado al tomacorriente de 110 VAC.
- Cuenta con un interruptor principal para iniciar todo el sistema que se ubica en la parte inferior izquierda.
- El módulo tiene 3 funciones: modos de operación, conducción simulada y mediciones con el osciloscopio que se las puede elegir desde el teclado.
- En la primera opción se encuentran los modos de operación, y se puede seleccionar los nueve modos que tiene el módulo de entrenamiento, en cada modo de operación se activan algunos componentes que se los puede ir viendo dependiendo del modo seleccionado.
- En la opción B se puede realizar una conducción simulada, esta opción se la controla con el acelerador, al ingresar a la opción, el módulo va a estar en el modo READY y mientras se vaya presionando el acelerador se puede observar los flujos de energía, y como va cambiando de modo operación hasta llegar al modo de máxima potencia.
- En la opción C están las mediciones con el osciloscopio, se observa en la pantalla TFT, donde grafica la señal que se quiera visualizar.
- El tren epicicloidal es controlado por los motores MG1 y MG2 que se encuentran conectados a la corona y al planetario respectivamente, con esto se puede observar

cuando se enciende un motor que parte del tren epicycloidal es la que mueve el vehículo.

### 3.2. Características del módulo didáctico

El modulo didáctico requiere de algunas características para su funcionamiento como son los voltajes de alimentación, y las corrientes que consumen los motores DC.

**Tabla 5.**

*Características del módulo didáctico*

Ítem	Descripción
Microcontrolador	AT-MEGA 328P
Voltaje de alimentación del módulo	110 VAC
Voltaje de alimentación de los motores DC	12 VCC
Corriente de alimentación para motores DC	20 A
Voltaje de alimentación circuito de control	5 VCC
Corriente de alimentación para el circuito de control	2 A

### 3.3. Estudio del sistema inversor

Para empezar con diseño del módulo didáctico, primero se recopiló información de diferentes fuentes como son artículos, tesis y obtención de parámetros directamente en el vehículo Toyota Prius.

### 3.3.1. Herramientas tecnológicas utilizadas en la investigación.

#### Vehículo Toyota Prius

El vehículo Toyota Prius de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga fue el punto de partida para nuestra investigación. Mediante el análisis de este vehículo, por medio del escáner para la obtención de datos, se pudo verificar valores de corriente y voltaje en el sistema inversor, así como RPM y voltaje en moto-generadores.



**Figura 30.** Vehículo Toyota Prius

#### Características del vehículo

**Tabla 6.***Características vehículo Toyota Prius*

<b>Motor, prestaciones</b>	
<b>Tipo de vehículo</b>	Vehículo híbrido
<b>Motor de combustión</b>	2ZR-FXE 1.8 1798cc, inyección electrónica, 16 válvulas DOHC con VVT-i
<b>Tipo de motor eléctrico</b>	Síncrono de imán permanente
<b>Potencia máxima kW</b>	13 kW/rpm
<b>Aceleración de 0 a 100</b>	13.1 s
<b>Autonomía en ciudad</b>	23 km
<b>Transmisión</b>	
<b>Tracción</b>	Delantera
<b>Batería</b>	
<b>Tipo de batería</b>	Lithium-ion battery 21.5 Ah
<b>Capacidad</b>	21.5 (Ah) (Kwh)
<b>Capacidad útil</b>	5.2 kWh

Fuente: (Toyota, 2018)

El flujo de energía presente en cada modo de operación del automóvil fue investigado en el automóvil y sirve como referencia para poder realizar una secuencia correcta en el módulo didáctico.

## G-SCAN 2

El escáner automotriz es de mucha ayuda en los talleres mecánicos, debido a que es un instrumento empleado para el diagnóstico de fallas en el área electrónica existentes en el automóvil, también se lo utiliza para la obtención de datos que refleja el automóvil, como con voltajes, rpm, corriente, etc.



**Figura 31.** G-SCAN 2

### Características del escáner automotriz

**Tabla 7.**

*Características G-SCAN 2*

Categoría	Especificaciones		
<b>Micro Controlador</b>	Triple CPU	Panel principal de control	ARM11 @ 600MHz
		Panel de Comunicaciones	ARM9 @ 266MHz
		Panel de medición (opcional)	ARM9 @ 266MHz
<b>Sistema de Memoria</b>	Panel de control principal: Flash NAND de 128 MB y 256 MB de RAM SD		

**CONTINÚA** →

	Panel de control principal: Flash NAND de 32 MB y 8 MB de RAM SD
	Panel de control principal: Flash NAND de 32 MB y 8 MB de RAM SD
<b>Memoria Externa</b>	Tarjeta SD de 16 GB
<b>LCD</b>	7" TFT LCD (1024 X 600 pixel)
<b>Dispositivo de Entrada</b>	Pantalla táctil
	Potencia, Enter y tecla Esc
	4 vías teclas direccionales, teclas de función F1 ~ F6
<b>Luces Indicadoras</b>	3 Color LED
<b>Sonido</b>	Bozina y Alta Voz
<b>Batería Recargable</b>	Polímero Li-Ion 2100m Ah 1cell

Fuente: (EZDS, 2018)

### 3.1.2 Parámetros para el diseño del módulo didáctico del sistema inversor

Cada modo de operación que posee el vehículo híbrido Toyota Prius, está ligado al trabajo del sistema inversor pues éste no solo direcciona secuencialmente energía de la batería hacia los “Moto generadores”, también utiliza la carga de la batería para poder alimentar todos los sistemas auxiliares del vehículo, todo monitoreado constantemente por medio de la ECU del sistema híbrido. Para la realización del módulo, se buscó información sobre los parámetros de operación del vehículo híbrido, como son los voltajes a los que estos autos operación y tienen diferentes modos de conducción para los cuales son diferentes parámetros a tomar en cuenta.

La información inicial que se necesita para el módulo de entrenamiento son los modos de operación, que se detalla en la tabla 4

**Tabla 8.***Modos de operación*

<b>Modo</b>	<b>Nombre</b>
1	Vehículo detenido con carga suficiente
2	Vehículo detenido MCI arranca
3	Vehículo detenido cargando baterías
4	Vehículo en movimiento (baja carga) salida eléctrica
5	Vehículo en movimiento MCI arranca
6	Vehículo en movimiento media y alta potencia cargando baterías
7	Vehículo en movimiento máxima potencia
8	Freno regenerativo
9	Reversa

**Obtención de parámetros de operación del vehículo Toyota Prius**

Como referencia se tomó los parámetros de operación del vehículo Toyota Prius, para esto se utilizó el vehículo y se procedió a la obtención de datos de funcionamiento conectando el escáner automotriz G-SCAN 2.

**Tabla 9.***Procedimiento para obtención de parámetros en los diferentes modos de operación*

<b>Modo 1</b>	
<b>Procedimiento</b>	<b>Ilustración</b>
Encender el vehículo, presionando el botón Start dentro del vehículo, aparece la palabra READY	

**CONTINÚA** 

Visualizar los parámetros del modo 1 en el panel principal.

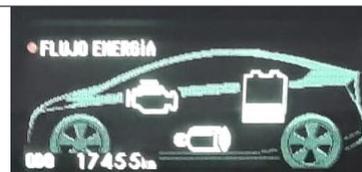


Conectar el escáner automotriz, y anotar los valores de operación del vehículo

Nombre de artículo	Valor	Unidad
Batería Bloque tensión 10	15.29	v
Batería Bloque tensión 11	15.27	v
Batería Bloque tensión 12	15.29	v
Batería Bloque tensión 13	15.24	v
12V Voltaje batería	14.45	v
Voltaje batería	234.0	v
Battery Cooling Pan Voltage 0	0.0	v
Consumo ventilador refrigeración temperatura del aire	20.1	°C
Batería temperatura 0	19.0	°C
Batería temperatura 1	19.1	°C

## Modo 2

Esperar que la batería descienda hasta que necesite cargarse.



En el escáner visualizar los parámetros del modo 2.

Nombre de artículo(168/195)	Valor	Unidad
Batería carga lateral Potencia control (WIN)	-20.0	kW
Lateral batería Control Descarga Potencia (Wout)	18.5	kW
Δ SOC	0.0	%
Battery Capacity SOC after IG ON	59.5	%
Battery Capacity SOC Maximum Value	60.0	%
Battery Capacity SOC Minimum Value	38.0	%
Modo control	Mode1	
Modo ventilador refrigeración 0	0	Mode
Battery Cooling Pan Lo Request	OFF	
Control de voltaje de la batería	4.38	v

Visualizar rpm en el escáner cuando se encienda el MCI

Nombre de artículo(96/195)	Valor	Unidad
De temperatura del motor N ° 2	50	°C
Generator Temperature after IG ON	36	°C
Generator Temperature Maximum Value	50	°C
Generador RPM	-562	r/min
(Fr) temperatura del motor N ° 1	33	°C
(Fr) Motor Temperature after IG ON	28	°C
(Fr) Motor Temperature Maximum Value	33	°C
(Fr) RPM del motor	572	r/min
Generador par	-0.00	Nm

**CONTINÚA** →

**Modo 3**

En el escáner visualizar los parámetros del motor de combustión

Nombre de Sensor(8/34)	MID	Valor	Unidad
Fuel System Status-Bank1	E8	CLSD LOGP	
Fuel System Status-Bank2	E8		
Calculated Load Value	E8	65.5 %	
Sensor de Temperatura del Refrigerante del Motor	E8	55 °C	
Short Term Fuel Trim-Bank1	E8	5.5 %	
Long Term Fuel Trim-Bank1	E8	0.0 %	
Manifold Absolute Pressure Sensor	E8	57 kPa	
<b>Velocidad del Motor</b>	<b>E8</b>	<b>1225</b>	<b>RPM</b>
Sensor de Velocidad del Vehículo	E8	0 km/h	
Ignition Timing Advance for 1 Cylinder	E8	12 °	

En el escáner visualizar los parámetros de los motores eléctricos.

Nombre de artículo(96/195)	Valor	Unidad
De temperatura del motor N ° 2	50	°C
Generator Temperature after IG ON	38	°C
Generator Temperature Maximum Value	50	°C
Generador RPM	-903	r/min
(Fr) temperatura del motor N ° 1	33	°C
(Fr) Motor Temperature after IG ON	28	°C
(Fr) Motor Temperature Maximum Value	33	°C
(Fr) RPM del motor	911	r/min
Generador par	-0.00	Nm
Par del generador (real)	-0.00	Nm

**Modo 4**

Con el vehículo en READY, colocar en la posición D, y presionar ligeramente el acelerador.



En el escáner visualizar los parámetros de los motores eléctricos del modo 4.

Nombre de artículo(92/195)	Valor	Unidad
Inmovilizador del motor Start permiso estado	*****	
Fuercia Ratio cuando IPA	1.0	
HV standby Mode	Normal	
De temperatura del motor N ° 2	38	°C
Generator Temperature after IG ON	38	°C
Generator Temperature Maximum Value	36	°C
<b>Generador RPM</b>	<b>558</b>	<b>r/min</b>
(Fr) temperatura del motor N ° 1	30	°C
(Fr) Motor Temperature after IG ON	28	°C
(Fr) Motor Temperature Maximum Value	30	°C

**CONTINÚA** →

### Modo 5

Después del modo 4, se acelera un poco más, para obligarle al motor de combustión se encienda.

Short Term Fuel Trim-Bank1	E8	5.5 %
Long Term Fuel Trim-Bank1	E8	0.0 %
Manifold Absolute Pressure Sensor	E8	57 kPa
Velocidad del Motor	E8	1225 RPM
Sensor de Velocidad del Vehículo	E8	0 km/h
Ignition Timing Advance for 1 Cylinder	E8	12 °

En el escáner visualizar los parámetros de los motores eléctricos y del motor de combustión del modo 5.

Nombre de artículo(92/195)	Valor	Unidad
De temperatura del motor N ° 2	53	°C
Generator Temperature after IG ON	38	°C
Generator Temperature Maximum Value	53	°C
Generador RPM	1209	r/min
(Fr) temperatura del motor N ° 1	43	°C
(Fr) Motor Temperature after IG ON	28	°C
(Fr) Motor Temperature Maximum Value	43	°C
(Fr) RPM del motor	3091	r/min
Generador par	1.12	Nm
Par del generador (Fr+1)	0.75	Nm

### Modo 6

Se sigue presionando el acelerador, para cambiar al modo 6, y obtener los parámetros.

Nombre de artículo(92/195)	Valor	Unidad
De temperatura del motor N ° 2	50	°C
Generator Temperature after IG ON	38	°C
Generator Temperature Maximum Value	51	°C
Generador RPM	5520	r/min
(Fr) temperatura del motor N ° 1	38	°C
(Fr) Motor Temperature after IG ON	28	°C
(Fr) Motor Temperature Maximum Value	38	°C
(Fr) RPM del motor	3652	r/min
Generador par	-20.38	Nm
Par del generador (Fr+1)	-19.00	Nm

También se puede visualizar la velocidad del vehículo.

Nombre de artículo(1/195)	Valor	Unidad
Temperatura del aire exterior	18	°C
Presión Atmosférica	73	kPa
Temperatura del refrigerante del motor	85	°C
RPM del motor	2868	r/min
De velocidad del vehículo	62	km/h
Tiempo transcurrido desde el arranque del motor	2215	sec
Sensor Acelerador N ° 1 Abrir / Cerrar Ángulo	62.7	%
Acelerador Sensor Apertura N ° 1	28.2	%
Acelerador Sensor Apertura N ° 2	44.7	%
Calentamiento Conde después Dirección General Clear	2	

**CONTINÚA** →

### Modo 7

En el modo 7 se le exige todo a potencia al vehículo, y se observa los parámetros.

Nombre de artículo(92/195)	Valor	Unidad
De temperatura del motor N ° 2	51	°C
Generator Temperature after IG ON	38	°C
Generator Temperature Maximum Value	51	°C
Generador RPM	9451	r/min
(Fr) temperatura del motor N ° 1	39	°C
(Fr) Motor Temperature after IG ON	28	°C
(Fr) Motor Temperature Maximum Value	39	°C
(Fr) RPM del motor	4632	r/min
Generador par	-27.63	Nm
Par del generador (real)	-27.50	Nm

### Modo 8

Cuando se encuentra a una alta velocidad, se debe frenar despacio el vehículo para observar la recuperación de energía.

Análisis de Datos(Todos los artículos)		
Nombre de artículo(96/195)	Valor	Unidad
De temperatura del motor N ° 2	50	°C
Generator Temperature after IG ON	38	°C
Generator Temperature Maximum Value	50	°C
Generador RPM	911	r/min
(Fr) temperatura del motor N ° 1	-903	r/min
(Fr) Motor Temperature after IG ON	33	°C
(Fr) Motor Temperature Maximum Value	28	°C
(Fr) RPM del motor	33	°C
Generador par	-0.00	Nm
Par del generador (real)	-0.00	Nm

Función Normal Gráfico Registro

### Modo 9

Se debe detener por completo el vehículo, y colocar la palanca en la posición R.

Se presiona levemente el acelerador y se observa los parámetros en el escáner.

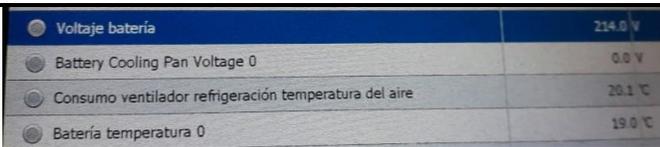
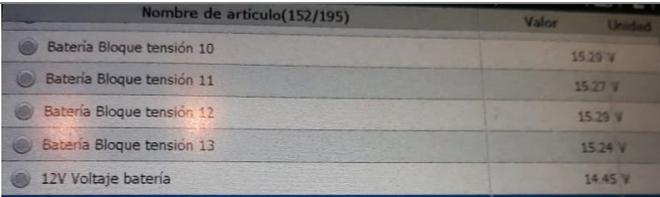
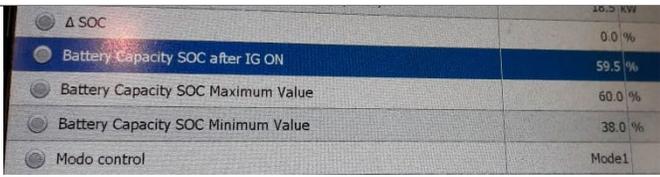
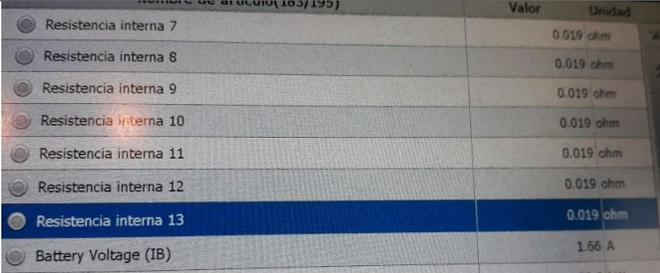
Análisis de Datos(Todos los artículos)		
Nombre de artículo(96/195)	Valor	Unidad
De temperatura del motor N ° 2	49	°C
Generator Temperature after IG ON	38	°C
Generator Temperature Maximum Value	49	°C
Generador RPM	644	r/min
(Fr) temperatura del motor N ° 1	32	°C
(Fr) Motor Temperature after IG ON	28	°C
(Fr) Motor Temperature Maximum Value	32	°C
(Fr) RPM del motor	-854	r/min
Generador par	-0.00	Nm
Par del generador (real)	-0.00	Nm

Gráfico Registro leccionar

**CONTINÚA** →

Además de los parámetros de rpm, también se pudo obtener otros parámetros los cuales son:

**Tabla 10.**  
*Parámetros adicionales del vehículo*

Parámetro	Valor	Ilustración
Voltaje batería HV	214 V	
Voltaje batería accesorios	14.45 V	
SOC mínimo y máximo	SOC mínimo: 38 % SOC máximo: 60 %	
Resistencias internas	0.019 ohm	

### 3.4. Selección eléctrica y electrónica de los elementos para el módulo didáctico

El módulo cuenta con circuitos electrónicos de flujo de energía realizado con leds, activación del inversor, pantallas para observar los parámetros de operación, con el objetivo que el usuario pueda visualizar de forma didáctica el proceso existente en el sistema de un vehículo híbrido. También se debe tomar en cuenta el material para realizar las conexiones y elementos para protección del módulo.

#### Selección de los materiales

En esta sección se detalla todos los materiales utilizados en la elaboración del módulo didáctico, asimismo los diagramas de los circuitos construidos para simular el funcionamiento del sistema inversor.

**Tabla 11.**

*Materiales electrónicos utilizados*

<b>Materiales</b>	<b>Descripción</b>
<b>Pantalla LCD</b>	Pantalla para caracteres alfanuméricos de 20 * 4
<b>Pantalla táctil TFT</b>	Pantalla táctil de 4.3 "
<b>Teclado</b>	Matriz de teclado de 4 * 4
<b>Interruptores</b>	Interruptor de 2 posiciones
<b>Leds</b>	Leds de 5 mm, colores rojo, verde y azul
<b>Motores DC</b>	Motores DC de 12 V

**CONTINÚA** 

<b>Potenciómetro</b>	Potenciómetro de 10 k
<b>Resistencias</b>	Resistencias de 1 k y 330 ohm
<b>Microcontroladores</b>	PIC 12F675 y 16F628A
<b>Condensadores</b>	Condensadores de 4.7 uF
<b>Arduino nano</b>	Arduino nano AT-MEGA 328P
<b>Driver para control de motores</b>	Driver In298

### 3.4.1. Pantalla TFT

Es una pantalla táctil de la marca Nextion, la cual se la utiliza para visualizar parámetros como la velocidad del vehículo, carga de la batería, modo de operación y también grafica las señales obtenidas del inversor, el tamaño es de 4.3".



**Figura 32.** Pantalla TFT

#### **Tabla 12.**

#### *Características pantalla TFT*

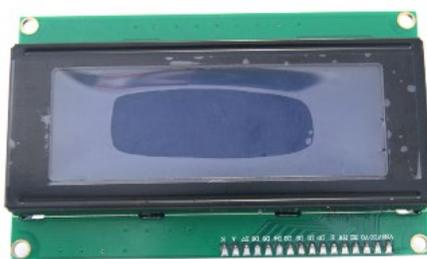
<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
<b>Resolución</b>	480 x 272

**CONTINÚA** →

<b>Compatibilidad</b>	Raspberry Pi, Arduino, etc.
<b>Colores</b>	65 k
<b>Tipo</b>	Pantalla LCD TFT con panel táctil resistivo integrado
<b>Tamaño</b>	4.3 "
<b>Memoria</b>	16 M
<b>Área de visualización</b>	95.04 x 53.86 mm
<b>Alimentación</b>	5 VDC 250 mA

### 3.4.2. Pantallas LCD

Se utilizaron 2 pantallas LCD de 20 \* 4 posiciones, en las están programadas para mostrar los parámetros como son: voltajes, rpm, estado de los motores y mediciones realizadas en los componentes del vehículo híbrido, MG1, MG2, MCI y elementos dentro del inversor.



**Figura 33.** Pantalla LCD

**Tabla 13.***Características pantalla LCD*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
<b>Formato</b>	20 caracteres x 4 líneas
<b>Tensión de alimentación</b>	5 V
<b>Texto</b>	blanco, fondo azul.
<b>Tamaño</b>	9,8 cm x 6 cm x 1,2 cm

**3.4.3. Teclado**

Mediante el teclado se puede seleccionar las opciones que tiene el módulo, los modos de operación, se refresca las pantallas para realizar las mediciones.

**Figura 34.** Teclado**Características:**

- Teclado de plástico rígido color negro
- Tipo de conector: Header macho 8 pines (4 para filas y 4 para columnas; Matricial)
- Este es un teclado hexadecimal (16 teclas)

- Máximo voltaje: 35VDC 100mA
- Dimensiones: 65mm x 65mm x 11mm
- Dimensiones del botón: 8mm x 8mm x 4mm

#### 3.4.4. Motores

En el módulo hay tres motores DC, los cuales están conectados al tren epicicloidal para simular el funcionamiento de la transmisión.



**Figura 35.** Motor DC

#### Características:

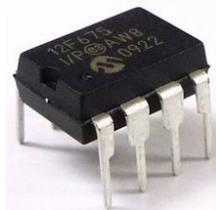
- Voltaje de alimentación: 12 V
- Consumo de corriente: 500 mA

#### 3.4.5. Microcontroladores

En el módulo didáctico se encuentran 15 PIC 12F675 y 3 PIC 16F628A, los cuales se utilizan para comunicarse al arduino y recibir señales para que enciendan las secuencias de leds.

### **PIC 12F675**

Se lo utilizó para las secuencias de los leds lineales, donde indican el flujo entre componentes del vehículo híbrido.



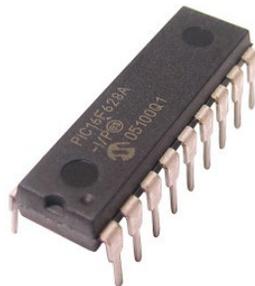
**Figura 36.** PIC 12F675

### **Características PIC 12F675**

- memoria flash: 7KB
- RAM: 512KB
- Velocidad: 20MHz
- 6 Pines de salida y/o entrada
- Voltaje de alimentación: 2V ~ 5.5V

### **PIC 16F628A**

Se lo utilizó para las secuencias de activación de los transistores IGBT, y para realizar las mediciones en el sistema inversor.



**Figura 37.** PIC 16F628A

**Tabla 14.**

*Características PIC 16F628A*

	<b>Propiedad</b>
<b>Memoria de programa</b>	1 KBytes
<b>Memoria SRAM</b>	224 Bytes
<b>Memoria EEPROM</b>	128 Bytes
<b>Salidas PWM</b>	2
<b>Temporizadores de 8 Bits</b>	2
<b>Temporizadores de 16 Bits</b>	1
<b>Comparadores</b>	2
<b>Oscilador</b>	Frecuencia máxima: 20 MHz Oscilador interno de 4 MHz.
<b>Número de pines</b>	18

### 3.4.6. Arduino nano

Se lo coloca en la placa principal, es el cerebro del módulo, desde aquí se va a enviar las señales necesarias que le pidan, se conecta con todo el sistema para controlar todas las señales, desde el teclado, y va a enviar las instrucciones a las pantallas, microcontroladores y motores para el buen funcionamiento del módulo de entrenamiento.



**Figura 38.** Arduino nano

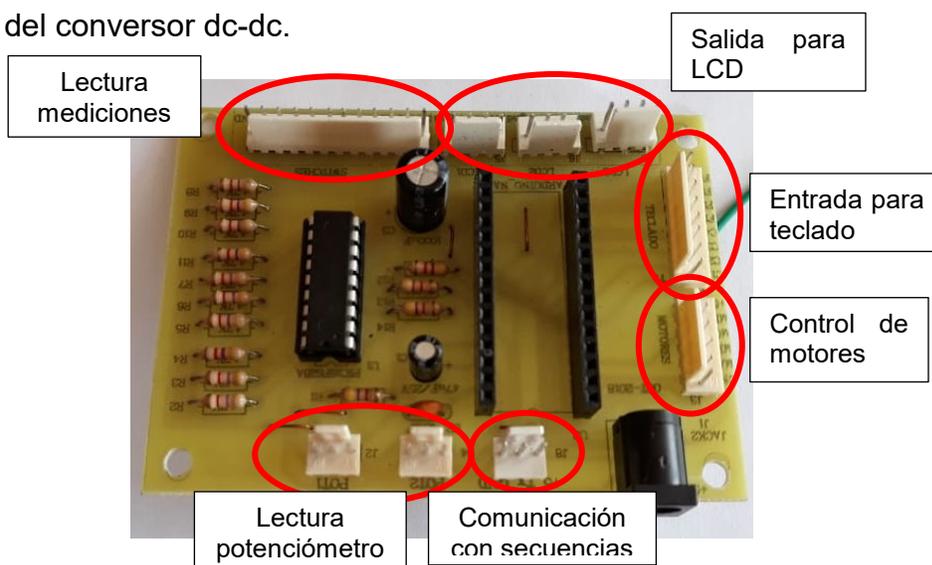
#### Características

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje de operación: 5V
- Voltaje de alimentación (Recomendado): 7-12V
- I/O Digitales: 14 (6 PWM)
- Memoria Flash: 32KB
- EEPROM: 1KB
- Frecuencia de trabajo: 16MHz

### 3.5. Diseño de las placas para módulo didáctico

El módulo didáctico tiene 17 placas electrónicas conectadas en serie, dos son utilizadas para representar el accionamiento del inversor de los moto-generadores y del compresor de aire acondicionado y otra placa está diseñada para simular el conversor dc-dc.

Todo el módulo lo gobierna un Arduino nano, el cual está programado para recibir señales de entrada del KeyPad, acelerador, pantalla TFT y despliega mensajes de operación en las pantallas LCD; además, tiene un bus de datos mediante el cual recibe y transmite datos seriales a los microcontroladores previamente programados para realizar secuencias de flujo de energía indicando el modo de operación en el que está trabajando el inversor, así como el accionamiento de los **“Moto-Generadores”** y funcionamiento del conversor dc-dc.

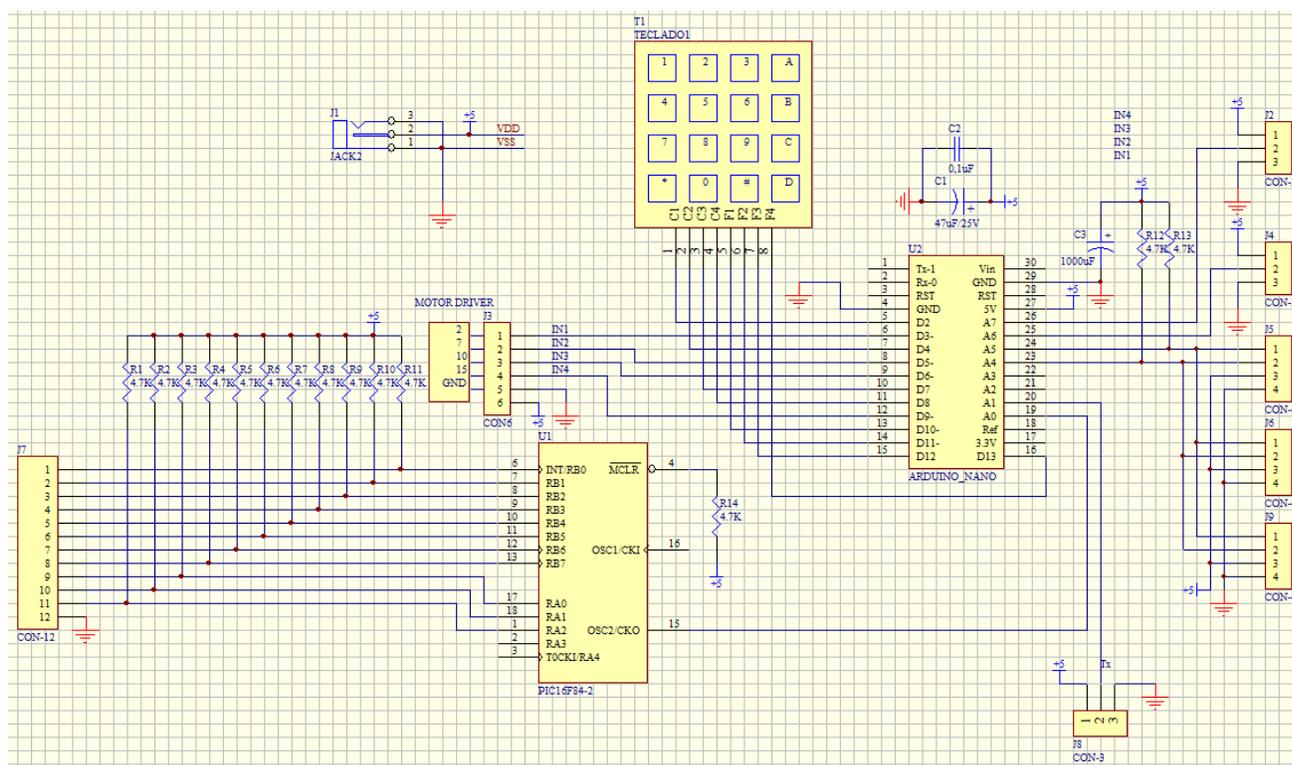


**Figura 39.** Placa principal con sus entradas

### 3.5.1. Placa principal

La placa principal del módulo didáctico simula la ECU del sistema híbrido.

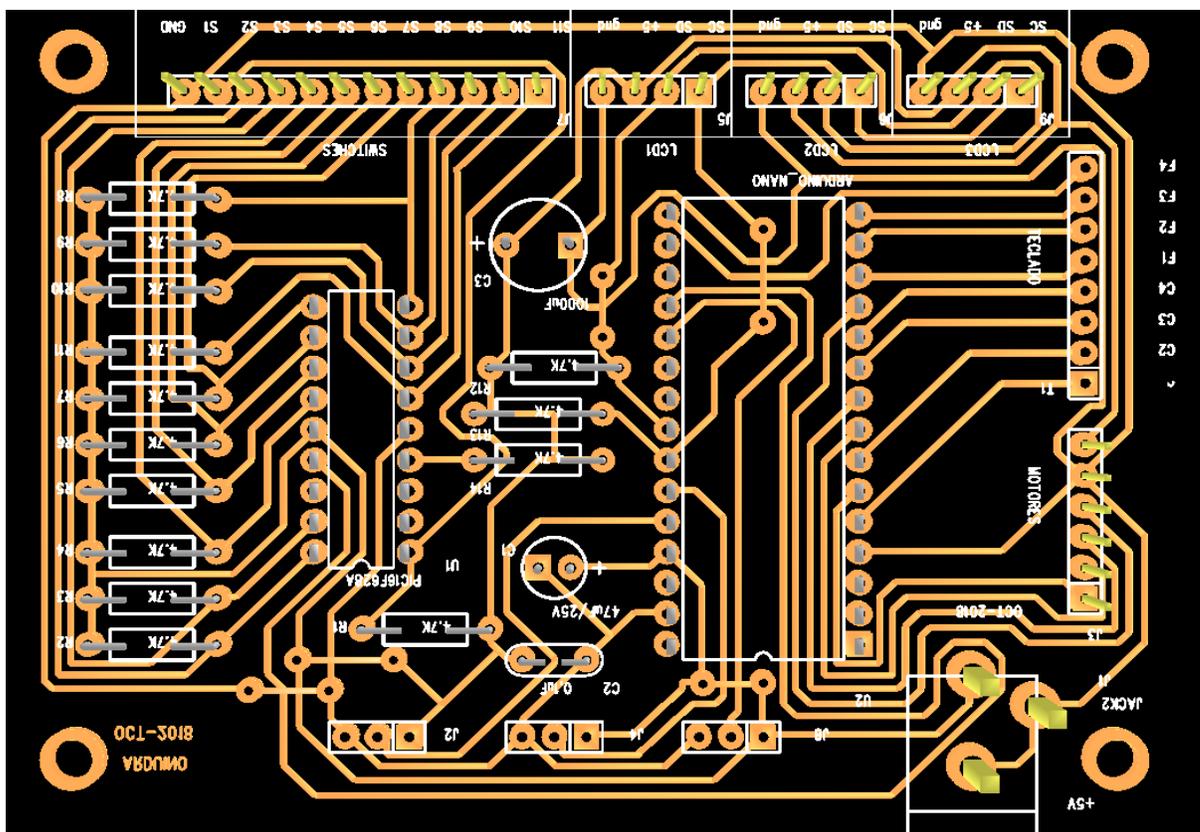
Posee dos entradas análogas, una entrada digital para acceso a Keypad, una entrada de doce pines para mediciones de parámetros del sistema, tres salidas conectadas en serie para impresiones en LCD y TFT, una salida para el control de los motores y un “BUS-DC” de recepción y transmisión de datos.



**Figura 40.** Diseño de la placa principal

Para el diseño de la placa se utilizó el programa Protel, en el cual se colocó todos los elementos que posee la placa, los elementos de entrada como son el teclado y el potenciómetro y los elementos de salida como son las pantallas, el driver para los motores, la salida para la comunicación serial con las secuencias.

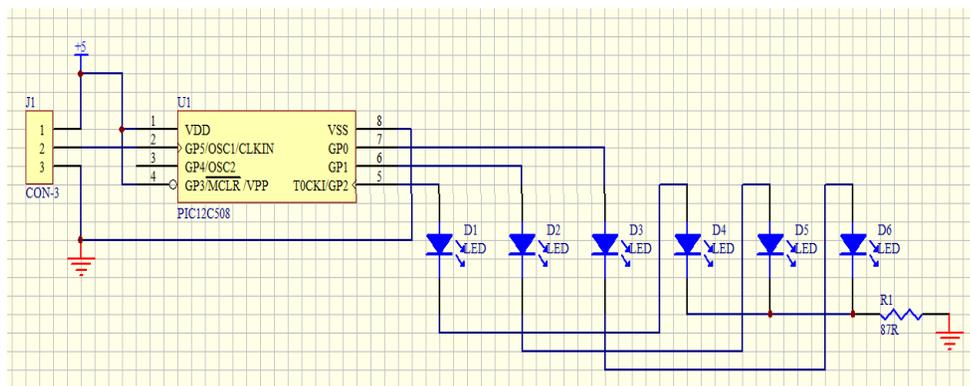
Una vez realizada la simulación se procedió a realizar el circuito impreso dentro del mismo programa como se verá a continuación.



**Figura 41.** Diagrama placa principal

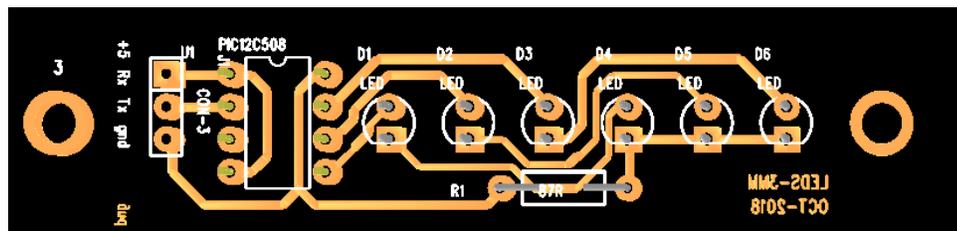
### 3.5.2. Secuencia de flujo de energía

La placa tiene un microcontrolador 12F675 que comanda un conjunto de 3 leds independientes. Con esto se logra observar el flujo de energía hacia la derecha o izquierda al momento de activarla.



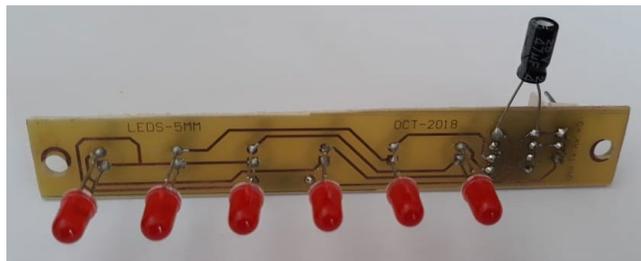
**Figura 42.** Diseño placa secuencias

Se colocó los leds en forma que se enciendan formando un flujo de energía y se los programó que el flujo se lo pueda realizar de izquierda a derecha o viceversa, y por último se realizó el diseño para el circuito impreso como se observa a continuación.



**Figura 43.** Diagrama placa secuencias

Una vez impresa la placa se colocó todos los elementos y se procedió a soldar.

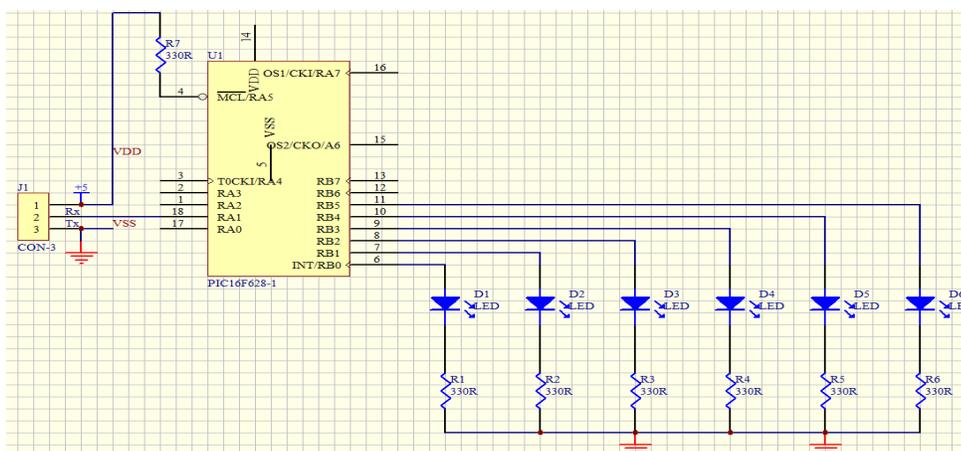


**Figura 44.** Placa de secuencia

Están en constante comunicación con la placa principal.

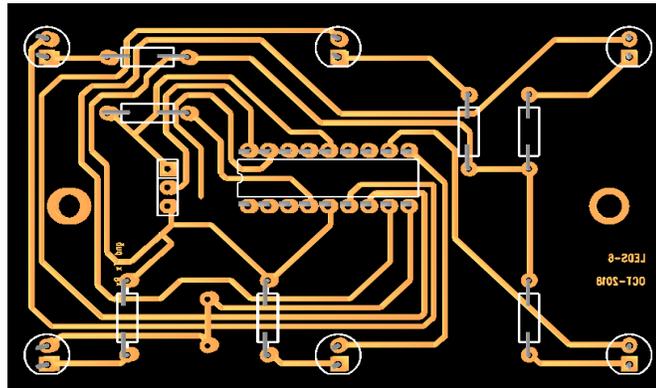
### 3.5.3. Activación del inversor MG1 y MG2

Esta placa posee un microcontrolador 16F628A el cual está programado para recibir datos de la placa principal y empezar una secuencia de seis leds conectados en las salidas del microcontrolador que simulen la activación del inversor para cada uno de los “moto-generadores”.



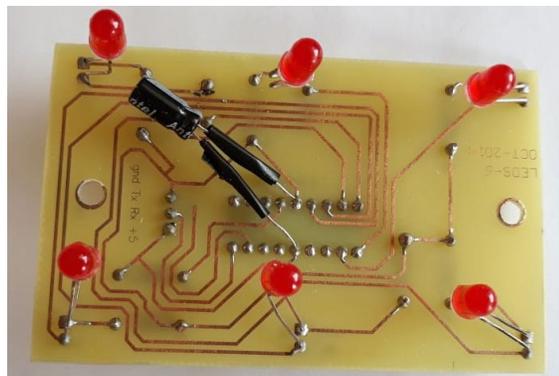
**Figura 45.** Diseño placas secuencia motogeneradores

En el microcontrolador se programó la secuencia con la que se activa cada transistor IGBT para simular la conversión de corriente continua a alterna, y se procedió a realizar el circuito impreso para realizar la placa, igualmente se comunica con comunicación serial a la placa principal.



**Figura 46.** Circuito para simulación activación motogeneradores

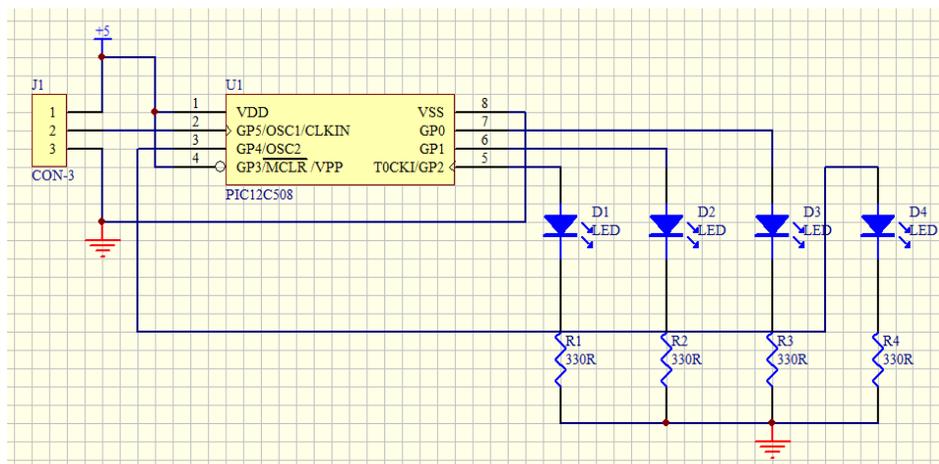
Después se colocaron los elementos en la placa.



**Figura 47.** Placa Secuencia motogeneradores

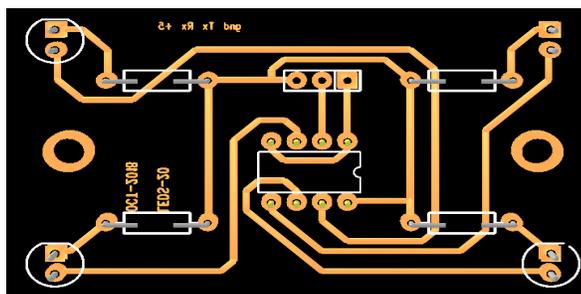
### 3.5.4. Activación del conversor DC-DC

El microcontrolador 12F675 es el encargado de simular el accionamiento de los pares de transistores MOSFET representados mediante dos pares de leds, los cuales se activan a una frecuencia establecida.



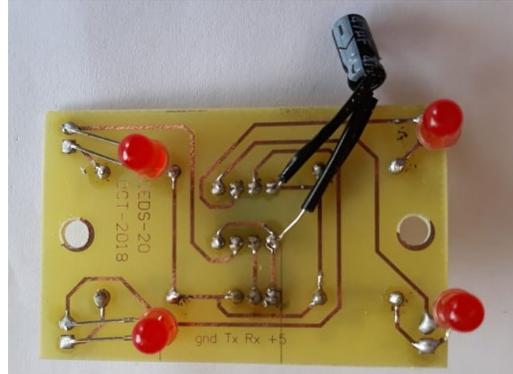
**Figura 48.** Diseño para activación transistores conversor DC-DC

En el cual se programó para se enciendan de 2 en 2 en sentido opuesto. Y se realizó el diseño para el circuito impreso.



**Figura 49.** Circuito conversor DC-DC

Y por último se soldaron los elementos en la placa.

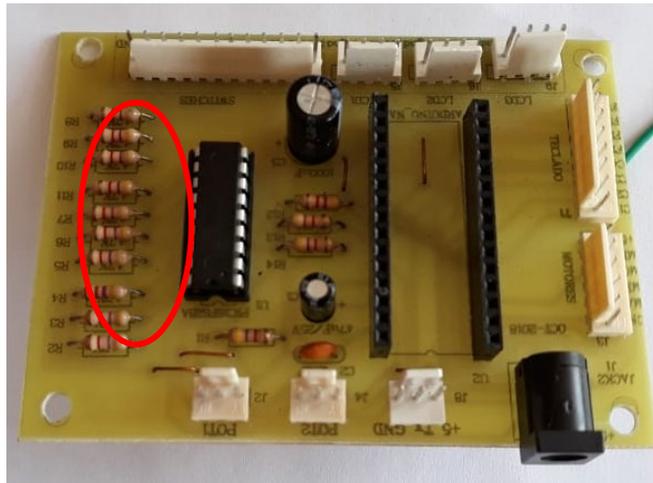


**Figura 50.** Placa conversor DC-DC

En el interior del conversor dc-dc se encuentra dos pares de MOSFET de potencia los cuales conmutan a gran velocidad para transformar 220Vcc de la batería de alto voltaje en 12Vcc para alimentar los sistemas auxiliares del vehículo.

### **3.5.5. Mediciones en el módulo didáctico**

Las mediciones de los parámetros de funcionamiento en el sistema inversor las realiza el microcontrolador 16F628A, que se encuentra ubicado en la placa principal con sus respectivas entradas para mediciones externas en el módulo.



**Figura 51.** Placa principal con microcontrolador de mediciones

### 3.6. Diseño del tren epicycloidal

El módulo didáctico consta de un tren epicycloidal, el cual se lo conecta a los motores DC, la corona está conectada al MG2, y el engranaje solar está conectado al MG1, con esto se puede ver como es la salida de la transmisión en los vehículos híbridos.

Para el diseño de los engranajes se tomó los siguientes valores:

Módulo  $m = 2$

Número de dientes:

Planetario  $Z_p = 30$

Satélite  $Z_s = 20$

Corona  $Z_c = 70$

**Cálculo para el engranaje planetario:**

Diámetro primitivo

$$D_p = m * Z_p = 2 * 30 = 60 \text{ mm}$$

Paso circular

$$P_c = \frac{\pi * D_p}{Z_p} = \frac{\pi * 60}{30} = 6.28 \text{ mm}$$

Addendum

$$a = m = 2 \text{ mm}$$

Dedendum

$$b = 1.25 * m = 1.25 * 2 = 2.5 \text{ mm}$$

Diámetro exterior

$$D_e = D_p + 2a = 60 + 2 * 2 = 64 \text{ mm}$$

Diámetro interior

$$D_i = D_p - 2b = 60 - 2 * 2.5 = 55 \text{ mm}$$

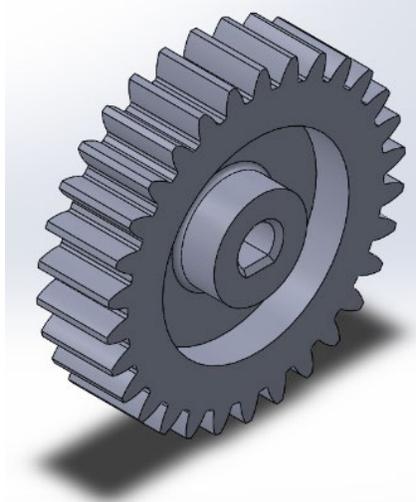
Altura del diente

$$h = 2.25 * m = 2.25 * 2 = 4.5 \text{ mm}$$

Espesor del diente

$$e = \frac{P_c}{2} = \frac{6.28}{2} = 3.14 \text{ mm}$$

## Diseño del engranaje planetario



**Figura 52.** Engranaje planetario

### Cálculo para el engranaje satélite:

Diámetro primitivo

$$D_p = m * Z_s = 2 * 20 = 40mm$$

Paso circular

$$P_c = \frac{\pi * D_p}{Z_s} = \frac{\pi * 40}{20} = 6.28 mm$$

Addendum

$$a = m = 2 mm$$

Dedendum

$$b = 1.25 * m = 1.25 * 2 = 2.5 mm$$

Diámetro exterior

$$De = Dp + 2a = 40 + 2 * 2 = 44 \text{ mm}$$

Diámetro interior

$$Di = Dp - 2b = 40 - 2 * 2.5 = 35 \text{ mm}$$

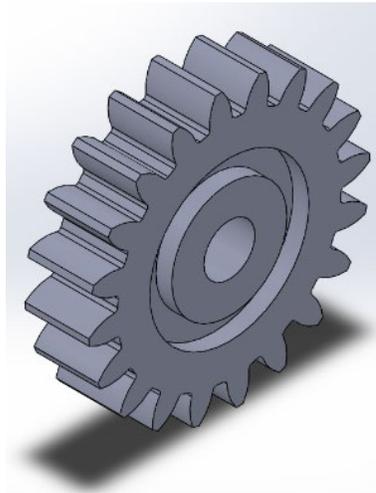
Altura del diente

$$h = 2.25 * m = 2.25 * 2 = 4.5 \text{ mm}$$

Espesor del diente

$$e = \frac{Pc}{2} = \frac{6.28}{2} = 3.14 \text{ mm}$$

**Diseño de los engranajes satélites**



**Figura 53.** Engranaje satélite

**Cálculo para el engranaje interior de la corona:**

Diámetro primitivo

$$Dp = m * Z_c = 2 * 70 = 140mm$$

Paso circular

$$Pc = \frac{\pi * Dp}{Z_c} = \frac{\pi * 60}{30} = 6.28 mm$$

Addendum

$$a = m = 2 mm$$

Dedendum

$$b = 1.25 * m = 1.25 * 2 = 2.5 mm$$

Diámetro exterior

$$De = Dp - 2a = 140 - 2 * 2 = 136 mm$$

Diámetro interior

$$Di = Dp + 2b = 140 + 2 * 2.5 = 145 mm$$

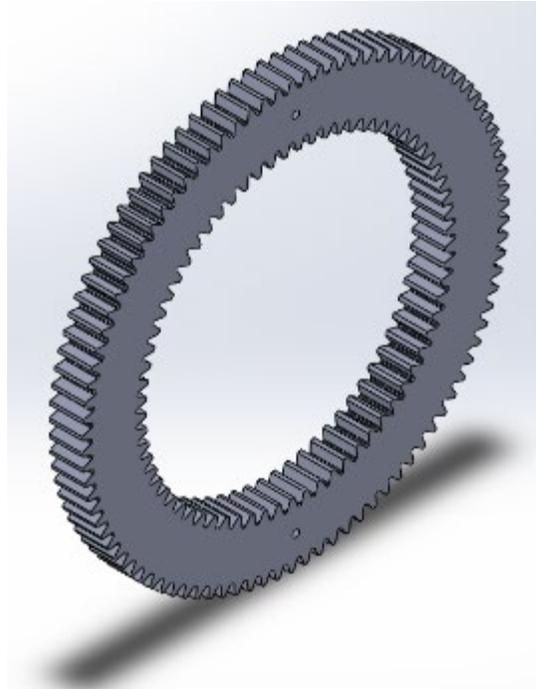
Altura del diente

$$h = 2.25 * m = 2.25 * 2 = 4.5 mm$$

Espesor del diente

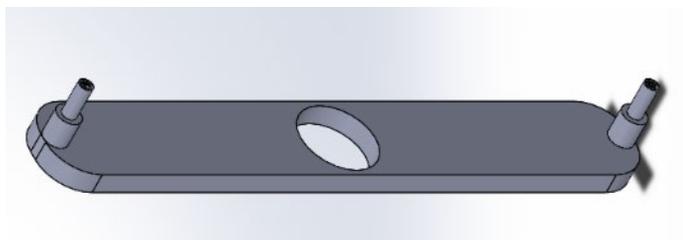
$$e = \frac{Pc}{2} = \frac{6.28}{2} = 3.14 mm$$

## Diseño de la corona

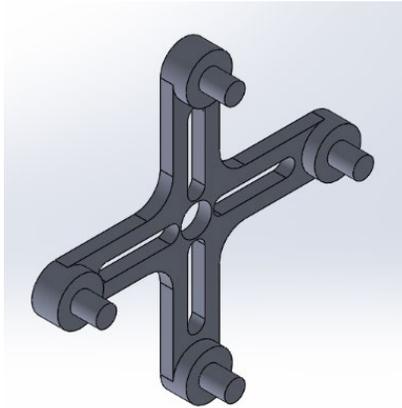


**Figura 54.** Corona

Para colocar el sistema de transmisión en el módulo, fue necesario diseñar unos soportes para que pueda sujetarse todo el tren epicicloidal, como son un soporte para la corona y un porta-satélites.



**Figura 55.** Soporte corona



**Figura 56.** Porta satélites

Después de diseñar el sistema de transmisión se procedió a realizar impresiones en 3D de todo el sistema.



**Figura 57.** Diseño de la transmisión

## CAPÍTULO IV

### OPERACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En este capítulo se realizan pruebas de funcionamiento de todas las opciones que trae el módulo didáctico y como es la utilización del mismo.

#### 4.1. Operación del módulo didáctico

Para el uso adecuado del módulo de entrenamiento es necesario seguir una serie de procedimientos:

1. Para que el módulo entre en funcionamiento, se debe conectar a un tomacorriente de 110 V.
2. Antes de encender el módulo verificar que todos los interruptores se encuentren apagados, es importante porque de estar algún interruptor conectado van a existir errores a la hora de utilizar el módulo, y se va a poner muy lento la comunicación de los microcontroladores.
3. Una vez enchufado el módulo, se procede a encender presionando el interruptor ON / OFF, que es para el encendido y apagado del mismo.
4. Ya encendido el módulo, se observa que todas las pantallas están encendidas, y las secuencias de los leds se encienden por un momento.
5. Se debe esperar que todos los leds se encuentren apagados, para poder empezar a seleccionar las opciones.

6. En la pantalla LCD de arriba, se pueden observar las tres opciones que trae el módulo didáctico.
7. Con el teclado y las letras A, B y C se entran a las opciones.
8. En la opción A están los 9 modos de operación de los vehículos híbridos, y con los números del teclado se selecciona el modo que se quiera visualizar.
9. Cuando se entra a cualquiera de los nueve modos de operación, se puede realizar mediciones con los interruptores.

Nota: Para realizar las mediciones, es importante que todos los interruptores estén apagados.

10. Para realizar alguna medición en el sistema, se debe encender el interruptor que se desee medir, y en teclado presionar la letra \*, y aparece en la LCD de abajo la medición deseada.

Nota: Para realizar otra medición primero se debe apagar el interruptor que este encendido, y encender el otro para la siguiente medición, solo un interruptor debe estar encendido, y cuando se salga del modo en el que se encuentre todos los interruptores deben estar apagados.

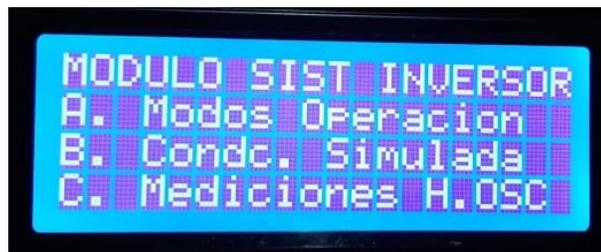
11. Estas mediciones las puede realizar en cualquiera de los nueve modos de operación.

12. Si presiona la opción B, entra al modo de conducción simulada, primero empieza con el modo 1, y mientras se vaya presionando el acelerador que se encuentra debajo del teclado, el módulo va cambiando de modo.
13. Y por último la opción C, se pueden realizar mediciones y ver las gráficas que se generan en el sistema.

## 4.2. Pruebas

El módulo didáctico tiene un menú principal que se despliega en la primera pantalla LCD, la misma que permite visualizar qué parte del módulo que se quiere analizar.

Por medio del KeyPad se selecciona una de las tres opciones A, B o C.



**Figura 58.** Pantalla menú principal

A continuación, se indica cada una de las opciones a detalle.

### **Modos de operación**

Al ingresar en modos operación se despliega un mensaje en la LCD principal con todos los casos investigados. Dentro de cada uno las aceleraciones de los motores están programadas automáticamente para accionarse de acuerdo al modo seleccionado.



**Figura 59.** Pantalla opción A Modos de operación

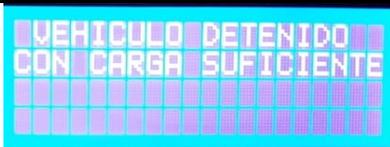
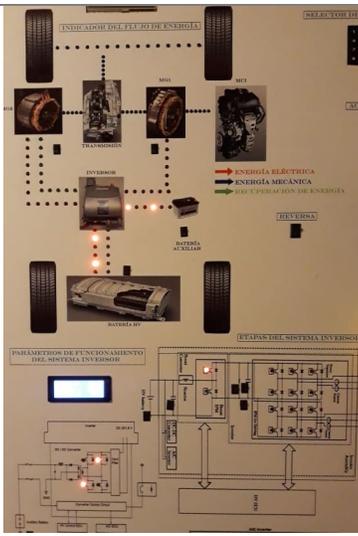
Todos los modos de operación se detallan a continuación.

#### **4.2.1. Modo 1**

En este modo de operación se observa el comportamiento simulado del vehículo cuando se encuentra en estado “Ready”, es decir el sistema se ha iniciado, el vehículo está detenido y tiene carga suficiente.

Dentro del estado actual del módulo, el Arduino envía tres datos seriales a microcontroladores que comandan secuencias de flujo de energía y accionan el convertidor. El primer flujo de energía va desde la batería hacia el inversor y otro desde el inversor hacia la batería auxiliar, señalando que, en ese instante dentro del sistema inversor el único componente que está en funcionamiento es el convertidor dc-dc el cual abastece de energía a la batería auxiliar y asiste a todos los sistemas auxiliares del vehículo.

**Tabla 15.**  
*Parámetros de funcionamiento modo 1*

Modo de operación 1	Ilustración
Nombre	
Parámetros LCD 1	
Parámetros de funcionamiento LCD 2	
Flujos de energía	

#### 4.2.2. Modo 2

En este modo de operación se simula el instante en el cual el motor de combustión interna entra en funcionamiento cuando el vehículo se encuentra detenido y posteriormente (siguiente modo de operación) cargue la batería de alto voltaje. En el instante que se detecta que la carga de la batería de alto voltaje disminuyó a un 50% cuando el vehículo se encontraba detenido, el inversor toma energía de la batería para poder dar arranque a MG1 el cual a su vez enciende al motor de combustión de interna. En esta condición de operación se indica únicamente el instante en el cual se acciona MCI, es decir, el flujo de energía tiene un solo sentido que va desde la batería hacia el inversor MG1 y motor de combustión.

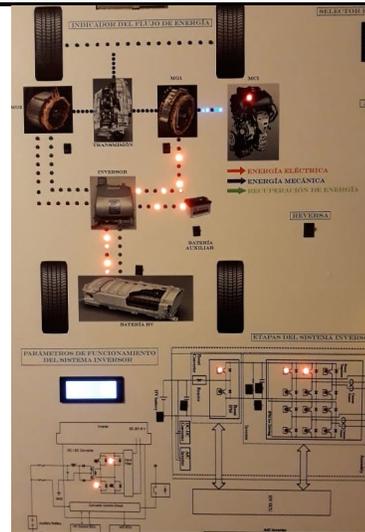
**Tabla 16.**

*Parámetros de funcionamiento modo 2*

Modo de operación 2	Ilustración
Nombre	
Parámetros LCD 1	
Parámetros de funcionamiento LCD 2	

**CONTINÚA** →

## Flujos de energía



En este modo se enciende MG1 como motor de arranque, y hace girar al engranaje planetario.

**Tabla 17.**

*Estado engranajes transmisión modo 2*

Engranaje	Estado	Ilustración
Planetario	Girando	
Satélites	Arrastrado por planetario	
Corona	Detenida	

### 4.2.3. Modo 3

Esta condición de operación está diseñada para simular el momento en que MCI por medio de MG1 carga la batería de alto voltaje.

El flujo de energía del módulo indica que ahora MCI arrastra a MG1 y este al mismo tiempo genera un voltaje alterno en tres fases, el cual es rectificado en el interior del sistema inversor por medio de un pack de 6 diodos rectificadores para su posterior almacenamiento.

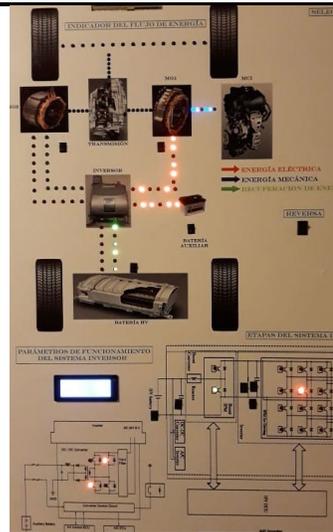
**Tabla 18.**

*Parámetros de funcionamiento modo 3*

Modo de operación 3	Ilustración
Nombre	
Parámetros LCD 1	
Parámetros de funcionamiento LCD 2	

**CONTINÚA** →

## Flujos de energía



En el instante que MG1 es arrastrado se activa un transistor del “**Booster**”, el cual permite el paso de la energía generada hacia la batería de alto voltaje.

Para el modo 3, gira el MCI junto con el porta-satélites.

**Tabla 19.**

*Estado engranajes transmisión modo 3*

Engranaje	Estado	Ilustración
Planetario	Arrastrado por satélites	
Satélites	Girando	
Corona	Detenida	

#### 4.2.4. Modo 4

En este modo de operación el módulo simula una salida eléctrica del vehículo, donde la batería de alto voltaje es la encargada de accionar a MG2 y otorgar la suficiente potencia eléctrica para mover el vehículo durante un lapso de 0 a 20kmph o hasta que la carga de la batería indique 40%, en tal caso se procede al siguiente modo de operación manualmente.

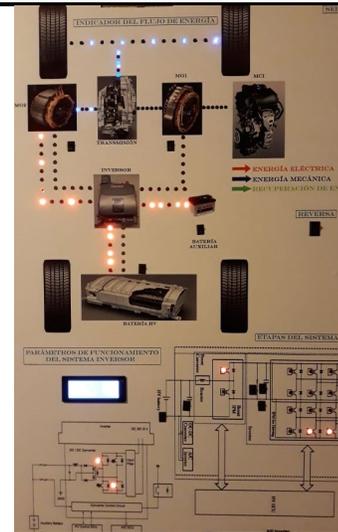
**Tabla 20.**

*Parámetros de funcionamiento modo 4*

Modo de operación 4	Ilustración
Nombre	
Parámetros LCD 1	
Parámetros de funcionamiento LCD 2	

**CONTINÚA** →

## Flujos de energía



En el modo 4, la salida eléctrica la realiza MG2 que hace mover a la corona.

**Tabla 21.**

*Estado engranajes transmisión modo 4*

Engranaje	Estado	Ilustración
Planetario	Detenido	
Satélites	Arrastrado por corona	
Corona	Girando	

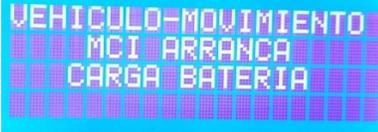
#### 4.2.5. Modo 5

En este modo de operación se combinan dos casos anteriores con el propósito de simular el accionamiento del motor de combustión interna mientras el vehículo está en movimiento.

El modo 4 simula el movimiento eléctrico del vehículo y el modo 2 el accionamiento de MG1 el cual da arranque a MCI; con esta secuencia establecida en un tiempo determinado el módulo cambia el sentido de flujo de energía del último caso para indicar el instante en que MCI carga la batería de alto voltaje mientras se encuentra en movimiento.

#### Tabla 22.

*Parámetros de funcionamiento modo 5*

Modo de operación 5	Ilustración
Nombre	
Parámetros LCD 1	 

**CONTINÚA** →

```

STATE COND RPM
MCI: ON MOV 3500
MG1: ON GENER 4500
MG2: OFF - 0

```

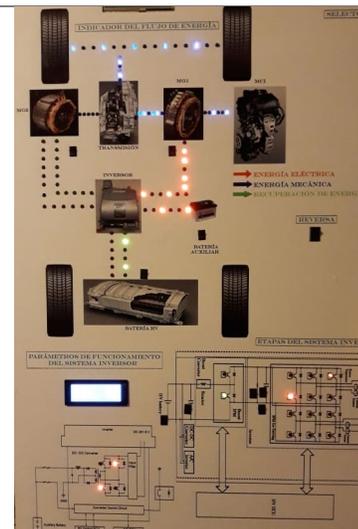
### Parámetros de funcionamiento LCD 2

```

BATERIA HV Cargando
BOOSTER... OFF
SAL. INVERSOR 500Vac
CONV. DC-DC... ON

```

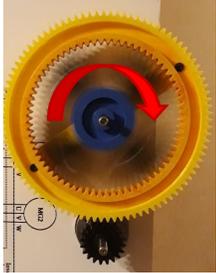
### Flujos de energía



En esta condición de operación los parámetros de funcionamiento del inversor se observan en la LCD1, la cual indica en qué instante los moto-generadores trabajan como motores o como generadores, así como el accionamiento de transistores que indican si la batería está entregando o recibiendo energía.

El modo 5 se mueve MCI (porta satélites), el cual alimenta al MG1(Planetario) para dar movimiento al vehículo y cargar la batería de alta tensión.

**Tabla 23.***Estado engranajes transmisión modo 5*

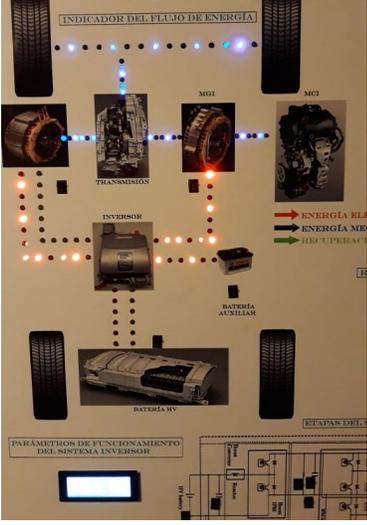
<b>Engranaje</b>	<b>Estado</b>	<b>Ilustración</b>
<b>Planetario</b>	Arrastrado por satélites	
<b>Satélites</b>	Girando	
<b>Corona</b>	Detenida	

**4.2.6. Modo 6**

Este modo de operación está diseñado para simular una condición de manejo de media y alta potencia, en el cual el inversor debe administrar y direccionar la energía que le entregan para mantener esta condición.

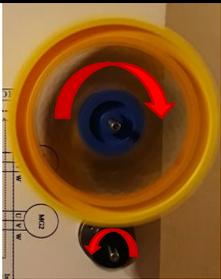
En este caso el flujo de energía se encuentra en un lazo cerrado, después de haber pasado por los modos anteriores, el inversor direcciona la energía que le entrega MG1 hacia MG2 con el fin de brindar apoyo al MCI que en esta condición es el encargado del movimiento del vehículo.

**Tabla 24.***Parámetros de funcionamiento modo 6*

Modo de operación 6	Ilustración
Nombre	
Parámetros LCD 1	
Parámetros de funcionamiento LCD 2	
Flujos de energía	

En el modo 6 gira el motor de combustión junto con el porta-satélites, para ayudar al MG2 que está girando junto con la corona, y dar más potencia al vehículo.

**Tabla 25.***Estado engranajes transmisión modo 6*

Engranaje	Estado	Ilustración
Planetario	Arrastrado por satélites	
Satélites	Girando	
Corona	Girando	

**4.2.7. Modo 7**

Este modo de operación simula el funcionamiento del vehículo a máxima potencia. Esta condición es muy similar a la anterior, con la diferencia que la batería de alto voltaje se ve obligada a entregar energía extra para abastecer todo el requerimiento de potencia del conductor.

**Tabla 26.***Parámetros de funcionamiento modo 7*

Modo de operación 7	Ilustración
Nombre	

**CONTINÚA** →

---

**Parámetros LCD 1**

```

STATE COND RPM
MCI: ON   MOV  4000
MG1: ON   MOT  6000
MG2: ON   MOT  8000
  
```

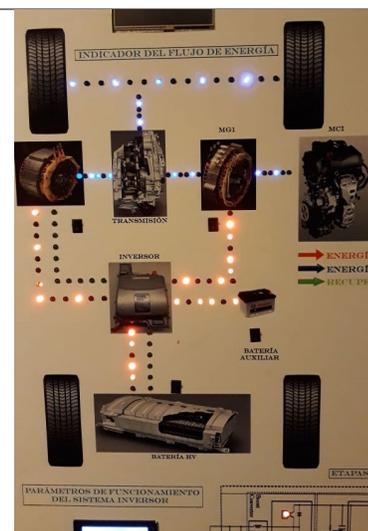
---

**Parámetros de funcionamiento LCD 2**

```

BATERIA HV... Descar.
BOOSTER... ON
SAL. INVERSOR 500Vac
CONV. DC-DC... ON
  
```

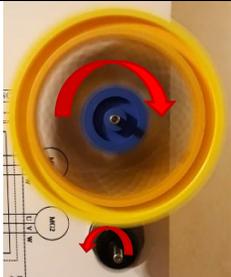
---

**Flujos de energía**



---

En el modo 7 gira el motor de combustión junto con el porta-satélites, para ayudar al MG2 que está girando junto con la corona, al igual que en el modo 6 y aparte se suma la potencia de la batería de alta tensión que hace girar al MG2 (corona), para dar toda la potencia al vehículo.

**Tabla 27.***Estado engranajes transmisión modo 7*

Engranaje	Estado	Ilustración
Planetario	Arrastrado por satélites	
Satélites	Girando	
Corona	Girando	

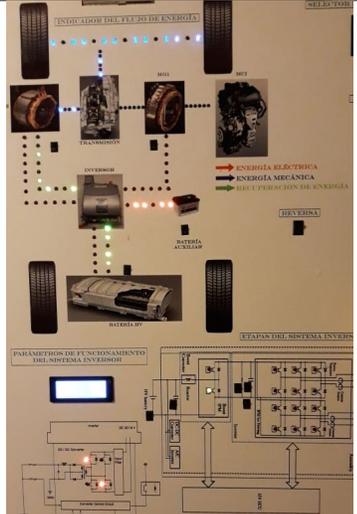
**4.2.8. Modo 8**

Este modo de operación simula el freno regenerativo del vehículo, que por medio de MG2 recupera energía al actuar como generador entregando un voltaje alterno en tres fases en dirección al inversor. Esta última toma el voltaje alterno y lo rectifica en su interior para poder almacenarlo en la batería de alto voltaje.

**Tabla 28.***Parámetros de funcionamiento modo 8*

Modo de operación 8	Ilustración
Nombre	

**CONTINÚA** →

<p><b>Parámetros LCD 1</b></p>	
<p><b>Parámetros de funcionamiento LCD 2</b></p>	
<p><b>Flujos de energía</b></p>	

**Tabla 29.**

*Estado engranajes transmisión modo 8*

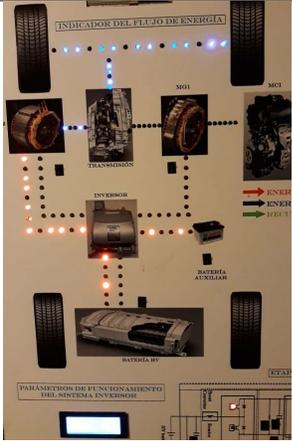
Engranaje	Estado	Ilustración
Planetario	Detenido	
Satélites	Arrastrados por corona	
Corona	Girando	

#### 4.2.9. Modo 9

Este modo de operación simula reversa, la cual es similar a la condición de operación 4 “**Salida eléctrica**” en donde MG2 es quien mueve el vehículo. Con la diferencia que el sentido de giro del motor es opuesto.

**Tabla 30.**

*Parámetros de funcionamiento modo 9*

Modo de operación 9	Ilustración
Nombre	
Parámetros LCD 1	
Parámetros de funcionamiento LCD 2	
Flujos de energía	

Para la reversa gira la corona junto con MG2 en sentido contrario.

**Tabla 31.**

*Estado engranajes transmisión modo 9*

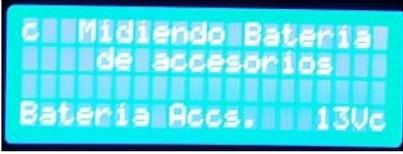
Engranaje	Estado	Ilustración
Planetario	Detenido	
Satélites	Arrastrados por corona	
Corona	Girando (Sentido contrario)	

#### 4.3. Pruebas de mediciones en el sistema

Las mediciones se las realiza dentro de los modos de operación y se pueden medir los siguientes componentes:

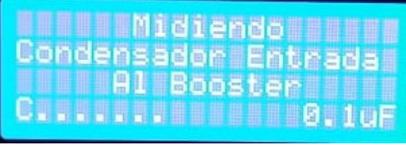
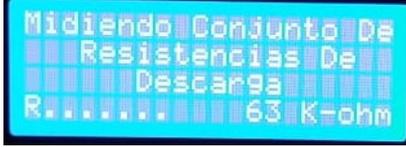
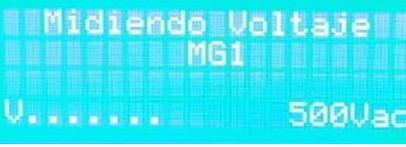
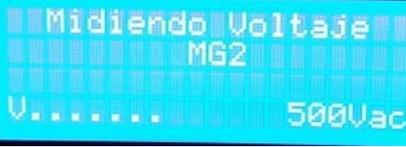
**Tabla 32.**

*Mediciones de componentes*

Componente	Medición
Batería de accesorios	

**CONTINÚA** →

---

<b>Batería de alto voltaje HV</b>	 <pre>Midiendo Bateria HV Bateria HV 220Vcc</pre>
<b>Condensador de entrada al booster</b>	 <pre>Midiendo Condensador Entrada Al Booster C. 0.1UF</pre>
<b>Conjunto de resistencias</b>	 <pre>Midiendo Conjunto De Resistencias De Descarga R. 63 K-ohm</pre>
<b>Condensador de salida del booster</b>	 <pre>Midiendo Condensador Salida Del Booster C. 1500uF</pre>
<b>Booster</b>	 <pre>Midiendo Voltaje Salida Del Booster U. 500Vcc</pre>
<b>MG1</b>	 <pre>Midiendo Voltaje MG1 U. 500Vac</pre>
<b>MG2</b>	 <pre>Midiendo Voltaje MG2 U. 500Vac</pre>

---

#### 4.4. Conducción simulada

Al ingresar en la opción “B” del menú principal, la LCD1 muestra el mensaje de “Vehículo Ready” seguido de valores como voltaje, estado y rpm de los motores en ese instante.

En esta condición la placa principal toma el valor análogo del potenciómetro conectado al acelerador, analiza el rango al cual está ubicado y ejecuta las acciones programadas de conducción, va cambiando de modo según la posición del acelerador.



*Figura 60.* Acelerador

#### 4.5. Osciloscopio

El osciloscopio está diseñado con una pantalla TFT que indica los parámetros de funcionamiento del sistema inversor de una forma gráfica para poder apreciar los rangos en los cuales se encuentran los voltajes trifásicos generados por el inversor como los

moto-generadores, de igual forma mediante el osciloscopio se puede apreciar gráficamente otros parámetros de funcionamiento como la elevación, conversión y reducción de voltaje en el sistema inversor.



**Figura 61.** Pantalla principal TFT

La pantalla TFT tiene dos opciones, la primera es de teoría del módulo, en esta parte se puede ver una introducción de los vehículos híbridos, cuales son los modos de operación del sistema y las medidas que se realiza con el osciloscopio interno de la pantalla.



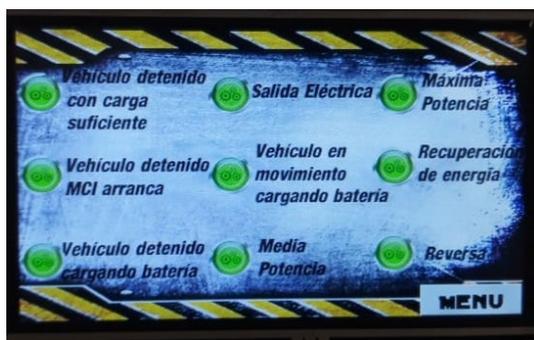
**Figura 62.** Pantalla de teoría del módulo

Por otra parte, la segunda opción que tiene es de inicio de la práctica, donde sí se presiona nos envía a una pantalla donde se va a poder observar cuanta carga tiene la batería, la velocidad simulada del vehículo y en qué modo de operación se encuentra, y también se puede ver el osciloscopio que nos mostrara los voltaje y ondas con las que está trabajando en ese momento.



**Figura 63.** Pantalla de inicio de la práctica

También se puede ver los modos de operación en esta pantalla.



**Figura 64.** Modos de operación pantalla TFT

## CAPÍTULO V MARCO ADMINISTRATIVO

### 5.1. Recursos.

#### 5.1.1. Recursos humanos

El recurso humano que intervendrá en la ejecución de la investigación es el siguiente:

**Tabla 33.**

*Recursos Humanos*

Ord.	Descripción	Cantidad	Función
1.	Jorge Luis Espinoza Chicaiza	1	Investigador
2.	Jonnathan Andrés Flores Villacis	1	Investigador
3.	Ing. Washington Germán Erazo Laverde	1	Colaborador Científico
4.	Ing. José Lizandro Quiroz Erazo	1	Colaborador Científico

#### 5.1.2. Recursos materiales

Para el desarrollo de la investigación se necesita elementos y componentes que se detallan a continuación:

**Tabla 34.**  
*Recursos Materiales*

<b>Ord.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Costos unitarios</b>	<b>Costo total USD</b>
1	1	Pantalla TFT	\$ 100.00	\$ 100.00
2	2	Pantallas LCD	\$ 30.00	\$ 60.00
3	18	Microcontroladores	\$ 5.00	\$ 90.00
4	1	Componentes eléctricos electrónicos para el módulo didáctico	\$ 150.00	\$ 150.00
5	1	Estructura para módulo	\$ 80.00	\$ 80.00
6	3	Motores de corriente continua	\$20.00	\$60.00
7	1	Sistema de transmisión solar planetarios	\$70.00	\$70.00
8		Recursos humanos		\$ 200.00
9		Documentación		\$ 100.00
10		Imprevistos		\$ 100.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 1010.00</b>

### **5.1.3. Recursos tecnológicos**

Para la realización correcta de la investigación es necesario contar con equipos tecnológicos que se mencionan a continuación:

**Tabla 35.***Recursos Tecnológicos*

<b>Ord.</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
1.	Computador personal	1	\$300.00
2.	Multímetro	1	\$60.00
3.	Cámara fotográfica	1	\$50.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 410.00</b>

**5.2. Costo neto del proyecto**

El costo neto del proyecto titulado como “INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA INVERSOR PARA VEHÍCULOS HÍBRIDOS A TRAVÉS DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO”, resulta de la suma total de los recursos a utilizar y la movilidad.

**Tabla 36.***Costo Neto del Proyecto*

<b>Descripción</b>	<b>Costo total USD</b>
Recursos materiales	1010.00
Recursos tecnológicos	410.00
Movilidad	200.00
<b>TOTAL</b>	<b>1620.00</b>

## CONCLUSIONES.

- El sistema inversor posee varias etapas de conversión de corriente las cuales son direccionadas a los distintos elementos que tiene el automóvil, su funcionamiento y cómo se comporta en cada modo de operación se recopiló de bases digitales confiables y se consiguió simular su funcionamiento en un 70% en el módulo didáctico.
- Se analizó los procesos de conversión de corriente que se realizan dentro del inversor, y se verificó que en la etapa de elevación de tensión el convertidor DC-DC recibe una tensión de 200Vcc y mediante la activación programada de 2 pares de transistores de alta potencia eleva ésta tensión a 500Vcc y posteriormente ingresarla en el inversor, el cual posee 3 pares de transistores IGBT que conmutan a una frecuencia establecida para transformar la tensión elevada del convertidor a 500Vac.
- Se simuló la conversión de corriente con la activación secuencial de los transistores IGBT, en el módulo se observa la secuencia con la que se activa cada uno de los 6 transistores para lograr la conversión de corriente, y encender los motogeneradores.
- Mediante el desarrollo del módulo didáctico se pudo determinar los nueve modos de operación en los que actúa el sistema inversor, así como los parámetros de funcionamiento en cada uno de ellos.

- Con el diseño del módulo didáctico se seleccionó componentes electrónicos los cuales se conforman de varios elementos como las placas de secuencia de la batería hacia el inversor y hacia los motogeneradores, así como la secuencia de la conversión de corriente, todas las placas son activadas por una tarjeta madre que posee un Arduino que controla todo el sistema.
- Se implementó un módulo de control mediante un microcontrolador el cual simula en un 70% el funcionamiento del vehículo híbrido enviando señales a cada uno de los sistemas para que se pueda visualizar las etapas de conversión de corriente simuladas.
- Al realizar las pruebas de funcionamiento se constató los parámetros obtenidos anteriormente, para poder realizar un análisis de funcionamiento de las etapas de operación.

**RECOMENDACIONES.**

- Leer el manual de uso del módulo, para evitar daños en el mismo.
- Cada uno de los interruptores del módulo tienen una función diferente, verificar que todos estén apagados antes de encender el módulo.
- Al realizar las mediciones en cada modo de operación se debe realizar una por una.
- Al entrar a cualquier modo de operación dejar que termine de cargarse los datos antes de regresar.
- En conducción simulada no presionar bruscamente el pedal del acelerador para que se pueda observar bien como va cambiando a los diferentes modos de operación.
- El módulo didáctico se puede utilizar para la enseñanza de funcionamiento de vehículos híbridos, donde se puede estudiar el funcionamiento y las etapas de conversión de corriente del inversor en los vehículos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, J. L. (Diciembre de 2014). El Método de la Investigación. *International Journal of Good Conscience*, 200. Recuperado el 17 de Abril de 2018
- Amaguaya, B., & Solano, R. (2010). *Estudio de nuevas tecnologías, aplicadas al diseño y control del sistema eléctrico en un vehículo impulsado eléctricamente*. Latacunga. Recuperado el 16 de Abril de 2018
- Araujo, E. (2015). *Estudio y análisis del sistema de freno regenerativo del vehículo híbrido Toyota Prius*. Guayaquil. Recuperado el 15 de Abril de 2018
- Augeri, F. (2009). *Estudio del sistema electrónico y componentes del inversor de un automóvil Híbrido*. Recuperado el 19 de Abril de 2018
- Barros, A. (2015). *Estudio y análisis de la operación del inversor del vehículo híbrido Toyota Prius A*. Guayaquil. Recuperado el 14 de Mayo de 2018
- Cajamarca, D., & García, V. (2010). *Determinación de las ventajas ambientales que presenta un vehículo híbrido respecto a un vehículo normal de similares características*. Cuenca. Recuperado el 15 de Abril de 2018
- Cegarra, J. (2012). *Los métodos de investigación*. Madrid: Díaz de Santos. Recuperado el 17 de Abril de 2018

- Cevallos, Á., & Velasco, E. (2010). *Implementación de un sistema de control y programación de un prototipo de vehículo híbrido comandado a través de un PLC y variadores de frecuencia*. Latacunga.
- EZDS. (2018). G-SCAN. Obtenido de <https://g-scan.gitauto.com:6510/esp/product/list.asp>
- Fitsa. (2006). *Tecnologías de propulsión híbridas y las evidencias científicas de su eficacia*. Recuperado el 15 de Abril de 2018
- Flores, L. (2004). *Estudio y análisis de soluciones topológicas de convertidores CC - CC bidireccionales para su aplicación en vehículos híbridos*. Madrid. Recuperado el 15 de Abril de 2018
- Gómez, F., & Hidalgo, D. (2014). *Diseño y construcción de un banco de pruebas genérico, para la reparación y mantenimiento de baterías híbridas*. Latacunga. Recuperado el 12 de Noviembre de 2018
- Méndez, A., Cely, M., & Willan, M. (2016). *Diseño del Sistema de Freno Regenerativo de Automóviles Híbridos*. Recuperado el 21 de Abril de 2018
- Mendoza, J., & Garza, J. B. (2009). *La medición en el proceso de investigación científica: Evaluación de validez de contenido y confiabilidad*. México, D.F. Recuperado el 18 de Abril de 2018
- Meneses, C. (2018). *Maqueta del sistema y funcionamiento de un inversor en vehículos híbridos*. Quito. Recuperado el 18 de Abril de 2018

- Merchán, R. (2015). *Estudio y análisis del conjunto motogeneradores del vehículo híbrido Toyota Prius A*. Guayaquil. Recuperado el 18 de Abril de 2018
- Polanco, I. (2014). *Diseño e implementación de un controlador de potencia para la tracción y conexión V2uG de un vehículo eléctrico utilitario*. Santiago de Chile. Recuperado el 15 de Noviembre de 2018
- Rodríguez, D., & Valdeoriola, J. (2014). *Metodología de la investigación*. Cataluña. Recuperado el 17 de Abril de 2018, de <http://myuvmcollege.com/uploads/lectura2011-09/Metodolog%C3%ADa%20de%20investigaci%C3%B3n-2064.pdf>
- Romo, L., & Hidalgo, P. (2013). *Diseño y construcción del sistema de propulsión térmico-electrónico de un vehículo híbrido*. Cuenca. Recuperado el 15 de Noviembre de 2018
- Santos, R., Castro, M., & Corral, B. (2012). *Propuesta de inversor bidireccional para la conexión de los vehículos eléctricos a la red*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2018
- Sotomayor, N., & Espinoza, R. (2014). *El método científico*. Recuperado el 17 de Abril de 2018
- Suntaxi, V., & Roberto, H. (2010). *Diseño y construcción de un prototipo didáctico del sistema de transmisión de un vehículo híbrido*. Latacunga. Recuperado el 16 de Noviembre de 2018

- Torres, D., Urriolagoitia, G., Hernández, H., & Romero, B. (2010). *Diseño de un montaje experimental para determinar la rentabilidad técnica de un vehículo híbrido eléctrico*. Mexico. Recuperado el 15 de Abril de 2018, de <http://www.redalyc.org/html/614/61415122003/>
- Toyota. (2010). *Toyota hybrid system*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2018
- Toyota. (2018). Recuperado el 18 de Noviembre de 2018, de <https://www.toyota.com/>
- Urrutia, L. (2011). *Sistema motor-inversor "sensorless" para arranque de vehículo híbrido "plug-in"*. Santiago de Chile. Recuperado el 17 de Noviembre de 2018
- Vargas, J. (2012). *Conversión a auto eléctrico basada en un accionamiento trifásico: diseño, modelación e implementación*. Santiago de Chile. Recuperado el 20 de Abril de 2018
- Zelaya, O. (2006). *Análisis general de los vehículos híbridos y su funcionamiento*. Guatemala. Recuperado el 19 de Noviembre de 2018

# ANEXOS



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

### CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores ESPINOZA CHICAIZA JORGE LUIS Y FLORES VILLACIS JONNATHAN ANDRÉS.

En la ciudad de Latacunga a los 25 del mes de enero del 2019

Aprobado por:

.....  
Ing. Germán Erazo  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

.....  
Ing. Danilo Zambrano  
**DIRECTOR DE LA CARRERA**

.....  
Dr. Darwin Albán Yáñez  
**SECRETARIO ACADÉMICO**

