



# **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: DIAGNÓSTICO ELECTRÓNICO DEL SISTEMA DE  
PROPULSIÓN, REGENERACIÓN, CARGA Y DESCARGA DEL  
VEHÍCULO ELÉCTRICO PARA DETERMINAR SU AUTONOMÍA**

**AUTORES:**

**CHAMORRO RIASCOS, JOHN JAIRO**

**GUERRERO VERA, MICHAEL ANTONIO**

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

**LATACUNGA**

**2020**



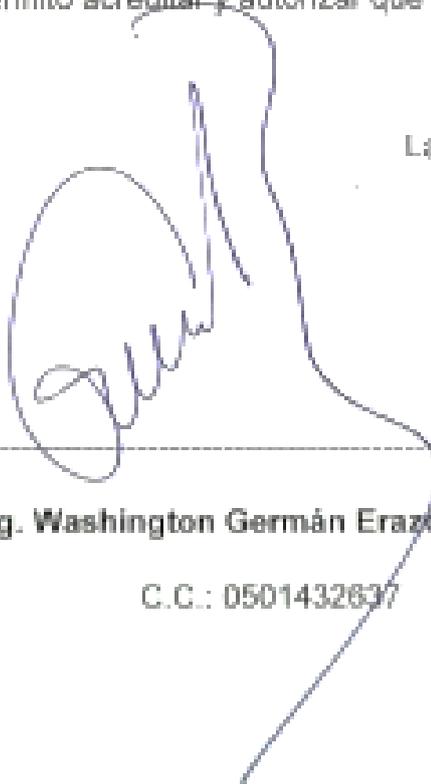
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**DIAGNÓSTICO ELECTRÓNICO DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN, REGENERACIÓN, CARGA Y DESCARGA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO PARA DETERMINAR SU AUTONOMÍA**” fue realizado por los señores: ***Chamorro Riascos, John Jairo y Guerrero Vera, Michael Antonio*** 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 ~~permite acreditar y autorizar que lo sustente públicamente.~~

Latacunga, 03 de enero del 2020



---

Ing. Washington Germán Erazo Laverde

C.C.: 0501432637



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

Nosotros, Chamorro Riascos, John Jairo y Guerrero Vera, Michael Antonio, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***Diagnóstico electrónico del sistema de propulsión, regeneración, carga y descarga del vehículo eléctrico para determinar su autonomía*** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y refiriendo las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz

**Latacunga, 03 de enero del 2020**

Chamorro Riascos, John Jairo

C.C.: 1722445598

Guerrero Vera, Michael Antonio

C.C.: 1312594367



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

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORIZACIÓN**

*Nosotros, **Chamorro Riascos, John Jairo y Guerrero Vera, Michael Antonio** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diagnóstico electrónico del sistema de propulsión, regeneración, carga y descarga del vehículo eléctrico para determinar su autonomía en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.***

**Latacunga, 03 de enero del 2020**

Chamorro Riascos, John Jairo

C.C.: 1722445598

Guerrero Vera, Michael Antonio

C.C.: 1312594367

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo esta principalmente dedicado a mis padres Juan y Aura por ser el pilar fundamental en mi vida, en especial en esta etapa de mi carrera universitaria, que a pesar de la distancia supieron guiarme y apoyarme en todo momento.

A mi tía Piedad que siempre estuvo pendiente y que se ha preocupado de mi familia y que con sus palabras estuvo siempre ahí apoyándonos.

A mis abuelitos a los que están presentes y a los que desde el cielo nos cuidan, que sus principios y valores han formado una familia unida.

A mi hermano Darwin y a mi sobrina Amy que con sus ocurrencias y travesuras llego a nuestras vidas para sacarnos una sonrisa aligerando la tristeza de la partida de nuestros seres queridos.

***JOHN JAIRO CHAMORRO RIASCOS***

## DEDICATORIA

Quisiera que este trabajo llegue al cielo y que pueda leerlo esa persona tan especial. Dedicado al Sr. Antonio Vera quien fue y será mi mentor, mi vida no sería nada si no la hubiera compartido con él, a mi mami Ursula Vera que siempre ha luchado conmigo y para mí y sé que nunca podré pagarle todo lo dado y por dar, pero siempre velaré por su bienestar y felicidad sin importar el tiempo.

Dedicado a mi hermanita Angélica y al Sr. Fredy Suntaxi quienes desde su llegada devolvieron alegría a mi vida y le dieron otro sentido dándome la fortaleza por cumplir todos mis sueños. A mi novia Vanessa Veloz por cada palabra de aliento y palmaditas diciendo, tú puedes mereces esto y más.

Dedicado a Carlos García amigo y hermano por siempre estar presente cerca o lejos en toda mi vida no solamente académica, a mi mascota Tommy por llegar a brindar risas y travesuras a mi vida.

En fin, no pudiera nombrar a todas las personas que me ayudaron a cumplir este sueño; mi padre, mis hermanos, la prestigiosa familia Vera, mis tías y tíos, primos y primas todo esto, aunque poco, pero va por ustedes.

***MICHAEL ANTONIO GUERRERO VERA***

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco principalmente a Dios como parte espiritual por darme la fuerza y sabiduría para lograr alcanzar los objetivos que me he propuesto.

A mis padres por su amor y apoyo incondicional estuvieron en los momentos buenos y malos de esta etapa estudiantil.

A mi tutor académico Germán Erazo, que con su experiencia nos guío en el desarrollo de este trabajo de investigación, que a más de ser un profesor ha sido un amigo el cual nos ha inculcado valores y experiencias que desde ya empiezan a dar frutos.

A mi compañero de tesis y a cada uno de los profesores y compañeros de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, que en cada semestre fueron impartiendo sus conocimientos y sus experiencias de vida para lograr alcanzar cada uno de los objetivos que nos hemos planteado.

***JOHN JAIRO CHAMORRO RIASCOS***

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco principalmente a Dios como parte espiritual por darme la fuerza y sabiduría para alcanzar el objetivo propuesto.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L, por abrirme sus puertas y brindarme el conocimiento suficiente, además del apoyo para que se realizara con éxito este trabajo.

Gracias a nuestro tutor académico Germán Erazo, por su apoyo en todo momento del camino, por su paciencia y estar siempre disponible a trabajar con nosotros, dándonos consejos no solo para el trabajo sino también para la vida. A la empresa BYD por darnos la apertura de poder realizar esta investigación y estar siempre dispuestos a brindar toda la información necesaria para culminar nuestra tarea.

Le agradezco a mi compañero de tesis, que durante el desarrollo de este trabajo se convirtió en gran amigo incondicional y a cada uno de los profesores y compañeros con quienes he compartido durante este proceso de formación, que con buenas y malas experiencias todos aprendimos el uno del otro

***MICHAEL ANTONIO GUERRERO VERA***

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARÁTULA</b>	
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>i</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xv</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b> .....	<b>xvii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xviii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xix</b>

## CAPÍTULO I

### MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1	Antecedentes.....	1
1.2.	Planteamiento del problema. ....	3
1.3.	Descripción resumida del proyecto. ....	4
1.4.	Justificación e importancia.....	5
1.5.	Objetivos del proyecto .....	7
1.5.1.	Objetivo general .....	7
1.5.2.	Objetivos específicos.....	7
1.6.	Metas del proyecto .....	8
1.7.	Hipótesis.....	9
1.8.	Variables de la investigación .....	9
1.8.1.	Variable independiente .....	9
1.8.2.	Variable dependiente.....	9

1.8.3.	Operacionalización de variables .....	9
1.9.	Metodología de desarrollo del proyecto .....	10
1.9.1.	Método deductivo .....	10
1.9.2.	Método inductivo .....	11
1.9.3.	Método experimental .....	11
1.9.4.	Método estadístico .....	11
1.9.5.	Método analítico .....	11
1.9.6.	Método de matematización .....	12

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1.	Vehículo eléctrico .....	13
2.1.1.	Consideraciones generales para el vehículo eléctrico .....	14
2.1.2.	Ventajas .....	15
2.1.3.	Desventajas.....	16
2.2.	Vehículos eléctricos en el Ecuador .....	17
2.3.	Tipos de vehículos eléctricos .....	18
2.3.1.	Vehículo 100% eléctrico (EV) .....	18
2.3.2.	Vehículo eléctrico híbrido (HEV) .....	19
2.3.3.	Vehículo híbrido enchufable (PHEV) .....	20
2.3.4.	Vehículo eléctrico de pila de combustible .....	20
2.3.5.	Eficiencia de los diferentes tipos de vehículos .....	22
2.4.	Evolución de BYD.....	23
2.5.	Bus BYD modelo K9G .....	24
2.6.	Sistema de propulsión eléctrico .....	25
2.6.1.	Inversor .....	26
2.6.2.	Componentes del inversor .....	27
2.6.3.	Controlador del vehículo .....	28
2.6.4.	BMC (Battery Management Controller) .....	28
2.6.5.	Batería .....	29
a.	Procesos de carga y descarga .....	31
b.	Composición de baterías .....	31

c.	Factores que afectan la eficiencia de la batería.....	34
2.6.6.	Motor eléctrico.....	34
a.	Tipos de motores eléctricos.....	35
2.7.	Sistema regenerativo.....	38
2.8.	Recarga del vehículo eléctrico.....	38
2.9.	Ciclos homologados.....	41
2.9.1.	NEDC (New European Driving Cycle).....	42
a.	Ciclo urbano.....	42
b.	Ciclo extraurbano.....	42
2.10.	Métodos matemáticos estadísticos.....	43
2.10.1.	Definición del modelo matemático.....	45
2.12.	Parámetros de identificación (PID).....	45
2.13.	Códigos de diagnóstico de problemas (DTC).....	46

## **CAPÍTULO III**

### **LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA**

3.1.	Funcionamiento general del bus eléctrico.....	48
3.2.	Sistemas del bus K9G.....	49
3.3.	Módulo controlador del vehículo.....	50
3.3.1.	Sub-red del motor.....	51
3.3.2.	Señal del sensor de estacionamiento.....	52
3.3.3.	Señal del interruptor limp.....	52
3.3.4.	Señal del sensor de presión.....	53
3.3.5.	Señal del selector de marcha.....	53
3.3.6.	Señal del pedal de aceleración.....	53
3.3.7.	Señal del pedal de freno.....	54
3.3.8.	Señal de los motores propulsores.....	54
3.3.9.	Red de encendido.....	54
3.4.	Controladores de los motores propulsores.....	55
3.4.1.	Diagrama eléctrico.....	56
3.4.2.	Diagrama de bloques.....	57
3.4.3.	Diagnóstico de fallas.....	57

3.5.	Conector OBD II .....	58
3.6.	DC y controlador del motor auxiliar .....	59
3.7.	Batería .....	59
3.7.1.	Colector de información .....	62
3.7.2.	Comunicador de información .....	62
3.7.3.	Controlador BMS auxiliar .....	63
3.7.4.	Sensor de corriente hall .....	63
3.7.5.	Contacto principal de descarga .....	64
3.7.6.	Contacto principal de precarga .....	64
3.7.7.	Compuestos de las baterías .....	65
3.8.	Instrumento de combinación .....	71
3.9.	Inversor .....	72
3.9.1.	Señal de la RED CAN .....	76
3.9.2.	Señal de la caja de distribución de alta tensión. ....	76
3.9.3.	Señal de la caja de distribución de baja tensión. ....	77
3.9.4.	Señal de salida a la batería .....	77
3.9.5.	Señal del sistema de climatización. ....	77
3.10.	Controlador auxiliar posterior .....	78
3.11.	Parámetros de identificación (PID) del bus BYD. ....	81
3.12.	Códigos de falla (DTC) del bus BYD .....	82
3.12.1.	Códigos de falla de los controladores de gestión de baterías .....	83
3.12.2.	Códigos de falla del sistema conjunto de baterías .....	84
3.12.3.	Códigos de falla del sistema de la red de comunicación .....	84
3.12.4.	Códigos de falla del conjunto inversor .....	85
3.13.	Pasos de mantenimiento en caso de fuga eléctrica. ....	86

## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

4.1.	Protocolo de prueba de ruta .....	87
4.1.1.	Recorrido, distancia, tiempo y modo de conducción .....	87
4.1.2.	Movilidad urbana .....	91
4.2.	Modo de conexión del escáner VDS2000. ....	91

4.3.	Panel de navegación del escáner VDS2000 .....	92
4.4.	El proceso de conexión .....	93
4.5.	Obtención de datos de los diferentes controladores del bus K9G. ....	96
4.5.1.	Consumo de batería vs velocidad de rotación del motor.....	96
4.5.2.	Posición del pedal de aceleración vs velocidad del vehículo. ....	99
4.5.3.	Voltaje total del pack 1 vs corriente del pack 1 .....	100
4.5.4.	Voltaje total del pack 1 vs SOC del pack 1 .....	101
4.5.5.	Velocidad de rotación de motor vs torque.....	103
4.5.6.	Torque motor izquierdo vs motor derecho .....	104
4.5.7.	Torque del motor vs posición del pedal de aceleración.....	106
4.5.8.	Determinación del grado de inclinación máximo de la ruta. ....	107
4.5.9.	Determinación de la autonomía .....	109
4.5.10.	Correlación de variables .....	109
4.5.11.	Calculo de la autonomía teórica .....	109
4.5.12.	Calculo de la autonomía real mediante la ecuación de regresión lineal.....	110
4.6.	Análisis de la autonomía con las variables independientes.....	114

## **CAPÍTULO V**

### **MARCO ADMINISTRATIVO**

5.1.	Recursos humanos.....	116
5.2.	Recurso tecnológico .....	116
5.3.	Recursos materiales .....	117
5.4.	Presupuesto y financiamiento .....	117

<b>CONCLUSIONES</b> .....	119
---------------------------	-----

<b>RECOMENDACIONES</b> .....	121
------------------------------	-----

<b>TERMINOLOGÍA</b> .....	122
---------------------------	-----

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	123
---	-----

<b>ANEXOS</b> .....	133
---------------------	-----

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	<i>Operacionalización de la variable independiente</i> .....	10
<b>Tabla 2.</b>	<i>Operacionalización de la variable dependiente</i> .....	10
<b>Tabla 3.</b>	<i>Metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevará a cabo el proyecto.</i> .....	12
<b>Tabla 4.</b>	<i>Vehículos eléctricos comercializados en Ecuador</i> .....	18
<b>Tabla 5.</b>	<i>Comparación de los diferentes tipos de vehículos eléctricos</i> .....	22
<b>Tabla 6.</b>	<i>Categorización de los vehículos y buses eléctricos.</i> .....	25
<b>Tabla 7.</b>	<i>Componentes del conjunto inversor.</i> .....	27
<b>Tabla 8.</b>	<i>Características de los tipos de batería</i> .....	30
<b>Tabla 9.</b>	<i>Características de los tipos de batería</i> .....	33
<b>Tabla 10.</b>	<i>Características de la carga para vehículos eléctricos.</i> .....	40
<b>Tabla 11.</b>	<i>Características de los cargadores de la marca BYD</i> .....	40
<b>Tabla 12.</b>	<i>Correlación de variables</i> .....	44
<b>Tabla 13.</b>	<i>Descripción de los parámetros de la ecuación de la autonomía teórica.</i> .....	45
<b>Tabla 14.</b>	<i>Descripción de las variables influyentes</i> .....	45
<b>Tabla 15.</b>	<i>Especificaciones técnicas BYD K9G.</i> .....	48
<b>Tabla 16.</b>	<i>Componentes del sistema de propulsión del bus BYD modelo K9G</i> .....	49
<b>Tabla 17.</b>	<i>Descripción de los pines del controlador de los motores eléctricos.</i> .....	56
<b>Tabla 18.</b>	<i>Configuración de la batería</i> .....	61
<b>Tabla 19.</b>	<i>Parámetros técnicos del inversor</i> .....	72
<b>Tabla 20.</b>	<i>Síntomas de falla</i> .....	75
<b>Tabla 21.</b>	<i>Manual de mantenimiento del vehículo. Conjunto convertidor DC-DC de 24V a 400V</i> .....	76
<b>Tabla 22.</b>	<i>Descripción de los pines del controlador auxiliar posterior</i> .....	80
<b>Tabla 23.</b>	<i>Pid's del vehículo eléctrico (conjunto de la batería)</i> .....	81
<b>Tabla 24.</b>	<i>Códigos generales</i> .....	83
<b>Tabla 25.</b>	<i>Códigos específicos</i> .....	84
<b>Tabla 26.</b>	<i>Códigos específicos</i> .....	84

<b>Tabla 27.</b>	<i>Códigos específicos</i> .....	85
<b>Tabla 28.</b>	<i>Códigos específicos</i> .....	85
<b>Tabla 29.</b>	<i>Herramientas de la interfaz del escáner VDS2000</i> .....	92
<b>Tabla 30.</b>	<i>Consumo de batería vs velocidad de rotación del motor</i> .....	97
<b>Tabla 31.</b>	<i>Consumo de batería vs velocidad de rotación del motor</i> .....	98
<b>Tabla 32.</b>	<i>Posición del pedal de aceleración vs velocidad del vehículo</i> .....	99
<b>Tabla 33.</b>	<i>Voltaje total del pack 1 vs corriente del pack 1</i> .....	100
<b>Tabla 34.</b>	<i>Voltaje total del pack 1 vs SOC del pack 1</i> .....	102
<b>Tabla 35.</b>	<i>Velocidad de rotación del motor vs torque.</i> .....	103
<b>Tabla 36.</b>	<i>Torque del motor derecho vs torque del motor izquierdo.</i> .....	105
<b>Tabla 37.</b>	<i>Torque vs posición del pedal de aceleración</i> .....	106
<b>Tabla 38.</b>	<i>Correlación de variables</i> .....	109
<b>Tabla 39.</b>	<i>Variables independientes para calcular la autonomía.</i> .....	110
<b>Tabla 40.</b>	<i>Valores obtenidos mediante el escáner de las variables influyentes para calcular la autonomía</i> .....	110
<b>Tabla 41.</b>	<i>Variables independientes</i> .....	115
<b>Tabla 42.</b>	<i>Recursos humanos</i> .....	116
<b>Tabla 43.</b>	<i>Equipos y herramientas</i> .....	117
<b>Tabla 44.</b>	<i>Insumos</i> .....	117
<b>Tabla 45.</b>	<i>Presupuesto</i> .....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Árbol de planteamiento de los problemas .....	3
<b>Figura 2.</b>	Configuración general del vehículo eléctrico .....	14
<b>Figura 3.</b>	Ventas mensuales de vehículos eléctricos en Ecuador. ....	17
<b>Figura 4.</b>	Sedan e5 100% eléctrico.....	19
<b>Figura 5.</b>	Toyota Prius 4G (HEV).....	20
<b>Figura 6.</b>	X5 xDrive40e (PHEV).....	20
<b>Figura 7.</b>	Toyota Mirai (FEV) .....	21
<b>Figura 8.</b>	Eficiencia de los diferentes tipos de vehículos.....	23
<b>Figura 9.</b>	Visión corporativa de BYD.....	24
<b>Figura 10.</b>	Bus BYD modelo K9G. ....	25
<b>Figura 11.</b>	Componentes del conjunto inversor. ....	27
<b>Figura 12.</b>	Batería de hierro-fosfato .....	30
<b>Figura 13.</b>	Factores que afectan a la eficiencia de la batería .....	34
<b>Figura 14.</b>	Clasificación de los motores eléctricos .....	35
<b>Figura 15.</b>	Carga de los buses eléctricos con el cargador de 40 KW .....	39
<b>Figura 16.</b>	Tipos de cargador BYD .....	41
<b>Figura 17.</b>	Diagrama de dispersión.....	44
<b>Figura 18.</b>	Componentes del sistema de propulsión del Bus BYD K9G.....	49
<b>Figura 19.</b>	Diagrama de bloques del módulo controlador del vehículo.....	50
<b>Figura 20.</b>	Diagrama eléctrico del módulo controlador.....	51
<b>Figura 21.</b>	Botón de Parking.....	52
<b>Figura 22.</b>	Diagrama Eléctrico .....	56
<b>Figura 23.</b>	Diagrama de bloques de los dos motores controladores. ....	57
<b>Figura 24.</b>	Diagrama de flujo para el diagnóstico de fallas.....	58
<b>Figura 25.</b>	Diagrama de bloques del conjunto de las baterías del vehículo. ....	60
<b>Figura 26.</b>	Pack de batería bus K9G. ....	61
<b>Figura 27.</b>	Composición interna Pack de baterías BYD .....	62
<b>Figura 28.</b>	Balance de rendimiento de las baterías BYD. ....	65
<b>Figura 29.</b>	Composición química de las baterías BYD.....	66

<b>Figura 30.</b>	Tablero del conductor K9G.....	72
<b>Figura 31.</b>	Diagrama de bloque del inversor del vehículo .....	73
<b>Figura 32.</b>	Diagrama eléctrico del inversor del vehículo. ....	74
<b>Figura 33.</b>	Diagrama de bloque del conjunto controlador del motor DC y el motor auxiliar. ....	75
<b>Figura 34.</b>	Diagrama de bloque del controlador auxiliar posterior del vehículo. ....	78
<b>Figura 35.</b>	Circuito controlador auxiliar posterior .....	80
<b>Figura 36.</b>	Formato de codigos de falla BYD .....	83
<b>Figura 37.</b>	Diagrama de mantenimiento de fugas eléctricas. ....	86
<b>Figura 38.</b>	Ruta del bus eléctrico. ....	90
<b>Figura 39.</b>	Interfaz del escáner VDS2000.....	92
<b>Figura 40.</b>	Interfaz de encendido del escáner VDS2000.....	93
<b>Figura 41.</b>	Interfaz de verificación de conexión.....	93
<b>Figura 42.</b>	Interfaz de selección de la serie de vehículo. ....	94
<b>Figura 43.</b>	Interfaz del tipo de bus correspondiente a la serie.....	94
<b>Figura 44.</b>	Interfaz de lectura de módulos controladores. ....	95
<b>Figura 45.</b>	Interfaz de lectura de parámetros. ....	95
<b>Figura 46.</b>	Consumo de batería vs velocidad de rotación del motor (aceleración).....	97
<b>Figura 47.</b>	Consumo de batería vs velocidad de rotación del motor (desaceleración).....	98
<b>Figura 48.</b>	Consumo de batería vs velocidad de rotación del motor (desaceleración).....	100
<b>Figura 49.</b>	Voltaje total del pack 1 vs corriente del pack 1 .....	101
<b>Figura 50.</b>	Indicador del estado de carga SOC.....	102
<b>Figura 51.</b>	Grafica del voltaje total del pack 1 vs corriente del pack 1.....	103
<b>Figura 52.</b>	Velocidad de rotación de motor vs torque.....	104
<b>Figura 53.</b>	Torque motor izquierdo vs motor derecho. ....	105
<b>Figura 54.</b>	Torque vs posición del acelerador .....	107
<b>Figura 55.</b>	Porcentaje de inclinación ruta Sausinc IDA .....	108
<b>Figura 56.</b>	Porcentaje de inclinación ruta Sausinc VUELTA .....	108

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b><i>Ecuación 1.</i></b>	Autonomía teórica .....	44
<b><i>Ecuación 2.</i></b>	Reacción química de las baterías.....	70
<b><i>Ecuación 3.</i></b>	Determinación de la autonomía teórica .....	109
<b><i>Ecuación 4.</i></b>	Determinación de la autonomía real .....	110

## RESUMEN

La investigación se originó con el objetivo de comprobar la autonomía real en funcionamiento del bus eléctrico BYD modelo K9G, determinando las variables que inciden directamente en el consumo de energía del conjunto de baterías como son: velocidad, estado de carga (SOC), altitud, posición del pedal de aceleración, tiempo y distancia del recorrido, estos parámetros que afectan en el rendimiento de la autonomía del bus, estos datos se determinan a partir del flujo de datos que se toman en tiempo real en diferentes condiciones de operación con el escáner automotriz VDS 2000 en la ruta establecida por la cooperativa de transporte Saucinc S. A. en la ciudad de Guayaquil, de esta manera se obtiene además parámetros característicos del sistema de propulsión eléctrico que nos permiten analizar el funcionamiento de los componentes principales y en general del bus, para luego establecer un modelo matemático de validación para determinar la autonomía real del bus con la correlación de variables de Pearson se da a conocer las variables de mayor incidencia y que afectan notablemente en la ecuación de regresión múltiple, estos valores se ingresan en el software de análisis estadístico ocupando los valores de muestreo obtenidos en las pruebas de ruta que permiten establecer la predicción de la autonomía real.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICO**
- **REGENERACIÓN ELECTRICA**
- **BUSES ELÉCTRICOS**

## **ABSTRACT**

The investigation presented originated with the aim of verifying the real autonomy in operating conditions of the electric bus BYD model K9G, by determining the variables that directly affect the energy consumption of the battery pack such as: speed, state of charge (SOC), altitude, acceleration pedal position, time and distance of travel; parameters that affect the performance of the autonomy of the bus, these data are determined from the flow of data that are taken in real time in different operating conditions with the automotive scanner VDS 2000 on the route established by the Saucinc SA transport cooperative in the city of Guayaquil, in this way it is also obtained characteristic parameters of the electric propulsion system that allow us to analyze the operation of the main components of the bus, and then establish a mathematical validation model to determine the real autonomy of the bus with correlation of The Pearson's variables, the variables with the highest incidence and which significantly affect the multiple regression equation are known, these values are entered in the statistical analysis software using the sampling values obtained in the route tests that allow establishing the prediction of actual autonomy.

### **KEYS WORDS:**

- **PROPULSIONSYSTEM**
- **REGENERATION ELECTRIC**
- **ELECTRIC BUS**

# CAPÍTULO I

## MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 Antecedentes

(Martín F. , 2016) menciona que, en este siglo, el impacto ambiental y la conservación de la energía son preocupaciones muy importantes y crecientes. El desarrollo de vehículos eléctricos es de vital importancia ya que los vehículos basados en la combustión no son una opción sostenible para un futuro próximo. Además, los incentivos políticos, junto con las preocupaciones sobre la contaminación, el ruido y el uso de energías renovables han hecho realidad los vehículos híbridos y eléctricos comercialmente viables.

(BYD E-Motors Ecuador, 2018) indica que el bus eléctrico realizó un período de prueba en las calles de la ciudad durante cinco meses entre noviembre de 2017 y marzo de 2018 con un bus de BYD que logró un recorrido diario promedio de 230 km, dejando un 20% de carga en la batería al final del día. En este periodo, 72 mil guayaquileños se transportaron en el bus eléctrico. Se estima que la flota de 20 buses dejará de emitir 12.8 toneladas de  $CO_2$  y 2.9 millones de galones de diésel subsidiado al año, logrando un ahorro fiscal de USD 8 millones para el estado ecuatoriano.

(El Comercio, 2018) publicó que la cifra de vehículos eléctricos e híbridos en

circulación a nivel mundial superó en 2017 los tres millones, lo que supuso un aumento del 54% respecto a 2016, indicó la Agencia Internacional de la Energía (AIE). China, según su informe sobre el sector, se mantuvo como el mayor mercado de coches eléctricos del mundo y acaparó la mitad de las ventas registradas el año pasado, con unos 580 000.

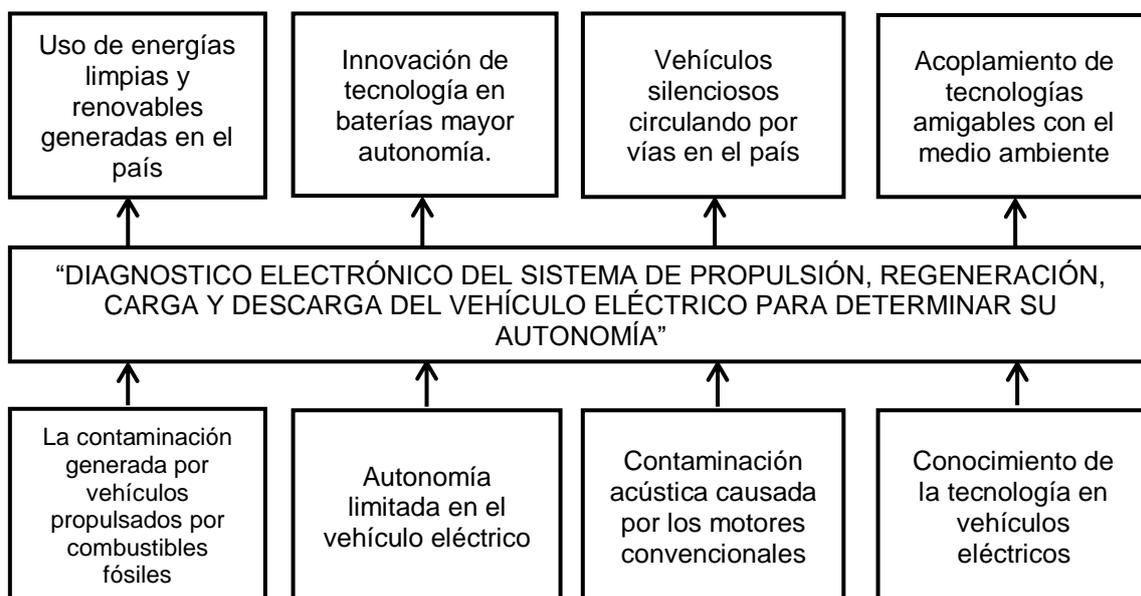
(Martínez J. A., 2013) sugiere que actualmente, los vehículos eléctricos son una buena alternativa para disponer de una movilización limpia. El uso de tracción eléctrica para los automóviles, contribuye a la disminución de la contaminación ambiental, en particular la contaminación del aire y acústica. Esta disminución de la contaminación es importante en el contexto del problema del calentamiento global que enfrenta el planeta. Así mismo, la utilización de transporte limpio contribuye a un mejoramiento de la calidad de vida en la ciudad.

(Duque & Rocano, 2018) explican que la autonomía que generan las baterías es el principal factor que limita el desarrollo del vehículo eléctrico, las previsiones muestran que, en un plazo de 15 a 20 años, los vehículos de gama media tendrán una autonomía de 300-400 kilómetros, además, el litio la materia prima para la elaboración de las baterías existe en pocos países como Chile, Bolivia, y Afganistán lo cual crea un inconveniente en el crecimiento de este modelo de energía.

(Martín A. , 2009) manifiesta que el propio sector de la automoción reconoce que el motor de explosión, tanto de gasolina como de gasóleo, se está quedando

obsoleto. Los índices de eficiencia energética son muy bajos (menos del 30% de la energía contenida en la combustible llega realmente a las ruedas) y las emisiones siguen siendo elevadas, a pesar de la mejora de la tecnología.

## 1.2. Planteamiento del problema.



**Figura 1.** Árbol de planteamiento de los problemas

La investigación se origina debido a la gran cantidad de emisiones contaminantes generadas en su mayoría por el crecimiento del parque automotor a nivel mundial de vehículos con motor de combustión interna, por lo cual el objetivo de investigación es dar a conocer las ventajas de la nueva tendencia en el área automotriz, que es sin duda la tecnología del vehículo eléctrico que utiliza energía limpia y renovable que nuestro país produce en la actualidad gracias al proyecto político de cambio de la matriz energética, lo cual permitirá en un futuro la electro-movilidad para contrarrestar la contaminación.

Los vehículos eléctricos son el resultado de investigación tecnológica, la cual se

ha centrado en obtener la máxima autonomía de los mismos y para lograr aquello la batería en su composición es el factor principal de investigación e innovación.

Entre las ventajas de los vehículos eléctricos se encuentra la eliminación de la contaminación auditiva que genera el motor del vehículo convencional que contamina a diario las ciudades del país.

Con lo planteado, el problema a investigar es el diagnóstico electrónico del sistema de propulsión, regeneración, carga y descarga del vehículo eléctrico para determinar su autonomía.

### **1.3. Descripción resumida del proyecto.**

Se recopiló información verídica en bases digitales de investigaciones pertinentes, páginas, sitios web y publicaciones de empresas dedicadas al análisis e innovación de vehículos eléctricos

Se investigó la composición de las baterías del vehículo eléctrico con el propósito de determinar el tiempo de autonomía que posee el vehículo, dependiendo de la capacidad de descarga de las baterías y su capacidad de recuperación.

Se investigó los parámetros de funcionamiento del bus eléctrico a partir del flujo de datos de corriente, voltaje del inversor y motores generadores en el momento de la carga y descarga, obteniendo los principales PID's de comunicación entre los

sistemas.

Se analizó el comportamiento y desempeño del conjunto de propulsión eléctrico como son motores generadores, inversor y baterías en diferentes parámetros de funcionamiento.

Se recogió datos a partir de las pruebas de ruta que se realizaron en el bus BYD K9G tomados con el escáner automotriz VDS2000, a partir de los cuales se desarrolló un sistema de cálculo para poder determinar la autonomía del vehículo eléctrico.

#### **1.4. Justificación e importancia**

Además de energías alternativas, movilidad y tecnología el hecho de moverse mediante la electricidad brinda un confort inigualable al momento de trasladarse de un punto al otro respecto al transporte en base al motor de combustión interna, el principal punto que tiene a favor la movilidad eléctrica es la eliminación de ruido lo cual brinda una armonía inigualable al momento de estar dentro del vehículo, y esto es la mejor excusa para cambiar el combustible fósil por las baterías, además que con una fuente de energía eléctrica dentro del vehículo facilita implementar tecnología enchufable.

En este mundo cambiante el humano busca evitar su propia desaparición, busca moverse mediante energías que no afecten o disminuyan el nivel de oxígeno presente en el planeta que habita.

Para contra restar la contaminación, desde hace años se busca nuevas

tecnologías para transformar el sistema de movilidad actual en un nuevo sistema el cual sea ambiental y socialmente sostenible que contribuya económicamente, sea amigable con el medio ambiente, que no afecte a la salud humana y que ayude a preservar los recursos naturales.

Uno de los sectores que utiliza casi el 99% de la energía consumida con derivados del petróleo es el sector de transporte que a partir de los años 90 se ha convertido en el sector con mayor demanda de energía final, lo que supone una dependencia extrema de fuentes de energía importadas, no renovables y cuya combustión es la fuente principal de generación de gases contaminantes que afectan principalmente a la salud y el medio ambiente.

Además, la reinención de la movilidad con la incorporación de los vehículos eléctricos supone una inmejorable ocasión para sensibilizar a la sociedad para hacer un uso más eficiente de los recursos, siendo más respetuosos y sensibles con el medio ambiente.

Los vehículos eléctricos se perfilan como los sucesores de los vehículos propulsados por motores de combustión interna, ya que entre sus ventajas los motores eléctricos son altamente controlables y presentan un rendimiento y aprovechamiento superior de energía en comparación a los motores térmicos.

La principal desventaja del vehículo eléctrico en sus inicios de desarrollo fue la baja capacidad de acumulación de energía eléctrica (baterías), esto en la actualidad

no supone un factor limitante del vehículo ya que gracias a las nuevas tecnologías está siendo superado mediante el desarrollo y construcción de baterías de última generación las cuales mejoran día a día y son capaces de dotar al vehículo de autonomía suficiente para que cumpla las necesidades de uso particular como para usos colectivos en un entorno urbano.

Finalmente, esta nueva tecnología está sujeta a menores costes de mantenimiento del vehículo eléctrico en comparación con los vehículos equipados con motor de combustión interna ya sea por costes propios de combustibles fósiles como de tareas de mantenimiento, todo esto hace que sea una posibilidad atractiva y factible para mejorar la movilidad.

## **1.5. Objetivos del proyecto**

### **1.5.1. Objetivo general**

- Diagnosticar electrónicamente el sistema de propulsión, regeneración, carga y descarga del vehículo eléctrico para determinar la autonomía.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Realizar la recopilación de información de estudios relacionados al análisis de vehículos eléctricos.
- Investigar acerca de los ciclos de conducción homologados para el análisis de

la autonomía de vehículos eléctricos.

- Definir los factores que intervienen en el vehículo eléctrico, mediante análisis estadístico y correlación de variables para la obtención de datos correspondientes a su consumo energético en un ciclo de conducción.
- Investigar los parámetros y datos de funcionamiento de los inversores y motores generadores del vehículo eléctrico.
- Obtener los parámetros de carga y descarga de la batería de alta tensión mediante la utilización de un escáner automotriz.
- Obtener los datos de funcionamiento del inversor y motores generadores del bus K9G mediante la utilización del escáner automotriz VDS2000 como corrientes y voltajes de funcionamiento en ruta.
- Analizar los datos generados por el escáner automotriz VDS2000 en el bus K9G acerca de los packs de baterías y del sistema de propulsión eléctrico con el objetivo de determinar su autonomía.
- Analizar la composición de las baterías del bus K9G, para realizar una comparación con el resto de baterías de alta tensión teniendo en cuenta varios factores que inciden en el rendimiento de las mismas.

### **1.6. Metas del proyecto**

Mediante la recolección y análisis de los datos obtenidos proveniente del sistema de propulsión del bus BYD con el escáner VDS2000, con un sistema de cálculo se determina la autonomía del vehículo eléctrico en una precisión superior al 90%.

## **1.7. Hipótesis**

El diagnóstico electrónico del sistema de propulsión, regeneración, carga y descarga del vehículo eléctrico permitirá determinar la autonomía del bus BYD modelo K9G.

## **1.8. Variables de la investigación**

La operacionalización de las variables de investigación permite analizar deductivamente los ítems, categoría, indicadores, técnicas e instrumentos utilizados en la investigación.

### **1.8.1. Variable independiente**

Diagnóstico electrónico de propulsión, regeneración, carga y descarga.

### **1.8.2. Variable dependiente**

Autonomía del vehículo eléctrico.

### **1.8.3. Operacionalización de variables**

- **Variable independiente**

**Tabla 1.***Operacionalización de la variable independiente*

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítems	Técnica	Instrumentos
Es el análisis general de los sistemas del vehículo que se comprueba mediante el flujo de datos obtenidos por medio de equipos de diagnóstico que permiten identificar valores que están fuera de rango y lograr detectar una falla en el sistema.	Tecnológico	Datos del sistema de propulsión	PID's	Medición	Protocolo de pruebas y toma de datos.
		Carga y descarga de la batería	A/h	Medición	Protocolo de pruebas y toma de datos.
		Datos resultantes del inversor del vehículo	AC/DC	Medición	Protocolo de pruebas y toma de datos.
		Alta tensión en el vehículo	V	Medición	Protocolo de pruebas y toma de datos.

- **Variable dependiente**

**Tabla 2.***Operacionalización de la variable dependiente*

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
Es la distancia que el vehículo puede recorrer con una carga de la batería.		Tiempo del recorrido	h	Experimental	Protocolo de prueba
		Velocidad	Km/h	Experimental	Protocolo de prueba
		Altimetría	m	Experimental	Protocolo de prueba
		Distancia recorrida	m	Experimental	Protocolo de prueba
		Aceleración	%	Experimental	Protocolo de prueba
		SOC	%	Experimental	Protocolo de prueba

**1.9. Metodología de desarrollo del proyecto****1.9.1. Método deductivo**

Es deductivo debido a que, con el análisis de los parámetros de funcionamiento de velocidad, temperatura, distancia recorrida, corriente de baterías de alto voltaje,

posición del pedal de aceleración y PID's se establece conclusiones para determinar la autonomía del vehículo eléctrico.

### **1.9.2. Método inductivo**

Se aplicó el método inductivo en esta investigación basándonos en la hipótesis de realizar un análisis exhaustivo para determinar la autonomía del bus eléctrico.

### **1.9.3. Método experimental**

Se utilizó este método para poder reflejar los datos obtenidos en el recorrido del bus eléctrico K9G en un circuito establecido, con la finalidad de conocer diferentes parámetros característicos del sistema de propulsión eléctrico como son: la distancia, tiempo, velocidad, aceleración y PID's

### **1.9.4. Método estadístico**

Una vez obtenidos los datos, se procede a evaluar mediante tabulaciones de los datos para conocer los parámetros a los que puede ser sometido el vehículo para que funcione en óptimas condiciones.

### **1.9.5. Método analítico**

En esta investigación se analiza los diferentes parámetros que caracterizan al

vehículo eléctrico con el fin de lograr generar un sistema de cálculo que permite determinar la autonomía del bus eléctrico.

### 1.9.6. Método de matematización

Una vez determinados los resultados de los parámetros más influyentes, se utilizará este método para determinar mediante un sistema de cálculo la autonomía del vehículo eléctrico.

**Tabla 3.**

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

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Método deductivo	Por medio de este método se analizará los parámetros de diagnóstico electrónico de propulsión, regeneración, carga y descarga del vehículo eléctrico para determinar su autonomía.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computador</li> <li>• Escáner automotriz</li> <li>• Bus BYD K9G</li> </ul>	
Método inductivo	Por medio de este método se realizará la investigación basándonos en la hipótesis de realizar un análisis exhaustivo para determinar la autonomía del bus eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computador</li> <li>• Escáner automotriz</li> <li>• Bus BYD K9G</li> </ul>	
Método experimental	Por medio de este método se realizará distintas pruebas en la ruta establecida con la utilización de un equipo de diagnóstico automotriz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computador</li> <li>• Escáner automotriz</li> <li>• Bus BYD K9G</li> </ul>	
Método estadístico	Una vez obtenidos los datos, se procede a evaluar mediante tabulaciones de los datos para conocer cuáles son los parámetros a los que puede ser sometido el vehículo para que funcione en condiciones óptimas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computador personal</li> <li>• Microsoft Office</li> </ul>	
Método Analítico	Por medio de este método se realizará un sistema de cálculo para determinar la autonomía del vehículo eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computador</li> <li>• Microsoft Office</li> </ul>	
Método de matematización	Una vez determinados los resultados de los parámetros más influyentes, se utilizará este método para determinar mediante un sistema de cálculo la autonomía del vehículo eléctrico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computador</li> <li>• Microsoft office</li> </ul>	

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Vehículo eléctrico

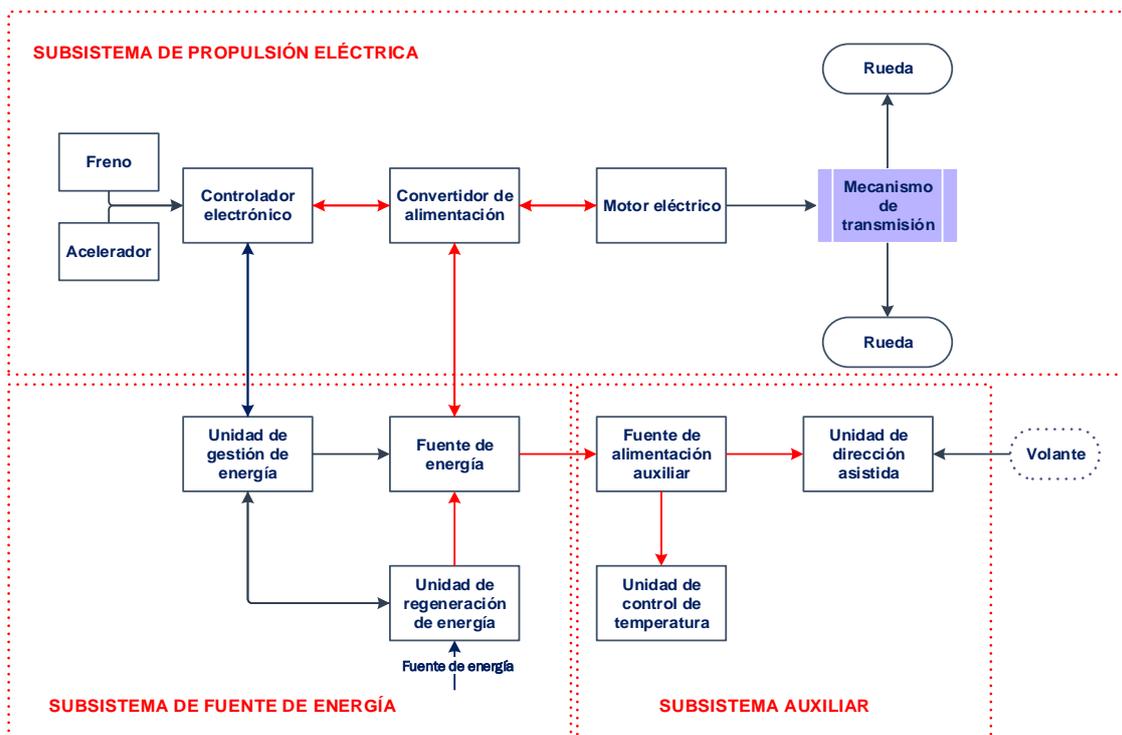
Para (Chan & Chau, 2001) la ingeniería del vehículo eléctrico existe antes del siglo XX, pero con el paso de los años ha ido evolucionando con la electrónica y electricidad moderna lo cual permite que el EV sea la perfecta combinación de la ingeniería automotriz, la ingeniería eléctrica y la ingeniería química, con las cuales se ha logrado la propulsión del EV, siendo así una maquina limpia con el medio ambiente y eficiente, en el siglo XXI se han destinado millones de recursos en varias marcas y países para contribuir con avances tecnológicos para el desarrollo y producción de vehículos eléctricos, los componentes principales que se encuentran en mejoras son el motor eléctrico, el convertidor de potencia y la fuente de energía para aumentar su autonomía.

El diseño del vehículo eléctrico consta de subsistemas mecánicos, subsistemas eléctricos y electrónicos, subsistemas de información y comunicación.

- Subsistema mecánico se incluye el chasis, la carrocería, estructuras de transmisión y propulsión con similares características de los vehículos convencionales que cumplan los requisitos de seguridad y confort.
- Subsistema electrónico y eléctrico consta de los motores generadores,

controladores eléctricos, convertidor de potencia, batería de alto voltaje, que se diseñan con diferentes materiales y compuestos para aumentar la autonomía.

- Subsistema de información y comunicación consta de datos de las formas de conducción, estado de operación del vehículo, estado de la batería, etapas de carga y descarga, temperatura, procesamiento de algoritmos, enlaces de comunicación entre los diferentes controladores, todos estos parámetros sirven para el diagnóstico del vehículo eléctrico.



**Figura 2.** Configuración general del vehículo eléctrico

Fuente: (Chan & Chau, 2001)

### 2.1.1. Consideraciones generales para el vehículo eléctrico

Para lograr la optimización del vehículo eléctrico es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Establecer el entorno en donde se va a utilizar
- Determinar las características técnicas
- Identificar las características físicas
- Determinar la fuente de almacenamiento de energía
- Determinar el sistema de propulsión que cumpla con los requerimientos óptimos para los diferentes modos de conducción.

### **2.1.2. Ventajas**

(Larminie & Lowry, 2012) explican que los vehículos eléctricos están contribuyendo con beneficios para el medio ambiente y ahorro de energía. Los beneficios se dan para las grandes ciudades que en su gran mayoría se encuentran contaminadas por los motores de combustión, reducir la dependencia de los combustibles fósiles y reducir las emisiones de carbono hacia el medio ambiente son algunos de los beneficios con los que el vehículo eléctrico vuelve a tomar importancia

El uso de los vehículos eléctricos con cero emisiones ayuda a ahorrar energías no renovables (petróleo) y remplazan a los vehículos convencionales, siempre y cuando que la electricidad sea generada por sistemas de red eficientes que utilicen centrales eléctricas con energía alternativa renovable como son la hidroeléctrica y eólica que son energías con las que cuenta el país. Los costos de mantenimiento, consumo de combustible se reducen aproximadamente hasta en un 50% en comparación con los vehículos de combustión interna.

(Martín F. , 2016) indica que en los vehículos eléctricos se aprovecha la energía que se genera en el momento de la frenada o cuando el vehículo desciende por una pendiente, el motor eléctrico actúa como generador con lo cual carga la batería, ya sea energía cinética o energía potencial respectivamente, en los motores de combustión estos dos procesos se convierten en pérdida de energía por disipación de calor.

### **2.1.3. Desventajas**

(García M. , 2015) enseña la autonomía y los tiempos de recarga de las baterías de los vehículos eléctricos es una de las principales limitaciones, aun así, con los avances tecnológicos se ha logrado ir aumentando la autonomía y los tiempos de recarga que necesitan las baterías se han ido acortando.

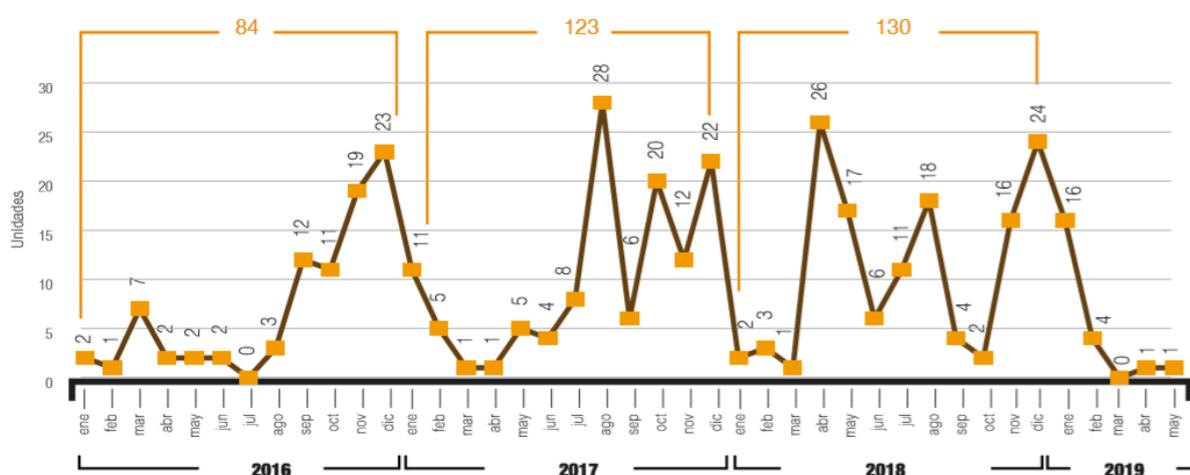
(Dincer, Hamut, & Javani, 2016) mencionan que la recarga de las baterías es escasa debido a que el país no cuenta con una red de estaciones de recarga, por lo cual si el vehículo va en trayecto en el cual exceda la autonomía total, se quedara parado o caso contrario, si se encuentra un punto de recarga para alcanzar la carga completa puede tardar horas y luego continuar el trayecto.

Las baterías en comparación con las del vehículo híbrido son de mayor tamaño ya que toda energía que se utiliza para generar el movimiento se la extrae de la única fuente de energía con la que cuenta el EV que es la batería.

## 2.2. Vehículos eléctricos en el Ecuador

Los vehículos eléctricos son la nueva generación que empieza a tomar fuerza en el mercado, en el pasado se tenía algunas limitaciones que hoy en la actualidad están siendo superadas.

Para (González, 2019) el cambio de políticas referentes a los vehículos eléctricos hace que las posibilidades de ventas asciendan en el mercado debido a los incentivos como son la exoneración total de aranceles para la importación de este tipo de vehículos, CKD, baterías y cargadores.



**Figura 3.** Ventas mensuales de vehículos eléctricos en Ecuador.

Fuente: (AEADE, 2019)

En Ecuador los vehículos que en la actualidad se comercializan por las diferentes marcas son los que se detallan a continuación:

**Tabla 4.***Vehículos eléctricos comercializados en Ecuador*

<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Autonomía (km)</b>
<b>Renault</b>	Twitzy	100
<b>Nissan</b>	Leaf	160
<b>Renault</b>	Kangoo	170
<b>Toyota</b>	Coms	50
<b>BYD</b>	E6	250
<b>BYD</b>	K9G	350

Fuente: (Araujo, 2016)

### **2.3. Tipos de vehículos eléctricos**

#### **2.3.1. Vehículo 100% eléctrico (EV)**

Este tipo de vehículo no produce emisiones en carretera y en general sus emisiones son mínimas debido a la generación de energía que se produce en centrales eléctricas. Los principales desafíos de este tipo de vehículo es su autonomía limitada, puntos de recarga de baterías y en general su elevado costo.

En este vehículo la batería es la única fuente de almacenamiento de energía con la que cuenta para movilizarse, por ese motivo la tecnología se centra en aumentar la capacidad de almacenamiento de la batería, reduciendo el peso y el tamaño.

El vehículo eléctrico alcanza a recorrer 120km por carga de batería con aire acondicionado, mientras que el vehículo convencional alcanza 300km, lo que significaría el 50% más de recorrido en una carga, tomando en cuenta que la recarga del vehículo convencional tan solo toma unos minutos y la del vehículo eléctrico llevaría horas dependiendo la carga.

(Chau, 2015) explica que la relación del costo de la batería es aproximadamente de un 30-40% del costo total del vehículo, ya que en el vehículo se instalan baterías que mantengan un rango de conducción aceptable para una distancia que satisfaga las necesidades en lo que respecta al modo de conducción.



**Figura 4.** Sedan e5 100% eléctrico

Fuente: (BYD E-Motors Ecuador, 2018)

### **2.3.2. Vehículo eléctrico híbrido (HEV)**

(Piccardo & Prieto, 2012) analizan que el vehículo eléctrico híbrido cuenta con un motor de combustión interna que se incorpora con el motor eléctrico, la conexión entre estos dos elementos cuenta con varias configuraciones para alcanzar su máximo rendimiento, la principal diferencia que lo caracteriza es la desaparición del motor de arranque convencional para lo cual se implementa un sistema generador de arranque integral, este sistema no propulsa al HEV, este cumple dos funciones, apagar el motor de combustión cuando el vehículo se encuentra detenido ya sea en un semáforo o detenido en el tráfico con el fin de evitar las emisiones que generan el MCI.



**Figura 5.** Toyota Prius 4G (HEV)

Fuente: (Toyota Ecuador, 2018)

### 2.3.3. Vehículo híbrido enchufable (PHEV)

Este tipo de vehículo se caracteriza por que se puede conectar a la red de distribución eléctrica, los PHEV son la combinación de un EV y HEV, que posee una batería que permite almacenar mayor cantidad de energía enchufándola a un puerto de conexión externo, con lo cual el rango de autonomía se extiende.



**Figura 6.** X5 xDrive40e (PHEV)

Fuente: (Acelerando, 2019)

### 2.3.4. Vehículo eléctrico de pila de combustible

El vehículo de celdas de combustible, denominado FEV tiene similares características a la del EV, este emite cero emisiones en funcionamiento y emisiones mínimas que se deben a la producción de la principal fuente de energía con la cual el

vehículo se abastece (hidrogeno). Su autonomía por el momento se asemeja al ICEV.

El mayor problema con él cuenta este tipo de vehículo son los puntos de reabastecimiento de combustible (hidrogeno) el cual se puede almacenar comprimido CHG, en forma líquida LH y por último hidruro metálico MH.

- CHG: el almacenamiento para la carga necesita una presión de 350 a 700 bares, lo que se asemeja a los vehículos que utilizan gas comprimido GNC con una presión de 200 a 248 bares.
- LH: el hidrogeno necesita enfriarse a  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$  mientras esta presurizado.
- MH: es similar al recambio de una batería, se reemplaza las celdas MH descargadas y se las reemplaza por celdas MH completamente cargadas.



**Figura 7.** Toyota Mirai (FEV)

Fuente: (O'Sullivan, 2017)

El desarrollo y comercialización de los vehículos antes mencionados, requieren la innovación tecnológica y de igual manera se necesita políticas energéticas que permitan que los vehículos satisfagan con las necesidades de los clientes.

**Tabla 5.***Comparación de los diferentes tipos de vehículos eléctricos*

<b>Tipos de EVs</b>	<b>EV</b>	<b>PHEV</b>	<b>HEV</b>	<b>FEV</b>
Propulsión	Motor eléctrico	Motor eléctrico	Motor eléctrico MCI	Motor eléctrico
Sistema de energía	Batería	Batería	Batería	Pila de combustible
	Ultra capacitor	Ultra capacitor	Ultra capacitor	Batería
Fuente de energía e infraestructura	Electrolineras	Electrolinera	Gasolinera	Hidrogeno
	Red de carga eléctrica	Red de carga eléctrica	Electrolinera Red de carga eléctrica	
Emisiones	Cero	Cero	Bajas	Cero
Eficiencia energética	Alta	Alta	Alta economía de combustible comparado con el MCI	Alta
Autonomía	Rango relativamente bajo	Rango mayor comparado con el EV	Largo alcance	Satisfactorio
Costo	Elevado costo inicial	Elevado	Elevado costo comparado con el MCI	Elevado costo
Comercialización	Disponible	Disponible	Disponible	En desarrollo

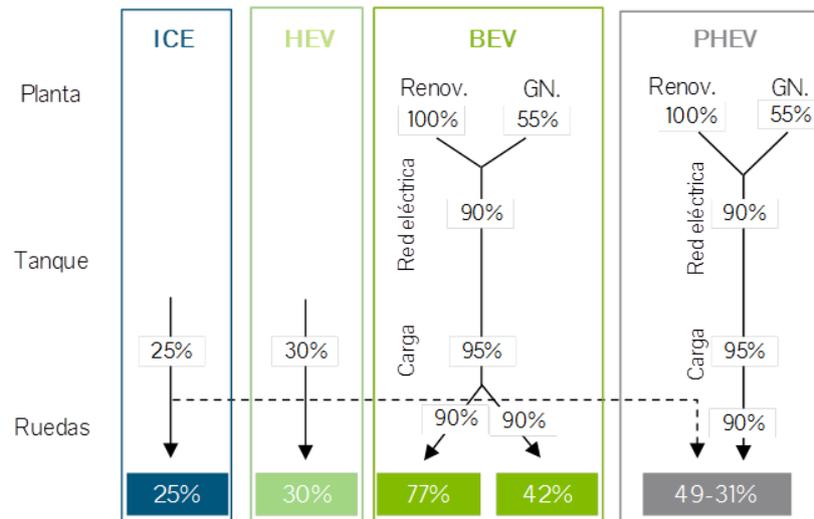
Fuente: (Chan C. C., 2007)

**2.3.5. Eficiencia de los diferentes tipos de vehículos**

Las eficiencias de los diferentes tipos de vehículos eléctricos en comparación con los vehículos con motor de combustión interna muestran un rango superior en aprovechamiento de energía.

El vehículo con motor de combustión interna solo aprovecha el 25% de la energía que utiliza, el restante son pérdidas por fricción, el vehículo híbrido eléctrico y el vehículo híbrido electro enchufable aprovecha hasta 30% y 49 % de eficiencia respectivamente ya que de igual manera poseen motores de combustión interna que ayuda a recargar las baterías para que se accione el motor eléctrico.

Para (Laverón, Muñoz, & Sáenz de Miera, 2010) los vehículos eléctricos alcanzan una eficiencia superior hasta el 77%, siempre y cuando la energía que se utilice para cargar el EV provenga de una fuente de energía totalmente renovable.



**Figura 8.** Eficiencia de los diferentes tipos de vehículos.

Fuente: (Energía y Sociedad, 2019)

## 2.4. Evolución de BYD

(Ogan & Chen, 2016) indican que la compañía de baterías convertida en fabricante de vehículos híbridos enchufables y vehículos eléctricos, así como la primera empresa del mundo en producir un bus en serie, BYD se ha convertido en la empresa que tiene como objetivo la innovación de tecnología que ha evolucionado en 3 etapas.

1. El nicho: Se refiere al ecosistema de la innovación en el campo automotriz, la cual está basada principalmente en la tecnología de potencia de la batería y la producción de automóviles con motores de combustión interna.
2. Plataforma abierta: La tecnología patentada por BYD en baterías de fosfato de

hierro y litio, motores síncronos de imanes permanentes, módulos de gestión de batería forman una plataforma abierta de innovación de productos para vehículos eléctricos fomentando a las empresas a participar en el desarrollo de nuevas tecnologías para proporcionar a los usuarios diferentes opciones y que contribuyan con el medio ambiente.

3. Expansión total: BYD está inmersa en diferentes mercados con las nuevas tecnologías en innovación automotriz, con el objetivo de expandirse en el mercado de los países desarrollados y a nivel global.



**Figura 9.** Visión corporativa de BYD.

Fuente: (SlideShare, 2015)

## 2.5. Bus BYD modelo K9G

El bus BYD modelo K9G es un vehículo totalmente eléctrico con cero emisiones de  $CO^2$ , apto ser conducido en la ciudad ya que cumple con los requisitos de potencia y eficiencia para el transporte de pasajeros.

(BYD E-Motors Ecuador, 2018) formula el costo de mantenimiento para este tipo de vehículo se reduce aproximadamente el 20%, la frecuencia de mantenimiento se

reduce el 50% y el consumo de combustible se reduce el 58%, en comparación con un vehículo con similares características de combustión interna.

**Tabla 6.**

*Categorización de los vehículos y buses eléctricos.*

Tipo de vehículo	Especificaciones técnicas	Vehículos a elegir
<b>BEV</b>	$80\text{km} \leq \text{autonomía} < 150\text{km}$	-
	$150\text{km} \leq \text{autonomía} < 250\text{km}$	-
	Autonomía $\geq 250\text{km}$	E6, Densa
<b>PHEV</b>	Autonomía $\geq 50\text{km}$	Qin, Tang
<b>Vehículo pila de combustible</b>	-	-
<b>Autobús eléctrico puro</b>	$6\text{m} \leq \text{longitud} < 8\text{m}$	-
	$8\text{m} \leq \text{longitud} < 10\text{m}$	K8
	Longitud $\geq 10\text{m}$	K9
<b>Autobús híbrido enchufable</b>	Longitud $\geq 10\text{m}$	-
<b>Vehículo pila de combustible comercial</b>	-	-
<b>Autobús supercondensador / titanato de litio</b>	-	-

Fuente: (Masiero, Ogasavara, Conde, & Risso, 2016)



**Figura 10.** Bus BYD modelo K9G.

Fuente: (BYD E-Motors Ecuador, 2018)

## 2.6. Sistema de propulsión eléctrico

Para (Chan & Chau, 2001) el sistema de propulsión es la parte central del vehículo eléctrico, cuya función es interconectar la batería con los motores eléctricos para transmitir la potencia hacia las ruedas y lograr la propulsión del mismo, este resultado

se obtiene mediante la transformación de la energía eléctrica almacenada en la batería para transformarse energía mecánica mediante el conjunto inversor.

### 2.6.1. Inversor

El inversor en los vehículos eléctricos es el componente principal del sistema eléctrico que cumple las siguientes funciones:

- Distribuir la corriente que se almacena en la batería de alto voltaje (HV) hacia los motores generadores MG1 y MG2.
- Convertir el voltaje principal de la batería en corriente continua que alimenta la batería convencional de 12 V para los diferentes accesorios del vehículo.
- Elevar el voltaje de la batería principal en corriente alterna, este tipo de corriente utilizada por los motores generadores.

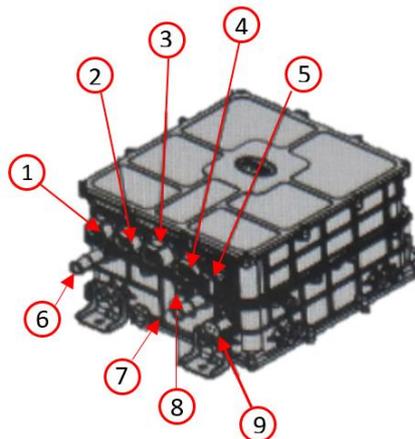
(Espinoza & Flores, 2019) explican que el conjunto del inversor diferencia su funcionamiento en varias etapas:

1. Controlar los dos motores generadores, en esta etapa el inversor se alimenta de la batería de alto voltaje, que aproximadamente es de 586 Vdc, por medio del circuito de potencia que se compone de transistores IGBT que generan corriente alterna trifásica para generar el movimiento de los motores eléctricos.
2. Alimenta los motores eléctricos que accionan el aire acondicionado y el sistema de dirección asistido, con el voltaje de la batería de alta tensión, con corriente

alterna trifásica y de frecuencia variable.

3. Convertidor CC/CC, el inversor se alimenta de la batería de alto voltaje y la convierte en tensión para alimentar las 2 baterías de 12 Vdc.
4. Los dos motores eléctricos del sistema de transmisión de potencia actúan como generadores para que mediante el inversor cargar la batería de alto voltaje (sistema regenerativo).

### 2.6.2. Componentes del inversor



**Figura 11.** Componentes del conjunto inversor.

**Tabla 7.**

*Componentes del conjunto inversor.*

Descripción
1 DC cátodo y ánodo de compresor de aire.
2 Cátodo y ánodo de corriente continua del sistema de dirección.
3 Fase A / B / C del compresor de aire trifásico.
4 Fase A / B / C de cable trifásico del sistema de dirección.
5 Conector de baja tensión.
6 Tubo de refrigerante.
7 Salida de 28 V de corriente continua.
8 Tubo de refrigerante.
9 Corriente continua de alta tensión cátodo y ánodo de corriente continua.

### **2.6.3. Controlador del vehículo**

El controlador del vehículo se utiliza principalmente para el cálculo de la potencia, el control de la transmisión, el control auxiliar del vehículo, la recolección y el procesamiento de señales (como el acelerador, el freno y la presión de aire), las alarmas relacionadas con el tren motriz del vehículo, el diagnóstico de fallas mediante la interacción de comunicación y el equipo de red CAN, el control interactivo con la electrónica del chasis (como EBS, ABS y ACU), definición de manejo de fallas para la comunicación CAN, recopilación de señales analógicas y de conmutación, e interacción con otros equipos externos conectados para lograr la función de configuración de parámetros del vehículo.

### **2.6.4. BMC (Battery Management Controller)**

Según (Rodríguez Cea, 2017) el vehículo cuenta con un sistema de gestión de baterías distribuido para prevenir un envejecimiento prematuro de la misma, este sistema está en permanente control de los niveles de tensión en cada una de las celdas con el objetivo de evitar sobrecargas y sobre descargas, de igual manera contribuye con el control de la temperatura.

Este sistema está compuesto por dos 2 controladores de gestión de baterías (BMC), 6 comunicadores de información de batería y 36 recolectores de información de batería (BIC).

El controlador de gestión de la batería tiene como funciones:

- Gestión de descargas
- Control de contactores
- Control de energía
- Alarma y protección contra el estado anormal de la batería.

Los colectores de información de la batería son para muestreo de voltaje de batería, muestreo de temperatura, balanceo de batería y detección de anomalías en la línea de muestreo.

### **2.6.5. Batería**

Para (Iglesias, y otros, 2012) la batería de un vehículo eléctrico es la fuente única de almacenamiento de energía, debido a los procesos de reacción electroquímicos, la energía química se transforma en energía eléctrica, capaz de alimentar a todo el sistema eléctrico con el cual se da propulsión al VE. La unidad básica de la batería es la celda que está compuesta por tres elementos.

- Ánodo (electrodo negativo)
- Cátodo (electrodo positivo)
- Electrolito

En cada una de las baterías se utiliza electrolito como conductor iónico que

proporciona un entorno físico para generar la transferencia de carga y que dependiendo del tipo de la batería puede ser líquido, sólido o gel.

En la batería la unión de cada una de las celdas forma la batería que de acuerdo a la necesidad puede estar conectada en serie y/o paralelo para alimentar a cada uno de los sistemas que requieren el accionamiento eléctrico.



**Figura 12.** Batería de hierro-fosfato

Fuente: (BYD E-Motors Ecuador, 2018)

### Tabla 8.

*Características de los tipos de batería.*

Tipo de batería	Densidad de energía (Wh/kg)	Ciclos de vida	Rango de temperatura(°C)
Plomo acido	41	500	-30 a 50
NiMH	95	800	-40 a 50
NiCad	39	800	-40 a 50
Ion-litio	128	1000	-40 a 60
Litio fosfato de hierro	130	2000	-40 a 60
Ultra condensadores	5	500000	-40 a 85
Gasolina	12700	1	

Fuente: (García & Gardy, 2015)

### **a. Procesos de carga y descarga**

Los procesos de carga y descarga es común utilizar el término intensidad de corriente  $C$  o a su vez tasa  $C$ , que es un parámetro condicionante para determinar la capacidad efectiva de descarga que posee la batería en un tiempo determinado de una hora y se calcula partiendo de la capacidad nominal de la batería.

(Peña, 2011) explica que en estos procesos la tasa  $C$ , cuando es elevada equivale a una batería que se descarga rápidamente debido a las pérdidas que se producen por la resistencia interna y lo que da como resultado una cantidad menor de energía.

### **b. Composición de baterías**

En la actualidad se han realizado estudios en función de los componentes químicos que se utilizan para la construcción de las mismas, entre las que se pueden encontrar: plomo ácido, níquel cadmio, níquel zinc, NiMH, Li ion.

(Martín F. , 2016) menciona que la eficiencia de cada una de estas baterías, depende de varios factores, como son densidad de energía (kWh/kg), velocidad de carga y descarga, seguridad, entre otras.

- **Plomo-ácido**

(Jimbo, 2015) explica que las baterías de plomo-ácido son las más comerciales a nivel mundial y se utilizan para vehículos convencionales, la principal característica

que las diferencia es el corto periodo que tarda en descargarse, lo que es ideal para alimentar al motor de arranque de los ICEV.

- **Ni-MH**

Las baterías de níquel metal hidruro, entre sus características destacan que la energía y la potencia específica es alta, su efecto memoria es bajo y la puede llegar a cumplir entre 500-700 cargas.

Para (Logroño, 2017) este tipo de batería pierde su capacidad de almacenamiento hasta en un 30% mensual, cuando dejan de utilizarse, esto provoca la reducción de la potencia eficaz en condiciones de temperaturas bajas.

- **Li-ion**

Las baterías de Li-ion tienen propiedades que las hacen eficientes, entre otras propiedades como son alta densidad, alta potencia específica, bajo efecto memoria, resistencia al fuego, alta energía específica y su capacidad de ciclado es alta, lo que hace que estas baterías se las utilice para EV, HEV, PHEV.

(Iglesias, y otros, 2012) mencionan que las sobrecargas y sobre descargas es el principal inconveniente, debido a las reacciones químicas del litio, siendo así se necesita un control total sobre la batería, que en algunos casos se incorpora en el cuerpo de la misma, que permite monitorizar las tensiones de carga y descarga, para

evitar las sobre intensidades o sobre temperaturas, el módulo de control desconecta las celdas que ya están completamente cargadas. Et Al.

- **Batería de fosfato de litio-hierro-ferroso**

(Ogan & Chen, 2016) señalan que la capacidad de ciclado es la cantidad de veces que la batería se puede cargar y descargar antes que se degrade aproximadamente unas 4000 veces, esto no quiere decir que la vida útil de la batería ha terminado, solo pierde un 30% de su capacidad.

La densidad de la batería LiFePO<sub>4</sub>, tiene alta densidad de energía y la capacidad para cargarse tarda 20 minutos para alcanzar el 80% de su capacidad y 40 minutos para estar completamente cargada.

**Tabla 9.**

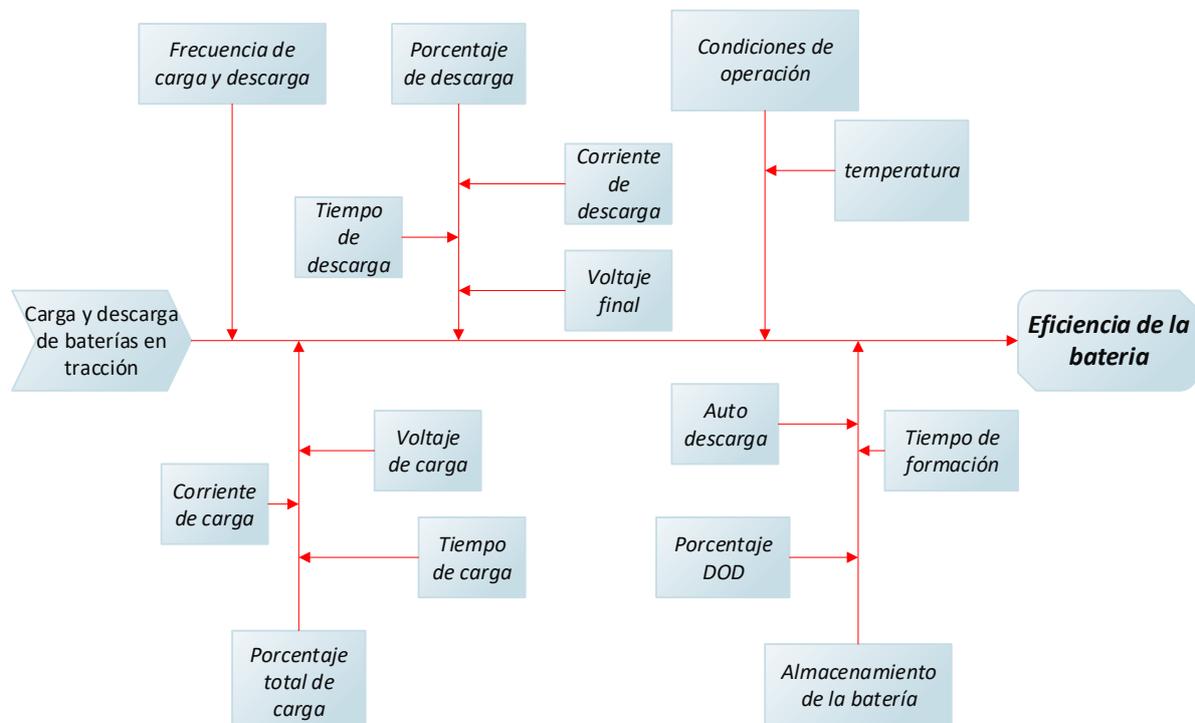
*Características de los tipos de batería.*

Parámetros	Pb-ácido	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ión	LiFe	LI-PO
Voltaje(V/celda)	2	1.2	1.2	3.6-3.7	3.3	3.7
Auto descarga (%/mes)	3-20	10	30	8	-	5
Descarga en continua	-	10C	8C	1C	26C	20-45C
Descarga por picos	-	-	-	-	52C	30-90C
Mantenimiento	Bueno	Malo	Regular	Fácil	Bueno	Fácil
Ciclos de vida	500-800	1500-2000	300-500	400-1200	2000	>1000
Densidad energética (Wh/l)	60-75	50-150	140-300	250-360	220	300
Energía específica (Wh/kg)	30-40	40-60	30-80	100-250	90-110	130-200
Potencia específica (W/kg)	180	150	250-1000	250-340	3000	7100
Corriente carga rápida (c)	0.4	1-2	1-2	1	4	1-2
Eficiencia (carga/descarga)	50-92	70-90	66	80-90	-	99.8
Tolerancia a sobrecargas	-	Alta	Media	Baja	Mala	Baja
Robustez e impactos	Buena	Alta	Buena	Baja	Media	Baja
Altas temperaturas	Media	Alta	Media	Baja	Mala	Baja
Problemas de ecualización	No	No	No	Si	Si	Si
Seguridad	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Buena
Presentación	-	Cilíndrico	Cilíndrico	Prisma	Pris/cilin	Prisma

Fuente: (Peña, 2011)

### c. Factores que afectan la eficiencia de la batería.

Según (Kutkut, Wiegman, Divan, & Novotny, 1999) la vida útil de la batería es el principal componente que tiene limitaciones a la hora de comercializar el vehículo eléctrico, en la actualidad el desarrollo de la batería con diferentes compuestos e investigando varios factores que afectan directamente la eficiencia de la batería se ha conseguido que el tiempo de vida útil y la autonomía de la misma aumenten.



**Figura 13.** Factores que afectan a la eficiencia de la batería

Fuente: (Dhameja, 2001)

### 2.6.6. Motor eléctrico

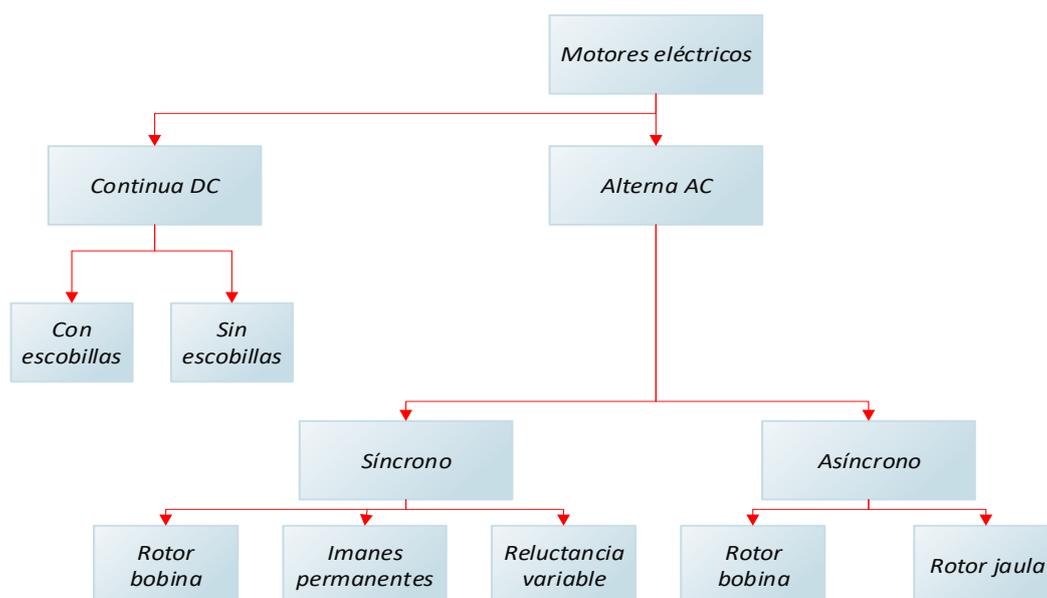
Los motores eléctricos son los encargados de transformar la energía eléctrica que se almacena en la batería para luego transformarse en movimiento mecánico, los motores que se utilizan en los vehículos requieren algunos parámetros que los

diferencian de los motores para aplicaciones industriales.

- Alta densidad de torque y potencia
- Amplio rango de velocidad
- Eficiencia en elevados rangos de par y velocidad
- Elevada capacidad de operación constante
- Elevada capacidad de sobrecarga intermitente para adelantar
- Bajo ruido
- Alta fiabilidad

#### a. Tipos de motores eléctricos

La clasificación de los motores eléctricos se hace por la forma de accionamiento eléctrico, ya que estos pueden ser de corriente alterna (CA) y corriente continua (CC).



**Figura 14.** Clasificación de los motores eléctricos

Fuente: (Casanova, 2017)

(Dhameja, 2001) indica que en sus inicios el vehículo eléctrico usaba los motores de corriente continua que eran fáciles de controlar en cuanto a su velocidad variable, pero debido a su gran tamaño y peso no evolucionaron, por lo que hoy en día se usan los motores de corriente alterna que en relación a los motores que antes se mencionó son relativamente pequeños, tienen mayor eficiencia y un amplio rango operativo, pero en este tipo de motor el tipo de controlador que se usa es más costoso debido a la electrónica compleja que se utiliza para su control.

- **Motor de corriente continua con escobillas**

El motor de corriente continua con escobillas utiliza un imán permanente, está compuesto por una carcasa y un estator los cuales generan el campo magnético continuo, por otra parte, el núcleo de hierro junto con las espiras por las cuales circula intensidad y empieza a girar debido al campo magnético.

(Cuesta, 2017) indica que las escobillas al momento que hacen contacto alternado con los extremos de las espiras provocan el cambio de sentido de la corriente.

- **Motor de corriente continua sin escobillas (Brushless)**

Para (Becerra, Moreno, Quiroz, & Bautista, 2014) los motores de corriente continua sin escobillas se usan vehículos eléctricos pequeños, ya que necesitan intervalos largos para su mantenimiento lo que hace que sean motores eficientes y de bajo costo, la desventaja de este tipo de motor es el elevado costo de su controlador.

- **Motor de corriente alterna asíncrono**

(Monjo, 2011) expone que los motores síncronos tienen la capacidad de trabajar a velocidad constante que varía dependiendo de frecuencia, tiene alta capacidad de potencia ya que la forma en la que puede operar es en sobreexcitación lo que hace que consuma potencia reactiva, la desventaja de este tipo de motor es el complicado sistema de arranque.

- **Motor de corriente alterna síncrono de imanes permanentes**

Este tipo de motor es ideal para generar tracción en autos, generación de energía ya que satisface un perfil de conducción de corriente para obtener un amplio rango de velocidades

Según (Casanova, 2017) la reducción de peso y volumen, hace que tenga aplicaciones en vehículos aumentando la eficiencia, otra ventaja es que la disipación de calor es rápida.

- **Motor síncrono de reluctancia conmutada o variable.**

(Valla, 1994) expresa que el motor de reluctancia variable es un motor simple que se asemeja a un motor paso a paso, la diferencia entre ambos es su aplicación ya que en el motor paso a paso se utiliza con una potencia baja y su control es mediante onda cuadrada y el motor síncrono está diseñado para alcanzar gran eficiencia que alcanza

elevadas velocidades, la desventaja se debe a que por falta de imanes se puede sobrecalentar.

## **2.7. Sistema regenerativo**

El sistema de frenado regenerativo es un parámetro para que los vehículos eléctricos utilicen la energía cinética y la conviertan en energía eléctrica, esta energía se produce al momento de pisar el pedal y también se recupera mediante desaceleraciones que se dan en las pendientes, este porcentaje de energía se almacena en la batería de alto voltaje.

Según (Castillo, 2018), Los sistemas de frenado regenerativos hacen que el vehículo eléctrico sea eficiente ya que este sistema aumenta el porcentaje de autonomía aproximadamente del 10 a 15 %, que dependerá del modo de conducción.

## **2.8. Recarga del vehículo eléctrico**

La recarga de los vehículos eléctricos en la actualidad es una limitación para la comercialización de los mismos, la recarga supone una infraestructura en la red eléctrica.

(STA - Sociedad de Técnicos de Automoción, 2011) indica que la evolución del vehículo eléctrico hace que en un futuro cercano las estaciones de recarga se implementen primeramente en los estacionamientos de las viviendas, en donde el

vehículo tiene el tiempo suficiente para que se cargue completamente, en la vía pública, en lugares públicos como centros comerciales y en lugares de transporte de personas como terminales terrestres.

En Ecuador ya se empieza a implantar lugares de recarga para los vehículos eléctricos, tal es el caso de la electrolinera inaugurada en Guayaquil para la recarga de la flota de buses K9G, hoy en día la más grande del país, esta estación fue instalada por la empresa china BYD, Loja también cuenta con puntos de recarga rápida para la flota de taxis BYD E6, en Quito se planea implantar 10 puntos de recarga, algunos ya en funcionamiento en el terminal terrestre de Carcelén y en ciudades donde la comercialización de los vehículos eléctricos va creciendo se apuesta por implementar los puntos de recarga.



**Figura 15.** Carga de los buses eléctricos con el cargador de 40 KW

**Tabla 10.**

*Características de la carga para vehículos eléctricos.*

Tipo	Conexión	Potencia (kW)	Autonomía (km)	Tiempo de recarga (h)	Infraestructura
Lenta	Monofásico	3.6	150	5 a 7	Aprovecha infraestructura existente. Carga en origen o destino.
Semi-rápida	Monofásico	25	150	1 a 2	Instalaciones adaptadas. Carga en origen o destino
	Trifásico				
Rápida	Trifásico Continua	50	120	0.33	Para carga en trayecto. Carga 80-90% de batería
Super-rápida	Trifásico Continua	Hasta 150	250	0.33	Cargas en trayecto
Ultra rápida	Trifásica	≥150			Para autobuses y usos especiales

Fuente: (García & Gardy, 2015)

La electrolinera de Guayaquil cuenta con 20 cargadores de carga rápida, estos están divididos en dos tipos 18 cargadores de 40 KW y 2 de 80KW que abastecerán a los 20 buses eléctricos y taxis de la marca BYD, la duración de la carga tendrá un tiempo aproximado de 6 horas en un cargador con una potencia de 40 KW, las características de los cargadores de la marca china se detallan a continuación:

**Tabla 11.**

*Características de los cargadores de la marca BYD.*

Modelo	EVA 040K	EVA 080K
Terminales de salida	1	2
Voltaje de entrada nominal	AV 380V (trifásico)	AV 380V (trifásico)
Voltaje de trabajo	AC 343V-380V ± 10%(trifásico)	AC 343V-380V ± 10%(trifásico)
Corriente de entrada	≤ 63 A	≤ 126 A
Potencia de entrada	≤ 40 KW	≤ 80 KW
Frecuencia de trabajo	50/60 Hz	50/60 Hz
Voltaje de salida	AC 343V-380V ± 10%(trifásico)	AC 343V-380V ± 10%(trifásico)
Corriente de salida	≤ 63 A	≤ 126 A
Energía	≤40KW	≤80KW
Acoplador de salida	GB/T 20234-2012	GB/T 20234-2012
Resistencia de aislamiento	500Vdc, ≥ 30MΩ	500Vdc, ≥ 30MΩ
Voltaje de aislamiento	AC1800V	AC1800V

Fuente: (BYD E-Motors Ecuador, 2015)



**Figura 16.** Tipos de cargador BYD

Fuente: (BYD,2019)

## 2.9. Ciclos homologados

En la comercialización de vehículos eléctricos, los fabricantes proporcionan al usuario la autonomía la cual se valida mediante los ciclos de homologación que se detallan a continuación:

- NEDC (New European Driving Cycle)
- EPA (Environmental Protection Agency)

La autonomía de un vehículo eléctrico se especifica en kilómetros, esta autonomía es teórica ya que se determina en condiciones ideales sobre un banco dinamométrico que simula la circulación del vehículo y mediante los ciclos de homologación se comprueba dicha autonomía que se la realiza siguiendo un protocolo de pruebas con diferentes factores que inciden directamente en el consumo de energía de las baterías.

### **2.9.1. NEDC (New European Driving Cycle)**

El ciclo NEDC es una normativa de homologación estandarizada que debe realizar cada marca que fabrica vehículos eléctricos, este ciclo se valida mediante pruebas que se realizan en laboratorio y que cumplen con condiciones específicas:

- No existe flujo de aire
- La temperatura oscila entre 20 y 25 °C
- Los sistemas auxiliares no deben estar en funcionamiento
- El vehículo debe tener 7 horas de reposo antes de iniciar la prueba.

El ciclo NEDC, se válida para para dos tipos de pruebas en diferentes rutas, dentro de la ruta urbana y la otra para ruta extraurbana.

#### **a. Ciclo urbano**

La prueba para ciclo urbano consta de dos etapas, en la primera etapa la velocidad se mantiene constante y en la segunda etapa varía entre aceleraciones y desaceleraciones, esta prueba simula la conducción dentro de la ciudad con una distancia de 4 km alcanzando la velocidad de punta de 50km/h.

#### **b. Ciclo extraurbano**

La prueba para ciclo extraurbano se realiza a continuación del ciclo urbano, que consta de etapas con velocidades constantes recorriendo una distancia de 7 km

alcanzando la velocidad de punta de 120 km/h

## **2.10. Métodos matemáticos estadísticos**

### **a) Regresión lineal**

Según (Vinuesa, 2016) el análisis de regresión lineal es un método estadístico que se utiliza cuando la variable de respuesta (variable dependiente) como las variables predictivas (variable independiente) son continuas y nos permite establecer la predicción de valores en función de la primera variable estimando coeficientes a partir de las observaciones.

La regresión lineal se utiliza para identificar variables predictivas relacionadas a una variable respuesta, describiendo la relación que tiene cada una de estas para obtener un modelo de función matemática con un margen de error mínimo que dependerá de los valores obtenidos experimentalmente con el fin de predecir los resultados de la variable respuesta.

### **b) Correlación de variables**

Para (Ramón S., 2018) el análisis de correlación de variables es una técnica estadística que permite determinar la relación entre dos o más variables, el coeficiente que se utiliza para la correlación está en un rango de -1 a 1. Los valores más cercanos a 1 o -1 tienen mayor relación entre variables.

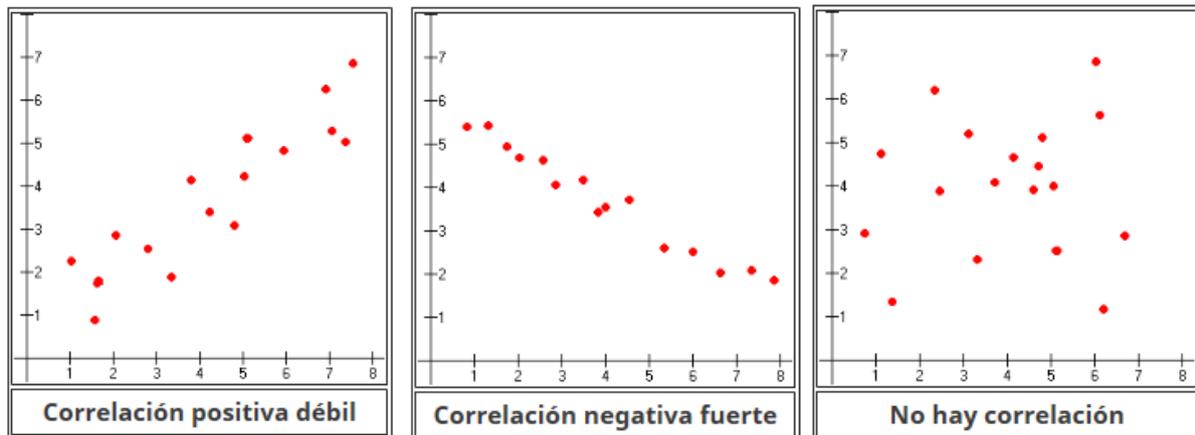
**Tabla 12.***Correlación de variables*

Coeficiente	Descripción
$r > 0$	Relación positiva
$r < 0$	Relación negativa
$r = 0$	Variabes son independientes y no están relacionadas
$r = 1$	Correlación positiva perfecta
$r = -1$	Correlación negativa perfecta.

Fuente: (Explorable.com, 2009)

**c) Diagrama de dispersión**

El diagrama de dispersión permite estudiar la relación entre dos conjuntos asociados, el resultado se muestra en conjuntos de puntos dispersos en un plano.

**Figura 17.** Diagrama de dispersión**d) Autonomía teórica**

$$\text{Autonomía teórica} = \left( \frac{\text{SOC}(\%) * \text{Autonomía vacío}}{100} \right)$$

**Ecuación 1.** Autonomía teórica

**Tabla 13.**

*Descripción de los parámetros de la ecuación de la autonomía teórica.*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
Autonomía en vacío	300km en vacío (carga máxima de la batería)
SOC (%)	Estado de carga de la batería

### 2.10.1. Definición del modelo matemático

Para la definición del modelo matemático se tiene en cuenta las variables que afectan de manera dependiente e independiente el consumo de energía de la batería y lo que afecta directamente en la autonomía.

**Tabla 14.**

*Descripción de las variables influyentes*

<b>Variables independientes</b>	<b>Variables influyentes</b>
$x_1$	Tiempo del recorrido (s)
$x_2$	Velocidad (km/h)
$x_3$	Distancia recorrida (km)
$x_4$	Porcentaje del pedal de aceleración (%)
$x_5$	SOC (%)

### 2.12. Parámetros de identificación (PID)

Los parámetros de identificación se utilizan para el diagnóstico del vehículo, cada uno de estos parámetros son valores establecidos dentro de un rango de funcionamiento, con los cuales se puede predecir el funcionamiento incorrecto de un sensor, si el funcionamiento es incorrecto ya viene a generar un código de falla (DTC).

### **2.13. Códigos de diagnóstico de problemas (DTC)**

(Ferrera, 2018) indica que los códigos de diagnóstico permiten identificar problemas eléctricos, electrónicos de los sensores que componen los diferentes sistemas de propulsión de un vehículo, estos están definidos por cada fabricante y estandarizado por la SAE.

## CAPÍTULO III

### LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA

En este capítulo se detalla la información técnica del bus BYD modelo K9G. Se presentará la información inicialmente de manera general, para luego poder llegar a un análisis específico, detallando las relaciones que tiene cada controlador del bus con el resto de sub-controladores de los sistemas anexados. En consecuencia, se presenta las características del bus en el marco de la investigación para luego explicar en detalle el funcionamiento de sus componentes.

El bus BYD modelo K9G es un vehículo totalmente eléctrico con cero emisiones de  $CO^2$ , impulsado por una batería de hierro fosfato, apto para ser conducido en la ciudad, ya que cumple con los requisitos de potencia y eficiencia para el transporte de pasajeros.

(BYD E-Motors Ecuador, 2018) indica que el costo de mantenimiento para este tipo de vehículo se reduce en aproximadamente el 20%, la frecuencia de mantenimiento se reduce en un 50% y el costo del combustible sufre una reducción del 58%, en comparación con un vehículo con similares características de combustión interna.

**Tabla 15.***Especificaciones técnicas BYD K9G.*

Ítem	Descripción
Marca	BYD
Modelo	K9G
Tipo	Bus urbano
Categoría	M3(Clase II)
Combustible	Electricidad
Tipo de motor	AC síncrono de imanes permanentes
Potencia máxima(kW)	150 kW x 2 (201 HP x 2)
Torque (Nm)	550 x 2
Autonomía(km)	300
Velocidad máxima (km/h)	80
Capacidad de la batería	324kWh/600 Ah
Peso bruto vehicular [PBV] [kg]	19500
Peso en vacío [kg]	13850
Capacidad de carga [kg]	5650
Economía de combustible [km/kWh]	0.93
Capacidad de pasajeros, de pie y sentados [incluye chofer]	De pie: 49, Sentados: 31 + 1 chofer
Área útil disponible para pasajeros de pie [ $m^2$ ]	8
Tipo de transmisión	Motor en llanta sin caja de cambios
N de marchas	3, Drive, Neutro y Retro
Tracción	4x2

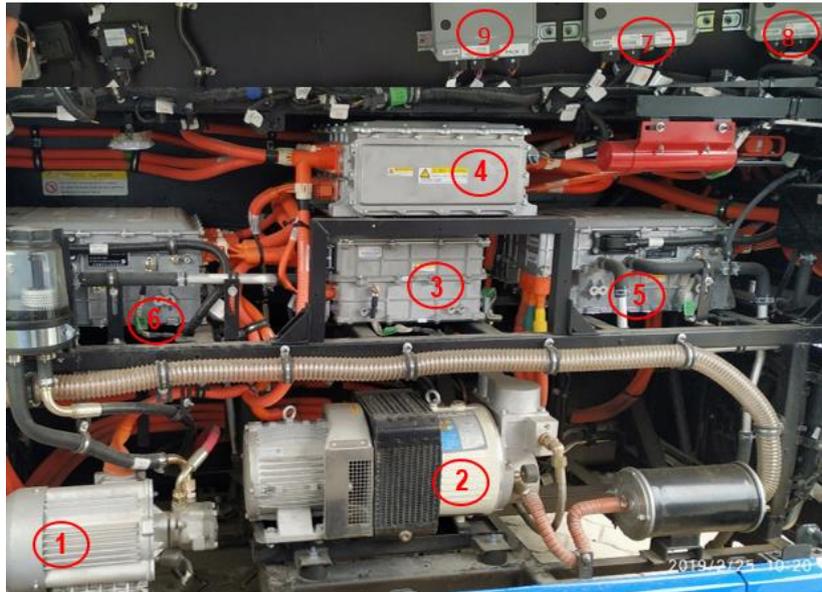
Fuente: (BYD E-Motors Ecuador, 2018)

### 3.1. Funcionamiento general del bus eléctrico

El funcionamiento del sistema de propulsión del bus K9G se maneja por el módulo controlador principal. Éste se interconecta con los demás controladores con los que cuenta el bus, así como los controladores de los motores eléctricos, motor de dirección, motor de sistemas auxiliares, inversor y el conjunto de baterías.

El funcionamiento del sistema de propulsión eléctrico empieza con la extracción de energía de la fuente de almacenamiento para pasar por el inversor, el cual se encarga de regular el suministro de energía que se dirige a los motores eléctricos. Además, el inversor se encarga de convertir la energía de alta tensión (538V) a baja

tensión (12V) para ser utilizada en sistemas auxiliares (motores de dirección, compresores de aire). También ayuda a reutilizar la energía que se genera al momento de utilizar el pedal del freno.



**Figura 18.** Componentes del sistema de propulsión del Bus BYD K9G.

**Tabla 16.**

*Componentes del sistema de propulsión del bus BYD modelo K9G.*

Descripción
1 Motor de dirección
2 Motor generador de aire a presión
3 Inversor
4 Controlador del compresor de aire
5 Controlador de accionamiento motor izquierdo
6 Controlador de accionamiento motor derecho
7 Controlador general
8 Controlador BMS 2 A
9 Controlador BMS 2 B

### 3.2. Sistemas del bus K9G

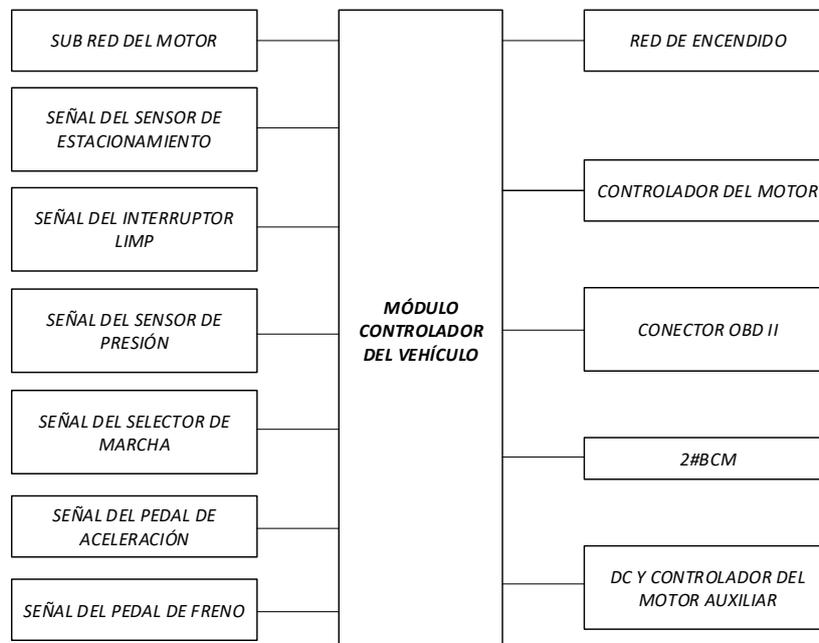
Los sistemas en el bus BYD módelo K9G que se anexan al controlador principal son:

- Sistema controlador de baterías.
- Sistema controlador del inversor.
- Sistema controlador de motores eléctricos.
- Sistema controlador auxiliar.

Estos sistemas, y su interrelación serán detallados y estudiados a continuación:

### 3.3. Módulo controlador del vehículo

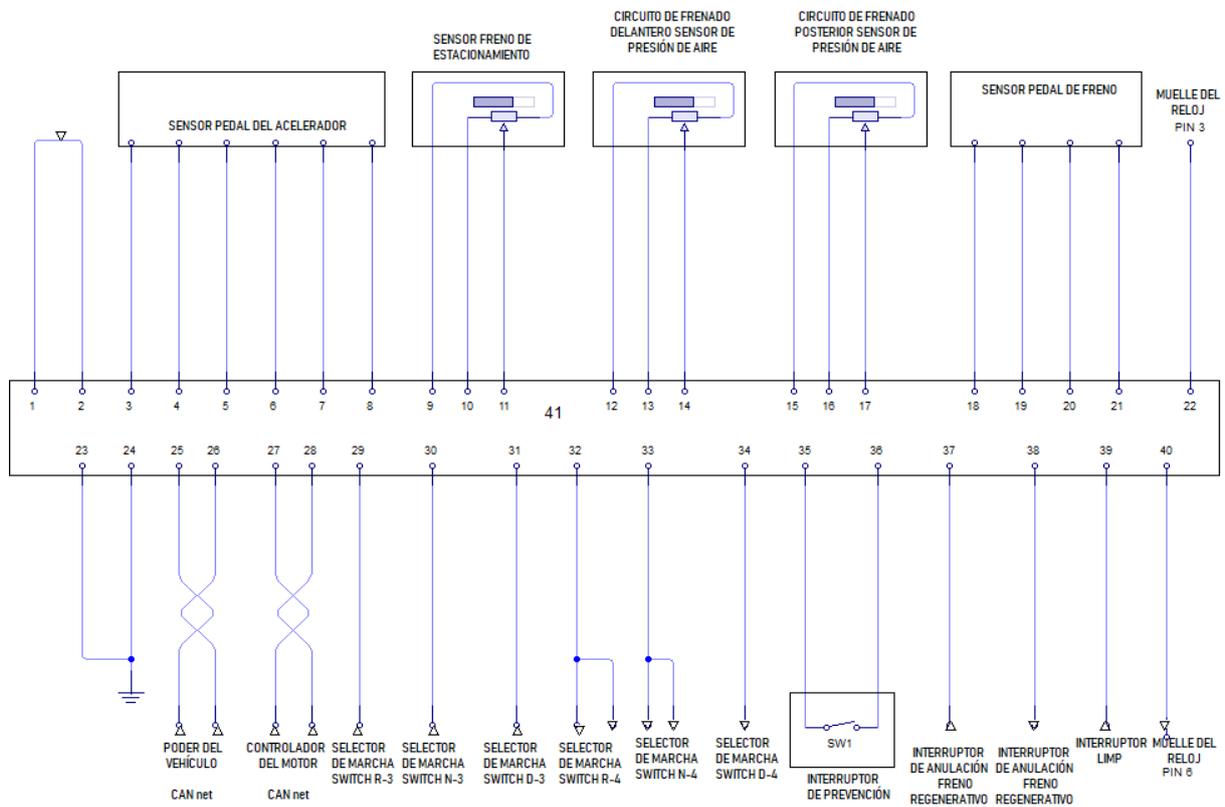
El módulo controlador del vehículo es el encargado de monitorear a todos los sistemas que funcionan anexados a este como se muestra en el siguiente diagrama de conexión del módulo controlador.



**Figura 19.** Diagrama de bloques del módulo controlador del vehículo.

El controlador del vehículo generalmente está equipado en el panel de la cubierta

del aparato eléctrico del compartimento delantero, con el puerto del conector de bajo voltaje apuntando hacia abajo.



**Figura 20.** Diagrama eléctrico del módulo controlador.

En la figura 20 anterior se muestra además los pines de conexión y cómo están distribuidos y enumerados dentro del conector del controlador general del vehículo.

### 3.3.1. Sub-red del motor

La entrada de señal de sub-red del motor al módulo controlador del vehículo llega con la información de las redes activas de los sistemas de propulsión. Este tipo de señal es similar a la RED CAN BUS en los vehículos convencionales.

### 3.3.2. Señal del sensor de estacionamiento

La señal del sensor de estacionamiento se refiere a un modo en el selector de marcha. Esta señal de PARKING, cuando se activa, impide que el bus entre en movimiento ya sea con los motores encendidos o apagados, de esta manera si seleccionamos una marcha con el interruptor de parking encendido el bus no va a entrar en funcionamiento.



**Figura 21.** Botón de Parking

Fuente: (Henkel Ibérica, S.A., 2019)

### 3.3.3. Señal del interruptor 'limp'

Este interruptor se activa cuando hay un mal funcionamiento de algún componente del sistema de propulsión en el vehículo, cuando esto suceda se activará automáticamente el sistema de control general que reducirá en gran medida el rendimiento del bus para permitir acercarse a un taller de revisión y chequearlo de inmediato con el escáner para un diagnóstico. Esta señal LIMP es análoga a la luz de 'check engine' que se puede encontrar en vehículos propulsados por motores de combustión interna y controlados electrónicamente.

### **3.3.4. Señal del sensor de presión**

La señal proveniente del sensor de presión tiene algunas funciones, incluyendo el control y monitoreo de la presión de frenado que existe en el sistema, ya que este tipo de vehículos pesados necesitan que la presión de frenado siempre esté en un nivel adecuado para no exponer a los usuarios a algún tipo de riesgo.

### **3.3.5. Señal del selector de marcha**

El bus K9G posee 3 modos de marcha: NEUTRAL, DRIVE y REVERSE, similar a aquellos encontrados en vehículos automáticos.

- En el modo neutro el bus no tendrá ninguna conexión con los motores eléctricos, lo que lo deja sin bloqueo y permitirá que se pueda mover si está en una pendiente.
- El modo DRIVE activa la conexión con los motores eléctricos, por lo que permitirá que el bus inicie su movimiento.
- El modo REVERSE entra en funcionamiento para que el vehículo pueda retroceder a voluntad del conductor invirtiendo la polaridad de los motores eléctricos.

### **3.3.6. Señal del pedal de aceleración**

El pedal de aceleración del vehículo controla la velocidad de acuerdo a la posición

del mismo que es determinada por el conductor. Por ello, cuando esta señal llega al controlador principal, se aumenta o se disminuye la cantidad de energía que se envía a los motores eléctricos de ambas ruedas. Asimismo, si el conductor suelta el acelerador por completo el vehículo comienza la etapa de regeneración, haciendo uso de la energía generada por el movimiento de las ruedas.

### **3.3.7. Señal del pedal de freno**

Esta señal se activa evidentemente cuando el conductor hace uso del pedal de freno, sin embargo, puede tener efectos ligeramente diferentes dependiendo de la acción del conductor. En el caso en el que la señal de freno ha sido activada, el de regeneración de energía.

### **3.3.8. Señal de los motores propulsores**

En la figura 26 se puede apreciar el tipo de conexión que tienen entre sí los componentes del sistema de propulsión. Se encuentra 3 tipos de conexiones: el primero es para el cableado estándar que está presente en la mayoría de conexiones dentro del bus, el segundo tipo se refiere al cableado de alta tensión y por último está el cableado de la red CAN o el que rige entre todos los módulos controladores para su comunicación.

### **3.3.9. Red de encendido**

Esta señal es la que llega al controlador general para encender todo el sistema y

que el bus pueda comenzar a circular.

### **3.4. Controladores de los motores eléctricos**

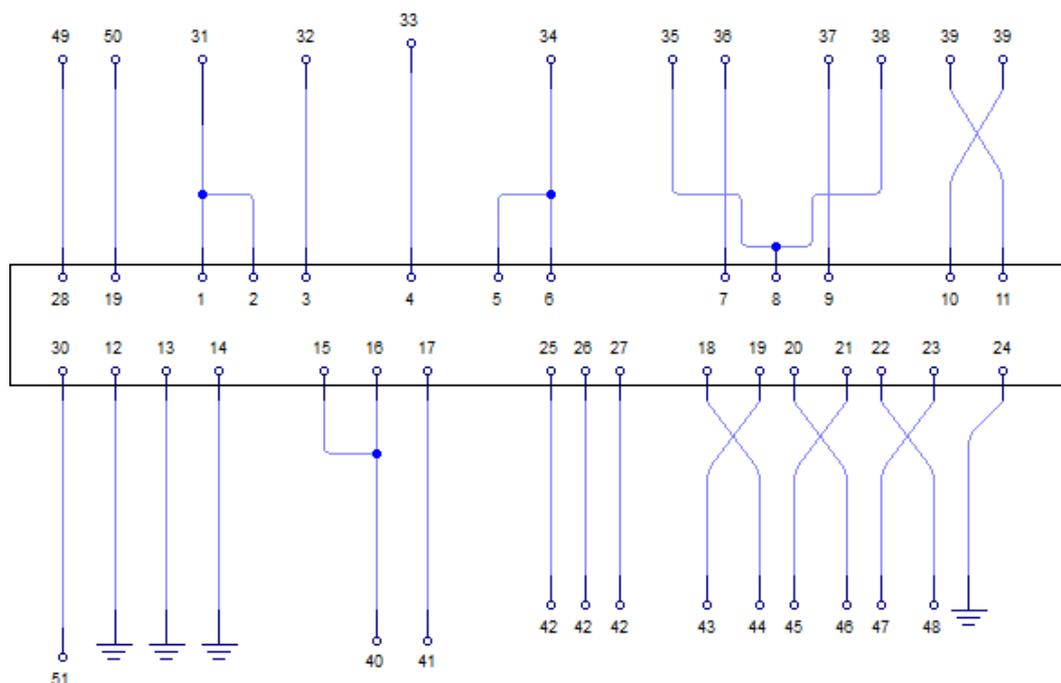
El conjunto del módulo controlador de accionamiento de los motores controla la transferencia de energía desde la batería hasta el motor eléctrico y por último al inversor de voltaje trifásico durante la carga de corriente alterna.

Es utilizado principalmente para controlar el motor eléctrico para la propulsión del vehículo y convertir la corriente alterna trifásica de la red eléctrica en corriente continua para cargar la batería. También realiza funciones tales como comunicarse con la red CAN y resolver problemas.

El módulo controlador del motor de accionamiento consta de 3 circuitos:

- Circuito de interfaz de entrada / salida.
- Circuito de control del motor propulsor, circuito de accionamiento.
- Circuito de control del inversor para la carga.

### 3.4.1. Diagrama eléctrico del controlador de los motores eléctricos



**Figura 22.** Diagrama eléctrico del controlador de los motores eléctricos

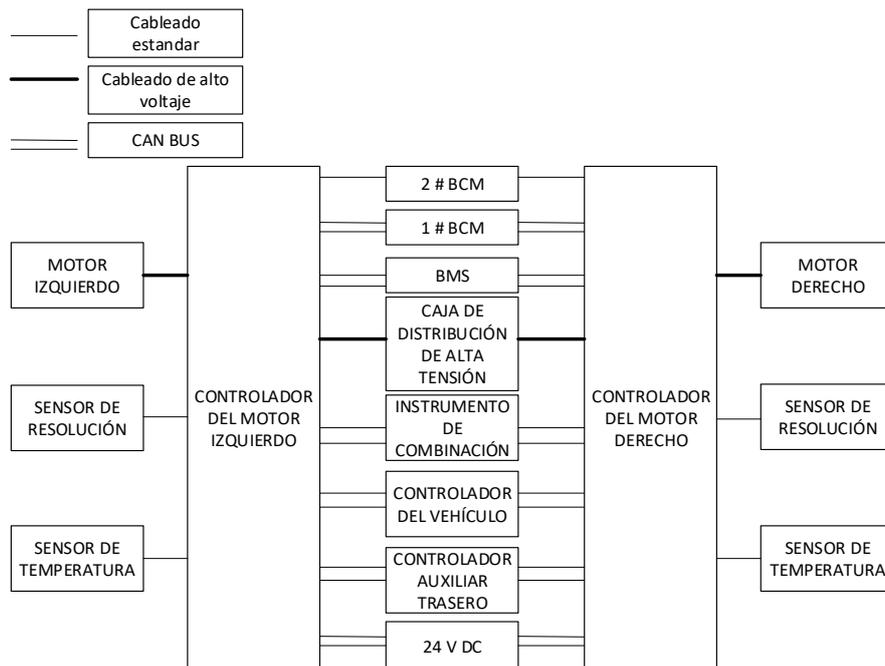
**Tabla 17.**

*Descripción de los pines del controlador de los motores eléctricos.*

Descripción		Descripción	
1	Segundo circuito de alimentación	26	Fase B del motor eléctrico cable trifásico
2	Segundo circuito de alimentación	27	Fase C del motor eléctrico cable trifásico
3	Alimentación 24 V	28	Ánodo de tensión alta DC busbar
4	Señal de conexión de carga	29	Ánodo de carga
5	Señal de salida de sincronización	30	Cátodo de tensión alta DC busbar
6	Señal de entrada de sincronización	31	Segundo circuito de alimentación
7	Confirmación de control de carga (CP)	32	Alimentación constante
8	CC y CP GND	33	BCM 2-C01
9	Confirmación de conexión de carga (CC)	34	V2G derecho pin 38
10	Sub red de motor CAN L	35	Puerto de carga derecho pin 9
11	Sub red de motor CAN H	36	Puerto de carga derecho pin 1
12	Segundo circuito de alimentación GND	37	Puerto de carga derecho pin 2
13	Segundo circuito de alimentación GND	38	Puerto de carga derecho pin 2
14	Alimentación constante GND	39	Sub red de motor
15	Temperatura de la carcasa del motor GND	40	Temperatura del motor pin 3
16	Temperatura analógica del motor	41	Temperatura motor izquierdo pin 6
17	Temperatura analógica del motor GND	42	Caja de distribución ABC
18	Excitación +	43	Resolver motor izquierdo pin 1
19	Excitación -	44	Resolver motor izquierdo pin 5
20	Seno +	45	Resolver motor izquierdo pin 2
21	Seno -	46	Resolver motor izquierdo pin 6
22	Coseno +	47	Resolver motor izquierdo pin 3
23	Coseno -	48	Resolver motor izquierdo pin 7
24	Resolver GND	49	Caja de distribución alta tensión
25	Fase A del motor eléctrico cable trifásico	50	Caja de distribución de alta tensión
		51	Caja de distribución alta tensión

### 3.4.2. Diagrama de bloques

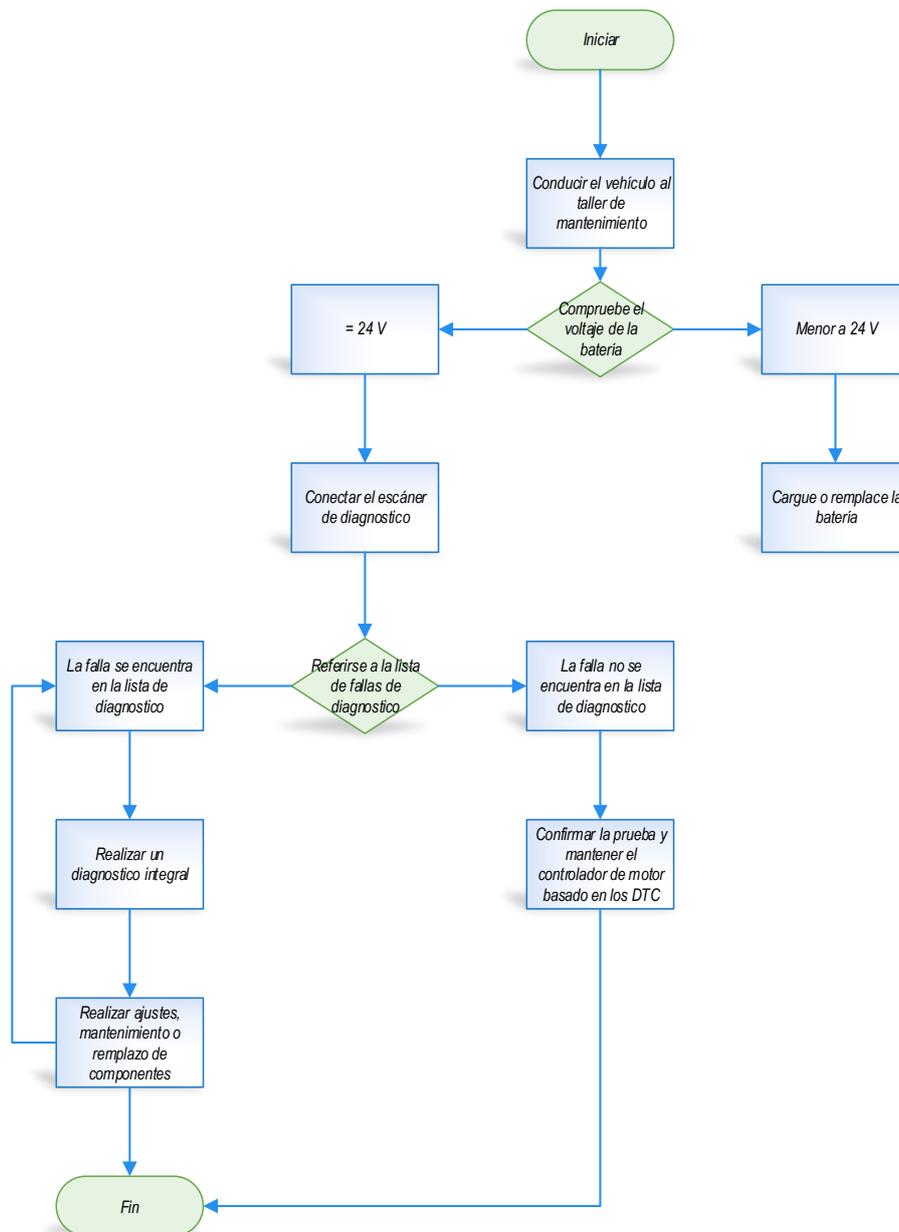
El diagrama representado en la figura 26 contiene la descripción del funcionamiento coordinado de los dos motores propulsores que mueven el K9G y todos los sensores que controlan a este sistema.



**Figura 23.** Diagrama de bloques de los dos motores controladores.

### 3.4.3. Diagnóstico de fallas

Con ayuda del escáner VDS2000 se logra detectar cualquier falla que se pueda presentar en el vehículo mediante su conexión y así mismo proporcionar donde se encuentra y una posible solución, a continuación, se presenta un diagrama de flujo el procedimiento de verificación de fallas del bus K9G.



**Figura 24.** Diagrama de flujo para el diagnóstico de fallas.

### 3.5. Conector OBD II

El conector OBD II sirve para monitorear todo lo que sucede en el vehículo en tiempo real a través del escáner automotriz que en el caso de esta investigación se utilizó el modelo VDS2000.

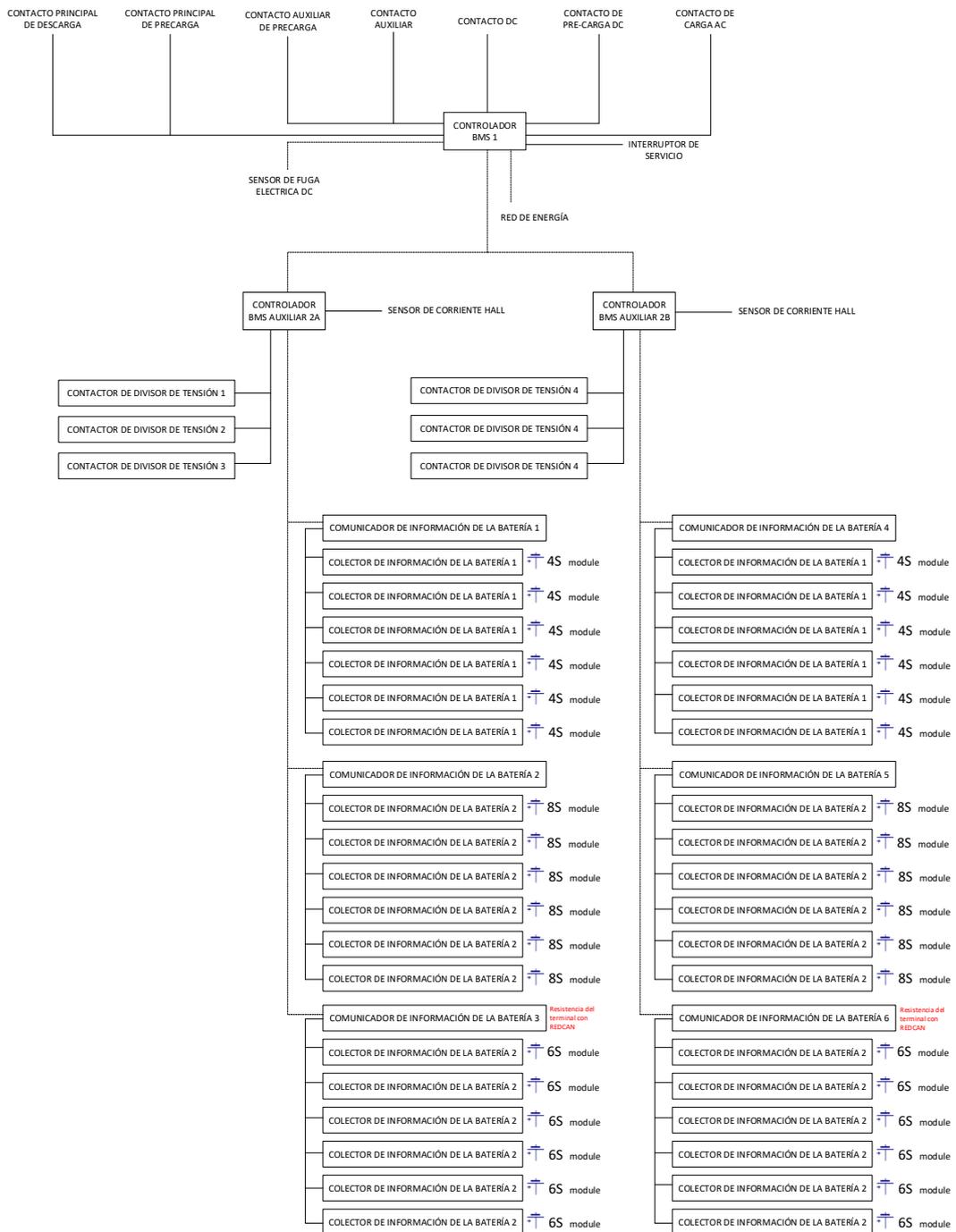
### **3.6. DC y controlador del motor auxiliar**

Este circuito DC es el que da la señal que va hacia el controlador del motor auxiliar del vehículo que se encarga de mantener la presión del circuito de aire comprimido del bus y además del circuito del aire acondicionado.

### **3.7. Batería**

El vehículo está provisto con un sistema de control del conjunto de baterías, compuesto por 3 controladores de gestión de batería (BMC), 6 intercomunicadores de información de batería y 36 recolectores de información del estado de las baterías (BIC). Los controladores de gestión de batería tienen como función la gestión de descarga, manejo de contactores, control de potencia, alarmas y protección contra el estado anormal de la batería. Los compiladores de información de la batería son para muestreo de voltaje, muestreo de temperatura, equilibrio de voltaje entre celdas y detección de anomalías en la línea de muestreo.

A continuación, se presenta en la figura 26, el diagrama de conexión del conjunto de batería que está integrado en el K9G, el cual es una red de baterías monitoreadas por sensores de temperatura y recolectores de información para lograr la correcta entrega de energía a los motores eléctricos y luego recibirla en la fase de regeneración y de carga (normal o rápida).



**Figura 25.** Diagrama de bloques del conjunto de las baterías del vehículo.

Antes de realizar la descripción del diagrama se debe dejar en claro las funciones que cumple todo este conjunto de batería. Este conjunto se divide en dos, repartiéndose a los dos motores eléctricos con los que cuenta el vehículo.

La primera función del conjunto batería es entregar energía a los motores eléctricos del vehículo para dar movimiento al K9G,

En la segunda función está el recibir energía proveniente de una fuente externa de carga, ya sea en modo normal o rápida, además del monitoreo constante de la temperatura de cada pack de batería en todo momento para evitar cualquier sobrecarga o recalentamiento en el sistema.

El conjunto batería y su controlador está dispuesto en primer orden con dos grupos de baterías, dispuesto uno de cada lado en el bus K9G. Estos a su vez se subdividen en tres packs, los cuales están conectados entre sí brindando todo el conjunto un voltaje de operación al bus de 540 V como valor nominal de funcionamiento, que se necesita para poner en marcha al bus.

**Tabla 18.**

*Configuración de la batería*

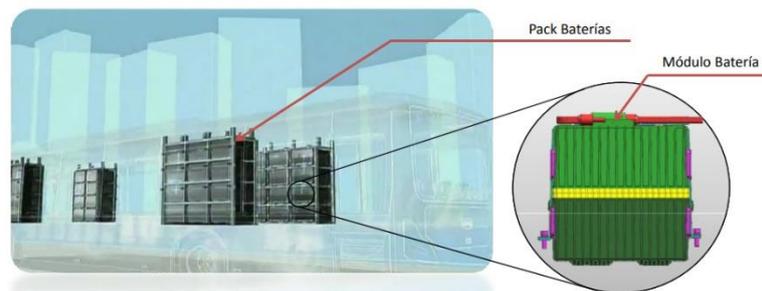
Elemento	Valor	Observación
Nº packs	3	Conexión paralela
Módulos	63	C12_8S
Tipo de conexión	21 módulos conectados en serie forman un pack	
Energía [kWh]	Nominal: 310 [kWh] / mínimo: 292 [kWh]	
Capacidad nominal [Ah]	600	
Voltaje nominal [V]	540	2.0 – 3.8 por celda
Masa total [Kg]	3654	
Voltaje de operación [V]	336 - 638	

Fuente: (Osses, 2013)



**Figura 26.** Pack de batería bus K9G.

Cada uno de los seis packs que se encuentran en del bus, tienen celdas voltaicas, cuyos valores oscilan entre 2V y 3.8V. En condiciones normales, el volumen de celdas voltaicas oscilantes puede variar de 140 a 270 celdas. El pack descrito en la figura 27 maneja 90V y esto por cada uno de los 6 que se encuentran alrededor del K9G.



**Figura 27.** Composición interna Pack de baterías BYD

Fuente: (BYD E-Motors Ecuador, 2015)

### 3.7.1. Colector de información

El 50% del diagrama de conexión se refiere a los 36 colectores de información de las baterías. La función de estos colectores es recoger la información en cada una de las subdivisiones del conjunto de batería para el monitoreado constante del voltaje que entregan y recibe en todo momento, así como el que queda después de un día de operaciones del bus K9G.

### 3.7.2. Comunicador de información

Los seis comunicadores de información que se encontrará en el conjunto de batería del bus, cumplen la función de reunir y comunicar la información proveniente de los 6 colectores de información de las baterías y enviar dicha información a los

respectivos controladores 2A y 2B para ser procesada.

### **3.7.3. Controlador BMS auxiliar**

El controlador del sistema de gestión de batería controla la energía que sale y entra de los packs de batería de quienes son responsable los dos controladores BMS auxiliar, uno para el lado A y el lado B del bus.

Anexado al controlador auxiliar 2A están los contactores de divisor de tensión que regulan el paso de voltaje que sale del conjunto batería y es pasado por el inversor para que la energía llegue a los motores eléctricos.

### **3.7.4. Sensor de corriente hall**

(Eneka S.A., 2014) explica que es un sensor de corriente por efecto hall, que provee una solución económica y precisa para medir corriente en AC o DC, ya sea en ambientes industriales o comerciales. Este sensor funciona transformando un campo magnético surgido del paso de la corriente por un alambre de cobre interno en el sensor, y convirtiendo este campo en un voltaje variable. Esto significa que, a mayor cantidad de corriente, mayor voltaje se va a tener en un pin.

En este caso el sensor de corriente hall es utilizado para medir el voltaje de la energía eléctrica.

Los controles BMS auxiliares de los dos packs de baterías llegan al controlador general de todo el conjunto batería quien además de controlar y regular el paso de voltaje controla la temperatura de las baterías y cualquier fuga eléctrica que pudiera existir salvaguardando todo el sistema.

### **3.7.5. Contacto principal de descarga**

Es el contacto utilizado principalmente para la descarga de energía dirigida hacia los motores eléctricos.

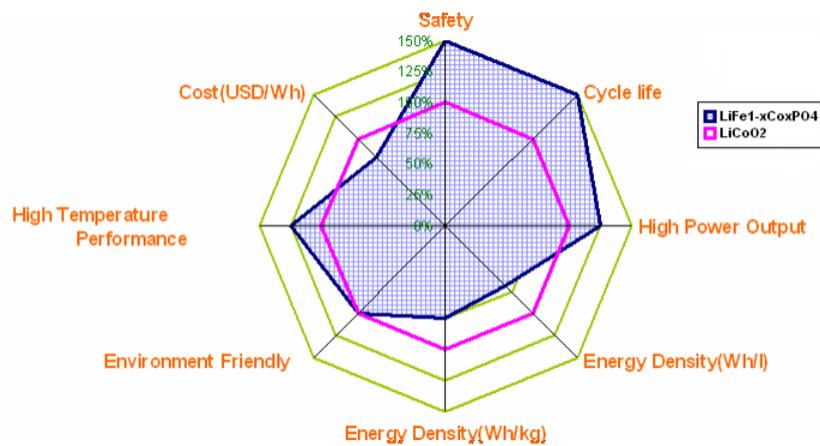
### **3.7.6. Contacto principal de precarga**

Según (Logroño, 2017), como precaución de seguridad con baterías de alta capacidad se utiliza a menudo una etapa de precarga. El ciclo de carga se inicia con una corriente baja. Si no hay un aumento correspondiente en el voltaje de la batería, indica que existe un posible cortocircuito en la batería.

Es el contactor por el cual empieza la carga del conjunto batería de alta tensión brindando garantía al proceso para luego dejar pasar a la carga real de la batería teniendo seguridad de que el sistema funciona con normalidad.

### 3.7.7. Compuestos de las baterías

La tecnología de las baterías de hierro-fosfato utilizadas en los vehículos BYD, desarrollada por la misma empresa se analiza en el siguiente cuadro de rendimiento:



**Figura 28.** Balance de rendimiento de las baterías BYD.

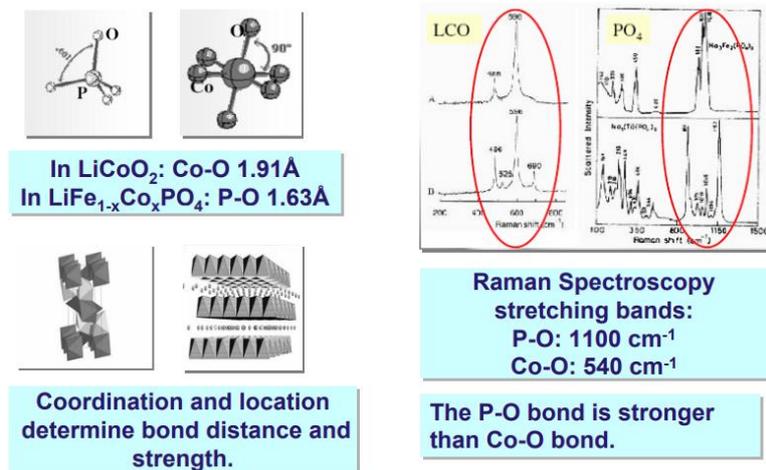
Fuente: (Austin, Texas, 2008)

En el primer aspecto del gráfico está el rendimiento de la batería enfocada a la seguridad en una eficiencia del 150%, sobre la batería con la que se la compara, la cual está marcada en color rosa.

El ciclo de vida es mucho más largo y con más esperanza que el compuesto con el que se la compara y es otro punto a favor. Se puede apreciar que el ciclo de vida y la salida de alta potencia de las baterías hierro-fosfato es mayor al de la batería en comparación, significando una ventaja ante los materiales de uso regular.

Otro punto relevante en el gráfico presentado es el desempeño de la batería funcionando a alta temperatura, en donde también es superior que el tipo de

compuesto que BYD tiene patente de sus baterías, e incluyendo su costo relativamente menor al de la competencia, hacen de este compuesto la mejor oferta del mercado.



**Figura 29.** Composición química de las baterías BYD.

Fuente: (Austin, Texas, 2008)

Los enlaces principales que tienen ambos compuestos químicos de las baterías en cuestión, para los compuestos utilizados por la compañía, los enlaces tienen menos distancia en ángulo de enlace, lo cual lo hace más fuerte y por consecuencia confiables.

En la siguiente mención se toman en cuenta datos importantes proporcionados por BYD en cuanto a las ventajas de sus baterías respecto a las que ya existen en el mercado automotriz de vehículos eléctricos.

- Larga vida

(Austin, Texas, 2008) indica que la “adopción con nuevos materiales de cátodo y ánodo. Después de 3500 ciclos al 100% DOD, la capacidad permaneció 80%.”

Esta adopción de nuevo material es fundamental para la duración que van a tener las baterías BYD, las cuales han sido probadas en distintas condiciones de trabajo como nos indica la cita anterior; y más que nada su capacidad permaneció en el 80% por ciento, lo cual ofrece alta confiabilidad en su durabilidad.

- Densidad de alta potencia

(Austin, Texas, 2008) expresa que “optimizando la potencia de salida de la celda. La densidad de potencia de la celda es más de 1720 W / L.”

Una de los grandes avances en la tecnología de las baterías BYD sin duda es la potencia que entregan, como lo dice el dato de la cita anterior, se tiene una potencia de salida de la celda mucho mayor que las existentes en el mercado de baterías.

- Carga más rápida

Según (Austin, Texas, 2008) el “uso de material de ánodo de alta conductividad para una carga rápida. 80% de capacidad se puede cargar en 10 minutos.”

Estas baterías tienen la capacidad de carga muy rápida respecto a las que tienen

los vehículos existentes de gama media hasta la actualidad, logrando cargar el 80% de su capacidad en 10 minutos, que es el tiempo que un conductor se demora en tomarse un café.

- Baja resistencia

(Austin, Texas, 2008) demuestra que la “máxima área de galvanizado. La resistencia de la celda es de aproximadamente  $0.5m\Omega$ .”

En cuanto al área de galvanizado que poseen este tipo de baterías es se puede ver que es muy eficiente dado que como se ve en la cita anterior, la resistencia es solamente que el dato que tiene la empresa es alrededor de  $0.5m\Omega$  que de hecho es un nivel de resistencia bien bajo respecto a las existentes en el mercado de baterías actual.

- Alta fiabilidad.

Para (Austin, Texas, 2008), “Identificando y previniendo todos los riesgos potenciales en el diseño de la celda, como cortocircuito, arrugas.”

En cuanto a la confianza que nos brindan este tipo de baterías BYD se debe destacar el trabajo de la empresa por evitar cualquier tipo de novedad hasta en el último de los casos si existiere algún inconveniente. Todos los compartimentos del bus donde existen circuitos están equipados con extintores sensibles al calor y

conectados al sistema eléctrico por alguna novedad.

- Baja auto descarga

(Austin, Texas, 2008) menciona que “con la tecnología HBL, el auto descarga de la celda tiene menos del 1% de capacidad por mes en almacenamiento.”

De la cita anterior se puede destacar el hecho de el porcentaje mínimo de descarga que ha logrado la marca en estas baterías, la cual se lo encuentra a nivel de baterías más estudiadas y elaboradas en mención a vehículos de renombre como Tesla.

- Adaptabilidad a diferentes temperaturas.

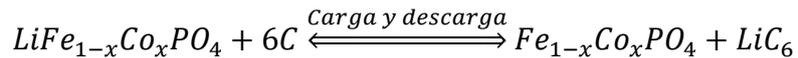
(Austin, Texas, 2008) señala que “todos los materiales son estables para altas o bajas temperaturas. La temperatura de operación de la celda es -30 °C a 60 °C.”

Este dato es realmente importante para que el bus K9G pueda funcionar en las vías del país teniendo en cuenta que las temperaturas pueden fluctuar entre los 39° de sensación térmica, y 5° en el caso de la región sierra.

- Bajo costo

(Austin, Texas, 2008) expone que “los materiales clave están hechos por nosotros mismos. El costo es mínimo.”

En cuanto a la cita anterior los costos serían aún más bajos si tuvieran competencia en cuanto a la producción de baterías de las mismas prestaciones.



**Ecuación 2.** Reacción química de las baterías

En la ecuación anterior se describe la reacción química que se da dentro de los packs de batería de la compañía de BYD. La reacción que se da desde el lado izquierdo hacia el derecho de la ecuación corresponde al proceso electroquímico que se da durante la carga; mientras que el proceso de descarga estaría descrito por la reacción que va desde la derecha a la izquierda de la ecuación.

Durante la reacción química en condiciones normales de funcionamiento no se genera calor, lo cual resulta un gran avance de innovación dentro de la tecnología de las baterías del bus, teniendo una eficiencia del 91%, superando a los otros tipos de baterías que se comercializan.

Por estas razones, que indica la propia marca, se elige este tipo de compuestos para la fabricación de las baterías. Esto garantiza alta confiabilidad para el cliente, asegurando 10 años de garantía de vida útil de la batería. A partir de este tiempo, el desgaste de la batería incrementa notablemente, reduciendo su capacidad en relación a condiciones iniciales.

### 3.8. Instrumento de combinación

El modelo de utilidad se refiere a un instrumento de combinación para un vehículo eléctrico con batería, que comprende un cuerpo del panel de instrumentos. Este está conectado con un controlador externo en un modo de comunicación a través de un bus CAN. Un primer indicador de puntero redondo y un segundo indicador están dispuestos simétricamente en el lado izquierdo y el lado derecho del cuerpo del panel de instrumentos. Este panel, en forma de abanico, está dispuesto en el centro de la parte superior del cuerpo del panel de instrumentos y provisto de un grupo de luces LED; y un panel indicador rectangular de cristal líquido.

Según (China Patente nº CN203681298U, 2014), el instrumento combinado para el vehículo eléctrico con batería es un diseño simple y elegante. Las alertas del funcionamiento del vehículo y, la información de voltaje se muestra digitalmente de forma visual y esta información se indica en múltiples modos, como la indicación a través de punteros, la indicación a través de las luces indicadoras y la pantalla digital de cristal líquido.

Todo lo antes mencionado detalla el instrumento de combinación que se presenta de forma digital en el tablero del vehículo eléctrico dando un reporte en tiempo real de la velocidad que lleva el vehículo, así como también el estado de carga del conjunto de baterías.



**Figura 30.** Tablero del conductor K9G.

Fuente: (Harrop, 2016)

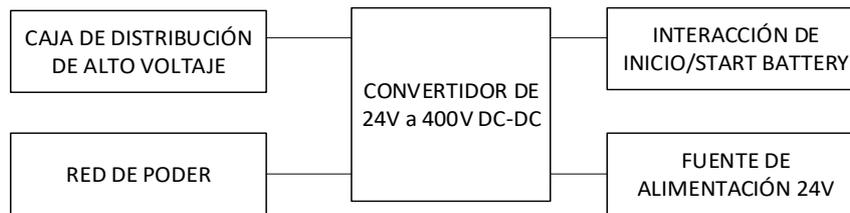
### 3.9. Inversor

El inversor del vehículo de corriente continua lleva el voltaje desde 24 V a 400 V y generalmente está ubicado en el compartimiento posterior del K9G o en el marco de la carrocería del vehículo / panel de cubierta, con conectores hacia el lado izquierdo y derecho del conjunto inversor.

**Tabla 19.**

*Parámetros técnicos del inversor*

	Ítem	Parámetros
<b>Sistema de dirección y compresor de aire.</b>	Rango de voltaje	350 Vdc -850 Vdc
	Corriente nominal	15 A
	Pico de corriente	30A
	Potencia nominal	5kW (máximo 10kW)
	Resistencia del resolutor	Resistencia del resolutor: 10±1Ω Resistencia sinusoidal: 15±1.5Ω Resistencia del coseno: 15±1.5Ω (20°C)
	Rango de resistencia del sensor de temperatura del motor	127. 7KΩ -1.196Ω(20°C-150°C)
	Rango de resistencia del sensor de temperatura de la tapar del compresor de aire	2.517KΩ -212Ω(20°C-95°C)
<b>DC/DC</b>	Rango de voltaje	350Vdc-850Vdc
	Tensión nominal de salida.	28VDC
	Precisión de la tensión de salida.	±5%
	Corriente nominal de salida.	125 A
	Potencia nominal de salida.	3.5KW



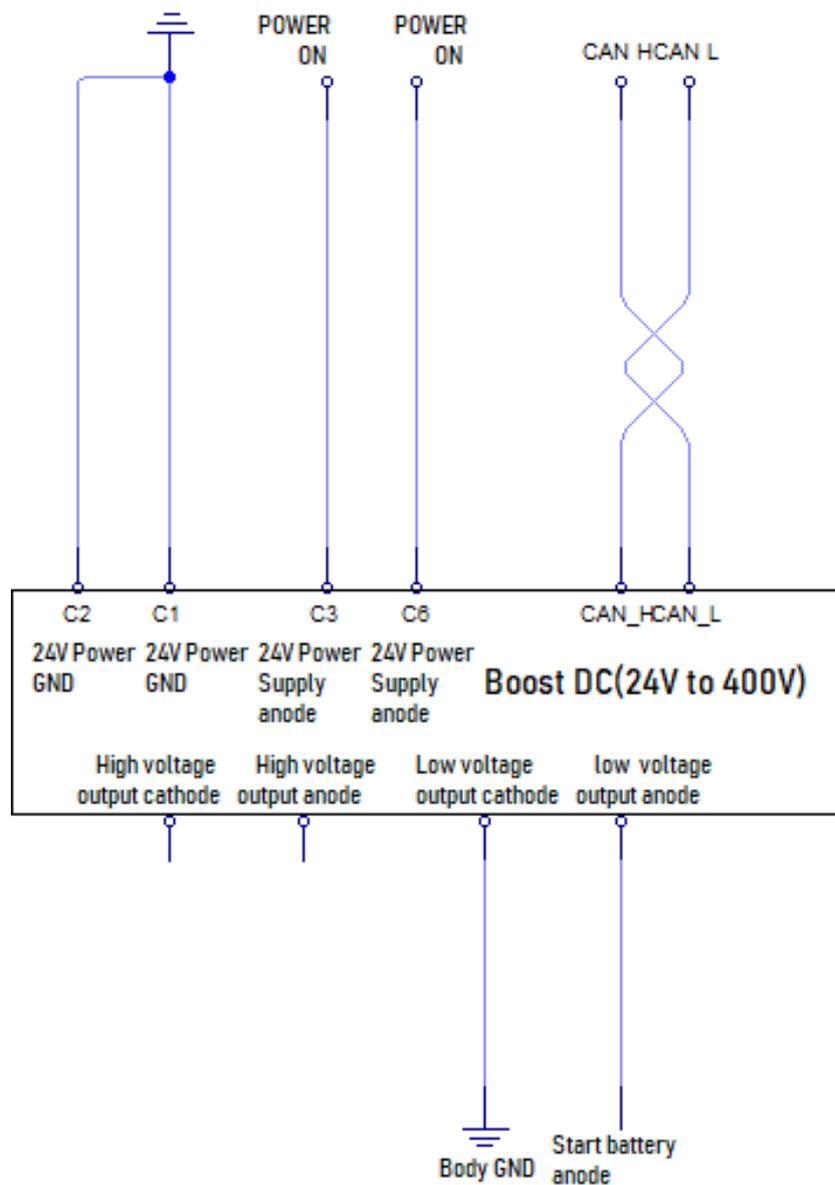
**Figura 31.** Diagrama de bloque del inversor del vehículo

El inversor suministra voltaje convertido hacia la caja de distribución de alto voltaje. Envía y recibe mensajes a través de la red eléctrica y suministra energía de 24 V al circuito de control de bajo voltaje a través de la red de encendido.

En otro punto acerca del convertidor de voltaje vale recalcar la transformación de energía de corriente directa que se hace teniendo en cuenta los cuatro componentes anexados a él, empezando por la caja de distribución de alto voltaje quien recibe los 400V de corriente continua (CC) para distribuirlos a los motores generadores por medio de la línea de alta tensión.

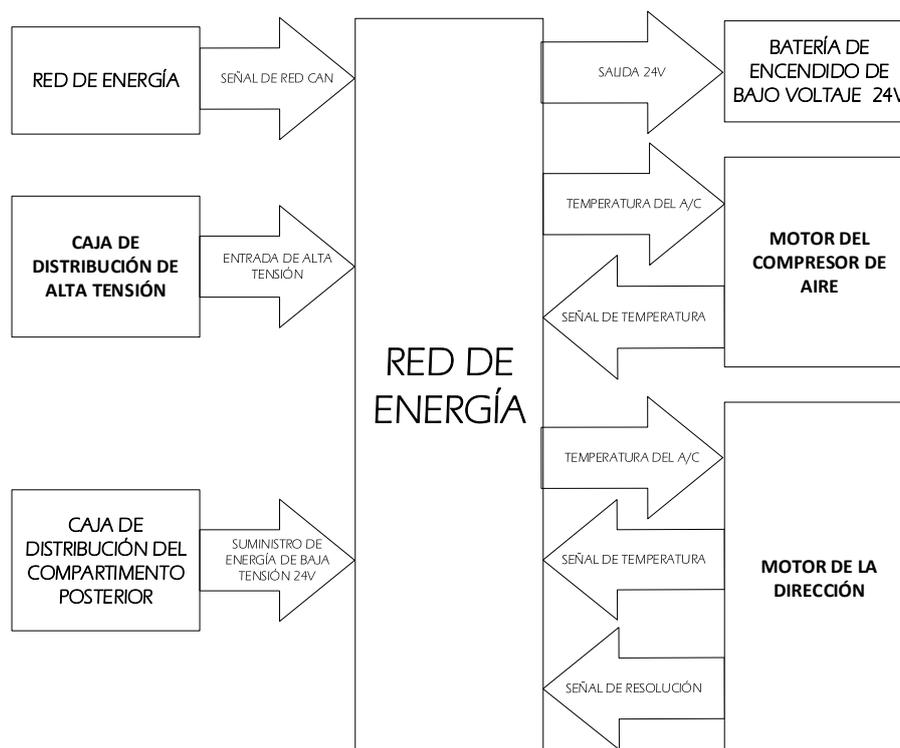
Por último, la fuente de alimentación de CC que proporciona una señal de 24V, tiene como función mantener el del circuito de bajo voltaje con al 24V.

Todo lo anterior se resume en que la función del inversor o convertidor de voltaje de CC transforma desde los 24V hasta los 400V, para ser distribuidos a los dos motores eléctricos en el sistema propulsor.



**Figura 32.** Diagrama eléctrico del inversor del vehículo.

El diagrama eléctrico anterior representa la forma en la que se encontrarán las conexiones en el interior del ensamblaje del bus, exponiéndolo de manera didáctica desde la red de poder más conocida como red CAN hasta el conector de ánodo y cátodo con voltaje de 24V que entra hasta el inversor.



**Figura 33.** Diagrama de bloque del conjunto controlador del motor DC y el motor auxiliar.

**Tabla 20.**

*Síntomas de falla*

Síntoma de falla	Posibles causas	Método de solución
Ningún mensaje de inversor DC después del encendido del vehículo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El conector DC de bajo voltaje de refuerzo no está conectado</li> <li>2. El terminal está separado del conector CAN de bajo voltaje o del cable de alimentación</li> <li>3. El software del inversor no está actualizado o el software no está escrito en él</li> <li>4. El hardware de refuerzo DC está dañado</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conecte el conector</li> <li>2. Verifique cada terminal del conector y fíjelo o reemplácelo según el caso</li> <li>3. Actualice el software del inversor (160930)</li> <li>4. Reemplace el impulso DC</li> </ol>
Inversor no se inicia después de que la fuente de alimentación de alto voltaje se termina de manera anormal (las fuentes de alimentación de alto / bajo voltaje son normales después del encendido del	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Los conectores DC del inversor no están conectados correctamente</li> <li>2. Los terminales están separados de cualquier conector.</li> <li>3. El software del inversor no está actualizado o el software no está escrito en él</li> <li>4. El mejor voltaje de arranque cae por debajo de 17V cuando el DC de refuerzo está operando o arranca</li> <li>5. El software del controlador de dirección no está actualizado</li> <li>6. El BCM envió solo el comando de</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conecte el conector</li> <li>2. Verifique cada terminal del conector y fíjelo o reemplácelo según el caso</li> <li>3. Actualización del software del inversor (160930)</li> <li>4. La batería de arranque es muy vieja. Cárguelo por más tiempo reemplácelo</li> <li>5. Actualice el software del controlador de dirección (161005)</li> <li>6. Reemplace el software BCM</li> <li>7. Reemplace el impulso DC</li> </ol>

Síntoma de falla	Posibles causas	Método de solución
vehículo)	apagado y ningún comando de apagado forzado durante el apagado forzado 7. El hardware DC de refuerzo está dañado	

**Tabla 21.**

*Manual de mantenimiento del vehículo. Conjunto convertidor DC-DC de 24V a 400V*

• Proceso de diagnóstico de falla	
1	Identifique las fallas del arnés de cableado de baja tensión y de la fuente de alimentación del vehículo hasta confirmar que ya no hay ninguna falla.
NEXT	
2	Si no se encuentra ninguna falla en el arnés de cableado de bajo voltaje y la fuente de alimentación, encienda el vehículo (ENCENDIDO)
NEXT	
3	Conecte un aparato de diagnóstico a la red CAN para el diagnóstico.
NEXT	
4	Realice el mantenimiento de acuerdo con la información de falla del DTC
NEXT	
5	Haga la confirmación después del mantenimiento. El proceso termina

### 3.9.1. Señal de la RED CAN

En la gráfica 36, se aprecia que en el conjunto de control del motor DC y del motor auxiliar se encuentra la entrada de la red de energía o RED CAN, la cual proporciona energía para el funcionamiento de todo el conjunto controlador.

### 3.9.2. Señal de la caja de distribución de alta tensión.

En la segunda entrada de este conjunto está ubicada la caja de distribución de alta tensión, la cual distribuye su señal enviándola al conjunto controlador y este a su vez, enviando esta alta a los motores propulsores del bus.

### 3.9.3. Señal de la caja de distribución de baja tensión.

Se encuentra una caja de distribución, en este caso de baja tensión, la cual como lo dice en la figura 33 está en el compartimento posterior teniendo interacción solo desde la caja de distribución hasta el conjunto controlador, el cual utilizará este suministro de bajo voltaje para enviar señales a la batería de encendido y controlar los motores que tiene a cargo.

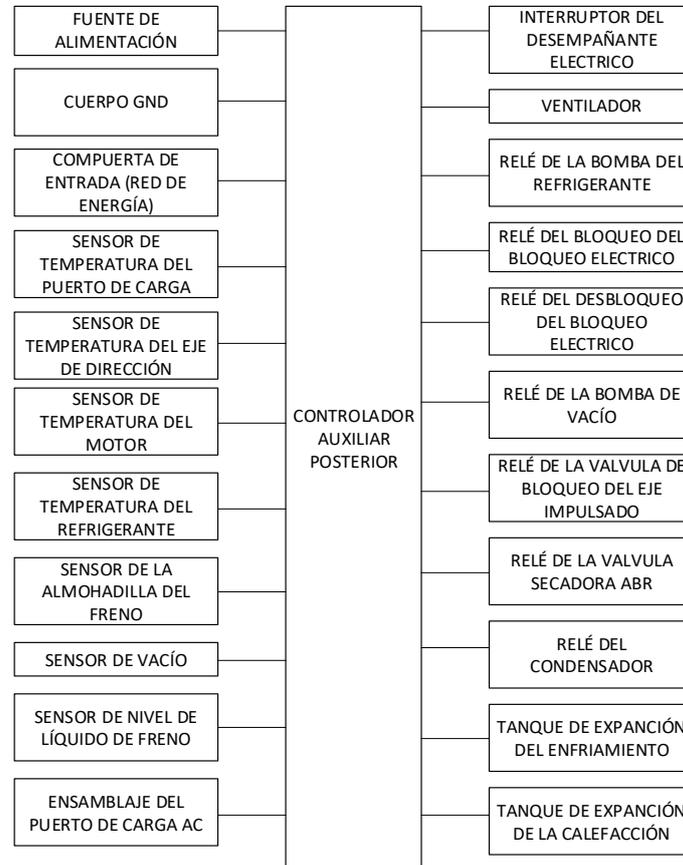
### 3.9.4. Señal de salida a la batería

Asimismo, el conjunto controlador tiene una salida de voltaje de 24V que se dirige a la batería de encendido de bajo voltaje. Este registra la temperatura del sistema de climatización y del aceite hidráulico del motor de dirección del bus.

### 3.9.5. Señal del sistema de climatización.

El conjunto controlador en cuestión controla la climatización del vehículo por medio del sensor de temperatura de aire circulando en el sistema y esta información sirve al controlador para regular el funcionamiento del compresor de aire del vehículo eléctrico.

### 3.10. Controlador auxiliar posterior



**Figura 34.** Diagrama de bloque del controlador auxiliar posterior del vehículo.

El controlador auxiliar posterior está compuesto por una fuente de alimentación, la cual proporciona energía para que funcione correctamente el controlador y todos los componentes que dependen de este.

Además, se encuentra un cuerpo de tierra que es básicamente la protección de todo el conjunto del controlador auxiliar posterior y los componentes alrededor. Inmediatamente después en la figura 33 está la compuerta de entrada a la RED CAN la cual trae consigo todas las señales que corresponden a este controlador.

Inmediatamente después se encuentra la entrada al controlador de 3 sensores de temperatura provenientes de partes importantes en el vehículo; el primero de ellos es el sensor de temperatura de la columna de dirección, así como el registro de la temperatura de los motores.

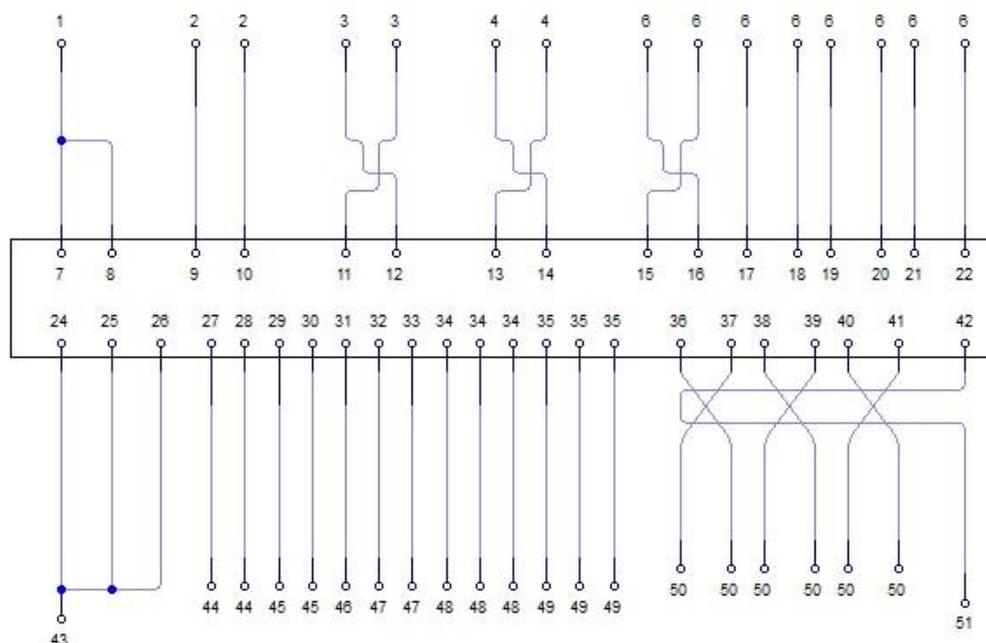
En el siguiente punto del diagrama existen 3 sensores adicionales. El primero es el sensor de la almohadilla del freno del vehículo que cumple la función de testigo de funcionamiento del circuito de frenado, el siguiente es un sensor de vacío que es parte de añadidura para el circuito de frenado.

Siguiendo el diagrama del controlador auxiliar hasta encontrar al interruptor del desempañante del vehículo, seguido por el control del ventilador que posee el mismo, está conectado con el relé de la bomba que hace circular al refrigerante teniendo como función mantener una temperatura adecuada en todo el conjunto batería, el cual es el principal componente que necesita mantener su temperatura sin sobresaltos.

Dentro del controlador auxiliar posterior existen 7 relés por controlar en fila, empezando desde el relé de la bomba del refrigerante, siguiendo con el sistema de bloqueo eléctrico del bus (que es de los relés de la seguridad más importante en el vehículo), seguido del relé de desbloqueo, un relé de la válvula para bloquear el eje impulsado y por último un relé del condensador.

Para finalizar con la descripción y explicación de la figura 34, se presentan detalles

del tanque de expansión de enfriamiento y el de la calefacción dentro del circuito de climatización del K9G.



**Figura 35.** Circuito controlador auxiliar posterior.

**Tabla 22.**

*Descripción de los pines del controlador auxiliar posterior*

Pin	Descripción	Pin	Descripción
1	Caja de distribución del compartimento posterior	2	Caja de distribución del compartimento posterior
3	Conector de red de alimentación	4	Conector de red de alimentación
5	Conector de red de alimentación	6	Caja de distribución de alto voltaje
7	Fuente de alimentación del controlador de dirección 24V	8	Fuente de alimentación del controlador de dirección 24V
9	Fuente de alimentación del controlador del compresor de aire 24V	10	Fuente de alimentación DC-DC 24V +
11	Controlador de dirección CAN_H	12	Controlador de dirección CAN_L
13	Controlador de compresor de aire CAN_H	14	Controlador de compresor de aire CAN_L
15	DC-DC CAN_H	16	DC-DC CAN_L
17	Controlador de dirección entrada de alto voltaje +	18	Controlador de dirección entrada de alto voltaje +
19	Controlador de compresor de aire entrada de alto voltaje +	20	Entrada de alto voltaje del controlador del compresor de aire -
21	Entrada de alto voltaje DC-DC +	22	Entrada de alto voltaje DC-DC -
23	Conjunto de controlador de motor auxiliar y CC	24	Fuente de alimentación del controlador del compresor de aire 24V GND
25	Fuente de alimentación DC-DC 24 GND	26	Fuente de alimentación del controlador de dirección 24 V GND
27	Temperatura del motor del compresor de aire -	28	Temperatura del motor del compresor de aire +
29	Temperatura del cabezal del compresor de aire -	30	Temperatura del cabezal del compresor de aire +
31	Salida DC-DC 28V	32	Temperatura del motor de dirección +
33	Temperatura del motor de dirección -	34	Puerto trifásico del motor de dirección
35	Puerto trifásico del motor del compresor de aire.	36	Dirección motor excitación +
37	Excitación del motor de dirección -	38	Motor de dirección sin +
39	Motor de dirección sin-	40	Motor de dirección cos +
41	Motor de dirección cos-	42	Resolver blindaje GND

**CONTINÚA** →

Pin	Descripción
43	GND del cuerpo (GND)
45	Sensor de temperatura del cabezal del compresor de aire
47	Sensor de temperatura del motor de dirección
49	Motor compresor de aire
51	GND del cuerpo

Pin	Descripción
44	Sensor de temperatura del motor del compresor de aire
46	Caja de distribución del compartimento trasero
48	Conector de red de alimentación
50	Caja de distribución de alto voltaje
	Fuente de alimentación del controlador de dirección 24V

### 3.11. Parámetros de identificación (PID) del bus BYD.

Los parámetros de identificación en el bus BYD, muestran los valores que están permitidos en el rango de funcionamiento de cada sensor en tiempo real para realizar el diagnóstico. A continuación, se muestra el flujo de datos obtenido mediante el escáner VDS2000 de algunos de los parámetros característicos del conjunto de baterías, inversor y motores eléctricos.

**Tabla 23.**

*Pid's del vehículo eléctrico (conjunto de la batería)*

Ítem	Valor en tiempo real	Rango de funcionamiento	Unidad
Número de la batería de la temperatura más baja	79	0/1000	
Temperatura mínima de la batería	30	-40/60	°C
Número de batería de la temperatura más alta	1	0/1000	
Número de batería de temperatura máxima	33	-40/160	
Energía total regenerada	159	0/16777214	KWh
SOC	234	0/1000	KWh
Consumo de energía instantáneo	138	-1000/1000	KWh/100Km
Rango de autonomía	239	0/400	Km
Numero de celdas en el pack	168	0/254	
Numero de baterías en paralelo	2	1/4	
Índice de capacidad actual del pack 1	70	0/100	%
Corriente del pack 1	6.0	-1000/1000	A
Voltaje total del pack 1	554	0/1000	V
SOC del pack 1	216	0/500	Ah
Capacidad nominal de pack 1	310	0/500	Ah
Energía total cargada del pack 1	2417	0/1048574	KWh
Índice de capacidad actual del pack 2	59	0/100	%
Corriente del pack 2	96.6	-1000/1000	A
SOC del pack 2	182	0/500	V

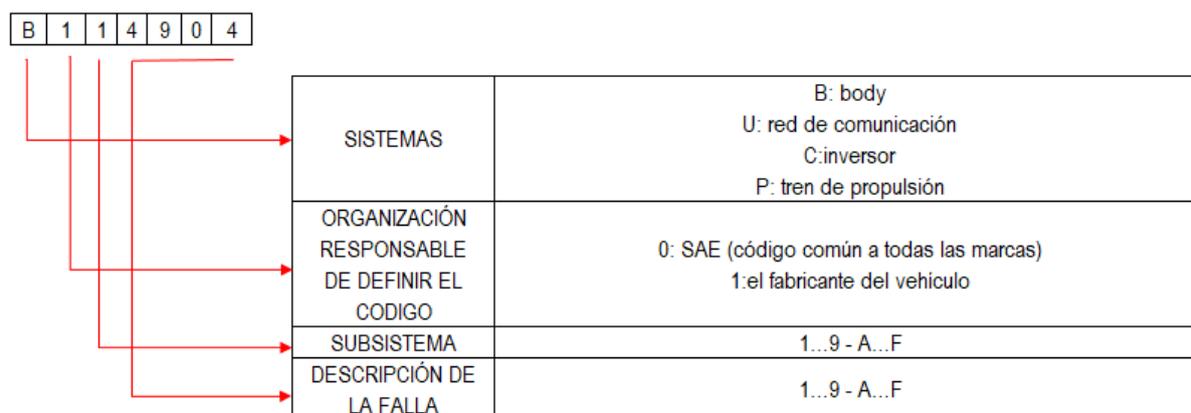
**CONTINÚA** →

Ítem	Valor en tiempo real	Rango de funcionamiento	Unidad
Voltaje total de pack 2	547	0/1000	Ah
Capacidad nominal de pack 2	310	0/500	Ah
Energía total cargada del pack 2	2151	0/1048574	KWh
Capacidad de carga individual	232.9	0/1000	KWh
Capacidad de descarga individual	7.7	0/1000	KWh
Temperatura en el puerto de carga positivo	-	-40/160	°C
Temperatura en el puerto de carga negativo	-	-40/160	°C
Máxima potencia de descarga permitida	219.2	0/500	KW
Máxima potencia de carga permitida	219.2	0/500	KW
SOC	58.7	0/100	%
Voltaje actual de la batería	548	0/1000	V

### 3.12. Códigos de falla (DTC) del bus BYD.

Los códigos de falla del bus K9G presentan 7 dígitos alfanuméricos. Estos códigos de falla se muestran por cada sistema que se mencionó anteriormente. A continuación, se detalla cada uno de los códigos que se pueden presentar en los diferentes sistemas:

Los códigos de falla de BYD son específicos de la marca, los cuales se generan a partir de las fallas presentadas en cada uno de los sistemas, su numeración está conformada en un orden aleatorio de la combinación de los 4 últimos dígitos, a continuación, se presenta la estructura de los códigos.



**Figura 36.** Formato de códigos de falla BYD

### 3.12.1. Códigos de falla de los controladores de gestión de baterías

El sistema de controladores 2 A / 2 B de gestión de batería cuenta con 488 códigos de falla, los cuales están relacionados con los 48 colectores de información con los que cuenta este sistema de gestión.

Todo el sistema cuenta con 8 códigos generales y los restantes son códigos específicos para cada colector, de los cuales 10 son principales y se repiten para cada colector, estos códigos se detallan en las siguientes tablas:

**Tabla 24.**

#### *Códigos generales*

<b>Código de falla</b>	<b>Descripción</b>
<b>P</b> 1 B 0 0 0 0	Problema de uniformidad de voltaje de celdas individuales
<b>P</b> 1 B 0 1 0 0	Problema de uniformidad de temperatura
<b>P</b> 1 B 0 2 0 0	Sobrecarga
<b>P</b> 1 B 0 3 0 0	Salto de SOC
<b>P</b> 1 B 0 4 0 0	Desconexión en carga del contactor divisor de voltaje
<b>P</b> 1 B 0 5 0 0	Error de configuración de información de la batería
<b>P</b> 1 B 0 6 0 0	Desvió de corriente
<b>P</b> 1 B 0 7 0 0	Fallo de comunicación en la red CAN

**Tabla 25.***Códigos específicos*

<b>Código de falla</b>	<b>Descripción</b>
P 1 B 0 8 0 0	Falla de comunicación CAN del colector 1
P 1 B 0 9 0 0	Desconexión del módulo del colector 1 a alto voltaje
P 1 B 0 A 0 0	Desconexión del módulo del colector 1 a alta temperatura
P 1 B 0 B 0 0	Ruptura del condensador del colector 1 a alta temperatura
P 1 B 0 C 0 0	Falla en la tarjeta electrónica del colector 1
P 1 B 0 D 0 0	Muestreo de temperatura anormal del colector 1
P 1 B 0 E 0 0	Falla de balance en batería del colector 1
P 1 B 0 F 0 0	Voltaje de celdas unitarias demasiado alto en el colector 1
P 1 B 1 0 0 0	Voltaje de celdas unitarias demasiado bajo en el colector 1
P 1 B 1 1 0 0	temperatura de celdas unitarias demasiado alto en el colector 1

**3.12.2. Códigos de falla del sistema conjunto de baterías**

Estos códigos se generan a partir dentro del pack de batería, sean estos a partir de cortocircuito, sobretensión, temperaturas fuera de rango o falla en el controlador, teniendo como representación para el para este subsistema dispuesto el número 7 en el tercer dígito del código.

**Tabla 26.***Códigos específicos*

<b>Código de falla</b>	<b>Descripción</b>
P 1 7 0 0 0 0	Fugas eléctricas generales
P 1 7 0 1 0 0	Fugas eléctricas graves
P 1 7 1 2 0 0	Falla de validación de parámetros
P 1 7 2 3 0 0	Temperatura moderadamente alta en la conexión del PACK 2
P 1 7 3 D 0 0	Falla de muestreo en la corriente del PACK 3
P 1 7 4 5 0 0	Error de actualización de datos en el PACK 2
P 1 7 5 6 0 0	Falla de precarga de CC durante el encendido
P 1 7 6 6 0 0	Fuente de alimentación anormal de bajo voltaje durante la carga inteligente
P 1 7 7 A 0 0	El controlador del motor no responde a la máxima potencia de descarga permitida

**3.12.3. Códigos de falla del sistema de la red de comunicación**

Estos códigos se generan en todos los sistemas de vehículo que se interconectan

mediante la red de comunicación, y se generan a partir de cualquier fallo de comunicación entre los sistemas y subsistemas del bus.

**Tabla 27.**

*Códigos específicos*

<b>Código de falla</b>	<b>Descripción</b>
U 0 1 1 1 0 0	Falla de comunicación con el BMS
U 1 1 0 2 0 0	Falla de comunicación con el controlador del motor derecho
U 1 1 0 4 0 0	Falla de comunicación con el BMS
U 1 1 0 1 0 0	Falla de comunicación con el controlador del motor izquierdo
U 1 1 0 5 0 0	Falla de comunicación con red DC
U 1 1 0 3 0 0	Falla de comunicación con el controlador general del vehículo
U 1 1 0 9 0 0	Falla de comunicación con el cargador
U 1 1 0 6 0 0	Falla de comunicación con el controlador auxiliar posterior
U 1 2 0 1 0 0	Falla de comunicación con el BCM

### 3.12.4. Códigos de falla del conjunto inversor

Estos códigos de falla se generan en el inversor, y al ser trifásico tiene fallos en las salidas de corriente, el IPM y los motores de dirección del bus.

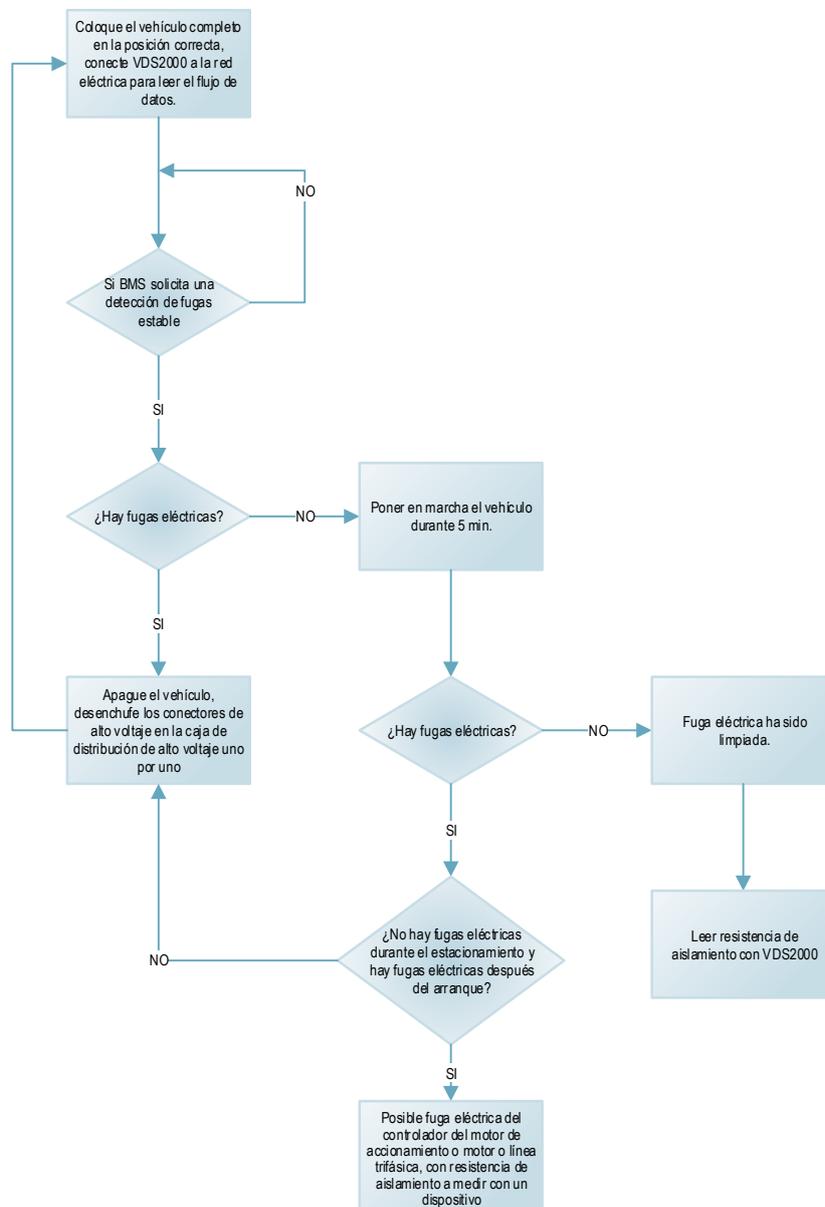
**Tabla 28.**

*Códigos específicos*

<b>CÓDIGO DE FALLA</b>	<b>Descripción</b>
C 1 B 0 0 0 0	Alarma de falla de motor
C 1 B 0 0 0 0	Alarma de falla de motor
C 1 B 0 1 0 0	Alarma de sobre temperatura del motor de dirección
C 1 B 0 2 0 0	Alarma de sobre temperatura del controlador de dirección
C 1 B 0 3 0 0	Falla de pérdida de fase
C 1 B 0 4 0 0	Sobre tensión de entrada CC
C 1 B 0 6 0 0	Sobre corriente de salida de CA de fase U
C 1 B 0 7 0 0	Sobre corriente de salida de CA de fase V
C 1 B 0 8 0 0	Sobre corriente de salida de CA de fase W
C 1 B 0 9 0 0	Falla IPM
C 1 B 0 A 0 0	Falla de arranque del motor

### 3.13. Pasos de mantenimiento en caso de fuga eléctrica.

En el diagrama de bloques de la figura 37 se muestra el diagnóstico para fallas en el caso de existir una fuga de corriente eléctrica, estas fugas pueden provocar lecturas erróneas de datos fuera de rango en el funcionamiento de los componentes del sistema de propulsión eléctrico.



**Figura 37.** Diagrama de mantenimiento de fugas eléctricas.

## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

En este capítulo se muestra el procedimiento de la obtención de datos, mediante el conector de diagnóstico OBD II y el escáner VDS 2000 con el objetivo de analizar cada uno de los parámetros del sistema de propulsión, con las curvas características que se muestran en el dispositivo de diagnóstico.

#### **4.1. Protocolo de prueba de ruta**

El protocolo de prueba de ruta nos permite recolectar la información necesaria para iniciar con el proceso de toma de datos, para seguidamente realizar un análisis de los mismos y así llegar a determinar la autonomía del bus eléctrico K9G de la marca BYD.

##### **4.1.1. Recorrido, distancia, tiempo y modo de conducción**

La ruta del bus eléctrico BYD modelo K9G, está establecida por la compañía de transporte “SAUSINC” S. A., El punto de inicio del recorrido es en la estación Av. Enrique Gil Gilbert y 8 PJ 5NE, que cuenta con una distancia de 38 kilómetros con un tiempo aproximado de 2 horas, la ruta por la cual se dirige el bus es completamente dentro de la ciudad, por lo cual los datos a obtener solo alcanzan la velocidad de punta de 50 kilómetros por hora, ya que el vehículo cuenta con un sistema de control que no

permite que se sobrepase el límite de velocidad.

Las principales calles por las que circula el bus eléctrico se detallan a continuación:

**Estación:**

- Av. Enrique Gil Gilbert y 8 PJ 5NE

**Salida:**

- Av. Enrique Gil Gilbert – 8pj. 5 Ne
- José Luis Tamayo
- Alfredo Ceballos Carrión
- Av. Enrique Gil Gilbert
- Av. Rodrigo Icaza
- Av. José María Egas
- Av. Rodolfo Baquerizo
- Av. Agustín Freire
- Av. Francisco De Orellana
- Av. Plaza Dañin
- Av. Nicasio Safadi
- Pedro Menéndez
- José De Antepara
- Luis Urdaneta

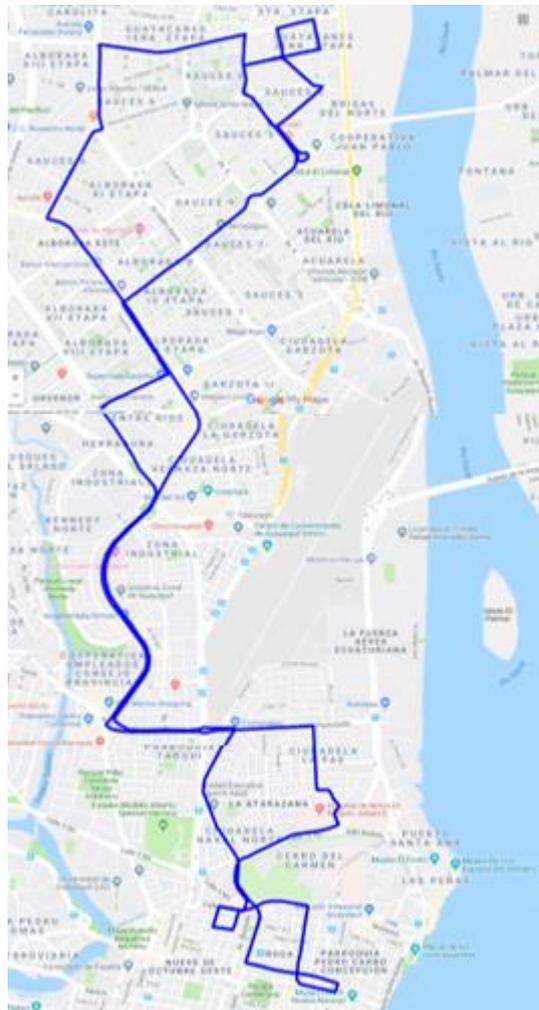
- Av. Del Ejercito
- Padre Solano
- Riobamba
- García Avilés

**Retorno:**

- Aguirre
- José Mascote
- Piedrahita
- Julián Coronel
- Lorenzo De Garaycoa
- Alejo Lascano
- Av. Quito
- Luis Cordero Crespo
- Dr. Elías Muñoz
- Av. Plaza Dañin
- Av. Fco. De Orellana
- Guillermo Pareja Rolando
- Av. Rodolfo Baquerizo
- Av. Gabriel Roldós
- Av. Isidro Ayora
- José Luis Tamayo
- Av. Rodrigo Icaza Cornejo

- Circunvala Av. Rodrigo Icaza Cornejo
- 12 Cj. 17
- Calle Diagonal 18
- Enrique Gil Gilbert.

Todo el recorrido antes descrito se representa en el siguiente mapa obtenido de “Google My Maps”



**Figura 38.** Ruta del bus eléctrico.

Fuente: (Google My Maps, s.f.)

#### **4.1.2. Movilidad urbana**

(Cuesta, 2017) indica que un parámetro para determinar autonomía en base a las baterías y el sistema de propulsión del EV está orientado al tipo de conducción al cual va a estar sometido el vehículo.

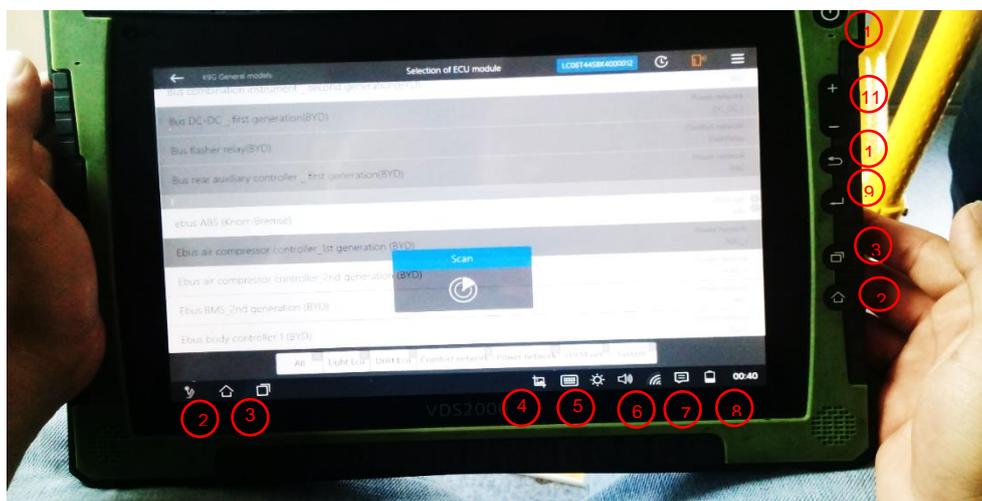
- La ruta que cumple el bus K9G cuenta con espacios limitados, agentes externos como ciclistas, peatones y otro tipo de autobuses que impiden la libre movilidad.
- Las aceleraciones, desaceleraciones y paradas continuas que se presentan debido a la presencia de semáforos, tráfico en horas pico, recoger y dejar pasajeros hace que la exigencia del vehículo sea de alto rendimiento.
- Velocidades reducidas que van de acuerdo con las leyes de movilidad dentro del perímetro urbano.

#### **4.2. Modo de conexión del escáner VDS2000.**

El VDS 2000 es un escáner específico de la marca BYD, que es una herramienta de diagnóstico que permite interconectar los diferentes módulos de los sistemas con los cuales cuenta el bus K9G, para permitir el monitoreo y diagnóstico de las señales que se reciben de los sensores. La conexión de este tipo de escáner se realiza a una interface del puerto de conexión OBD II del bus y esta mediante bluetooth, se enlaza al escáner.

### 4.3. Panel de navegación del escáner VDS2000

El escáner VDS 2000 cuenta con dos tipos de navegación o manejo. La primera, usando los 7 botones que se encuentran en la parte externa a mano derecha, y el segundo tipo de navegación que es de manera táctil asemejándose a una Tablet.



**Figura 39.** Interfaz del escáner VDS2000.

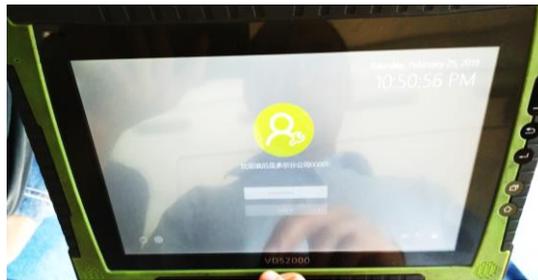
**Tabla 29.**

*Herramientas de la interfaz del escáner VDS2000*

	<b>Descripción</b>	<b>Función</b>
<b>1</b>	Encendido	El botón se utiliza para encender o apagar el dispositivo
<b>2</b>	Inicio	El botón y la función táctil se utiliza para regresar al menú de inicio
<b>3</b>	Multi ventanas	Permite alternar entre las diferentes pestañas que se encuentran activas
<b>4</b>	Captura de pantalla	Permite realizar capturas en la pantalla de los resultados
<b>5</b>	Brillo	Permite ajustar la intensidad de brillo
<b>6</b>	Conexión de red a internet	Permite conectarse a una red de internet para navegación, actualización de software, etc.
<b>7</b>	Notificaciones	Permite conocer los mensajes y alertas
<b>8</b>	Estado de batería	Permite conocer la carga con la que cuenta el dispositivo para no perder datos almacenados
<b>9</b>	Ingresar	Permite acceder en cualquier punto de la navegación al icono seleccionado
<b>10</b>	Retroceder	Permite retroceder en cualquier instante a la fase anterior en la que se estaba navegando
<b>11</b>	Volumen	Permite ajustar el volumen de navegación o de notificaciones

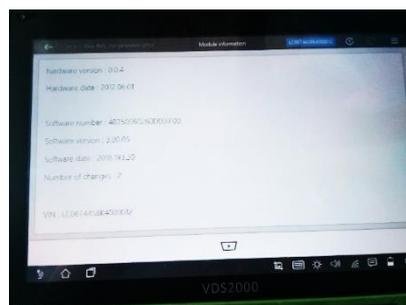
#### 4.4. El proceso de conexión

1. El proceso de conexión inicia conectando el módulo bluetooth al puerto de conexión OBDII con el que cuenta el bus, para posteriormente enlazarse al escáner.
2. Encender el escáner VDS2000: al momento de encender se espera unos minutos para que aparezca la interfaz, empezar a navegar las diferentes funciones con las que cuenta el escáner.



**Figura 40.** Interfaz de encendido del escáner VDS2000.

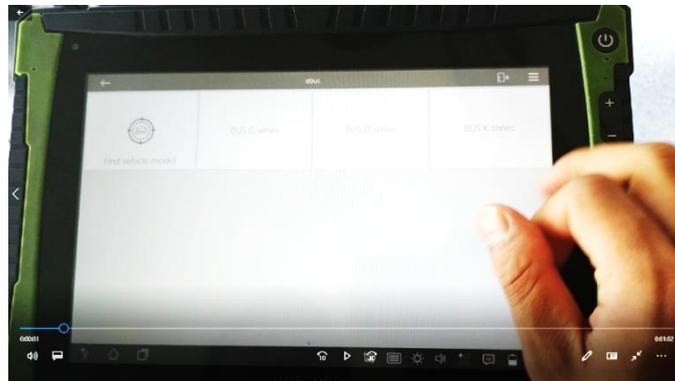
3. Se verifica la conexión: en este paso se observa que la conexión se realice con éxito ya que en la interface se observa el número VIN correspondiente al vehículo, que es la particularidad de este escáner que solo permite la conexión cuando lee los números VIN pertenecientes a la marca BYD e-motors.



**Figura 41.** Interfaz de verificación de conexión.

4. Selecciona la serie: en el la interfaz se observa que cuenta con diferentes opciones para elegir la serie correspondiente de bus

- Serie de BUS C: C9 (bus tipo urbano)
- Serie de BUS K: K9G (bus urbano, categoría M3, clase II), K11A(articulado).
- Serie de BUS D



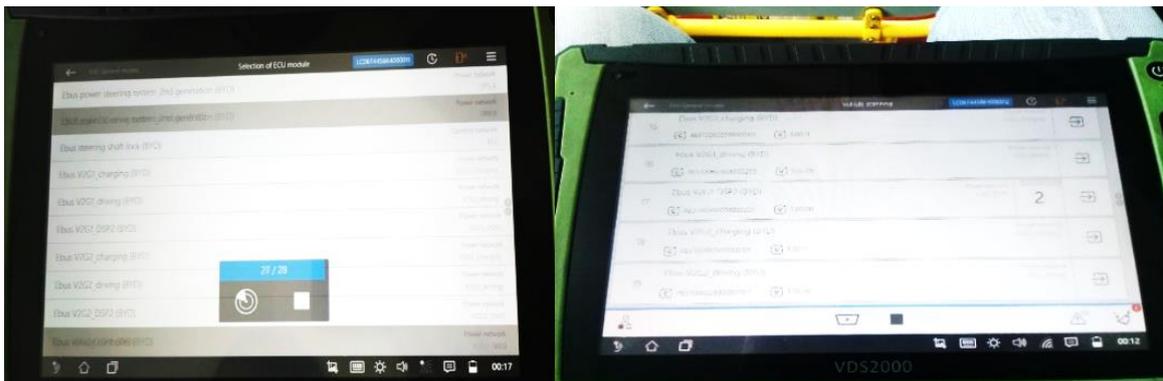
**Figura 42.** Interfaz de selección de la serie de vehículo.

5. Seleccionar el tipo de bus: es este paso se despliega todos los modelos que se encuentran disponibles en el mercado de acuerdo a la serie seleccionada el paso anterior.



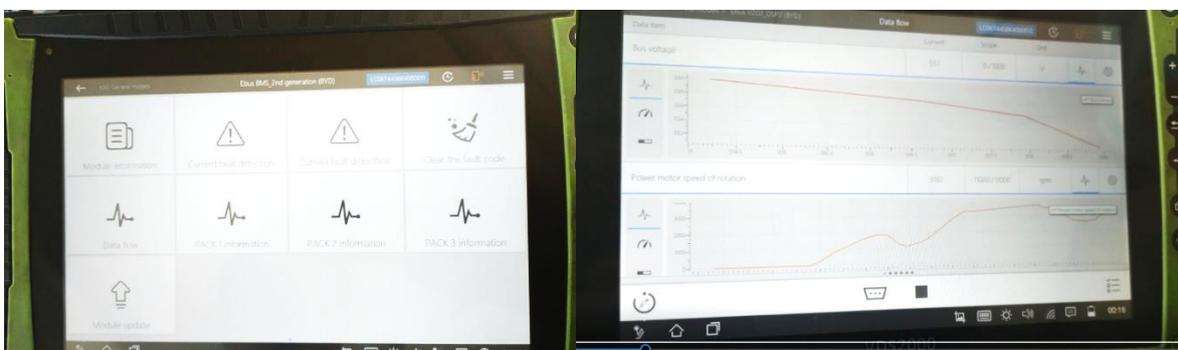
**Figura 43.** Interfaz del tipo de bus correspondiente a la serie.

6. Lectura de controladores y módulos del vehículo: una vez seleccionado el tipo de bus K9G el escáner empieza a recolectar la información de los diferentes módulos controladores con los que cuenta el vehículo, incluyendo las señales de los diferentes sensores.



**Figura 44.** Interfaz de lectura de módulos controladores.

7. Lectura de datos: en la interfaz de navegación se observan los datos con los cuales cuenta el vehículo y que permite la navegación entre los diferentes parámetros que se despliegan, a su vez muestra gráficas, tablas de datos y comparaciones entre los diferentes datos que se analizan ya sean cuando el bus se encuentra en reposo o la navegación en ruta.



**Figura 45.** Interfaz de lectura de parámetros.

#### **4.5. Obtención de datos de los diferentes controladores del bus K9G.**

Una vez que se realizó con éxito el proceso de conexión, se empieza la navegación por los diferentes parámetros. En la investigación se trabaja con la función del escáner que permite interactuar entre los diferentes tipos de parámetros para compararlos entre sí y analizar el comportamiento de las gráficas en diferentes modos de conducción.

A continuación, se analiza cada uno de los parámetros que se obtuvieron con el escáner:

##### **4.5.1. Consumo de batería vs velocidad de rotación del motor**

En las gráficas que se muestra a continuación, se observa dos casos particulares:

- a) La grafica que se obtiene en aceleración.
- b) La grafica que se obtiene en desaceleración (freno regenerativo).

##### ***Aceleración***

Para el primer caso, en la gráfica, se observa dos curvas que muestran el consumo de energía de la batería en comparación con la rotación del motor, que son inversamente proporcionales. A mayor velocidad de rotación del motor, el consumo de batería va a ser mayor, en el grafico el voltaje promedio del bus es de 560 V cuando

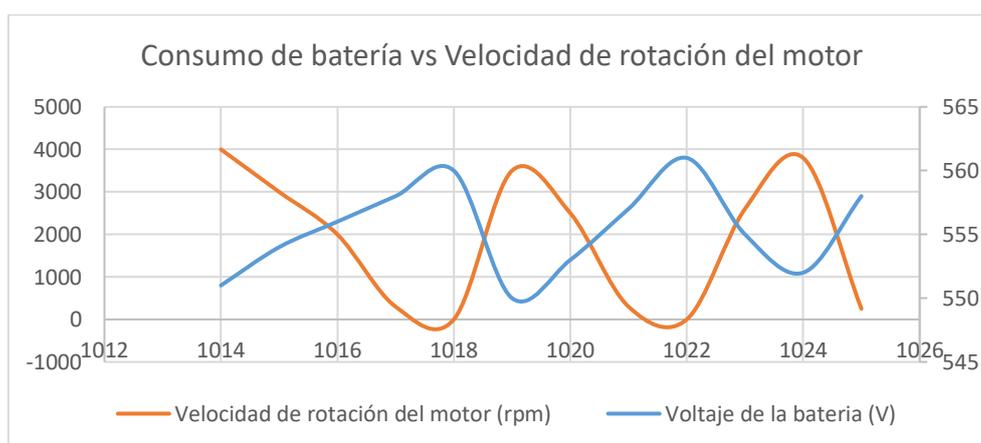
el motor está detenido y a medida que empieza el movimiento el voltaje empieza a descender aproximadamente 557 V a 1000 rpm.

En la ruta establecida solo se obtiene ese rango promedio de rotación del motor hasta 4000 revoluciones y con un consumo de energía de la batería hasta un mínimo de 550V, ya que es una ruta urbana y la velocidad máxima que está permitida es 50km/h.

**Tabla 30.**

*Consumo de batería vs velocidad de rotación del motor*

Tiempo (s)	Voltaje de la batería (V)	Velocidad de rotación del motor (rpm)
1014	551	4000
1015	554	3000
1016	556	2000
1017	558	300
1018	560	0
1019	550	3500
1020	553	2500
1021	557	300
1022	561	0
1023	555	2600
1024	552	3800
1025	558	250



**Figura 46.** Consumo de batería vs velocidad de rotación del motor (aceleración).

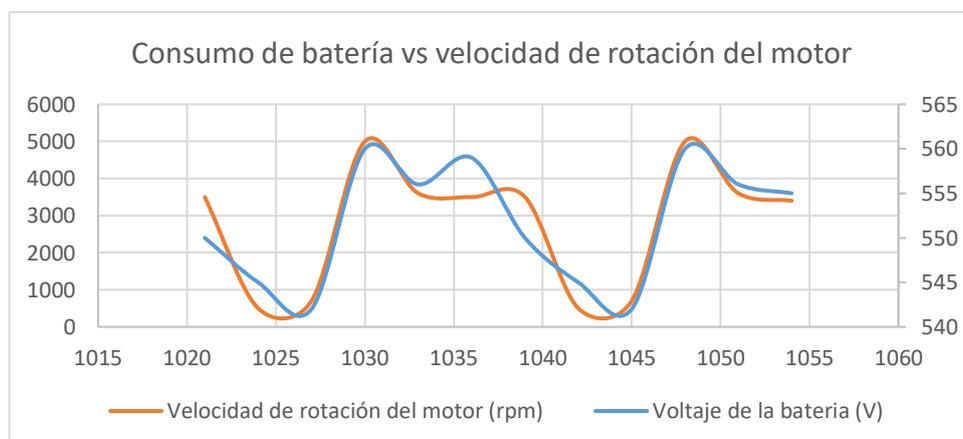
## Desaceleración

Para el segundo caso, se observa dos curvas que muestran el consumo de energía de la batería en comparación con la rotación del motor, que en un tiempo dado las gráficas son directamente proporcionales. Esto se debe a que el bus cuenta con un sistema de frenado regenerativo que al momento de reducir las revoluciones la energía cinética se convierte en energía eléctrica mediante el conjunto inversor, por lo que cuando empiezan a disminuir las revoluciones, el voltaje empieza a elevarse.

**Tabla 31.**

*Consumo de batería vs velocidad de rotación del motor*

Tiempo (s)	Voltaje de la batería (V)	Velocidad de rotación del motor (rpm)
1021	550	3500
1024	545	500
1027	542	700
1030	560	5000
1033	556	3600
1036	559	3500
1039	550	3500
1042	545	500
1045	542	700
1048	560	5000
1051	556	3600
1054	555	3400



**Figura 47.** Consumo de batería vs velocidad de rotación del motor (desaceleración)

#### 4.5.2. Posición del pedal de aceleración vs velocidad del vehículo.

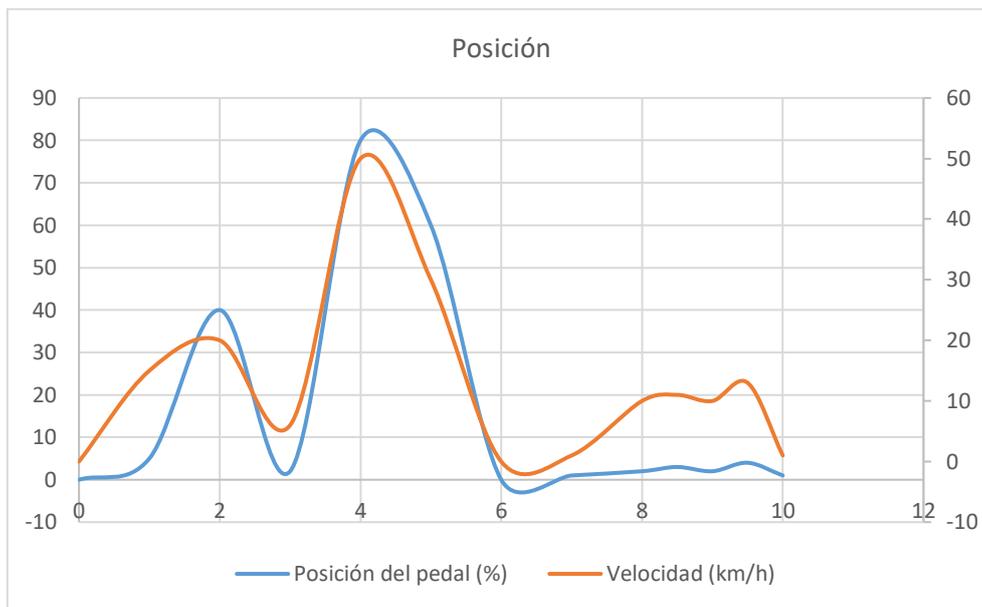
En las gráficas que se muestra a continuación, se observa la comparación de las curvas mostradas por la posición del pedal del acelerador con la velocidad del vehículo.

En estos datos se observa que la velocidad máxima que es permitida dentro de un circuito urbano es de 50km/h. Cuando el vehículo se encuentra totalmente detenido la posición del pedal de aceleración es 0% y a medida que el porcentaje va aumentando la velocidad aumenta. Esto quiere decir que la posición del acelerador es directamente proporcional con la velocidad del vehículo con una respuesta inmediata. En este caso el porcentaje máximo que alcanza el vehículo para 50km/h es del 80%.

**Tabla 32.**

*Posición del pedal de aceleración vs velocidad del vehículo*

Tiempo (s)	Posición del pedal de aceleración (%)	Velocidad (km/h)
0	0	0
1	5	15
2	40	20
3	2	6
4	80	50
5	60	30
6	0	0
7	1	1
8	2	10
8,5	3	11
9	2	10
9,5	4	13
10	1	1



**Figura 48.** Consumo de batería vs velocidad de rotación del motor (desaceleración)

#### 4.5.3. Voltaje total del pack 1 vs corriente del pack 1

En los datos obtenidos por el escáner VDS2000 para el voltaje total almacenado de energía en la batería relacionada con la corriente de la batería se muestra los siguientes resultados:

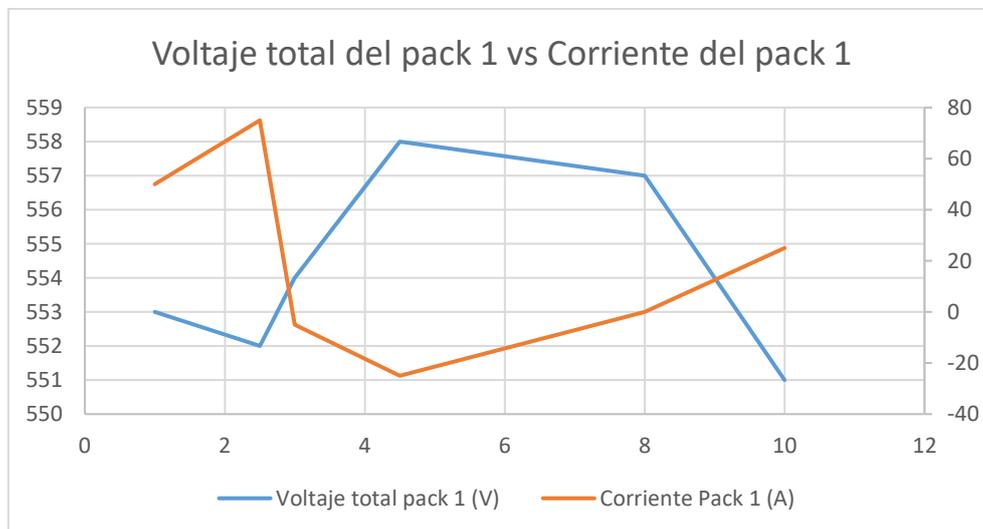
**Tabla 33.**

*Voltaje total del pack 1 vs corriente del pack 1*

Tiempo (s)	Voltaje total pack 1 (V)	Corriente Pack 1 (A)
1	553	50
2,5	552	75
3	554	-5
4,5	558	-25
8	557	0
10	551	25

En los datos que se obtuvieron se observa que la corriente de descarga es inversamente proporcional al consumo de energía de la batería ya que a medida que los motores generadores entran en movimiento el consumo de corriente es mayor y

por lo tanto la cantidad de energía almacenada en la batería disminuye.

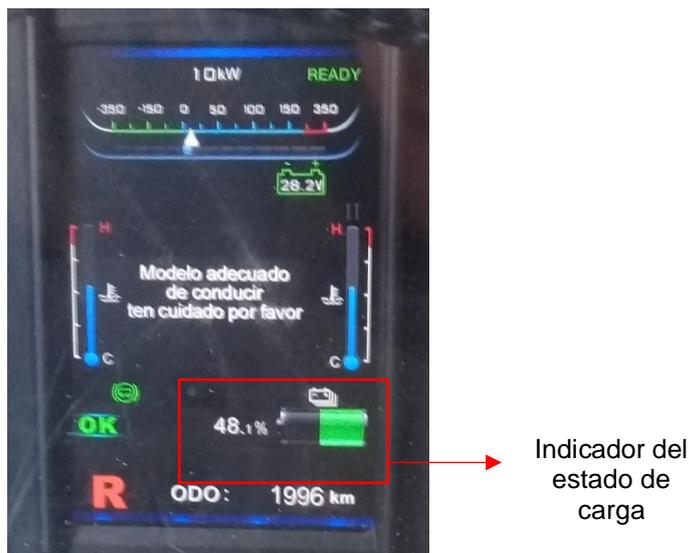


**Figura 49.** Voltaje total del pack 1 vs corriente del pack 1

#### 4.5.4. Voltaje total del pack 1 vs SOC del pack 1

En los datos obtenidos por el escáner VDS2000 para el estado de carga (SOC) y el voltaje total almacenado de energía en la batería se observa que:

El estado de carga es el indicador del nivel que posee el conjunto de la batería, puede ser 'completamente cargada' al 100%, o en estado de descarga con valores inferiores. Con esto se puede conocer en qué momento el vehículo necesita un punto de recarga para reabastecer de energía el conjunto de baterías, este estado de carga es similar al medidor de combustible de un vehículo convencional.



**Figura 50.** Indicador del estado de carga SOC

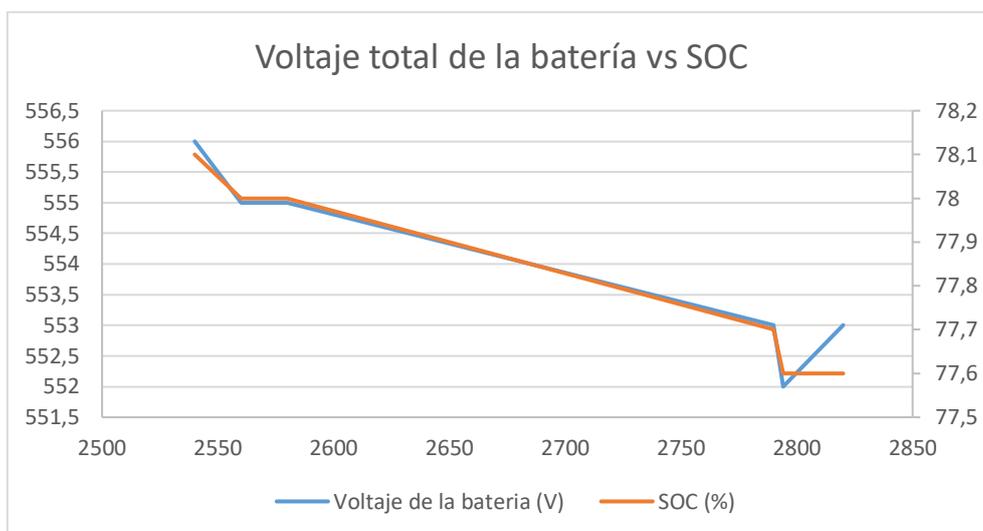
**Tabla 34.**

*Voltaje total del pack 1 vs SOC del pack 1*

Tiempo (s)	Voltaje de la batería (V)	SOC (%)
2540	556	78,1
2560	555	78
2580	555	78
2790	553	77,7
2794	552	77,6
2820	553	77,6

En la gráfica en un determinado momento el vehículo se encuentra en descarga por lo que el indicador de carga va disminuyendo de acuerdo a la aceleración que posee el vehículo con el consumo de los motores generadores, aire acondicionado, motores de dirección, etc.

En un momento dado se observa que la gráfica tiende a subir, en esta parte el estado de carga aumenta ya que el vehículo cuenta con un sistema de freno regenerativo lo que hace que los motores generadores actúen de manera inversa, recuperando así un porcentaje de energía para ayudar a recargar el conjunto de la batería.



**Figura 51.** Grafica del voltaje total del pack 1 vs corriente del pack 1

#### 4.5.5. Velocidad de rotación de motor vs torque

En los datos que se obtienen en el escáner VDS2000 se observa los siguientes resultados:

En la gráfica se observa que la velocidad de rotación de los motores es directamente proporcional al torque, a medida que las revoluciones del motor aumentan hace que se incremente el torque.

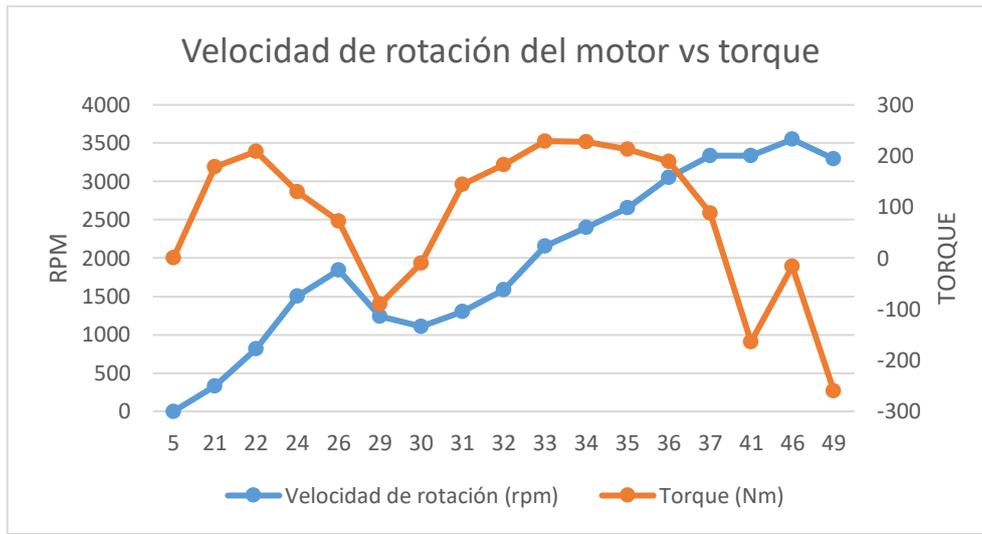
**Tabla 35.**

*Velocidad de rotación del motor vs torque.*

Tiempo (s)	Velocidad de rotación (rpm)	Torque (Nm)
5	0	0
21	333	179
22	817	209
24	1503	130
26	1847	72
29	1241	-90
30	1111	-10
31	1303	144
32	1585	183
33	2157	229

**CONTINÚA** →

Tiempo (s)	Velocidad de rotación (rpm)	Torque (Nm)
34	2396	228
35	2655	213
36	3052	189
37	3339	88
41	3339	-164
46	3549	-16
49	3294	-260



**Figura 52.** Velocidad de rotación de motor vs torque

#### 4.5.6. Torque motor izquierdo vs motor derecho

En las gráficas que se muestra a continuación, se observa la comparación del torque entre los motores generadores, tanto el derecho como el izquierdo.

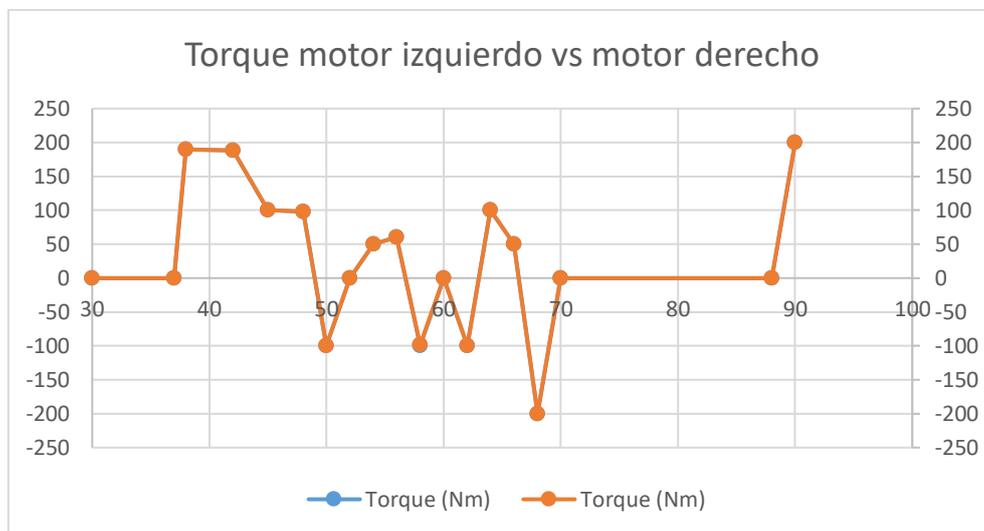
En la ruta descrita el torque de cada motor es igual, tanto en recta como en curvas, los motores necesitan la misma fuerza para la tracción.

**Tabla 36.**

*Torque del motor derecho vs torque del motor izquierdo.*

Tiempo (s)	Torque (Nm)	Torque (Nm)
30	0	0
37	0	0
38	190	190
42	188	188
45	100	100
48	98	98
50	-100	-100
52	0	0
54	50	50
56	60	60
58	-100	-98
60	0	0
62	-100	-100
64	100	100
66	50	50
68	-200	-200
70	0	0
88	0	0
90	200	200

El torque es mayor al momento que el bus inicia el movimiento, al momento de llegar a una curva la velocidad del bus se reduce, lo que significa que la velocidad de rotación de igual manera se reduce en un porcentaje determinado o por completo que depende del radio de curvatura. En ese momento en el que el bus ha reducido la rotación de los motores, se necesita el aumento de fuerza en cada motor para restablecer el movimiento.



**Figura 53.** Torque motor izquierdo vs motor derecho.

#### 4.5.7. Torque del motor vs posición del pedal de aceleración.

En las gráficas que se muestra a continuación, se observa la comparación de las curvas mostradas por la posición del pedal de aceleración con el torque.

El torque en un vehículo ya sea de tipo eléctrico o convencional muestra la fuerza que genera el motor para empezar el movimiento. En los datos obtenidos para la ruta descrita y el tipo de vehículo, se necesita que el torque sea mayor, ya que está sometido a detenciones por completo y arrancadas constantemente y por el propio peso del autobús más el peso de los pasajeros se necesita mayor fuerza para la tracción de las ruedas.

En la gráfica se observa que cuando el autobús está detenido no existe torque y la posición del acelerador esta sin acción (0%); a medida que se va aumentando la posición del acelerador el torque va aumentando. El máximo torque que se obtiene al pisar por completo el acelerador es de 200 Nm, entonces en esta grafica el torque es directamente proporcional a la posición del acelerador.

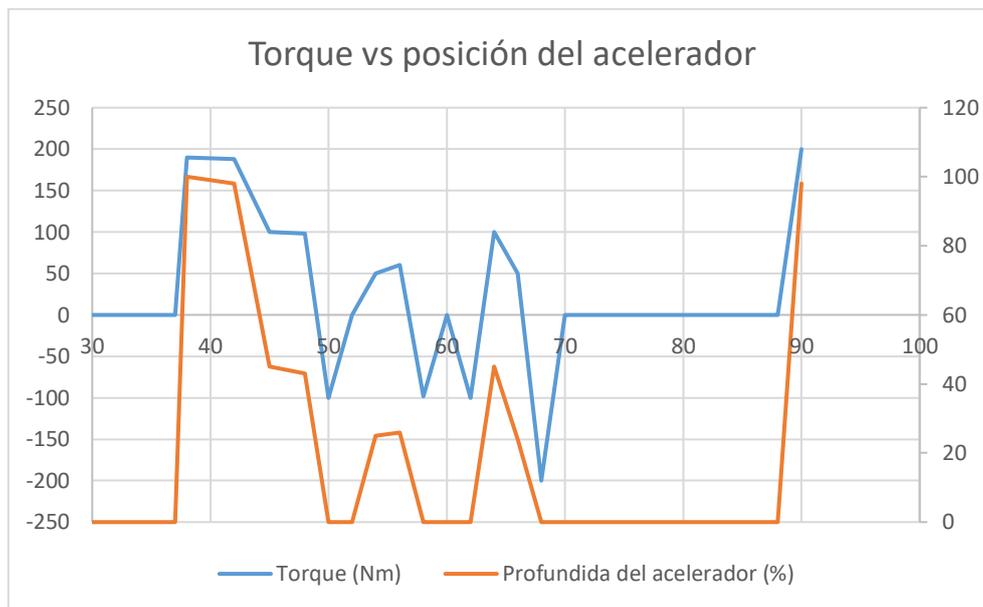
**Tabla 37.**

*Torque vs posición del pedal de aceleración*

Tiempo (s)	Torque (Nm)	Posición del acelerador (%)
30	0	0
37	0	0
38	190	100
42	188	98
45	100	45
48	98	43
50	-100	0
52	0	0
54	50	25
56	60	26

**CONTINÚA** →

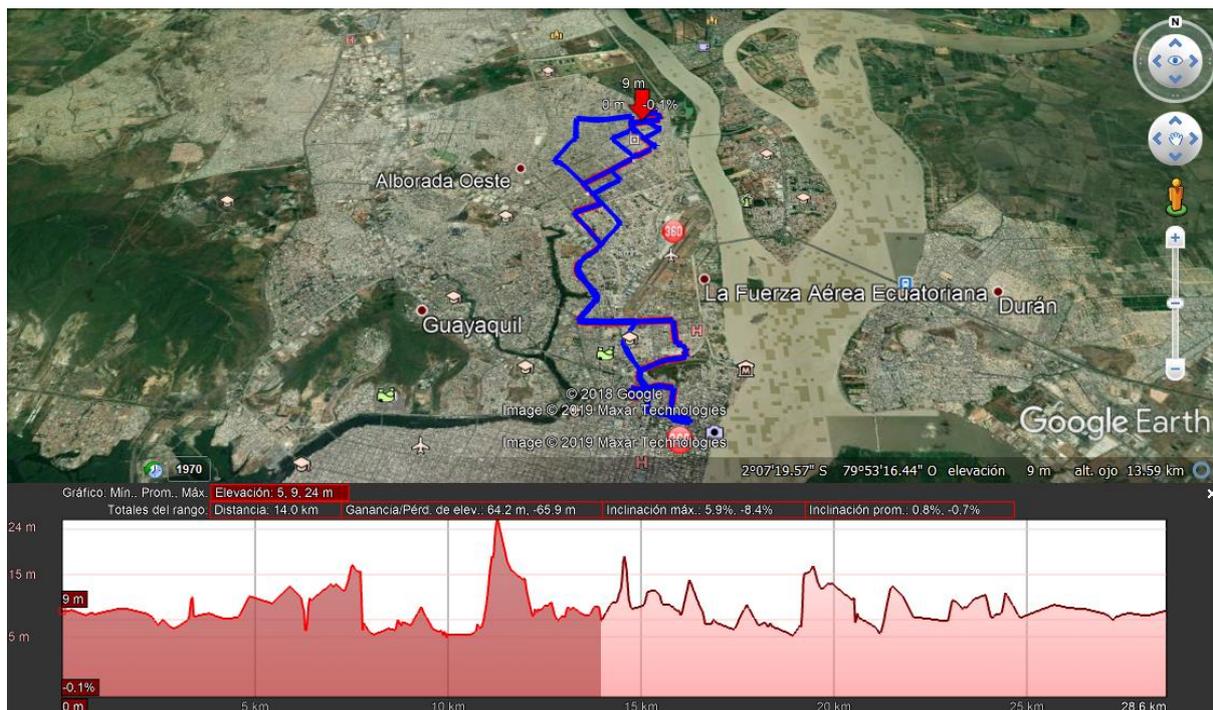
Tiempo (s)	Torque (Nm)	Posición del acelerador (%)
58	-98	0
60	0	0
62	-100	0
64	100	45
66	50	24
68	-200	0
70	0	0
88	0	0
90	200	98



**Figura 54.** Torque vs posición del acelerador

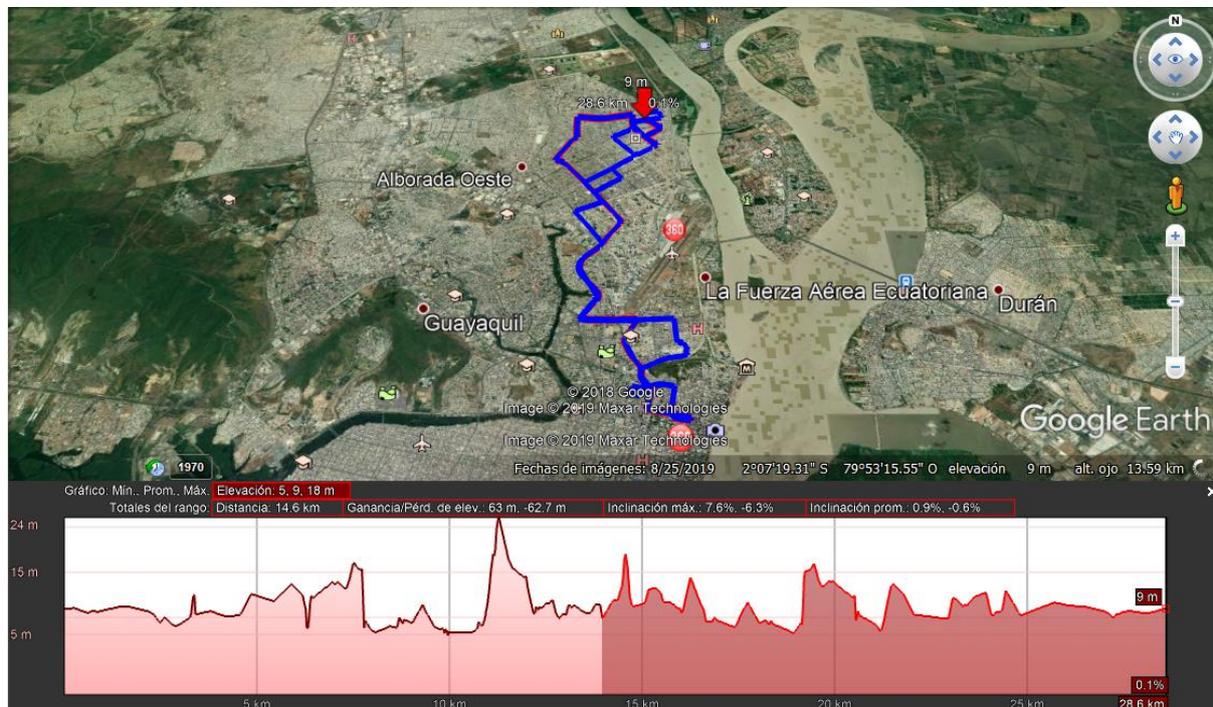
#### 4.5.8. Determinación del grado de inclinación máximo de la ruta.

En la ruta SAUSINC establecida en “Google Earth” se logra marcar y determinar el grado de inclinación máximo que posee la ruta por la cual transita el bus siendo del 5,9% y una diferencia de altitud de 5 m lo cual lo hace un dato sin influencia para la ecuación de la determinación de la autonomía.



**Figura 55.** Porcentaje de inclinacion ruta SAUSINC IDA

Fuente: (Google Eart, 2019)



**Figura 56.** Porcentaje de inclinacion ruta SAUSINC VUELTA

Fuente: (Google Eart, 2019)

#### 4.5.9. Determinación de la autonomía

Para determinar la autonomía del bus BYD modelo K9G, se realizó una investigación de campo tomando datos en tiempo real del funcionamiento del vehículo, la autonomía se calcula mediante análisis estadístico tomando en cuenta los parámetros que influyen directamente en el consumo de energía de las baterías mediante la correlación de Pearson y ecuación de regresión lineal.

#### 4.5.10. Correlación de variables

Para establecer la correlación de variables se selecciona las variables independientes frente a la variable dependiente, tomando en cuenta los valores cercanos a -1 y 1 que representan una correlación significativa

**Tabla 38.**

*Correlación de variables*

	Tiempo	Velocidad	Distancia	Posición del acelerador	SOC
Velocidad	0.746				
Distancia	0.952	0.743			
Posición del acelerador	0.728	0.955	0.721		
SOC	-0.996	-0.748	-0.944	-0.726	
Autonomía	-0.989	-0.773	-0.950	-0.743	0.993

#### 4.5.11. Calculo de la autonomía teórica

$$Autonomía\ teórica = \left( \frac{SOC(\%) * Autonomía\ vacío}{100} \right)$$

$$Autonomía\ teórica = 294\ km$$

**Ecuación 3.** Determinación de la autonomía teórica

#### 4.5.12. Cálculo de la autonomía real mediante la ecuación de regresión lineal

Para determinar la autonomía real mediante la ecuación de regresión lineal se considera todos los parámetros que influyen en el consumo de energía de las baterías, en la correlación de variables se tiene en cuenta los parámetros y se los incluye en programa de análisis estadístico para proyectar el modelo que simula la autonomía del bus.

**Tabla 39.**

*Variables independientes para calcular la autonomía.*

Variables independientes	Variables influyentes
$x_1$	Tiempo del recorrido (s)
$x_2$	Velocidad (km/h)
$x_3$	Distancia recorrida (km)
$x_4$	Porcentaje del pedal de aceleración (%)
$x_5$	SOC (%)

$$AUTONOMÍA = 0,2 + 0,00247 x_1 - 0,00649 x_2 - 0,3130x_3 + 0,001823x_4 + 3,000 x_5$$

**Ecuación 4.** Determinación de la autonomía real

**Tabla 40.**

*Valores obtenidos mediante el escáner de las variables influyentes para calcular la autonomía*

Variables independientes					Variable dependiente
$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	
Tiempo (s)	Velocidad (km/h)	Distancia (km)	Posición del acelerador (%)	SOC (%)	Autonomía(km)
1	0,7	0,00	0	98	294,3
2	0,7	0,00	0	98	294,3
3	0,7	0,00	0	98	294,3
4	0,7	0,00	0	98	294,3
5	0,7	0,00	0	97,9	293,9
6	0,7	0,00	0	97,9	293,9
7	0,7	0,00	0	97,9	293,9
8	0,7	0,00	0	97,9	293,9
9	0,7	0,00	0	97,9	293,9

**CONTINÚA** →

Variables independientes					Variable dependiente
$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	
Tiempo (s)	Velocidad (km/h)	Distancia (km)	Posición del acelerador (%)	SOC (%)	Autonomía(km)
10	0,7	0,00	0	97,9	293,9
11	0,7	0,00	0	97,9	293,9
12	0,7	0,00	0	97,9	293,9
13	0,7	0,00	0	97,9	293,9
14	0,7	0,00	0	97,9	293,9
15	0,7	0,00	0	97,9	293,9
16	0,7	0,00	0	97,9	293,9
17	0,7	0,00	0	97,9	293,9
18	0,7	0,00	0	97,9	293,9
19	0,7	0,00	0	97,9	293,9
20	0,7	0,00	0	97,8	293,6
21	0,7	0,00	0	97,8	293,6
22	0,7	0,00	0	97,8	293,6
23	0,7	0,00	0	97,8	293,6
24	0,7	0,00	0	97,8	293,6
25	0,7	0,00	0	97,8	293,6
26	0,7	0,00	0	97,8	293,6
27	0,7	0,00	0	97,8	293,6
28	0,7	0,00	0	97,8	293,6
29	0,7	0,00	0	97,8	293,6
30	0,8	0,00	0	97,8	293,6
31	1,1	0,00	16	97,8	293,6
32	1,4	0,00	17	97,8	293,6
33	2,2	0,00	29	97,8	293,6
34	2,5	0,00	29	97,8	293,6
35	2,5	0,00	29	97,8	293,6
36	2,5	0,00	34	97,7	293,4
37	2,5	0,00	34	97,7	293,4
38	24,8	0,10	68	97,7	293,4
39	26,3	0,10	72	97,7	293,4
40	26,3	0,10	72	97,7	293,4
41	28,1	0,10	74	97,7	293,4
42	31	0,10	74	97,7	293,4
43	33,1	0,10	74	97,7	293,4
44	35,6	0,10	76	97,7	293,4
45	38,5	0,10	76	97,7	293,4
46	37,8	0,10	76	97,7	293,4
47	37,8	0,10	76	97,7	293,4
48	36,7	0,10	76	97,7	293,4
49	32,4	0,10	74	97,7	293,4
50	28,1	0,10	74	97,7	293,4
51	25,6	0,10	56	97,7	293,4
52	20,2	0,10	41	97,6	293
53	12,1	0,10	25	97,6	293
54	9,5	0,10	23	97,6	293
55	9	0,10	23	97,6	293
56	8,7	0,10	23	97,6	293
57	7,4	0,10	23	97,6	293
58	6,1	0,10	23	97,6	293
59	5,3	0,20	21	97,6	293
60	8,3	0,20	21	97,6	293

**CONTINÚA** →

Variables independientes					Variable dependiente
$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	
Tiempo (s)	Velocidad (km/h)	Distancia (km)	Posición del acelerador (%)	SOC (%)	Autonomía(km)
61	11,5	0,20	21	97,6	293
62	13,3	0,20	23	97,6	293
63	20,5	0,20	23	97,6	293
64	22,3	0,20	23	97,6	293
65	26,6	0,20	24	97,6	293
66	25,6	0,20	24	97,6	293
67	24,8	0,20	24	97,5	292,8
68	23,8	0,20	24	97,5	292,8
69	23,8	0,20	24	97,5	292,8
70	23,8	0,20	24	97,5	292,8
71	16,3	0,20	22	97,5	292,8
72	10,3	0,20	22	97,5	292,8
73	9,8	0,20	22	97,5	292,8
74	8,3	0,20	19	97,5	292,8
75	6,9	0,20	19	97,5	292,8
76	5,9	0,20	16	97,5	292,8
77	5,4	0,20	16	97,5	292,8
78	4,9	0,20	16	97,5	292,8
79	4,4	0,20	16	97,5	292,8
80	4	0,20	16	97,5	292,8
81	4	0,20	16	97,5	292,8
82	3,9	0,20	16	97,5	292,8
83	3,9	0,20	16	97,5	292,8
84	3,9	0,20	14	97,5	292,8
85	3,9	0,20	14	97,4	292,8
86	3,9	0,20	14	97,4	292,8
87	3,4	0,20	14	97,4	292,8
88	3,4	0,20	14	97,4	292,8
89	2,9	0,20	14	97,4	292,8
90	2,9	0,20	14	97,4	292,8
91	2,9	0,20	14	97,4	292,8
92	2,5	0,20	14	97,4	292,8
93	2,5	0,20	14	97,4	292,8
94	2,2	0,20	14	97,4	292,8
95	2,5	0,20	14	97,4	292,8
96	4,7	0,30	14	97,4	292,8
97	6,5	0,30	16	97,4	292,8
98	8,3	0,30	16	97,4	292,8
99	8,3	0,30	16	97,4	292,8
100	8,3	0,30	17	97,3	292
101	8,3	0,30	17	97,3	292
102	36	0,30	54	97,3	292
103	37,1	0,30	54	97,3	292
104	37,4	0,30	55	97,3	292
105	37,4	0,30	55	97,3	292
106	35,3	0,30	55	97,3	292
107	33,5	0,40	55	97,3	292
108	28,8	0,40	52	97,3	292
109	25	0,40	49	97,3	292
110	21,5	0,40	43	97,3	292
111	18,7	0,40	43	97,3	292

**CONTINÚA** →

Variables independientes					Variable dependiente
$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	
Tiempo (s)	Velocidad (km/h)	Distancia (km)	Posición del acelerador (%)	SOC (%)	Autonomía(km)
112	16,6	0,40	42	97,3	292
113	17,3	0,40	42	97,3	292
114	17,3	0,40	42	97,3	292
115	18,7	0,40	42	97,3	292
116	20,5	0,40	43	97,3	292
117	22	0,40	43	97,2	291,8
118	24,1	0,40	46	97,2	291,8
119	29,5	0,40	51	97,2	291,8
120	32	0,50	55	97,2	291,8
121	34,6	0,50	59	97,2	291,8
122	40	0,50	60	97,2	291,8
123	42,8	0,50	60	97,2	291,8
124	42,1	0,50	61	97,2	291,8
125	42,8	0,50	89	97,2	291,8
126	42,8	0,50	89	97,2	291,8
127	47	0,50	93	97,2	291,8
128	47	0,50	93	97,2	291,8
129	40	0,60	90	97,2	291,8
130	39,6	0,60	87	97,2	291,8
131	41,4	0,60	88	97,2	291,8
132	41,8	0,60	88	97,2	291,8
133	44,6	0,60	88	97,1	291,5
134	47,2	0,60	89	97,1	291,5
135	49	0,60	93	97,1	291,5
136	48,2	0,60	93	97,1	291,5
137	49,7	0,70	93	97,1	291,5
138	47,2	0,70	90	97,1	291,5
139	45,4	0,70	87	97,1	291,5
140	45,7	0,70	87	97,1	291,5
141	45	0,70	86	97,1	291,5
142	44,6	0,70	86	97,1	291,5
143	45,4	0,70	86	97,1	291,5
144	47,5	0,70	86	97,1	291,5
145	48,6	0,80	87	97,1	291,5
146	50	0,80	87	97,1	291,5
147	49,7	0,80	87	97,1	291,5
148	49,7	0,80	89	97,1	291,5
149	48,6	0,80	89	97,1	291,5
150	47,9	0,80	87	97	291,2
151	47,5	0,80	87	97	291,2
152	46,8	0,90	87	97	291,2
153	45,4	0,90	86	97	291,2
154	43,9	0,90	86	97	291,2
155	42,5	0,90	86	97	291,2
156	40,7	0,90	86	97	291,2
157	38,9	0,90	83	97	291,2
158	37,4	0,90	79	97	291,2
159	36,7	0,90	79	97	291,2
160	35,3	0,90	78	97	291,2
161	34,9	0,90	78	97	291,2
162	34,9	1,00	78	97	291,2

**CONTINÚA** →

Variables independientes					Variable dependiente
$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	
Tiempo (s)	Velocidad (km/h)	Distancia (km)	Posición del acelerador (%)	SOC (%)	Autonomía(km)
163	34,9	1,00	78	97	291,2
164	36	1,00	78	97	291,2
165	36,7	1,00	73	97	291,2
166	37,8	1,00	73	97	291,2
167	37,1	1,00	73	96,9	290,9
168	36,7	1,00	73	96,9	290,9
169	35,3	1,00	73	96,9	290,9
170	34,9	1,00	60	96,9	290,9
171	33,5	1,00	60	96,9	290,9
172	34,6	1,10	59	96,9	290,9
173	34,6	1,10	59	96,9	290,9
174	34,2	1,10	59	96,9	290,9
175	33,1	1,10	59	96,9	290,9
176	33,1	1,10	59	96,9	290,9
177	31	1,10	59	96,9	290,9
178	28,8	1,10	52	96,9	290,9
179	28,4	1,10	52	96,9	290,9
180	26,6	1,10	52	96,9	290,9

Para calcular la autonomía en la ecuación de regresión lineal, remplazar los valores que se obtuvieron con el escáner de la prueba en tiempo real de la ruta establecida por el ciclo.

$$AUTONOMÍA = 294.2 \text{ km}$$

Remplazando cada uno de los valores obtenidos la autonomía del bus BYD es de 294.2 km, este valor depende del porcentaje de estado de carga de la batería además de los parámetros influyentes en el consumo de energía de las baterías.

#### 4.6. Análisis de la autonomía con las variables independientes.

Para el análisis de la autónoma se consideran los parámetros que tienen

incidencia directa en el consumo de energía, el programa estadístico muestra los valores para el coeficiente p que se establecen para cada variable independiente, este valor nos permite analizar y comprobar la hipótesis nula. Los valores que tienen como resultado 0 se los considera sin efecto en el modelo de regresión lineal, mientras los valores inferiores a 0.05 se los considera valores de efecto directo y los valores mayores a 0.05 el valor de la variable dependiente se verá afectado de manera mínima.

**Tabla 41.**

*Variables independientes*

<b>Termino</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>	<b>FIV</b>
<b>Tiempo (s)</b>	1.34	0.182	148.91
<b>Velocidad(km/h)</b>	-3.97	0	12.87
<b>Distancia (km)</b>	-4.12	0	11.45
<b>Posición del acelerador (%)</b>	2.16	0.032	11.88
<b>SOC (%)</b>	10.82	0.182	127.90

En el modelo de regresión lineal considerado para la investigación los valores de tiempo, posición del acelerador y SOC tienen un efecto directo en el consumo de energía, lo que significa que si modificamos estas variables se reflejara cambios significativos en relación a la autonomía, lo contrario sucede con los valores de velocidad y distancia que no tienen efecto en la ecuación de regresión.

## CAPÍTULO V

### MARCO ADMINISTRATIVO

Para el desarrollo de la investigación con el tema: “Diagnóstico electrónico del sistema de propulsión, regeneración, carga y descarga del vehículo eléctrico para determinar su autonomía”. Se necesitó recursos humanos, económicos y tecnológicos para establecer si el tema de la investigación resulta viable para cumplir con los objetivos planteados.

#### 5.1. Recursos humanos

El recurso humano que hace posible la investigación con el aporte de sus experiencias y conocimiento se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 42.**

*Recursos humanos*

Ítem	Nombre	Función
1	Jairo Chamorro	Investigador
2	Michael Guerrero	Investigador
3	Ing. German Erazo	Tutor – colaborador científico Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
4	Ing. Leónidas Quiroz	Colaborador científico Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
5	Ing. Ángel Coyago	Colaborador científico de la empresa BYD
6	Ing. José Rivadeneira	Colaborador científico de la empresa BYD

#### 5.2. Recurso tecnológico

Para el desarrollo de la investigación de campo fue necesario la utilización de

equipos y herramientas tecnológicas que se detallan a continuación:

**Tabla 43.**

*Equipos y herramientas*

Ítem	Detalle
1	Computador personal
2	Escáner BYD modelo VDS2000
3	Software estadístico
4	Aplicación de altimetría, velocidad
5	Escáner genérico

### 5.3. Recursos materiales

Para el desarrollo de la investigación se necesitó de elementos de oficina que permiten plasmar los resultados obtenidos y la culminación del proyecto.

**Tabla 44.**

*Insumos*

Ítem	Detalle
1	Pruebas en ruta
2	Copias e impresiones
3	Dispositivo de almacenamiento

### 5.4. Presupuesto y financiamiento

El costo total de la investigación fue autofinanciado por los investigadores con la ayuda de la universidad de las fuerzas armadas ESPE en convenio con la empresa privada BYD, los recursos económicos fueron utilizados principalmente para movilidad ya que la investigación se la realizó en Guayaquil, en la siguiente tabla se detalla la inversión total:

**Tabla 45.***Presupuesto*

<b>Ítem</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio total</b>
<b>1</b>	Movilización	2	250	500
<b>2</b>	Copias e impresiones	500	0.02	100
<b>3</b>	Dispositivo de almacenamiento	1	15	20
<b>4</b>	Pruebas en ruta	4	10	40
			Total	660

La investigación tiene un costo aproximado que asciende el valor de 660 dólares.

## CONCLUSIONES

- Se diagnosticó electrónicamente por medio del escáner automotriz VDS2000 los sistemas para la propulsión del bus BYD modelo K9G, su funcionamiento en tiempo real monitoreado en ruta y su correlación entre módulos controladores.
- Se recopiló información de estudios relacionados al análisis de vehículos eléctricos y adicional se realizó el estudio de la conexión interna de los componentes del sistema motriz.
- Se analizó todo el flujo de datos obtenidos en las pruebas en ruta monitoreadas definiendo cada uno de los factores que inciden directamente en el consumo de energía que proporciona el conjunto de batería para con estos factores determinar su autonomía.
- Se definió las variables independientes que influyen directamente en la determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante la ecuación de regresión lineal, estas son: tiempo del recorrido, velocidad, distancia, aceleración y el SOC, en menor incidencia tenemos el grado de inclinación que tiene el circuito.
- Se investigó los parámetros y datos de funcionamiento del inversor y motores eléctricos del vehículo concluyendo que tanto motores como baterías cumplen con las exigencias del circuito tanto en torque, potencia y almacenamiento de energía ya que en el circuito por la velocidad máxima permitida y la capacidad de carga del bus al final del día existe un remanente de batería superior al 30%.
- Se Obtuvieron los parámetros de carga y descarga del conjunto batería de alta

tensión mediante la utilización del VDS2000 para posteriormente utilizar dichos datos en la determinación de la autonomía del vehículo mediante la ecuación.

- Se analizó los datos obtenidos del escáner automotriz VDS2000 en el bus K9G acerca de los packs de baterías y el grupo motriz obteniendo que el consumo de energía del conjunto batería es inversamente proporcional a las revoluciones que alcanzan los motores eléctricos, la posición del pedal de aceleración es directamente proporcional a la velocidad que alcanza el vehículo.
- Se estudió la composición de las baterías del bus K9G, y mediante una comparación con el resto de baterías de alta tensión teniendo en cuenta varios factores que inciden en el rendimiento de las mismas, el tipo de baterías utilizadas en el bus K9G son tipo LFP las cuales son patentadas por la marca y reciben carga lenta, ideales para recibir energía durante la noche.

## RECOMENDACIONES

- En la presente investigación se obtuvieron datos reales recopilados en la ciudad de Guayaquil-Ecuador, con el protocolo de pruebas de la presente y una nueva apertura de la empresa se podría realizar el levantamiento de información en otra ciudad del país con un circuito que posea un grado inclinación mayor al actual.
- En la obtención de datos se debe verificar los parámetros que influyen directamente en la descarga de las baterías y su almacenamiento para que al ser remplazados en la ecuación de simulación de la determinación de autonomía tenga mayor grado de confiabilidad.
- Dentro del marco investigativo la información que tengamos acerca de los vehículos eléctricos, la composición de sus baterías que es la tecnología patentada y restringida de la compañía se volverá más accesible con el paso del tiempo y el cambio del combustible fósil a la movilidad eléctrica.
- Recomendamos para investigaciones futuras trabajar en base a la tecnología existente en el medio analizar profundamente a nivel de las celdas de baterías y como todo el sistema trabaja para mantener la temperatura de operación de todo el conjunto batería.

## TERMINOLOGÍA

**PEV o EV:** Vehículo Eléctrico Puro

**PHEV:** Vehículo Híbrido Eléctrico Enchufable

**HEV:** Vehículo Híbrido Eléctrico

**FEV:** Vehículo de Celdas de Combustible

**ICEV o ICE:** Vehículo con Motor de Combustión Interna

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acelerando. (27 de Febrero de 2019). *X5 xDrive40e, el primer híbrido enchufable de BMW llega al Ecuador*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2019, de <https://acelerando.com.ec/x5-xdrive40e-el-primer-hibrido-enchufable-de-bmw-llega-al-ecuador/>
- AEADE. (12 de Junio de 2019). *Sector automotor en cifras*. Recuperado el 01 de Diciembre de 2019, de <http://www.aeade.net/>
- Araujo, A. (29 de Enero de 2016). *Siete autos eléctricos buscan mercado en el Ecuador*. Recuperado el 05 de Noviembre de 2019, de El Comercio: <https://www.elcomercio.com/actualidad/autos-electricos-buscan-mercado-ecuador.html>
- Austin, Texas. (09 de Diciembre de 2008). *BYD Fe Battery for HEV/EV*. Recuperado el 19 de Octubre de 2019, de BYD - Build Your Dreams: [http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/250000-274999/251704-in-01-en-BYD\\_LITHIUM\\_FE\\_BLOCK\\_12V\\_10\\_AH\\_B\\_BMS.pdf](http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/250000-274999/251704-in-01-en-BYD_LITHIUM_FE_BLOCK_12V_10_AH_B_BMS.pdf)
- Becerra, J. A., Moreno, F. E., Quiroz, J. J., & Bautista, D. (Julio-Diciembre de 2014). Estimación de parámetros y modelo de caja negra de un motor CD sin escobillas. *Tecno Lógicas*, 17(33), 55-64. Recuperado el 10 de Octubre de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v17n33/v17n33a06.pdf>
- BYD E-Motors Ecuador. (2015). *BYD Electric Vehicles*. Recuperado el 24 de Octubre de 2019, de BYD Company Profile: <https://theicct.org/sites/default/files/BYD%20EV%20SEDEMA.pdf>
- BYD E-Motors Ecuador. (2018). *El combustible y los cambios de aceite quedaron en*

*el pasado*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2019, de Bus Eléctrico K9G: <https://bydelectrico.com/buses-electricos/bus-electrico-k9/>

BYD E-Motors Ecuador. (13 de Noviembre de 2018). *En marzo de 2019 Ecuador contará con la primera flota de buses eléctricos*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2019, de BYD Build Your Dreams : <https://bydelectrico.com/ecuador-contara-primera-flota-buses-electricos/>

BYD E-Motors Ecuador. (18 de Marzo de 2018). *Guayaquil da el primer paso hacia la movilidad eléctrica con buses BYD*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2019, de BYD Build Your Dreams: <https://bydelectrico.com/bus-electrico-de-guayaquil-cero-emisiones/>

BYD E-Motors Ecuador. (2018). *Sedán eléctrico E5*. Recuperado el 07 de Noviembre de 2019, de BYD Build Your Dreams: <https://bydelectrico.com/autos-electricos/e5/>

Casanova, J. B. (2017). *Observación de la posición de un motor síncrono de imanes permanentes sin sensores mecánicos*. San Nicolás de los Garza: Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León. Recuperado el 06 de Octubre de 2019, de <http://eprints.uanl.mx/14392/1/1080251100.pdf>

Castillo, C. (2018). *Monitorización de un vehículo eléctrico*. Tesis. Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales. Obtenido de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/28942>

Chan, C. C. (April de 2007). The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 95(4), 704-718. Recuperado el 11 de Noviembre de 2019, de

<https://www.eee.hku.hk/doc/ccchan/TheStateoftheArtofElectric,Hybrid,andFuelCellVehicles.pdf>

Chan, C. C., & Chau, K. T. (2001). *Modern electric vehicle technology* (Vol. 47). New York: Oxford University Press. Recuperado el 06 de Noviembre de 2019, de [https://books.google.com.ec/books?id=mxP\\_c\\_KsxnIC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=mxP_c_KsxnIC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false)

Chau, K. T. (2015). *Electric Vehicle Machines and Drives: Design, Analysis and Application*. Singapore: John Wiley & Sons.

Cuesta, G. (2017). *Caracterización del power train de un vehículo eléctrico de categoría L7 tipo SMART*. Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado el 07 de Octubre de 2019, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/108997/tfmguillermocuestafinal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Dhameja, S. (2001). *Electric vehicle battery systems*. Newnes.

Dincer, I., Hamut, H., & Javani, N. (2016). *Thermal management of electric vehicle battery systems*. John Wiley & Sons.

Duque, D., & Rocano, J. (2018). *Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado el 03 de Noviembre de 2019, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15067/1/UPS-CT007435.pdf>

El Comercio. (30 de Mayo de 2018). *El número de coches eléctricos e híbridos creció un 54% en 2017*. Recuperado el 02 de Noviembre de 2019, de [https://www.elcomercio.com/app\\_public.php/actualidad/vehiculos-electricos-hibridos-aie-energia.html](https://www.elcomercio.com/app_public.php/actualidad/vehiculos-electricos-hibridos-aie-energia.html)

- Eneka S.A. (2014). *Corriente / Voltaje*. Recuperado el 18 de Octubre de 2019, de Eneka. Líder en electrónica: <http://www.eneka.com.uy/robotica/sensores/corriente-y-voltaje/m%C3%B3dulo-sensor-de-corriente-por-efecto-hall-5a-7480-detail.html>
- Energía y Sociedad. (2019). 4.2. *La eficiencia energética del vehículo eléctrico*. Recuperado el 13 de Noviembre de 2019, de <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/4-2-la-eficiencia-energetica-del-vehiculo-electrico/>
- Espinoza, J., & Flores, J. (2019). *Investigación de los parámetros de funcionamiento del sistema inversor para vehículos híbridos a través de la construcción de un módulo didáctico*. Latacunga: Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Recuperado el 17 de Noviembre de 2019, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15623/1/T-ESPEL-MAI-0653.pdf>
- Explorable.com. (02 de Mayo de 2009). *La Correlación Estadística*. Recuperado el 13 de Octubre de 2019, de <https://explorable.com/es/la-correlacion-estadistica>
- Ferrera, A. (2018). *Aplicación para la obtención y procesado de datos de vehículo eléctrico*. Valladolid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad de Valladolid. Recuperado el 13 de Octubre de 2019, de <http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/32962/TFG-G3401.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, F., & Gardy, J. (2015). Efecto del vehiculo en la red de distribución eléctrica. En *Guía del vehículo eléctrico II* (págs. 41-57). Fundación de la Energía de la

Comunidad de Madrid. Recuperado el 01 de Octubre de 2019, de <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2015/04/Guia-del-Vehiculo-Elctrico-II-fenercom-2015.pdf>

García, M. (2015). *Pasado, presente y futuro de vehículos eléctricos*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado el 05 de Noviembre de 2019, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5856/6292293G216.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

González, P. C. (06 de Junio de 2019). *Empresas ofrecerán más autos eléctricos en el Ecuador*. Recuperado el 06 de Noviembre de 2019, de El Comercio: <https://www.elcomercio.com/actualidad/empresas-oferta-autos-electricos-ecuador.html>

Google Eart. (2019). *Maxar Technologies*.

Google My Maps. (s.f.). *BYD | Mapa de ruta Guayaquil*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1Eia35BRuJ5vrF4DfJEiV6tRPtVUTqJ-U&ll=-2.154642961338863%2C-79.8930297&z=13>

Harrop, P. (19 de Febrero de 2016). *News from China*. Recuperado el 21 de Octubre de 2019, de Electric Vehicles Research: <https://www.electricvehiclesresearch.com/articles/9116/news-from-china>

Henkel Ibérica, S.A. (2019). *Tipos de freno de mano eléctrico y consejos de mantenimiento*. Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de Ruta 401. El blog de los profesionales del taller: <https://blog.reparacion-vehiculos.es/tipos-de-freno-de-mano-electrico-y-consejos-de-mantenimiento>

Iglesias, R., Lago, A., Nogueiras, A., Martínez-Peñalver, C., Marcos, J., Quintans, C.,

- . . . Valdés, M. (2012). Modelado y simulación de una batería de ion-litio comercial multicelda. *Seminario anual de automática, electrónica industrial e instrumentación*, 12.
- Jimbo, J. E. (2015). *Caracterización del funcionamiento de un motor eléctrico de corriente continua sin escobillas Brushless con 1000 watts de potencia*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado el 04 de Octubre de 2019, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7891/1/UPS-CT004742.pdf>
- Kutkut, N., Wiegman, H., Divan, D., & Novotny, D. (1999). Design considerations for charge equalization of an electric vehicle battery system. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 35, 28-35.
- Larminie, J., & Lowry, J. (2012). *Electric vehicle technology explained*. John Wiley & Sons.
- Laverón, F., Muñoz, M. Á., & Sáenz de Miera, G. (15 de Marzo de 2010). *Análisis energético y económico del vehículo eléctrico*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2019, de Redes: <https://www.evwind.com/2010/03/15/analisis-energetico-y-economico-del-vehiculo-electrico/>
- Logroño, J. (2017). *Cargador de batería para vehículos*. Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado el 05 de Octubre de 2019, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/112391/TFG%20CARGADOR%20DE%20BATER%3%8DA%20PARA%20VEH%3%8DCULOS%20-%20JAVIER%20LOGRO%3%91O%20DI%3%89GUEZ.pdf>
- Martín, A. (2009). *Guía del Vehículo Eléctrico*. Madrid: Gráficas Arias Montano, S.A. Recuperado el 04 de Noviembre de 2019, de

<http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015005.pdf>

Martín, F. (Mayo de 2016). Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual y Retos Futuros. *European Scientific Journal*, 118-131. Recuperado el 04 de Octubre de 2019, de <http://eujournal.org/index.php/esj/article/download/7393/7121>

Martínez, J. A. (2013). *Vehículo eléctrico: Análisis y prospectiva de factores tecnológicos y económicos*. Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid. Recuperado el 01 de Diciembre de 2019, de <http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/6296/PFC-P-94.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martínez, M. A. (2017). *Propulsión en vehículos eléctricos*. Valladolid: Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Valladolid. Recuperado el 10 de Diciembre de 2019, de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/25504/TFG-P-630.pdf?sequence=1>

Masiero, G., Ogasavara, M. H., Conde, A., & Risso, M. L. (2016). Electric vehicles in China: BYD strategies and government subsidies. *RAI Revista de Administração e Inovação*, 13, 3-11.

Monjo, A. (30 de Marzo de 2011). *Motor Síncrono*. Recuperado el 11 de Octubre de 2019, de Scribd: <https://es.scribd.com/document/51919746/Andres-Monjo-Motor-sincrono>

Moreno, A. S., & Naranjo, L. A. (2017). *Investigación de la eficiencia energética del vehículo híbrido Toyota Prius al implementar el sistema enchufable plug in*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Recuperado el 07 de Diciembre de 2019, de

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13789/1/T-ESPEL-MAI-0589.pdf>

Ogan, T. L., & Chen, X. (2016). The Rise of Shenzhen and BYD--How a Chinese Corporate Pioneer is Leading Greener and More Sustainable Urban Transportation and Development. *The European Financial Review*, 32-39. Recuperado el 14 de Noviembre de 2019, de [http://digitalrepository.trincoll.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1159&context=fa\\_cpub](http://digitalrepository.trincoll.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1159&context=fa_cpub)

Osses, M. (2013). *Buses eléctricos e híbridos: riesgos tecnológicos y requerimientos de capacitación*. Recuperado el 17 de Octubre de 2019, de Taller: Buses cero y bajas emisiones para el SITP de Bogotá: [http://ambientebogota.gov.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=5ac81e69-4905-4352-b668-f198930cd917&groupId=10157](http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=5ac81e69-4905-4352-b668-f198930cd917&groupId=10157)

O'Sullivan, K. (22 de Septiembre de 2017). The Irish Times. *Hydrogen-fuelled Toyota Mirai takes to Irish roads*. Obtenido de <https://www.irishtimes.com/news/environment/hydrogen-fuelled-toyota-mirai-takes-to-irish-roads-1.3230333>

Peña, C. (2011). *Estudio de baterías para vehículos eléctricos*. Leganés: Departamento de Tecnología Electrónica, Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado el 02 de Octubre de 2019, de [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC\\_Carlos\\_Pena\\_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordonez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Piccardo, J., & Prieto, A. (2012). *Vehículo Eléctrico de Producción Nacional*. Buenos Aires: Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Universidad de Buenos

- Aires. Recuperado el 08 de Noviembre de 2019, de [http://diana.fadu.uba.ar/103/2/\[6\]\\_Piccardo\\_Prieto\\_2012\\_Galan\\_D5\\_TESIS\\_VEHICULO\\_ELECTRICO\\_DE\\_PRODUCCION\\_NACIONAL.pdf](http://diana.fadu.uba.ar/103/2/[6]_Piccardo_Prieto_2012_Galan_D5_TESIS_VEHICULO_ELECTRICO_DE_PRODUCCION_NACIONAL.pdf)
- Ramón S., G. (2018). *Correlación entre variables*. Recuperado el 12 de Octubre de 2019, de Apuntes de clase del curso Seminario Investigativo VI: [http://viref.udea.edu.co/contenido/menu\\_alterno/apuntes/ac36-correlacion-variables.pdf](http://viref.udea.edu.co/contenido/menu_alterno/apuntes/ac36-correlacion-variables.pdf)
- Rodríguez Cea, Á. I. (2017). *Modelo para la batería de ion de litio de un vehículo eléctrico*. Valladolid: Escuela de Ingenierías Industriales. Recuperado el 18 de Noviembre de 2019, de <http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/24673/TFM-I-648.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SlideShare. (18 de Marzo de 2015). *BYD Bus Eléctrico*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2019, de <https://es.slideshare.net/ConcejoMDE/byd-bus-elctrico>
- STA - Sociedad de Técnicos de Automoción. (2011). *El Vehículo Eléctrico. Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio*. Barcelona: Libbooks.
- Toyota Ecuador. (2018). *Prius 4G*. Recuperado el 09 de Noviembre de 2019, de <https://www.toyota.com.ec/prius4g>
- Valla, M. I. (1994). *Control de motores de reluctancia conmutada*. La Plata: Universidad Nacional De La Plata. Recuperado el 12 de Octubre de 2019, de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/1349/Tesis\\_completa.pdf?sequence=19&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/1349/Tesis_completa.pdf?sequence=19&isAllowed=y)
- Vinuesa, P. (22 de Octubre de 2016). Tema 9 - Regresión lineal simple y polinomial: teoría y práctica. *CCG-UNAM*, 7. Recuperado el 11 de Octubre de 2019, de

[http://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/R4biosciences/docs/Tema9\\_regresion.html](http://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/R4biosciences/docs/Tema9_regresion.html)

Zhao Binliang, Z. J. (2014). *China Patente nº CN203681298U*. Recuperado el 20 de

Octubre de 2019, de <https://patents.google.com/patent/CN203681298U/en>

# ANEXOS



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

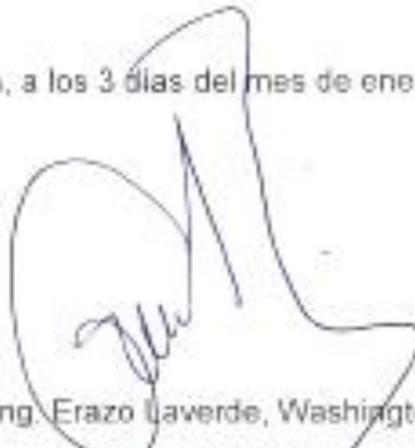
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los estudiantes **Chamorro Riascos, John Jairo** y **Guerrero Vera, Michael Antonio**

En la ciudad de Latacunga, a los 3 días del mes de enero del 2020

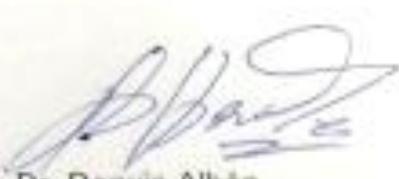
Aprobado por:

  
Ing. Erazo Uaverde, Washington Germán  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**



  
Ing. Danilo Zambrano  
**DIRECTOR DE CARRERA**



  
Dr. Darwin Albán

**SECRETARIO ACADÉMICO**