



**Diseño e investigación de la implementación de un sistema de carga inalámbrica por inducción para incrementar la autonomía en una motocicleta eléctrica**

Oñate Pico, Carlos Andrés

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán

20 de enero del 2023




## Document Information

Analyzed document	DOCUMENTO TESIS-OÑATE CARLOS.pdf (ID156490265)
Submitted	1/21/2023 1:17:00 AM
Submitted by	Cristian Laverde
Submitter email	claverde@uteq.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	claverde.uteq@analysis.arkund.com



Firmado digitalmente  
por  
**WASHINGTON  
GERMAN ERAZO  
LAVERDE**

## Sources included in the report

<b>W</b>	URL: <a href="https://www.renault.cl/noticias/como-funcionan-los-motores-electricos">https://www.renault.cl/noticias/como-funcionan-los-motores-electricos</a> Fetched: 1/21/2023 1:18:00 AM		<b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://vtpower.es/blog/2021/05/15/ventajas-y-desventajas-de-las-baterias-de-plomo-acido-y-litio/">https://vtpower.es/blog/2021/05/15/ventajas-y-desventajas-de-las-baterias-de-plomo-acido-y-litio/</a> Fetched: 1/21/2023 1:18:00 AM		<b>3</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/convencion-marco-naciones-unidas-cambio-climatico">https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/convencion-marco-naciones-unidas-cambio-climatico</a> Fetched: 1/21/2023 1:18:00 AM		<b>1</b>

## Entire Document

1 Diseño e investigación de la implementación de un sistema de carga inalámbrica por inducción para incrementar la autonomía en una motocicleta eléctrica Oñate Pico, Carlos Andrés Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica Carrera de Ingeniería Automotriz Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz Ing. Erazo Laverde, Washington Germán Latacunga, 20 de enero del 2023

2 Reporte de verificación de contenido

3 Certificación

4 Responsabilidad de autoría

5 Autorización de publicación

6 Dedicatoria El presente proyecto quiero dedicar a Dios Todopoderoso que me ha regalado todo, a mis padres Carlos Oñate y Zulia Pico quienes han sacrificado toda su vida brindándome su apoyo para lograr ser un profesional, las enseñanzas cristianas y las facilidades económicas han sido las bases fundamentales que me ayudaron a ser un excelente académico y lograr culminar mis estudios. A mi hermana quien me motivo a iniciar mis estudios en esta prestigiosa Universidad.

7 Agradecimiento El presente agradecimiento es para Dios que con inmenso amor ha bendecido mi hogar durante esta etapa universitaria. Agradezco a mis padres que día a día con valentía se esforzaron para salir adelante en todo momento y superaron cada obstáculo para tener el hermoso hogar que han formado. A mi hermana que siempre me ha prestado su ayuda, ha sido un ejemplo de vida y me ha regalado su amor incondicional. Quiero mostrar gratitud con mis amigos, compañeros de clase y todas las personas que me brindaron su apoyo en el transcurso de estos años para lograr esta meta, en especial a todos mis amigos del movimiento Juan XXIII, del grupo de animación Anima Cristi, Catequisis Totoras y a mi querida Katherine que me ha acompañado en mi vida espiritual. Carlos Andrés Oñate Pico

Firma:



Ing. Germán Erazo

C. C.: 0501432637



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

**Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Certificación**

Certifico que el trabajo de titulación: **"Diseño e investigación de la implementación de un sistema de carga inalámbrica por inducción para incrementar la autonomía en una motocicleta eléctrica"** fue realizado por el señor **Oñate Pico, Carlos Andrés**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

**Latacunga, 23 de enero del 2023**

Firma:

**ING. Erazo Laverde, Washington Germán**

C. C.: 0501432637



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

**Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, **Oñate Pico, Carlos Andrés**, con cédula de ciudadanía n°1804712329, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Diseño e investigación de la implementación de un sistema de carga inalámbrica por inducción para incrementar la autonomía en una motocicleta eléctrica**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Latacunga, 23 de enero del 2023**

Firma

**Oñate Pico, Carlos Andrés**

C.C.: 1804712329



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

**Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Autorización de Publicación**

Yo **Oñate Pico, Carlos Andrés**, con cédula de ciudadanía n°1804712329, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diseño e investigación de la implementación de un sistema de carga inalámbrica por inducción para incrementar la autonomía en una motocicleta eléctrica** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Latacunga, 23 de enero del 2023**

Firma

**Oñate Pico, Carlos Andrés**

C.C.: 1804712329

## **Dedicatoria**

El presente proyecto quiero dedicar a Dios Todopoderoso que me ha regalado todo, a mis padres Carlos Oñate y Zulia Pico quienes han sacrificado toda su vida brindándome su apoyo para lograr ser un profesional, las enseñanzas cristianas y las facilidades económicas han sido las bases fundamentales que me ayudaron a ser un excelente académico y lograr culminar mis estudios.

A mi hermana quien me motivo a iniciar mis estudios en esta prestigiosa Universidad.

## **Agradecimiento**

El presente agradecimiento es para Dios que con inmenso amor ha bendecido mi hogar durante esta etapa universitaria.

Agradezco a mis padres que día a día con valentía se esforzaron para salir adelante en todo momento y superaron cada obstáculo para tener el hermoso hogar que han formado.

A mi hermana que siempre me ha prestado su ayuda, ha sido un ejemplo de vida y me ha regalado su amor incondicional.

Quiero mostrar gratitud con mis amigos, compañeros de clase y todas las personas que me brindaron su apoyo en el transcurso de estos años para lograr esta meta, en especial a todos mis amigos del movimiento Juan XXIII, del grupo de animación Anima Cristi, Catequesis Totoras y a mi querida Katherine que me ha acompañado en mi vida espiritual.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula .....	1
Reporte de verificación de contenido .....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría .....	4
Autorización de publicación .....	5
Dedicatoria .....	6
Agradecimiento .....	7
Índice de contenido .....	8
Índice de figuras .....	12
Índice de tablas.....	15
Índice de ecuaciones.....	16
Resumen .....	17
Abstract.....	18
Capítulo I: Marco metodológico de investigación .....	19
Antecedentes investigativos .....	19
Planteamiento del problema.....	21
Descripción resumida del proyecto.....	22
Justificación e importancia. ....	22
Objetivos .....	23
<i>Objetivo general</i> .....	23
<i>Objetivos específicos</i> .....	23
Meta .....	24



Hipótesis .....	24
Variables de la investigación.....	24
Variable independiente .....	24
Operacionalización de variables .....	24
Variable dependiente .....	25
Metodología de la investigación .....	26
Método Comparativo.....	26
Método Experimental .....	26
Método de Matematización .....	27
Método de Modelación.....	27
Método de Medición .....	27
Método Científico .....	27
Método Inductivo.....	27
Método Deductivo .....	27
<b>Capítulo II: Marco teórico.....</b>	<b>31</b>
<b>Vehículo eléctrico (EV).....</b>	<b>31</b>
<i>Principio de funcionamiento del vehículo eléctrico .....</i>	<i>31</i>
<i>Movilidad eléctrica .....</i>	<i>32</i>
<i>Partes de un vehículo eléctrico.....</i>	<i>33</i>
<i>Motor eléctrico.....</i>	<i>33</i>
<i>Caja de conexiones o conector de carga .....</i>	<i>34</i>
<i>Unidad de control.....</i>	<i>34</i>
<i>Controlador.....</i>	<i>34</i>
<i>Consumo de energía en el Ecuador.....</i>	<i>34</i>

<b>Motocicleta eléctrica .....</b>	<b>35</b>
<i>Definición.....</i>	<i>35</i>
<i>Componentes de motocicleta eléctrica .....</i>	<i>35</i>
<b>Controladores .....</b>	<b>43</b>
<b>Cargador .....</b>	<b>44</b>
<i>Tipos de cargadores .....</i>	<i>45</i>
<i>Cargador Inalámbrico .....</i>	<i>48</i>
<i>Carga inalámbrica por inducción magnética .....</i>	<i>53</i>
<b>Capítulo III: Diseño y Construcción del Cargador Inalámbrico.....</b>	<b>61</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>61</b>
<b>Parámetros del campo magnético .....</b>	<b>61</b>
<b>Composición del Sistema.....</b>	<b>62</b>
<i>Prototipo 1 .....</i>	<i>62</i>
<i>Prototipo 2 .....</i>	<i>79</i>
<i>Construcción del sistema de bobinas receptora y emisora .....</i>	<i>80</i>
<i>Simulación del campo magnético del sistema de bobinas.....</i>	<i>84</i>
<b>Simulación del campo magnético con núcleo de ferrita común .....</b>	<b>84</b>
<b>Simulación del campo magnético con núcleo de ferrita separado .....</b>	<b>86</b>
<b>Simulación del campo magnético con núcleo de ferrita común .....</b>	<b>88</b>
<b>Montaje en case del sistema de carga inalámbrica .....</b>	<b>89</b>
<b>Capítulo IV: Pruebas, Análisis y Resultados .....</b>	<b>91</b>
<b>Equipos de prueba .....</b>	<b>91</b>
<i>Multímetro.....</i>	<i>91</i>
<i>Frecuencímetro .....</i>	<i>92</i>
<b>Proceso para las pruebas del sistema de carga inalámbrica .....</b>	<b>92</b>

<b>Medición.....</b>	<b>95</b>
<b>Medición prototipo 1. ....</b>	<b>95</b>
<i>Medición eléctrica del prototipo 1 del sistema sin estructura.....</i>	<i>95</i>
<i>Medición eléctrica del prototipo 1 del sistema con estructura.....</i>	<i>96</i>
<b>Medición prototipo 2. ....</b>	<b>96</b>
<i>Medición eléctrica del prototipo 2 del sistema sin estructura.....</i>	<i>96</i>
<i>Medición eléctrica del prototipo 2 del sistema con estructura.....</i>	<i>97</i>
<i>Análisis de los resultados. ....</i>	<i>98</i>
<b>Pruebas de carga de energía de la batería emergente del vehículo.....</b>	<b>102</b>
<b>Capítulo V: Marco Administrativo .....</b>	<b>111</b>
<b>Recursos .....</b>	<b>111</b>
<b>Recursos Humanos .....</b>	<b>111</b>
<b>Recursos Tecnológicos .....</b>	<b>111</b>
<b>Recursos Materiales.....</b>	<b>112</b>
<b>Recursos Económicos .....</b>	<b>113</b>
<b>Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>115</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>115</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>117</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>118</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>121</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Árbol de problemas</i> .....	21
<b>Figura 2</b> <i>Tipo de vehículos eléctricos</i> .....	32
<b>Figura 3</b> <i>Vehículo eléctrico</i> .....	32
<b>Figura 4</b> <i>Partes del vehículo eléctrico</i> .....	33
<b>Figura 5</b> <i>Motor eléctrico</i> .....	33
<b>Figura 6</b> <i>Electrolinera</i> .....	34
<b>Figura 7</b> <i>Moto eléctrica</i> .....	35
<b>Figura 8</b> <i>Batería de ácido plomo</i> .....	36
<b>Figura 9</b> <i>Batería de Litio</i> .....	38
<b>Figura 10</b> <i>Batería de Níquel-hidruros</i> .....	40
<b>Figura 11</b> <i>Batería Níquel – Cadmio</i> .....	40
<b>Figura 12</b> <i>Configuración de un controlador simple</i> .....	43
<b>Figura 13</b> <i>Tipos de cargadores por cable</i> .....	45
<b>Figura 14</b> <i>Tipos de cargadores por cable</i> .....	47
<b>Figura 15</b> <i>Diagrama de bloques TX/RX de la carga inalámbrica (Qi)</i> .....	50
<b>Figura 16</b> <i>Sistema de carga inductiva estática en un vehículo</i> .....	51
<b>Figura 17</b> <i>Modelo de carga inalámbrica con las nuevas antenas WC-RX</i> .....	52
<b>Figura 18</b> <i>Composición del sistema de carga inalámbrica por inducción magnética</i> .....	58
<b>Figura 19</b> <i>Configuraciones de potencia tipo puente H</i> .....	59
<b>Figura 20</b> <i>Topologías de circuitos de compensación resonante</i> .....	60
<b>Figura 21</b> <i>Rectificador de onda completa con filtrado</i> .....	60
<b>Figura 22</b> <i>Relación entre energía recuperada y almacenada</i> .....	62
<b>Figura 23</b> <i>Composición del sistema de carga inalámbrica</i> .....	63
<b>Figura 24</b> <i>Señal rectificada (Verde) de la señal en corriente alterna (Roja)</i> .....	64
<b>Figura 25</b> <i>Inversor de puente medio tipo H</i> .....	65
<b>Figura 26</b> <i>Grafica de las señales digitales de conmutación para el circuito</i> .....	65
<b>Figura 27</b> <i>Representación del área efectiva para la carga inalámbrica</i> .....	66

<b>Figura 28</b> <i>Diametro de conductores de cobre comerciales</i> .....	67
<b>Figura 29</b> <i>Simulación en Coil64 del diseño de las bobinas emisora y receptora</i> .....	68
<b>Figura 30</b> <i>Estructura del circuito de resonancia tipo Serie-Serie</i> .....	70
<b>Figura 31</b> <i>Simulación de circuito de resonancia tipo Serie-Serie</i> .....	71
<b>Figura 32</b> <i>Permeabilidad magnetica absoluta con material ferromagnetico</i> .....	72
<b>Figura 33</b> <i>Señal del circuito de resonancia tipo Serie-Serie</i> .....	72
<b>Figura 34</b> <i>Fuente de corriente con resistencia para simular la carga de la bateria</i> .....	73
<b>Figura 35</b> <i>Circuito completo del cargador inalámbrico por inducción magnética</i> .....	74
<b>Figura 36</b> <i>Circuito completo del cargador inalámbrico por inducción magnética</i> .....	74
<b>Figura 37</b> <i>Circuito armado del rectificador y filtrado del sistema primario o emisor</i> .....	75
<b>Figura 38</b> <i>Circuito armado del inversor del sistema primario o emisor</i> .....	76
<b>Figura 39</b> <i>Circuito armado del tanque de resonancia del sistema primario o emisor</i> .....	77
<b>Figura 40</b> <i>Etapas; multiplicadora, resonante y rectificadora del receptor</i> .....	78
<b>Figura 41</b> <i>Etapas; multiplicadora, resonante y rectificadora del receptor</i> .....	78
<b>Figura 42</b> <i>Balastro electrónico</i> .....	79
<b>Figura 43</b> <i>Bobina primaria y secundaria</i> .....	80
<b>Figura 44</b> <i>Bobina primaria y secundaria</i> .....	81
<b>Figura 45</b> <i>Mecanismo de soporte para la bobina primaria</i> .....	82
<b>Figura 46</b> <i>Mecanismo de desplazamiento vertical</i> .....	82
<b>Figura 47</b> <i>Accionamiento del sensor</i> .....	83
<b>Figura 48</b> <i>Funcionamiento del sistema</i> .....	83
<b>Figura 49</b> <i>Construcción de las bobinas</i> .....	84
<b>Figura 50</b> <i>Vector del campo magnético</i> .....	85
<b>Figura 51</b> <i>Transferencia de energía del campo magnético</i> .....	85
<b>Figura 52</b> <i>Vector del campo magnético</i> .....	86
<b>Figura 53</b> <i>Vector del campo magnético</i> .....	86
<b>Figura 54</b> <i>Transferencia de energía del campo magnético.</i> .....	87
<b>Figura 55</b> <i>Vector del campo magnético</i> .....	87

<b>Figura 56</b> <i>Vector del campo magnético</i> .....	88
<b>Figura 57</b> <i>Transferencia de energía del campo magnético</i> .....	88
<b>Figura 58</b> <i>Vector del campo magnético</i> .....	89
<b>Figura 59</b> <i>Distribución de los componentes del sistema en el case</i> .....	90
<b>Figura 60</b> <i>Case del prototipo ensamblado completamente</i> .....	90
<b>Figura 61</b> <i>Vehículo eléctrico</i> .....	91
<b>Figura 62</b> <i>Multímetro eléctrico</i> .....	92
<b>Figura 63</b> <i>Gráfico de barras de la potencia generada por los portotipos 1 y 2</i> .....	98
<b>Figura 64</b> <i>Gráfico de barras de la eficiencia calculada para los portotipos 1 y 2</i> .....	99
<b>Figura 65</b> <i>Valores del kilometraje (Azul) y media de crecimiento del kilometraje (Rojo)</i> ..	101
<b>Figura 66</b> <i>Incremento del voltaje en el proceso de carga</i> .....	104
<b>Figura 67</b> <i>Valor de incremento y media del proceso de carga</i> .....	105
<b>Figura 68</b> <i>Pronóstico de tiempo necesario para la carga total</i> .....	106
<b>Figura 69</b> <i>Gráfica de la autonomía final</i> .....	110

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de la variable independiente.....	24
<b>Tabla 2</b> Operacionalización de la variable dependiente .....	25
<b>Tabla 3</b> Metodología de investigación .....	28
<b>Tabla 4</b> Metodología de investigación .....	37
<b>Tabla 5</b> Baterías con tecnología de litio.....	38
<b>Tabla 6</b> Tipos de cargadores según su ubicación .....	45
<b>Tabla 7</b> Clases de cargadores para vehículos eléctricos.....	46
<b>Tabla 8</b> Clases de cargadores para vehículos eléctricos.....	47
<b>Tabla 9</b> Clases de cargadores para vehículos eléctricos.....	48
<b>Tabla 10</b> Parámetros más comunes de los métodos de carga inalámbrica.....	50
<b>Tabla 11</b> Parámetros más comunes de los métodos de carga inalámbrica.....	57
<b>Tabla 12</b> Tabla de verdad para el accionamiento de las compuertas de los Mosfet.....	76
<b>Tabla 13</b> Proceso para la realización de pruebas del prototipo .....	93
<b>Tabla 14</b> Mediciones eléctricas de las configuraciones para el prototipo 1 sin ensamblar. .	95
<b>Tabla 15</b> Mediciones eléctricas de las configuraciones para el prototipo 1 .....	96
<b>Tabla 16</b> Mediciones eléctricas de las configuraciones para el prototipo 2 sin ensamblar. .	97
<b>Tabla 17</b> Mediciones eléctricas de las configuraciones para el prototipo 2 .....	97
<b>Tabla 18</b> Alcance por marcha del vehículo eléctrico. ....	100
<b>Tabla 19</b> Medición de voltaje de la batería por el ciclo de conducción. ....	102
<b>Tabla 20</b> Medición de voltaje de la batería. ....	103
<b>Tabla 21</b> Proceso para determinar el aumento de autonomía en la motocicleta eléctrica .	107
<b>Tabla 22</b> Recurso Humano.....	111
<b>Tabla 23</b> Recurso Tecnológico.....	112
<b>Tabla 24</b> Recursos Materiales.....	112
<b>Tabla 25</b> Recursos Materiales.....	113

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

<b>Ecuación 1</b> <i>Factor de acoplamiento</i> .....	54
<b>Ecuación 2</b> <i>Coeficiente de inductancia mutua</i> .....	55
<b>Ecuación 3</b> <i>Factor de Calidad</i> .....	55
<b>Ecuación 4</b> <i>Transferencia inductiva</i> .....	56



## Resumen

En este proyecto de investigación se desarrolló un sistema de carga inalámbrica por inducción magnética, para su aplicación, se utilizó softwares especializados para determinar los parámetros de construcción de las bobinas, se consideró una carga estática que contempla una relación de carga a la misma altura entre el soporte de estancamiento (caballete) de la motocicleta eléctrica y la estación primaria de transmisión por inducción, es decir, sin desplazamiento vertical entre la bobina transmisora y la bobina receptora. Para determinar el cumplimiento de los requerimientos, en la etapa de diseño, se utilizó técnicas de construcción de mayor eficiencia y simuladores; para analizar las características del campo inductivo generado por las bobinas, para conocer la frecuencia generado por el inversor y para descubrir la potencia generada por las etapas de resonancia del transmisor y receptor, finalmente, se puede conocer, a través del factor de acoplamiento, la potencia generada por el circuito completo. El sistema de carga desarrollado logra una eficiencia de transmisión del 90%, con una frecuencia de 260KHz. Para optimizar la relación de transmisión por inducción entre las bobinas, el sistema usa un mecanismo manivela-corredora que permita la transmisión por núcleo de ferrita común, se logró así, a la salida del secundario, 36.54V a 950mA. Para estabilizar la energía requerida por la batería y no desgastar su vida útil, el sistema implementa una fuente step down-up tipo boost para lograr una salida de 12V a 1A a la alimentación de la batería-. El sistema finalmente fue evaluado con pruebas de autonomía para determinar la mejora alcanzada.

*Palabras clave:* Inducción magnética, carga inalámbrica, vehículo eléctrico, construcción de bobinas.

### **Abstract**

The research proposes the development of a wireless charging system by magnetic induction, for its application specialized software was used where the construction parameters of the coils are determined. For the execution, a static load is carried out that contemplates a load relation at the same height between the stagnation support (leverage) of the electric motorcycle and the primary transmission station by induction, that is, without vertical displacement between the transmitting coil and the receiving coil. To determine compliance with the requirements, in the design stage, more efficient construction techniques and simulators are used to analyze the characteristics of the inductive field generated by the coils in relation to the frequency generated by the inverter and the power generated by the resonance stages of the transmitter and receiver. Through the coupling factor, the power generated by the complete circuit can be known. The developed charging system reaches a transmission efficiency of 90%, with a frequency of 260 KHz. In order to optimize the transmission ratio by induction between the coils, the system uses a crank-slider mechanism that allows transmission through a common ferrite core, thus achieving a secondary output of 36.54 V at 950 mA. To stabilize the energy required by the battery and not wear out its useful life, the system implements a boost-type step-down-up supply and achieve an output of 12 V at 1 A on battery power. The system is finally evaluated with autonomy tests to determine the improvement achieved.

*Keywords:* magnetic induction, wireless charging, electric vehicle, coil building.

## Capítulo I

### Marco metodológico de investigación

#### Antecedentes investigativos

La carga por inducción permite establecer una conexión para transmitir energía eléctrica a través de bobinas.

El nombre WREL significa “Wireless Resonant Energy Link”, se refiere a un tipo de tecnología de transmisión de energía resonante inalámbrica que fue inventada por Intel. La técnica se basa en un acoplamiento inductivo resonante estrechamente acoplado que es creado por resonadores electromagnéticos. (Sabry, 2019, capítulo 16)

Según (Croll, 2015) actos tan cotidianos como ir a estudiar o trabajar, el servicio postal o de paquetería o los viajes están basados en la actividad de los distintos medios disponibles. Se estima que las necesidades del sector se vean incrementadas hasta el año 2050. Según la Comisión Europea, las necesidades de movilidad de mercancías se elevan en un 60%, mientras que las de movilidad de pasajeros lo hará un 40%. (pp. 32-34)

Con la finalidad de superar el problema del calentamiento global y de las emisiones contaminantes en las zonas urbanas, es necesaria una transición ecológica que sea capaz de romper con la tendencia de las últimas décadas. La evolución en el ámbito del transporte es uno de los pilares donde más se debe profundizar esta evolución. En este aspecto, la movilidad eléctrica es la gran candidata para convertirse en la solución a la problemática previamente descrita. (IPCC, 2013, pp. 9-13)

Para (Greenpeace, 2016):

“Tal y como se ha visto antes, los diferentes avances en el ámbito de la tecnología eléctrica, como el coche eléctrico o las energías renovables, han permitido avanzar en la lucha de problemas globales como el cambio climático o la contaminación urbana. En sintonía con esto, existen multitud de campos complementarios en plena investigación, cuyo desarrollo puede suponer una ayuda complementaria a la solución de dicha problemática. De este modo, surge la causa del ámbito de este estudio: el avance de la carga inalámbrica aplicada a la movilidad eléctrica”. (pp. 12-17)

La transmisión inalámbrica de energía eléctrica tiene su base en los propios inicios del conocimiento de la energía eléctrica. Esto es, entre otros, el experimento de Michael Faraday, en el que observa la inducción existente a causa de la interacción magnética de un imán y una bobina. Ello desembocó en la ley de inducción de Faraday y la ley de Ampere, las cuales fueron posteriormente aunadas entre las leyes de Maxwell del electromagnetismo.

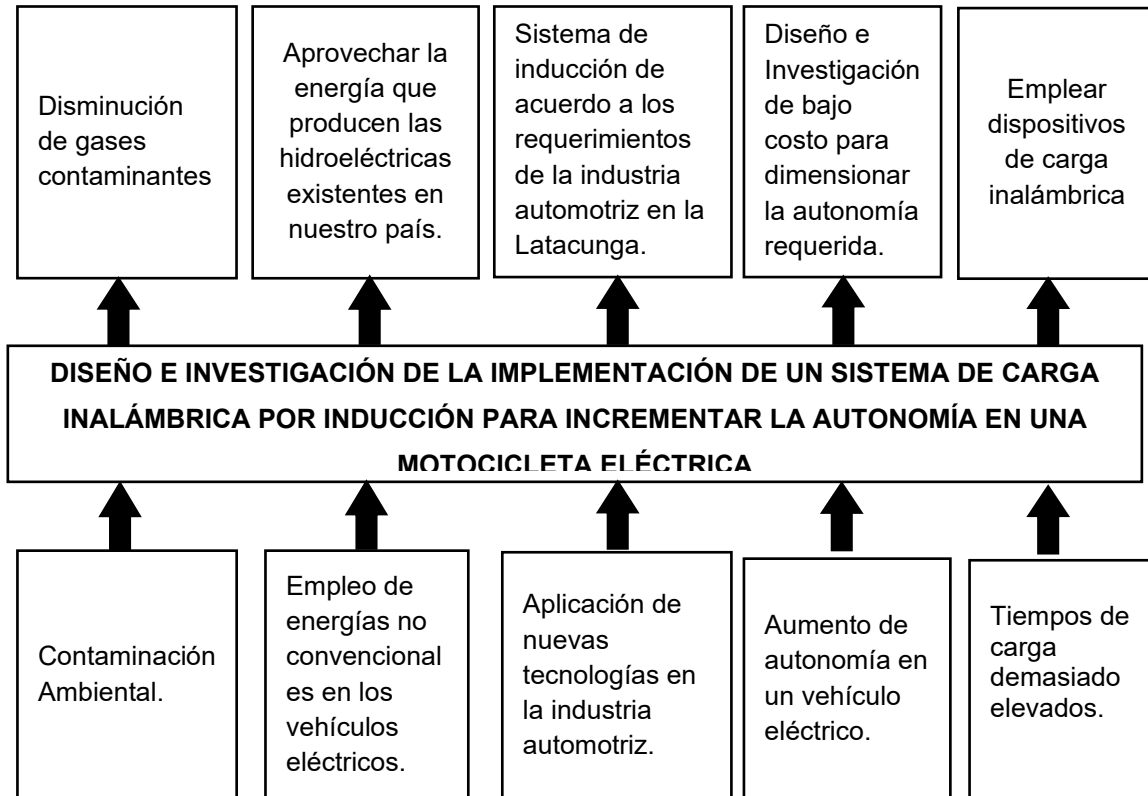
Para (Lelieveld, & Jos, 2019) originalmente en los trabajos se contextualizan estos sistemas los cuales estaban basados en acción inductiva mutua entre dos bobinas a una cierta distancia entre sí. Las investigaciones a lo largo de los últimos años han tratado de mejorar la eficiencia y capacidad de transferencia entre emisor y receptor a través de la adición de nuevos elementos, tales como condensadores o más bobinas en distintas configuraciones. (pp. 1590-1596)

En la actualidad, la transferencia inductiva de potencia está mucho más presente, tanto en la industria como en el día a día. Existen numerosos ejemplos de aplicaciones que tienen estos sistemas: en la carga de los cepillos eléctricos de dientes, robots guía que se cargan a lo largo de un carril mientras se desplazan, cargadores inalámbricos para teléfono móvil. No obstante, la aplicación para la carga de vehículos eléctricos, está en fase de investigación y desarrollo por parte del sector automovilístico (Weart, 2008, pp. 46-48).

## Planteamiento del problema

**Figura 1**

*Árbol de problemas*



*Nota.* Se presenta el esquema del árbol de problemas.

La movilidad eléctrica es una de las áreas de la ingeniería que ha evolucionado en la actualidad. Es más habitual ver coches y motocicletas eléctricas en las ciudades, así como los patinetes urbanos que son nuevos medios de transporte.

El problema del calentamiento global y la contaminación de las ciudades, promueve este cambio en la movilidad. Ya que en los últimos años la mayoría de los avances tecnológicos e industriales por parte del ser humano, afecta el estado del planeta, por lo que se hace necesario investigaciones con el fin de minimizar los impactos del cambio climático. Entre ellos la movilidad mediante energías no convencionales de bajo costo con tecnología inalámbrica.

La motivación de este trabajo reside en desarrollar una técnica avanzada, que ayude en la lucha contra el calentamiento global y la contaminación urbana que sufre el planeta. Se trató posibles soluciones al problema como: estudios de la implicación de emisiones en el sector del transporte, se analizó el papel del vehículo eléctrico para la mejora de la situación y sus consecuencias en el futuro, etc.

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

En la presente investigación se estudia, investiga, diseña e implementa, un sistema de carga inalámbrico, para lo cual se desarrollaron las siguientes actividades.

- Se realizó un cuadro investigativo, donde se evidenciará los tipos de vehículos eléctricos utilizados en el Ecuador.
- Se diseñó un sistema de transferencia de carga inalámbrica con bobinas de alambre magneto.
- Se determinó las características de construcción de las bobinas mediante software coil64.
- Se analizó los resultados del diseño, para determinar si la transferencia inductiva de potencia es una tecnología aplicable a la carga de motocicletas eléctricas.
- Se implementó el cargador inalámbrico y se consideró que las bobinas se diseñan y construyen en base a las medidas de la palanca de estancamiento motocicleta.
- Se creó un protocolo de pruebas que evalúe los valores de autonomía inicial y final con variables que se debe tomar en cuenta en el desarrollo.
- Se analizó el comportamiento del vehículo se tiene como referencia los parámetros obtenidos de acuerdo al diseño, la simulación y el comportamiento de la autonomía del vehículo.

### **Justificación e importancia.**

Hoy en día, la mayor parte de la población mundial es consciente de la magnitud del problema ambiental de nuestro planeta. La situación climática se ha convertido en una

cuestión universal, es tratada por científicos, políticos y medios de comunicación. Existe una preocupación general sobre los efectos que el calentamiento puede causar, y las medidas, tanto individuales como colectivas, que son necesarias para paliar esta situación.

Para conseguir una expansión definitiva en la movilidad eléctrica, es fundamental que exista una infraestructura para fortalecer esta nueva tecnología. Es así que, en los últimos tiempos, la carga inalámbrica se ha introducido en los mercados de diversos campos y tecnologías. En concreto, la gran mayoría de tecnologías han introducido esta transferencia inalámbrica de potencia basándose en la transmisión inductiva, a través de dos bobinas.

No obstante, a pesar de que la revolución de la carga inalámbrica llegó de forma más tardía a los vehículos eléctricos, multitud de empresas del sector automovilístico se encuentran en la actualidad en desarrollo esta tecnología. En los automóviles eléctricos, la transferencia inductiva de potencia se puede realizar de dos maneras distintas.

La opción principal, es la carga inductiva estática, la cual supone cargar el vehículo mientras este está estacionado o cargando la batería principal de litio.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

Diseñar e implementar un sistema de carga mediante modelos de carga inalámbricos de tipo magnético, en motocicletas eléctricas para optimizar su autonomía.

### ***Objetivos específicos.***

- Investigar en fuentes de información confiables acerca de los principales parámetros de modelos de carga inalámbrica.
- Realizar un estado del arte del tipo de carga con energía no convencional para los vehículos eléctricos de clase moto.
- Modelar la aproximación del sistema de carga inalámbrico mediante un software de elementos finitos.

- Seleccionar los componentes del sistema de carga inalámbrico para el vehículo eléctrico de bajo consumo y que sean factibles ubicarlos en el mercado.
- Implementar el sistema de carga inalámbrico en el vehículo mediante bobinas de inducción.
- Crear un protocolo de pruebas que permita analizar el funcionamiento del sistema de carga inalámbrico.
- Comparar los tiempos de carga con y sin el sistema de carga inalámbrica.
- Determinar la factibilidad de implementación del sistema de carga magnética.

### Meta

- Obtener un sistema viable de carga inalámbrica para una motocicleta eléctrica que permita un aumento de autonomía y reducción de los tiempos de carga.

### Hipótesis

La utilización del sistema de carga inalámbrico contribuirá a optimizar los modelos simulados por otros estudios para la transmisión de energía por inducción magnética enfocados al automóvil eléctrico, para ser implementado en una motocicleta eléctrica.

### Variables de la investigación

#### Variable independiente

Sistema de carga inalámbrico por inducción magnética

#### Operacionalización de variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de la variable independiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Son los componentes para el sistema de	Batería de alto voltaje	Voltaje	V	Medición	Protocolo de pruebas
		Intensidad	A	Experimentación	
		Energía	kWh		
		Intensidad	A		



Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
carga inalámbrico	Elemento de inducción	Autonomía	Km	Medición	
		en distancia		Experimentación	
		Autonomía eléctrica	Ah		
	Controlador motor eléctrico	Potencia	kW	Medición	
		Voltaje	V	Experimentación	
	Cargador a bordo	Voltaje	V	Medición	
	Corriente	A	Experimentación		
		Potencia	kW		

*Nota.* Se presenta la operacionalización de la variable independiente.

### Variable dependiente

Aumento de autonomía complementaría en vehículo eléctrico

**Tabla 2**

*Operacionalización de la variable dependiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos	
Es la modelación y simulación del sistema de carga por inducción en un vehículo eléctrico	Señales de entrada	Velocidad	m/s	Medición	Protocolo de pruebas	
		Tiempo	S	Experimentación		
		Campo electromagnético	A/m	ón		
		Campo eléctrico	V/m			
			Fuerza Mecánica	Ev		
	Señales de salida	Potencia mecánica	kW	Medición	Experimentación	
		Potencia eléctrica	kW	ón		
		Voltaje	V			
		Corriente	A			
		SOC	%			

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
		Distancia recorrida	Km		

*Nota.* Se describe la variable dependiente de la investigación.

### **Metodología de la investigación**

Para obtener un conocimiento amplio sobre los sistemas de carga inalámbricos en motocicletas eléctricas, en el presente trabajo es conveniente utilizar una metodología que permita la aplicación de varios métodos y técnicas, con el propósito de compilar información sobre: autobuses eléctricos, componentes, equipos, cálculos eléctricos, costos, etc.

En este trabajo se utilizaron diversos métodos y técnicas generales para las diversas ramas de la ciencia, para el proceso de investigación se utiliza procedimientos con mayor o menor énfasis, al momento de su desarrollo los métodos que se aplican son comparativo, experimental, matematización, modelación, medición, científico, inductivo y deductivo para el desarrollo de la investigación.

### **Método Comparativo**

En la investigación se aplicó el método comparativo, que permite establecer las similitudes y diferencias: de motores eléctricos, controlador de motor eléctrico, baterías, cargador del vehículo además de vehículos eléctricos existentes en nuestro país.

### **Método Experimental**

Mediante este método se realizó pruebas, para obtener el coeficiente de inducción que se genera al momento de cargarse entre la pata de carga y el cargador de carretera de acuerdo a la variación de velocidad respecto a una variación de tiempo y el coeficiente de arrastre aerodinámico generado en un diagrama de inducción electromagnética, con ayuda del software de elementos finitos.

**Método de Matematización**

Con este método se diseñó un modelo matemático con ecuaciones de la inducción del vehículo y parámetros de voltaje, amperaje de la batería.

**Método de Modelación**

Mediante este método se reprodujo el comportamiento del sistema de carga inalámbrica del vehículo eléctrico con su respectiva simulación, en diagramas de bloques para explicar su funcionamiento en tiempo real.

**Método de Medición**

Para el método de medición se obtuvo valores numéricos de potencia (eléctrica), consumo de energía, distancia, velocidad, aceleración, el estado de carga de la batería y la fuerza total de tracción en tiempo real, esto para un ciclo de conducción específico incluso con pendientes.

**Método Científico**

Este método permitió tratar datos mediante técnicas de tabulación experimental en base al coeficiente de inducción, pruebas en pendiente para determinar el aumento de autonomía en la batería.

**Método Inductivo**

Mediante este método se estimó el aumento de latencia de carga de la batería y el efecto de la potencia, en proporción a la variación de tiempo en un espacio determinado de prueba. Esto permite seleccionar un sistema de carga inalámbrico y un control de carga de batería, para el caso de uso.

**Método Deductivo**

La técnica deductiva analizó los resultados a partir del diseño de la simulación mediante el uso de software de elementos finitos, se obtuvo como resultado las curvas de potencia (eléctrica), consumo de energía, distancia, velocidad, aceleración, estado de carga de batería, estas gráficas servirán para interpretar su funcionamiento y usar sus respectivos componentes.

**Tabla 3***Metodología de investigación*

<b>Metodología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Equipo</b>	<b>Instalaciones y citas-virtual</b>
Comparativo	En la investigación se usa el método comparativo, que permite establecer las similitudes y diferencias: de motores eléctricos, controlador de motor eléctrico, baterías, cargador del vehículo además de vehículos eléctricos existentes en nuestro país.	Computador, Microsoft Excel	Laboratorio de Autotrónica -Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"
Experimental	Mediante este método se puede realizar pruebas, para obtener el coeficiente de inducción que se genera al momento de cargarse entre la pata de carga y el cargador de carretera de acuerdo a la variación de velocidad respecto a una variación de tiempo y el coeficiente de arrastre aerodinámico generado en un diagrama de inducción electromagnética, con ayuda del software de elementos finitos.	Computador, Software de cálculo, Software de elementos finitos	Laboratorio de Autotrónica -Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"
Matematización	Con este método se puede diseñar un modelo matemático con ecuaciones de la inducción del vehículo y parámetros de voltaje, amperaje de la batería.	Computador, Software de elementos finitos	Laboratorio de Autotrónica -Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"
Modelación	Mediante este método se puede usar para reproducir el comportamiento del sistema de carga inalámbrica del vehículo	Computador, software de simulación	Laboratorio de Autotrónica -Biblioteca de la Universidad de

<b>Metodología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Equipo</b>	<b>Instalaciones y citas-virtual</b>
	eléctrico con su respectiva simulación, en diagramas de bloques para explicar su funcionamiento en tiempo real.		las Fuerzas Armadas "ESPE
Medición	Para el método de medición se obtiene valores numéricos de potencia (eléctrica), consumo de energía, distancia, velocidad, aceleración, el estado de carga de la batería y la fuerza total de tracción en tiempo real, esto para un ciclo de conducción específico incluso con pendientes.	Computador, Software de elementos finitos	Laboratorio de Autotrónica -Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE
Científico	Este método permitirá tratar datos mediante técnicas de tabulación experimental en base al coeficiente de inducción, pruebas en pendiente para determinar el aumento de autonomía en la batería.	Computador, Software de elementos finitos	Laboratorio de Autotrónica -Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE
Inductivo	Se pretende estimar el aumento de latencia de carga de la batería y el efecto de la potencia, en proporción a la variación de tiempo en un espacio determinado de prueba. Esto permite seleccionar un sistema de carga inalámbrico y un control de carga de batería, para el caso de uso.	Computador, Software de elementos finitos	Laboratorio de Autotrónica -Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE
Deductivo	La técnica deductiva analiza los resultados a partir del diseño de la simulación mediante el uso de software de elementos finitos, se	Computador, Software de elementos finitos	Laboratorio de Autotrónica -Biblioteca de la Universidad de

<b>Metodología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Equipo</b>	<b>Instalaciones y citas- virtual</b>
	obtuvo como resultado las curvas de potencia (eléctrica), consumo de energía, distancia, velocidad, aceleración, estado de carga de batería, estas gráficas servirán para interpretar su funcionamiento.		las Fuerzas Armadas "ESPE

*Nota.* La tabla describe la metodología utilizada en el desarrollo de la investigación.

## Capítulo II

### Marco teórico

#### Vehículo eléctrico (EV)

Desde el punto de vista mecánica de los componentes, los vehículos eléctricos son más sencillos que los de combustión interna. Los vehículos eléctricos poseen un dispositivo de abastecimiento de energía que suministre al motor eléctrico. Los motores utilizados en la fabricación de vehículos eléctricos han abarcado las diferentes tecnologías existentes, tanto de corriente continua como de alterna.

Los motores asíncronos se han establecido como los más óptimos para la movilidad eléctrica tanto por su robustez y su fácil mantenimiento.

El principal inconveniente que presentan estos vehículos es su autonomía limitada, la cual oscila entre los 80 y los 200 km, mientras que la principal ventaja que tiene el vehículo eléctrico es la independencia del petróleo como fuente de energía y la eliminación de las emisiones contaminantes (IPC, 2018, pp. 15-16).

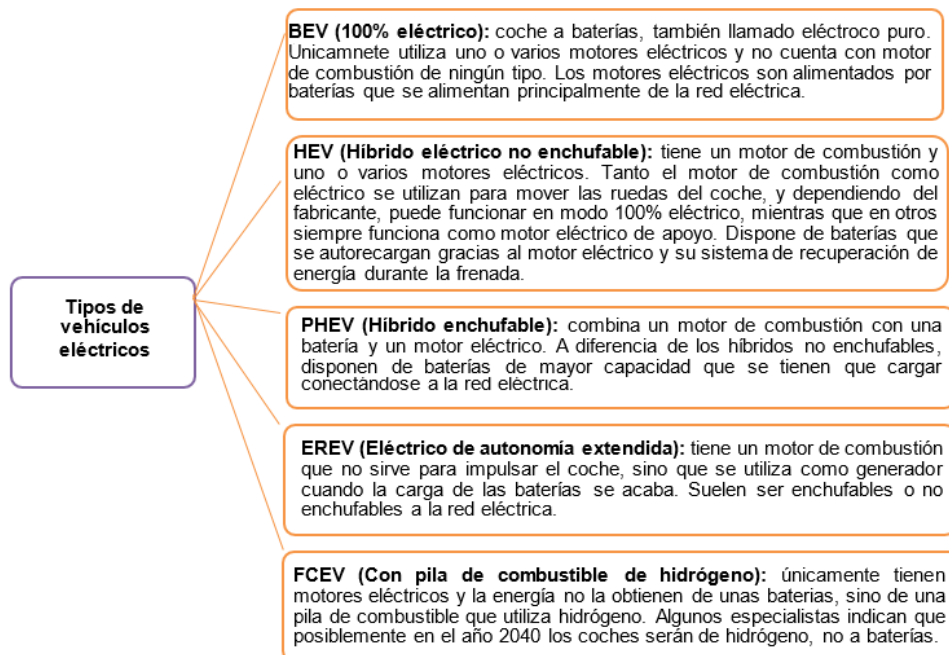
#### ***Principio de funcionamiento del vehículo eléctrico***

El vehículo eléctrico utiliza energía química, la cual esta acumulada en las baterías recargables, este se propulsa con la fuerza que produce un motor suministrado por energía eléctrica. Los motores se pueden instalar en un sistema eléctrico con el fin de recargar las baterías mientras esté detenido.

El motor eléctrico convierte la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la actuación de los campos magnéticos, el cual posee en su parte interior un elemento conductor que tiende a moverse dentro del campo magnético (MinEcología, 2020).

## Figura 2

### Tipo de vehículos eléctricos



*Nota.* Tipos de vehículos eléctricos. Tomado de (Gwynne, 2016).

### Movilidad eléctrica

La movilidad eléctrica describe a todo vehículo que emplea un motor eléctrico para su tracción, baterías como fuente de energía y un conjunto de dispositivos electrónicos de control que en conjunto ayudan a que este tipo de vehículos consigan altos niveles de eficiencia.

## Figura 3

### Vehículo eléctrico





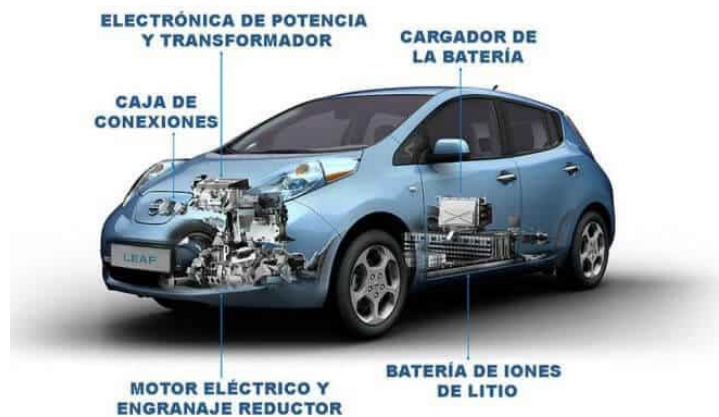
*Nota.* Vehículo eléctrico Renault Twizy. Tomado de (Ruiz, 2014).

### **Partes de un vehículo eléctrico**

Las partes de un vehículo eléctrico se exponen en la siguiente figura:

#### **Figura 4**

##### *Partes del vehículo eléctrico*



*Nota.* Partes del vehículo eléctrico. Tomado de (Ruiz, 2014).

### **Motor eléctrico**

Según (Renault, 2023) un motor eléctrico opera bajo los principios del electromagnetismo: cuando una corriente está presente en un campo magnético, el resultado es la aplicación de una fuerza. Esta fuerza producida genera torque (o rotación), y este efecto hace que el motor funcione y cree energía mecánica que mueven el auto.

#### **Figura 5**

##### *Motor eléctrico*



*Nota.* Motor eléctrico. Tomado de (Ruiz, 2014).

### ***Caja de conexiones o conector de carga***

Aloja el conector que permite enchufar el vehículo a una red eléctrica fija.

### ***Unidad de control***

Es la pieza de control central, gestiona los sistemas del automóvil y al automóvil en sí, controla la aceleración, la estabilidad, el reparto en el par de ejes y la tracción, entre otros.

### ***Controlador***

Esta pieza controla la entrega de potencia de la batería hacia el motor eléctrico.

### ***Consumo de energía en el Ecuador***

Debido al análisis de Balance Energético Nacional desarrollado en 2019, el consumo de energía eléctrica por persona en los períodos de 2009 al 2019, muestra un aumento del 39,4%, es decir existe un incremento del 1.088 kWh por habitante a 1.517 kWh. En cierta medida esto se debe por el ingreso de vehículos eléctricos al país y la creación de electrolineras en puntos estratégicos.

### **Figura 6**

#### ***Electrolinera***



*Nota.* Vehículo eléctrico conectado a un punto de carga público. Tomado de (Dumancela, 2021).

## **Motocicleta eléctrica**

### ***Definición***

Es un vehículo de baja velocidad de uso urbano para movilizarse con un costo muy bajo para volver a recargar la energía que usa para generar movimiento, posee una autonomía limitada debido al tamaño de su batería.

### **Figura 7**

#### ***Moto eléctrica***



*Nota.* La figura muestra una moto eléctrica con diseño vanguardista. Tomado de (García G. , 2021).

Es una motocicleta que cuenta con varios diseños y adquiere innovaciones cada día, que le permiten aumentar la velocidad máxima, misma que está regulada por un controlador que logra un eficiente consumo de energía.

### ***Componentes de motocicleta eléctrica***

#### **Baterías**

Las baterías se consideran una de las temáticas debatibles en diferentes artículos de divulgación científica, de acuerdo con (Aguilar Gamarra , 2014) plantea en su trabajo la importancia de la implementación y la búsqueda constante de energías renovables limpias,

con el fin de erradicar o al menos disminuir la contaminación ambiental; todo esto desemboca en el análisis de la capacidad de almacenamiento de energía de las baterías que permite el desarrollo de las diferentes fuentes alternativas.

Se analiza el tema de baterías que se han empleado en los vehículos eléctricos, ya que se considera el elemento que proporciona la energía para que los mismos trabajen de forma funcional. Las baterías han mejorado en función de la necesidad y los requerimientos del mercado.

Según (Palao Maíz, 2019) las baterías permiten almacenar energía eléctrica y estos dispositivos tienen la función de liberarla de manera controlada en forma de corriente continua. Sus propiedades eléctricas básicas tienen la capacidad de generar una cantidad de energía, con una mínima disminución de potencial. (Fonseca, 2011)

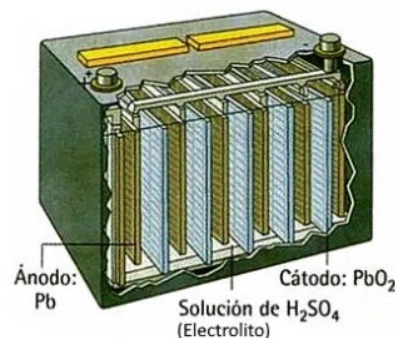
Existen varios tipos de baterías, de los cuáles se realizó un análisis detallado a continuación:

### **Batería de plomo-ácido**

La batería Pb – ácido se ha considerado como la batería más empleada en el ámbito automotriz según lo que (Fonseca, 2011) plantea en su trabajo. “En el ensamblaje de las baterías comerciales se han colocado de forma alterna placas positivas y negativas en celdas de plástico las cuales han debido ser conectadas en serie para que puedan proporcionar un mayor voltaje”.

### **Figura 8**

#### *Batería de ácido plomo*



*Nota.* Funcionamiento de la batería Plomo – ácido. Tomado de (VT BATTERIES SL, 2021)

Según (VT BATTERIES SL, 2021) las baterías plomo ácido tienen una diferencia frente a las de litio y es que soportan picos de descarga muy altas durante pocos segundos, algunas de ellas presentan la característica de ser duales. A continuación, se detallan ventajas y desventajas de las baterías que cuenta con la tecnología plomo arranque.

**Tabla 4**

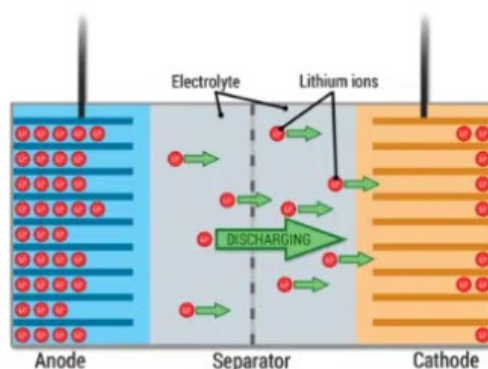
*Metodología de investigación*

<b>Tecnología plomo arranque</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Plomo Ácido</b>	Coste más bajo Gran cantidad de aplicaciones Son seguras	Pocos ciclos de descarga Reciclaje
<b>AGM/EFB o GEL</b>	Mayor respuesta a descargas para coches tipo Start-Stop Más ciclos de carga descarga	Coste más alto Reciclaje
<b>Spiral Cell (OPTIMA)</b>	Más amperaje en menor espacio Soportan bien las descargas	El coste más alto de las 3 Pocos modelos Reciclaje

*Nota.* Tipos de batería de Plomo-Acido. Tomado de (VT BATTERIES SL, 2021).

## **Litio**

Las baterías de litio presentan varias ventajas frente al resto, sobre todo si se compara su peso y su capacidad de almacenamiento. El funcionamiento de las baterías ion – litio se basan en proceso denominados inserción – desinserción de iones de litio, dichas reacciones se realizan en estado sólido con compuestos como electrodos como se muestra en la Figura 9. (Fonseca, 2011)

**Figura 9***Batería de Litio*

*Nota.* Funcionamiento de la batería Ion – litio. Tomado de (VT BATTERIES SL, 2021).

Si se realiza una comparación de sus características, soporta descargas más profundas que las baterías convencionales, la comparación de su peso puede ser hasta 10 veces menor, si la calidad de la misma es alta soporta más ciclos de descarga que los habituales. De igual forma, pueden generar ciertos problemas con estas baterías cuando son sometidos a una manipulación incorrecta, sobre todo cuando se trabajan en altas temperaturas. (VT BATTERIES SL, 2021)

En la Tabla 5, se expone una comparación de las baterías con tecnología de litio, en la cual se exponen las ventajas y desventajas:

**Tabla 5***Baterías con tecnología de litio*

<b>Tecnología</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Litio NMC</b>	Muy extendida en sus primeras aplicaciones en vehículos como carros de golf Si tiene una buena electrónica, es la más segura.	Muy inflamables a altas temperaturas. Menor soporte a ciclos profundos
<b>Litio ION (Li-ION) Electrolito líquido</b>	La más extendida por el momento.	Inflamables a altas temperaturas o golpes

<b>Tecnología</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
	Bajo coste (En comparación con otras alternativas en litio)	
<b>Litio ION (Li-Po) Electrolito sólido</b>	Es la más inestable puesto que al perforarlo la batería explota (Se perfora el separador). Son los estándares al tener el electrolito sólido. Mejor desempeño y menos desgaste	Coste más alto Tienen menos capacidad que el litio-ION Inflamables a altas temperaturas o golpes
<b>Litio Ferrofosfato (LiFePO4)</b>	Más seguras que el litio ION y litio NMC Más ciclos de carga y descarga Seguras ante altas temperaturas y/o golpes	El coste más alto de todos al estar menos extendido

*Nota.* Tipos de baterías. Tomado de (VT BATTERIES SL, 2021).

### **Níquel – Hidruros**

Las baterías de níquel – hidruros son mayormente aplicables en vehículos híbridos, las mismas que son más baratas que las de litio (utilizadas en vehículos eléctricos), la ventaja que tienen frente a las de litio es que no están construidas con líquidos inflamables. Esta batería permite prescindir del elemento extremadamente costoso que es el cadmio y sobre todo por el impacto que este provoca en la naturaleza. (Palao Maíz, 2019).

Se estableció una comparativa con las de Ni-Cd las de níquel – hidruros son menos propensas a requerir ciclos de recuperación, tienen mayor resistencia a la sobrecarga a largo plazo con corrientes bajas, larga vida útil y provocan menor toxicidad en el ambiente; como se puede visualizar en la Figura 10, sus dimensiones aproximadas tienen una capacidad aproximadamente dos veces mayor que los acumuladores estándar de otros tipos. (Molina Redrobán , 2019)

## Níquel Cadmio

Este tipo de baterías están formados por cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo compuesto de cadmio y el electrolito es de hidróxido de potasio, como se puede visualizar en la Figura 11; son muy utilizadas en el ámbito doméstico debido a que son recargables y presentan un rango de temperaturas de trabajo muy amplio a pesar de su baja capacidad de almacenamiento. (Molina Redrobán , 2019)

### Figura 10

*Batería de Níquel-hidruros*



*Nota.* Batería de Níquel-Hidruros. Tomado de (Martinez, 2018).

### Figura 11

*Batería Níquel – Cadmio*



*Nota.* Batería Níquel - Cadmio. Tomado de (Martinez, 2018)



Estas baterías presentan varias ventajas como, por ejemplo: baja impedancia interna, mantiene la tensión equilibrada durante casi el 90% de carga; de igual forma se tiene ciertos inconvenientes con estas baterías tales como: no permite realizar la carga a tensión constante puesto que generarían altas corrientes, se debe evitar las bajas temperaturas.

## **Motores**

(Castro, 2014, p.27) comenta que dadas las características que poseen las motocicletas eléctricas, es preciso emplear motores eléctricos de alta densidad de potencia, que brinde un alto rendimiento, capacidad de resistir sobrecarga durante períodos efímeros, diversos rangos de velocidades, par motor superior a bajas velocidades y finalmente costo razonable.

A fin de minimizar el volumen ocupado por los motores empleados para la propulsión de motocicletas eléctricas deben poseer las siguientes características para reducir el peso adicional que se debe transportar:

- Alta densidad de potencia.
- Amplio rango de variación de velocidad.
- Par motor alto en bajas velocidades con el objetivo de lograr aceleración eficiente y ofrecer alta capacidad para superar pendientes.
- Inercia nula para lograr respuestas rápidas en aumento o disminución de velocidad.
- Rendimiento alto en las diferentes velocidades que posee para poder superar demandas adicionales durante breves períodos.
- Costo razonable

(Castro, 2014, p.28) presenta una breve explicación de las máquinas eléctricas empleadas para tracción en los modelos comerciales de vehículos eléctricos. A continuación se realiza una breve referencia de los motores que enfocada hacia su utilización en vehículos eléctricos.

**Motores de corriente continua (MCC)**

Motor sensible al control de velocidad, adaptabilidad a las características de par motor, posee rendimiento deficiente y la presencia de un conmutador limita la capacidad de sobre carga y velocidad máxima; requiere mayor atención en el mantenimiento

**Motores de inducción (MI)**

El nombre de inducción se debe a su forma de operar, voltajes de corriente alterna se inducen en el circuito del rotor por el campo magnético giratorio. Compuesto de elementos de aluminio, cobre y acero. De este tipo de motores se obtiene energía de mayor calidad y más prolongada por la durabilidad de los equipos del que está compuesto. De este motor se obtiene mejores beneficios tales como robustez, alta confiabilidad, bajo mantenimiento y costo. Se accionan con inversores de control vectorial, permite velocidad variable.

El control de velocidad ha alcanzado un alto grado de madurez con técnicas confiables, sin embargo, presenta bajo rendimiento y bajo factor de potencia. A medida que su velocidad incrementa por arriba de la nominal, el rendimiento se reduce.

**Motor síncrono de imanes permanentes (MIP)**

Es posible construir motores síncronos a partir del desarrollo de imanes de alta energía, obtenidos de aleaciones de neodimio, boro y hierro. Obtiene la excitación del magnetismo remanente de imanes colocados en la superficie del rotor. En la aplicación de este método se evitan los anillos rozantes y pérdidas en el rotor, así se genera un mejor rendimiento que los motores de inducción. El factor de potencia también es alto.

**Motores de reluctancia conmutada (MR)**

El motor de reluctancia variable o conmutada muestra una construcción robusta y muy simple. Se puede obtener una región amplia de funcionamiento a potencia constante y su control es relativamente fácil. Un elevado rizado en el par motor, vibraciones que

producen elevado nivel de ruido e interferencia electromagnética son desventajas decisivas para su implementación en motocicletas eléctricas.

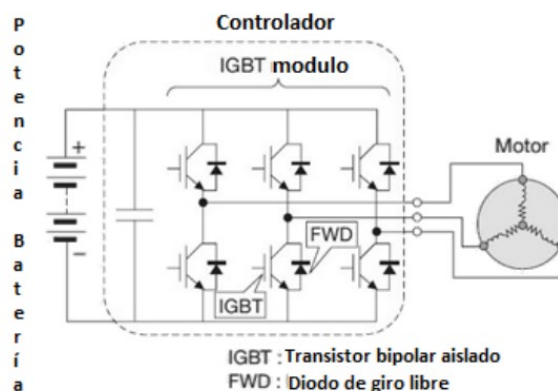
## Controladores

(Torrejón, 2010, p.47) menciona que, de manera simplificada, el controlador es un componente diseñado para tener la capacidad de recoger la energía almacenada en las celdas de la batería, regula la potencia enviada al motor del vehículo eléctrico para el correcto funcionamiento. Tiene como función principal cambiar una tensión de entrada de corriente continua a una salida simétrica de corriente alterna, con magnitud y frecuencia requerida por el diseñador, fabricante o el usuario.

Según (Castro, 2014, p.29) un controlador simple o también llamado inversor como el que se muestra en la Figura 12, tiene como componentes principales un oscilador que controla a un transistor, capaz de interrumpir la corriente entrante y generar una onda cuadrada. Un transformador alimentado de una onda cuadrada suaviza su forma, produce la tensión de salida necesaria y muestra una onda semejante a sinusoidal. Un inversor debe tener ondas de salida de tensión sinusoidales. Una buena manera de obtener tensión sinusoidal es utilizar modulación de ancho de pulso (PWM) se logró que la componente principal sinusoidal sea más grande.

### Figura 12

*Configuración de un controlador simple.*



*Nota.* Figura tomada de (Castro, 2014, p.29).

En la actualidad se ha comenzado a utilizar transistores avanzados o dispositivos similares, como tiristores, IGBTs o los triacs. Sistemas electrónicos complejos logran que los inversores sean más eficientes para llegar a una onda que se aproxime razonablemente a una onda sinusoidal en la entrada del transformado.

Como respuesta al aumento de la frecuencia sinusoidal de la corriente del motor la modulación de ancho de pulso (PMW) tiene que ser reajustada a una frecuencia de conmutación alta para lograr la capacidad de control. Al momento de una región de baja velocidad, existe un elevado flujo de corriente eléctrica, no se requiere una elevada frecuencia de conmutación.

(Castro, 2014, p.30) muestra una breve referencia a las principales características de los inversores para vehículos eléctricos.

- Compactos y ligeros.
- Control de velocidad, del par y control de potencia.
- Regulación de alta frecuencia (suave y rápida)
- Bajo EMI y silencioso.
- Funcionamiento para alta velocidad.
- Sin degradación del aislamiento del motor.
- Gestión térmica.
- Rangos de tensiones de 42 a 700 VDC.
- Bus de comunicaciones compatible (CAN).
- Ser compatible con el motor.
- Disponibilidad de diversos niveles de potencia.

## **Cargador**

(Romero, 2020, p.13) menciona que, las baterías disponibles en el mercado se cargan con corriente continua, la red proporciona una corriente alterna, por eso, para llegar a una corriente continua necesaria para cargar una batería, es elemental realizar una

transformación desde corriente alterna. Un circuito electrónico que puede estar ubicado dentro o fuera del vehículo llamado convertidor AC/DC también denominado como inversor es el encargado de realizar esta transformación.

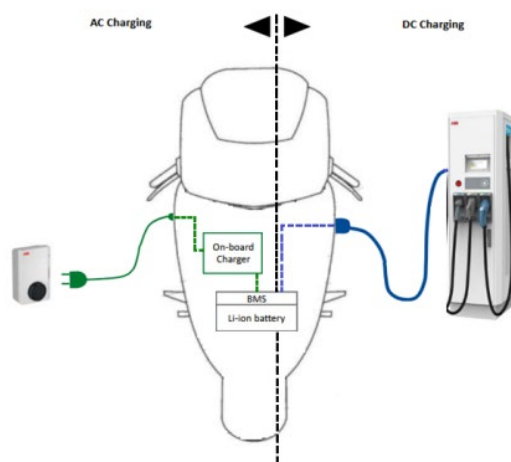
### ***Tipos de cargadores***

#### **Según el lugar donde se realiza la conversión AC/DC**

(Romero, 2020, p.13) contempla dos grupos de cargadores, según el lugar donde se lleva a cabo la conversión AC/DC es decir se tiene en cuenta el lugar donde se ubica el rectificador:

### **Figura 13**

*Tipos de cargadores por cable.*



*Nota.* Tipo de cargador por cables: Tomado de (Romero, 2020, p.13).

### **Tabla 6**

*Tipos de cargadores según su ubicación*

<b>Cargadores on-board</b>	<b>Cargadores off-board</b>
Este tipo de cargador se encuentra ubicado dentro del vehículo como se muestra en la	Como se muestra en la parte derecha de la Figura 13, estos cargadores se encuentran

<b>Cargadores on-board</b>	<b>Cargadores off-board</b>
parte izquierda de la Figura 13. De esta manera, se desarrolla el proceso de conversión AC/DC en el interior del vehículo	ubicados fuera del vehículo. De esta manera, el proceso de conversión AC/DC no se lleva a cabo dentro del interior del vehículo, sucede fuera de este, en el cargador, sitio donde se encuentra el ubicado el rectificador.

*Nota.* Descripción de tipos de cargadores.

### **En función de su clase de aislamiento**

(Romero, 2020, p.14) menciona la descripción de dos clases de cargadores en función de su clase de aislamiento:

#### **Tabla 7**

*Clases de cargadores para vehículos eléctricos.*

<b>Cargador clase I</b>	<b>Cargador clase II</b>
<b>En este grupo de cargadores se encuentran aquellos cargadores con conexiones simples y tierra, así como aislamiento y protecciones básicas.</b>	En este grupo de cargadores se encuentran aquellos cargadores con aislamiento reforzado y protecciones suplementarias.

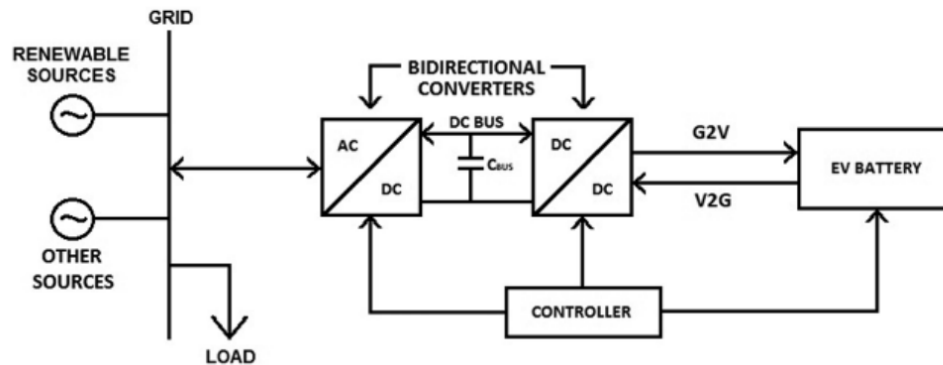
*Nota.* Cargadores según la clase de aislamiento.

### **En función del modo de gestión del flujo de energía entre el vehículo y la red**

(Romero, 2020, p.14) muestra en la Figura 14 una clasificación en dos grupos de cargadores en función de como gestionan el flujo de energía entre el vehículo y la red.

**Figura 14**

*Tipos de cargadores por cable.*



*Nota.* Topología general flujo de energía unidireccional/bidireccional. tomado de (Iturrate, 2021)

**Tabla 8**

*Clases de cargadores para vehículos eléctricos.*

Cargadores unidireccionales	Cargadores bidireccionales
Los cargadores unidireccionales solo tienen la capacidad de cargar la batería, pero no pueden inyectar energía a la red.	Los cargadores bidireccionales permiten cargar la batería y posee una capacidad especial que le permite inyectar energía en la red. También se lo conoce como V2G.

*Nota.* Descripción cargadores unidireccionales y bidireccionales.

### En función del modo de configuración de conexión a red

(Romero, 2020, p.15) menciona dos posibilidades de conexión a red, así explica dos tipos de cargadores:

**Tabla 9***Clases de cargadores para vehículos eléctricos*

<b>Cargadores con conexión a red del tipo monofásica (Cargadores monofásicos)</b>	<b>Cargadores con conexión a red del tipo trifásica (Cargadores trifásicos)</b>
Ese tipo de cargadores comienza su recorrido en una red eléctrica de corriente alterna monofásica con una tensión de alimentación de 230 V eficaces, con diferente frecuencia tanto en Europa a 50 Hz y en otros países como Japón o Estados Unidos a 60 Hz.	Este tipo de cargadores comienzan su recorrido en una red eléctrica alterna trifásica con una tensión de alimentación de 400 V eficaces, con diferente frecuencia tanto en Europa a 50 Hz y en otros países como Japón o Estados Unidos a 60 Hz.

*Nota.* Descripción de cargadores según el modo de conexión a red.

### ***Cargador Inalámbrico***

Un cargador inalámbrico es una base de carga que proporciona corriente a una motocicleta eléctrica a través de inducción magnética. Las baterías se recargan y entran en contacto con el cargador inalámbrico.

El cargador inalámbrico genera un campo electromagnético. El circuito generador en la base del cargador convierte la electricidad que recibe del enchufe de corriente alterna y genera, a través de bobinas de inducción, un campo que espera la llegada de otra bobina ubicada en la motocicleta eléctrica para transmitir la electricidad.

Sin necesidad de conectar ningún cable la conexión se realiza a través del magnetismo entre el circuito emisor y el circuito receptor. Al utilizar esta tecnología



magnética, la motocicleta eléctrica que se requiere cargar debe contener el circuito receptor cerca de este campo emisor para que la bobina del cargador inalámbrico lo detecte.

Se llevó a cabo la investigación de los principios básicos de carga inalámbrica y todo el fundamento teórico para construir un cargador inalámbrico:

### **Carga inalámbrica**

El mundo de hoy vive en una evolución electrónica dónde la movilidad juega un papel crucial. En este aspecto, las baterías tienen un papel muy importante en dicho escenario y, relacionado con las baterías, otro factor igual de importante es la carga inalámbrica. Este concepto es un importante avance y es donde más se tiene avance en los últimos años, ya que proporciona la comodidad de evitar cables sin prescindir de mantener siempre cargados todos nuestros dispositivos y listos para funcionar, independientemente del dispositivo que sea (desde un cepillo de dientes hasta un automóvil).

La carga inalámbrica se define como la transferencia de energía eléctrica entre un emisor (TX) y un receptor (RX) a través de ondas de inducción electromagnética. La Figura 15 muestra la arquitectura y configuración para el funcionamiento de un sistema de carga inalámbrica.

### **Carga inalámbrica en vehículos eléctricos**

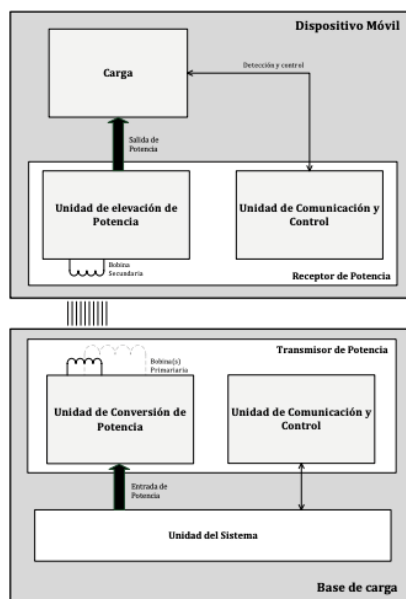
La transmisión inalámbrica de energía eléctrica tiene su base en los propios inicios del conocimiento de la energía eléctrica. Esto es, entre otros, el experimento de Michael Faraday, en el que observa la inducción existente a causa de la interacción magnética de un imán y una bobina. Ello desembocó en la ley de inducción de Faraday y la ley de Ampère, de esta forma, se considera a la inducción magnética como una aplicación principal para la carga inalámbrica de vehículos eléctricos.

En perspectiva se conoce tres métodos utilizados para la transmisión de energía eléctrica de forma inalámbrica; carga inalámbrica inductiva, carga inalámbrica capacitiva y carga inalámbrica por microondas. Su principal diferencia radica en el alcance de distancia y

potencia de trabajo, y la nocividad para la salud humana. La relación de estos parámetros se muestra en la Tabla 10, los valores que se muestran en la tabla son aquellos más utilizados en investigaciones y modelos comerciales (Artus, Marín, & Enzo., 2019).

**Figura 15**

*Diagrama de bloques TX/RX de la carga inalámbrica (Qi)*



*Nota.* Diagrama de bloques de la carga inalámbrica, Tomado de (Gwynne, 2016, págs. 15-19).

**Tabla 10**

*Parámetros más comunes de los métodos de carga inalámbrica.*

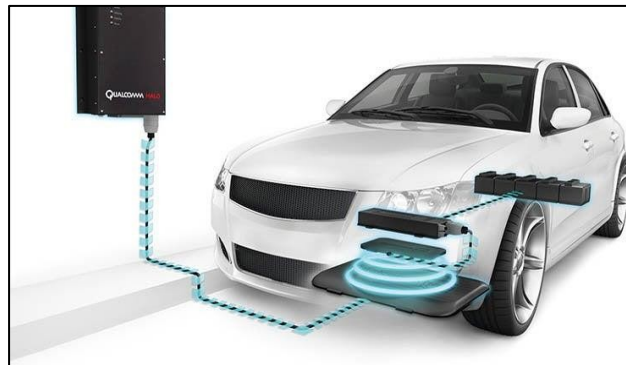
Método	Distancia (cm)	Eficiencia (%)	Nocivo
Capacitivo	0 - 25	88.2	Si
Inductivo	0 - 25	97	No
Microondas	0 - 100	76	Si

*Nota.* Tipo de carga inalámbrica.

La transmisión eléctrica a distancia, durante sus inicios, estuvo íntimamente ligada con el comienzo de los sistemas de comunicaciones, con respecto al envío de paquetes de datos. Así, en 1887, Heinrich Rudolf Hertz fue el primero en lograr transmitir energía a través del aire, lo cual supuso la primera piedra en el ámbito de las telecomunicaciones modernas, que años más tarde se consolidaría con la invención de la radio (IDAE, 2019, págs. 5-9). La Figura 16 muestra un modelo comercial de carga inalámbrica por inducción magnética, donde interviene dos bobinas ubicadas a una altura variable. Este tipo de carga es considerado estático, debido a, el posicionamiento del vehículo con relación al sistema de carga inalámbrico.

### Figura 16

*Sistema de carga inductiva estática en un vehículo*



*Nota.* Ejemplo carga inalámbrica en vehículo eléctrico. Tomado de (IDAE, 2019, págs. 5-9).

### **Modelos actuales en el mercado para la carga inalámbrica de vehículos eléctricos.**

En España, la empresa malagueña PREMO acaba de presentar los resultados de su trabajo: un sistema que incorpora las nuevas antenas WC-RX, como se muestra en la Figura 17, dotadas de bobinas secundarias compactas que permiten la carga sin contacto de todo tipo de vehículos eléctricos.

Los trabajos realizados hasta la fecha han dado ya algunos frutos. Las empresas chinas Zhejiang VIE y Anjie Wireless Technology han utilizado los diseños de WiTricity para

tener una instalación de recarga e implementar su uso con un coche eléctrico Xpeng que estaciona de forma autónoma y recarga sus baterías mientras utiliza la tecnología de resonancia desarrollada por WiTricity.

### Figura 17

*Modelo de carga inalámbrica con las nuevas antenas WC-RX*



*Nota.* Modelo de carga inalámbrica. Tomado de (IDAE, 2019).

### Futuro y ventajas de la carga inalámbrica

Uno de los mayores beneficios que podría conllevar esta tecnología es la conexión del vehículo a la red. Este concepto resulta en la conexión bidimensional tanto de energía eléctrica como de datos entre la red y vehículos eléctricos de cierto lugar, se tiene de esta forma posibilidad de almacenamiento de la red mediante la posibilidad de cargar o descargar las baterías de los usuarios. El V2G tiene como base que los automóviles se encuentren de manera regular conectados a la red eléctrica. Si hubiera puntos de recarga inalámbrica en los distintos aparcamientos de las ciudades, los conductores estarían conectados a la red de forma automática, sin tener que conectar y desconectar cables, con lo que la simplicidad de este método conllevaría que muchos más usuarios estuvieran conectados a la red. (García, Ramos, & M.LS., 2017, págs. 33-36)

De esta manera, en una ciudad donde cada aparcamiento transfiriera potencia de forma inalámbrica con cada coche o moto, y donde las distintas carreteras fueran capaces

de cargar los automóviles de forma dinámica, supondría que el tiempo de recarga de los medios de transporte eléctricos urbanos se redujera de forma considerable, soluciona así uno de los principales problemas de la movilidad eléctrica en la actualidad. (EEA, 2016, págs. 53,57)

Más allá de la ventaja indirecta en el tiempo de recarga, existen otras muchas ventajas entorno a un sistema extendido de recarga inductiva;

- Mayor comodidad para el conductor, al no tener que conectar ningún conductor externo en el vehículo. Esta simplicidad podría ser especialmente de ayuda para los conductores mayores. (DicTraf, 2018, págs. 18-21)
- Al no tener conexión cableada, el sistema de recarga sería ostensiblemente más seguro en el caso de la carga inalámbrica, ya que el usuario no estaría en ningún momento en contacto con ningún cable en tensión externo. (DicTraf, 2018, págs. 18-21)
- Menor posibilidad de fallos, principalmente por dos motivos. En primer lugar, el usuario carece prácticamente de posibilidad de romper ningún elemento, ya que no tendría más que aparcar encima de la bobina emisora. Por otro lado, la transmisión de energía de esta forma no se ve afectada por las condiciones meteorológicas externas, al contrario que la recarga por cable. (IDAE, 2019, págs. 5-9)
- Al disponer de menor probabilidad de fallo o rotura de sus elementos, el coste de mantenimiento de esta tecnología resultaría menor de cara al propietario de la red o de los puntos de recarga de cierto lugar. (IEA, 2019, págs. 43-48)

### ***Carga inalámbrica por inducción magnética***

Su principio radica en la generación de un campo magnético por una bobina emisora que induce a una bobina receptora. La bobina emisora necesita ser alimentada por una fuente de corriente alterna a altas frecuencias para mejorar la eficiencia de la transmisión.

Existen varios factores en este tipo de carga que permiten conocer la inducción entre las bobinas; Factor de acoplamiento, Coeficiente de inducción mutua, Factor de Calidad y Acoplamiento Resonante.

### **Factor de Acoplamiento**

Cuantifica el flujo magnético que captura la bobina secundaria de lo que genera la bobina primaria, Este depende específicamente de la distancia entre los bobinados ya sea de forma horizontal o vertical, y sus características de construcción. Los valores que puede tomar este factor son de 0 a 1; donde, por 0 se entiende como bobinas independientes que no tienen ninguna influencia entre si y 1 cuando la relación entre las bobinas tiene un acople perfecto donde el receptor captura todo el flujo generado por el receptor. Para determinar el factor de acoplamiento existe la siguiente expresión matemática (Artus, Marín, & Enzo., 2019).

#### **Ecuación 1**

*Factor de acoplamiento*

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 * L_2}}$$

Donde:

- L1 es la inductancia de la bobina emisora.
- L2 es la inductancia de la bobina receptora.
- M es la inductancia mutua entre L1 y L2

### **Coeficiente de inducción mutua**

Permite determinar mediante el posicionamiento de una bobina con respecto a la otra, si existe un factor de inducción parcial o total. Por lo general, para poder determinar que existe inducción mutua entre la bobina primaria y secundaria, es necesario que las características de construcción de ambas bobinas sean homogéneas, y su posicionamiento sea perfectamente paralelas con respecto a su centro. Para poder determinar el coeficiente

de inducción mutua se utiliza las siguientes expresiones algebraicas (Artus, Marín, & Enzo., 2019).

## Ecuación 2

*Coefficiente de inductancia mutua*

$$M = \frac{1}{2} * \mu_0 \sqrt{(a+b)^2 + z^2} ((2-m)K(m) - 2E(m))$$

Donde:

- a es el diámetro interno de la bobina emisora
- b es el diámetro interno de la bobina receptora
- $\mu_0$  es el valor de la permeabilidad magnética del vacío =  $4\pi * 10^{-7}$

$$m = \frac{4ab}{(a+b)^2 + z^2}$$

$$K(m) = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{8} * \frac{m^2}{1-m^2}$$

$$E(m) = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8} m^2$$

## Factor de Calidad

Cuantifica la relación entre la energía disipada y la energía almacenada por un elemento de composición magnética durante el tiempo que se cumpla un ciclo. Si el valor de Q aumenta, aumenta el valor de la eficiencia del sistema. Para el caso de bobinas el valor oscila entre 50 y 100 y se puede determinar por la siguiente expresión matemática general (Artus, Marín, & Enzo., 2019).

## Ecuación 3

*Factor de Calidad*

$$Q = \frac{2\pi \text{ Energía máxima almacenada por ciclo}}{\text{Energía disipada por ciclo}}$$

En el caso de un bobinado la expresión de Q se define por.

$$Q = \frac{\omega L}{R_L}$$

### Acoplamiento resonante

Permite determinar, si tanto, sistema emisor como sistema receptor trabajan a su respectiva frecuencia y estas frecuencias son similares entre sí, entonces existe un acoplamiento resonante entre los sistemas. La aplicación del acoplamiento resonante ayuda a aumentar la eficiencia del sistema (Artus, Marín, & Enzo., 2019).

### Transferencia inductiva

Permite determinar el voltaje inducido en la bobina receptora, cuando hay una variación en la distancia entre ambas bobinas, receptora y emisora. En el estudio realizado por (Yáñez, 2019) se analiza cuatro alternativas de núcleos para la construcción de las bobinas receptora y emisora; núcleo de aire para ambas bobinas, núcleo de aire para la bobina receptora y de ferrita para la bobina emisora, núcleo de ferrita separadas para ambas bobinas y núcleo de ferrita común para ambas bobinas. De tal forma, para determinar la transferencia inductiva de cada alternativa se utiliza la siguiente expresión algebraica.

#### Ecuación 4

*Transferencia inductiva*

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = m$$

Donde:

p = bobina primaria = bobina emisora.

s = bobina secundaria = bobina receptora.

N = número de vueltas.

V = tensión inducida.

I = corriente inducida.



$m$  = relación teórica del transformador.

En la Tabla 11 se muestra los valores de tensión inducida resultado de una entrada de 110v a 60Hz para una distancia de 0mm a 5mm, que es la distancia en reposo que dispondrá el sistema desarrollado en el presente proyecto de investigación.

**Tabla 11**

*Parámetros más comunes de los métodos de carga inalámbrica.*

<b>Tipo de núcleo</b>	<b>Distancia (mm)</b>	<b>Tensión inducida (v)</b>
<b>núcleo de aire en ambas bobinas</b>	0 - 5	1.3 – 0.9
<b>núcleo de aire en bobina receptora y ferrita en bobina emisora</b>	0 - 5	5.9 – 4.2
<b>núcleo de ferrita separadas en ambas bobinas</b>	0 - 5	53.0 – 23.0
<b>núcleo de ferrita común en ambas bobinas</b>	0 - 5	86.7 – 82.0

*Nota.* Parámetros de los métodos de carga inalámbrica, tomado de (Aguilar Gamarra , 2014).

De esta forma se demuestra que la alternativa de mayor eficiencia es el núcleo de ferrita común para la construcción de las bobinas receptora y emisora.

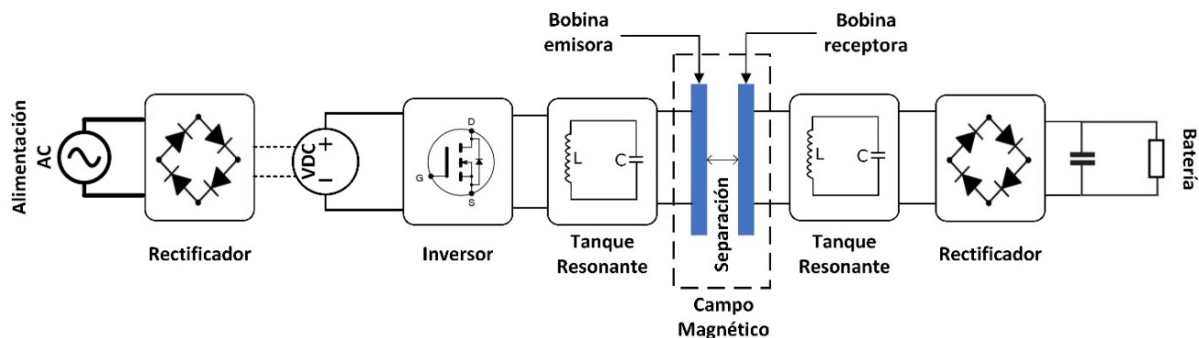
### **Composición de un sistema de carga inalámbrica por inducción magnética**

Un sistema de carga inalámbrica está compuesto de diferentes etapas, estas etapas están determinadas por principios de diseño y para la mejor eficiencia de sistema. Como se puede observar en la Figura 18, es necesario la alimentación inicial de una fuente de poder de corriente alterna, luego es necesario rectificar y filtrar la señal alterna para obtener una

señal digital, debido a, que así lo requiere el circuito inversor, el circuito inversor contara con mosfet de rápido accionamiento para trabajar con controladores a altas frecuencias con el fin de obtener una señal alterna cuadrada. Se sugiere este procedimiento porque el circuito de resonancia funciona de manera más optima con señales cuadradas en polos positivos y negativos. El circuito resonante ayuda a aumentar la potencia de la señal en el sistema primario, de ahí se procede a conectar la bobina primaria. Para el sistema secundario el procedimiento es muy similar; conectado a la bobina secundaria se encuentra el circuito resonante para aumentar la potencia de la señal alterna en el sistema secundario, de ahí para poder utilizar el voltaje en una aplicación de carga directa se procede con la rectificación y el filtrado de la señal alterna para convertirla en señal de corriente directa.

### Figura 18

*Composición del sistema de carga inalámbrica por inducción magnética.*



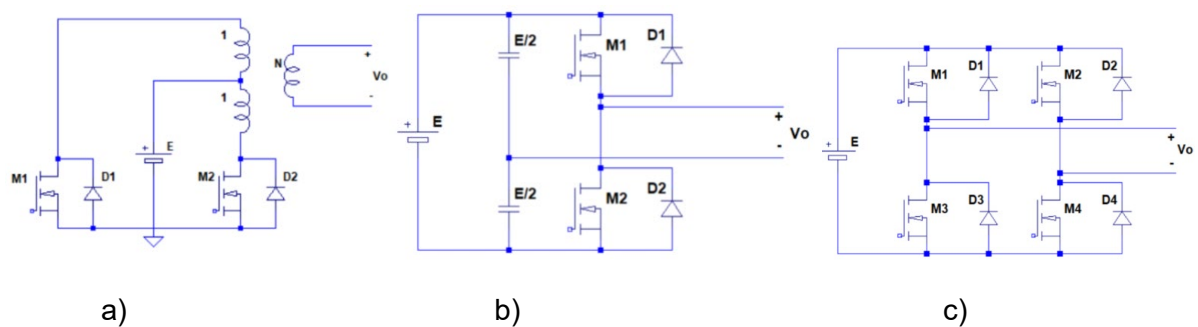
*Nota.* Composición del sistema de carga inalámbrica.

### Etapa inversora

Esta etapa se encarga de acondicionar la señal que alimenta el circuito resonante, se tiene en cuenta que el circuito resonante es alimentado por una señal alterna, se puede utilizar amplificadores con una configuración inversora de puente tipo H. Las configuraciones probables se pueden observar en la Figura 19, consta de una combinación en H de transistores en sus terminales fuente y drenaje en paralelo con diodos rectificadores de alta frecuencia junto con inductores (Artus, Marín, & Enzo., 2019).

**Figura 19**

*Configuraciones de potencia tipo puente H.*



*Nota.* Tomado de a) *inversor push-pull*, b) *inversor puente medio*, c) *inversor puente completo* (Artus, Marín, & Enzo., 2019).

### **Etapas de resonancia**

Para el circuito de resonancia se puede utilizar diferentes topologías, como se muestra en la Figura 20, tanto para las partes del sistema; emisora y receptora, en lo posible sería conveniente emplear inductancias del mismo valor en el bobinado emisor y en el bobinado receptor para facilitar la elección de los componentes. Esta topología hace que el bobinado receptor se comporte como una fuente de corriente. Debido a que se espera trabajar con el circuito en resonancia, se puede trabajar de forma interactiva con los simuladores para mediante el barrido de valores de bobinado poder determinar los valores de los componentes de diseño para cumplir con el objetivo requerido (Artus, Marín, & Enzo., 2019).

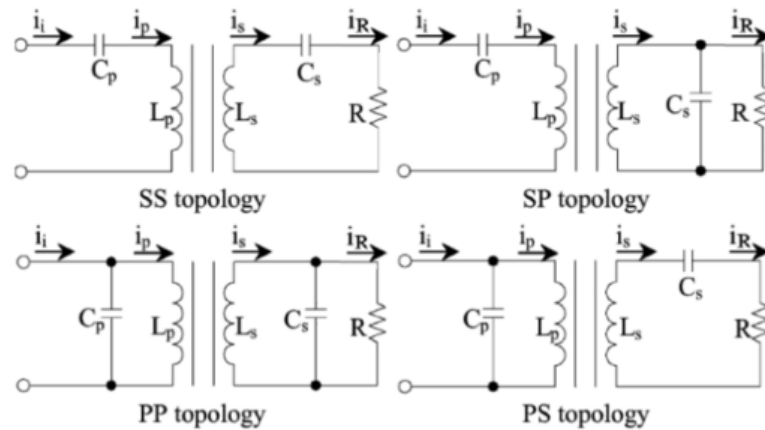
### **Etapas rectificadora**

Como se muestra en la Figura 18. Esta etapa es utilizada para rectificar la señal a la entrada del circuito de resonancia de la parte emisora, y para rectificar la señal de salida del circuito resonante de la parte receptora del sistema. Se utiliza un puente rectificador de onda completa para aprovechar los semiciclos positivo y negativo, este está conformado por un grupo de Diodos rectificadores que facilitan la conversión de la señal alterna en señal continua; además, se añade un condensador a la salida del puente rectificador para suavizar la onda de valor constante. Esta etapa sirve para estabilizar la salida de la señal y se logra

duplicar la frecuencia de la señal que sale de la bobina receptora (Artus, Marín, & Enzo., 2019).

**Figura 20**

*Topologías de circuitos de compensación resonante*

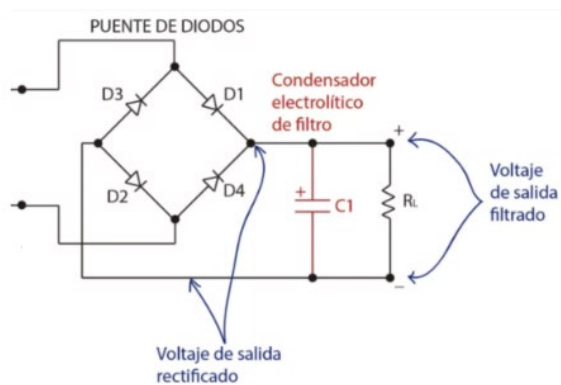


*Nota. (SS) Serie-Serie, (SP) Serie-Paralelo, (PS) Paralelo-Serie, (PP) Paralelo-Paralelo.*

*Tomado de (Artus, Marín, & Enzo., 2019).*

**Figura 21**

*Rectificador de onda completa con filtrado.*



*Nota. Rectificador de onda completo, tomado de (Artus, Marín, & Enzo., 2019).*

## Capítulo III

### Diseño y Construcción del Cargador Inalámbrico

#### Introducción

El cargador inalámbrico por inducción magnética es, entre los tipos de carga conocidos, el de mejor rendimiento con mayor capacidad de transferencia y tiene como objetivo la producción de energía eléctrica en una bobina como resultado del movimiento del campo magnético en otra bobina cercana, es una alternativa muy utilizada para la transferencia de energía eléctrica a dispositivos de almacenamientos adecuado al caso de estudio del presente proyecto de investigación.

En el presente capítulo se detalla de manera específica el diseño y construcción del prototipo del cargador inalámbrico por inducción magnética, se detalla; análisis de parámetros del campo magnético, constitución del sistema, cálculos de diseño, simulaciones con softwares finitos y el proceso de construcción.

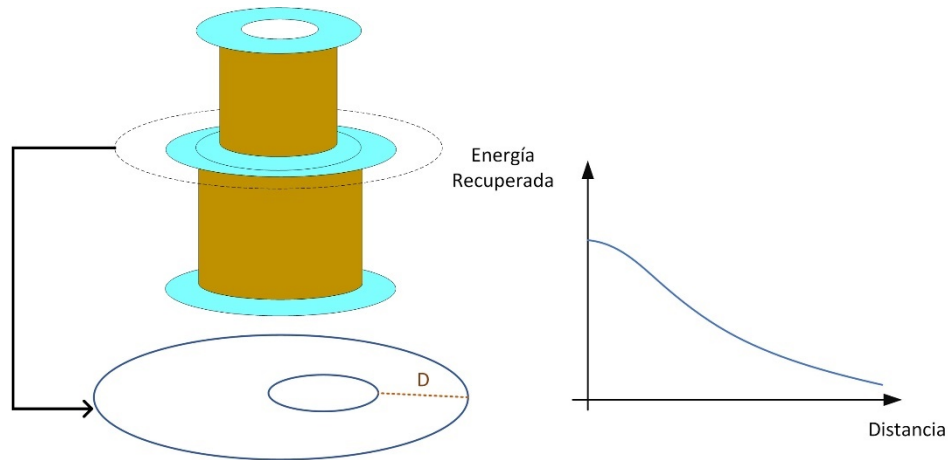
#### Parámetros del campo magnético

Debido a, el estudio dirigido a un sistema de carga para un vehículo eléctrico en reposo, se determina y se analiza los parámetros necesarios para encontrar un mejor rendimiento y eficiencia en la carga de la batería.

En primer lugar, a exigencia del sistema en estudio, se considera un bobinado, en lo posible, de dimensiones pequeñas de varias capas y con diferentes diámetros. Para conocer el comportamiento según los desplazamientos y/o ubicación del bobinado receptor, en la Figura 22 se visualiza la relación entre la distancia del desplazamiento horizontal ( $D$ ) entre las bobinas con la energía recuperada por la bobina receptora. Esta distancia es un factor importante para encontrar la medida del flujo magnético, así también, con sus características constructivas se relacionan directamente para encontrar la eficiencia en la transferencia de energía.

## Figura 22

### Relación entre energía recuperada y almacenada



*Nota.* Se presenta la configuración de las dos bobinas inductoras.

### Composición del Sistema.

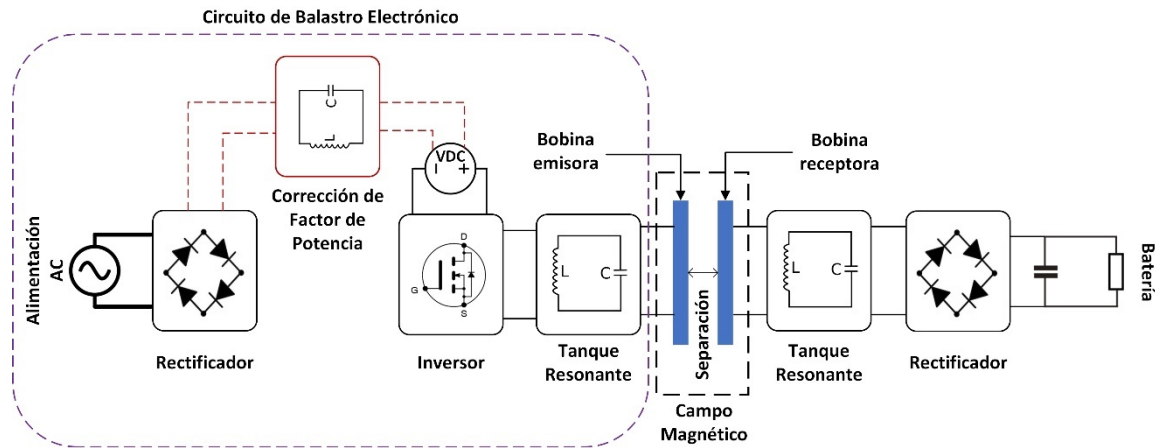
Para motivo de investigación se propone dos prototipos: el primero contempla la composición de la Figura 18 y el segundo prototipo propone el uso de un balastro electrónico comercial cuya composición se muestra en la Figura 23. Ambas propuestas tienen composiciones similares, en el caso del segundo prototipo la propuesta ofrece una eficiencia y una frecuencia de trabajo mayor a la del prototipo 1. El diseño de la composición de ambas propuestas se presenta en este apartado.

#### Prototipo 1

El sistema de carga inalámbrica por inducción magnética que se elige para el primer prototipo de este proyecto, está compuesto por una topología de circuito de compensación básica tipo serie-serie (SS), debido a su mejor conservación de eficiencia en la tasa de transferencia de energía, y de un circuito de resonancia de puente medio, debido a su trabajo en alta frecuencia a alta tensión, según el análisis de (Artus, Marín, & Enzo., 2019) por distancia de desplazamiento entre bobinas receptoras y emisoras y cambio de carga en el receptor. El resto de etapas que componen el sistema de carga inalámbrica propuesto se puede observar en la Figura 18.

Figura 23

Composición del sistema de carga inalámbrica



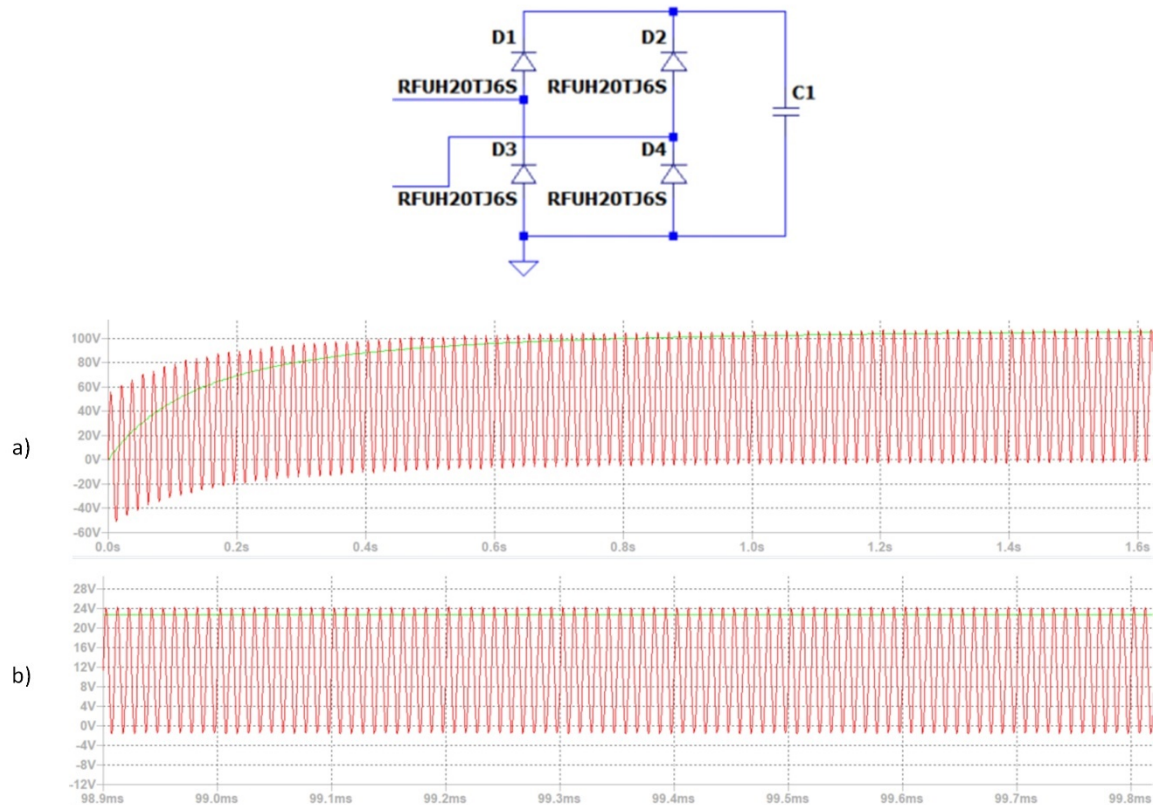
Nota. Diagrama de bloques del cargador inalámbrico.

### Etapa Rectificadora.

Como se muestra en la Figura 18. Esta etapa es utilizada en ambas partes del sistema; para rectificar la señal a la entrada del circuito de corrección de factor de potencia de la parte emisora, y para rectificar la señal de salida del circuito resonante de la parte receptora del sistema. Se utiliza un puente rectificador de onda completa para aprovechar los semiciclos positivo y negativo, este está conformado por un grupo de Diodos rectificadores de respuesta rápida tipo *schottky* que facilitan la conversión de la señal alterna en señal continua a altas frecuencias; además, se añade un condensador a la salida del puente rectificador para suavizar la onda de valor constante. Esta etapa sirve para estabilizar la salida de la señal y logra duplicar la frecuencia de la señal que sale de la bobina receptora. En la Figura 24, se muestra la simulación de la etapa rectificadora y el resultado de la señal alterna a señal rectificada en la parte primaria (emisora) y la parte secundaria (receptora) a alta frecuencia.

**Figura 24**

Señal rectificada (Verde) de la señal en corriente alterna (Roja)

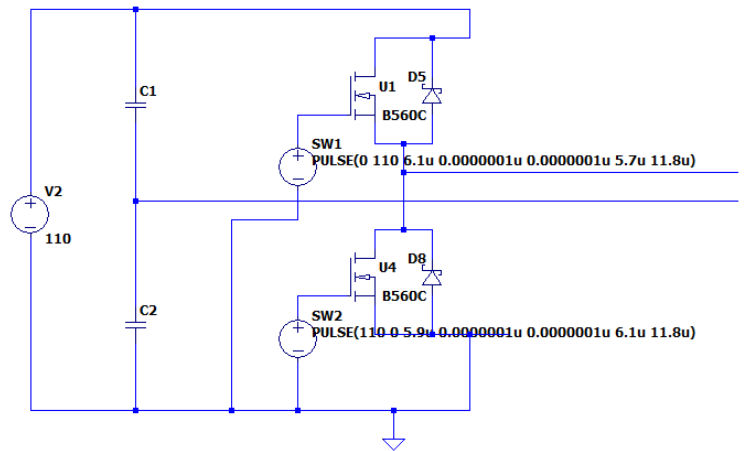


*Nota.* a) Rectificación de la bobina emisora y b) rectificación de la bobina receptora.

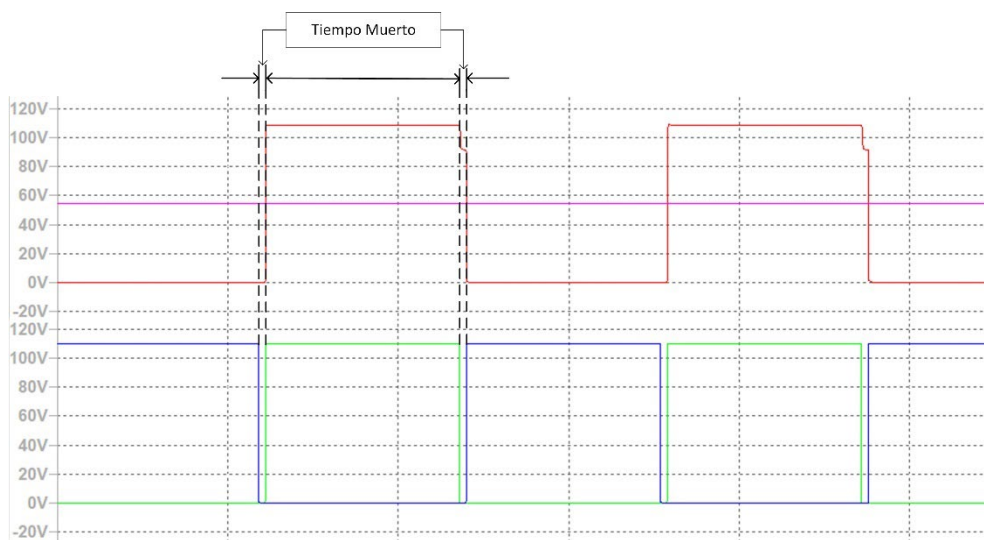
### **Etapa Inversora.**

Para esta etapa se utiliza amplificadores con una configuración inversora de puente medio tipo H. Ésta proporciona una media potencia en la carga a una tensión elevada. La configuración se puede observar en la Figura 25, consta de una combinación en H de dos transistores conectados en sus terminales fuente y drenaje en paralelo con diodos rectificadores de alta frecuencia.



**Figura 25***Inversor de puente medio tipo H**Nota.* Puente de transistores.

La conmutación de los MOSFET se realizará a voltaje cero para disminuir las pérdidas de potencia en el encendido, este modo de conmutación se conoce como Soft Switching. De tal forma, que la eficiencia en la frecuencia de resonancia no se vea afectada.

**Figura 26***Grafica de las señales digitales de conmutación para el circuito*

*Nota.* SW1 (Verde), SW2(Azul), Línea de origen cero (Fuxia) y Señal resultante (Roja).

Para generar la señal de excitación en la bobina emisora, se ejecuta una señal digital de control que dispare los MOSFET mediante su terminal Gate, como se muestra en la Figura 26. De manera que a la salida del inversor se pueda obtener una señal similar a una señal analógica con valores discretos que permitan regular la señal de salida en amplitud y frecuencia.

### **Etapa de resonancia.**

Para el circuito de resonancia se utiliza la topología Serie-Serie en ambas partes del sistema; emisora y receptora como se observa en la Figura 18, en lo posible es conveniente emplear inductancias del mismo valor en el bobinado emisor y en el bobinado receptor para facilitar la elección de los componentes. La topología Serie-Serie hace que el bobinado receptor se comporte como una fuente de corriente. Debido a que se espera trabajar con el circuito en resonancia, se puede trabajar de forma interactiva con los simuladores para mediante el barrido de valores de bobinado poder determinar los valores de los componentes de diseño para cumplir con el objetivo del presente proyecto.

En primera instancia, se considera las dimensiones del espacio efectivo de trabajo que se muestra en la Figura 27, se asigna los diámetros y el área de las bobinas para luego asumir un número de vueltas determinar la inductancia de la bobina o viceversa, mediante el software de cálculo de bobina de inductancia *Coil64*. Así también, se conoce el diámetro del conductor de la hoja técnica de un proveedor en la Figura 28.

### **Figura 27**

*Representación del área efectiva para la carga inalámbrica*



*Nota.* Área efectiva para la carga inalámbrica.

Los diámetros que se presentan en la Figura 27, son los considerado para el diámetro interior de las bobinas multicapas emisora y receptora, una consideración fue reducir en lo posible la distancia de desplazamiento en el eje horizontal, para evitar pérdidas en la energía recuperada por el sistema en el receptor.

## Figura 28

### *Diametro de conductores de cobre comerciales*

Calibre (AWG)	DIÁMETRO COBRE			Diámetro con Esmalte Máximo	Incremento de Esmalte Mínimo	Elongación Mínimo	Rigidez Dielectria Mínimo	Ángulo de Retorno Máximo	Resistencia a la Abrasión Mínimo	Termoplaticidad Mínimo	Continuidad Máximo
	Mínimo	Nominal	Máximo								
4	5,138	5,189	5,227	5,329	0,094	38	3700	5°	NA	300°	NA
5	4,575	4,620	4,656	4,757	0,094	37	3700	5°	NA	300°	NA
6	4,074	4,115	4,148	4,247	0,091	37	3600	5°	NA	300°	NA
7	3,630	3,665	3,693	3,790	0,089	36	3500	5°	NA	300°	NA
8	3,231	3,264	3,287	3,383	0,089	36	3500	5°	NA	300°	NA
9	2,878	2,906	2,929	3,023	0,086	36	3400	5°	NA	300°	NA
10	2,563	2,588	2,609	2,703	0,086	35	6800	5°	1270	300°	NA
11	2,281	2,304	2,327	2,418	0,084	35	6600	5°	1270	300°	NA
12	2,032	2,052	2,073	2,162	0,081	34	6400	5°	1270	300°	NA
13	1,811	1,829	1,847	1,935	0,081	34	6400	5°	1270	300°	NA
14	1,613	1,628	1,643	1,732	0,081	33	6330	42	1270	300°	5
15	1,435	1,450	1,466	1,549	0,076	33	6160	46	1190	300°	5
16	1,278	1,290	1,303	1,384	0,074	33	6000	50	1115	300°	5
17	1,138	1,151	1,163	1,240	0,071	32	5850	54	1045	300°	5
18	1,013	1,024	1,034	1,110	0,066	32	5700	58	980	300°	5
19	0,902	0,912	0,922	0,993	0,064	31	5550	62	910	300°	5
20	0,805	0,813	0,820	0,892	0,061	30	5410	66	850	300°	5

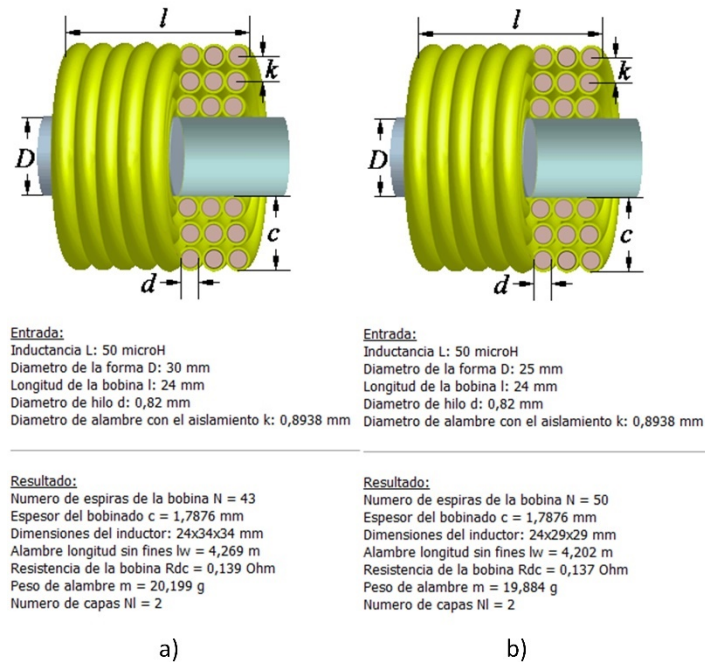
*Nota.* Calibre de alambre magneto. Tomado de (Electrocables, 2019).

Entre los parámetros de construcción de la bobina emisora y la bobina receptora se establecen; un cable de cobre tipo magneto calibre 20 (AWG) por su relación entre el área de conducción y su flexibilidad, los diámetros dados por la Figura 27, la altura del cuerpo de plástico donde va enrollado el cable de cobre tipo magneto y finalmente se hizo un barrido con el valor de la inductancia de las bobinas para conseguir una composición proporcional

al tamaño requerido del prototipo y a la transferencia de energía de forma inalámbrica, que para este caso se considera un valor de 50uHy.

### Figura 29

Simulación en Coil64 del diseño de las bobinas emisora y receptora



*Nota. a) estimación de los parámetros de la bobina emisora, b) estimación de los parámetros de la bobina receptora.*

En el cálculo de las operaciones, se conoce los diámetros internos de las bobinas y un valor de desplazamiento  $z = 0$ , para determinar el valor de inductancia mutua ( $M$ ) se tiene:

$$m = \frac{4 * 25 * 30}{(30 + 25)^2 + 0^2}$$

$$m = \frac{3000}{3025}$$

$$m = 0.9917$$

$$K(m) = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{8} * \frac{0.9917^2}{1 - 0.9917^2}$$

$$K(m) = \frac{\pi}{2} + 23.3625$$

$$K(m) = 24.9333$$

$$E(m) = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8} * 0.9917^2$$

$$E(m) = \frac{\pi}{2} - 0.3862$$

$$E(m) = 1.1846$$

$$M = \frac{1}{2} * 4\pi * 10^{-7} \sqrt{(30 + 25)^2 + 0^2} ((2 - 0.9917) * 24.9333 - 2 * 1.1846)$$

$$M = 6.2832 * 10^{-7} \sqrt{3025} ((1.0083) * 24.9333 - 2.3692)$$

$$M = 6.2832 * 10^{-7} \sqrt{3025} * (22.7711)$$

$$M = 7.8692 * 10^{-4}$$

Entonces, para el factor de acoplamiento ( $k$ ), resulta:

$$k = \frac{7.8692 * 10^{-4}}{\sqrt{50 * 10^{-6} * 50 * 10^{-6}}}$$

$$k = 15.7384/100\%$$

$$k = 0.15784$$

Por último, para determinar la resonancia se simula el circuito de la Figura 30, se tiene en cuenta el valor de  $k=0.1574$ , las inductancias de las bobinas primaria y secundaria,  $50\mu\text{Hy}$  y  $50\mu\text{Hy}$  respectivamente. De igual manera, se considera que el sistema sostenga un factor de calidad de  $Q=80$ , y para la resistencia de carga  $R_L$  se considera un valor de referencia de 10 Ohmios. Ahora para determinar el valor de las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  se modifican los valores de capacitancias hasta encontrar el punto donde el sistema se encuentre en resonancia.

Una vez ajustado los valores de los elementos para un circuito que alimente una carga  $R_L = R_3$  de 10 ohmios con 12V se tiene el circuito de la Figura 31, para lo que se generó 260 KHz a la entrada del circuito resonante emisor. En la Figura 31, se utiliza una permeabilidad magnética del vacío o de aire ( $\mu_0$ ), donde se obtiene por simulación una salida de 2.4V aproximados. Para una mejora en el sistema se considera el uso de un

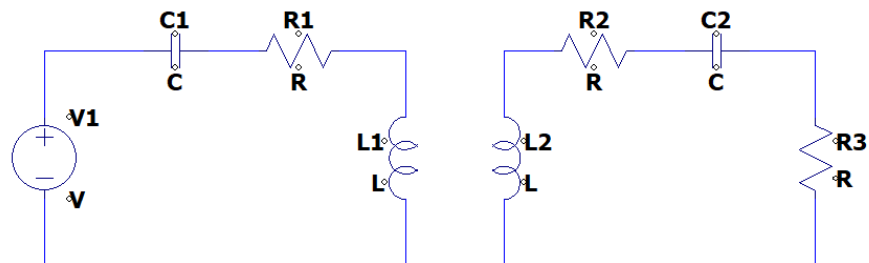
núcleo de ferrita común por lo que para cálculos de simulación se considera una permeabilidad magnética absoluta ( $\mu$ ), que se calcula con la siguiente expresión.

$$\mu = \mu_0 * \mu_r$$

Donde  $\mu_r$  es un parámetro adimensional conocido como permeabilidad magnética relativa que, para este caso de estudio, sería el valor de la permeabilidad magnética de un material ferromagnéticos. Este valor, según (Pozueta, 2014), puede tomar valores entre 2000 y 10000, que para estimaciones practicas se considera 10000 para el 100% del diámetro del núcleo interno primario, por lo tanto, para el diseño del sistema de carga inalámbrica considerado en el presente proyecto de investigación, el 100% se considera para 30mm y en el caso del diseño práctico el núcleo de ferrita contiene un diámetro de 10mm que considera el 33.33% del diámetro del núcleo interno primario.

**Figura 30**

*Estructura del circuito de resonancia tipo Serie-Serie*



*Nota.* Circuito de resonancia.

Para fines de cálculo, el 33.33% considera un valor de 3333.33 de permeabilidad magnética para el material ferromagnético, por lo tanto, para establecer el valor de permeabilidad magnética absoluta ( $\mu$ ) se tiene:

$$\mu = 4\pi * 10^{-7} * 3333.33$$

$$\mu = 4.1888 * 10^{-3} (H/m)$$

$$\mu = 4.1888 * 10^{-6} (H/mm)$$

Para determinar el nuevo valor de inductancia mutua (M).

$$M = \frac{1}{2} * 4.1888 * 10^{-6} \sqrt{(30 + 25)^2 + 0^2} ((2 - 0.9917) * 24.9333 - 2 * 1.1846)$$

$$M = 2.0944 * 10^{-6} \sqrt{3025} ((1.0083) * 24.9333 - 2.3692)$$

$$M = 2.0944 * 10^{-6} \sqrt{3025} * (22.7711)$$

$$M = 2.6230 * 10^{-3}$$

Entonces, para el factor de acoplamiento (k), resulta:

$$k = \frac{2.6230 * 10^{-3}}{\sqrt{50 * 10^{-6} * 50 * 10^{-6}}}$$

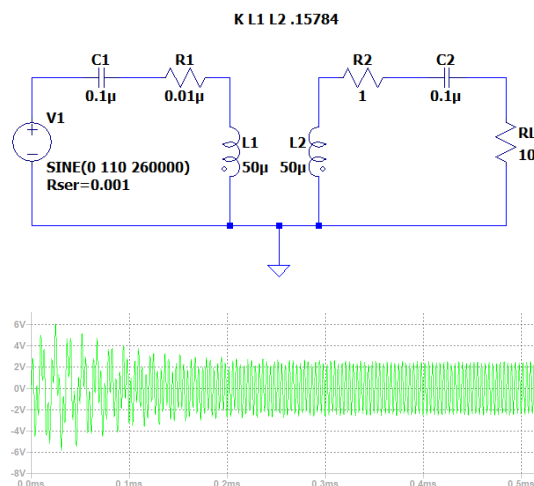
$$k = 52.4607/100\%$$

$$k = 0.5246$$

Una vez establecidos los valores de los elementos para el tanque de resonancia se tiene el circuito de la Figura 32. Este circuito logra generar 11.6V de salida aproximados a 1A en la carga.

**Figura 31**

*Simulación de circuito de resonancia tipo Serie-Serie*

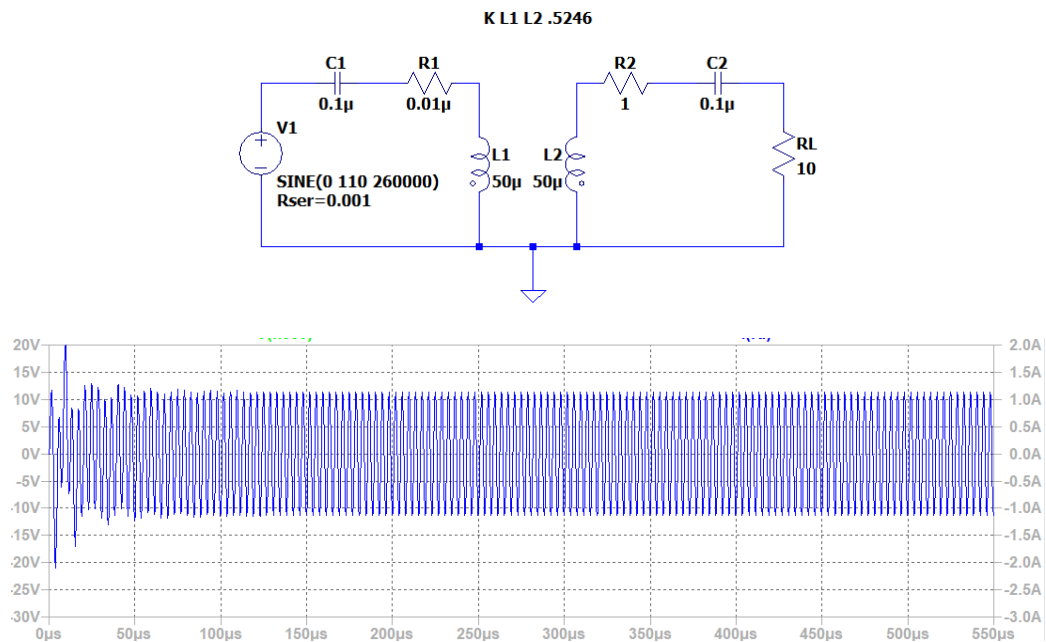


*Nota.* Permeabilidad magnetica de vacío.

Una mejor apreciación de la relación entre los valores del sistema tanto en la parte primaria o emisora y secundaria o receptora se puede observar en la Figura 33.

**Figura 32**

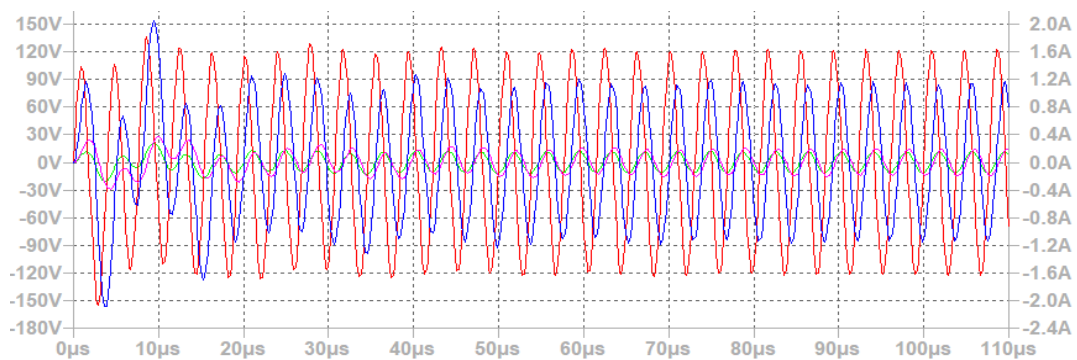
*Permeabilidad magnetica absoluta con material ferromagnetico*



*Nota.* Simulación de circuito de resonancia tipo Serie-Serie.

**Figura 33**

*Señal del circuito de resonancia tipo Serie-Serie*



*Nota.* Simulación de las señales del circuito de resonancia tipo Serie-Serie para una salida de 12V a 1A; Voltaje en la bobina emisora (Rojo), Voltaje en la bobina receptora (Fuxia), Voltaje a la carga (Verde) y Amperaje en la carga (Azul).



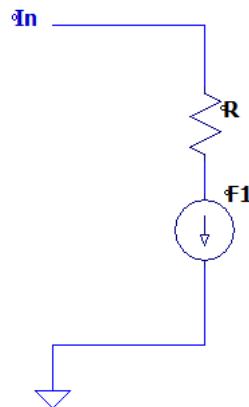
### Carga del Sistema.

Para el caso de estudio del presente proyecto la carga representa una batería NS40 de 12V a 42Ah que se utiliza para suministrar la alimentación eléctrica a los componentes eléctricos y mecánicos de un vehículo eléctrico. Para el estudio se analiza el comportamiento de la batería en el proceso de carga y descarga para verificar si los parámetros de voltaje, corriente y resistencia interna son adecuados para el sistema diseñado.

Una forma de poder simular este consumo es añadir los elementos que se muestra en Figura 34, estos elementos representan una fuente que consume de manera constante una corriente durante todo el proceso de carga, de igual forma se pretende establecer un nivel de voltaje constante sobre el mínimo nominal requerido por la batería.

### Figura 34

*Fuente de corriente con resistencia para simular la carga de la batería*



*Nota.* Fuente de corriente con resistencia para simular la carga de la batería

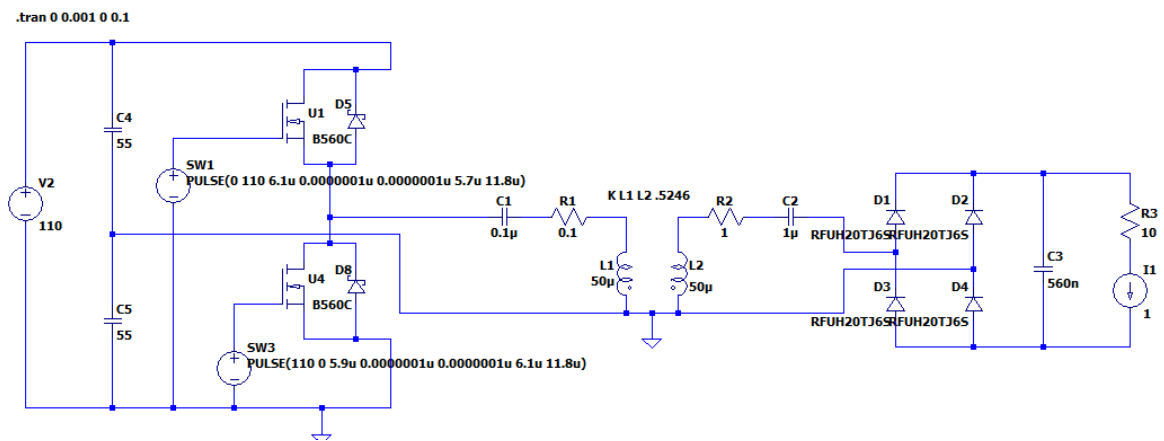
### Circuito de Transmisión Completo.

Se construye todas las etapas del circuito cargador inalámbrico de inducción magnética para monitorear el estado de los valores establecidos en cada una de las etapas simuladas, de esta forma se verifica si los resultados obtenidos en realidad son los esperados. El circuito completo se presenta en la Figura 35, se realizaron algunos barridos

sobre la resistencia ( $R2$ ) y el condensador ( $C2$ ) para poder alimentar a la carga debido a que existió una caída de voltaje severa contra el consumo de la fuente de poder instalada como carga de la batería, de esta forma se pudo recupera el voltaje mínimo nominal requerido para la carga de la batería como se puede observar en la Figura 36. De esta forma quedaría terminada el diseño del prototipo de carga inalámbrica por inducción magnética enfocado en el sistema de un balastro electrónico.

**Figura 35**

*Circuito completo del cargador inalámbrico por inducción magnética*



*Nota.* Cargador inalámbrico por inducción magnética

**Figura 36**

*Circuito completo del cargador inalámbrico por inducción magnética*



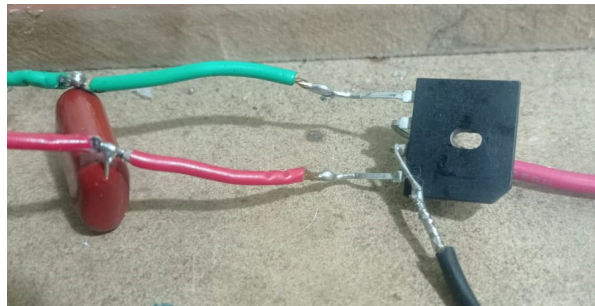
*Nota.* Voltaje en la bobina receptora (Rojo), voltaje de salida en la carga (Verde), amperaje de salida en la carga (Azul).

## Construcción del Prototipo 1 del Sistema de Carga Inalámbrica por Inducción Magnética.

El circuito que rectifica la señal de la línea de alimentación de entrada es la primera en ensamblar, La Figura 37 muestra el circuito armado, este está conectado a la línea de alimentación de 110V, utiliza un puente completo de Diodos rectificadores de tipo encapsulado modelo GBU-1510 con un rango de entrada de 1000VAC a 15A y un condensador de película 1 $\mu$ F a 400V para el filtrado de la señal rectifica.

### Figura 37

*Circuito armado del rectificador y filtrado del sistema primario o emisor*

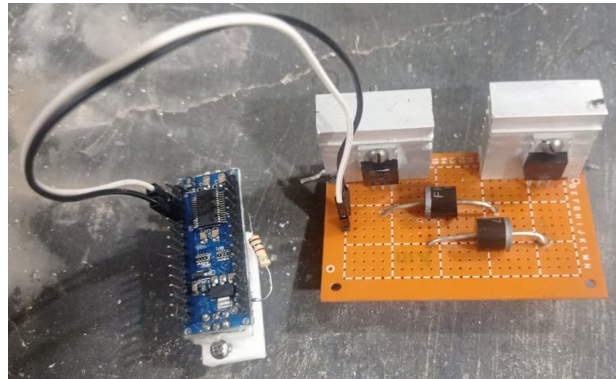


*Nota.* Circuito rectificador y filtrado.

Conectado al circuito rectificador se encuentra el circuito inversor que se muestra en la Figura 38, este es el siguiente en ensamblar, cuenta con dos Transistores tipo Mosfet modelo IRFZ44N de canal N con capacidad de bloqueo mayor a 100V y 49A, y un tiempo de elevación de 60nS. Conectado a los terminales de fuente y drenaje de cada transistor se encuentra un diodo rectificador de respuesta rápida modelo FR607 con capacidad de bloqueo de 1000V y 6<sup>a</sup>. El controlador encargado de accionar los terminales Gates es un Arduino Nano a una frecuencia de trabajo de 8KHz, la tabla de verdad para el accionamiento con los tiempos muertos se muestra en la Tabla 12.

**Figura 38**

*Circuito armado del inversor del sistema primario o emisor*



*Nota.* Circuito del inversor.

**Tabla 12**

*Tabla de verdad para el accionamiento de las compuertas de los Mosfet.*

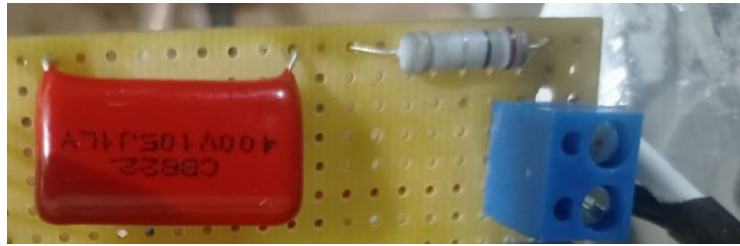
Estado	M1	M2	Vo
1	1	0	V+
2	1	0	TM
3	1	0	0
4	0	0	TM
5	0	1	V-
6	0	1	TM
7	0	1	0
8	0	0	TM

*Nota.* Tabla de verdad compuertas Mosfet.

A la salida del inversor se conecta el circuito de tanque resonante como el de la Figura 39, este circuito consta de una resistencia de 0.1ohmios a 1Watt y un condensador de tipo película de 100nF a 400V.

### Figura 39

*Circuito armado del tanque de resonancia del sistema primario o emisor*



*Nota.* Circuito tanque de resonancia del sistema primario.

En la parte receptora del sistema existe una caída de voltaje resultado de los materiales y el diseño de construcción de la estructura de soporte de las bobinas. Por lo tanto, se añade al sistema un circuito tetra-multiplicador de tensión o de cascada de Villard conectado entre la bobina secundaria y el circuito del tanque resonante secundario. El circuito multiplicador se muestra en la Figura 40, está compuesto por un conjunto de diodos rectificadores modelo 1N4937 de recuperación rápida con capacidad de bloqueo de 600V y 1A, y capacitores de tipo película de 560nF a 400V.

El circuito ensamblado de la Figura 40, muestra al circuito multiplicador conectado con el circuito de tanque resonante, compuesto por una resistencia de 1Ohmio a 1Watt y un condensador de tipo película de 1uF a 400V. De forma continua, se encuentra conectado el circuito rectificador compuesto por un puente completo de Diodos rectificadores de tipo encapsulado modelo 2W10 con capacidad de bloqueo de 1000V a 2A y un capacitor de tipo película de 560nF a 400V.

Finalmente, se ensambla el circuito de fuente estable que se muestra en la Figura 41, constituido por un módulo de fuente step up/down de tipo boost modelo XL6009 configurado para una salida de 12V a 1A, conectado al módulo va un condensador de 1uF a 200V de tipo película y un diodo de protección FR607 de rápida recuperación con capacidad de bloqueo de 1000V a 6A.

### Figura 40

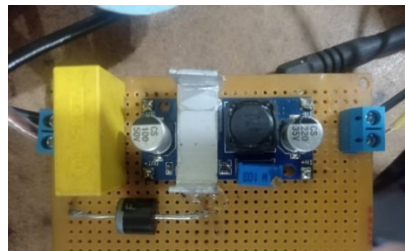
*Etapas; multiplicadora, resonante y rectificadora del receptor*



*Nota.* Etapas; multiplicadora, resonante y rectificadora del receptor del sistema.

### Figura 41

*Etapas; multiplicadora, resonante y rectificadora del receptor*



*Nota.* Ensamblaje de las etapas; multiplicadora, resonante y rectificadora del receptor.

El diseño en general del Prototipo 1 se ve seriamente limitado debido a, la dificultad de adquirir los elementos ideales para la construcción del circuito inversor y al controlador de disparo de los Mosfet, que para este caso, es un Arduino Nano. Este controlador junto con el circuito inversor permite un trabajo a frecuencia de 8KHz, por las características de respuesta de los transistores tipo Mosfet. De esta forma, solo permite generar una transmisión de voltaje en el orden de los milivoltios, según valores de simulación.

## Prototipo 2

En contradicción, para el diseño del segundo prototipo, se contempla un balastro electrónico comercial con una frecuencia de 260KHz a 110V y una eficiencia del 90%, el cual se muestra en la Figura 42. Este sustituirá las etapas: de conversión y rectificación, inversora y resonante o de potencia, de la parte primaria del sistema de carga inalámbrica. El resto de etapas del sistema del diseño es la mismas del prototipo 1.

Para el diseño del sistema se usa un balastro electrónico el cual se compone de las mismas etapas de un sistema genérico de transferencia inalámbrica, se añade una etapa de corrección del factor de potencia como se puede observar en la Figura 23 (Avendaño, 2005). Este nuevo circuito, constituido desde un balastro electrónico considera un aumento en la frecuencia de conmutación, como consecuencia trabaja a alta eficiencia.

**Figura 42**

*Balastro electrónico*



*Nota.* Balastro electrónico comercial

## Etapas de Corrección de Factor de Potencia

Es la única etapa en la que se diferencia de un sistema primario de carga inalámbrica por inducción magnética convencional. Por lo general utiliza una configuración de corrección con capacitores, esta corrección aumentará en un 10% la eficiencia del sistema y la eficacia del valor de la corriente.

### **Construcción del sistema de bobinas receptora y emisora**

Ambos bobinados contienen cable magneto de cobre calibre 20AWG, el cuerpo de las bobinas es de plástico como se muestra en la Figura 43. Para la bobina primaria o emisora se utiliza dos capas de 22 vueltas con un diámetro de 30mm en el área del núcleo; para la bobina secundaria o receptora se utiliza dos capas de 25 vueltas con un diámetro de 25mm en el área del núcleo.

#### **Figura 43**

##### *Bobina primaria y secundaria*



*Nota.* Bobina primaria y secundaria con núcleo de aire.

Las configuraciones para la construcción del núcleo de la bobina primaria o emisora y la bobina secundaria o receptora son: configuración de núcleo de aire, configuración de núcleo de ferrita separada y configuración de núcleo de ferrita común.

#### **Construcción del sistema de núcleo de aire.**

La construcción del sistema de carga inalámbrica por núcleo de aire es como se muestra en la Figura 43. Se caracteriza por no contener un núcleo físico de material metálico o ferromagnético, no necesita un sistema de apoyo adicional, el campo de inducción magnética inicia cuando ambos núcleos se mantienen en posición paralela, uno sobre el otro, una representación de su posición se puede observar en la Figura 22.



### **Construcción del sistema de núcleo de ferrita separada.**

La construcción del sistema de carga inalámbrica por núcleo de ferrita separada se puede observar en la Figura 44. Se caracteriza por contener un núcleo individual de ferrita en cada bobina, este sistema genera un campo de inducción mayor al de la configuración de núcleo de aire, al igual que el sistema de carga inalámbrica por núcleo de aire, no necesita un sistema de apoyo adicional. Para sostener los núcleos de ferrita, se diseña un soporte de plástico (PLA) para cada bobina.

### **Figura 44**

*Bobina primaria y secundaria*



*Nota.* Bobina primaria y secundaria con núcleo de ferrita separada.

### **Construcción del sistema de núcleo común.**

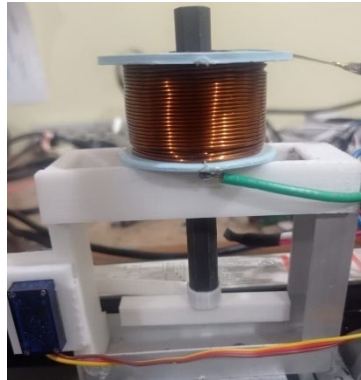
La construcción del sistema de carga inalámbrica por núcleo de ferrita común, tiene en cuenta que el sistema que se va a utilizar es de desplazamiento vertical, se diseña una estructura de soporte para la bobina primaria. La estructura desarrollada es de material PLA, sus dimensiones deben ser lo necesariamente adecuadas para permitir de forma sencilla el desplazamiento vertical del sistema y sostener los componentes necesarios, como se muestra en la Figura 45.

Con el fin de mejorar la eficiencia en la transmisión de energía de forma inalámbrica, se diseña un mecanismo manivela-corredera accionado por un servo motor con capacidad de carga de 9 gramos, este sistema se encarga de desplazar el núcleo de ferrita de forma

vertical para que puede ocupar el área del núcleo de la bobina primaria y secundaria para cumplir con la configuración de núcleo común, como se muestra en la Figura 46.

### Figura 45

*Mecanismo de soporte para la bobina primaria*

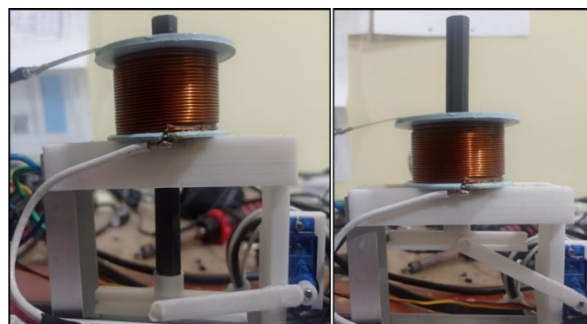


*Nota.* Mecanismo de soporte para la bobina primaria y el mecanismo de desplazamiento vertical.

El mecanismo de desplazamiento vertical es accionado por la señal emitida por un sensor de fuerza o presión que cambia su valor inicial igual a cero cuando la bobina secundaria o receptora se encuentra en posición sobre la bobina primaria o emisora se ejerce una variación de fuerza o presión sobre el sensor para empezar con la transmisión de energía inalámbrica, tal como se muestra en la Figura 47.

### Figura 46

*Mecanismo de desplazamiento vertical*



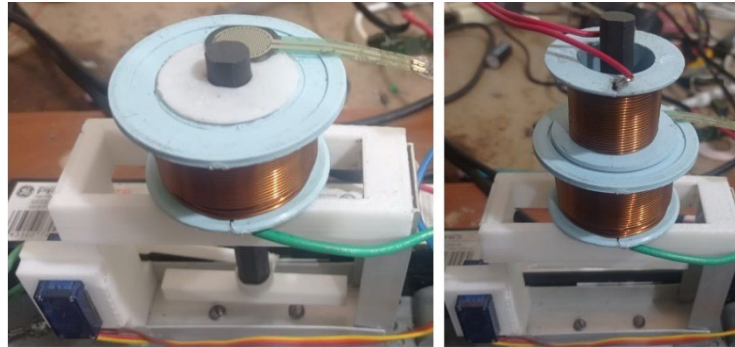
a)

b)

*Nota.* a) mecanismo en posición inicial, b) mecanismo accionado.

### Figura 47

*Accionamiento del sensor*



a)

b)

*Nota.* a) sensor con valor inicial igual a cero, b) sensor con variación de presión o fuerza.

En cambio, para la estructura de soporte de la bobina secundaria se diseña un mecanismo tipo balancín con movimiento de traslación angular que sujete la bobina secundaria y la ubique sobre la bobina primaria para empezar la genera del campo de inducción magnética. Este mecanismo se puede observar en la Figura 48. El mecanismo en este caso es accionado manualmente por el conductor del vehículo eléctrico.

### Figura 48

*Funcionamiento del sistema*



a)

b)

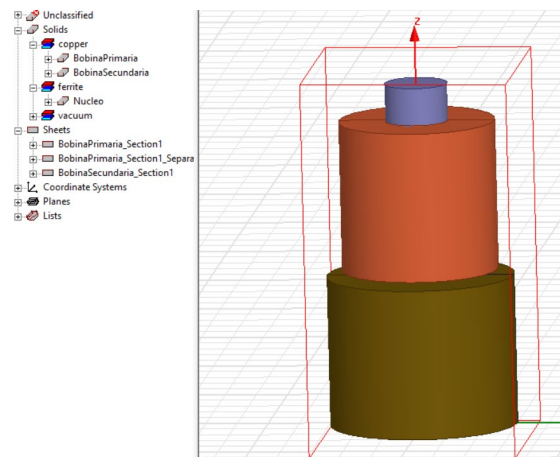
*Nota.* a) mecanismo en la posición inicial, b) mecanismo accionado.

### **Simulación del campo magnético del sistema de bobinas**

Para conocer la densidad del campo magnético que genera cada configuración del sistema de bobinas para la transferencia de energía por inducción magnética se utiliza el software de elementos finitos ANSYS MAXWELL. Para la simulación de las características del campo magnético, se construye cada bobina con los materiales establecidos para su diseño, se considera además una distancia de separación de 2mm entre bobinas como se muestra en la Figura 49. Como parámetros de excitación, para cada configuración de transferencia de energía por inducción magnética, se utilizaron los valores obtenidos por simulación. De igual forma, se puede determinar si el valor de densidad de campo magnético generado está dentro del valor mínimo igual a  $1 \times 10^{-4}$  establecido para el bienestar de la salud humana.

**Figura 49**

#### *Construcción de las bobinas*

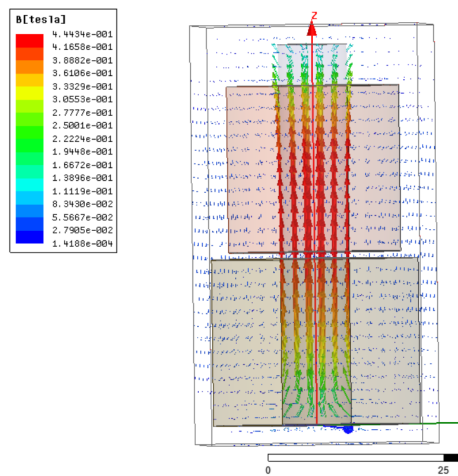


*Nota.* En configuración de núcleo de ferrita común en el entorno de ANSYS MAXWELL.

### **Simulación del campo magnético con núcleo de ferrita común**

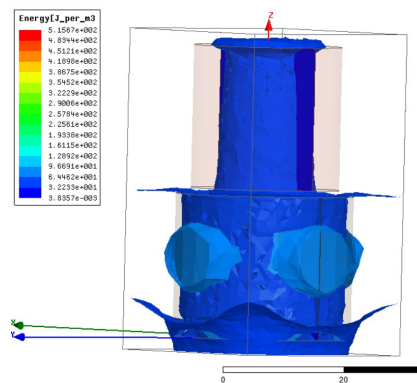
La bobina primaria es excitada con una Intensidad eléctrica de 2A, mientras que la bobina secundaria es excitada con una intensidad eléctrica de 1A.

En la Figura 50, se puede observar la magnitud del vector del campo magnético.

**Figura 50***Vector del campo magnético*

*Nota.* Desarrollado por el autor mediante el software ANSYS MAXWELL.

En la Figura 51, se puede observar la magnitud de la transferencia de energía del campo magnético.

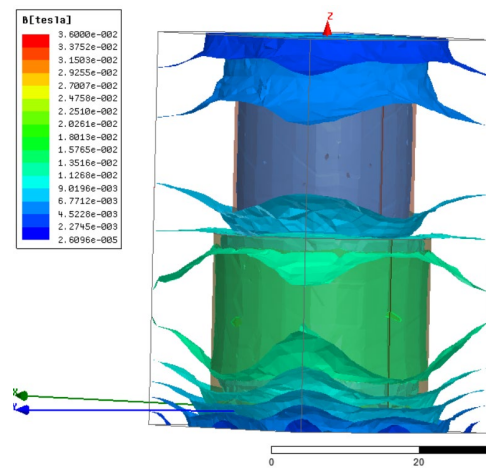
**Figura 51***Transferencia de energía del campo magnético*

*Nota.* Desarrollado por el autor mediante el software ANSYS MAXWELL.

En la Figura 52, se puede observar la magnitud del campo magnético.

**Figura 52**

*Vector del campo magnético*



*Nota.* Desarrollado por el autor mediante el software ANSYS MAXWELL.

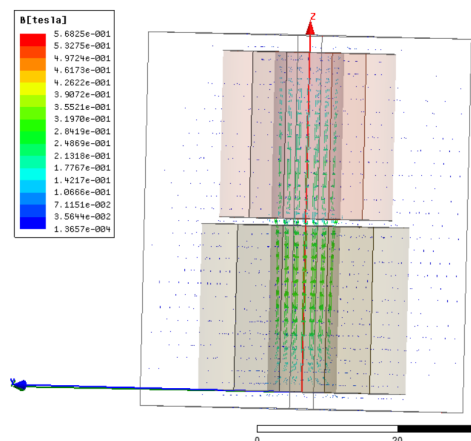
### Simulación del campo magnético con núcleo de ferrita separado

La bobina primaria es excitada con una Intensidad eléctrica de 2A, mientras que la bobina secundaria es excitada con una intensidad eléctrica de 1A.

En la Figura 53, se puede observar la magnitud del vector del campo magnético.

**Figura 53**

*Vector del campo magnético.*

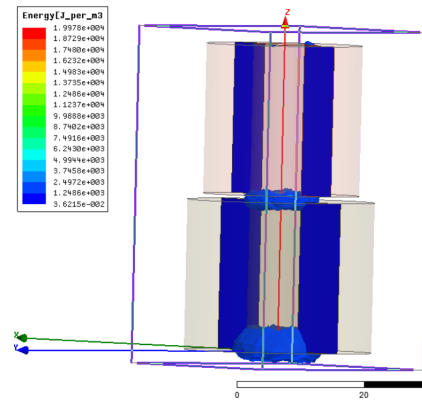


*Nota.* Vector del campo magnético mediante el software ANSYS MAXWELL.

En la Figura 54, se puede observar la magnitud de la transferencia de energía del campo magnético.

**Figura 54**

*Transferencia de energía del campo magnético.*

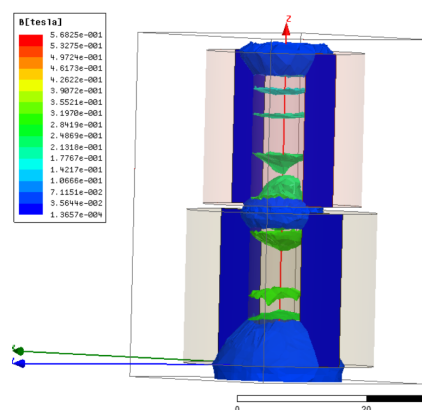


*Nota.* Simulación del campo magnético mediante el software ANSYS MAXWELL.

En la Figura 55, se puede observar la magnitud del campo magnético.

**Figura 55**

*Vector del campo magnético.*



*Nota.* Simulación del campo magnético mediante el software ANSYS MAXWELL.

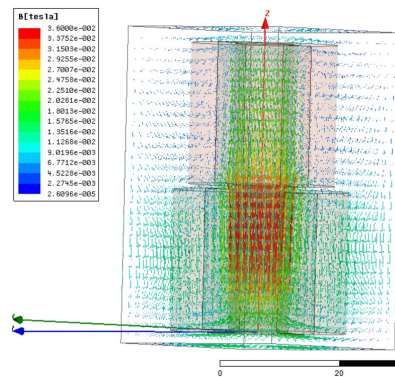
## Simulación del campo magnético con núcleo de ferrita común

La bobina primaria es excitada con una Intensidad eléctrica de 2A, mientras que la bobina secundaria es excitada con una intensidad eléctrica de 1A.

En la Figura 56, se puede observar la magnitud del vector del campo magnético.

**Figura 56**

*Vector del campo magnético.*

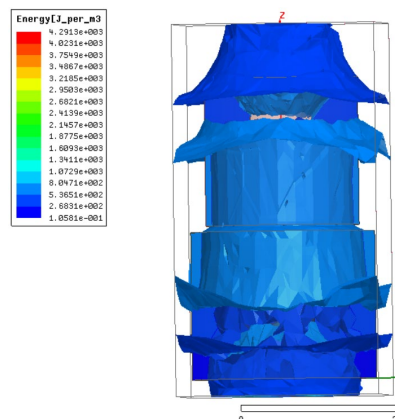


*Nota.* Simulación del vector del campo magnético mediante el software ANSYS MAXWELL.

En la Figura 57, se puede observar la magnitud de la transferencia de energía del campo magnético.

**Figura 57**

*Transferencia de energía del campo magnético.*



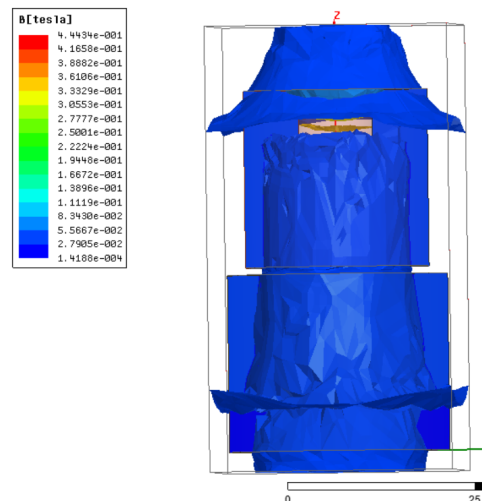


*Nota.* Simulación de la transferencia de energía del campo magnético mediante el software ANSYS MAXWELL.

En la Figura 58, se puede observar la magnitud del campo magnético.

### Figura 58

*Vector del campo magnético.*



*Nota.* Simulación del vector del campo magnético mediante el software ANSYS MAXWELL.

Al analizar las imágenes resultado de las simulaciones se puede observar que las zonas con mayor densidad de campo magnético se encuentran dentro del área del núcleo, es decir, no representaría una amenaza para el ser humano. De igual manera se puede observar que la configuración con mayor magnitud de campo magnético es la configuración de ferrita común.

### Montaje en case del sistema de carga inalámbrica

La estructura del case es de material metálico, sus dimensiones permiten instalar todos los componentes del sistema de manera ergonómica y bien empotradas, la distribución, como se muestra en la Figura 59, considera de manera principal la ubicación central de la estructura de soporte de la bobina primaria y el mecanismo de desplazamiento vertical del núcleo de ferrita para la configuración de núcleo común.

El resto de componentes se colocan de tal forma que permiten ordenar de forma optimizada el cableado, se evita la acumulación en lo posible. Todos los elementos deben estar bien sujetos al case.

Una vez organizado el case se analiza la robustez del prototipo ensamblado totalmente, con el fin de comprobar que el prototipo soporte el peso del vehículo en posición de carga, como se muestra en la Figura 60.

### Figura 59

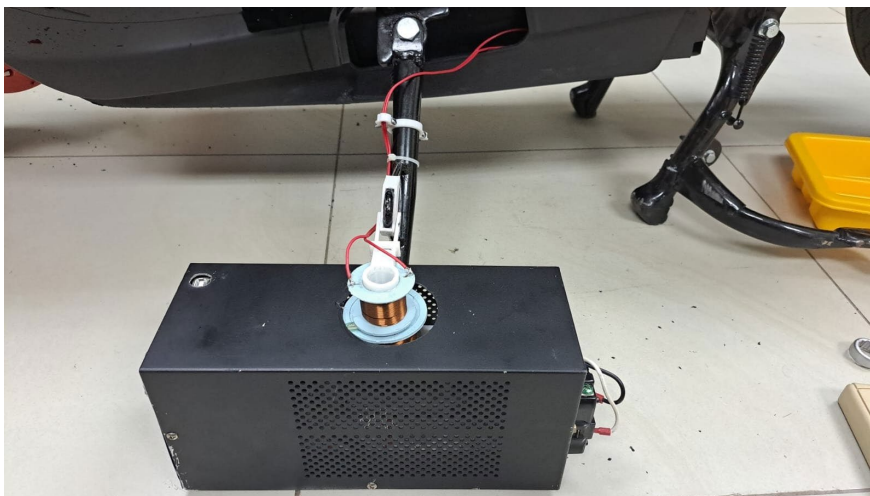
*Distribución de los componentes del sistema en el case*



*Nota.* Componentes del sistema.

### Figura 60

*Case del prototipo ensamblado completamente.*



*Nota.* Case del prototipo instalado.

## Capítulo IV

### Pruebas, Análisis y Resultados

Para realizar las pruebas se utiliza un vehículo eléctrico tipo motocicleta como la de la Figura 61, vehículo que cuenta con una potencia de 1000 watts alimentado por una batería de litio. Para la carga de la batería de litio se utiliza un sistema auxiliar que contiene una batería marca Bosch NS40 FE de 12V y 42Ah (C20).

#### Figura 61

*Vehículo eléctrico*



*Nota.* Vehículo preparado para realizar la instalación del sistema de carga inalámbrica por inducción magnética.

#### Equipos de prueba

Para el análisis del sistema de carga inalámbrico por inducción magnética, es necesario el uso de varios equipos y herramientas para medición eléctrica y magnética como: multímetro y frecuencímetro.

#### **Multímetro**

El multímetro se muestra en la Figura 62, permite la medición eléctrica de voltaje y amperaje de las etapas del sistema de carga inalámbrica por inducción magnética, de igual

manera permite determinar las magnitudes de: resistencia, capacitancia, continuidad, entre otras.

El multímetro permite efectuar las diferentes pruebas que requiere el sistema, como:

- Medición de tensión en corriente alterna y continua.
- Medición de intensidad en corriente alterna y continua.

## Figura 62

*Multímetro eléctrico.*



*Nota.* Instrumento de medición England Electronics HP-870B.

## **Frecuencímetro**


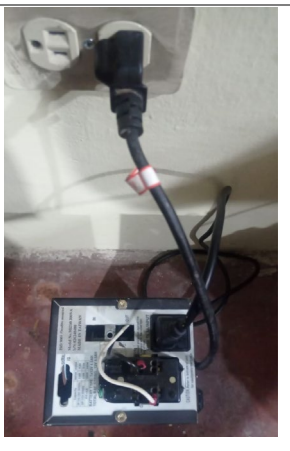


El instrumento permite medir la frecuencia de una señal alterna o analógica, se cuenta el número de ciclos de la onda sinusoidal por un periodo de tiempo se utiliza como principio un contador de número de periodos. Para este caso de estudio el multímetro eléctrico de la Figura 62, dispone de un medidor de frecuencia.





## **Proceso para las pruebas del sistema de carga inalámbrica**

A continuación, en la Tabla 13, se presenta el levantamiento del proceso para realizar las pruebas de medición. Se detalla pasos y métodos necesarios para el manejo de equipos de medición y para la conexión de los prototipos.

Tabla 13

*Proceso para la realización de pruebas del prototipo*

Procedimiento	Descripción	Imagen
<p>1. Descarga de la Batería Auxiliar Bosch NS40 hasta un valor mínimo de 11.09V</p>	<p>La batería auxiliar se encarga de alimentar un inversor de corriente de 12V a 110V para alimentar el cargador de la batería de litio del vehículo, cuando llega al valor mínimo la batería no arranca el inversor.</p>	
<p>2. Conectar a la línea de tensión domiciliar el prototipo de carga inalámbrico.</p>	<p>Se debe conectar en primer lugar el cable de poder en el socket del case del prototipo luego conectar el otro extremo del cable de poder al toma corrientes.</p>	
<p>3. Conectar el cable serial de alimentación del controlador.</p>	<p>Se debe conectar en primer lugar el cable al puerto serial del Arduino y luego con el adaptador a un toma corrientes. Este controlador activa el sistema de desplazamiento vertical automático de la configuración de núcleo común, también dispara los Mosfet del inversor para el prototipo 1.</p>	
<p>4. Preparar las bobinas en sus diferentes configuraciones.</p>	<p>Se procede al cambio de bobinas, tanto de la parte primaria como de la parte secundaria, debido a, el diseño de los soportes de las bobinas es fácil realizar el cambio, luego se realiza las pruebas.</p>	

Procedimiento	Descripción	Imagen
5. Conectar la parte secundaria o receptora del sistema.	En primer lugar, se conecta los terminales de la bobina receptora en el circuito multiplicador de voltaje, luego se conecta la salida del multiplicador al circuito de resonancia, luego se conecta la salida del circuito de resonancia al circuito rectificador, de la salida del rectificador se conecta a la fuente tipo boost que conserva la polaridad.	
6. Conectar el cargador a la batería.	Se tiene mucho cuidado en la polaridad de la salida de la fuente tipo boost, se procede conectar a la batería auxiliar para iniciar el proceso de carga.	
7. Medición de Tensión.	Conectar los terminales del multímetro a las terminales de la batería para realizar las pruebas de carga y consumo de tensión.	
8. Medición de Intensidad.	Encerrar con la pinza amperimétrica del multímetro el cable conectado al terminal positivo de la batería para realizar las pruebas de carga y consumo de intensidad.	

*Nota.* En la Tabla 13. Se detalla el proceso para realizar las pruebas de carga y consumo de la batería.

## Medición.

Para la medición previo a las pruebas de funcionamiento se utiliza como carga útil de consumo un foco incandescente de 20W. Se contempla mediciones de voltaje en dos tipos de situaciones; la primera situación es cuando las bobinas no se encuentran dentro de un case o sobre estructura de soporte, se la reconocerá desde ahora como sin ensamblar; la segunda situación es cuando las bobinas se encuentran dentro de un case o sobre una estructura de soporte, se la reconocerá desde ahora como ensamblado.

### Medición prototipo 1.

#### *Medición eléctrica del prototipo 1 del sistema sin estructura.*

A continuación, se muestra las mediciones realizadas de las diferentes configuraciones al prototipo 1, las pruebas se basan en la medición de tensión eléctrica, intensidad eléctrica y cálculo de potencia y eficiencia del sistema sin ensamblar el sistema en el case.

**Tabla 14**

*Mediciones eléctricas de las configuraciones para el prototipo 1 sin ensamblar.*

Configuración	k	Voltaje (V)	Amperaje (A)	P <sub>out</sub> (W)	P <sub>in</sub> (W)	Eficiencia $n$ $= P_{out}/P_{in}$ (%)
Núcleo de aire	0.5246	0.750	0.050	0.0375	82.5	0.05
Núcleo de ferrita separada	0.5246	2.150	0.180	0.387	82.5	0.47
Núcleo de ferrita común	0.5246	4.825	0.575	2.774	82.5	3.36

*Nota.* Configuraciones para prototipo 1.

### **Medición eléctrica del prototipo 1 del sistema con estructura.**

A continuación, se muestra las mediciones realizadas de las diferentes configuraciones al prototipo 2, las pruebas se basan en la medición de tensión eléctrica, intensidad eléctrica, cálculo de potencia y eficiencia del sistema, se ensambla el sistema en el case.

**Tabla 15**

*Mediciones eléctricas de las configuraciones para el prototipo 1*

<b>Configuración</b>	<b>k</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Amperaje (A)</b>	<b>P<sub>out</sub> (W)</b>	<b>P<sub>in</sub> (W)</b>	<b>Eficiencia <i>n</i> = <math>P_{out}/P_{in}</math> (%)</b>
<b>Núcleo de aire</b>	0,5246	0,240	0,050	0,012	82,5	0,02
<b>Núcleo de ferrita separada</b>	0,5246	0,870	0,098	0,085	82,5	0,1
<b>Núcleo de ferrita común</b>	0,5246	2,128	0,450	0,958	82,5	1,16

*Nota.* Mediciones eléctricas prototipo 1.

### **Medición prototipo 2.**

#### **Medición eléctrica del prototipo 2 del sistema sin estructura.**

A continuación, se muestra las mediciones realizadas de las diferentes configuraciones al prototipo 2, las pruebas se basan en la medición de tensión eléctrica, intensidad eléctrica y cálculo de potencia y eficiencia del sistema sin ensamblar el sistema en el case.



Tabla 16

Mediciones eléctricas de las configuraciones para el prototipo 2 sin ensamblar.

Configuración	k	Voltaje (V)	Amperaje (A)	P <sub>out</sub> (W)	P <sub>in</sub> (W)	Eficiencia $n = P_{out}/P_{in}$ (%)
Núcleo de aire	0,5246	4,670	0,483	2,2556	82,5	2,73
Núcleo de ferrita separada	0,5246	24,520	0,700	17,164	82,5	20,81
Núcleo de ferrita común	0,5246	130,3	0,880	114,664	82,5	138,99

Nota. Desarrollado por el autor

### Medición eléctrica del prototipo 2 del sistema con estructura.

A continuación, se muestra las mediciones realizadas de las diferentes configuraciones al prototipo 2, las pruebas se basan en la medición de tensión eléctrica, intensidad eléctrica y cálculo de potencia y eficiencia del sistema, se ensambla el sistema en el case.

Tabla 17

Mediciones eléctricas de las configuraciones para el prototipo 2

Configuración	k	Voltaje (V)	Amperaje (A)	P <sub>out</sub> (W)	P <sub>in</sub> (W)	Eficiencia $n = P_{out}/P_{in}$ (%)
Núcleo de aire	0,5246	1,030	0,150	0,1545	82,5	0,19

Configuración	k	Voltaje (V)	Amperaje (A)	P <sub>out</sub> (W)	P <sub>in</sub> (W)	Eficiencia $n = P_{out}/P_{in}$ (%)
Núcleo de ferrita separada	0,5246	6,198	0,480	2,9750	82,5	3,61
Núcleo de ferrita común	0,5246	36,540	0,703	25,6876	82,5	31,13

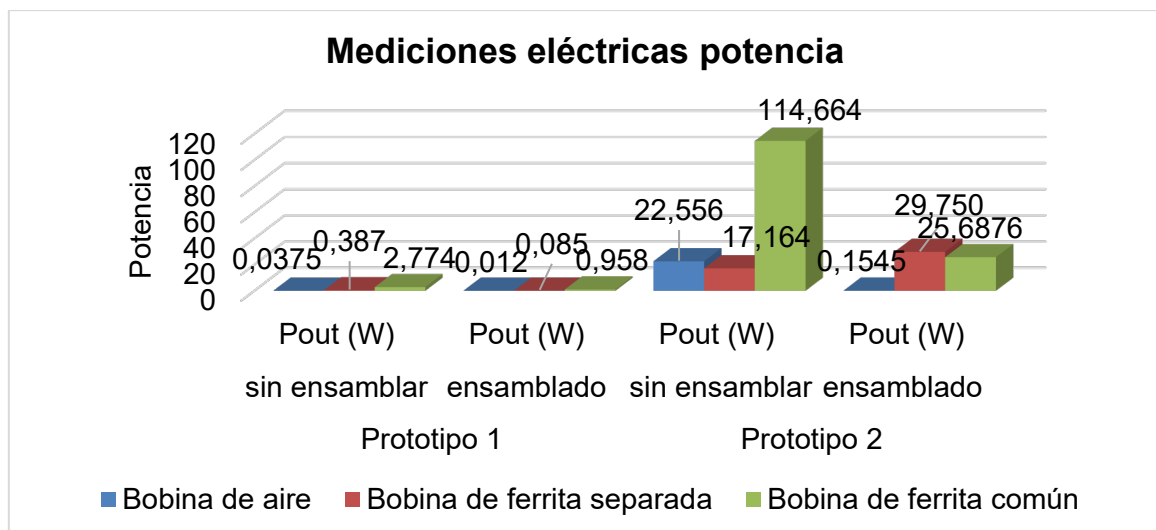
Nota. Mediciones eléctricas prototipo 2.

### Análisis de los resultados.

En la Figura 63, se muestra la relación entre el resultado de las mediciones y cálculos de la potencia generada.

**Figura 63**

Gráfico de barras de la potencia generada por los portotipos 1 y 2.



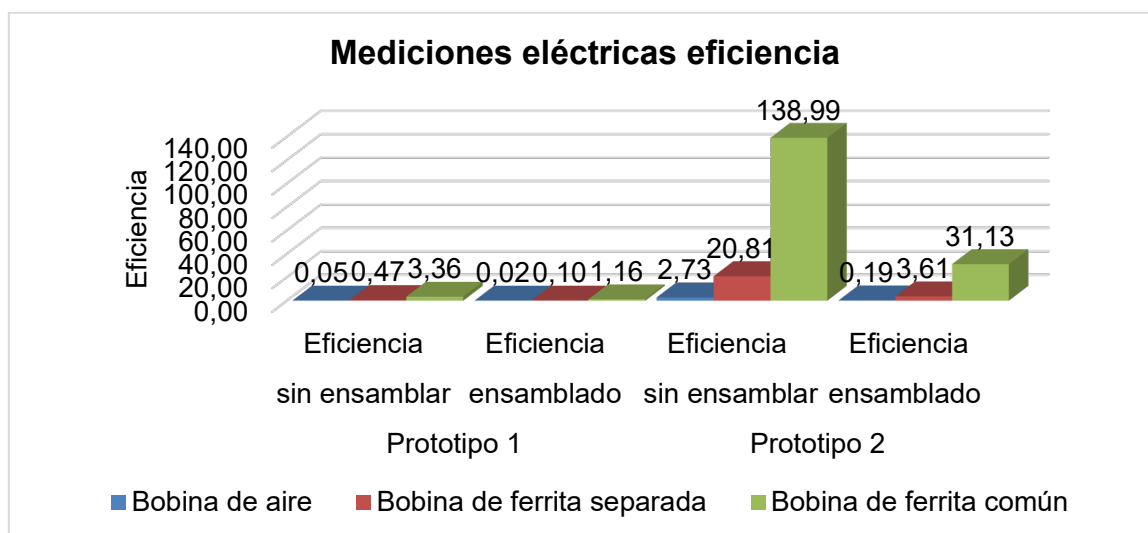
Nota. Barras de la potencia con software Excel.

El gráfico de las mediciones de potencia generada o se salida ( $P_{out}$ ) detalló mayor relevancia en el prototipo 2 en comparación al prototipo 1. En la bobina de aire el prototipo 2 de la situación sin ensamblar obtuvo un valor de potencia de 22,556, seguido de la situación ensamblado con 0,1545. La bobina de ferrita separada del prototipo 2 en la situación ensamblado fue de 29,750 y sin ensamblar de 17,164. Entre los valores más altos, la bobina de ferrita común respecto al prototipo 2 de situación ensamblado muestra un valor de 25,6876 en potencia, seguido de la situación sin ensamblar con un valor de 114,664. Es evidente que el prototipo 2 reveló valores más elevados con respecto al prototipo 1 cuyos valores se encontraron en un rango de 0,01 a 0,099. Se considera que la diferencia entre los valores de las situaciones sin ensamblar y ensamblado del prototipo 2, es a causa de los materiales de construcción utilizados para construcción de la estructura del modelo ensamblado.

El Figura 64, se muestra la relación entre el resultado de los cálculos de eficiencia de los prototipos 1 y 2.

#### Figura 64

Gráfico de barras de la eficiencia calculada para los portotipos 1 y 2.



Nota. Barras de eficiencia con el software Excel.

El gráfico del cálculo de eficiencia ( $\eta$ ) de acuerdo con el prototipo 1 y 2, reveló que la eficiencia con más relevancia dentro de la bobina de aire se encontró en el prototipo 2 en la situación sin ensamblar con un valor de 2,73%, seguido de la situación de ensamblado con 0,19%. Por otro lado, la bobina de ferrita separada reflejó en el prototipo 2 de la situación sin ensamblar con un valor de 20,81%, seguido de la situación ensamblado con 3,61%. La configuración de bobina ferrita común en el prototipo 2 de la situación sin ensamblar demostró el mayor valor de 138,99%, seguido de la situación ensamblado con 31,13%. Es importante dar a conocer que los valores son mayores en el prototipo 2 en el modelo sin ensamblar, los valores que interesan son los medidos en el prototipo 2 en la situación ensamblado, debido a, cuestiones de diseño finales para la protección y robustes del prototipo.

Pruebas de consumo por ciclo de conducción del vehículo.

Para determinar el consumo de energía del vehículo se considera las condiciones de manejo, estas son resultado del análisis de la investigación grupal desarrollada por el Escuela de Ingeniería Mecánica. Es importante conocer el consumo de energía en el ciclo de manejo, debido a, que la batería auxiliar permanece conectado al cargador de la batería de litio mientras el vehículo se encuentra en uso. En la Tabla 18. se muestra el alcance del vehículo con respecto a las marchas que dispone.

**Tabla 18**

*Alcance por marcha del vehículo eléctrico.*

<b>Marcha</b>	<b>Kilometraje</b>
<b>Baja marcha I</b>	(0-40km/h)
<b>Media marcha II</b>	(40-60 km/h)
<b>Alta marcha III</b>	(60-80 km/h)

*Nota.* Alcance por marcha.

El tiempo considerado entre cada marcha es:

$$100\% \rightarrow 1800s$$

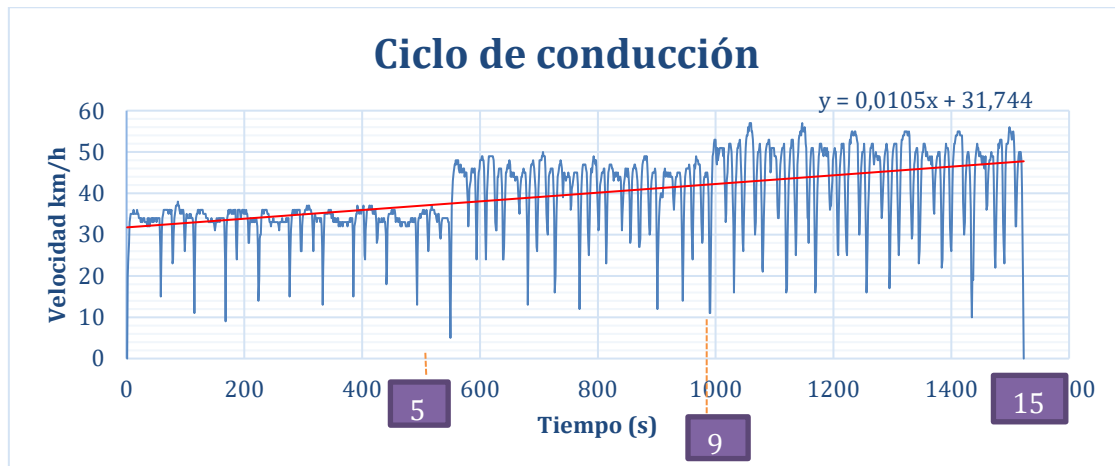
$$2.5\% \rightarrow X(s)$$

$$X(s) = 225s$$

EL ciclo de conducción utilizado para las pruebas se muestra en el Figura 65, en este se puede apreciar el kilometraje sobre el tiempo recorrido y en él se resalta los tiempos en segundos hasta alcanzar cada marcha.

**Figura 65**

*Valores del kilometraje (Azul) y media de crecimiento del kilometraje (Rojo).*



*Nota.* Gráfico de kilometraje con el software Excel.

El consumo de energía en las pruebas de conducción se puede observar en la Tabla 19. En las observaciones se detalla el periodo de cada ciclo y para cada ciclo el cambio de marcha requerido.

**Tabla 19**

*Medición de voltaje de la batería por el ciclo de conducción.*

<b>Tiempo transcurrido (min)</b>	<b>Voltaje medido de la batería (V)</b>	<b>Observación</b>
<b>00</b>	12,56	
<b>10</b>	12,17	Marcha1
<b>20</b>	12,13	Marcha2
<b>30</b>	12,09	Marcha3
<b>40</b>	12,09	Marcha 2
<b>50</b>	12,06	Marcha1
<b>60</b>	12,00	Marcha2
<b>70</b>	11,97	Marcha3
<b>80</b>	11,92	Marcha 2
<b>90</b>	11,83	Marcha1
<b>100</b>	11,61	Marcha2
<b>110</b>	11,57	Marcha3
<b>120</b>	11,50	Marcha 2
<b>130</b>	11,37	Marcha1
<b>140</b>	11,28	Marcha2
<b>150</b>	11,09	Marcha3
<b>160</b>	10.77	

*Nota.* Voltaje en el ciclo de conducción.

### **Pruebas de carga de energía de la batería emergente del vehículo.**

Para la prueba de carga de la batería del vehículo eléctrico, se utiliza el sistema de carga inalámbrico por inducción magnética que propone el segundo prototipo en situación de ensamblado. Como se consideró desde un principio para el diseño de los prototipos, la carga del vehículo se la realizó en estado estático y los valores de carga se muestran en la Tabla 20.

**Tabla 20***Medición de voltaje de la batería.*

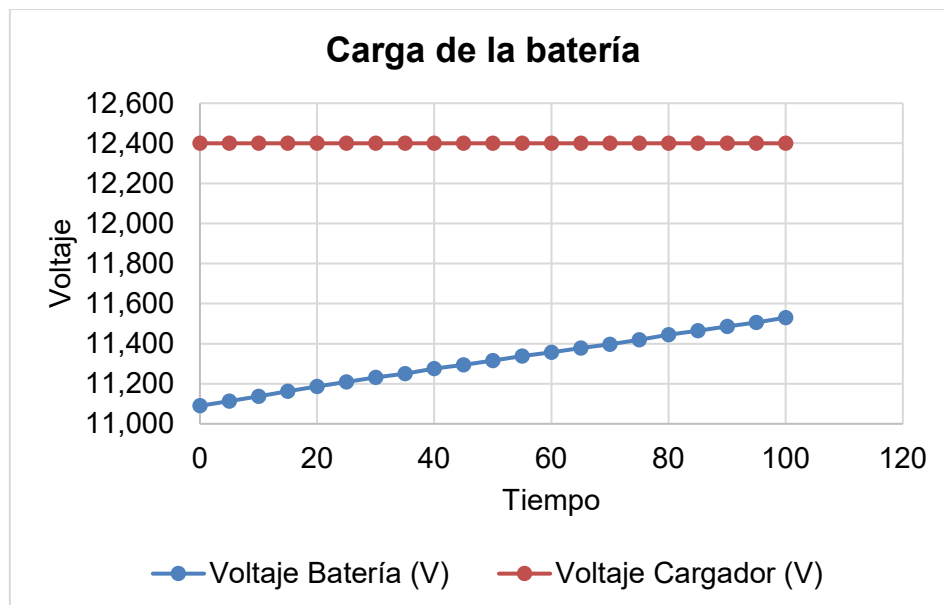
<b>Tiempo (Min)</b>	<b>Voltaje Batería (V)</b>	<b>Voltaje Cargador (V)</b>	<b>Incremento</b>	<b>Media</b>
<b>0</b>	11,090	12,4	0,023	0,02180
<b>5</b>	11,113	12,4	0,024	0,02180
<b>10</b>	11,137	12,4	0,026	0,02180
<b>15</b>	11,163	12,4	0,023	0,02180
<b>20</b>	11,186	12,4	0,023	0,02180
<b>25</b>	11,209	12,4	0,022	0,02180
<b>30</b>	11,231	12,4	0,019	0,02180
<b>35</b>	11,250	12,4	0,025	0,02180
<b>40</b>	11,275	12,4	0,019	0,02180
<b>45</b>	11,294	12,4	0,021	0,02180
<b>50</b>	11,315	12,4	0,023	0,02180
<b>55</b>	11,338	12,4	0,019	0,02180
<b>60</b>	11,357	12,4	0,021	0,02180
<b>65</b>	11,378	12,4	0,019	0,02180
<b>70</b>	11,397	12,4	0,023	0,02180
<b>75</b>	11,420	12,4	0,024	0,02180
<b>80</b>	11,444	12,4	0,021	0,02180
<b>85</b>	11,465	12,4	0,021	0,02180
<b>90</b>	11,486	12,4	0,020	0,02180
<b>95</b>	11,506	12,4	0,024	0,02180
<b>100</b>	11,530	12,4	0,021	0,02180

*Nota.* Control de carga inalámbrica por tiempo.

La Figura 66 muestra el incremento del voltaje durante el proceso de carga inalámbrica por inducción magnética con relación al voltaje de alimentación del sistema.

**Figura 66**

*Incremento del voltaje en el proceso de carga*



*Nota.* Comportamiento del voltaje en el proceso de carga con el software Excel.

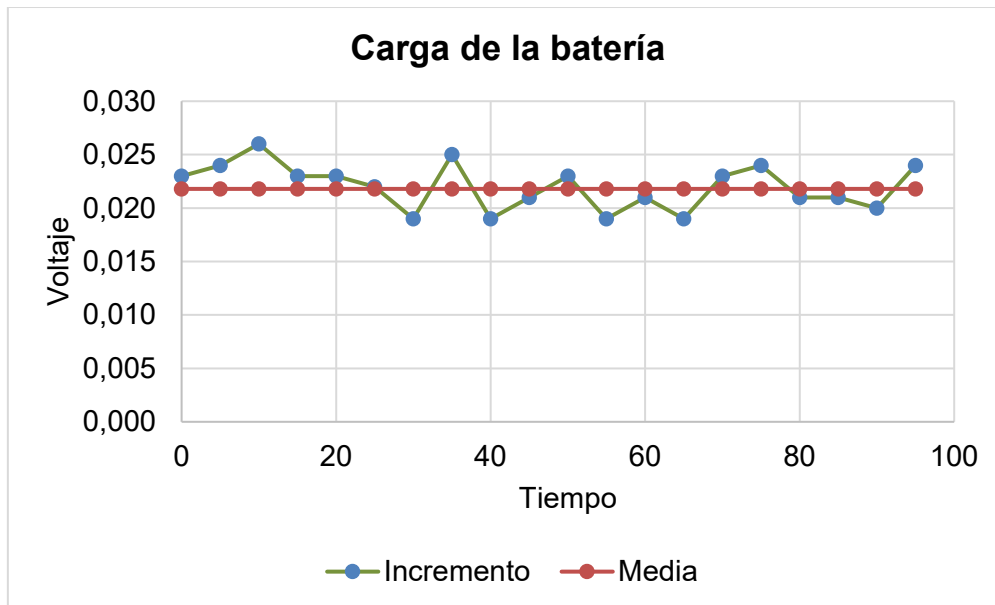
El gráfico de carga de batería de la Figura 66, muestra que el voltaje de la batería incrementa a 11,530 voltios desde un voltaje inicial en la batería de 11,090 voltios en un periodo de tiempo de 1 hora con 35 minutos, por otro lado, el voltaje del cargador se mantiene a un voltaje de 12,4 voltios, es decir no existe variación conforme al cargador debido a la fuente de voltaje tipo boost de configuración step up/down, sin embargo, el voltaje incrementa en 0,440 voltios durante todo el proceso de carga en el periodo de prueba.

La Figura 67 muestra el valor de incremento en voltaje del diferencial del valor de voltaje inicial y el voltaje final durante el transcurso de 5 minutos, esto durante el proceso de carga inalámbrica por inducción magnética en el periodo de prueba de 100 minutos.



**Figura 67**

Valor de incremento y media del proceso de carga.



Nota. Media del proceso de carga con el software Excel.

En la Figura 67 que muestra el valor de incremento y la media, se puede evidenciar el incremento inicial con un valor de 0,023 voltios y desciende a un valor mínimo en un tiempo de 30 minutos a un valor de 0,019 voltios. Sin embargo, en el transcurso de 5 minutos el incremento retoma un valor de 0,025 voltios por lo que es notable la variación. Las variaciones en el incremento del voltaje según la gráfica esta entre el rango de 0,026 voltios a 0,019 voltios en adelante. Es evidente que, en el transcurso de 100 minutos, el tiempo total que dura la prueba, el incremento termina como el valor inicial, de tal forma que la línea de tendencia conforme a los datos obtenidos fue de 0,022 voltios como la media conforme al incremento y el tiempo realizado en la investigación. Como resultado se puede obtener el tiempo de carga total aproximado a partir de la siguiente expresión matemática.

$$\Delta V = (\text{Voltaje batería máximo} - \text{Voltaje batería mínimo})$$

$$T_{tc} = \frac{\Delta V}{\text{Valor de carga}} * \text{Intervalo de tiempo}$$

Donde:

$\Delta V$ : Diferencia de voltaje.

*T<sub>tc</sub>*: Tiempo total de carga.

Por ejemplo, para el valor de carga máximo 0.024:

$$\Delta V = (12.09 - 11.09) = 1V;$$

$$T_{tc} = \frac{1V}{0.024V} * 5min$$

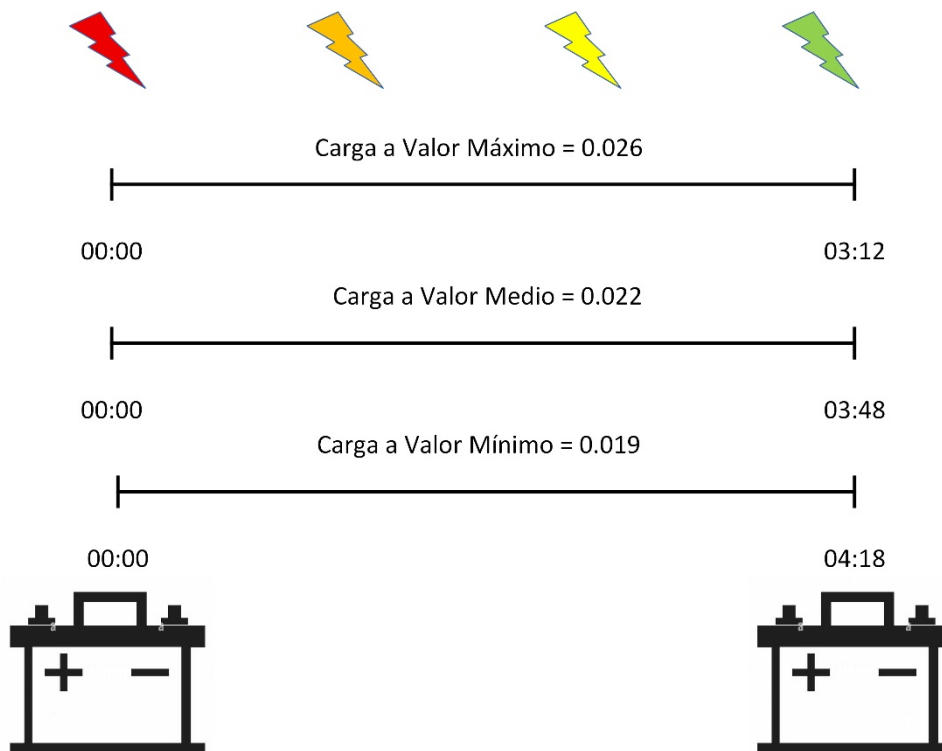
$$T_{tc} = 192.5min * \frac{1h}{60min}$$

$$T_{tc} = 3.2h$$

En la Figura 68 se muestra el tiempo requerido según los valores de carga máximo, tendencia media y mínimo.

**Figura 68**

*Pronóstico de tiempo necesario para la carga total.*





*Nota.* Tiempo para carga total.

Tabla 21

## Proceso para determinar el aumento de autonomía en la motocicleta eléctrica

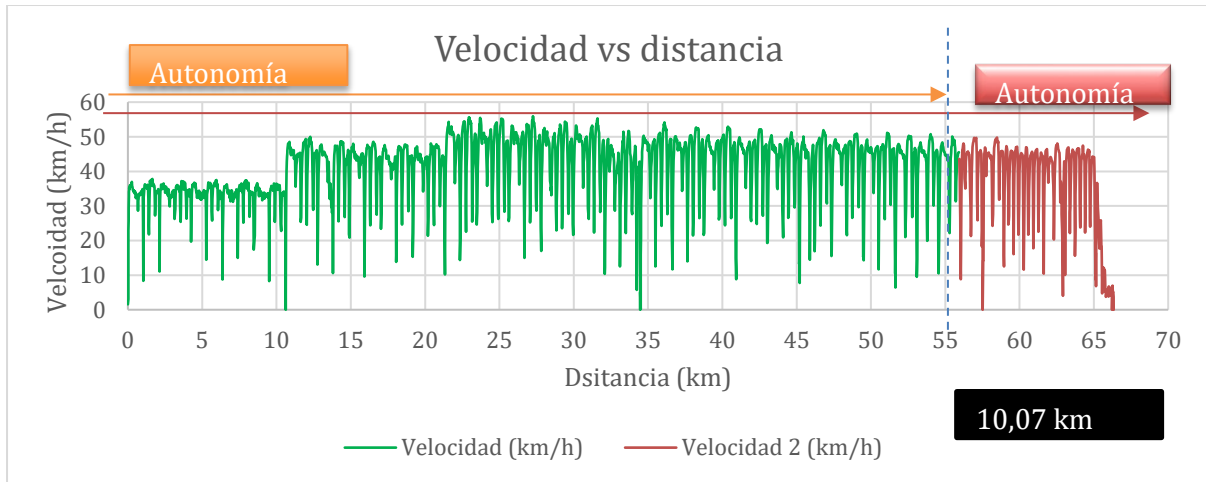
Procedimiento	Descripción	Imagen
1. Observar el porcentaje de batería que tiene la motocicleta eléctrica.	Se observó que al inicio la batería tiene 82 % de porcentaje que representa 16,738 Ah.	
2. Carga de Batería Auxiliar con el prototipo.	Se conectó por un tiempo de 3 horas y 20 minutos para lograr una carga completa.	
3. Comprobar Voltaje de Batería Auxiliar.	El voltaje de la batería Auxiliar debe superar los 12 V.	
4. Activar el inversor.	Se encendió el inversor que transforma la energía de 12 V de la batería auxiliar a una salida de 110 V que puede activar el cargador de la batería de litio.	

Procedimiento	Descripción	Imagen
5. Activar el Switch de seguridad.	Se manipuló el Switch de seguridad de tal modo que permita el paso de corriente hacia la batería de litio.	
6. Cronometrar el tiempo de carga.	Se obtuvo un registro del tiempo de carga y fue de 32 minutos.	
7. Finalizar el ciclo de carga.	Se observó que cuando la batería auxiliar se descarga totalmente el inversor emite un sonido para dar aviso que el voltaje de la batería auxiliar no es suficiente para abastecer la alimentación del inversor y el proceso de carga finalizó	
8. Observar el resultado del proceso de carga.	Se documentó el resultado final de la prueba de carga que se realizó desde la batería auxiliar hacia la batería de litio y como resultado proporcionó un 7	

Procedimiento	Descripción	Imagen
	% al porcentaje total de la batería de litio y 18,004 Ah.	
9. Comprobar autonomía en ruta específica.	Se seleccionó la ruta dentro de las calles de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Belisario Quevedo.	
10. Determinar autonomía final.	Se incrementó 10,07 kilómetros de recorrido en la ruta seleccionada con un porcentaje de 7 % que le proporcionó la batería auxiliar.	

*Nota.* Proceso para determinar la autonomía que se proporcionó utilizando el prototipo de carga inalámbrica.

La figura 69 muestra la autonomía final que se logró con la implementación del prototipo de carga inalámbrica por inducción, el cargador mediante una batería auxiliar de litio plomo de 42 Ah proporcionó un 7 % de porcentaje a la batería de litio en 32 minutos, que mediante un prueba de conducción de la motocicleta eléctrica dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Belisario Quevedo proporcionó autonomía para 10,07 kilómetros de recorrido en una autopista plana dentro de las calles de la misma.

**Figura 69***Gráfica de la autonomía final*

*Nota.* Autonomía final mediante un ciclo de conducción establecido.

## Capítulo V

### Marco Administrativo

#### Recursos

Para ejecutar de forma factible la presente investigación, a continuación, se detallan los recursos: humanos, tecnológicos, materiales y económicos para garantizar la confiabilidad y la viabilidad del análisis de los sistemas de carga inalámbrico por inducción magnética para vehículos eléctricos.

#### Recursos Humanos

El recurso humano utilizado para el desarrollo del presente proyecto de titulación titulado “DISEÑO E INVESTIGACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CARGA INALAMBRICA POR INDUCCIÓN PARA INCREMENTAR LA AUTONOMÍA EN UNA MOTOCICLETA ELÉCTRICA”.

**Tabla 22**

*Recurso Humano.*

Orden	Valor/Descripción	Función
1	Oñate Pico Carlos Andrés	Investigador
2	Ing. Erazo Laverde, Washington Germán Mg.	Director de trabajo

*Nota.* En la Tabla 20. Se detalla el recurso humano participante en el proyecto.

#### Recursos Tecnológicos

Los recursos tecnológicos utilizados para el diseño, realización y construcción del cargador inalámbrico con transmisión de energía por inducción magnética se detallan en la Tabla 21.

**Tabla 23***Recurso Tecnológico*

<b>Orden</b>	<b>Valor/Descripción</b>	<b>Función</b>
<b>1</b>	Laptop Dell	Diseño y Documentación
<b>2</b>	Servicio de Internet	Investigación
<b>3</b>	Multímetro	Medición
<b>4</b>	Software y Aplicaciones Informáticas	Diseño
<b>5</b>	Máquinas Herramientas	Construcción

*Nota.* En la Tabla 21. Se detalla los recursos tecnológicos que se utilizan para construir el presente proyecto.

**Recursos Materiales**

Los recursos materiales requeridos para el diseño, realización y construcción del cargador inalámbrico con transmisión de energía por inducción magnética se detallan en la Tabla 22.

**Tabla 24***Recursos Materiales*

<b>Orden</b>	<b>Valor/Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
<b>1</b>	Cable magneto calibre 20 AWG	1libra
<b>2</b>	Barra de Ferrita de 10mm de diámetro	1
<b>3</b>	Barra de Ferrita rectangular (13*5) mm	4
<b>4</b>	Rollo PLA para impresión 3D	1
<b>5</b>	Terminales Eléctricas	8
<b>6</b>	Conductor flexible 16AWG	2 metros
<b>7</b>	Mosfet IRFZ44N	4
<b>8</b>	Diodos Rectificadores IR607	12
<b>9</b>	Capacitor Tipo Película 1uF	12
<b>10</b>	Resistencias	8



Orden	Valor/Descripción	Cantidad
11	Encapsulado de diodos rectificadores	2
12	Servomotor	1
13	Sensor de presión y fuerza	1
14	Módulo fuente tipo boost up/down	1
15	Placa controladora Arduino Nano	1
16	Placa controladora Arduino Mega	1
17	Estación de soldadura	1
18	Juego de brocas metálicas	1
19	Balastro 260KHz	1
20	Terminales tipo cocodrilo	6
21	Cable de poder	1
22	Cable serial	1
23	Case metálico	1

*Nota.* En la Tabla 22. Se detalla los recursos materiales que se utilizan para construir el presente proyecto.

### Recursos Económicos

Los recursos económicos necesarios para el diseño, realización y construcción del cargador inalámbrico con transmisión de energía por inducción magnética se detallan en la Tabla 23.

### Tabla 25

#### Recursos Materiales

Valor/Descripción	Cantidad	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
<b>Cable magneto calibre 20 AWG</b>	1libra	15.00	15.00
<b>Barra de Ferrita de 10mm de diámetro</b>	1	12.00	12.00
<b>Barra de Ferrita rectangular (13*5) mm</b>	4	7.00	28.00

<b>Valor/Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (USD)</b>	<b>Valor Total (USD)</b>
<b>Rollo PLA para impresión 3D</b>	1	20.00	20.00
<b>Conductor flexible 16AWG</b>	2 metros	0.80	1.60
<b>Mosfet IRFZ44N</b>	8	0.75	6.00
<b>Diodos Rectificadores IR607</b>	12	0.50	6.00
<b>Encapsulado de diodos rectificadores</b>	2	0.50	1.00
<b>Servomotor</b>	1	5.20	5.20
<b>Sensor de presión y fuerza</b>	1	4.00	4.00
<b>Módulo fuente tipo boost up/down</b>	1	15.00	15.00
<b>Placa controladora Arduino Nano</b>	1	15.00	15.00
<b>Placa controladora Arduino Mega</b>	1	25.00	25.00
<b>Balastro 260KHz</b>	1	27.00	27.00
<b>Cable de poder</b>	1	3.50	3.50
<b>Cable serial</b>	1	3.00	3.00
<b>Case metálico</b>	1	12.00	12.00
<b>Insumos de ferretería</b>		50.00	50.00
<b>Insumos electrónicos varios</b>		85.00	85.00
<b>Impresiones en 3D</b>		45.00	45.00
<b>Batería Bosch S40</b>		70.00	70.00
<b>TOTAL</b>			<b>449.30</b>

*Nota.* En la Tabla 23. Se detalla los recursos económicos que se utilizan para construir el presente proyecto.

## Capítulo VI

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

- Se diseñó y se implementó el sistema de carga de la batería de respaldo de un vehículo eléctrico mediante un modelo de carga inalámbrico constituido por un sistema de balastro electrónico de 75W a una frecuencia de trabajo 260KHz, para alimentar una batería de 12V a 42Ah de consumo, con un sistema mecánico manivela-corredera automatizado por sensor de detección de presión y un sistema de aviso informativo con *display*. Se obtuvo con la aplicación del sistema un aumento en la autonomía del vehículo de un 7% con una carga de 32 minutos.
- Se comparó los diferentes parámetros de construcción para: la configuración de inversores de potencia de puente tipo H, topologías de compensación resonante y modelos de transmisión de inducción magnética mediante el estudio de análisis documentados, se consideró un potencial de mínimo 10W y una tensión de 12V, disponibilidad de elementos y requerimientos de diseño. De tal forma, se prueba finalmente: una configuración de inversor de potencia de puente medio, una topología de compensación resonante tipo serie-serie y una transmisión de inducción magnética por núcleo de ferrita común.
- Los resultados del estado del arte, consideran actualmente una investigación en auge a la alternativa de carga inalámbrica por inducción magnética para vehículos eléctricos, se hizo un análisis de parámetros de: seguridad, rendimiento, capacidad de transferencia y métodos de construcción, se determina que la opción elegida para este proyecto de investigación cumple de mejor manera estos parámetros.
- Las densidades encontradas por la simulación en el software de elementos finitos fueron inferiores a  $1 \times 10^{-4}$  del campo magnético generado a una aproximación de 2mm entre las bobinas con una excitación de 2A en la bobina primaria y 1A en la bobina secundaria, se concluye que es un campo magnético no peligroso para el ser

- humano. Además, se consideró un cambio en la composición del núcleo, se determinó que el material de construcción afecta directamente al campo magnético.
- Se evaluó y comparó dos prototipos del sistema de carga inalámbrica por inducción magnética; el primero contempló un diseño convencional se consideró el reemplazo de elementos electrónicos que trabajan a altas frecuencias por elementos de fácil disponibilidad en el mercado, el segundo contempló un diseño que subsanó el problema en la disponibilidad de elementos ideales con el uso de un sistema de balastro electrónico de alta eficiencia. Debido a, el uso de elementos de frecuencia media disponibles en el mercado, el primer prototipo obtiene una eficiencia sumamente baja con respecto a los valores resultados de la simulación, sin alcanzar ni el 5% de eficiencia. El uso del sistema de balastro electrónico para la etapa primaria del segundo prototipo permitió lograr una eficiencia del 138.99% en el sistema previo al ensamblado y un 31.13% en el sistema ya ensamblado.
  - Se implementó de forma correcta tanto: la bobina receptora del sistema secundario en la pata de apoyo lateral del vehículo eléctrico, como la bobina emisora en la plataforma de protección diseñada para sistema primario, de tal forma, se alcanzó el posicionamiento correcto entre ambas bobinas una sobre la otra mediante el apoyo de un mecanismo de brazo sujetador para la bobina receptora. Para un diseño óptimo se consideró en primera instancia las dimensiones de las áreas donde van a ser ubicadas las bobinas y la relación entre la posición en reposo del vehículo eléctrico y la ubicación de la zona de carga.
  - Finalmente, el sistema de carga inalámbrica se desarrolló con: elementos de fácil disponibilidad, electrónica básica en la parte de circuitería, mecanismos simples de un grado y dos grados de libertad, bobinas multicapa de tamaño reducido, rebobinado de elaboración sencilla con cable magneto comercial y fácil ensamblado, ubicación y traslado del prototipo. De tal forma, se presentó un prototipo viable y factible para su construcción y replicación en estudios similares.

## Recomendaciones

- Utilizar balastos electrónicos de mayor frecuencia y potencia le ayuda a aumentar el campo inductivo y mejora la transferencia de energía a través del campo magnético. De igual manera el uso de núcleos de ferrita de mayor área o diámetro.
- Es recomendable utilizar materiales con un índice de conductividad más bajo posible para la construcción de las estructuras de soporte de las bobinas para evitar pérdidas en la transferencia de energía.
- Se logró un mejor rendimiento con el cable magneto comercial con bobinas multicapa a diferencia de bobinas planas o de tesla, por lo que se recomienda utilizar este tipo de bobinas para el desarrollo de prototipos similares si se utiliza cable magneto. Según información del estado del arte, en el caso de utilizar cable tipo litz se tiene un mejor rendimiento con bobinas planas o de tesla.
- Si el estudio que se propone va enfocada a un diseño nuevo de un sistema de potencia para la etapa primaria que contemple un inversor y un circuito resonante personalizado, se recomienda primero, verificar la disponibilidad de los elementos requeridos o simulados.
- Se recomienda utilizar protección dieléctrica para la manipulación y/o ensamble de la señal generada por el balastro electrónico.

## Bibliografía

- Aguilar Gamarra , H. N. (2014). *Diseño de un motor síncrono con imanes de ferritas para motocicleta eléctrica*. . Catalunya : Universidad Politécnica de Catalunya.
- Artus, S., Marín, V., & Enzo., V. (2019). *Carga Inalámbrica de Vehículos Eléctricos*. Montevideo: Universidad de la Republica.
- Avendaño, N. M. (2005). *Diseño y Construcción de un Balastro Electrónico alimentado con CD para encender una Lámpara Fluorescente de 21 Watts*. Oaxaca: Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Club Español de la Energía. (2018). *Cuaderno de Energía Nº 57* (Vol. 20). Madrid, Madrid, España: Club Español de la Energía.
- Croll, J. (2015). Climate and Time in Their Geological Relations. En *A Theory of Secular Changes of the Earth's Climate* (págs. 32-34). A Theory of Secular Changes of the Earth's Climate.
- DicTraf. (2018). *La Movilidad al Trabajo: un reto pendiente*.
- Dumancela, M. (15 de 12 de 2021). *Acelerando*. Obtenido de Acelerando: <https://acelerando.com.ec/quito-cuenta-con-el-mayor-numero-de-puntos-de-recarga-para-autos-electricos-en-el-pais/>
- EEA. (2016). *Air Quality in Europe*.
- Electrocables. (2019). *Tipos de alambres magneto*. Durán: Electrocables.
- Fonseca, J. H. (2011). CELDAS, PILAS Y BATERÍAS DE ION-LITIO UNA ALTERNATIVA PARA? *Journal Bolivariano de ciencias* , 47.
- García, G. (28 de Octubre de 2021). *HE Híbridos y eléctricos*. Obtenido de HE Híbridos y eléctricos: <https://www.hibridosyelectricos.com>
- García, Ramos, & M.LS. (2017). *Evolución de la reglamentación europea sobre emisiones y homologación de los vehículos*.
- Greenpeace. (2016). *El transporte en ciudades y cambio climátic*.
- Gwynne, P. (2016). *The Cooling World*.

- IDAE, R. &. (2019). *Guía de movilidad eléctrica para entidades locales*.
- IEA. (2019). *Global EV*.
- Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2019). *Balance energético nacional*.  
Obtenido de Ministerio de energía y recursos naturales no renovables:  
<https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/12/Balance-Energetico-Nacional-2019-1.pdf>
- IPC. (2018). *Special Report: Global Warming of 1.5°C*.
- IPCC. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. En *Contribution of Working Group 1 to the fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (págs. 9-13).
- Iturrate, E. (2021). *Diseño de un cargador de vehículo eléctrico orientado a aplicaciones V2G*. Bilbao: Universidad del País Vasco.
- Lelieveld, P, K. K., F., U. P., M, A. D., & Jos. (2019). *Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe using novel hazard ratio functions* (Vol. 40). European Heart Journal.
- Martinez, J. (18 de 06 de 2018). *ElectroDaddy*. Obtenido de ElectroDaddy:  
<https://www.electrodaddy.com/baterias-de-hidruro-metalico-de-niquel-nimh/>
- MinEcología. (2020). <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha- contra-el-cambio-climatico/naciones-unidas/CMNUCC>.  
Recuperado el NOVIEMBRE de 2021, de [www.miteco.gob.es](http://www.miteco.gob.es)
- Molina Redrobán , R. D. (2019). Diseño mediante simulación de la estructura para una motocicleta eléctrica. *Domino de las ciencias* , 868.
- NASA. (2020). *Global Climate Change: Vital Signs of the Planet*. Recuperado el NOVIEMBRE de 2021, de <https://climate.nasa.gov/scientific-consensus>
- Palao Maíz, O. J. (2019). *Análisis, diseño y simulación del estudio energético de una motocicleta eléctrica de competición*. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia .
- Parra Saiani, P., Burlando, C., Ivaldi, E., & Penco, L. (2020). ACEA Report: Vehicles in use – Europe 2019. European Cochemobile Manufacturers Association. *Revista de*

- Cultura Digital y Movimientos Sociales*, 17(1), 47-58. Obtenido de file:///C:/Users/cedpi/Downloads/Dialnet-LaPropensionAlUsoDelCocheCompartidoYSusBasesDecisi-7280708.pdf
- Pozueta, M. Á. (2014). *Materiales y Circuitos Magnéticos*. Cantabria: Universidad de Cantabria y Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética.
- Renault. (17 de Enero de 2023). *¿Cómo funcionan los motores de los vehículos eléctricos?* Obtenido de Renault: <https://www.renault.cl/noticias/como-funcionan-los-motores-electricos>
- Ruiz, J. L. (08 de 05 de 2014). *Como funciona*. Obtenido de Como funciona: <https://como-funciona.co/vehiculo-electrico/>
- United Nations. (5 de junio de 2019). *Qué es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Obtenido de <https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/convencion-marco-naciones-unidas-cambio-climatico>
- VT BATTERIES SL. (15 de Mayo de 2021). *VT POWER*. Obtenido de VT POWER: <https://vtpower.es/blog/2021/05/15/ventajas-y-desventajas-de-las-baterias-de-plomo-acido-y-litio/>
- Wear, S. R. (2008). *The Carbon Dioxide Greenhouse Effect*.
- WMO. (2019). *The Global Climate in 2015-2019*.
- Yáñez, I. (2019). Sistema de carga inalámbrica para vehículos eléctricos en reposo. *Enfoque UTE*, 1-12.