



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

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

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

**Tema:**

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

**Autor:** Oñate Pico, Carlos Andrés

**Director:** Ing. Erazo Laverde, Washington Germán

**Latacunga, Enero 2023**



***“No importa la intensidad de la lluvia, si no la paciencia que tengas tú para esperar que ella cese. Porque ningún mal tiempo dura para siempre.” (Anónimo)***

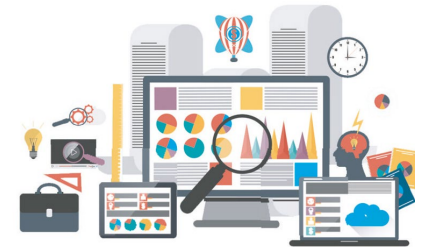


# Contenido

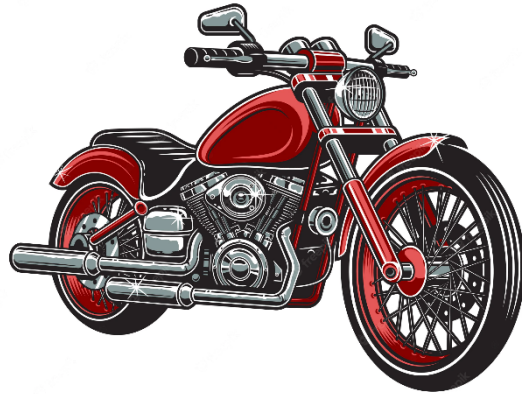
- Antecedentes
- Planteamiento del problema
- Descripción resumida del proyecto
- Justificación e importancia
- Objetivos
  - Objetivo General
  - Objetivos Específicos
- Metas
- Marco teórico
  - Movilidad eléctrica
  - Vehículo eléctrico
  - Motocicleta eléctrica-componentes
  - Batería de litio
  - Motor eléctrico
  - Controlador electrónico
  - Cargador de un vehículo eléctrico
  - Cargador inalámbrico



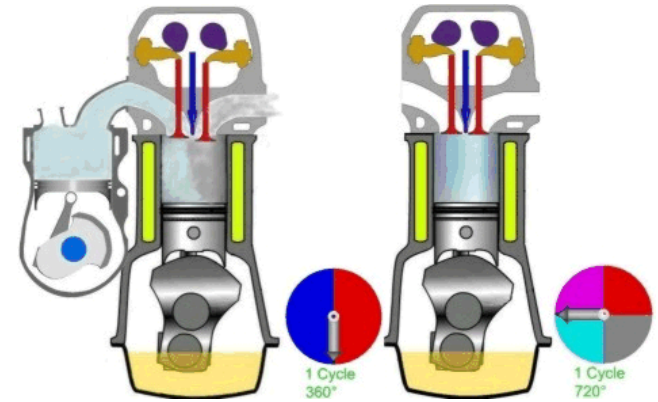
- Carga inalámbrica en vehículos eléctricos
- Futuro y ventajas de la carga inalámbrica
- Carga inalámbrica por inducción magnética
- Diseño y construcción del cargador inalámbrico
  - Parámetros del campo magnético
  - Composición del sistema
  - Construcción del sistema de bobinas
  - Simulación del campo magnético del sistema de bobinas
  - Simulación del campo magnético-núcleo de ferrita común
  - Simulación del campo magnético-núcleo de ferrita separado
  - Montaje del sistema de carga inalámbrica
- Pruebas y análisis de resultados
- Conclusiones y recomendaciones



# Antecedentes



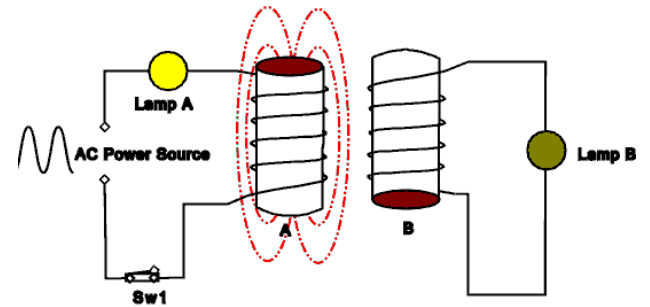
Motocicleta con combustión interna



Transición Ecológica



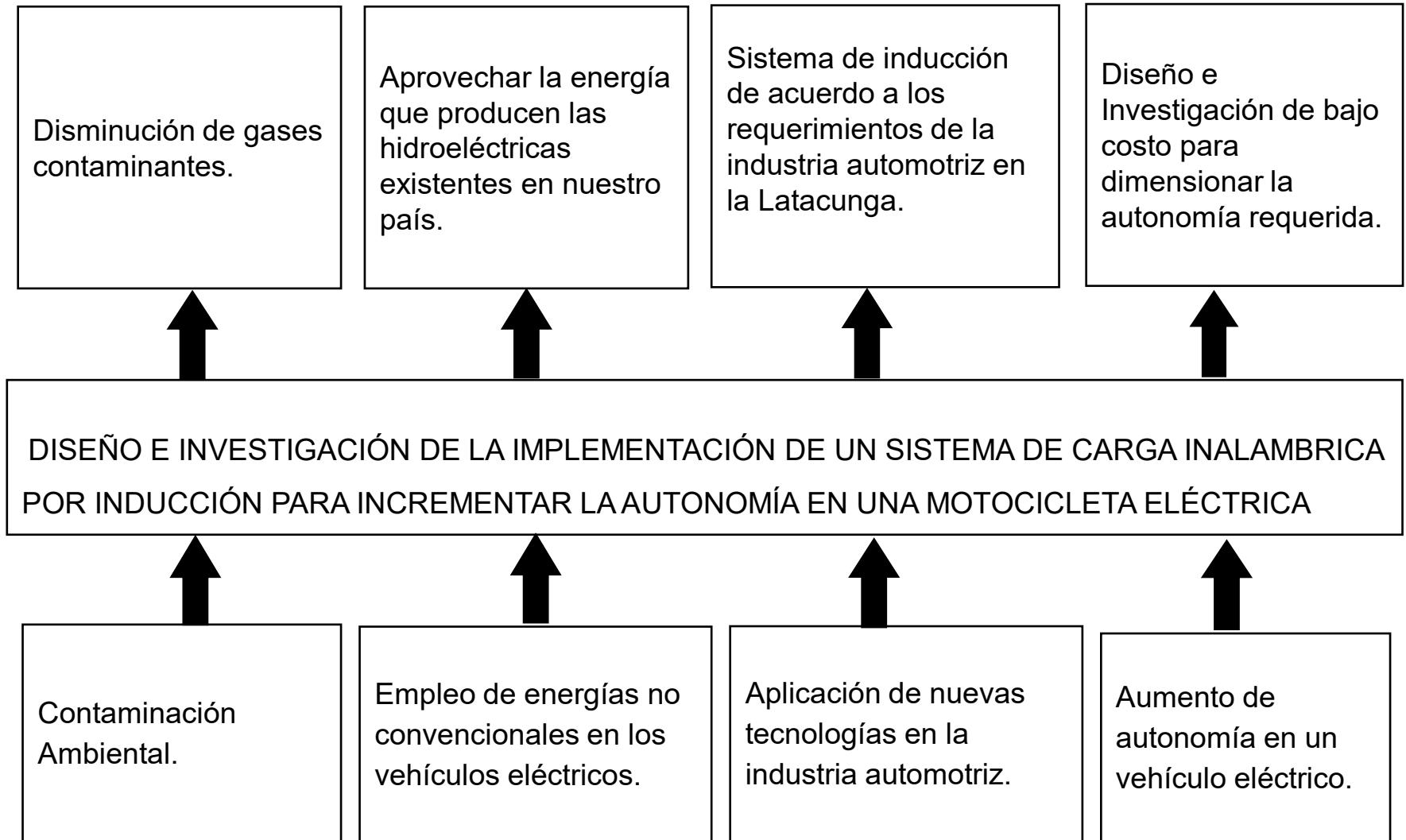
Motocicleta eléctrica



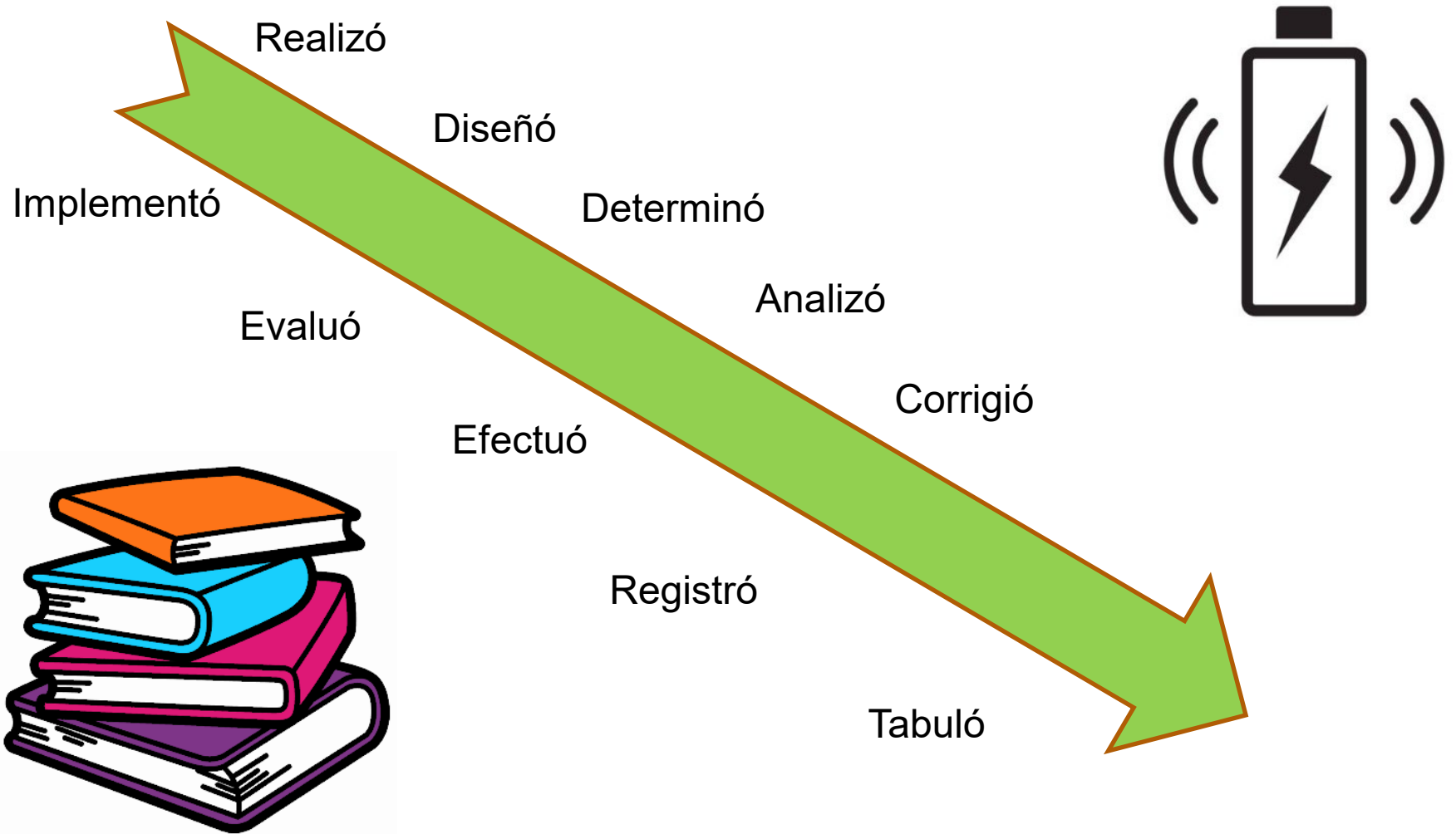
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



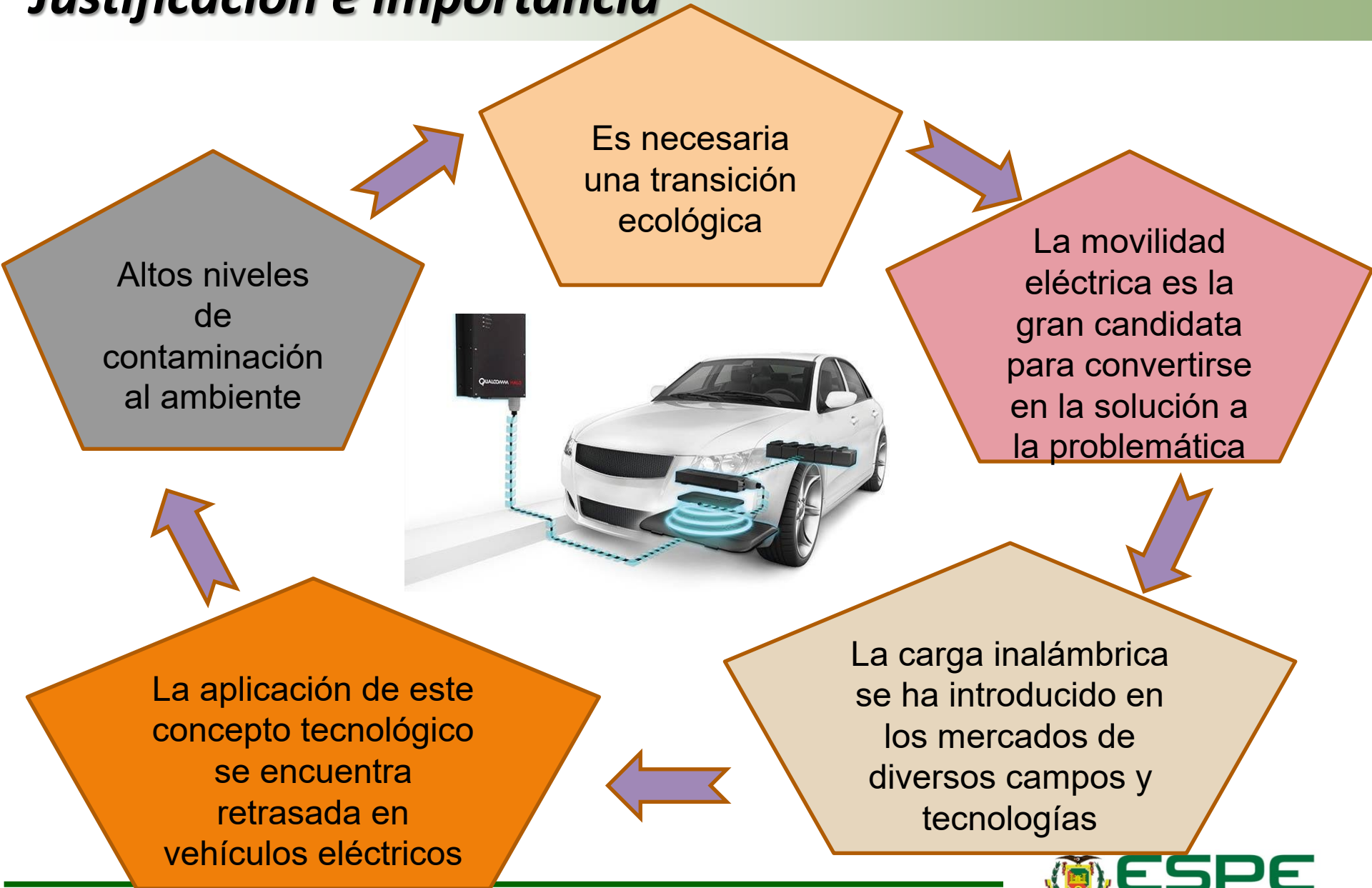
# Planteamiento del Problema



# Descripción resumida del proyecto



# Justificación e importancia



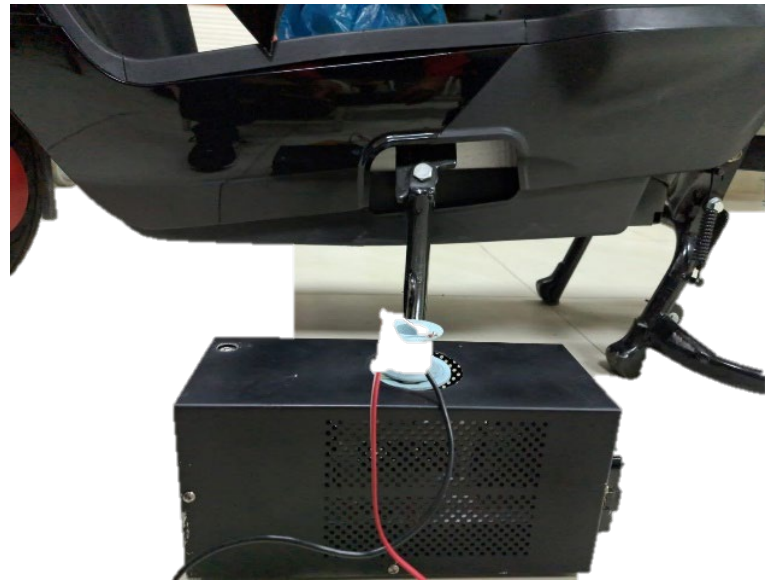


# Objetivos

## Objetivo General



Diseñar e implementar un sistema de carga mediante modelos de carga inalámbricos de tipo magnético, en la motocicleta eléctrica para optimizar su autonomía.



# Objetivos Específicos



Investigar en fuentes de información acerca de los principales parámetros de modelos de carga inalámbrica



Levantar los requerimientos necesarios para el diseño e implementación del sistema de carga inalámbrica



Seleccionar los componentes del sistema de carga inalámbrico para el vehículo eléctrico de bajo consumo y que sean factibles ubicarlos.



Implementar el sistema de carga inalámbrico en el vehículo mediante bobinas de inducción.

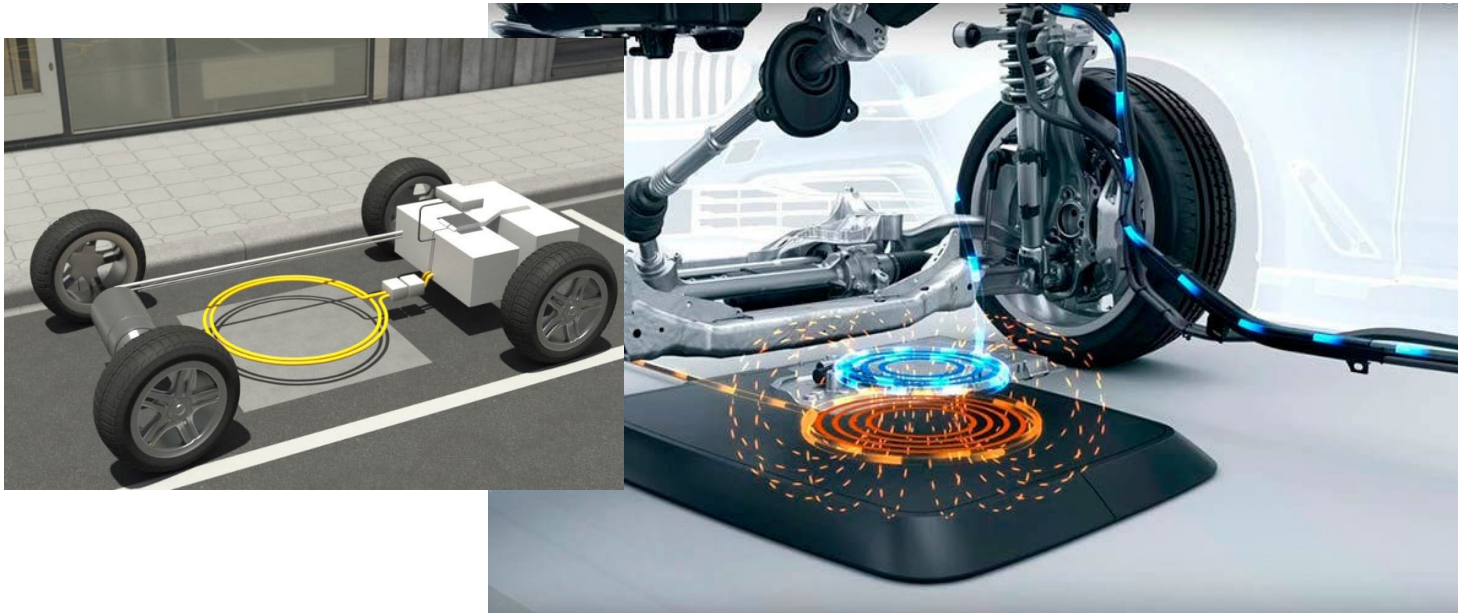
# Meta

Obtener un sistema viable de carga inalámbrica de un vehículo eléctrico a través de software especializado para ser implementado en una motocicleta eléctrica que permita un aumento de autonomía.



# Hipótesis

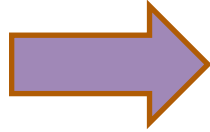
¿El sistema de carga tipo Rotor generador permitirá elevar la autonomía de la motocicleta eléctrica?



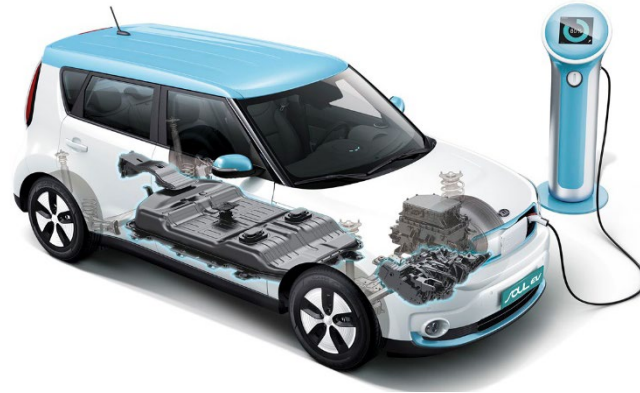
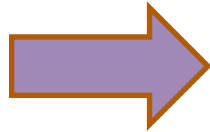
# Marco teórico

# Movilidad Eléctrica

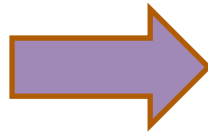
Vehículo eléctrico



Principio de funcionamiento



La movilidad eléctrica como solución



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



# 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 eléctrico.

ELECTRÓNICA DE POTENCIA  
Y TRANSFORMADOR

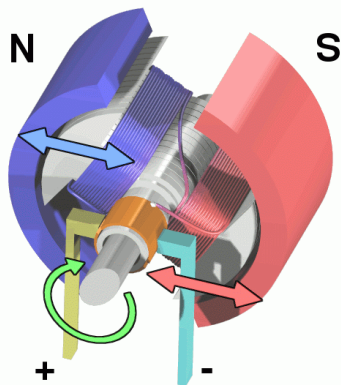
CARGADOR DE  
LA BATERÍA

CAJA DE  
CONEXIONES



MOTOR ELÉCTRICO Y  
ENGRANAJE REDUCTOR

BATERÍA DE IONES  
DE LITIO



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

# Motocicleta eléctrica -componentes



**Baterías**

**Batería de plomo-ácido  
Batería de litio**

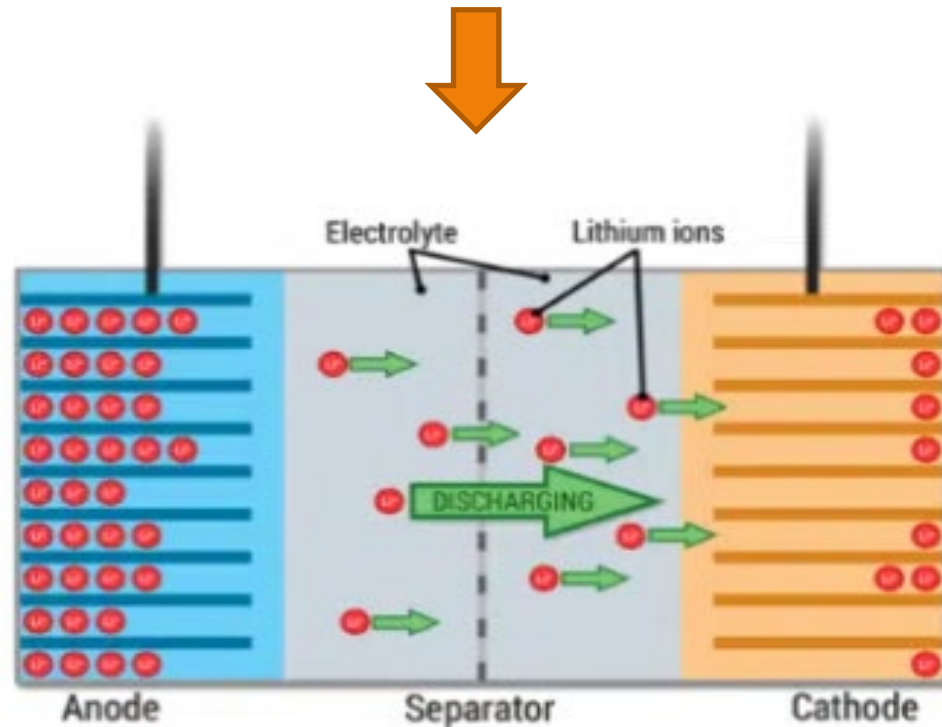
**Motor eléctrico**

**Controlador electrónico**

**Mandos electrónicos**

# Batería de litio

Las baterías de litio presentan varias ventajas frente al resto, sobre todo si se compara su peso y su capacidad de almacenamiento.



# Motor eléctrico

Las motocicletas eléctricas, emplean 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.



**Motores de corriente continua (MCC)**

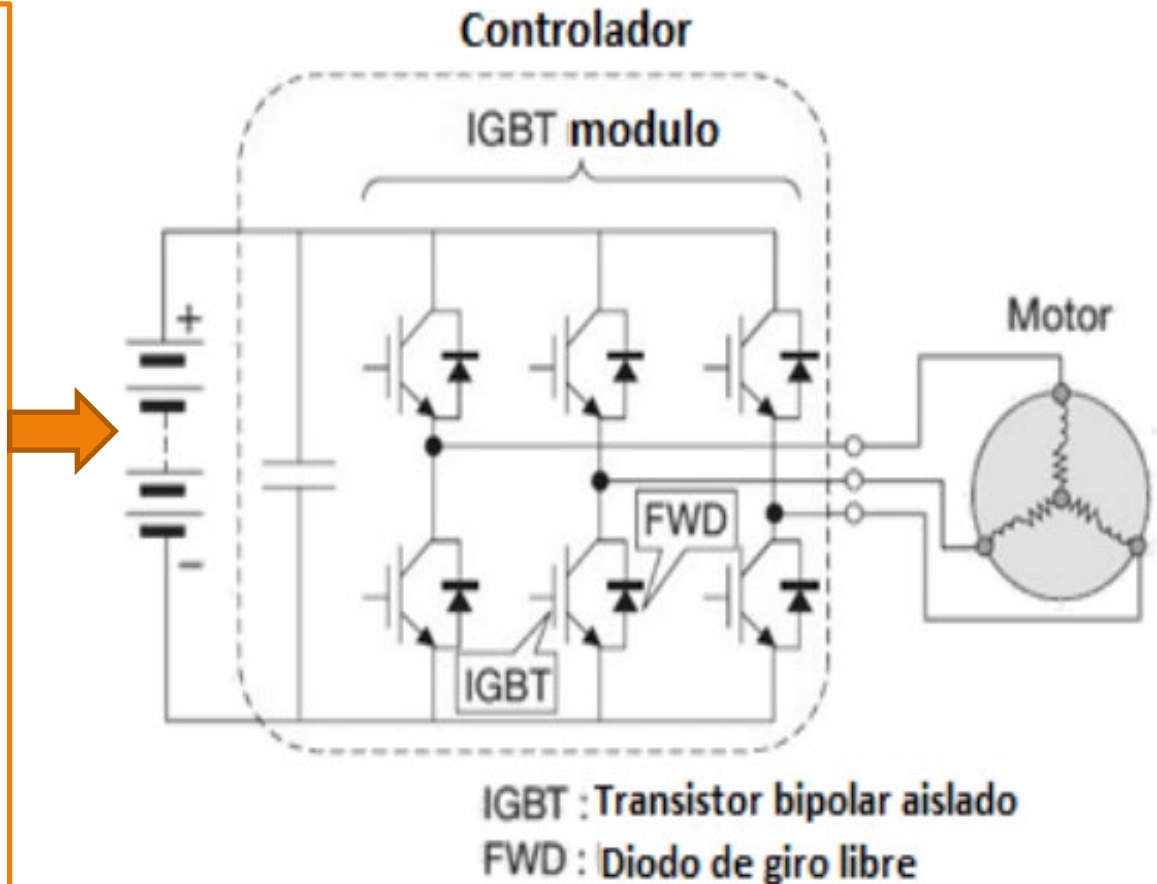
**Motores de inducción (MI)**

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

**Motores de reluctancia conmutada (MR)**

# Controlador electrónico

El controlador es un componente que recoge la energía almacenada en las la batería, regula la potencia enviada al motor del vehículo eléctrico y tiene como función principal cambiar una tensión de entrada de corriente continua a una salida simétrica de corriente alterna, con magnitud y frecuencia ajustables.



# Cargador de un vehículo eléctrico

Un circuito electrónico que puede estar ubicado dentro o fuera del vehículo convierte la energía AC en DC ajustando los valores de carga requeridos.

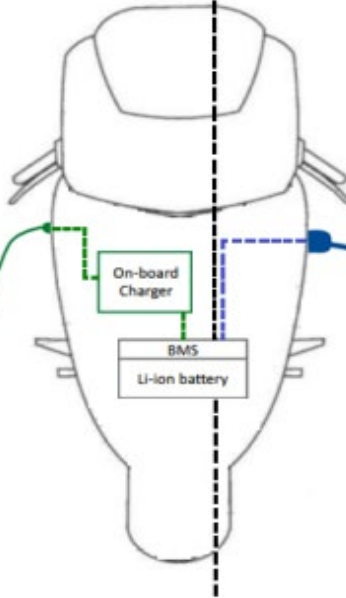
AC Charging

DC Charging

Cargadores on-board

Cargadores unidireccionales

Cargadores con conexión a red del tipo monofásica



Cargadores off-board

Cargadores bidireccionales

Cargadores con conexión a red del tipo trifásica

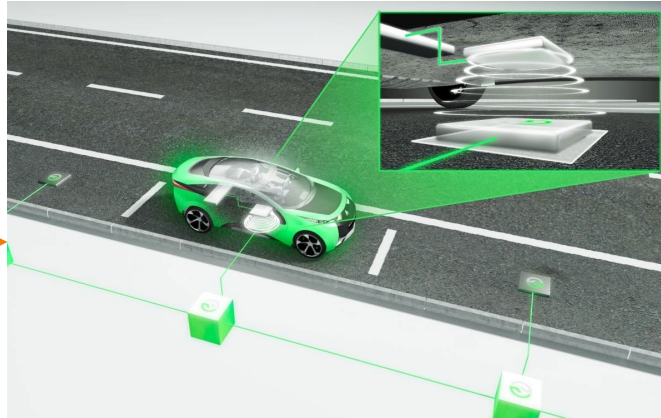


# Carga inalámbrica

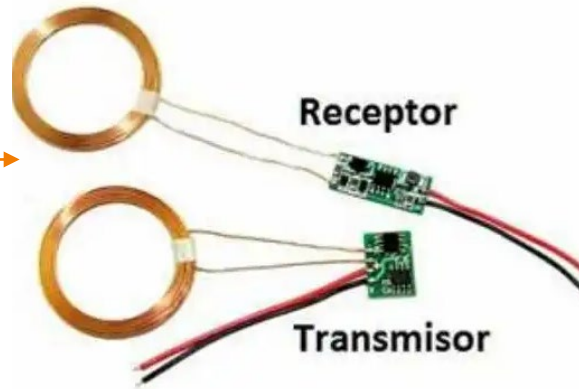
Concepto



Futuro y ventajas

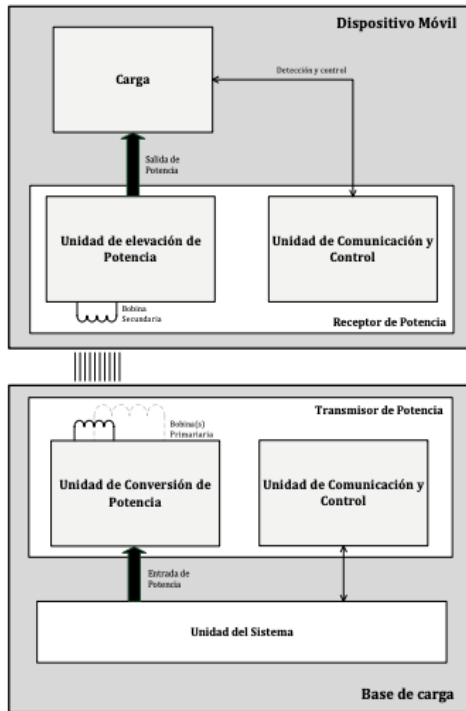


Inducción magnética



# Carga inalámbrica en vehículos eléctricos

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.



# ***Futuro y ventajas de la carga inalámbrica***

Puntos de recarga inalámbrica en los distintos aparcamientos.

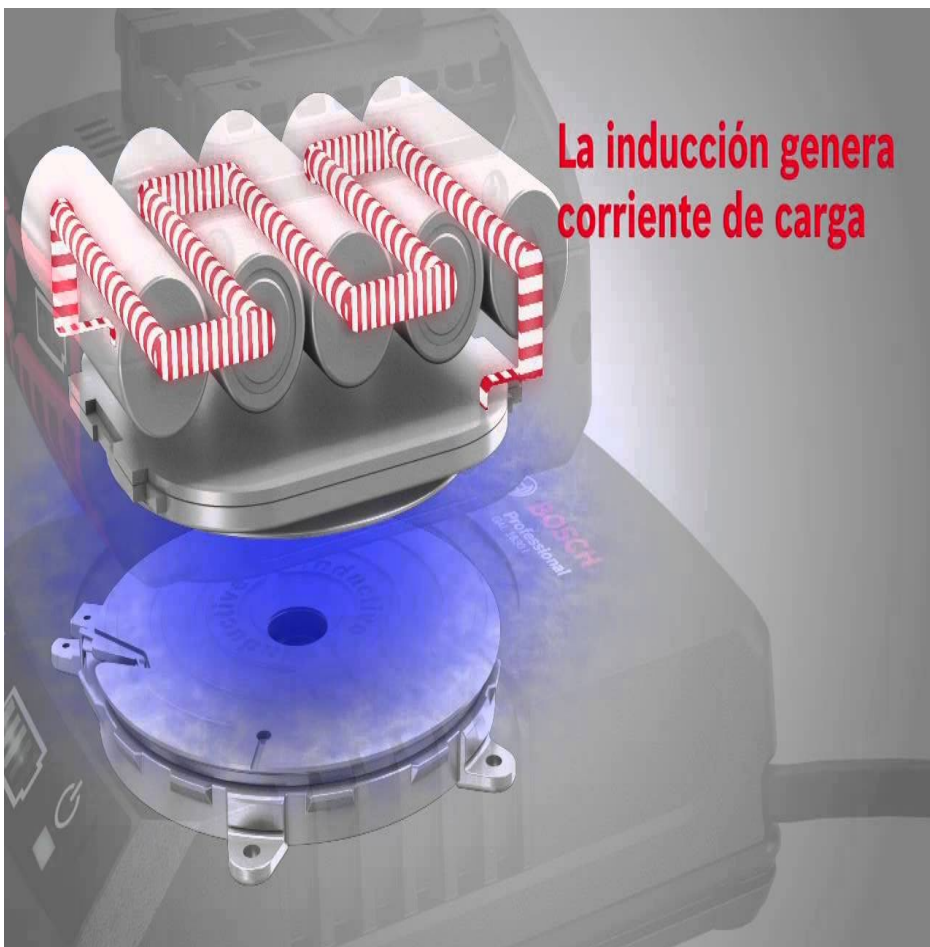
Conexión a la red de forma automática.

Simplicidad de uso.

Control automatizado.



# Carga inalámbrica por inducción magnética



## Factor de Acoplamiento

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

## Coeficiente de inducción mutua

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

## Factor de Calidad

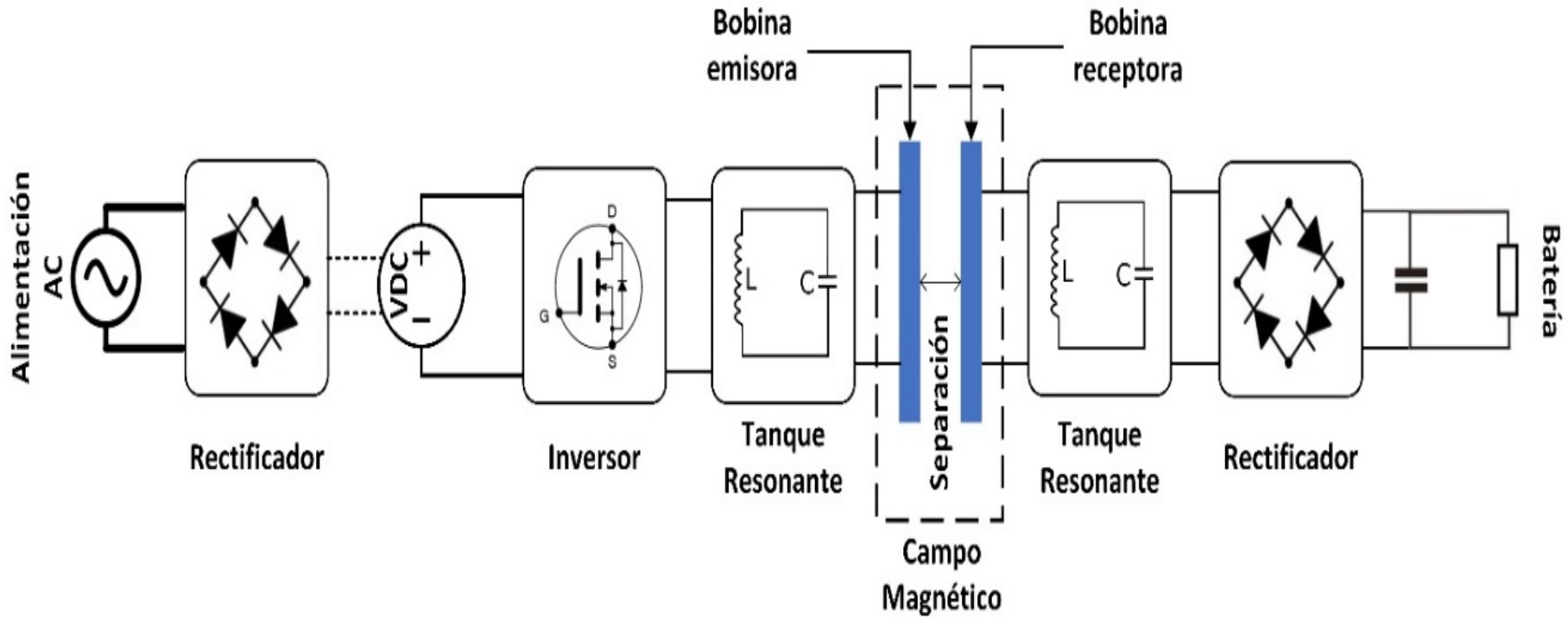
$$Q = \frac{2\pi \text{ Energía máxima almacenada por ciclo}}{\text{Energía disipada por ciclo}}$$

## Acoplamiento resonante

## Transferencia inductiva

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

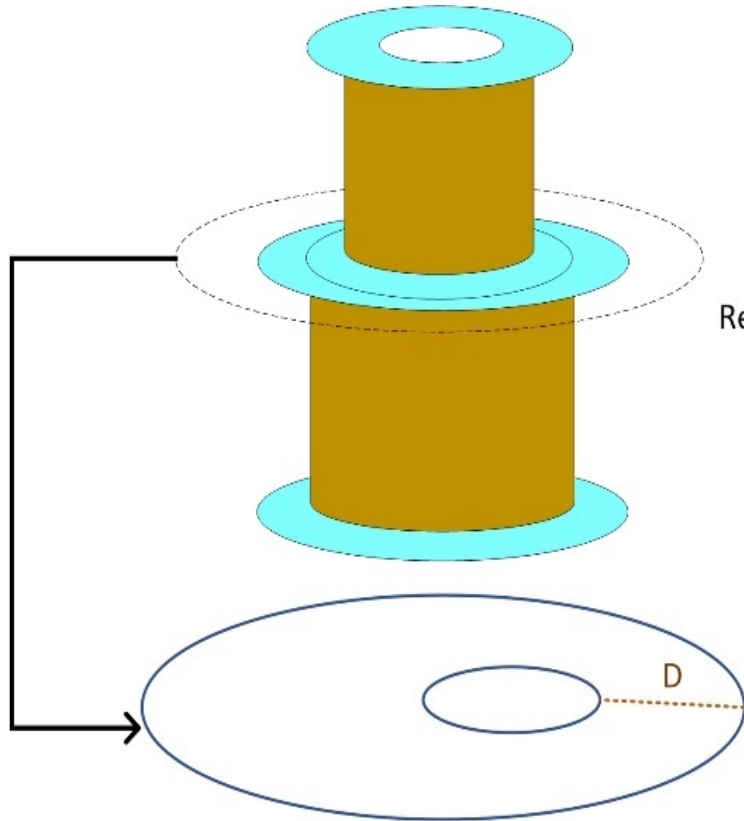
# Etapas de la carga inalámbrica



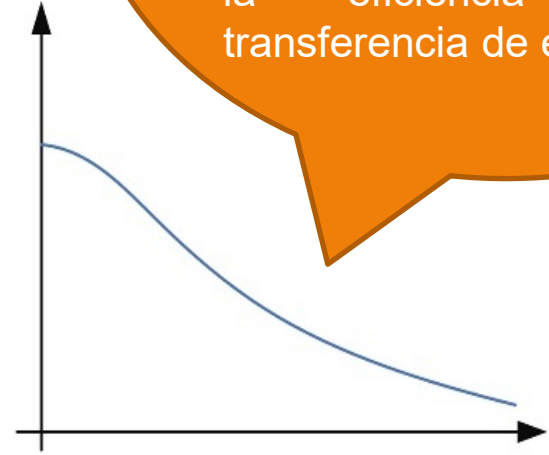
# Diseño y construcción del cargador inalámbrico



# Parámetros del campo magnético



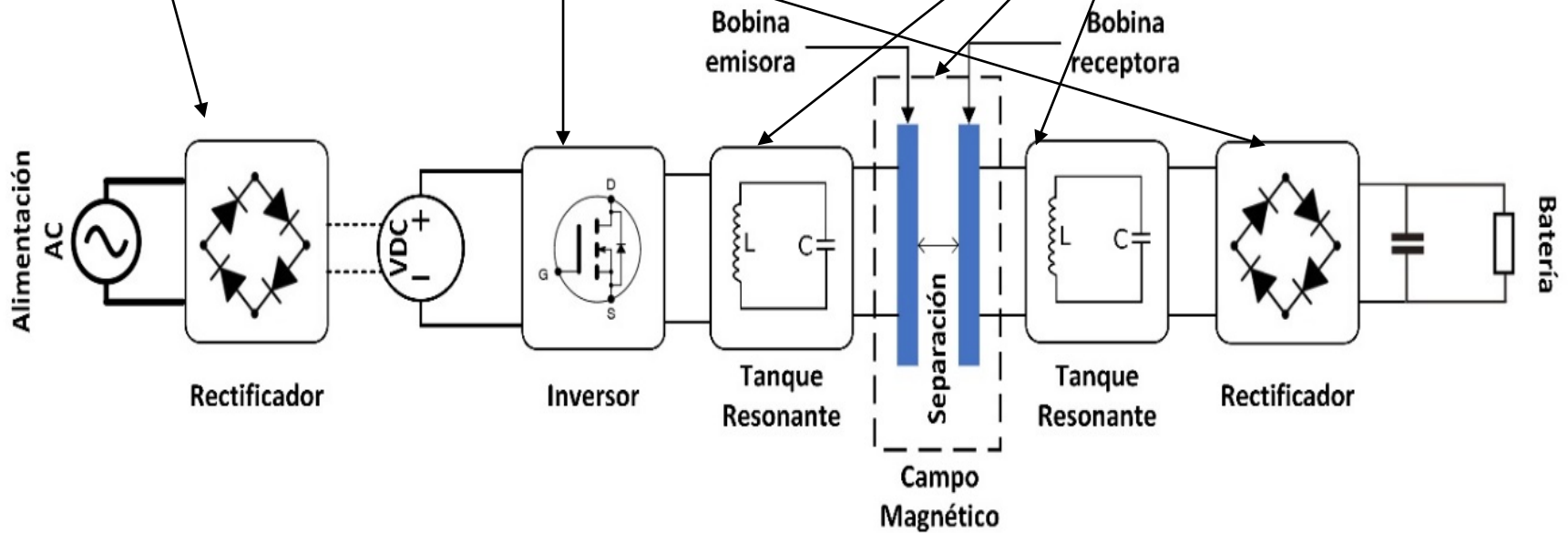
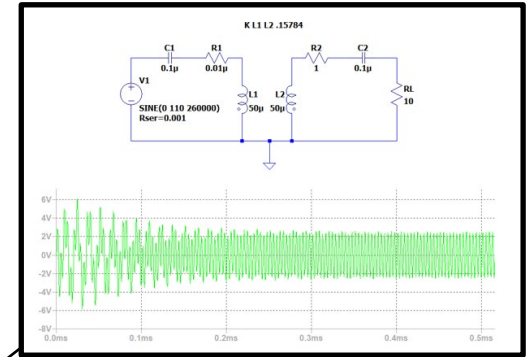
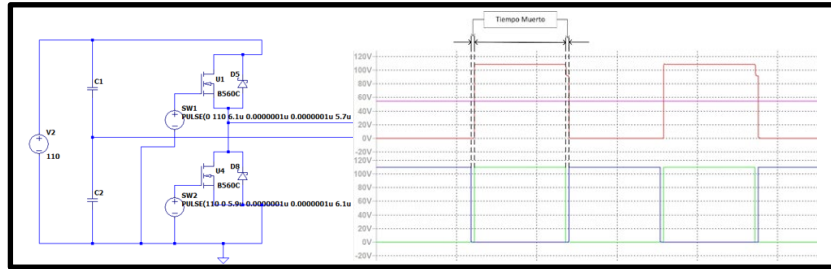
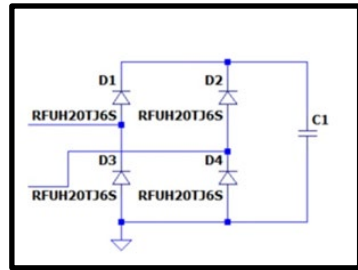
Energía Recuperada



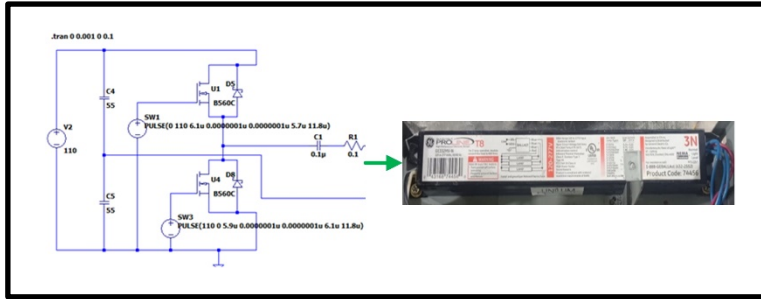
Distancia

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.

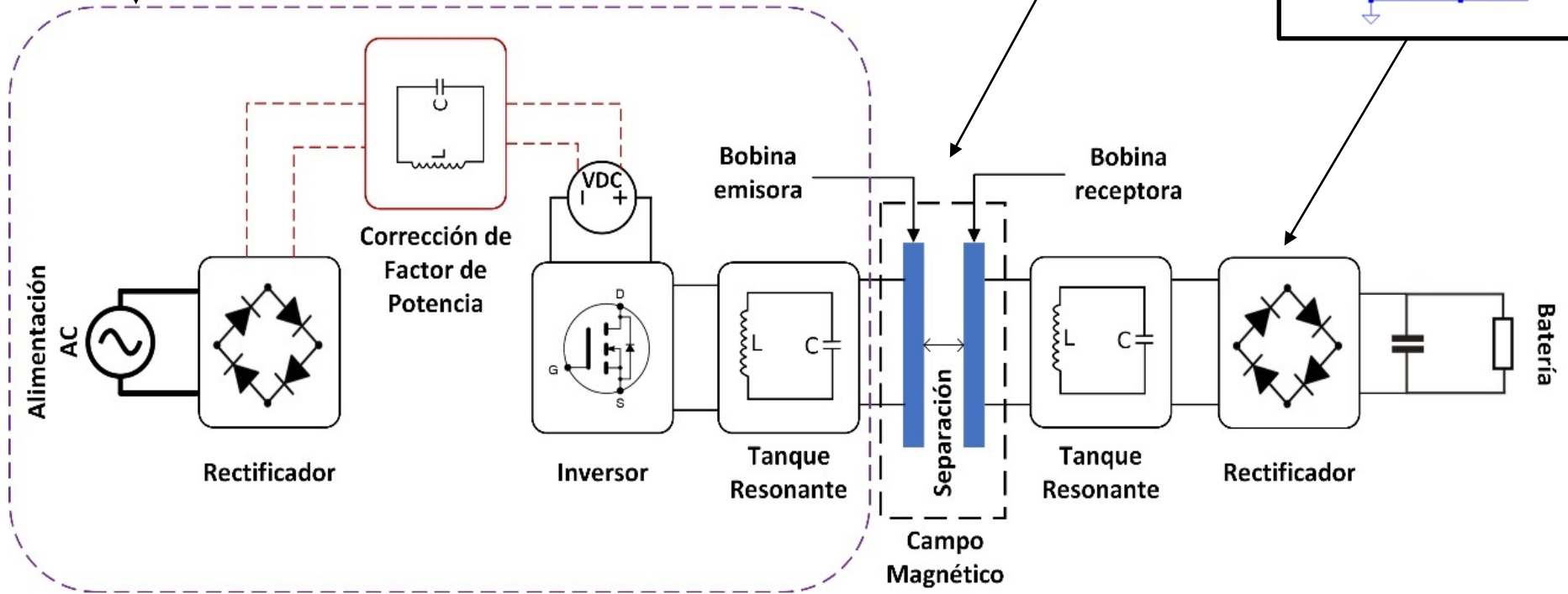
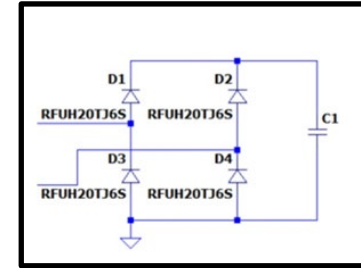
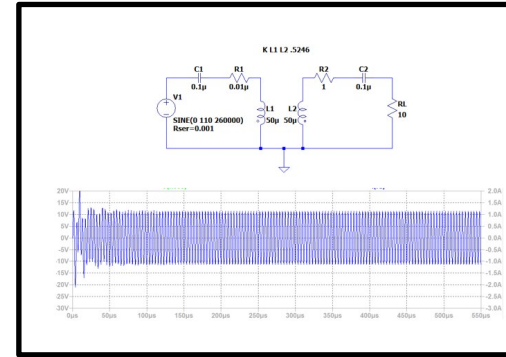
# Composición del sistema - PROTOTIPO 1



# Composición del sistema - PROTOTIPO 2

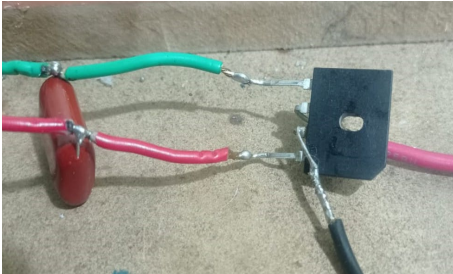


Circuito de Balastro Electrónico

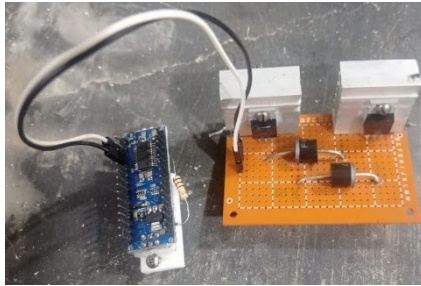


# Construcción del sistema electrónico de las bobinas – PROTOTIPO 1

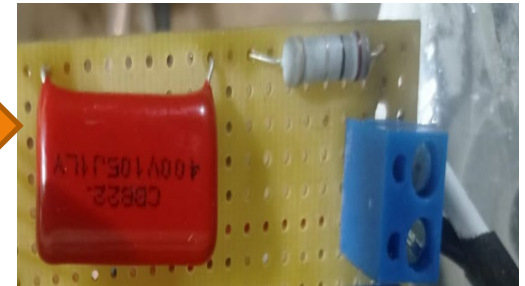
Rectificador y filtrado del sistema primario o emisor



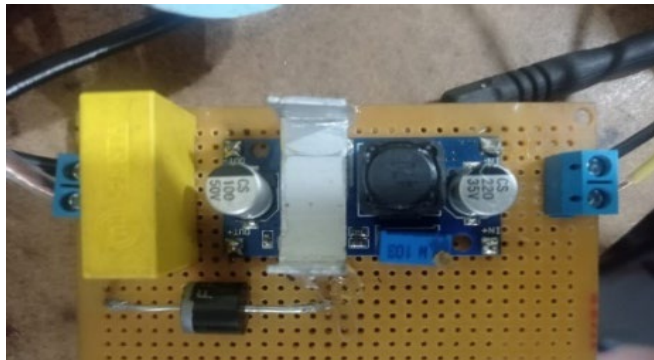
Inversor del sistema primario o emisor



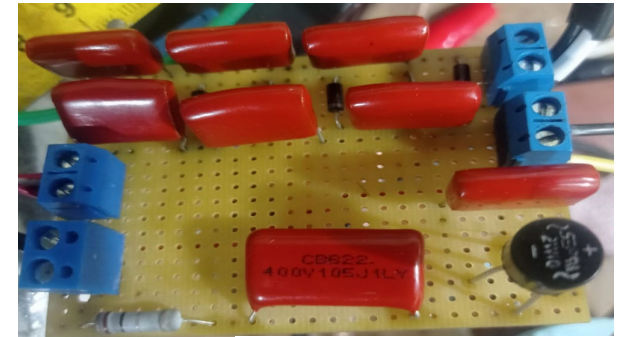
Resonante del sistema primario o emisor



Etapas; Fuente tipo boost para estabilizar la energía a la salida del sistema.



Etapas; multiplicadora, resonante y rectificadora del receptor



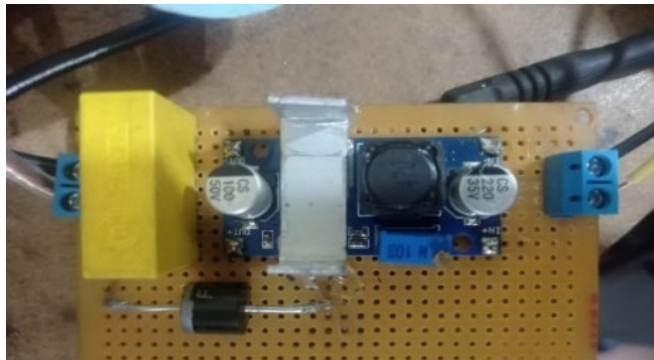


# Construcción del sistema electrónico de las bobinas – PROTOTIPO 2

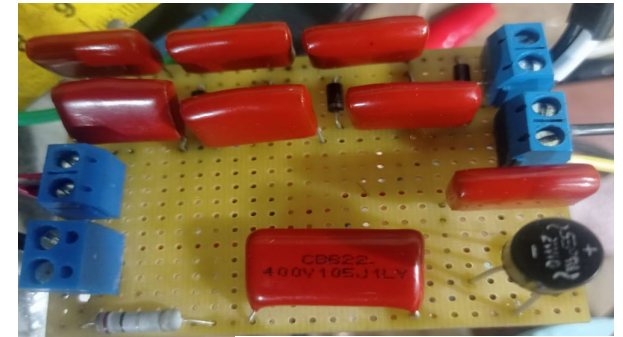
Rectificador, filtrado, inversor y resonancia del sistema primario o emisor (Balastro)



*Etapas; Fuente tipo boost para estabilizar la energía a la salida del sistema.*



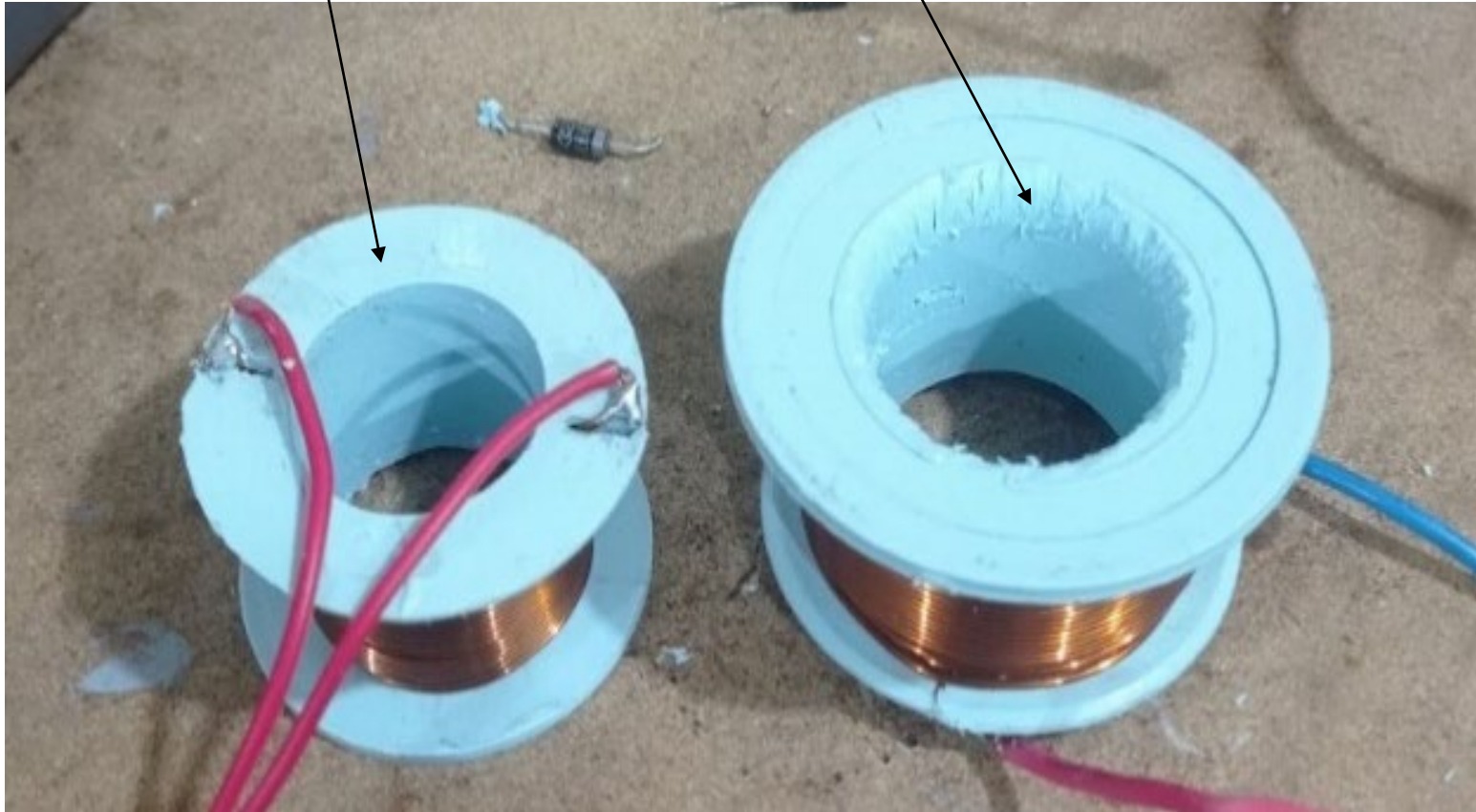
*Etapas; multiplicadora, resonante y rectificadora del receptor*



# Construcción del sistema de bobinas emisora y receptora – Núcleo de AIRE

Bobina receptora

Bobina emisora

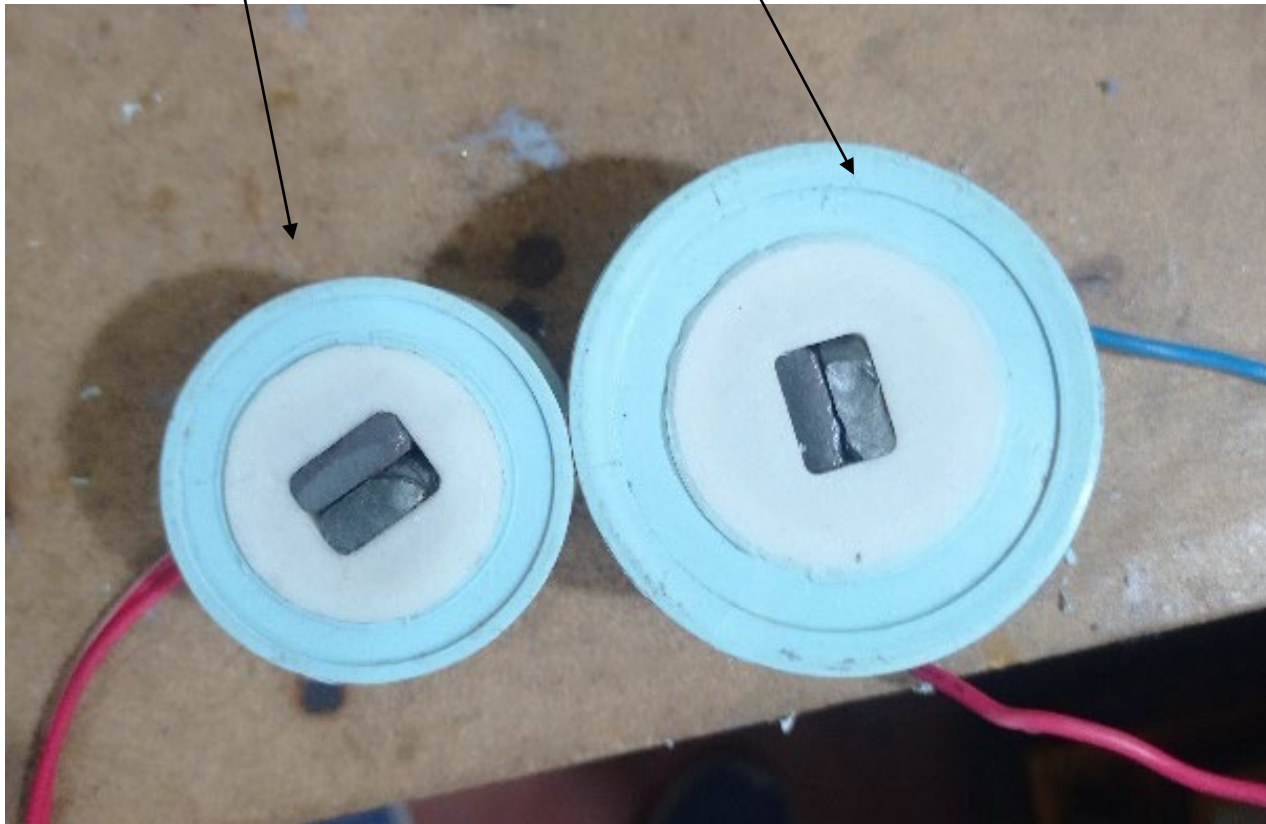




# Construcción del sistema de bobinas emisora y receptora – Núcleo de Ferrita Separado

Bobina receptora

Bobina emisora



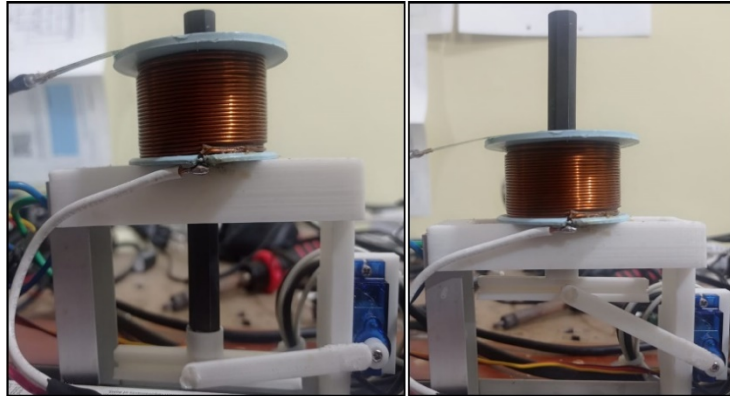
# Construcción del sistema de bobinas emisora y receptora – Núcleo de Ferrita Común

Bobina receptora

Bobina emisora

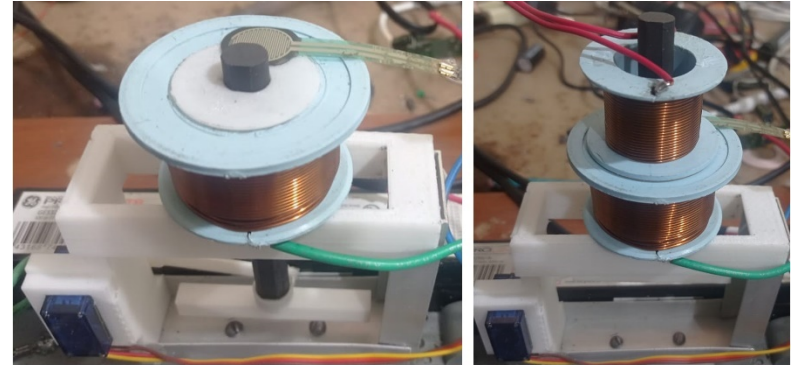


# Construcción del sistema



a)

b)



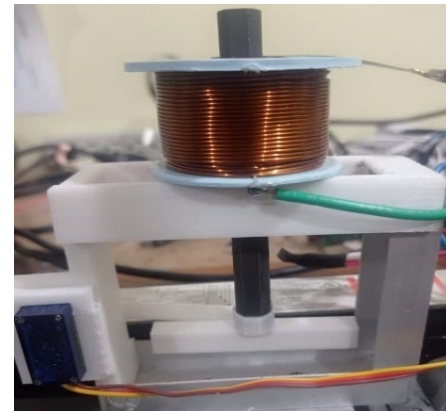
a)

b)



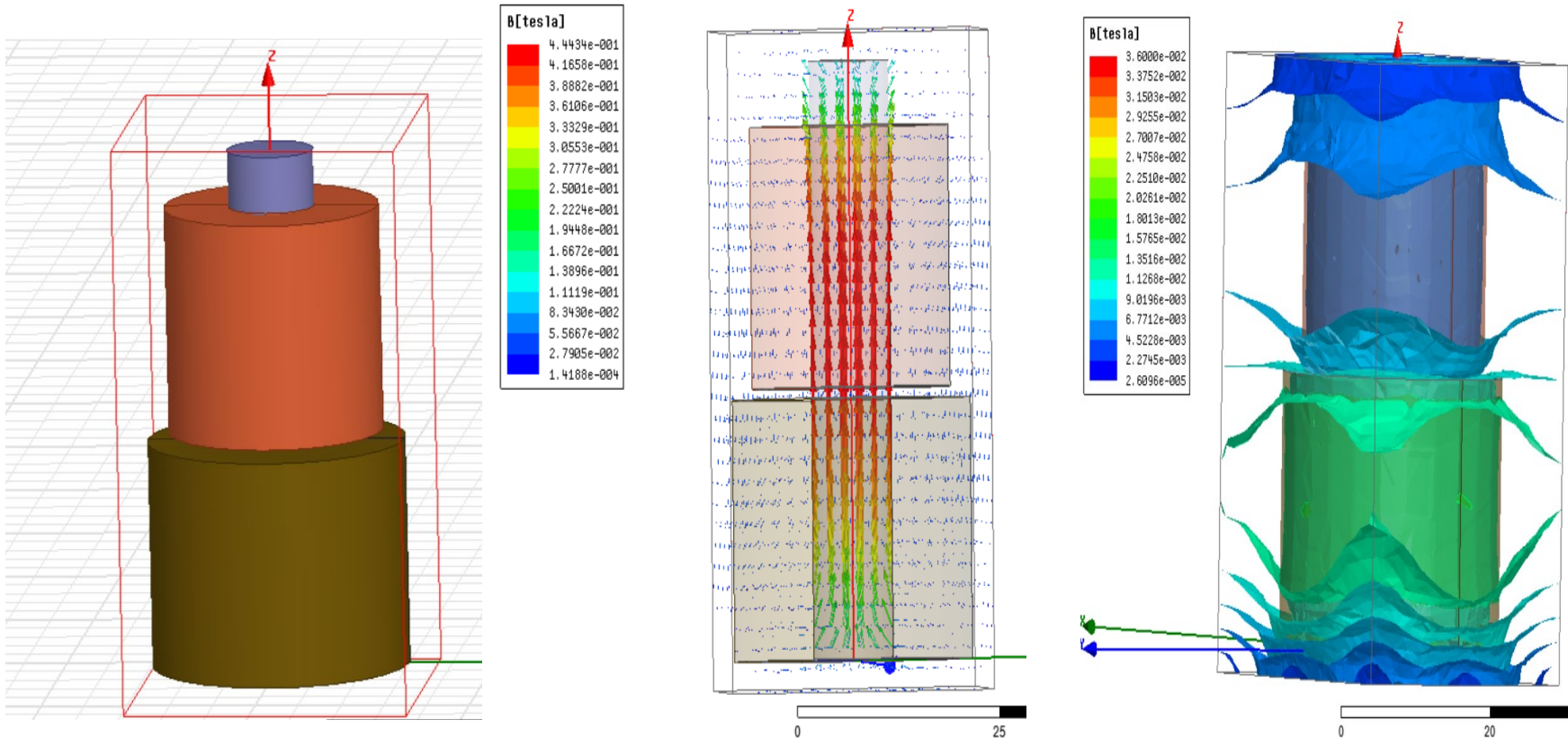
a)

b)

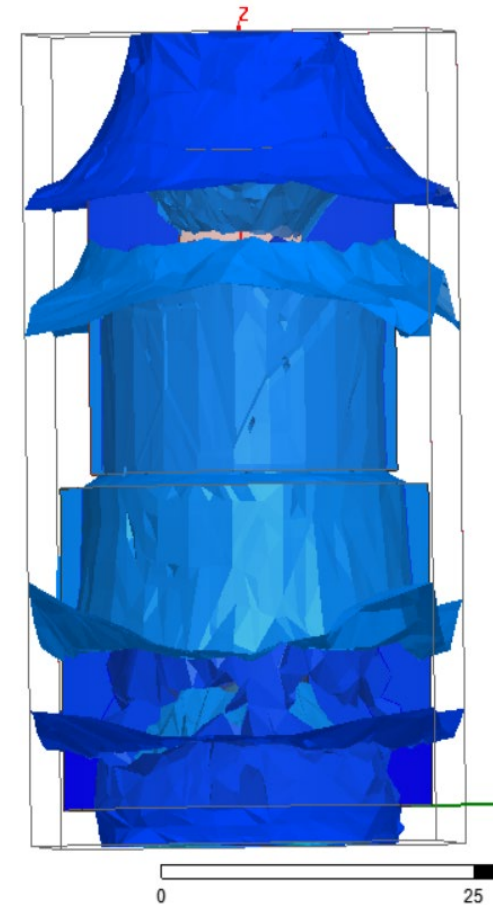
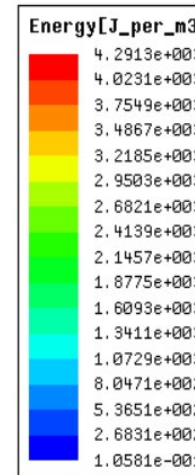
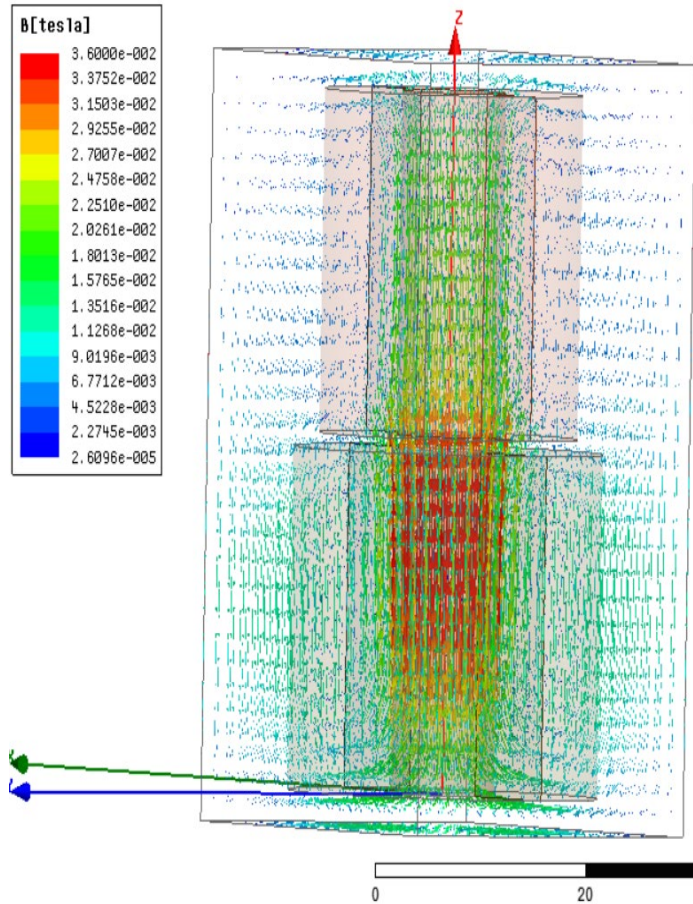




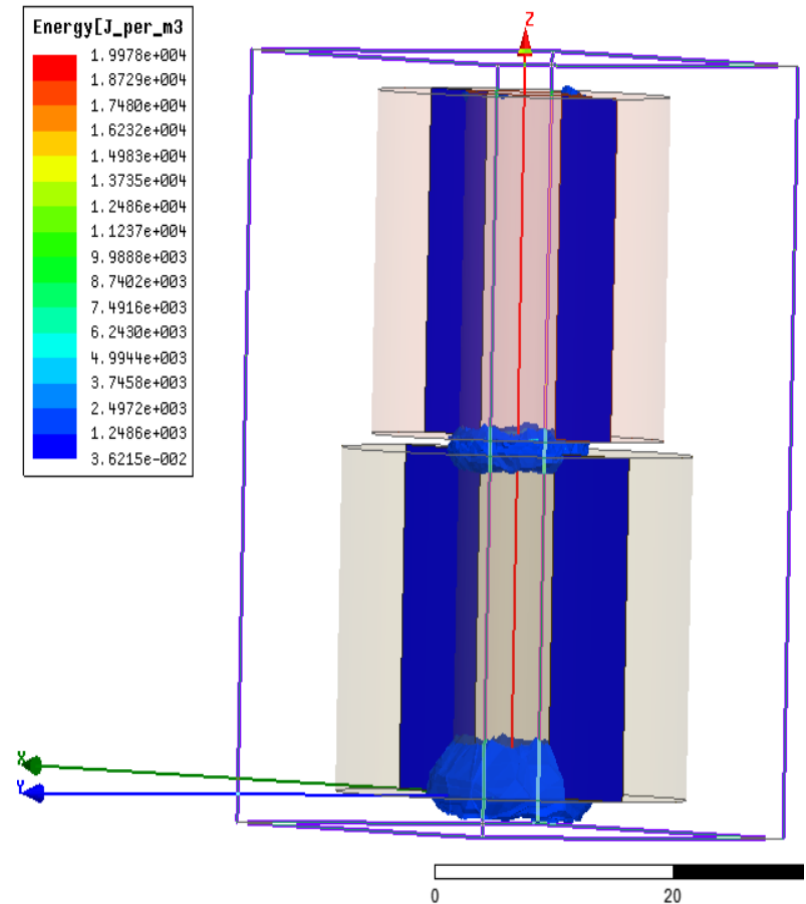
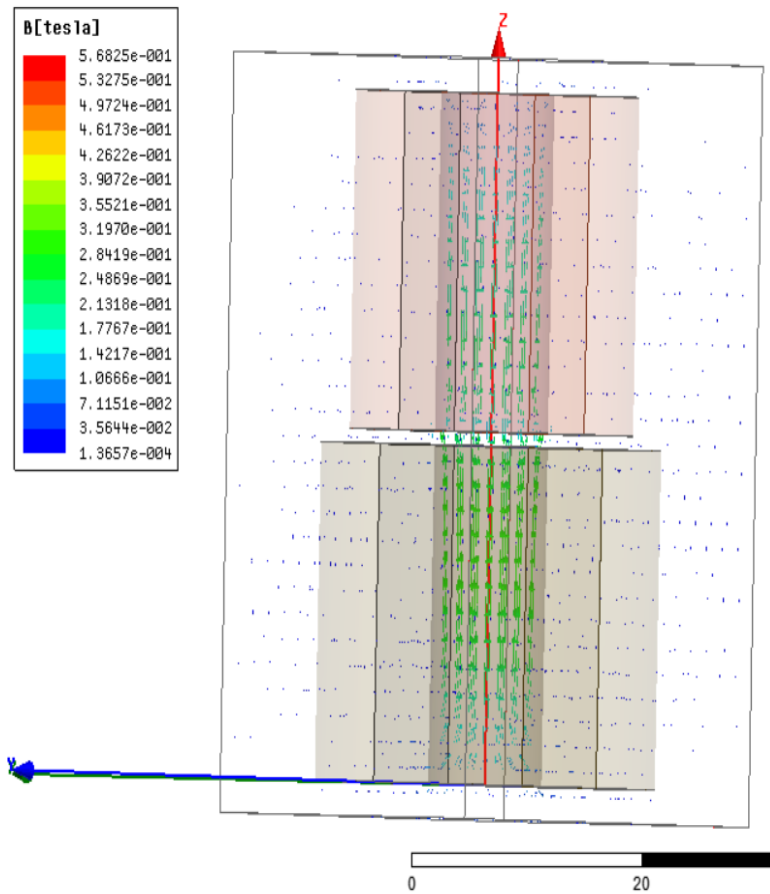
# Simulación del campo magnético del sistema de bobinas con núcleo de ferrita común



# Simulación del campo magnético-núcleo de ferrita separado



# Simulación del campo magnético - núcleo de aire



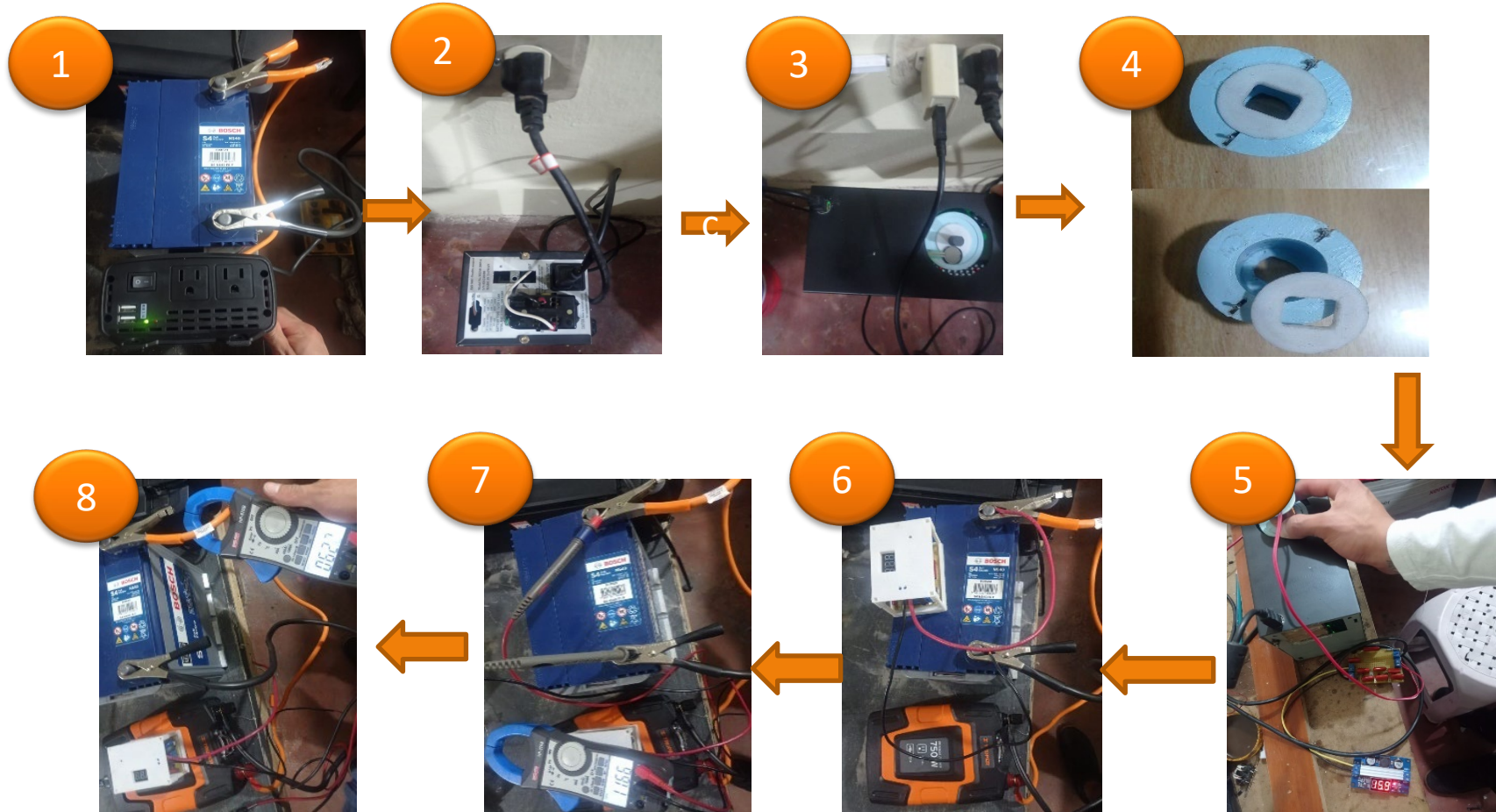


# Montaje del sistema de carga inalámbrica



# Pruebas y análisis de resultados

# Proceso de pruebas



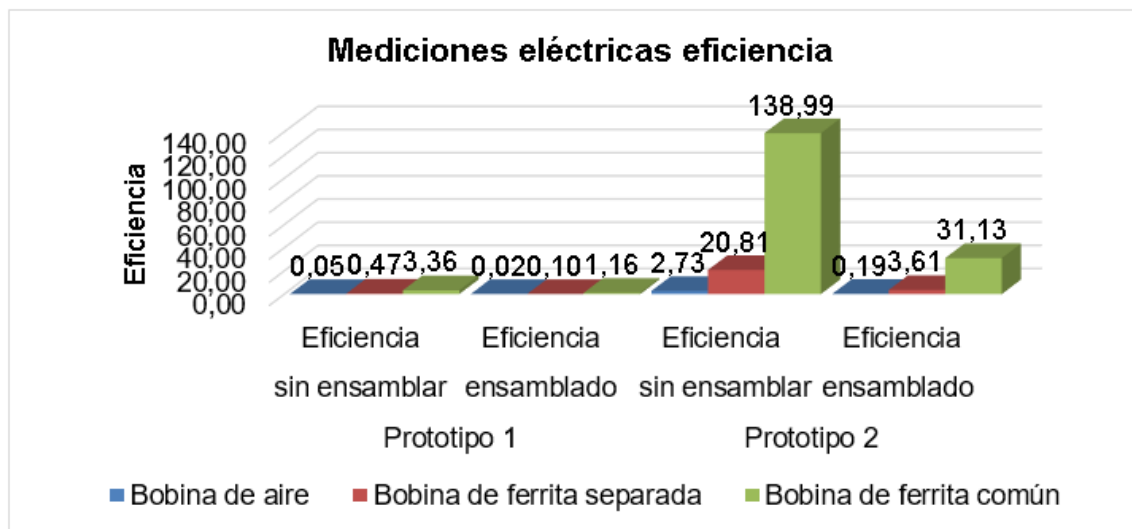
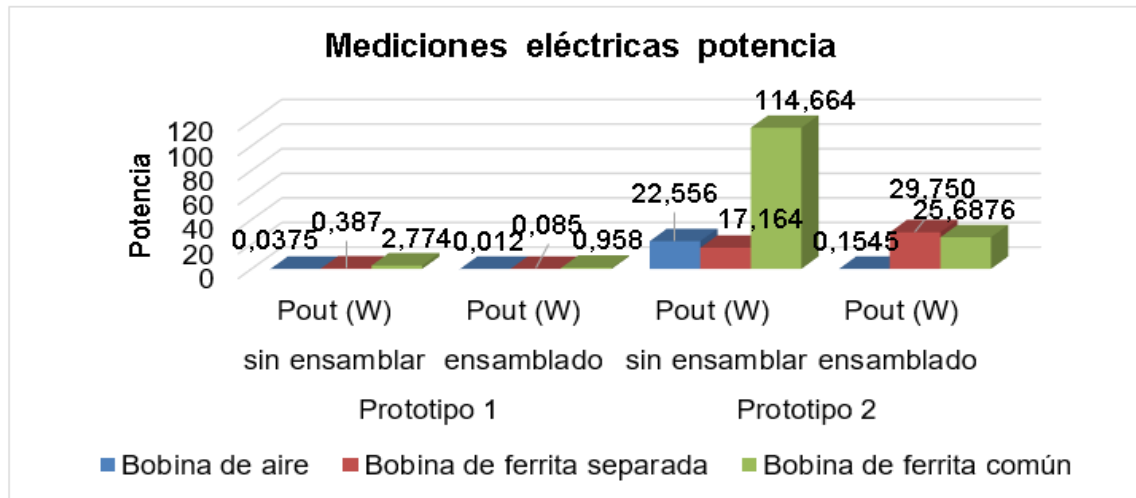
# Medición prototipo 1

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

# Medición prototipo 2

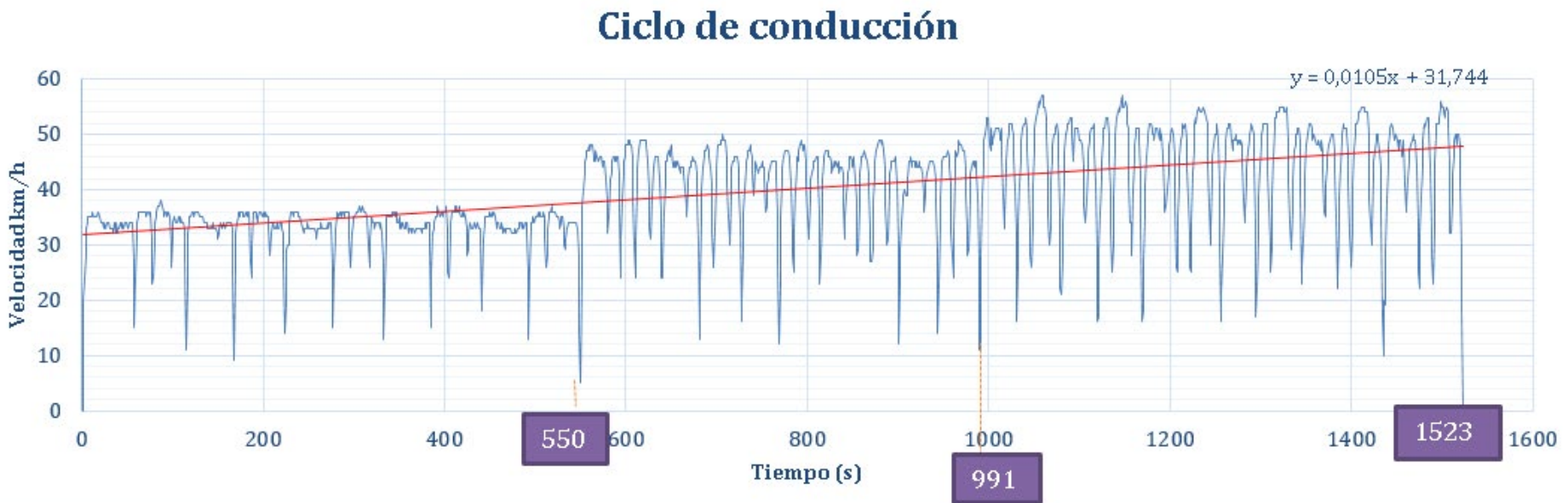
Configuración	k	Voltaje (V)	Amperaje (A)	P <sub>out</sub> (W)	P <sub>in</sub> (W)	Eficiencia $n = P_{out}/P_{in}$ (%)
Núcleo de aire	0,5246	1,030	0,150	0,1545	82,5	0,19
Núcleo de ferrita separada	0,5246	6,198	0,480	2,9750	82,5	3,61
Núcleo de ferrita común	0,5246	36,540	0,703	25,6876	82,5	31,13

# Comparación entre prototipos 1 y 2





# Pruebas de ruta-ciclo de conducción



# Pruebas de consumo de energía

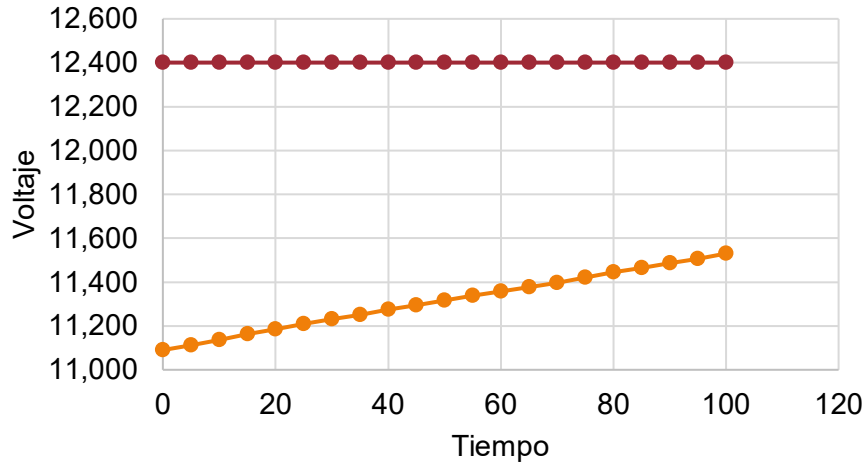
Tiempo transcurrido (min)	Voltaje medido de la batería (V)	Observación
00	12,56	
10	12,17	Marcha1
20	12,13	Marcha2
30	12,09	Marcha3
40	12,09	Marcha 2
50	12,06	Marcha1
60	12,00	Marcha2
70	11,97	Marcha3
80	11,92	Marcha 2
90	11,83	Marcha1
100	11,61	Marcha2
110	11,57	Marcha3
120	11,50	Marcha 2
130	11,37	Marcha1
140	11,28	Marcha2
150	11,09	Marcha3
160	10,77	

# Pruebas de carga de energía

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

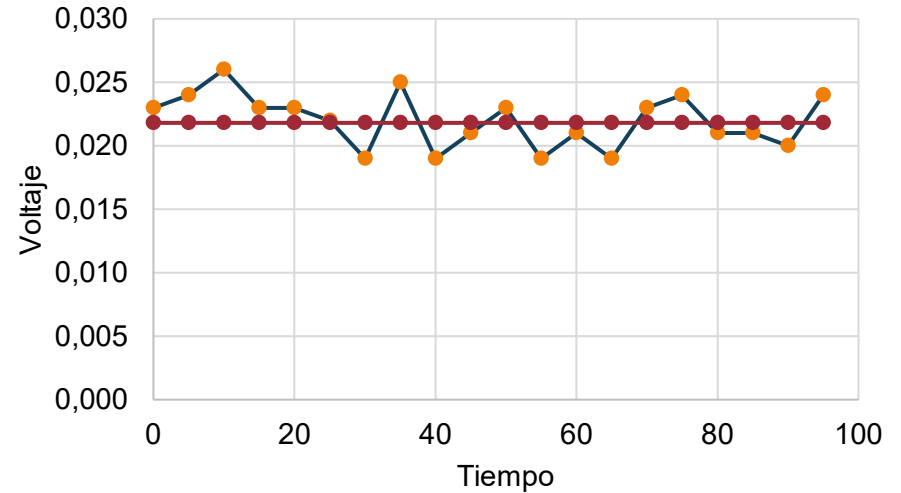
# Proceso de carga

## Carga de la batería



—●— Voltaje Batería (V)    —●— Voltaje Cargador (V)

## Carga de la batería

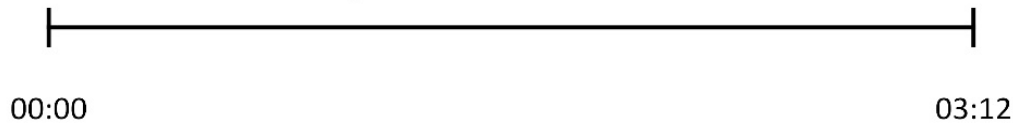


—●— Incremento    —●— Media

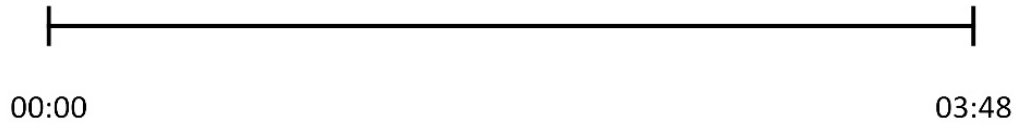
# Pronóstico del tiempo real para la carga



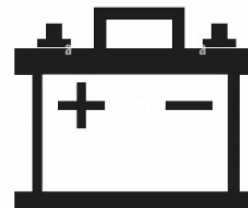
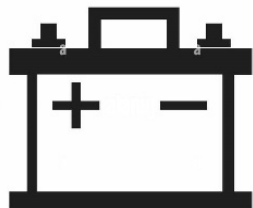
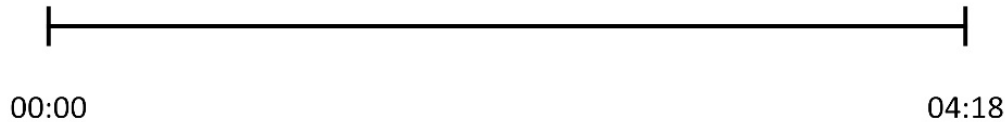
Carga a Valor Máximo = 0.026



Carga a Valor Medio = 0.022



Carga a Valor Mínimo = 0.019



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

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

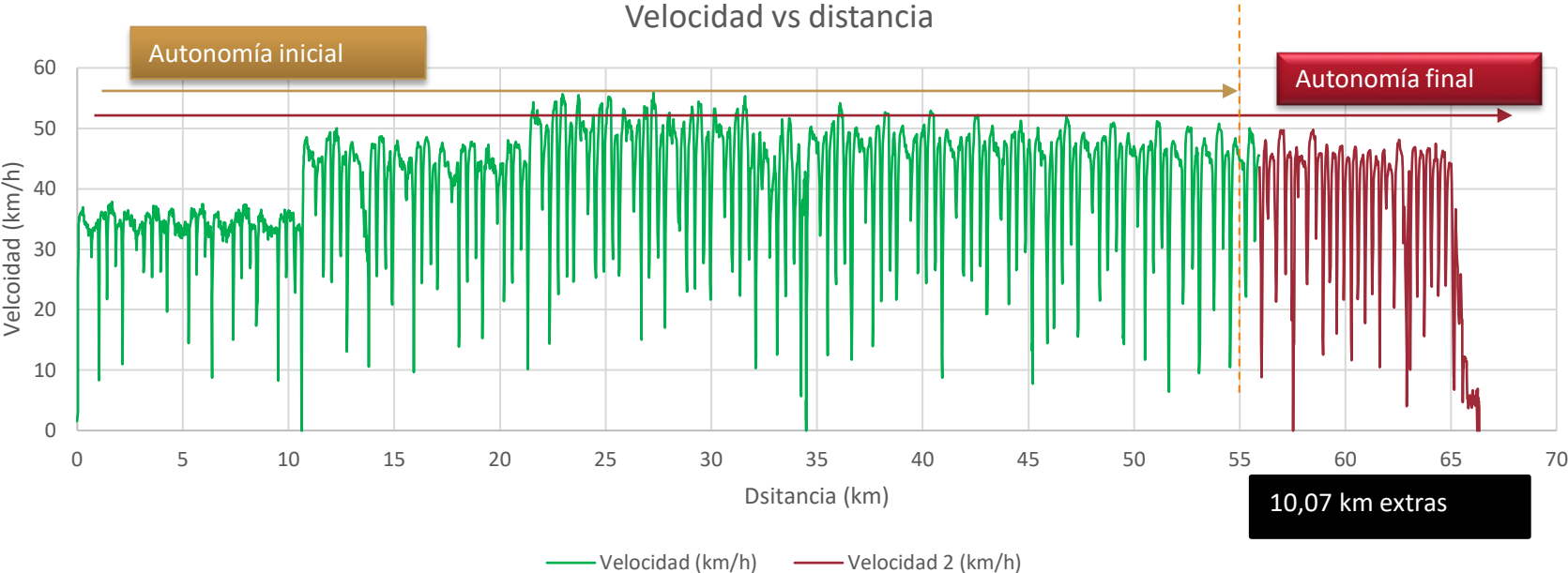
$$T_{tc} = 192.5min * \frac{1h}{60min}$$

$$T_{tc} = 3.2h$$

loading...



# Autonomía del Vehículo





# Conclusiones y recomendaciones

- 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.

- 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.