



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño de un Sistema Inalámbrico de Recarga de Vehículos de Movilidad Ligera

Autor: Luisa Bujidos Lamas

Director: Jesús Teijeiro Bello

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Diseño de un Sistema Inalámbrico de Recarga de Vehículos de Movilidad Ligera
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2023/2024 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Luisa Bujidos Lamas

Fecha: 05/07/2024

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Jesús Teijeiro Bello

Fecha: 08 / 07 / 2024



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño de un Sistema Inalámbrico de Recarga de Vehículos de Movilidad Ligera

Autor: Luisa Bujidos Lamas

Director: Jesús Teijeiro Bello

Madrid

Agradecimientos

A mis amigas, por acompañarme y apoyarme siempre a lo largo de la carrera.

A mi amiga Paula, por motivarme en el proyecto y compartir conmigo sus conocimientos.

A mi tutor del proyecto, Jesús Tejeiro, por guiarme y enseñarme en todo este proceso.

DISEÑO DE UN SISTEMA INALÁMBRICO DE RECARGA DE VEHÍCULOS DE MOVILIDAD LIGERA

Autor: Bujidos Lamas, Luisa.

Director: Teijeiro Bello, Jesús.

Entidad Colaboradora: Don Cicleteo.

RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto se ha centrado en el desarrollo de un sistema de carga inalámbrica para bicicletas eléctricas. Se ha diseñado un sistema eficiente que facilita la adopción de vehículos de movilidad ligera, promoviendo la movilidad sostenible en entornos urbanos. Se ha diseñado un sistema que incluye un anclaje, un candado de herradura y una cadena de seguridad, basándose en la electrónica de una fuente de alimentación de Power Integrations.

Palabras clave: Carga inalámbrica, bicicletas eléctricas, movilidad sostenible.

1. Introducción

En el contexto actual de cambio climático y aumento de la movilidad urbana, surge la necesidad de búsqueda de soluciones sostenibles y eficientes para el transporte. Las bicicletas eléctricas son una alternativa prometedora para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire en zonas urbanas.

El transporte es una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), siendo el sector responsable en 2018 del 23% de las emisiones globales de CO₂. Si esto no se controla para el año 2050, las emisiones provenientes del transporte pueden aumentar hasta en un 60% [1].

Por esto, los vehículos eléctricos emergen como una solución sostenible y eficiente para combatir el cambio climático. Las bicicletas eléctricas en particular han ganado popularidad al ser una manera muy eficiente de desplazarse en áreas urbanas sin hacer gran esfuerzo físico. En Bogotá se ha mostrado una reducción del 70% en las emisiones de CO₂ por kilómetro recorrido al utilizar las bicicletas eléctricas en vez de los vehículos tradicionales [2].

Sin embargo, para lograr una correcta implementación de los vehículos de movilidad ligera, es necesario un sistema de carga universal para las mismas. Este proyecto se enfoca en diseñar un sistema compatible con diferentes modelos, cómodo para el usuario, y adaptable a las infraestructuras existentes de aparcamiento, como las de Don Cicleteo.

2. Definición del proyecto

Este proyecto abarca el diseño electrónico y mecánico de un sistema de carga inalámbrica que operará con una entrada de 230 VAC que proviene de la red eléctrica, y una salida ajustada a 42 V, limitando la corriente a 4,59 A. Se emplea la tecnología de inducción electromagnética, incluyendo una idea innovadora, garantizando eficiencia y seguridad al cargar la bicicleta eléctrica. Este desarrollo tiene como objetivo fomentar la adopción de las bicicletas eléctricas al proporcionar una solución de carga accesible y conveniente.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

El modelo consiste en un anclaje instalado en la pared de la estructura del aparcamiento de bicicletas y en un candado de herradura insertado en el interior del anclaje, donde se produce la transferencia electromagnética de energía.

Se elabora un diseño tanto electrónico como mecánico del sistema de carga inalámbrica. Para el diseño electrónico, el proyecto se basa en la fuente de alimentación flyback *300 W Forward Power Supply Using HiperPFSTM-3 PFS7528H and HiperTFSTM-2TFS7706H* de Power Integrations. Es una fuente de alimentación de 61V (nominal), 280W, operando desde 90-264 VAC, lo cual es idóneo para las baterías de las bicicletas eléctricas, que operan con una entrada de alrededor de 42V.

El cargador se divide en dos secciones principales, anclaje y candado de herradura. Estas secciones quedan separadas por el transformador de la fuente de alimentación, teniendo este 69 número de vueltas en la bobina primaria y 25 en la secundaria. Actúa como punto de referencia sistema electrónico. El sistema es el siguiente:

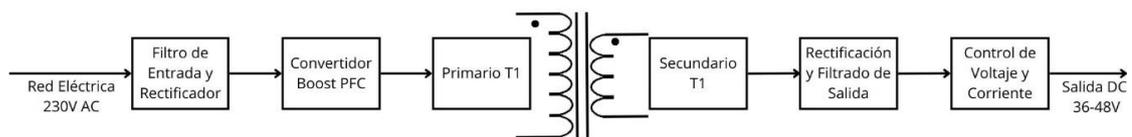


Figura 1: Diagrama de Bloques del Sistema.

Por lo tanto, dentro del anclaje, iría la parte primaria del circuito electrónico, es decir, la bobina primaria del transformador, junto los demás componentes a su izquierda, con la red eléctrica como fuente de entrada. El candado de herradura llevaría el circuito secundario, es decir la bobina secundaria del transformador y todos los componentes a su derecha. Este se insertaría dentro de la caja del anclaje, donde se produciría la transferencia de energía. El voltaje de salida del candado de herradura, ajustado a unos 42 V se conectaría directamente a la batería de la bicicleta eléctrica.

Para el diseño mecánico, se ha hecho utilizando el programa *Rhinoceros 3D Versión 6*.

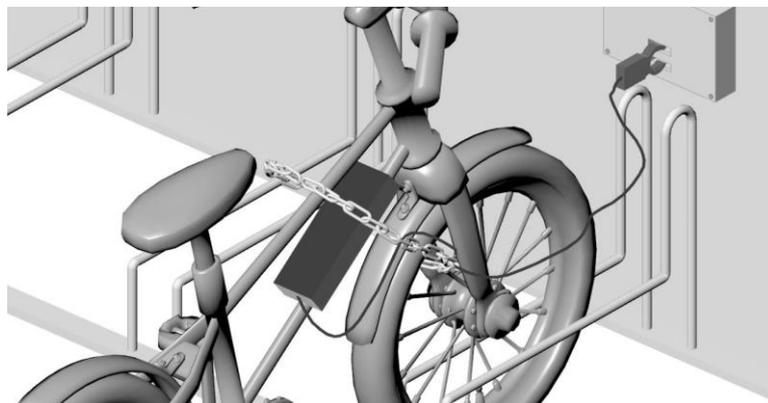


Figura 2: Sistema Completo.

Es importante destacar la incorporación de una cadena de seguridad. Para evitar que la bicicleta sea robada simplemente cortando el cable, es crucial que la cadena esté firmemente unida al candado de herradura, además de llevar incorporada un revestimiento blando que evite dañar o rayar el cuadro de la bicicleta.

4. Resultados

Los valores operativos del sistema de carga, basado en la fuente de alimentación son los siguientes:

- Tensión de Entrada: El sistema utiliza una entrada estándar de 230V AC y 50Hz.
- Tensión y Corriente de Salida: La salida nominal es de 61V, ajustada a 42V, con una corriente de carga limitada a 4.59A.
- Potencia y Factor de Potencia: La potencia de salida se calcula en 192.78W con un factor de potencia de 0.981.
- Eficiencia del Sistema: La eficiencia se mide en un 91%, indicando una conversión energética efectiva.
- Tiempo de Carga: Para baterías de 8 a 16Ah, el tiempo de carga es entre 1 hora y 44 minutos, y 3 horas y media, adecuado y competitivo, asegurando una carga rápida y segura.

5. Conclusiones

El Proyecto ha logrado el diseño de un sistema de carga inalámbrica eficiente, seguro y fácil de usar para bicicletas eléctricas. El sistema facilita una carga rápida y efectiva, contribuyendo a la reducción de emisiones de CO₂ y la promoción de la movilidad sostenible en entornos urbanos.

En términos de trabajos futuros, se propone optimizar los componentes electrónicos para mejorar la eficiencia. También se plantea integrar el sistema con fuentes de energía renovables, como paneles solares propios, para reducir la dependencia de la red eléctrica.

6. Referencias

- [1] NOAA, "Climate Change Impacts," National Oceanic and Atmospheric Administration, Aug. 13, 2021.
Disponible: <https://www.noaa.gov/education/resourcecollections/climate/climate-change-impacts>
- [2] "Beneficios ambientales proporcionados por Biciquito," FLACSO Ecuador, 2017. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/12438/16/TFLACSO-2017MGAB.pdf>.
- [3] Power Integrations, Inc., "DER-484: 300 W Forward Power Supply Using HiperPFSTM-3 PFS7528H and HiperTFSTM-2 TFS7706H," Design Example Report, Doc. No. DER-484, Oct. 26, 2017. [En línea]. Disponible: <https://www.power.com>.

DESIGN OF A WIRELESS CHARGING SYSTEM FOR LIGHT MOBILITY VEHICLES

Author: Bujidos Lamas, Luisa.
Supervisor: Teijeiro Bello, Jesús.
Collaborating Entity: Don Cicleteo.

ABSTRACT

This project focuses on the development of a wireless charging system for electric bicycles. An efficient system has been designed to facilitate the adoption of light mobility vehicles, promoting sustainable mobility in urban environments. The system includes an anchor, a horseshoe lock, and a security chain, based on the electronics of a Power Integrations power supply.

Keywords: Wireless charging, electric bicycles, sustainable mobility.

1. Introduction

In the current context of climate change and increasing urban mobility, there is a need to seek sustainable and efficient transportation solutions. Electric bicycles are a promising alternative to reduce greenhouse gas emissions and improve air quality in urban areas.

Transportation is one of the main sources of greenhouse gas (GHG) emissions, responsible for 23% of global CO₂ emissions in 2018. If this is not controlled, by 2050, emissions from transportation could increase by 60% [1]. Therefore, electric vehicles emerge as a sustainable and efficient solution to combat climate change. Electric bicycles have gained popularity as a very efficient way to travel in urban areas without much physical effort. In Bogotá, a 70% reduction in CO₂ emissions per kilometer traveled has been shown when using electric bicycles instead of traditional vehicles [2].

However, to achieve proper implementation of light mobility vehicles, a universal charging system for them is necessary. This project focuses on designing a system compatible with different bicycle models, convenient for the user, and adaptable to the existing parking infrastructures, such as those of Don Cicleteo.

2. Project Definition

This project encompasses the electronic and mechanical design of a wireless charging system that will operate with a 230 VAC input from the electrical grid and an output adjusted to 42 V, limiting the current to 4.59 A. Electromagnetic induction technology is employed, including an innovative idea, ensuring efficiency and safety when charging the electric bicycle. This development aims to encourage the adoption of electric bicycles by providing an accessible and convenient charging solution.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

The model consists of an anchor installed on the wall of the bicycle parking structure and a horseshoe lock inserted inside the anchor, where electromagnetic energy transfer occurs.

An electronic and mechanical design of the wireless charging system is created. For the electronic design, the project is based on the 300 W Forward Power Supply Using HiperPFSTM-3 PFS7528H and HiperTFSTM-2 TFS7706H power supply from Power Integrations. It is a 61V (nominal), 280W power supply, operating from 90-264 VAC, which is suitable for electric bicycle batteries, which operate with an input of around 42V.

The charger is divided into two main sections, the anchor and the horseshoe lock. These sections are separated by the power supply transformer, with 69 turns in the primary coil and 25 in the secondary coil, acting as a reference point for the electronic system. The system is as follows:

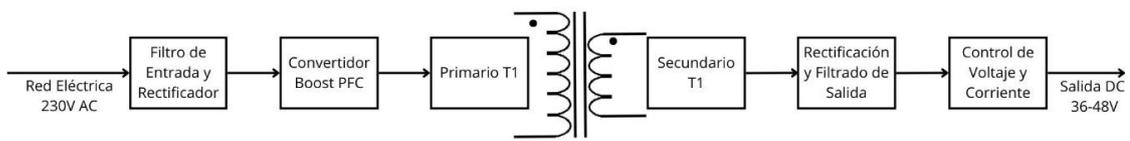


Figure 3: System Block Diagram.

Therefore, inside the anchor, the primary part of the electronic circuit would go, which is the primary coil of the transformer, along with the other components to its left, with the electrical grid as the input source. The horseshoe lock would carry the secondary circuit, which is the secondary coil of the transformer and all the components to its right. This would be inserted inside the anchor box, where energy transfer would occur. The output voltage of the horseshoe lock, adjusted to about 42 V, would connect directly to the electric bicycle battery.

For the mechanical design, Rhinoceros 3D Version 6 was used.

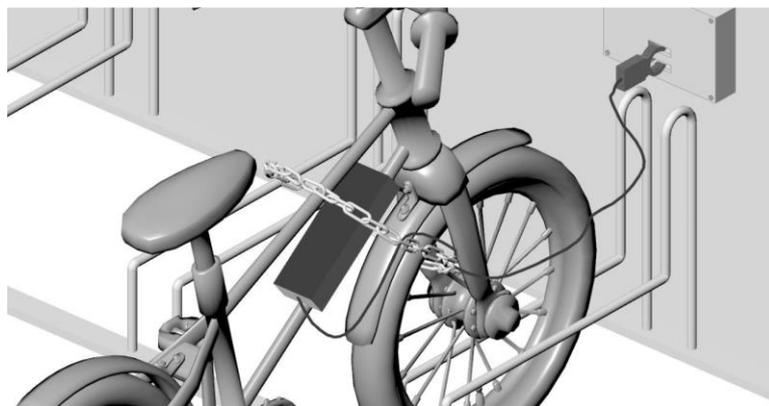


Figure 4: Complete System.

It is important to highlight the incorporation of a security chain. To prevent the bicycle from being stolen simply by cutting the cable, it is crucial that the chain is firmly attached to the horseshoe lock and includes a soft coating to avoid damaging or scratching the bicycle frame.

4. Results

The operating values of the charging system, based on the power supply, are as follows:

- **Input Voltage:** The system uses a standard 230V AC and 50Hz input.
- **Output Voltage and Current:** The nominal output is 61V, adjusted to 42V, with a charging current limited to 4.59A.
- **Power and Power Factor:** The output power is calculated at 192.78W with a power factor of 0.981.
- **System Efficiency:** The efficiency is measured at 91%, indicating effective energy conversion.
- **Charging Time:** For batteries from 8 to 16Ah, the charging time is between 1 hour and 44 minutes, and 3 and a half hours, ensuring a quick and safe charge.

5. Conclusiones

The project has successfully designed an efficient, safe, and user-friendly wireless charging system for electric bicycles. The system facilitates a quick and effective charge, contributing to the reduction of CO₂ emissions and the promotion of sustainable mobility in urban environments.

In terms of future work, it is proposed to optimize the electronic components to improve efficiency. It is also suggested to integrate the system with renewable energy sources, such as self-contained solar panels, to reduce dependence on the electrical grid.

6. References

- [1] NOAA, "Climate Change Impacts," National Oceanic and Atmospheric Administration, Aug. 13, 2021.
Disponible: <https://www.noaa.gov/education/resourcecollections/climate/climate-change-impacts>
- [2] "Beneficios ambientales proporcionados por Biciquito," FLACSO Ecuador, 2017. [En línea]. Disponible:
<https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/12438/16/TFLACSO-2017MGAB.pdf>.
- [3] Power Integrations, Inc., "DER-484: 300 W Forward Power Supply Using HiperPFSTM-3 PFS7528H and HiperTFSTM-2 TFS7706H," Design Example Report, Doc. No. DER-484, Oct. 26, 2017. [En línea]. Disponible: <https://www.power.com>.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	VII
Capítulo 2. Impacto del Transporte en el Cambio Climático.....	IX
2.1 Causas del Cambio Climático	X
2.2 Impacto en el Medio Ambiente y la Sociedad	XI
2.3 Acciones y Políticas Globales	XIV
2.4 Rol del Transporte en el Cambio Climático	XV
2.4.1 Comparación entre diferentes modos de transporte.....	XVII
2.5 La Bicicleta Eléctrica como Solución	XIX
2.5.1 Beneficios ambientales de la bicicleta eléctrica	XIX
Capítulo 3. Estado de la Cuestión	XXII
3.1 Estudios Académicos.....	XXIII
3.2 Proyectos de Investigación.....	XXIV
3.3 Soluciones Existentes.....	XXV
3.3.1 Bike-Energy	XXV
3.3.2 Bikeep	XXVI
3.3.3 Tiler	XXVII
3.3.4 INTIS.....	XXVIII
Capítulo 4. Conceptos Básicos de la Carga Inalámbrica.....	XXX
4.1 Introducción a la Carga Inalámbrica	XXX
4.2 Fundamentos de la Transferencia de Energía.....	XXXII
4.2.1 Leyes físicas que rigen la transferencia de energía inalámbrica	XXXII
4.2.2 Fundamentos del acoplamiento magnético.....	XXXIV
4.3 Tipos de Carga Inalámbrica	XXXVII
4.3.1 Carga por inducción	XXXVII
4.3.2 Carga por resonancia.....	XXXVIII
4.3.3 Carga por acoplamiento capacitivo.....	XXXVIII
Capítulo 5. Bases y Condiciones para el Diseño	39
5.1 Motores.....	39

5.2	<i>Baterías</i>	40
5.2.1	<i>Introducción a las Baterías de Ion Litio</i>	40
5.2.2	<i>Características de las Baterías de Bicicletas Eléctricas</i>	41
Capítulo 6. Diseño		44
6.1	<i>Fuentes de Alimentación</i>	45
6.1.1	Fuente de alimentación de referencia.....	47
6.2	<i>Diseño Electrónico</i>	54
6.2.1	Transformador	54
6.2.2	Circuito primario (anclaje)	55
6.2.3	Circuito secundario (candado de herradura)	56
6.3	<i>Diseño Mecánico</i>	57
6.3.1	Anclaje.....	57
6.3.2	Candado de herradura	59
6.3.3	Conexión y transferencia de energía	61
6.3.4	Cadena de seguridad y circuito completo	63
Capítulo 7. Valores y Eficiencia		67
7.1	<i>Tensión y Corriente de Entrada</i>	67
7.2	<i>Tensión, Corriente y Potencia Activa de Salida</i>	68
7.3	<i>Factor de Potencia</i>	69
7.4	<i>Eficiencia del Sistema</i>	70
7.5	<i>Tiempo de Carga</i>	72
Capítulo 8. Conclusiones y Trabajos Futuros		73
Capítulo 9. Bibliografía		76
ANEXO I. Informe Fuente de Alimentación Power Integrations		82
ANEXO II. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)		96

Índice de figuras

Ilustración 1: Tres diferentes registros de la temperatura superficial global que muestran las tendencias crecientes durante el último siglo. Se muestran las diferencias anuales en temperatura en relación con el promedio de 1901-1960 [3].	IX
Ilustración 2: Disminución del Hielo Marino en el Ártico: Comparación Espacial en septiembre de 1992 y 2012 [8].	XII
Ilustración 3: Sensor de Calidad del Aire de Libelium [10].	XIII
Ilustración 4: Emisiones Anuales de CO2 en España (1950-2022)[13].	XV
Ilustración 5: Emisiones de CO2 totales en 2011[18].	XVI
Ilustración 6: Reparto modal del transporte en España en 2016 [19].	XVII
Ilustración 7: Emisión de CO2 en diferentes medios de transporte [18].	XVIII
Ilustración 8: Eficiencia energética de diferentes modos de transporte [22].	XX
Ilustración 9: LINE de Bike-Energy [32].	XXV
Ilustración 10: Bikeep Parking Station [38].	XXVI
Ilustración 11: Estación de Carga Tiler [39].	XXVII
Ilustración 12: Estación de Carga Tiler [39].	XXVIII
Ilustración 13: INTIS easyCharge pad [40].	XXIX
Ilustración 14: Cargador inalámbrico Belkin Boost Charge [24].	XXXI
Ilustración 15: Bobinas acopladas [27].	XXXVI
Ilustración 16: Motor trasero H700 integrado con sistema de cambio de velocidad automático dual [42].	39
Ilustración 17: Funcionamiento de una batería de ion litio[45].	41
Ilustración 18: Batería Bafang modelo BT F020.B504 [46].	42
Ilustración 19: Diagrama de bloques del sistema inductivo [47].	44
Ilustración 20: Convertidor Flyback [50].	46
Ilustración 21: Convertidor LLC [51].	46
Ilustración 22: Esquemático del Circuito de Aplicación del Cargador de Baterías - Filtro de Entrada, Etapa PFC [53].	49

Ilustración 23: Esquemático del Circuito de Aplicación del Cargador de Baterías - Etapa Forward, Fuente de Alimentación de Standby, Suministros de Polarización y Control de Voltaje/Corriente de Salida [53].	50
Ilustración 24: Diagrama Eléctrico del Transformador.	52
Ilustración 25: Diagrama de Construcción del transformador [53].	52
Ilustración 26: Diagrama de Bloques del Sistema.	54
Ilustración 27: Esquema Eléctrico Anclaje [53].	55
Ilustración 28: Esquema Eléctrico Candado de Herradura [53].	56
Ilustración 29: Sistema de Anclaje.	58
Ilustración 30: Anclaje y Aparca Bicicletas.	58
Ilustración 31: Detalle Anclaje.	59
Ilustración 32: Candado de Herradura.	59
Ilustración 33: Candado de Herradura 2.	60
Ilustración 34: Bobina Toroidal [56].	60
Ilustración 35: Conexión Anclaje - Candado de Herradura.	61
Ilustración 36: Conexión Anclaje – Candado de Herradura 2.	62
Ilustración 37: Conexionado Real.	62
Ilustración 38: Cadena con Revestimiento Blando [57].	63
Ilustración 39: Sistema con Cadena.	64
Ilustración 40: Sistema con Cadena 2.	64
Ilustración 41: Detalle Cadena y Cable.	65
Ilustración 42: Sistema Completo.	65
Ilustración 43: Sistema Completo Varias Bicicletas.	66
Ilustración 44: Tensión y corriente de entrada de CA, 230 VAC, 100% de carga [53].	67
Ilustración 45: Característica V-I [53].	68
Ilustración 46: Factor de potencia vs. potencia de salida [53].	69
Ilustración 47: Eficiencia vs. Potencia de Salida [53].	71

Índice de tablas

Tabla 1: Características general de las baterías de bicicletas eléctricas.	42
Tabla 2: Especificaciones batería Bafang modelo BT F020.B504 [46].	43
Tabla 3: Especificaciones de la Fuente de Alimentación [53].	48
Tabla 4: Número de vueltas del transformador principal T1 [53].	53

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Ley de Faraday	XXXII
Ecuación 2: Flujo magnético	XXXIII
Ecuación 3: Ley de Lenz	XXXIII
Ecuación 4: Autoinductancia.....	XXXIII
Ecuación 5: Autoinductancia.....	XXXIV
Ecuación 6: Tensión de la bobina en presencia de un campo magnético (V).	XXXIV
Ecuación 7: Tensión en la bobina 1.....	XXXIV
Ecuación 8: Tensión en la bobina 2.....	XXXV
Ecuación 9: Tensiones de las bobinas en función de la corriente	XXXV
Ecuación 10: Induciendo la bobina 1 en la bobina 2.....	XXXV
Ecuación 11: Induciendo la bobina 2 en la bobina 1	XXXV
Ecuación 12: Tensión de la bobina 1 debido a su propia inductancia y a la inductancia mutua de la bobina 2.....	XXXV
Ecuación 13: Tensión de la bobina 2 debido a su propia inductancia y a la inductancia mutua de la bobina 1.....	XXXVI
Ecuación 14: Acoplamiento magnético	XXXVI
Ecuación 15: Relación de transformación.	XXXVI
Ecuación 16: Relación tensión e intensidad con n.	XXXVII
Ecuación 17: Potencia de Salida.....	68
Ecuación 18: Factor de Potencia [55].....	69
Ecuación 19: Potencia Aparente.....	70
Ecuación 20: Potencia Reactiva.	70
Ecuación 21: Eficiencia.	71
Ecuación 22: Potencia de Entrada.	71
Ecuación 23: Tiempo de Carga	72
Ecuación 24: Tiempo de Carga para una Capacidad de 8 Ah.	72
Ecuación 25: Tiempo de Carga para una Capacidad de 16 Ah.	72

Capítulo 1. Introducción

Debido al auge de la movilidad urbana sostenible, se ha experimentado un rápido crecimiento en el uso de bicicletas eléctricas. Aunque este medio de transporte es una buena alternativa ecológica para reducir la huella de carbono, su implementación presenta grandes desafíos debido a la falta de un sistema de carga universal que sea accesible en varios espacios públicos. La realización de este proyecto se sitúa en un momento crucial, al estar el sector de la movilidad urbana en pleno auge, además de contribuir a mejorar la experiencia del usuario y ayudar a desarrollar ciudades más sostenibles.

El proyecto surge de la importancia de implementar un sistema de carga universal que se adapte a los diferentes modelos y marcas de bicicletas eléctricas. Esta carencia frena la compra de bicicletas eléctricas particulares, al no tener un sitio donde poder cargarlo en la ciudad que se adapte a todos los modelos. Se busca abordar este problema mediante el desarrollo de un sistema de carga inalámbrico que se pueda instaurar en la mayoría de las bicicletas eléctricas del mercado, y que sea compatible con los parkings de las bicicletas eléctricas de Don Cicleteo.

Por otro lado, la promoción de movilidad sostenible combate uno de los grandes problemas de contaminación y tráfico en áreas urbanas. Las bicicletas eléctricas son una solución efectiva cuyo potencial se maximizaría con un sistema de carga accesible. Este medio de transporte reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los vehículos de combustión. Al implementar este proyecto, se disminuye la utilización de combustibles fósiles, reduciendo la contaminación del aire en las zonas urbanas.

Además, para incentivar el uso de bicicletas eléctricas, es fundamental disponer de una infraestructura de carga que sea eficiente energéticamente, pero sobre todo que sea ampliamente accesible. Esto implicaría la instalación de diferentes estaciones de carga en varios puntos de la ciudad, implementados con el sistema de carga inalámbrico. Al eliminar

la preocupación de no poder cargar la bicicleta eléctrica en la calle, más personas se motivarían a cambiar sus métodos de transporte hacia opciones más sostenibles.

Capítulo 2. Impacto del Transporte en el Cambio Climático

El cambio climático es el cambio a largo plazo observado desde mediados del siglo XX de los patrones promedio que han definido los climas globales de la Tierra. Este cambio ha sido impulsado principalmente por las actividades de los seres humanos que incluyen la quema de combustibles fósiles [1]. Esto produce un aumento de gases de efecto invernadero además de elevar la temperatura promedio de la superficie terrestre, que ha aumentado en un 1.1 grado Celsius. Esto se ha acelerado desde 1982, al aumentar 0.2 grados Celsius por década desde 1982 [2].

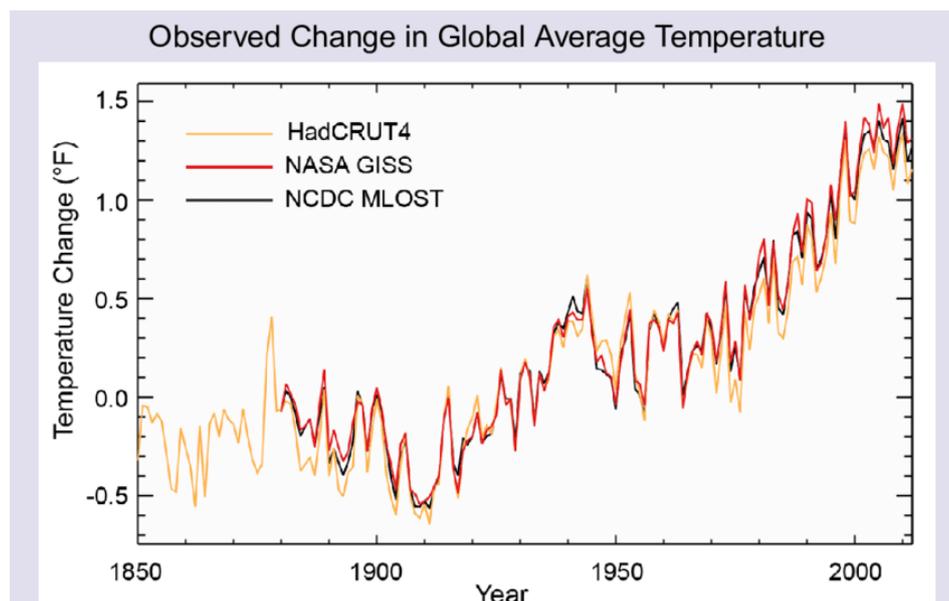


Ilustración 1: Tres diferentes registros de la temperatura superficial global que muestran las tendencias crecientes durante el último siglo. Se muestran las diferencias anuales en temperatura en relación con el promedio de 1901-1960 [3].

El cambio climático intensifica y aumenta la frecuencia de eventos meteorológicos extremos. Debido al aumento de temperatura, la capacidad del aire para retener vapor de agua aumenta un 7% por cada grado Celsius, por lo tanto, las lluvias son más frecuentes e

intensas, aumentando las inundaciones. Por otro lado, los periodos de sequía se incrementan, provocando incendios forestales más frecuentes [4]. Hay que tener en cuenta que la variabilidad natural siempre desempeña un papel muy importante en la ocurrencia de eventos extremos, sin embargo, el aumento de la temperatura terrestre exagera sus efectos. Por otro lado, es importante recalcar el incremento del nivel del mar. Este ha subido aproximadamente de 21-24 cm desde 1880 por el derretimiento de glaciares y capas de hielo además de la expansión térmica del agua oceánica [2]. Este incremento pone en riesgo especialmente a las comunidades costeras, aumentando también la frecuencia de desastres naturales en estas áreas.

El transporte y la urbanización, punto que se desarrollará más adelante, son uno de los principales contribuyentes al cambio climático. El sector transporte en particular, es el responsable de un 23% de las emisiones globales de CO₂, cifra que sigue en un constante aumento [2].

2.1 Causas del Cambio Climático

Los principales causantes del cambio climático son las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Contribuyen a este fenómeno al atrapar el calor en la atmósfera terrestre y así aumentar la temperatura global. Los tres más importantes son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y los óxidos de nitrógeno (NO_x).

El CO₂ es el GEI que proviene de las emisiones de actividades humanas, especialmente la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural, para la generación de transporte e industria. Por otro lado, el metano, que, aunque se emite en menores cantidades, es un gas mucho más potente. Sus emisiones provienen de la producción y transporte del carbón, el petróleo y el gas natural, además de las emisiones de ganado. Los óxidos de carbono tienen un buen potencial de calentamiento global, aunque sus emisiones son menos abundantes que las del CO₂. Proviene de las prácticas agrícolas además de la quema de combustibles fósiles [5].

Es importante analizar cuáles son las fuentes de emisión de estos gases. Como se ha comentado antes, las principales son la industria y el transporte. Asimismo, es crucial recalcar la importancia de la deforestación como una fuente de emisiones de GEI.

Las plantas industriales emiten grandes cantidades de CO₂ debido al uso masivo de energía y procesos químicos que lo liberan. La deforestación es un gran contribuyente de las emisiones ya que se libera mucho carbono almacenado en la biomasa al talar árboles. Además, se reduce la capacidad de los bosques para absorber CO₂ de la atmósfera [7].

El sector transporte es el responsable del 23% de las emisiones globales de CO₂, que provienen de la quema de combustibles fósiles para automóviles, camiones, aviones y barcos, y específicamente en los Estados Unidos, el transporte es el responsable de aproximadamente el 29% de todas las emisiones de GEI, siendo los automóviles los mayores contribuyentes [6]. Los aviones son responsables de aproximadamente el 2-3% de las emisiones globales de CO₂, sin embargo, su impacto es mayor ya que emiten otros compuestos en altitudes elevadas, contribuyendo al calentamiento global [5]. Por otro lado, los trenes son generalmente los más eficientes en términos de emisiones por pasajero-kilometro, comparado con los demás. Además, las emisiones disminuyen si se utilizan fuentes renovables de electricidad.

2.2 Impacto en el Medio Ambiente y la Sociedad

El cambio climático tiene un impacto significativo al alterar los ecosistemas naturales y agravar la pérdida de biodiversidad. El aumento de la temperatura global y el aumento de eventos meteorológicos extremos afectan negativamente a muchas especies. El hábitat natural de las mismas se altera, por lo que estas se ven obligadas a migrar nuevas áreas para lograr sobrevivir. Se estima que el 8% de las especies actuales podrían extinguirse en los siguientes 50 años debido a estas alteraciones [8].

El cambio climático no solo afecta al medio ambiente, sino que tiene repercusiones socioeconómicas, destacando el desplazamiento de poblaciones. Esto es debido a que el

aumento del nivel del mar y la mayor frecuencia de eventos meteorológicos extremos obliga a la comunidad costera y rural a desplazarse a otros lugares. Esto produce una situación crítica, al necesitar este grupo de gente ser reubicados y recibir asistencia. Se espera que más de 150 millones de personas puedan ser desplazadas para 2100 debido al aumento del nivel del mar [8]. El aumento del nivel del mar es una realidad que se puede ver claramente en la Ilustración 2, al disminuir en un 50% la extensión de la cobertura de hielo marino en el Ártico entre 1992 y 2012.

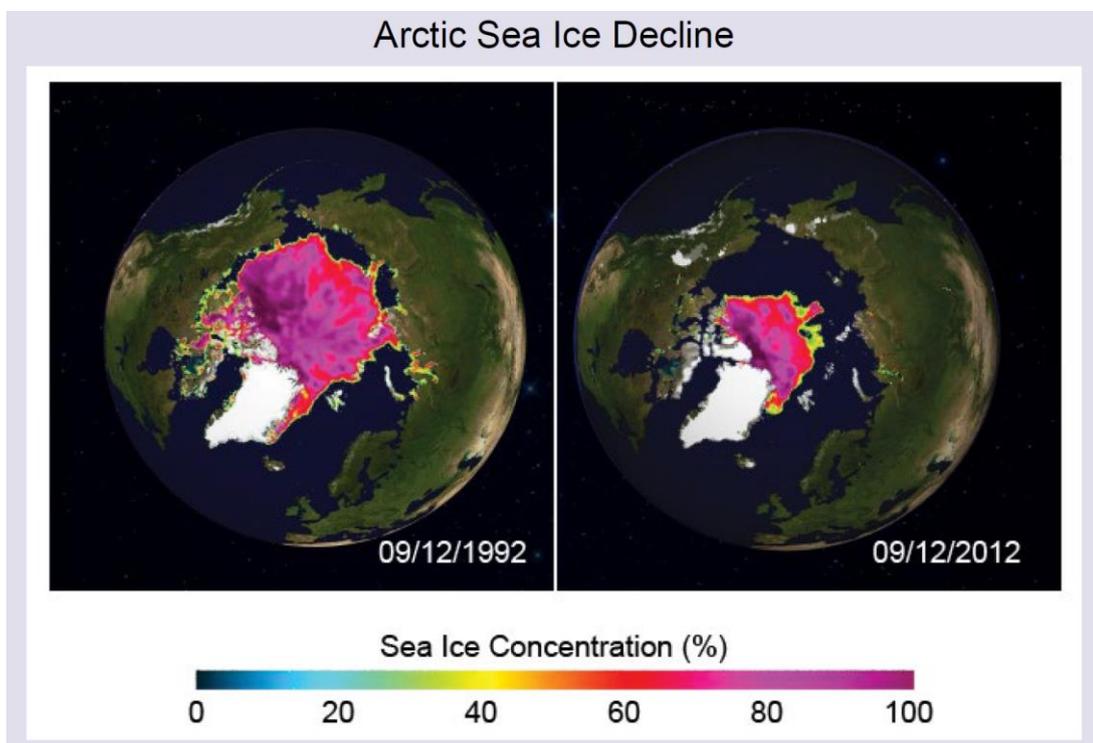


Ilustración 2: Disminución del Hielo Marino en el Ártico: Comparación Espacial en septiembre de 1992 y 2012 [8].

Por último, es interesante recalcar el efecto que la emisión de gases de efecto invernadero tiene en la salud, especialmente en niños con asma. Los GEI y otros contaminantes como el ozono troposférico se incrementan debido a la quema de combustibles fósiles, y son conocidos por producir problemas respiratorios y cardiovasculares. Los niños son

especialmente vulnerables a ataques de asma debido a que su sistema respiratorio está en desarrollo. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), un 14% de los niños sufren asma a nivel mundial [9]. Es probable que esta cifra aumente debido al crecimiento de la contaminación del aire.

Un estudio de Libelium muestra como la implementación de sensores de calidad de aire en parques infantiles puede ayudar a prevenir ataques de asma en niños [10].



Ilustración 3: Sensor de Calidad del Aire de Libelium [10].

En Togliatti, Rusia, se implementaron los sensores desarrollados por Aialab y basados en la tecnología de Libelium que se ven en la Ilustración 3. Estos monitorean en tiempo real los contaminantes como las partículas PM.5 y PM10, y gases como SO₂ y NO₂. Se recolectan los datos a tiempo real, que luego muestran en una aplicación, alertando a las autoridades y a los padres de los peligros de la contaminación del aire a tiempo real. Con esta tecnología, se reduce la exposición de los niños a estos contaminantes para mejorar su salud respiratoria al tomar medidas preventivas limitando el tiempo de juego al aire libre en días de alta contaminación.

2.3 *Acciones y Políticas Globales*

Debido a los efectos detallados anteriormente, el cambio climático ha pasado de ser una preocupación científica a ser un problema urgente. Al tener muchas repercusiones sociales y económicas, se han implementado acuerdos internacionales como el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París, buscando reducir las emisiones de los GEI y fomentando la transición a energías renovables.

El Protocolo de Kioto fue adoptado en 1997 y lleva en vigor desde 2005. Establece objetivos para la reducción de GEI en países desarrollados, al ser estos los responsables de los altos niveles de GEI, debido a los 150 años de actividad industrial que tenían estos países. Entre 2008 y 2012, los países participantes se comprometieron a reducir sus emisiones un 5,2% menos que en 1990 [11]. Sin embargo, la falta de participación de Estados Unidos produjo que el protocolo no fuese tan efectivo.

El Acuerdo de París fue adoptado en 2015. A diferencia del Protocolo de Kioto, el Acuerdo de París incluye también a los países en desarrollo, además de permitir que cada país determine sus propias contribuciones a la reducción de emisiones de GEI. Estas contribuciones son las llamadas “Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional” (NDCs) [12]. El objetivo común de este acuerdo fue mantener el aumento de la temperatura global por debajo de 2 grados Celsius, y creando acciones para reducirlo a 1,5 grados Celsius.

Para cumplir con los objetivos del tratado de París, se han implementado diversas medidas en España para contribuir a la reducción de emisiones de GEI. Destaca la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo (ELP 2050), cuyo objetivo es reducir las emisiones de CO₂ en un 90% en comparación con 1990 [14].

Annual CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from fossil fuels and industry¹. Land-use change is not included.



Data source: Global Carbon Budget (2023)

OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

1. Fossil emissions: Fossil emissions measure the quantity of carbon dioxide (CO₂) emitted from the burning of fossil fuels, and directly from industrial processes such as cement and steel production. Fossil CO₂ includes emissions from coal, oil, gas, flaring, cement, steel, and other industrial processes. Fossil emissions do not include land use change, deforestation, soils, or vegetation.

Ilustración 4: Emisiones Anuales de CO₂ en España (1950-2022)[13].

Como se puede ver en la Ilustración 4, ha habido una reducción significativa de emisiones de CO₂ en España, en comparación con los 2000, pasando de más de 350 millones de toneladas a 250 millones de toneladas.

Además del ELP 2050, hay que destacar la implementación de otras medidas que intentan lograr la transición a energías renovables en España. En 2022, casi el 47% del consumo de electricidad en España provino de fuentes renovables, con el objetivo de aumentar este número a un 74% en 2030. Para esto, la intención es instalar para 2030 39 GW de energía eólica y 28 GW de solar adicionales a las que existen actualmente[15].

2.4 Rol del Transporte en el Cambio Climático

Se ha descrito el problema actual del cambio climático en general, mencionando las causas y las consecuencias. Sin embargo, es significativo analizar el rol que tiene el transporte en el cambio climático específicamente, destacando la importancia que tiene en la

contaminación. La quema de combustibles fósiles en vehículos, aviones, barcos y trenes emite grandes cantidades de CO₂, metano, y óxidos de nitrógeno, y aunque este sector es clave para promover la economía, la dependencia de la quema de combustibles fósiles amenaza fuertemente al planeta.

El transporte es uno de los mayores contribuyentes a las emisiones de GEI al generar, tanto el transporte nacional como el internacional, el 26,2% de las emisiones. Si esto no se controla para el año 2050, las emisiones provenientes del transporte pueden aumentar hasta en un 60%, debido al crecimiento de población y economía, que crea una necesidad de movilidad constantemente en crecimiento. En España, el transporte representa un 36,2% del consumo de energía [16].

Gráfico 3.0 Emisiones de CO₂ del transporte comparadas con el total de emisiones

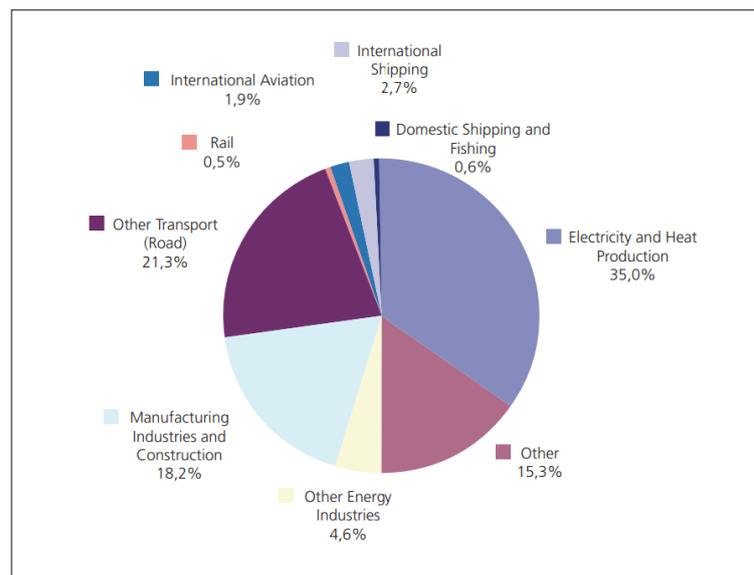


Ilustración 5: Emisiones de CO₂ totales en 2011[18].

Como se puede ver en la Ilustración 5, en 2011, el transporte por carretera representaba un 21,3% total, mientras que por carril un 0,5% y por aviación internacional un 1,9%. Los números en 2011 ya eran altos, manteniéndose hasta día de hoy.

La contaminación del aire que se cause debido a los medios de transporte es una gran preocupación ambiental. La Dirección General de Tráfico (DGT) y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA) apuntan que la contaminación del aire, además de afectar directamente al cambio climático, es una de las causas principales de las enfermedades respiratorias y cardiovasculares [19].

2.4.1 Comparación entre diferentes modos de transporte



Ilustración 6: Reparto modal del transporte en España en 2016 [19]

La distribución modal del transporte representa el porcentaje de viajeros que usan un modo de transporte, o la cantidad de viajes que realizan. En 2016, se ve claramente que predomina el transporte por carretera con un vehículo privado, con un 76,42%, seguido del autobús con un 10,89%. El transporte ferroviario, aéreo y marítimo son de menor proporción [19].

El transporte por carretera es el principal emisor de GEI en España, debido a la utilización de combustibles fósiles, que utilizan gasóleo y gasolina, y al gran número de vehículos que circulan. En 2020, el 27% del total de las emisiones de GEI del país fueron por el transporte por carretera. Debido al gran crecimiento de vehículos desde 1990, las emisiones de GEI por transporte por carretera han aumentado en un 93,6%. Por lo tanto, este medio de transporte es el modo más contaminante en términos de emisiones.

Por otro lado, la aviación consume mucha energía por kilómetro recorrido, aunque se produzca un menor número de viajes en comparación con los otros métodos de transporte. En 2020 representaron el 2% de las emisiones de transporte en España. Tiene una menor participación en el reparto modal, sin embargo, el impacto ambiental pasajero-kilómetro es alto.

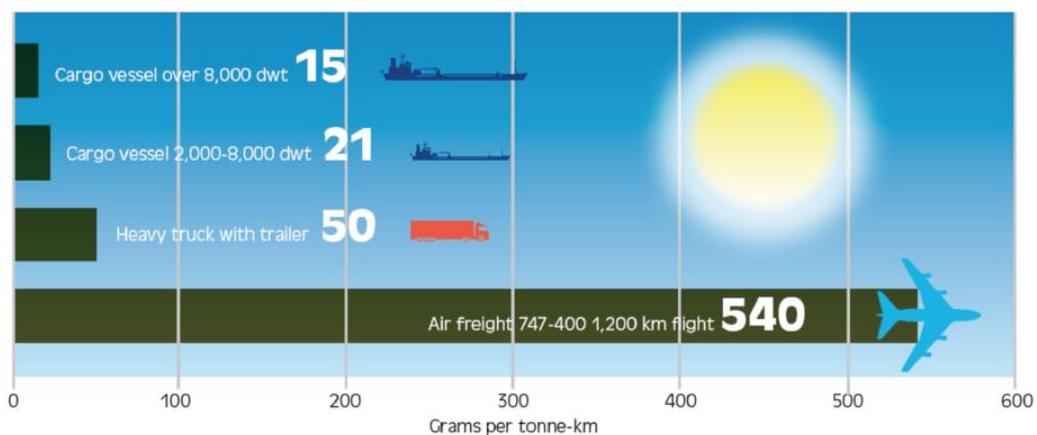


Ilustración 7: Emisión de CO2 en diferentes medios de transporte [18].

Se ve claramente en la Ilustración 5, que el transporte aéreo emite alrededor de 11 veces más gramos de CO2 por tonelada-kilómetro que un tráiler, 26 veces más que un barco pequeño y 36 veces más que un buque grande. Emisión de CO2 en diferentes medios de transporte [18].

El transporte marítimo representa el 3,3% de las emisiones de GEI del sector transporte, debido al gran volumen de carga que se transporta mundialmente [17]. Aunque su contribución de transporte de pasajeros es mínima, tiene gran impacto debido a las grandes emisiones que se generan durante la navegación.

Esta comparación destaca la necesidad de adoptar medidas para reducir las emisiones en todos los modos de transporte. Para mitigar el impacto medioambiental es importante el uso de alternativas más sostenibles, como pueden ser los vehículos eléctricos, entre los que encontramos la bicicleta eléctrica.

2.5 La Bicicleta Eléctrica como Solución

Los vehículos eléctricos han emergido como una solución sostenible y eficiente frente al cambio climático. Las bicicletas eléctricas destacan porque son más accesible y por su bajo impacto ambiental. A diferencia de los vehículos de combustión, las bicicletas eléctricas funcionan con motores eléctricos y baterías recargables, por lo tanto, no se emiten directamente gases de efecto invernadero ni contaminantes, mejorando la calidad del aire en áreas urbanas.

Las bicicletas eléctricas han ganado popularidad en ciudades de todo el mundo, aparte de por sus beneficios ambientales, porque son una manera muy ágil y eficiente de desplazarse en áreas urbanas sin hacer un gran esfuerzo físico. La percepción de los usuarios hacia las bicicletas eléctricas es cada vez más positiva, debido al ahorro económico en comparación con otros métodos de transporte que utilizan combustibles fósiles [20].

2.5.1 Beneficios ambientales de la bicicleta eléctrica

Las bicicletas eléctricas ofrecen numerosos beneficios ambientales, descritos a continuación:

- Reducción de Emisiones de GEI y Disminución de la Contaminación del Aire

El principal beneficio, mencionado anteriormente, es la reducción de las emisiones de GEI en comparación con vehículos de combustión, debido a que no se generan emisiones directas de CO₂ ni de otros contaminantes. El uso de bicicletas eléctricas puede llegar a reducir estas emisiones en un 90% en comparación con los automóviles de combustión. De hecho, en Bogotá se ha mostrado una reducción del 70% en las emisiones de CO₂ por kilómetro recorrido en contraste con los vehículos tradicionales [21].

Añadiendo a este punto, un estudio realizado por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLASCO), reveló que la implementación de las bicicletas eléctricas reduce las emisiones de CO₂ en 1,5 toneladas al año por usuario [21].

- Menor Consumo de Energía

Si se comparan con los vehículos motorizados, las bicicletas eléctricas consumen mucha menos energía para desplazarse. La eficiencia energética de la bicicleta es mucho mayor, contribuyendo a una reducción de demanda de combustibles fósiles, y por lo tanto a una reducción en las emisiones de GEI.

Como se puede ver en la Ilustración 8, se muestra la energía consumida por kilómetro (Wh) y la velocidad media de varios transportes (km/h). Se observa que la velocidad media de la bicicleta con asistencia eléctrica es de 25 km/h, con una energía consumida de 14 Wh. SE puede observar que consume mucha menos energía que el automóvil eléctrico, superándolo este por 136Wh.

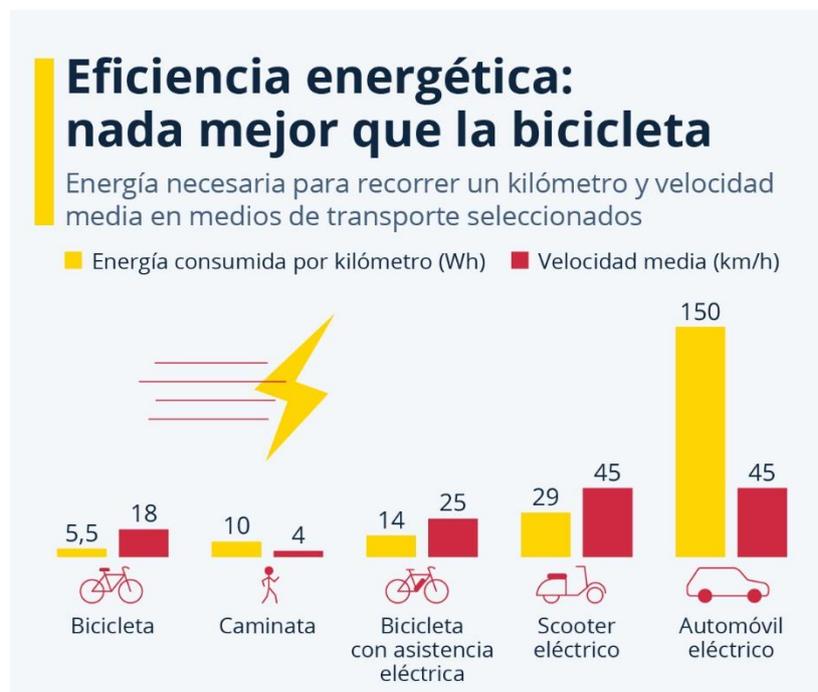


Ilustración 8: Eficiencia energética de diferentes modos de transporte [22].

- Reducción del Ruido

Al ser las bicicletas mucho más silenciosas que los vehículos de combustión interna, se disminuye mucho la contaminación acústica en las ciudades, lo cual mejora la calidad de vida de los habitantes urbanos.

Capítulo 3. Estado de la Cuestión

En los últimos años, la popularidad de las bicicletas eléctricas ha aumentado significativamente al ofrecer una alternativa sostenible y eficiente al transporte tradicional. Con este aumento, surge la necesidad paralela de desarrollar unos sistemas de carga de estas que sean convenientes y accesibles. Es una carga más accesible y conveniente, al reducir el desgaste de los componentes físicos, además de facilitar la implementación de estaciones de carga tanto en espacios públicos como privados.

Los sistemas de carga inalámbrica específicamente para las bicicletas eléctricas aún están en desarrollo, habiendo más limitaciones en comparación con los dispositivos móviles o los vehículos eléctricos. Sin embargo, hay un interés creciente en desarrollarlos, por parte de las empresas de gestión de aparcamiento y carga de bicicletas eléctricas como Don Cicleto. Aumentan la comodidad del usuario al eliminar la necesidad de conectores y cables, además de proporcionar una solución cómoda al poder integrarse en estaciones de bicicletas privadas o públicas.

Aunque es un sistema de carga prometedor, presenta varios desafíos técnicos. Uno de los principales es la eficiencia en la transferencia de energía. La distancia entre la bobina transmisora y la receptora afecta significativamente la eficiencia, generando pérdidas. En particular para las bicicletas eléctricas, al estar el espacio de los sistemas de carga limitado, se dificulta el mantenimiento de esta distancia. Uno de los grandes problemas, mencionado anteriormente, es la falta de estandarización de estos sistemas. Esto limita las opciones de los consumidores. Es crucial el establecimiento de unos sistemas de carga inalámbricos universales para conseguir la compatibilidad entre diferentes marcas y modelos.

Los recientes avances tecnológicos de carga inalámbrica para bicicletas eléctricas se centran en la mejora de eficiencia energética y la velocidad de carga. Una mejora en materiales y diseño de bobinas consigue una transferencia de energía más efectiva. Al usar sistemas más sofisticados, se minimizarían las pérdidas de energía durante la transferencia. Por otro lado, la velocidad de carga se ha incrementado gracias a los avances en los circuitos de control y

electrónica de potencia. Estos aseguran una carga más rápida sin comprometer la seguridad o vida útil de la batería.

La carga inalámbrica para bicicletas eléctricas se basa en los principios de inducción electromagnética, permitiendo la transferencia de energía sin contacto directo. Esta tecnología mejora la experiencia del usuario y posibilita la integración de este sistema de carga en estaciones urbanas, facilitando el acceso y promoviendo el uso de bicicletas eléctricas.

A continuación se expondrán tanto estudios académicos como soluciones existentes donde se ha implementado la carga inalámbrica y la carga por cable en bicicletas eléctricas.

3.1 Estudios Académicos

Existen diversos estudios académicos que han explorado esta tecnología, desde soluciones prácticas hasta optimizaciones energéticas y sostenibles. Estos estudios, detallados a continuación, proporcionan una base sólida para futuras aplicaciones e investigaciones.

Un artículo que destacar en este ámbito es “Wireless battery charging for electric bicycles”, el cual presenta una solución de carga inalámbrica que cobra importancia por su aplicación en entornos urbanos. Además, al ser carga sin contacto, se reduce así el desgaste de los componentes eléctricos [33].

Otro estudio significativo es “Linear control of Wireless charging for electric bicycles”. Éste analiza el uso de controladores digitales lineales para la posible optimización de un sistema de carga sin contacto de una bicicleta eléctrica de 250W. Este artículo, justifica su investigación mostrando resultados experimentales que evidencian una mayor estabilidad y eficiencia a lo largo del proceso de carga, además de demostrar cómo los sistemas de control lineal pueden llegar a proporcionar una solución energéticamente eficiente para las bicicletas eléctricas [35].

Otro artículo interesante es “System Architecture, Design, and Optimization of a Flexible Wireless Charger for Renewable Energy Powered Electric Bicycles”. Éste discute el proceso de diseño de un cargador inalámbrico flexible. Este estudio se enfoca en la optimización del sistema para su posterior integración con las tecnologías renovables. Se resalta la importancia de integrar fuentes de energía renovables en el diseño de equipos con carga inalámbrica, proponiendo un enfoque más sostenible [34].

Los estudios mencionados anteriormente han contribuido significativamente al avance de la tecnología de carga sin contacto de bicicletas eléctricas. La investigación recalca la comodidad y la reducción del mantenimiento que puede llegar a implicar la carga inalámbrica de las bicicletas, mejorando la durabilidad de estos equipos.

3.2 Proyectos de Investigación

Existen numerosos equipos de investigación que se centran en la elaboración de proyectos que aborden la mejora y optimización de la carga inalámbrica para bicicletas eléctricas. Un ejemplo actual es el proyecto realizado por la Universidad de Palermo donde se ha elaborado un prototipo de cargador sin contacto inductivo de 300W. Este proyecto ha sido de gran relevancia por su enfoque en el diseño, simulación y validación experimental del prototipo [37].

Otro proyecto de importante relevancia es el llevado a cabo por MDPI Energies, donde se ha diseñado un mecanismo de carga inalámbrica resonante para bicicletas destinadas al uso público. Este se enfoca principalmente en mejorar la eficiencia de estos mecanismos y así poder facilitar la integración del cargador sin contacto en infraestructuras públicas [36].

Al igual que los estudios académicos mencionados en el apartado anterior, estos proyectos de investigación han contribuido positivamente en el desarrollo de equipos de carga inalámbricos para bicicletas eléctricas.

3.3 Soluciones Existentes

Las soluciones existentes de carga de bicicletas eléctricas que hay en el mercado buscan ofrecer comodidad. A continuación, se detallan algunas de las soluciones más destacadas, evaluando sus características, ventajas y desventajas.

3.3.1 Bike-Energy

Bike Energy es una empresa que ofrece estaciones de carga para bicicletas eléctricas. Estas estaciones están diseñadas para ser instaladas en diversos entornos como estaciones de tren, aparcamientos, y distintos espacios públicos. Proporciona una solución de carga robusta y segura mediante conectores específicos para bicicletas eléctricas. Incluye una gama de modelos como POINT, TOWER y LINE, que se adaptan a diferentes necesidades y espacios, como se puede ver en la ilustración a continuación [32].

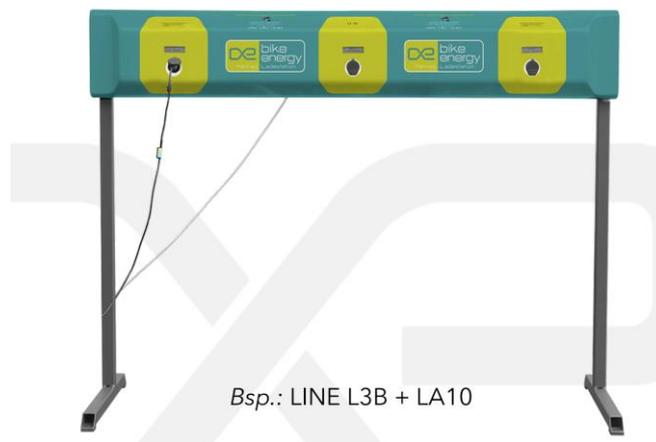


Ilustración 9: LINE de Bike-Energy [32].

Estas estaciones de carga son compatibles con una gran gama de modelos de bicicletas eléctricas, incluyendo marcas como BOSCH, YAMAHA y SHIMANO. Dentro de sus ventajas, encontramos una alta eficiencia de carga, ya que pueden cargar las bicicletas eléctricas hasta dos veces más rápido que los cargadores domésticos convencionales.

Además, al tener diferentes tipos de montaje, tanto *freestanding* y en pared, permite que sean instaladas en una gran variedad de entornos[32].

Sin embargo, esta empresa no ofrece sistemas inalámbricos ya que, aunque elimina algunos inconvenientes de los cargadores domésticos y el usuario no tiene que llevar el cargador consigo mismo en la bicicleta, se utilizan conectores físicos para la transferencia de energía.

3.3.2 Bikeep

Bikeep ofrece estaciones inteligentes de aparcamiento y carga para bicicletas eléctricas. Su sistema combina seguridad y carga, lo cual permite al usuario cargar su bicicleta eléctrica mientras está segura en un aparcamiento.



Ilustración 10: Bikeep Parking Station [38].

Dentro de sus características, como se puede ver en la Ilustración 10, ofrece un aparcamiento con bloqueo automático, de manera que las bicicletas están protegidas contra robos al mismo tiempo que se cargan. Utiliza conectores universales que son compatibles con varios modelos de bicicletas, además de incluir una aplicación móvil para gestionar y monitorear

las estaciones. Esto permite reservar espacios y pagar por la carga y el aparcamiento a través de la aplicación [38].

Sin embargo, esta empresa no proporciona una solución de carga, ya que solo se limita a proporcionar una toma de 220V para conectar al cargador que debe llevar el usuario. Similar a Bike-Energy, Bikeep utiliza conectores físicos para la carga, que puede ser menos conveniente en comparación con otras soluciones completamente inalámbricas que veremos a continuación.

3.3.3 Tiler

La empresa Tiler, en contraposición a Bike-Energy y Bikeep, sí que ha desarrollado una solución de carga inalámbrica para bicicletas utilizando tecnología de inducción. Su sistema consiste en una plataforma de carga instalada en el suelo y un soporte especial para la bicicleta, permitiendo la carga al estacionar la bicicleta sobre la plataforma [39].



Ilustración 11: Estación de Carga Tiler [39].



Ilustración 12: Estación de Carga Tiler [39].

La plataforma de carga por inducción está conectada a la red local, y a través del soporte la carga se produce automática, sin requerir una conexión física a la bicicleta. Esto aumenta la conveniencia y reduce el desgaste de los conectores, lo que mejora la durabilidad del sistema de carga.

3.3.4 INTIS

La empresa INTIS está desarrollando un sistema de carga inalámbrica para bicicletas eléctricas que utiliza tecnología de inducción. El sistema presentado en algunos eventos como IAA Movility, está diseñado para entornos urbanos.

El sistema que se ve a continuación incluye un soporte de carga en el que la bicicleta debe ser posicionada para iniciar el proceso de carga. Asegura la alineación adecuada entre los componentes de carga en la bicicleta y la estación. A su vez, la bicicleta está equipada con una interfaz receptora que se alinea con la estación de carga para lograr una transferencia eficiente de energía [40].



Ilustración 13: INTIS easyCharge pad [40].

Como Tiler, el sistema de INTIS asegura una carga completamente inalámbrica a la vez que bloquea la bicicleta para evitar robos mientras está aparcada.

Capítulo 4. Conceptos Básicos de la Carga Inalámbrica

4.1 *Introducción a la Carga Inalámbrica*

La carga inalámbrica, también conocida como carga por inducción es la transferencia de energía eléctrica desde una fuente a un dispositivo sin necesidad de utilizar ningún cable físico. Se basa en los principios de la inducción electromagnética.

A través de una bobina transmisora, a la cual se le hace pasar una corriente alterna, se genera un campo magnético. Cerca del transmisor, se coloca una segunda bobina receptora. El campo magnético alternante creado por la bobina del transmisor induce una corriente eléctrica en la bobina receptora. Este fenómeno se basa en la ley de Faraday de inducción electromagnética, al establecer que un cambio en el flujo magnético a través de un circuito cerrado induce una corriente eléctrica en el circuito, la cual se profundizará más adelante.

Nikola Tesla, a finales del siglo XIX, demostró a través de sus investigaciones, la posibilidad de transmitir energía sin cables gracias al uso de campos electromagnéticos. En 1891 creó la bobina de Tesla, un transformador resonante que podía transmitir energía a través del aire. Esto asentó las bases para los conceptos importantes de la carga inalámbrica [23].

En el siglo XXI, esta tecnología empezó a desarrollarse, habiendo múltiples aplicaciones en diversos sectores, demostrando su versatilidad. Se estandarizaron internacionalmente con los estándares Qi y Rezence.

El estándar Qi, promovido por Wireless Power Consortium, se basa en la carga inductiva, donde la energía se transfiere mediante el acoplamiento de campos magnéticos entre una bobina receptora y una transmisora. Es utilizado principalmente en dispositivos electrónicos de consumo [23].

El estándar Rezence, promovido por AirFuel Alliance se basa en la carga resonante, que permite una mayor libertad de movimiento y distancias de carga más largas entre el

transmisor y el receptor. Al utilizar la resonancia magnética, que se explicará en detalle más adelante, este estándar permite cargar múltiples dispositivos simultáneamente y con menor precisión en la alineación de las bobinas.

Los sectores más importantes que incluyen esta tecnología son los siguientes:

1. Dispositivos personales como smartphones y *tablets* y relojes inteligentes. Muchas marcas como Apple permiten a los usuarios cargar sus dispositivos simplemente colocándolos sobre una superficie de carga, como el que se puede ver en la Ilustración .



Ilustración 14: Cargador inalámbrico Belkin Boost Charge [24].

2. Dispositivos médicos. La carga inalámbrica es común en implantes y equipos médicos portátiles. Se reduce el riesgo de infección y desgaste asociado con los conectores físicos. Además, son mucho más cómodos y fáciles de cargar [25].
3. Aplicaciones industriales y comerciales. En el ámbito industria, la carga inalámbrica se utiliza en robots de servicio, vehículos autónomos y herramientas. Esto facilita las operaciones sin necesidad de interrupciones de carga.
4. Vehículos eléctricos. Como se observa en este trabajo, la carga inalámbrica está revolucionando el sector de los vehículos eléctricos (EV). Es útil al permitir cargar los vehículos sin necesidad de conectarlos a una estación de carga.

4.2 *Fundamentos de la Transferencia de Energía*

La transferencia de energía de forma inalámbrica se basa en los principios fundamentales del electromagnetismo.

4.2.1 **Leyes físicas que rigen la transferencia de energía inalámbrica**

1. Ley de Ampère

Según la Ley de Ampère, cuando se hace circular una corriente eléctrica por un conductor, se genera un campo magnético proporcional a esta corriente eléctrica. Esta ley es esencial para entender que las bobinas de carga inalámbrica generan los campos magnéticos necesarios para la transferencia de energía.

2. Ley de Faraday de la Inducción Electromagnética

La Ley de Faraday establece que un cambio en el flujo magnético a través de una espira induce una fuerza electromotriz (FEM) en la espira. En el caso de carga inalámbrica, se hace circular una corriente por el primario, creando un campo magnético en esta bobina. Este campo induce una tensión proporcional.

La fuerza electromotriz se define como la diferencia de potencial generada por una fuente de energía eléctrica. Un cambio en el campo magnético que rodea un conductor estacionario induce una FEM en el conductor.

Matemáticamente, la Ley de Faraday es la siguiente:

$$|\varepsilon| = \frac{d\phi}{dt}$$

Ecuación 1: Ley de Faraday

Donde ϕ representa el flujo magnético, y $\frac{d\phi}{dt}$ es la variación de este flujo respecto al tiempo.

El flujo magnético se puede expresar matemáticamente de la siguiente manera:

$$\phi = \int_S \vec{B} \cdot \vec{dS} = BS \cos \theta$$

Ecuación 2: Flujo magnético

Estando B en webers/metro cuadrado y S siendo la superficie que es atravesada por este campo, en metro cuadrado.

3. Ley de Lenz

Siguiendo la ley de Lenz, la fem inducida se opone a la variación de flujo magnético que la originó. Se representa de esta manera:

$$\varepsilon = - \frac{d\phi}{dt}$$

Ecuación 3: Ley de Lenz

Uniendo todos estos principios, una bobina de N número de vueltas genera una fuerza electromotriz autoinducida debido al campo magnético creado por la corriente que fluye a través de la bobina. El flujo magnético total que pasa por la bobina $N\phi$, esta directamente relacionado con la corriente que fluye ($i(t)$). Esto define la autoinductancia L de una bobina, la cual mide la capacidad de la bobina para inducir una FEM en sí misma cuando cambia la corriente. Matemáticamente, se expresa así:

$$L = \frac{N\phi}{i(t)}$$

Ecuación 4: Autoinductancia

Estando L en henrios (H), ϕ en webers (Wb) y la intensidad en amperios (A).

4.2.2 Fundamentos del acoplamiento magnético

Una bobina de N número de vueltas genera una fuerza electromotriz autoinducida debido al campo magnético creado por la corriente que fluye a través de la bobina. El flujo magnético total que pasa por la bobina $N\phi$, está directamente relacionado con la corriente que fluye ($i(t)$). Esto define la autoinductancia L de una bobina, la cual mide la capacidad de la bobina para inducir una FEM en sí misma cuando cambia la corriente [26]. Matemáticamente, se expresa así:

$$L = \frac{N\phi}{i(t)}$$

Ecuación 5: Autoinductancia

Estando L en henrios (H), ϕ en webers (Wb) y la intensidad en amperios (A).

Uniendo todas estas ecuaciones, se determina el principio de las bobinas acopladas. Una bobina con N_1 número de espiras por la cual circula una corriente genera un campo magnético. Cuando se aproxima a otra bobina conductora con N_2 número de espiras, induce una tensión en la segunda bobina, generando una corriente en ella. Cuando esto pasa, las dos bobinas están acopladas magnéticamente [26].

La tensión que genera la bobina en presencia de un campo magnético es la siguiente:

$$v = N \frac{d\phi}{dt}$$

Ecuación 6: Tensión de la bobina en presencia de un campo magnético (V).

Extrapolándolo a dos bobinas, sus tensiones en los extremos se definen de esta manera:

$$v_1 = N_1 \frac{d\phi_1}{dt}$$

Ecuación 7: Tensión en la bobina 1.

$$v_2 = N_2 \frac{d\phi_2}{dt}$$

Ecuación 8: Tensión en la bobina 2.

Aplicando la Ecuación 5, se pueden definir estas tensiones en función de la corriente:

$$v_1 = N_1 \frac{d\phi_1}{dt} = N_1 \frac{d\phi_1}{di_1} = L_1 \frac{di_1}{dt}$$

$$v_2 = N_2 \frac{d\phi_2}{dt} = N_2 \frac{d\phi_2}{di_2} = L_2 \frac{di_2}{dt}$$

Ecuación 9: Tensiones de las bobinas en función de la corriente

Sin embargo, cuando las dos bobinas están lo suficientemente cerca, el flujo magnético generado por una de ellas induce una tensión en la otra. Esto se denomina inductancia mutua M . Siendo ϕ_{12} el flujo magnético producido por la bobina 1 que enlaza con la bobina 2:

$$v_{21} = M \frac{di_1}{dt}$$

Ecuación 10: Induciendo la bobina 1 en la bobina 2

$$v_{12} = M \frac{di_2}{dt}$$

Ecuación 11: Induciendo la bobina 2 en la bobina 1

Por lo tanto, la tensión inducida en una bobina es la combinación de la autoinductancia de la propia bobina y de la inductancia mutua debido a la corriente de la otra bobina[26]:

$$v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$$

Ecuación 12: Tensión de la bobina 1 debido a su propia inductancia y a la inductancia mutua de la bobina 2.

$$v_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$

Ecuación 13: Tensión de la bobina 2 debido a su propia inductancia y a la inductancia mutua de la bobina 1.

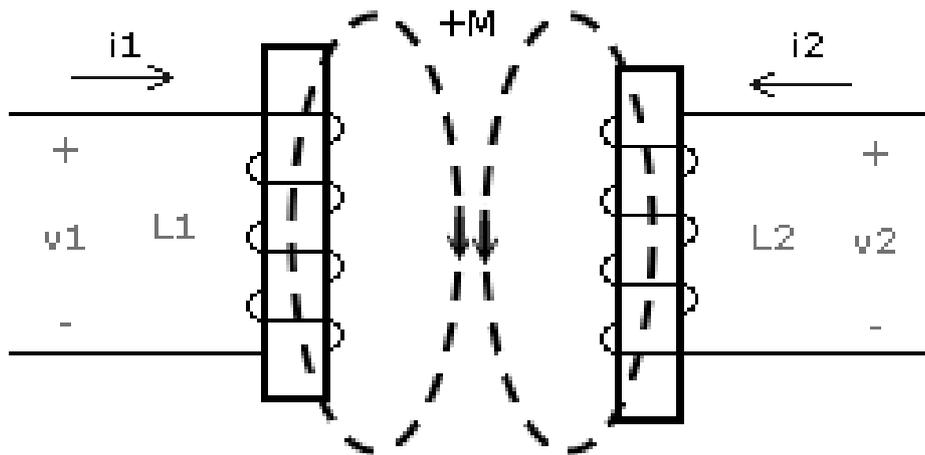


Ilustración 15: Bobinas acopladas [27].

El coeficiente de acoplamiento (k), mide la eficiencia del acoplamiento entre bobinas. Se define como:

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

Ecuación 14: Acoplamiento magnético

El acoplamiento magnético da un valor entre 0 y 1. Si $k=1$, indica un acoplamiento perfecto, y si $k=0$ no hay acoplamiento.

Otra magnitud importante es la relación de transformación n :

$$n = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$$

Ecuación 15: Relación de transformación.

Esta es la proporción entre las inductancias de la bobina primaria y la secundaria e indica la relación entre los voltajes y las corrientes en el primario y en el secundario, al seguir esta relación:

$$v_1 = n v_2$$

$$i_2 = \frac{i_1}{n}$$

Ecuación 16: Relación tensión e intensidad con n.

4.3 Tipos de Carga Inalámbrica

Dentro de los tipos de carga inalámbrica, se va a analizar en mayor profundidad la carga por medio de un campo cercano, que son los campos que se generan por el acoplamiento magnético entre bobinas. Dentro de este tipo, se encuentra la carga inalámbrica por inducción, la carga inalámbrica basada en el acoplamiento de resonancia magnética, y la carga por acoplamiento capacitivo [28].

4.3.1 Carga por inducción

La carga por inducción se basa en lo que se ha explicado anteriormente. Cuando se hace pasar una corriente alterna a través de una bobina, se genera un campo magnético que induce una corriente en la bobina receptora.

Dentro de los ejemplos y aplicaciones encontramos el estándar Qi, de Wireless Power Consortium. Este estándar utiliza una frecuencia de 100 a 205 kHz para la transferencia de energía. Es el más común ya que es compatible con dispositivos muy variados, tanto teléfonos móviles como dispositivos médicos. Debido a esto, tiene más de 3700 dispositivos en el mercado [29]. Otra aplicación importante es Power Matters Alliance (PMA). Opera en

el rango de 227 a 357 kHz, y se utiliza en aplicaciones como estaciones de carga en lugares públicos [30].

4.3.2 Carga por resonancia

La carga por resonancia también utiliza el campo magnético para la transferencia de energía. Sin embargo, la bobina transmisora y la bobina receptora trabajan ambas a una frecuencia específica, conocida como la frecuencia de resonancia. Cada sistema resonante tiene una frecuencia específica en la cual el sistema puede almacenar o transferir energía de manera más eficiente. Técnicamente, es la frecuencia a la cual un sistema oscilante, como un circuito LC oscila con máxima amplitud. Su determinación varía según la disposición de los elementos del circuito [31].

La carga resonante tiene la ventaja de que tiene un mayor alcance de carga, y la capacidad de cargar múltiples dispositivos simultáneamente. Sin embargo, es más compleja y costosa de implementar [31].

4.3.3 Carga por acoplamiento capacitivo

La carga por acoplamiento capacitivo o la inducción electrostática funciona al crear un campo eléctrico entre dos electrodos o placas conductoras. El campo eléctrico transfiere energía al dispositivo receptor. Por esto, es menos susceptible a la interferencia de campos magnéticos.

Dentro de sus aplicaciones, es común en dispositivos electrónicos más pequeños y ligeros como pueden ser los sensores. En comparación con la carga inductiva y la resonante, este tipo de carga puede ser peligrosa para la salud humana si no se trata correctamente. Esto es debido a que el campo eléctrico creado puede interferir con los tejidos humanos y con otros dispositivos electrónicos más sensibles [31].

Capítulo 5. Bases y Condiciones para el Diseño

Para el desarrollo de un sistema de carga que sea útil para la mayoría de las bicicletas urbanas, es necesario analizar los diferentes componentes de estas.

5.1 Motores

Los dos tipos más comunes de motores empleados en las bicicletas eléctricas son los motores centrales (mid-drive) y los motores traseros (rear-hub). Los centrales son mejores para el centro de masas. Al estar colocados cerca del pedalier, la distribución de peso es más equilibrada, lo que mejora la estabilidad. Además, tienen mejor capacidad en las subidas o terrenos complicados debido a que la posición central del motor mejora la tracción. Debido a esto, es más común en bicicletas de montaña o *Mountain Bike*. El fabricante que lidera el mercado de los motores centrales es Bosch.

Los motores traseros son líderes en bicicletas de conducción en ciudad y terrenos más planos. Son más simples y a menudo más baratos que los centrales. Al estar separados de la cadena y de los engranajes, son más fáciles de instalar. Además, su posición en la rueda trasera proporciona una buena aceleración. Existen varios fabricantes de motores traseros en el sector, liderados por el mercado asiático. MXUS destaca en el mercado, con motores desde 180W hasta 5000W [41]. Bafang es uno de los fabricantes más potentes de motores traseros, utilizados en una amplia gama de bicicletas eléctricas, como Pedago, Avenon y Charge. Ofrecen una variedad de modelos que varían desde 250W hasta 1000W.



Ilustración 16: Motor trasero H700 integrado con sistema de cambio de velocidad automático dual [42].

5.2 *Baterías*

5.2.1 **Introducción a las Baterías de Ion Litio**

Las bicicletas comenzaron a utilizar motores eléctricos en los años 90. El año 2005 marcó un punto de inflexión en este ámbito debido a la introducción de las baterías de iones de litio en el sector [43]. De hecho, se estima que el mercado de las baterías de litio alcance los 105 mil millones de dólares para el 2025 [44].

Anteriormente se utilizaban baterías de plomo-ácido y níquel-cadmio. Sin embargo, las baterías de iones de litio tienen la mejor relación Wh/kg, un aspecto clave para su incorporación en las bicicletas eléctricas. Gracias a la incorporación de estas baterías, se pueden cubrir distancias de aproximadamente 35 a 50 kilómetros, además de reducir el tiempo de carga a unas 6 horas. Esto resulta conveniente para los usuarios al poder cargar la bicicleta por la noche fácilmente [43].

El funcionamiento de estas baterías se basa en el movimiento de iones de litio entre el ánodo y el cátodo a través de un electrolito. Este electrolito, generalmente sal de litio, permite el movimiento de iones, pero impide el de electrones. Así, se garantiza que estos se desplacen por un circuito externo, generando así una corriente eléctrica. El ánodo está hecho de carbono, mientras el cátodo está compuesto de óxidos de metal de transición. Durante la carga, los iones de litio se dirigen hacia el cátodo, mientras los electrones se mueven hacia el ánodo por un circuito externo. En la descarga ocurre lo contrario; es decir, los electrones se mueven hacia el cátodo, y los iones de litio hacia el ánodo a través del electrolito [45].

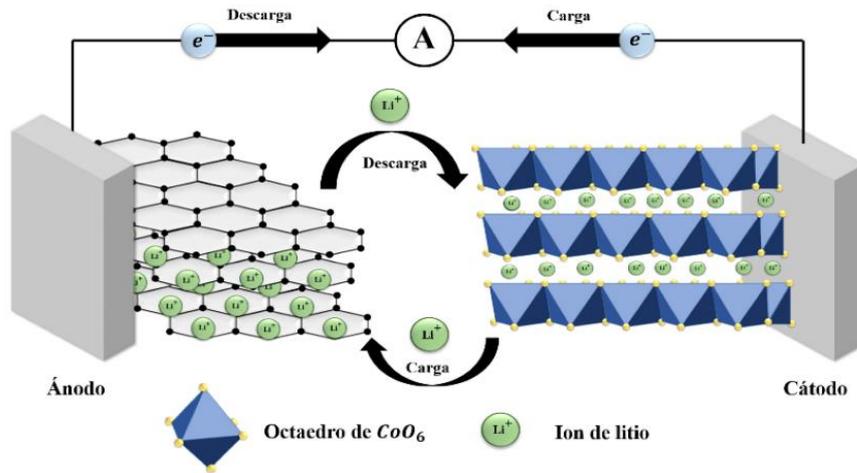


Ilustración 17: Funcionamiento de una batería de ion litio[45].

La diferencia de potencial eléctrico entre el ánodo y el cátodo genera energía, y es este flujo de electrones es el que proporciona la energía eléctrica para alimentar a los dispositivos. La monitorización de estas baterías se hace a través de sistemas de gestión de baterías (BMS). El BMS regula el proceso de carga y descarga basándose en el estado de salud (SOH) y el estado de carga (SOC) de la batería. De esta manera, se previenen condiciones de operación que pongan en riesgo la batería o la deterioren [44].

5.2.2 Características de las Baterías de Bicicletas Eléctricas

Para que el diseño del sistema de carga sea adecuado, es imprescindible conocer las características de la batería que va a ser cargada.

En la siguiente tabla se muestra las especificaciones generales de las bicicletas eléctricas en la actualidad.

Características de operación

<i>Tensión Nominal (V)</i>	36-48
<i>Capacidad (Ah)</i>	8-16
<i>Corriente (A)</i>	2-3

Tabla 1: Características general de las baterías de bicicletas eléctricas.

Se va a utilizar como referencia una batería Bafang. Bafang es uno de los proveedores líderes en el mercado de tecnología para bicicletas eléctricas, ya que además de motores, son líderes en ventas baterías. Al utilizar esta batería como referencia para el diseño del sistema de carga, se consigue una solución más universal y compatible con la mayoría de las bicicletas eléctricas.

La batería en cuestión es la *BT F020.B504*.



Ilustración 18: Batería Bafang modelo BT F020.B504 [46].

Las especificaciones de la batería constan en la siguiente tabla.

Configuraciones Primarias

BT F020.B504

<i>Tensión Nominal</i>	36 Vdc
<i>Capacidad Nominal</i>	14 Ah
<i>Capacidad Mínima</i>	13 Ah
<i>Energía</i>	504 Wh
<i>Tiempo de Carga</i>	8H con cargador de 2A
<i>Almacenamiento (35% SOC & -10°~ 35 °C)</i>	6 meses
<i>Distancia de Viaje</i>	Mínimo 50hm (motor de 250W)
<i>Dimensiones (L*W*H)</i>	4346876,5 mm
<i>Peso</i>	2,8 Kg

Tabla 2: Especificaciones batería Bafang modelo BT F020.B504 [46].

Capítulo 6. Diseño

Para el diseño de un sistema de carga inalámbrica, a continuación, se describe el enfoque más utilizado en sistemas de carga inalámbrica por fabricantes de coches, autobuses y tranvías. Sin embargo, es importante señalar que este no será el enfoque adoptado en este trabajo y que la propuesta específica se detallará más adelante. La transferencia de energía es mucho mayor y permite distancias mayores entre el vehículo a cargar y el cargador. Los bloques que lo componen se ven en la Ilustración 19. El sistema se divide en dos. Por un lado, encontramos la estación de carga, que es la que está conectada al sistema de energía eléctrica, y por otro lado se tiene el sistema acoplado al vehículo, el cual conectaría con la batería para asegurar que haya una carga efectiva.

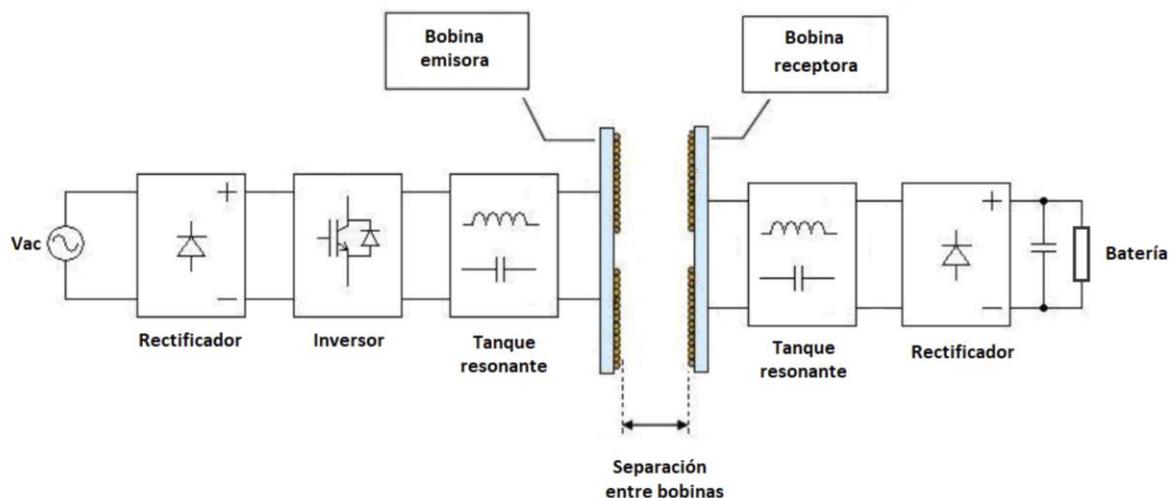


Ilustración 19: Diagrama de bloques del sistema inductivo [47].

El sistema se inicia con un rectificador. Su función es convertir la corriente alterna (AC) de la red en corriente continua (DC). Posteriormente, esta corriente pasa por un inversor. El inversor convierte de nuevo esta corriente en corriente alterna, pero con la frecuencia y amplitud deseadas para la carga inductiva. A través de un circuito resonante, se produce la inducción mutua. La energía se transfiere a través del acoplamiento magnético entre la

bobina emisora y la bobina receptora. Por último, se incluye otro rectificador que cambia la corriente alterna a corriente continua para cargar la batería.

Sin embargo, el propuesto en este trabajo, descrito a continuación, es una idea innovadora para la carga de bicicletas eléctricas de forma inalámbrica. Además, el sistema incluye un mecanismo de enganche seguro que protege la bicicleta contra robos mientras se carga. Garantiza que la bicicleta permanezca en su lugar, proporcionando tranquilidad al usuario.

Los componentes principales incluyen

- Anclaje Primario

Este componente se instala en pared de la estructura del aparca bicicletas. Contiene la primera parte del circuito electrónico.

- Candado de Herradura

El candado de herradura modificado contiene la parte secundaria del circuito. Este candado se coloca en el anclaje, donde se produce la transferencia de energía. Recibe el campo magnético generado por el sistema primario del anclaje, y lo convierte en corriente eléctrica para cargar la batería.

- Sistema de Enganche Seguro

Consiste en un mecanismo donde se inserta el cable del candado de herradura para asegurar la bicicleta en su lugar de carga.

6.1 Fuentes de Alimentación

Es necesario establecer la topología correcta de la fuente de alimentación que se querrá utilizar en el circuito electrónico. Ésta posteriormente se dividirá en dos: anclaje y candado de herradura.

Al diseñar una fuente de alimentación de alta eficiencia con una potencia de salida entre 100W y 250W, se puede optar o por una topología *flyback*, o por un circuito resonante LLC.

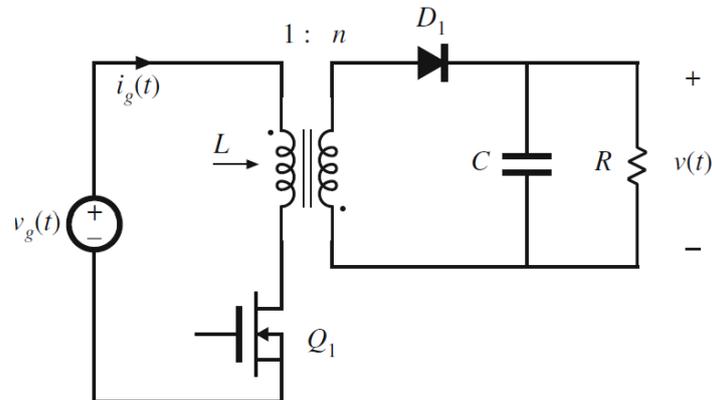


Ilustración 20: Convertidor Flyback [50].

Un convertidor flyback, que se puede ver en la Ilustración 20, es un tipo de convertidor de potencia que utiliza un transformador para almacenar energía durante el periodo en el que el interruptor primario este encendido, y la transfiere al lado secundario cuando el interruptor este apagado. Proporciona aislamiento galvánico entre la entrada y la salida y es adecuado para una amplia gama de voltajes de entrada y salida.

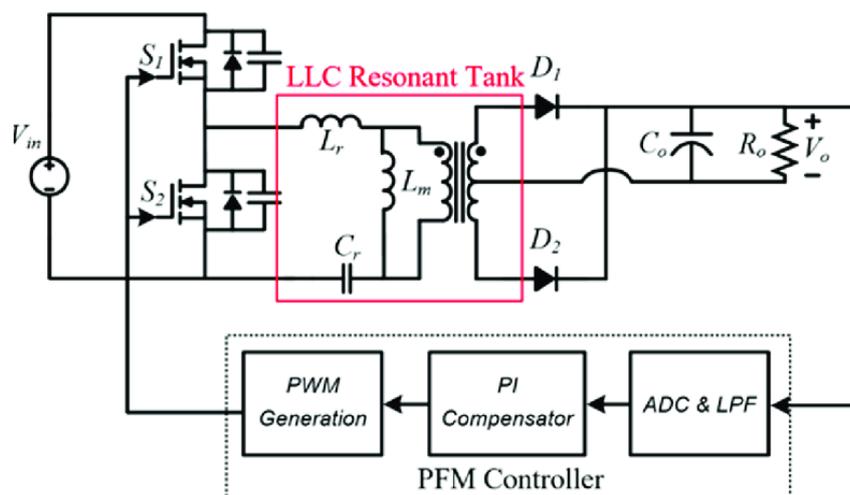


Ilustración 21: Convertidor LLC [51].

Un convertidor LLC es un convertidor resonante que utiliza un circuito compuesto por un inductor (L), un capacitor (C), y el transformador del convertidor (el segundo inductor L). Esta topología es conocida por su alta eficiencia ya que tiene bajas pérdidas de conmutación. Al trabajar a con una frecuencia de resonancia, hace que esta topología ofrezca un mayor rendimiento de que topología *flyblack*, pero la regulación es más compleja y no se recomienda para aplicaciones con tensión de salida variable.

La topología *flyback* es la más simple de implementar, y la más utilizada en cargadores de bicicletas eléctricas. Los *flyback* más modernos, como los controladores InnoSwitch de Power Integrations, utilizan tecnologías más avanzadas como el acoplamiento magneto-inductivo FluxLinx. Esta tecnología permite controlar el voltaje en el lado secundario sin mucha complicación, al reducir la cantidad de componentes necesarios. Permite la incorporación de la rectificación síncrona, que es un método de conversión que mejora la eficiencia energética comparado con otros métodos. Además, se elimina la necesidad de optoacopladores, que son componentes que pueden fallar con el tiempo. Por lo tanto, los conmutadores tanto en el lado primario como en el secundario funcionan sin interferencias, aumentando la fiabilidad del sistema. Por último, el sistema *flyback* tiene un consumo de energía muy bajo cuando se está cargando activamente, por lo que es muy eficiente energéticamente [52].

6.1.1 Fuente de alimentación de referencia

Tras analizar diferentes fuentes de alimentación, se ha optado por la *300 W Forward Power Supply Using HiperPFSTM-3 PFS7528H and HiperTFSTM-2TFS7706H* de Power Integrations, ya que cumple todos los requisitos del diseño a implementar, y se utiliza específicamente para cargadores de bicicletas eléctricas.

Es un diseño de referencia de una fuente de alimentación de 61V (nominal), 280W, operando desde 90-264 VAC. Además, también proporciona una salida de *standby* de 5V, 4A, que en nuestro caso no sería necesaria. La salida principal de la fuente de alimentación está diseñada

con una característica de voltaje constante/corriente constante para su uso en aplicaciones de baterías.

Las especificaciones de la fuente de referencia son las siguientes:

Description	Symbol	Min	Typ	Max	Units	Comment
Input						
Voltage	V_{IN}	90		264	VAC	2 Wire Input
Frequency	f_{LINE}	47	50/60	64	Hz	
Main Converter Output						
Output Voltage	V_O	0	61		V	61 VDC (nominal – otherwise defined by battery load). Nominal Current Limit Setting for Design.
Output Current	I_O		4.59		A	
Standby Converter Output						
Output Voltage	V_O	4.75	5.00	5.25	V	5 VDC \pm 5%
Output Current	I_O	0		4	A	
Output Ripple (Optional)				50	mV P-P	20 MHz BW
Total Output Power						
Continuous Output Power	P_{OUT}		300		W	61 V / 4.59 A + 5 V / 4 A
Peak Output Power	$P_{OUT(PK)}$			N/A	W	
Efficiency						
Total system at Full Load	η_{Main}	85	87.8		%	Measured at 115 VAC, Full Load
Environmental						
Conducted EMI						Meets CISPR22B / EN55022B
Safety						Designed to meet IEC950 / UL1950 Class II
Ambient Temperature	T_{AMB}	0		60	$^{\circ}C$	See Thermal Section for Conditions

Tabla 3: Especificaciones de la Fuente de Alimentación [53].

Como se puede ver en la Tabla 3, el voltaje de entrada puede variar entre 90 y 264 VAC, con una frecuencia de línea entre 47 y 64 Hz. Esto es óptimo al querer utilizar el voltaje de entrada de la red, que son 230V, 50Hz. Proporciona una salida nominal de 61V, con una corriente de salida de 4.59A como máximo. Para el caso de las bicicletas eléctricas, la tensión de salida necesaria para cargar la batería de la bicicleta eléctrica es entre 36 y 48V, por lo tanto, la fuente de alimentación propuesta es correcta. La eficiencia a plena carga es superior al 87%.

Los siguientes circuitos detallan el interior de esta fuente de alimentación.

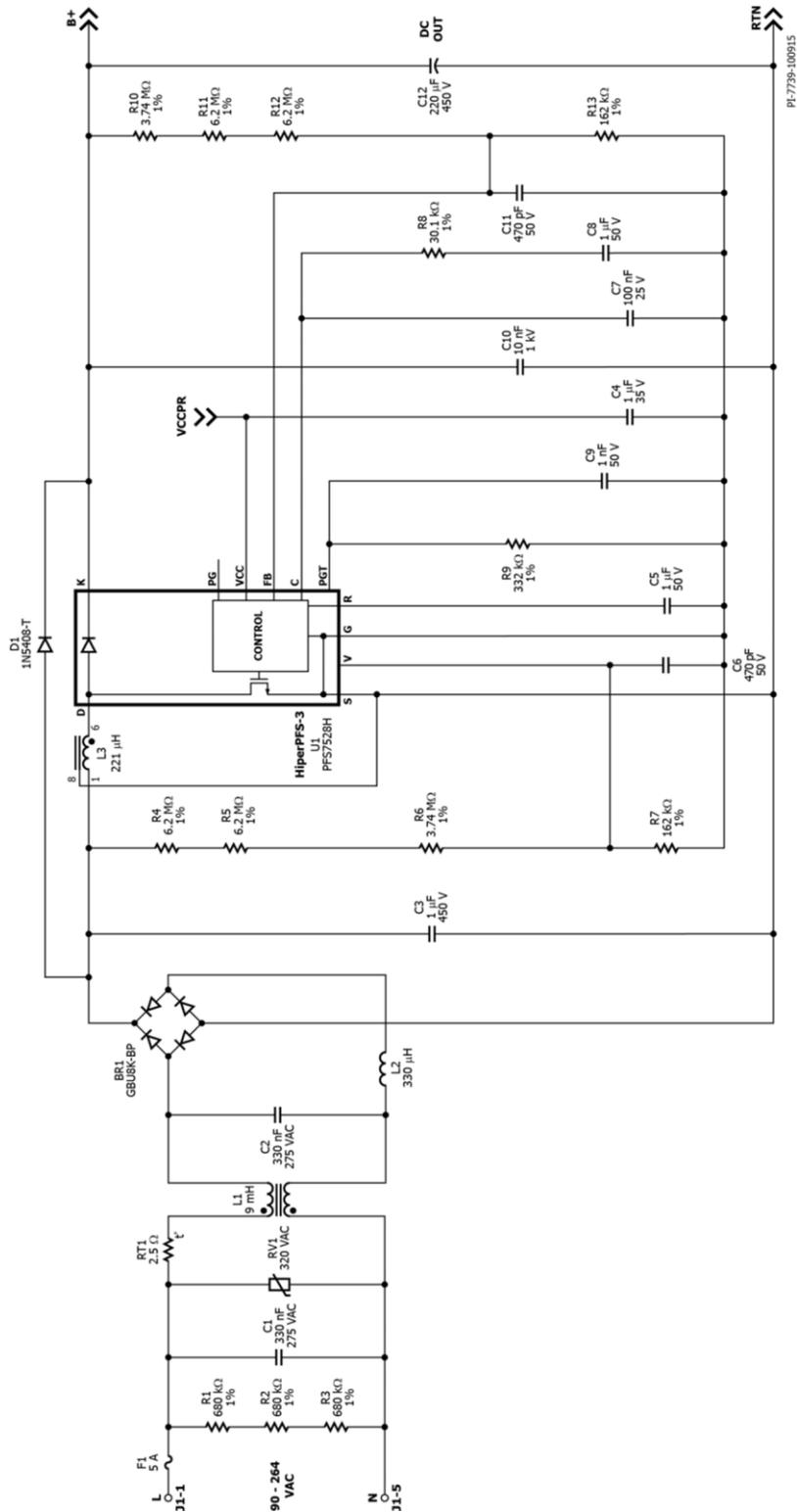


Ilustración 22: Esquemático del Circuito de Aplicación del Cargador de Baterías – Filtro de Entrada, Rectificador y Etapa PFC [53].

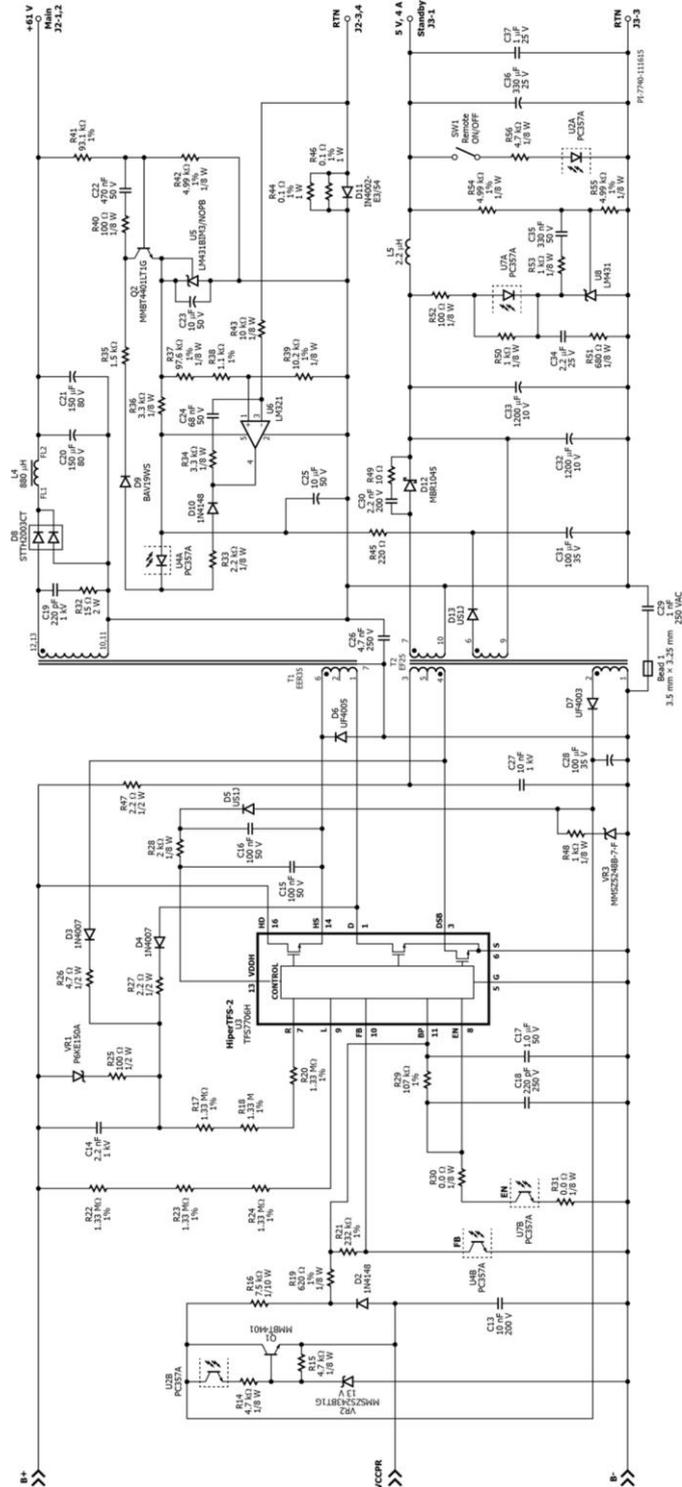


Ilustración 23: Esquemático del Circuito de Aplicación del Cargador de Baterías - Etapa Forward, Fuente de Alimentación de Standby, Suministros de Polarización y Control de Voltaje/Corriente de Salida [53].

El circuito completo empieza con el filtro de entrada, rectificador y la etapa PFC (Power Factor Correction). El filtro de entrada y el rectificador protegen el circuito y filtran el ruido electromagnético. El PFC consiste en el inductor Boost L3 y el IC PFS7528H. A través del PFS7528H, se mantiene un alto factor de potencia y una eficiencia general en toda la línea. El convertidor mantiene una corriente de entrada sinusoidal a la fuente de alimentación, mientras regula el voltaje de salida de corriente continua.

El fusible F1 proporciona protección al circuito del lado primario y lo aísla del suministro de corriente alterna en caso de fallo. El puente de diodos BR1 rectifica la entrada de la corriente alterna. Los capacitadores C1, C2, C26 y C29, junto con L1 y L2, constituyen el filtro EMI, que atenúa el ruido. El capacitor C3 proporciona un almacenamiento de carga de desacoplamiento de entrada, lo que reduce las frecuencias de conmutación y las armónicas.

El **transformador principal (T1)** está diseñado para proporcionar una alta eficiencia y rendimiento en aplicaciones de cargadores de baterías. Sus especificaciones, detalladas a continuación, aseguran que puede manejar las demandas de voltaje y corriente del sistema, mientras que las pérdidas del núcleo y cobre se mantienen dentro de los límites aceptables. La construcción incluye devanados primarios divididos para mejorar la distribución de la carga, y reducir las pérdidas.

El transformador tiene las siguientes especificaciones:

- Fuerza Eléctrica: 3000 VAC durante 1 segundo a 60 Hz, entre los pines 1-6 y 10-13.
- Inductancia Primaria: 23 mH $\pm 20\%$, medida a 100 kHz, 0.4 V_{RMS}.
- Frecuencia Resonante: 150 kHz (mínimo), pines 1-6, todos los demás devanados abiertos.
- Inductancia de Fuga Primaria: 10 μ H (máximo), medida a 100 kHz, 0.4 V_{RMS}, con pines 10-13 en cortocircuito [53].

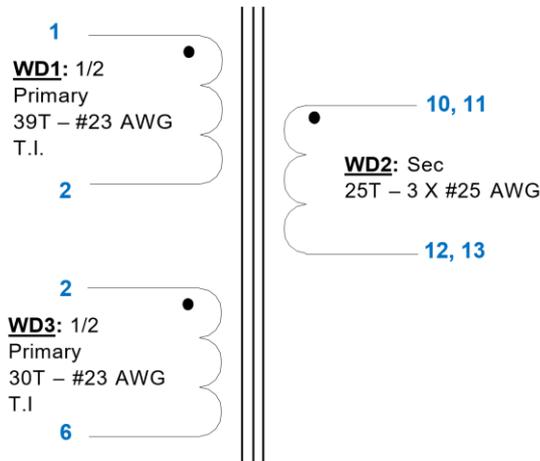


Ilustración 24: Diagrama Eléctrico del Transformador.

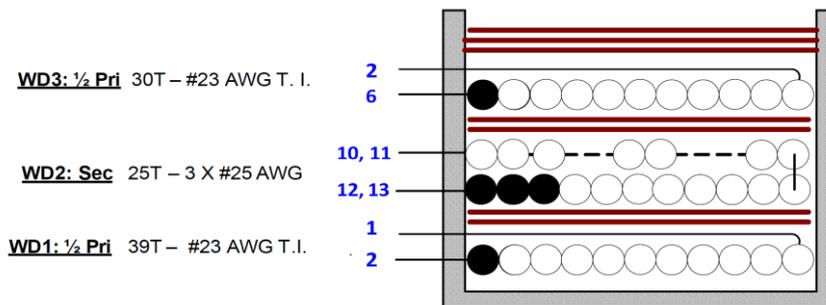


Ilustración 25: Diagrama de Construcción del transformador [53].

Tanto el diagrama de construcción como el diagrama eléctrico especifican en número de vueltas y el calibre del alambre para cada devanado:

WD1: ½ Pri (Primario):

- Vueltas: 39 vueltas (T)
- Calibre del Alambre: #23 AWG (American Wire Gauge)
- Aislamiento: Aislado (T.I.)

WD3: ½ Pri (Primario):

- Vueltas: 30 vueltas
- Calibre del Alambre: #23 AWG
- Aislamiento: Aislado (T.I.)

WD2: Sec (Secundario):

- Vueltas: 25 vueltas
- Alambres: 3 alambres de #25 AWG [53].

Por lo tanto, el número de vueltas total del primario es la suma de WD1 y WD3, resultado en 69 vueltas. El secundario tiene 25 vueltas. Por lo tanto, $N_1=69$ y $N_2=25$, como se puede ver en la tabla a continuación.

NMAIN			25	turns	Main rounded turns
NP			69	turns	Primary rounded turns. NMAIN and DVNOM_GOAL affect this.

Tabla 4: Número de vueltas del transformador principal T1 [53].

Dentro del diseño del transformador, se utiliza un núcleo tipo EER35 con un área efectiva de 1.07 cm^2 , y una longitud efectiva de 9.08 cm.

Las pérdidas del transformador se dividen en pérdidas del núcleo, con 1.02 W, sumando a las pérdidas totales de 3.24W, con una densidad de flujo máxima de 2299 Gauss y una densidad de flujo pico a pico de 3483 Gauss.

Por último, en el esquema de la fuente de alimentación de referencia, la salida del transformador T1 se rectifica y filtra mediante un rectificador de alta eficiencia, ayudado por un *snubber* que limita la salida de voltaje pico en el rectificador de salida. La salida de corriente se detecta mediante resistencias y se aplica a un amplificador de detección de corriente, lo que proporciona una referencia de voltaje para el control de corriente. Esto garantiza una regulación precisa de CV/CC, manteniendo la eficiencia y reduciendo el ruido de alta frecuencia.

6.2 *Diseño Electrónico*

El diseño electrónico del cargador inalámbrico se divide en dos secciones principales: el anclaje y el candado de herradura. Estas dos secciones están separadas por el transformador, que actúa como punto de transferencia de energía de forma inalámbrica. El sistema es el siguiente:

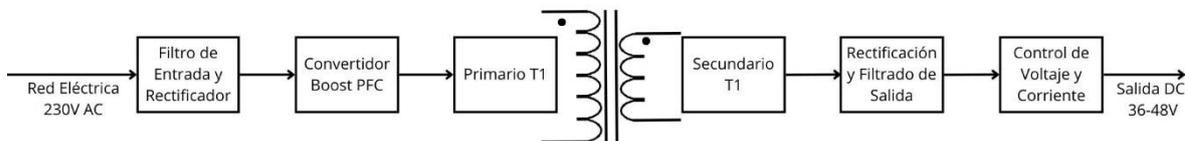


Ilustración 26: Diagrama de Bloques del Sistema.

La fuente de energía proviene de la red eléctrica estándar, donde la tensión de red es de 230 V a una frecuencia de 50 Hz [54]. La entrada de red se conecta al circuito primario, que incluye la rectificación y conversión de señal. Esta parte se encuentra en el anclaje de la pared del aparcamiento. La segunda parte del circuito es el secundario, que estaría dentro del candado de herradura. Contiene la bobina secundaria del transformador y los componentes necesarios para la salida de voltaje de entre 36 y 48V, que es la necesaria para la carga de la bicicleta eléctrica.

6.2.1 Transformador

El transformador es el explicado anteriormente. Se divide en dos partes, la parte primaria que está ubicada en el anclaje a la pared. La secundaria está integrada en el candado y se conecta al anclaje. Esta división permite una conexión inalámbrica cuando la pinza se engancha al anclaje, creando una transferencia de energía por inducción electromagnética.

6.2.3 Circuito secundario (candado de herradura)

El circuito secundario, ubicado en el candado de herradura, recibe la energía del transformador y la convierte en el voltaje necesario para cargar la batería. Este circuito incluye la bobina secundaria del transformador, que recibe la energía por inducción electromagnética desde la bobina primaria localizada en el anclaje de la pared.

Además de la bobina secundaria, que estará ubicada en forma de toroide en el candado de herradura, la señal es rectificificada y filtrada para convertirla de nuevo en DC y asegurar una salida estable. Además, se incluye un sistema de control de voltaje y corriente, que aseguran que estos mismos se mantengan dentro de los parámetros necesarios para cargar la bicicleta. El voltaje de salida es de 61 V nominal, aunque en nuestro caso llegará a valores entre 36 y 48 V. La salida de corriente es de 4.59 A como máximo.

El esquema a continuación es el circuito electrónico secundario que detalla la disposición y el conexionado de los componentes.

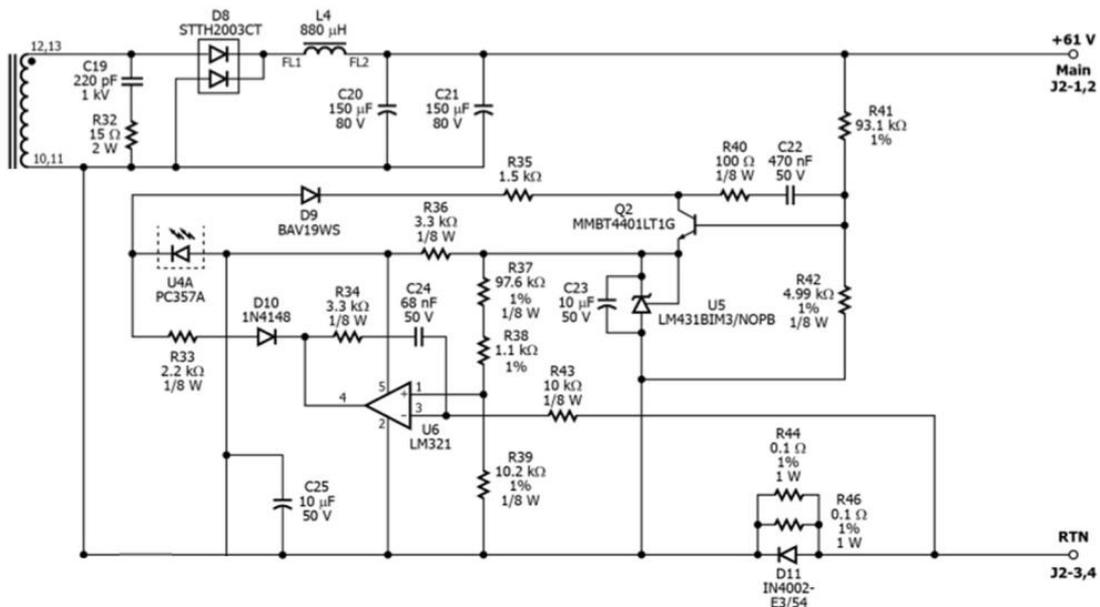


Ilustración 28: Esquema Eléctrico Candado de Herradura [53].

6.3 *Diseño Mecánico*

En este apartado, se detalla el diseño mecánico del sistema de carga inalámbrico para bicicletas eléctricas. Está compuesto por un anclaje a la pared del aparcamiento que va conectado a la red, y un candado de herradura modificado al integrar en él la segunda parte del circuito electrónico descrito en el 6.2.3. Además, se incluirá un modelo completo con una cadena de seguridad integrada, para proteger contra robos.

La transferencia de energía se realiza mediante las bobinas del transformador puestas en forma de toroide en la pinza, que se muestra en los diagramas y modelos 3D proporcionados a continuación. Todos los diseños han sido realizados con el programa *Rhinoceros 3D Versión 6*.

6.3.1 Anclaje

El anclaje es el componente fijo del sistema y se monta en la pared del aparcamiento, donde recibe la energía de la red eléctrica, siendo esta una entrada de 230V AC. En su interior se encuentra el circuito electrónico descrito en el 6.2.2. La disposición de la bobina de la primera parte del transformador se detallará más adelante para que se entienda el sistema de anclaje con el candado de herradura y se complete el circuito de carga.

En las siguientes imágenes, se observa el anclaje, que va colocado verticalmente sobre el aparca bicicletas. Al estar dentro de una caja, no hay que preocuparse por el aislamiento, ya que ya está asilado. Los dos huecos verticales están diseñados específicamente para permitir la inserción del candado de herradura, asegurando la transferencia de energía.

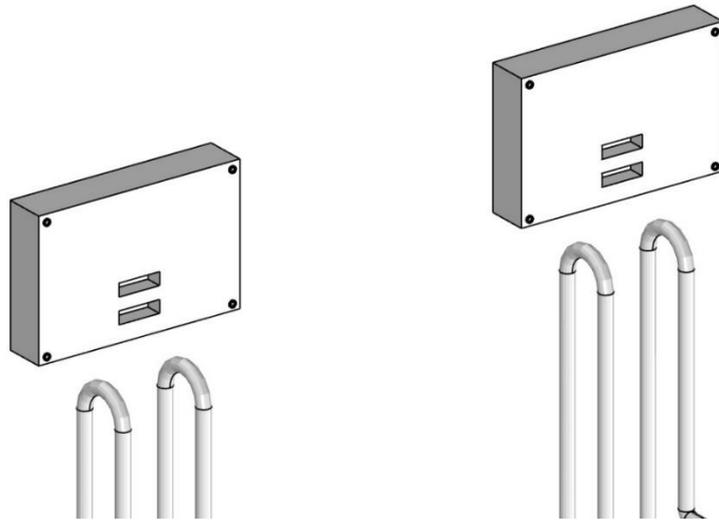


Ilustración 29: Sistema de Anclaje.

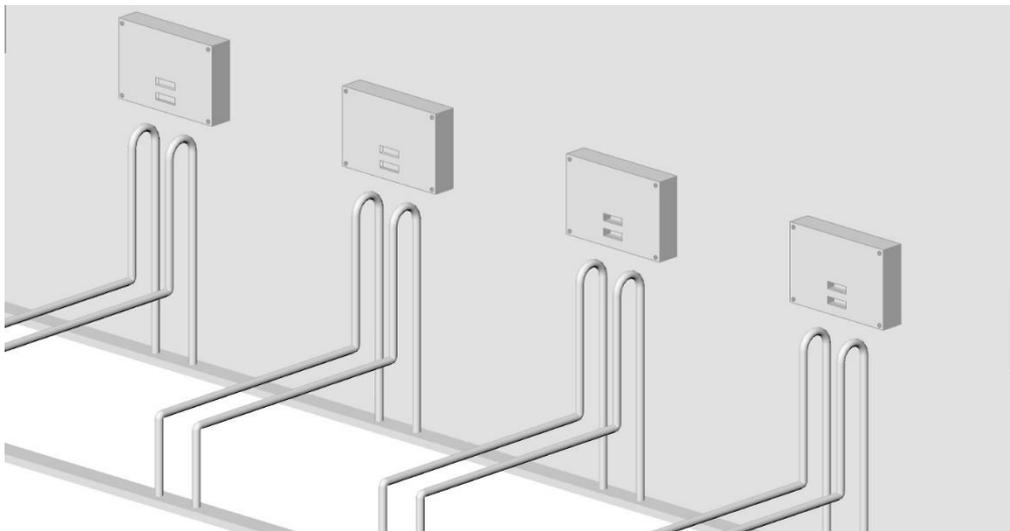


Ilustración 30: Anclaje y Aparca Bicicletas.

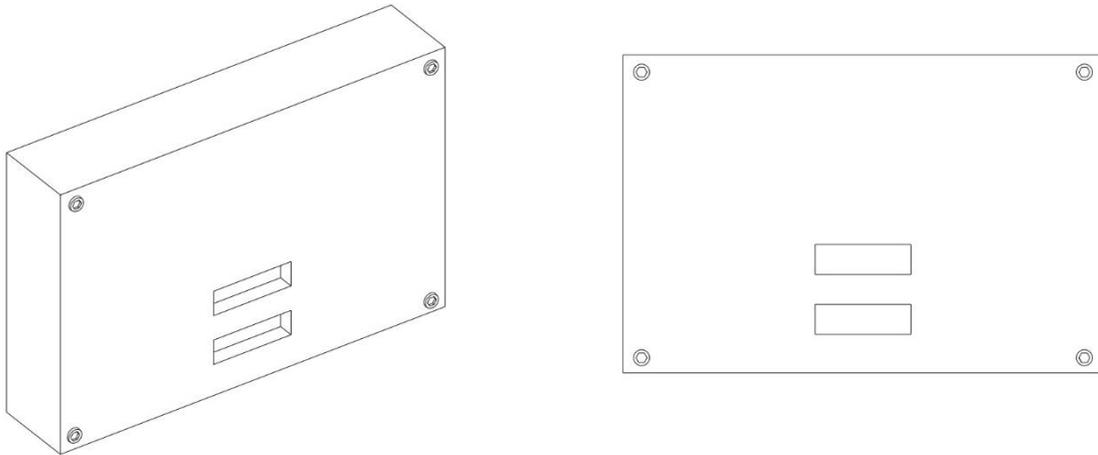


Ilustración 31: Detalle Anclaje.

6.3.2 Candado de herradura

El candado de herradura es una pieza fundamental del sistema. Ha sido modificada para contener en su interior el circuito electrónico descrito en el 6.2.3. Se puede ver en los diseños a continuación.

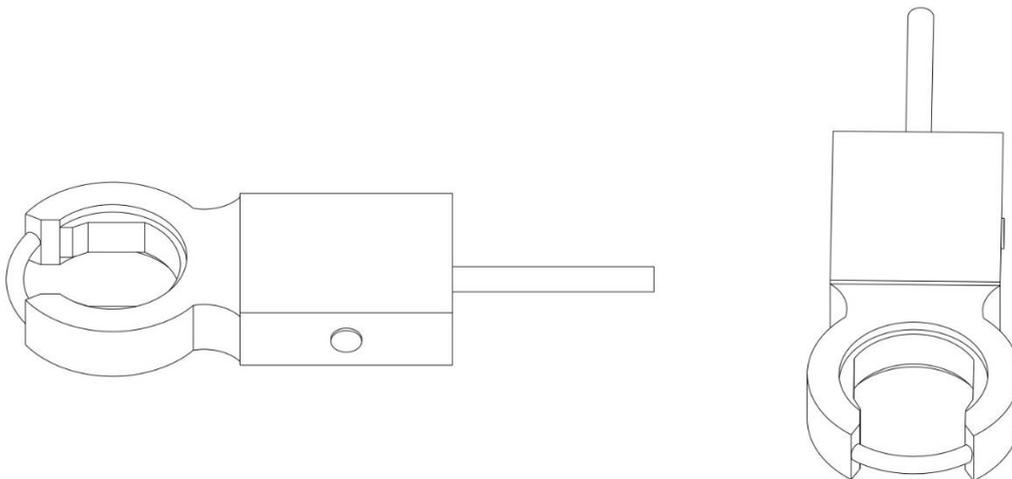


Ilustración 32: Candado de Herradura.

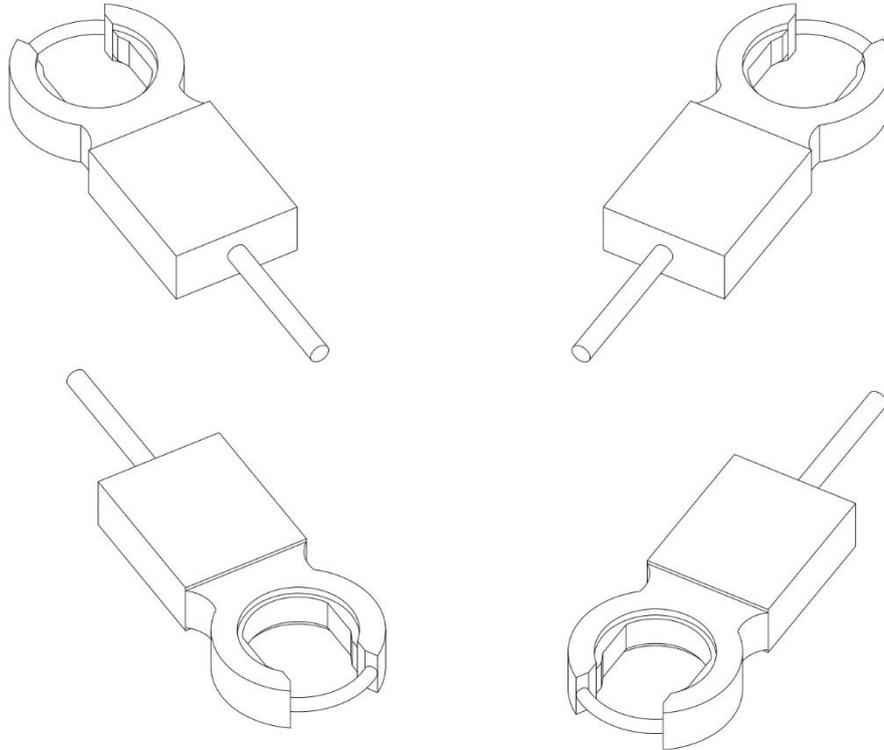


Ilustración 33: Candado de Herradura 2.

Como se aprecia en el diseño, el candado consta de una pinza donde se encuentra la bobina secundaria del transformador, y una caja pequeña con la segunda parte del circuito electrónico. Recibe el campo magnético generado por la bobina primaria en el anclaje y lo convierte en corriente eléctrica para cargar la batería. Dentro del candado, las bobinas estarían dispuestas en forma de toroide de esta manera:



Ilustración 34: Bobina Toroidal [56].

Sin embargo, en este caso, la parte metálica del candado de herradura, que se inserta en el anclaje, se retrae y extiende mediante un botón, como se puede apreciar en los diseños, por lo tanto, sería una bobina de núcleo partido, con 25 vueltas.

El cable final del candado iría conectado directamente a la batería, con el uso de un simple adaptador para que se puede utilizar universalmente. Hay que destacar que tanto el candado de herradura como el cable que lo conecta a la batería, deberían estar aislados.

6.3.3 Conexión y transferencia de energía

La conexión entre el anclaje y el candado de herradura se realiza mediante un sistema de bobinas en el anclaje, y una bobina en forma de toroide en el candado de herradura. Este sistema permite una transferencia de energía a través de inducción electromagnética

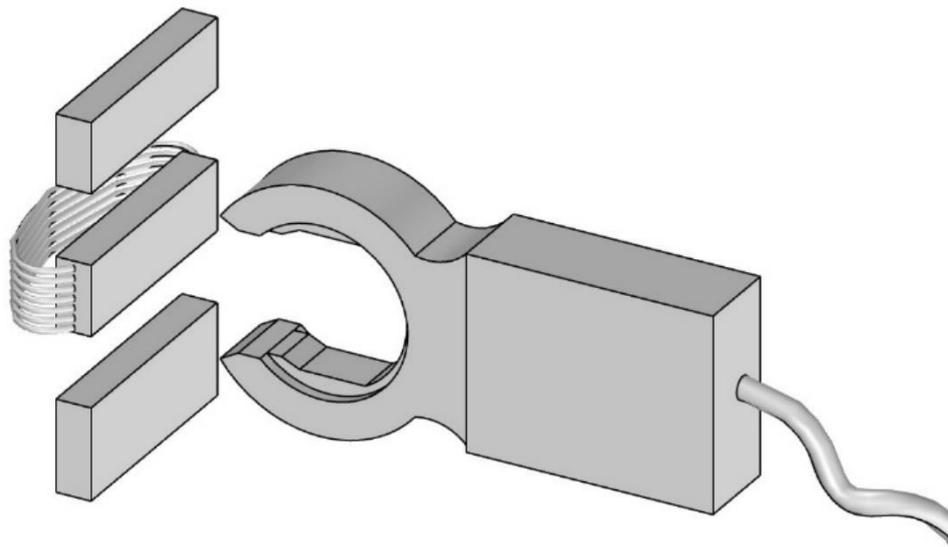


Ilustración 35: Conexión Anclaje - Candado de Herradura.

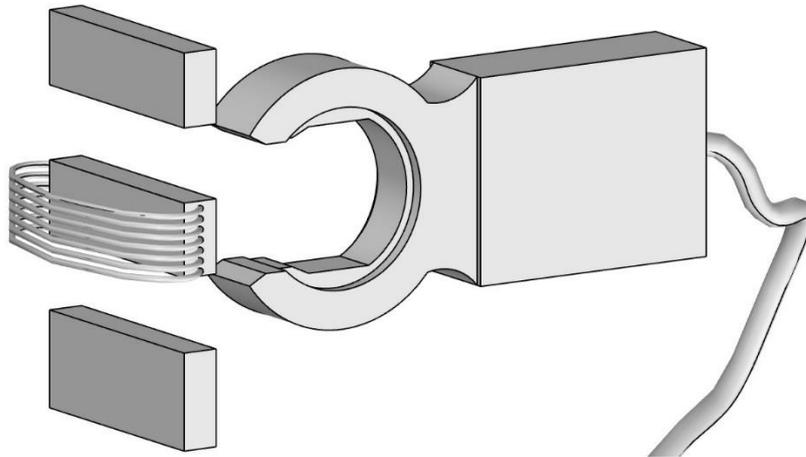


Ilustración 36: Conexión Anclaje – Candado de Herradura 2.

Se puede ver en la Ilustración 35 y en la Ilustración 36, que, dentro de la caja, está la bobina de la parte primaria del transformador, concretamente con 69 vueltas. La parte metálica de la pinza se retrae, se coloca la pinza en los huecos verticales del anclaje, y la parte metálica se extiende si se aprieta el botón del candado de herradura. Esto facilita su uso, y permite una carga segura de la bicicleta. El conexionado real se aprecia en la Ilustración 37.

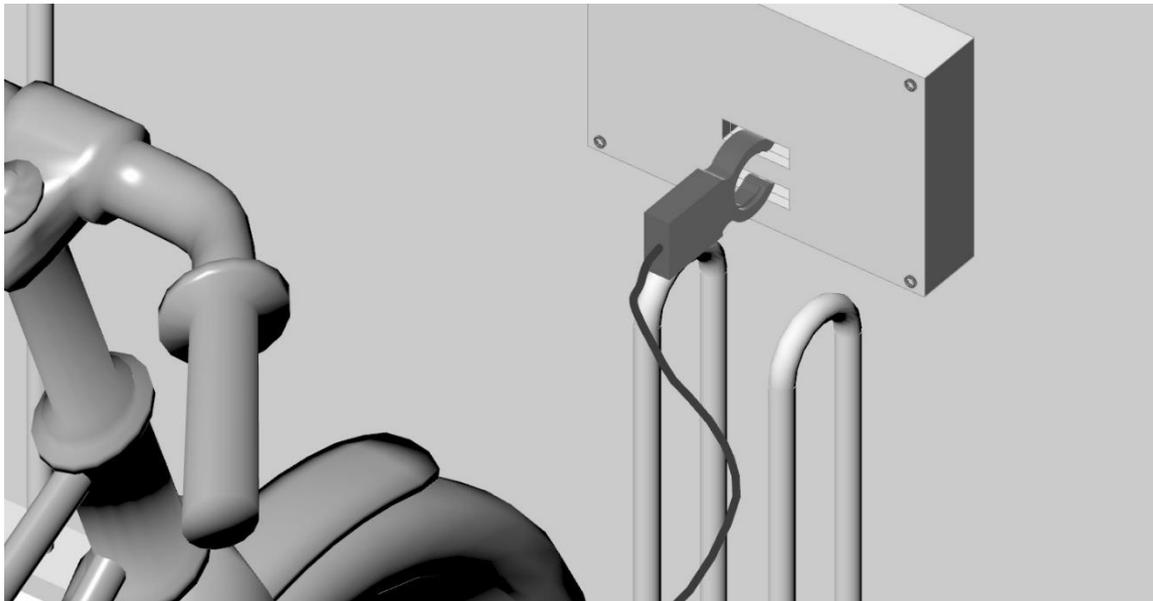


Ilustración 37: Conexionado Real.

6.3.4 Cadena de seguridad y circuito completo

La cadena de seguridad es un componente adicional, donde el cable del candado de herradura se inserta dentro de las hebillas de la cadena. Para evitar que la bicicleta sea robada simplemente cortando el cable, es crucial que la cadena esté firmemente unida al candado de herradura. Esto se logra mediante un diseño donde la cadena este integrada de manera inseparable con la estructura del candado, lo cual proporciona una capa de protección contra robos.

Además, la cadena tiene que estar aislada. Para esto, al usarse para fijar la bici al aparcamiento, se debería incluir un revestimiento blando que evite dañar o rayar el cuadro de la bicicleta. A continuación, se muestra un ejemplo del revestimiento blando:



Ilustración 38: Cadena con Revestimiento Blando [57].

Seguidamente, se proporcionan varias perspectivas del diseño completo. Las siguientes imágenes muestran la disposición de los componentes, tanto el anclaje como el candado de herradura y cadena.

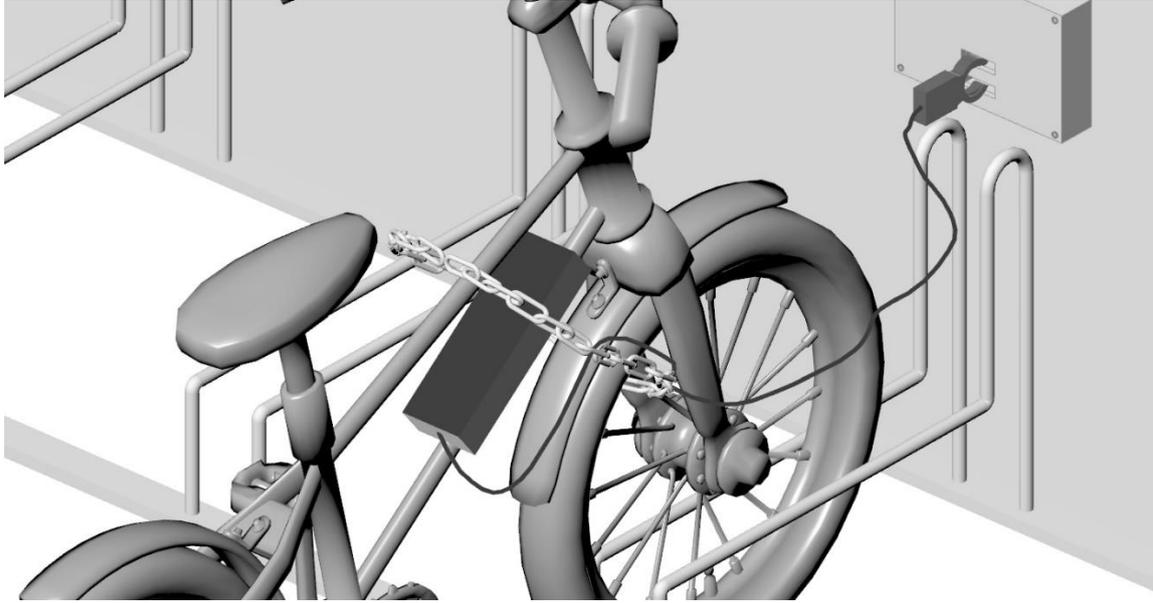


Ilustración 39: Sistema con Cadena.

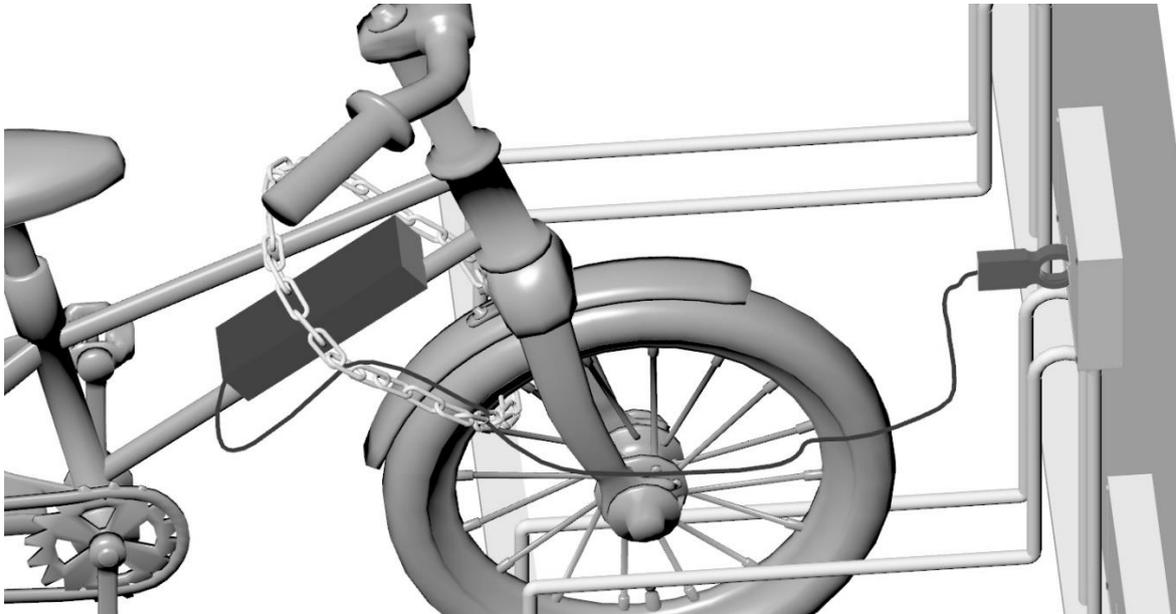


Ilustración 40: Sistema con Cadena 2.

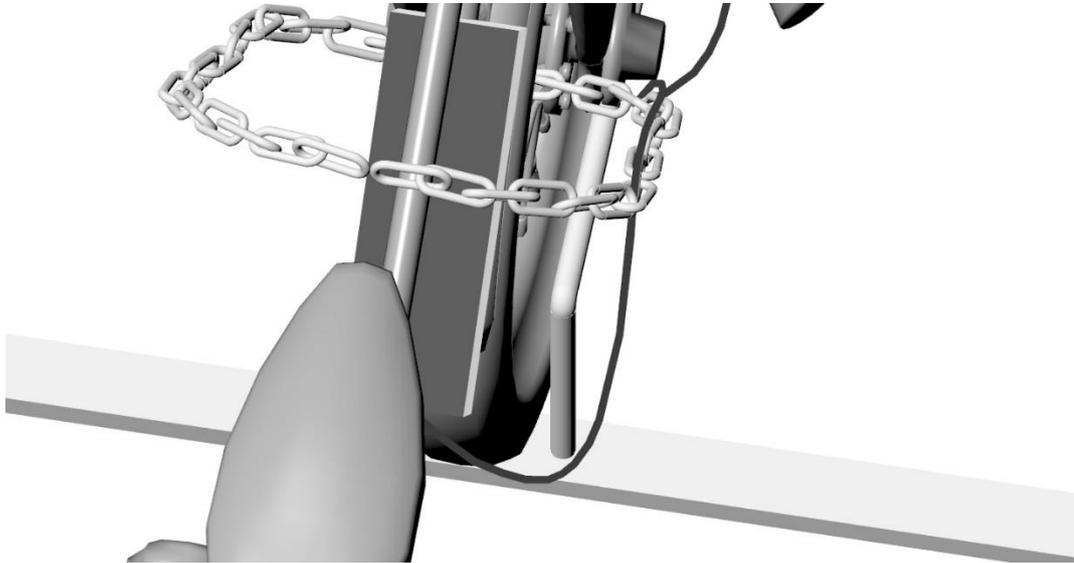


Ilustración 41: Detalle Cadena y Cable.

Por último, en los siguientes diseños se ve el sistema completo desde distintas perspectivas, y con varias bicicletas.

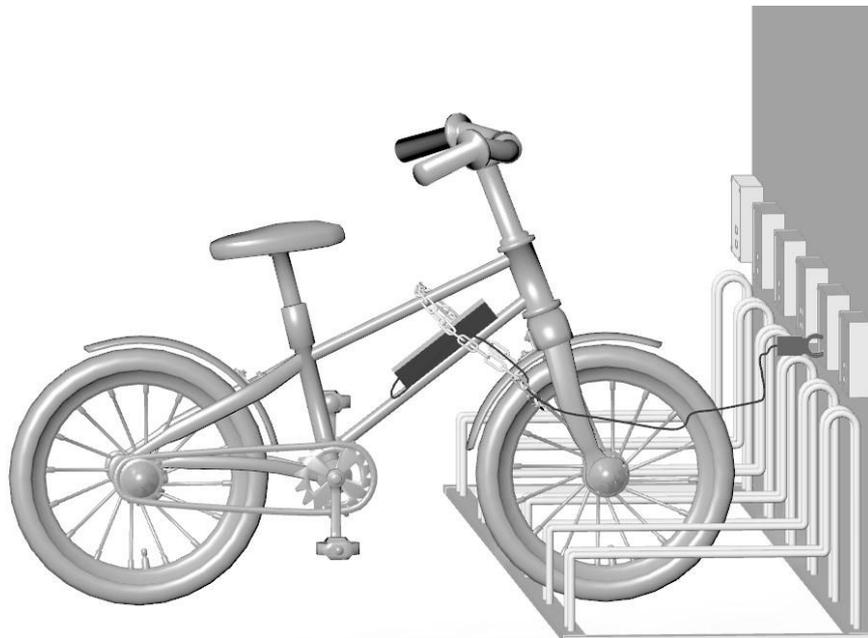


Ilustración 42: Sistema Completo

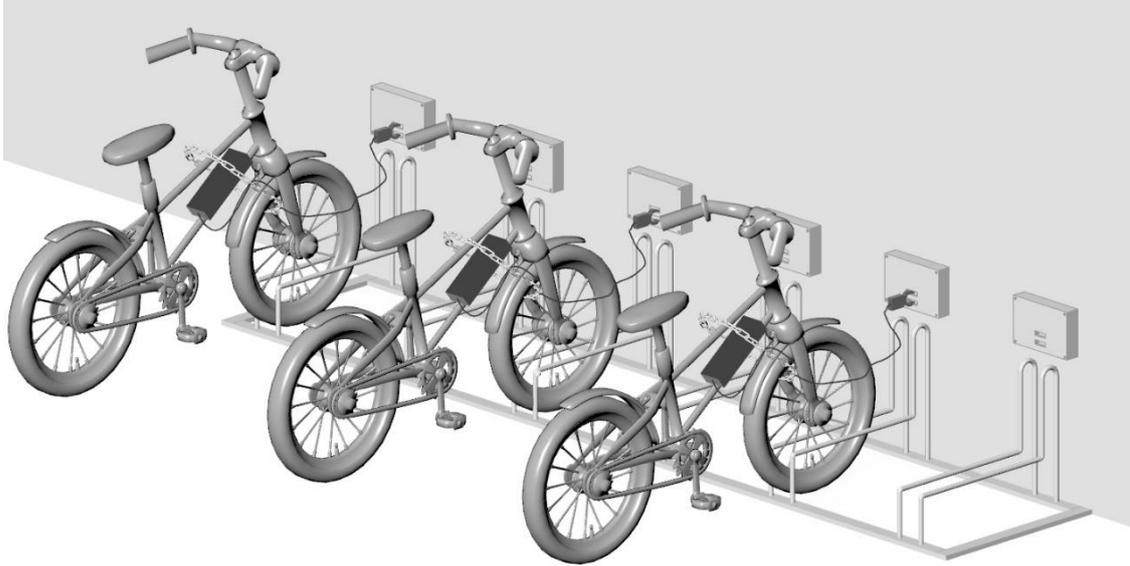


Ilustración 43: Sistema Completo Varias Bicicletas.

Capítulo 7. Valores y Eficiencia

En este capítulo se van a detallar los valores de operación junto con la eficiencia del sistema de carga inalámbrica para bicicletas eléctricas.

7.1 Tensión y Corriente de Entrada

El sistema se alimenta con una tensión de entrada de la red eléctrica de 230 VAC y una frecuencia de 50 Hz, que entra dentro de los posibles valores de entrada a la fuente de alimentación, que son de 90-264 VAC. Por lo tanto, el diseño es compatible con la red eléctrica estándar. Las entradas senoidales tanto de la tensión, en rosa, y de la intensidad, en amarillo, se ven en la Ilustración 44. Se debe tener en cuenta que las gráficas están tomadas con un 100% de carga, que no sería exactamente nuestro caso, por lo tanto, la intensidad al cargar la bicicleta sería diferente que la de 2A que muestra la gráfica.

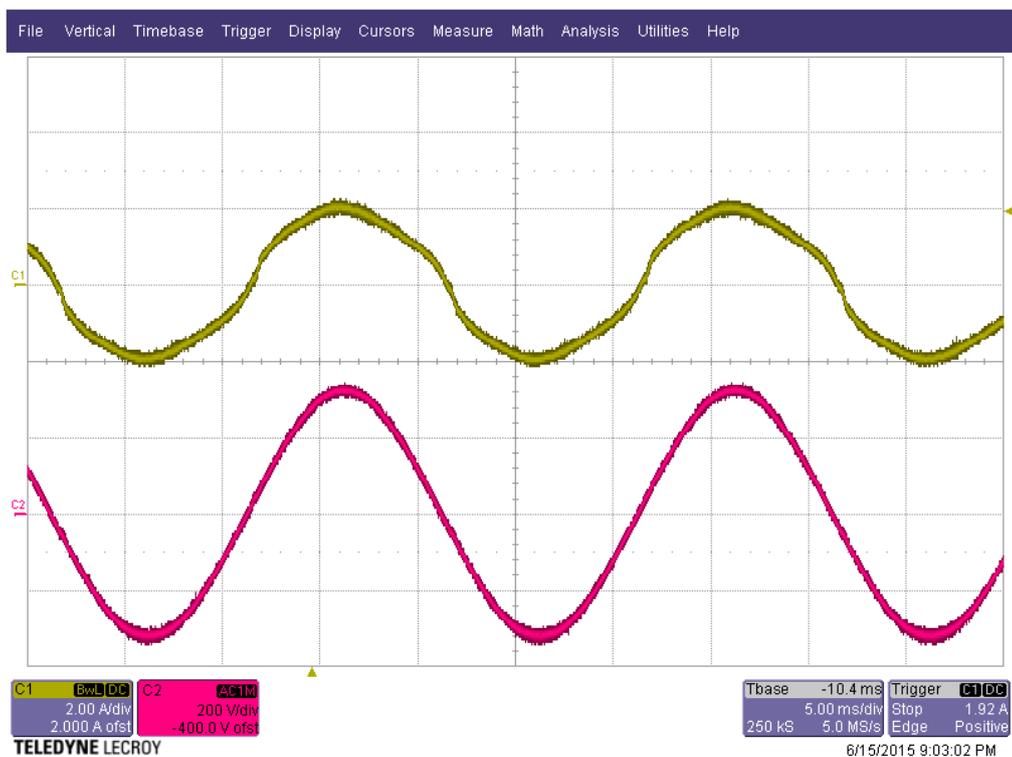


Ilustración 44: Tensión y corriente de entrada de CA, 230 VAC, 100% de carga [53].

7.2 Tensión, Corriente y Potencia Activa de Salida

La salida nominal de la fuente de alimentación es de 61V. Sin embargo, para cargar la batería de las bicicletas eléctricas universales, la tensión de salida se estandariza en 42 V. La corriente de carga está limitada por la fuente de alimentación, que en este caso es de 4,59 A. Como se puede ver en la gráfica a continuación, con 42V se limita la corriente de salida a 4,59 A.

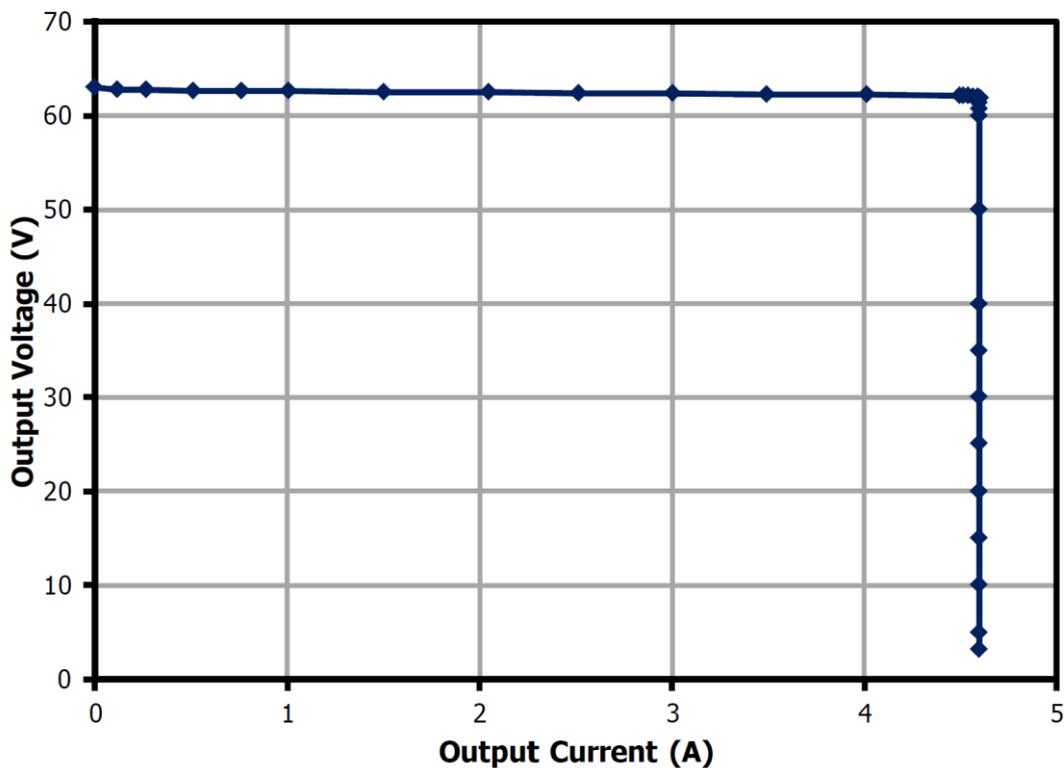


Ilustración 45: Característica V-I [53].

Por lo tanto, la potencia de salida se calcula de esta manera:

$$P_{salida} = V_{salida} \times I_{salida}$$

$$P_{salida} = 42V \times 4,59A = 192,78W$$

Ecuación 17: Potencia de Salida.

7.3 Factor de Potencia

El factor de potencia (FP) del sistema se calcula con la siguiente gráfica.

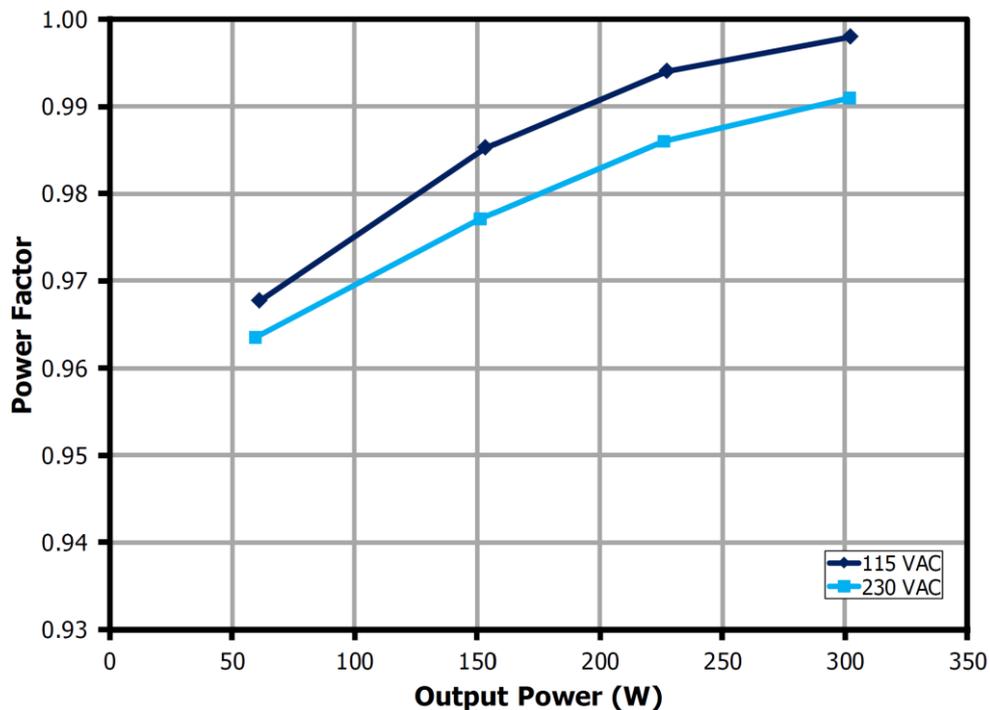


Ilustración 46: Factor de potencia vs. potencia de salida [53].

Para una potencia de salida de 192,78W, el factor de potencia, como se puede ver en la Ilustración 46, es más o menos de **0,981**. El factor de potencia (FP) es una medida de eficiencia que utiliza la energía eléctrica, ya que indica la proporción de la potencia que se utiliza para realizar trabajo útil, la potencia activa, en comparación con la potencia total suministrada al circuito, la potencia aparente.

$$FP = \frac{P_{activa}}{P_{aparente}}$$

$$FP = 0,981$$

Ecuación 18: Factor de Potencia [55].

Por lo tanto, se puede calcular la potencia aparente, S , medida en voltamperios, VA.

$$P = S \times FP$$

$$S = \frac{P_{salida}}{PF}$$

$$S = \frac{192,78W}{0,981} = 196,51 VA$$

Ecuación 19: Potencia Aparente.

Con estos datos se puede calcular la potencia reactiva Q , de esta manera:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = \sqrt{196,51^2 - 192,78^2} = 38,11 VAR$$

Ecuación 20: Potencia Reactiva.

7.4 Eficiencia del Sistema

Como se puede ver en la grafica a continuación, con una potencia de salida de 198,78 W, y suministrando en la entrada 230 VAC, que sería la línea azul, la eficiencia del sistema es de un 91%.

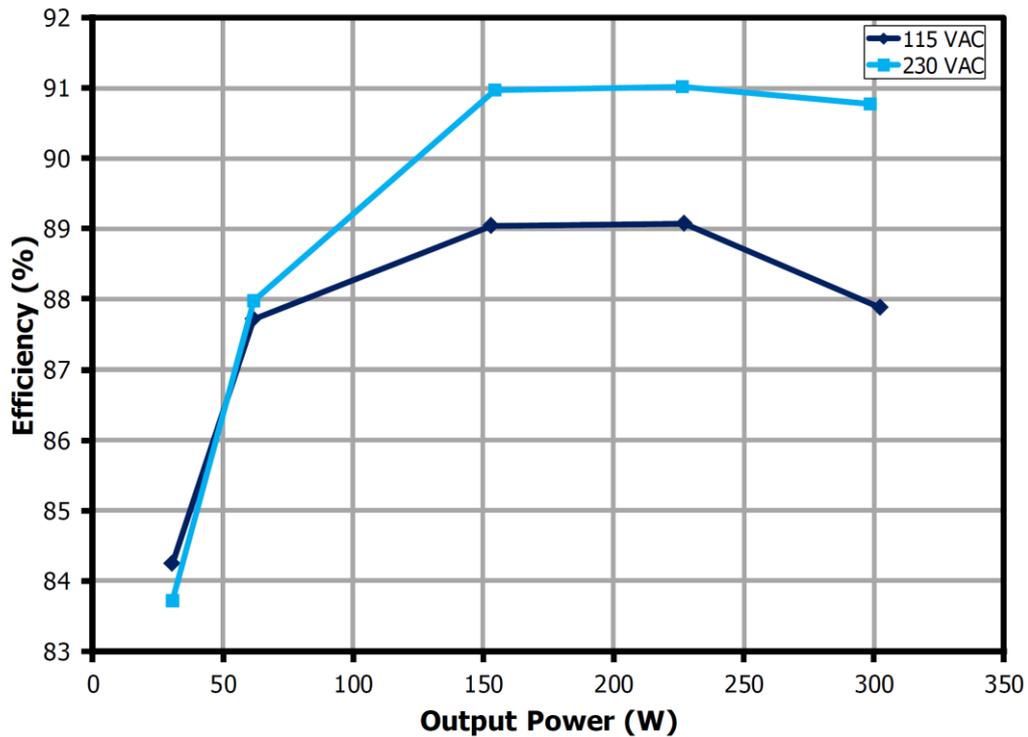


Ilustración 47: Eficiencia vs. Potencia de Salida [53].

Esto significa que el 91% de la energía de entrada se convierte en energía útil a la salida. Por eso, la eficiencia se calcula de esta manera:

$$Eficiencia = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} \times 100 \%$$

Ecuación 21: Eficiencia.

Con esto, se puede calcular la potencia de entrada:

$$P_{entrada} = \frac{P_{salida}}{Eficiencia}$$

$$P_{entrada} = \frac{192,78}{0,91} = 211,85 \text{ W}$$

Ecuación 22: Potencia de Entrada.

7.5 *Tiempo de Carga*

Por último, para calcular el tiempo de carga, se necesita saber la capacidad de las baterías de las bicicletas eléctricas. Suele variar entre 8 y 16 Ah. Por lo tanto, tiempo de carga se puede calcular de esta manera:

$$\text{Tiempo de carga (h)} = \frac{\text{Capacidad (Ah)}}{\text{Corriente de carga (A)}}$$

Ecuación 23: Tiempo de Carga

$$\text{Tiempo de carga (h)} = \frac{8 \text{ Ah}}{4,59 \text{ A}} = 1,74 \text{ horas} = 1 \text{ hora y } 44 \text{ minutos}$$

Ecuación 24: Tiempo de Carga para una Capacidad de 8 Ah.

$$\text{Tiempo de carga (h)} = \frac{16 \text{ Ah}}{4,59 \text{ A}} = 3,48 \text{ horas} = 3 \text{ horas y } 28 \text{ minutos}$$

Ecuación 25: Tiempo de Carga para una Capacidad de 16 Ah.

Por lo tanto, dependiendo de la batería de cada bicicleta eléctrica, el tiempo que tarda en cargar puede variar entre 1 hora y 44 minutos, y 3 horas y media.

Cabe mencionar que, si se carga la batería a corrientes superiores a 5A, se puede dañar la batería y causar sobrecalentamiento.

En nuestro caso, a 4,59A, se considera ya carga rápida, y el BMS (Battery Management System) junto con el Gauge Controller son los responsables de gestionar la corriente de carga para evitar daños. Esto asegura un equilibrio entre velocidad y seguridad.

Capítulo 8. Conclusiones y Trabajos Futuros

Este proyecto se centra en el diseño de un sistema de carga inalámbrica para vehículos de movilidad ligera. Se enmarca en la creciente demanda de soluciones sostenibles y eficientes para la movilidad urbana, especialmente las bicicletas eléctricas.

En el contexto actual, el cambio climático es uno de los mayores retos a los que se enfrenta la humanidad, por las grandes emisiones de gases de efecto invernadero. Debido a esto, es necesario buscar alternativas sostenibles, como en este caso, en el sector transporte. Las bicicletas eléctricas se han convertido en una solución popular para la movilidad urbana, debido a su bajo impacto ambiental y alta eficiencia energética. Sin embargo, el crecimiento en el uso de las bicicletas eléctricas ha presentado grandes desafíos, como la no universalización de los sistemas de carga. Existe una necesidad de desarrollar un sistema de carga universal que sea eficiente, seguro y fácil de usar.

Para el desarrollo de este sistema, se realizó una revisión del estado del arte en tecnologías de transferencia de energía de forma inalámbrica, desde la carga por inducción hasta la carga por resonancia. La carga por inducción, la opción seleccionada en este proyecto destaca por su eficacia y facilidad de implementación, basándose en la creación de un campo electromagnético para transferir energía entre dos bobinas.

El proyecto ha culminado en el desarrollo de un sistema de carga inalámbrica para bicicletas eléctricas, integrando la transferencia de energía por inducción electromagnética a un diseño hecho en 3D.

Dentro del diseño electrónico, se ha diseñado un sistema gracias a una fuente de alimentación de referencia, la *300 W Forward Power Supply Using HiperPFS™-3 PFS7528H and HiperTFS™-2TFS7706H* de Power Integrations. Esta fuente de alimentación se divide en dos circuitos, el circuito primario, es decir lo que está a la izquierda del transformador junto con la bobina primaria, y el circuito secundario, que incluye la bobina secundaria y lo que está a la derecha del transformador. En el sistema, se opera con una entrada estándar de 230 VAC, viniendo directamente de la red eléctrica. La salida se ajusta a 42V para adaptarse a

las necesidades de las baterías de las bicicletas eléctricas. La corriente de carga esta limitada por la fuente de alimentación a 4,59 A, clasificando el sistema como carga rápida.

En cuanto al diseño mecánico, el anclaje y el candado de herradura han sido diseñados para lograr una correcta transferencia de energía mediante inducción electromagnética. El anclaje, instalado en la pared del aparcamiento, contiene la primera parte del circuito electrónico, mientras el candado de herradura, que se engancha al anclaje, contiene la segunda parte del circuito electrónico. Este diseño permite una conexión eficiente y una correcta transferencia de energía. Además, con la instauración de una cadena de seguridad, se añade otra capa de protección al asegurar la bicicleta al anclaje, y previniendo robos.

El sistema demuestra una eficiencia del 91%, lo que indica que la mayor parte de la energía de entrada se convierta en energía útil para la carga de la bicicleta. El sistema tiene un factor de potencia de 0,981. Estos valores son importantes ya que garantizan la viabilidad del sistema como una solución sostenible y eficiente para la carga de bicicletas eléctricas.

El tiempo de carga también ha sido calculado, confirmando un tiempo de carga entre 1 hora y 44 minutos, y 3 horas y media, con capacidades de la batería entre 8 y 16 Ah. Son tiempos de carga razonables y competitivos en el mercado, sin comprometer la seguridad de la batería. Esta característica es importante para los usuarios, especialmente en ciudades, que necesitan una carga rápida y confiable en su día a día.

El sistema desarrollado contribuye a la promoción de la movilidad sostenible en entornos urbanos. Con este sistema, se reduce la dependencia de infraestructuras complejas, al permitir que los usuarios utilicen simplemente el candado de herradura, eliminando la necesidad de transportar el voluminoso cargador de la batería. Esto facilita el proceso de carga y ofrece una mayor comodidad para el usuario, mejorando la experiencia general del uso de estas bicicletas.

Respecto a los posibles trabajos futuros, el siguiente paso lógico es la implementación y validación del sistema. Aunque en el proyecto se detalla un diseño viable, es necesario construir y probar el sistema completo para asegurar su funcionamiento en un entorno real.

Esta fase incluiría la integración de todos los componentes y la instalación en algunas ubicaciones piloto, para ver su desempeño en el mundo real.

Es importante antes, la construcción de prototipos y realizar pruebas en condiciones reales para corregir posibles fallos. Con esto se optimizaría el diseño, asegurando una mayor fiabilidad. En este proceso, también se pueden buscar otras alternativas en los componentes electrónicos, que mejoren la eficiencia y reduzcan el coste de producción.

Por último, otro trabajo futuro podría ser la integración de este sistema de carga con fuentes de energía renovable, como por ejemplo paneles solares instalados directamente en el aparcamiento. En lugar de depender directamente de la red eléctrica, la energía necesaria para la carga provendría de estos paneles solares propios. Esta integración haría más sostenible el sistema, alineándose con los objetivos globales de sostenibilidad al reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables.

Capítulo 9. Bibliografía

- [1] H. Shaftel, "Climate Change: Vital Signs of the Planet," *Climate Change: Vital Signs of the Planet*, 2023. Disponible: <https://climate.nasa.gov/what-is-climate-change.amp>
- [2] NOAA, "Climate Change Impacts," *National Oceanic and Atmospheric Administration*, Aug. 13, 2021. Disponible: <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/climate/climate-change-impacts>
- [3] J. Walsh, D. Wuebbles, K. Hayhoe, J. Kossin, K. Kunkel, G. Stephens, P. Thorne, R. Vose, M. Wehner, J. Willis, D. Anderson, V. Kharin, T. Knutson, F. Landerer, T. Lenton, J. Kennedy, y R. Somerville, "Appendix 3: Climate Science Supplement," en *Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*, J. M. Melillo, Terese (T.C.) Richmond, y G. W. Yohe, Eds., U.S. Global Change Research Program, 2014, pp. 735-789. doi: 10.7930/J0KS6PHH.
- [4] K. E. Trenberth, J. T. Fasullo, y T. G. Shepherd, "Attribution of climate extreme events," *Nature Climate Change*, vol. 5, no. 8, pp. 725-730, Aug. 2015. doi: 10.1038/nclimate2657.
- [5] EPA, "Sources of Greenhouse Gas Emissions," *United States Environmental Protection Agency*, Apr. 11, 2024. Disponible: <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>
- [6] UNEP, "Transport," UNEP - UN Environment Programme, Oct. 11, 2017. Disponible: <https://www.unep.org/explore-topics/energy/what-we-do/transport>
- [7] Houghton, Richard. (2005). Tropical deforestation as a source of greenhouse gas emissions. *Tropical Deforestation and Climate Change*. 13-21.
- [8] Walsh, J., D. Wuebbles, K. Hayhoe, J. Kossin, K. Kunkel, G. Stephens, P. Thorne, R. Vose, M. Wehner, J. Willis, D. Anderson, V. Kharin, T. Knutson, F. Landerer, T. Lenton, J. Kennedy, and R. Somerville, 2014: Appendix 3: Climate Science Supplement. *Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*, J. M. Melillo, Terese (T.C.) Richmond, and G. W. Yohe, Eds., U.S. Global Change Research Program, 735-789. doi:10.7930/J0KS6PHH.
- [9] World Health Organization, "Asthma," World Health Organisation, May 06, 2024. Disponible: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/asthma>
- [10] "Prevención del asma en niños con sensores de calidad del aire en parques infantiles," *Libelium ES*, Apr. 10, 2019. Disponible: <https://www.libelium.com/es/casos->

- exito/prevencion-del-asma-en-ninos-con-sensores-de-calidad-del-aire-en-parques-infantiles/
- [11] UNFCCC, “What Is the Kyoto Protocol?,” UNFCCC, 2019. Disponible: https://unfccc.int/kyoto_protocol
- [12] United Nations, “Key Aspects of the Paris Agreement,” United Nations Climate Change, 2015. Disponible: <https://unfccc.int/most-requested/key-aspects-of-the-paris-agreement>
- [13] H. Ritchie and M. Roser, “CO2 and Greenhouse Gas Emissions,” Our World in Data, May 2020, Disponible: <https://ourworldindata.org/co2/country/spain?country=~ESP>
- [14] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, “Estrategia a largo plazo para una economía española moderna, competitiva y climáticamente neutra en 2050,” Madrid, Nov. 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.miteco.gob.es>
- [15] “Measures to reduce emissions of air pollutants and greenhouse gases: the potential for synergies — European Environment Agency,” www.eea.europa.eu. Disponible: <https://www.eea.europa.eu/publications/measures-to-reduce-emissions-of>
- [16] “Transporte: Panorama general,” World Bank. Disponible: <https://www.bancomundial.org/es/topic/transport/overview>
- [17] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, “La descarbonización del transporte,” Sept. 2023. [En línea]. Disponible en: https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/OTLE/elementos_otle/20230911_monografico_descarbonizacion_del_transporte_v_final_bis.pdf.
- [18] C. Castillo Escobar, "Comercio, transporte y cambio climático," Fundación Friedrich Ebert, Abril 2012. [En línea]. Disponible en: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/quito/09077.pdf>.
- [19] Dirección General de Tráfico (DGT) e Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), "La movilidad al trabajo: un reto pendiente," junio 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.dgt.es>.
- [20] "Percepción del uso de las bicicletas eléctricas como medio," TDEA, 2023. [En línea]. Disponible: <https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/1728/3.%20TGII%20Entrega%20Gil%20-%20Duque.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [21] "Beneficios ambientales proporcionados por Biciquito," FLACSO Ecuador, 2017. [En línea]. Disponible:

- <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/12438/16/TFLACSO-2017MGAB.pdf>.
- [22] “Infografía: La bicicleta, campeona de la eficiencia energética,” Statista Daily Data, Nov. 08, 2022. Disponible: <https://es.statista.com/grafico/28683/energia-necesaria-para-recorrer-un-kilometro-y-velocidad-media-en-medios-de-transporte-seleccionados/>
- [23] E. Electronics et al., “An Overview of Wireless Charging Technology,” Circuit Digest, Jul. 18, 2018. <https://circuitdigest.com/article/wireless-charging-technology>
- [24] “Belkin BOOST↑CHARGE™ PRO 3-in-1 Wireless Charging Pad with MagSafe - White,” Apple. <https://www.apple.com/shop/product/HPU82ZM/A/Belkin%20BOOST%E2%86%91CHARGE%E2%84%A2%20PRO%203-in-1%20Wireless%20Charging%20Pad%20with%20MagSafe>
- [25] “How Wireless Charging Works: Principles and Technology,” AirFuel Alliance. <https://airfuel.org/how-wireless-charging-works/>
- [26] Benavides Salvá, Á. R., "Propuesta de mejora en la productividad de los procesos logísticos de una empresa distribuidora de libros," Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, Perú, 2018. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10757/624488>.
- [27] “- U.N.P.S.J.B. - Fac.Ing. - Dto. Electrónica - EE016: TEORIA DE CIRCUITOS I -,” www.ing.unp.edu.ar. <https://www.ing.unp.edu.ar/electronica/asignaturas/ee016/apuntes/12/12.htm>
- [28] N. Vera Carmona, "Estudio de carga inalámbrica en vehículos," Proyecto Fin de Grado, Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales, Dpto. de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, Sevilla, 2023.
- [29] “Qi (standard),” Wikipedia, Jun. 21, 2020. [https://en.wikipedia.org/wiki/Qi_\(standard\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Qi_(standard))
- [30] M. Ramsey, “Wireless charging standards, Qi, Powermat, A4WP, what does it all mean and who will prevail?,” PhoneArena, Jun. 21, 2014. Disponible: https://www.phonearena.com/news/Wireless-charging-standards-Qi-Powermat-A4WP-what-does-it-all-mean-and-who-will-prevail_id57371
- [31] A. Greenbaum, “How Does Wireless Charging Work? A Scientific Explanation,” SlashGear, Nov. 12, 2023. <https://www.slashgear.com/1443453/wireless-charging-science-explained/>

- [32] “Charging stations for e-bikes and electric cars | bike-energy,” May 22, 2018. Disponible: <https://bike-energy.com/en/>
- [33] Y. Gao, A. P. Hu, M. Budhia y G. A. Covic, "Wireless battery charging for electric bicycles," en *2017 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW)*, Chongqing, China, 2017, pp. 1-4. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8004750>
- [34] L. Han, H. Wang, y J. M. Guerrero, "System Architecture, Design, and Optimization of a Flexible Wireless Charger for Renewable Energy Powered Electric Bicycles," *Aalborg University*, 2020. Disponible: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/475856864/System_Architecture_Design_and_Optimization_of_a_Flexible_Wireless_Charger_for_Renewable_Energy_Powered_Electric_Bicycles.pdf
- [35] F. Musavi, M. Edington, y W. Eberle, "Linear control of wireless charging for electric bicycles," *Applied Energy*, vol. 249, pp. 143-150, 2019. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261919315855>
- [36] Y. Yang, J. Zhang, L. Zhang, y Y. Wang, "Design of a Resonant Wireless Charger for Public Electric Bicycles," *Energies*, vol. 15, no. 12, pp. 4262, 2022. Disponible: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/12/4262>
- [37] M. A. Ramirez, F. J. Azcondo, M. A. Arques y F. J. Garcia, "Wireless Power Transfer System for Electric Bicycle Chargers," *IET Renewable Power Generation*, vol. 14, no. 6, pp. 1031-1041, 2020. Disponible: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/iet-rpg.2020.0056>
- [38] “Secure And Smart Bike Parking Station,” *Bikeep*. Disponible: <https://bikeep.com/smart-bike-parking-station-book-a-demo/>
- [39] “Park Your E-Bike To Start Charging (Product Specifications),” *www.tilercharge.com*. <https://www.tilercharge.com/product> (accessed Jun. 18, 2024).
- [40] “INTIS – start the wireless charging revolution!,” get in position to start the wireless charging revolution. Disponible: <https://www.intis.de/getinposition/>.
- [41] J. S. Bozick, "Electric Bike Hub Motors: The Complete Guide," *Electric Bike Report*, 2023. [En línea]. Disponible: <https://electricbikereport.com/electric-bike-hub-motors-the-complete-guide/>.
- [42] Bafang, "H700 rear motor," 2023. [Imagen]. Disponible: <https://bafang-e.com/en/products/motors/hr-series/h700>

- [43] E. Salmeron-Manzano y F. Manzano-Agugliaro, "The Electric Bicycle: Worldwide Research Trends," *Energies*, vol. 11, no. 1894, pp. 1-16, jul. 2018. DOI: 10.3390/en11071894
- [44] V. Quintero, O. Che, E. Ching, O. Auciello, y E. de Obaldía, "Baterías de Ion Litio: Características y Aplicaciones", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 17, no. 1, enero-junio, 2021. Disponible: <http://revistas.utp.ac.pa>
- [45] A. Rodríguez, M. Ortiz, y J. Thomas, "Baterías de ion litio: presente y futuro," en *CONICET Digital*, pp. 165-166, 2021. Disponible: <https://digital.conicet.gov.ar>.
- [46] Bafang, 'Dealer Manual for Battery,' BF-DM-C-BT F020-EN, May 2022.
- [47] Jesús Martínez Vila. Transmisión de energía eléctrica por inducción para uso doméstico. 2016.
- [48] "Current Transformer," Electronics Tutorials, [Online]. Disponible: <https://www.electronics-tutorials.ws/transformer/current-transformer.html>.
- [49] ENTES Elektronik, "What is current transformer? Where do we use them?," Available: <https://www.entes.eu/what-is-current-transformer-where-do-we-use-current-transformers/>.
- [50] R. W. Maksimovic, *Fundamentals Of Power Electronics*. 2020.
- [51] H.-P. Park, M. Kim, and J.-H. Jung, "A Comprehensive Overview in Control Algorithms for High Switching-Frequency LLC Resonant Converter," *Energies*, vol. 13, no. 17, p. 4455, Aug. 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/en13174455>.
- [52] "The conversion conundrum – LLC or flyback?," www.electronicsspecifier.com. Disponible: <https://www.electronicsspecifier.com/products/power/the-conversion-conundrum-llc-or-flyback>
- [53] Power Integrations, Inc., "DER-484: 300 W Forward Power Supply Using HiperPFSTM-3 PFS7528H and HiperTFSTM-2 TFS7706H," Design Example Report, Doc. No. DER-484, Oct. 26, 2017. [En línea]. Disponible: <https://www.power.com>.
- [54] "España: se necesita adaptador?," *Enchufes del Mundo*. <https://www.enchufesdelmundo.com/es/espana/#:~:text=En%20Espa%C3%B1a%20se%20utilizan%20enchufes> (accessed Jul. 01, 2024).
- [55] "Power factor," Wikipedia, Mar. 14, 2020. https://en.wikipedia.org/wiki/Power_factor
- [56] "Bobina Toroidal Inductor con nucleo de Ferrita de 47uH Corriente Max: 10Amp 20MM T065125 (T065125)," NANOPARURO E.I.R.L. <https://nanoparuro.com/shop/t065125-bobina-toroidal-inductor-con-nucleo-de-ferrita-de-47uh-corriente-max-10amp-20mm-t065125-t065125-1776#attr=>

- [57] R. HolaBICI, “Los mejores candados y fijaciones para tu bici,” Hola Bici, Mar. 28, 2024.
<https://holabici.racc.es/articulos-y-reportajes/los-mejores-candados-y-fijaciones-para-tu-bici/>.

ANEXO I. Informe Fuente de Alimentación Power Integrations

DER-484 300 W Battery Charger

26-Oct-17

1 Introduction

This engineering report describes a 61 V (nominal), 280 W power supply reference design operating from 90-264 VAC. A 5 V, 4 A standby output is also provided. The power supply main output is designed with a constant voltage/ constant current characteristic for use in battery charger applications.

The design is based on the PFS7528H and TFS7707H, with the main forward stage operating at 66 kHz.

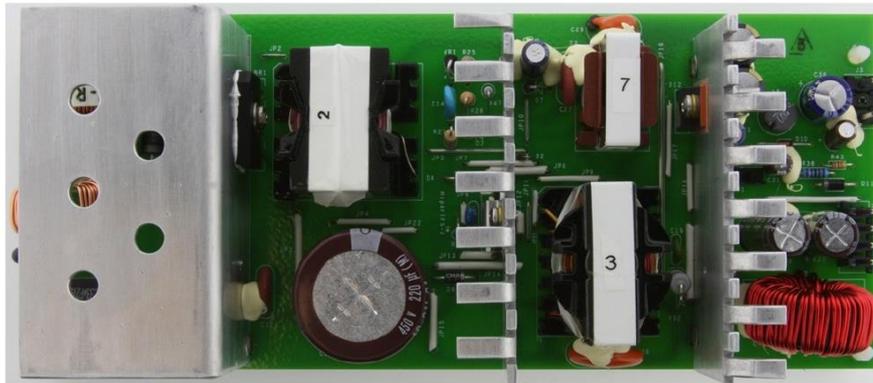


Figure 1 – DER-484 Photograph, Top View.

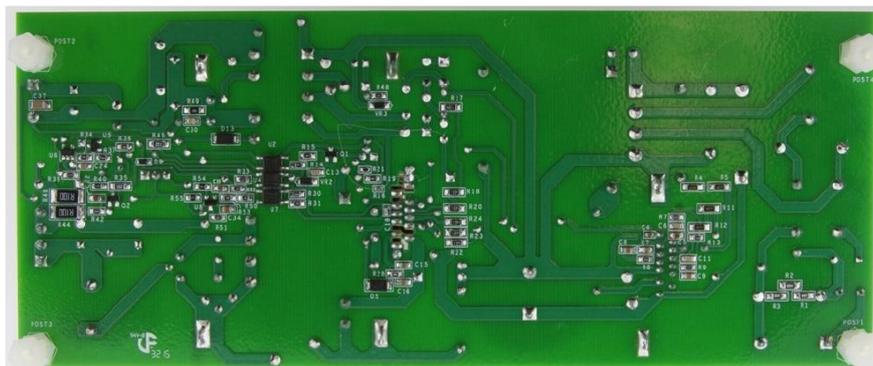


Figure 2 – DER-484 Photograph, Bottom View.

26-Oct-17

DER-484 300 W Battery Charger

2 Power Supply Specification

The table below represents the specification for the design detailed in this report. Actual performance is listed in the results section. Detailed customer specification is shown below.

Description	Symbol	Min	Typ	Max	Units	Comment
Input						
Voltage	V_{IN}	90		264	VAC	2 Wire Input
Frequency	f_{LINE}	47	50/60	64	Hz	
Main Converter Output						
Output Voltage	V_o	0	61		V	61 VDC (nominal – otherwise defined by battery load). Nominal Current Limit Setting for Design.
Output Current	I_o		4.59		A	
Standby Converter Output						
Output Voltage	V_o	4.75	5.00	5.25	V	5 VDC \pm 5% 20 MHz BW
Output Current	I_o	0		4	A	
Output Ripple (Optional)				50	mV P-P	
Total Output Power						
Continuous Output Power	P_{OUT}		300		W	61 V / 4.59 A + 5 V / 4 A
Peak Output Power	$P_{OUT(PK)}$			N/A	W	
Efficiency						
Total system at Full Load	η_{Main}	85	87.8		%	Measured at 115 VAC, Full Load
Environmental						
Conducted EMI						Meets CISPR22B / EN55022B
Safety						Designed to meet IEC950 / UL1950 Class II
Ambient Temperature	T_{AMB}	0		60	$^{\circ}$ C	See Thermal Section for Conditions

DER-484 300 W Battery Charger

26-Oct-17

3 Schematic

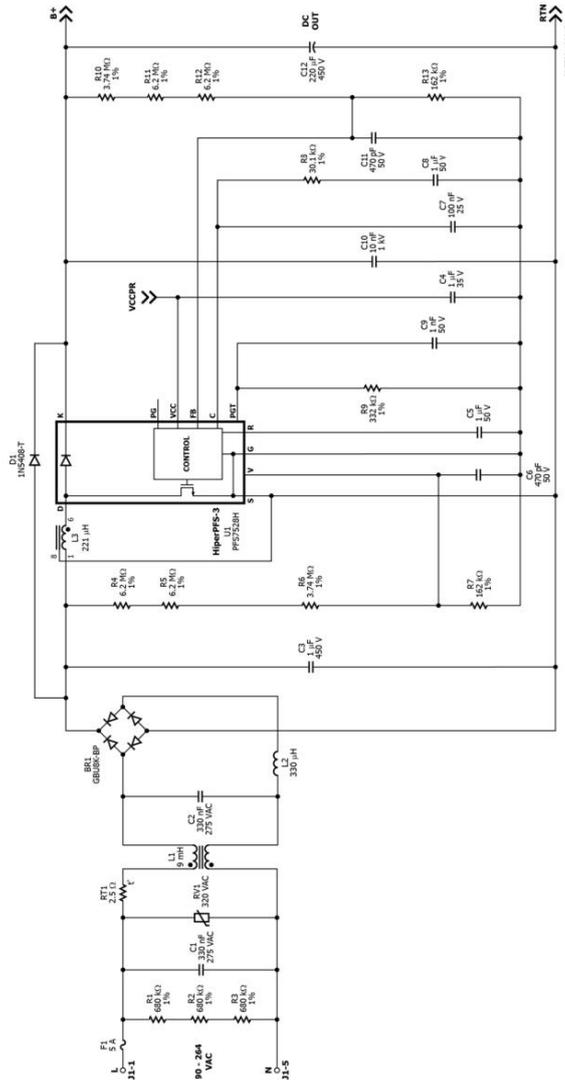


Figure 3 – Schematic Battery Charger Application Circuit - Input Filter, PFC Stage.



Power Integrations, Inc.
 Tel: +1 408 414 9200 Fax: +1 408 414 9201
 www.power.com

26-Oct-17

DER-484 300 W Battery Charger

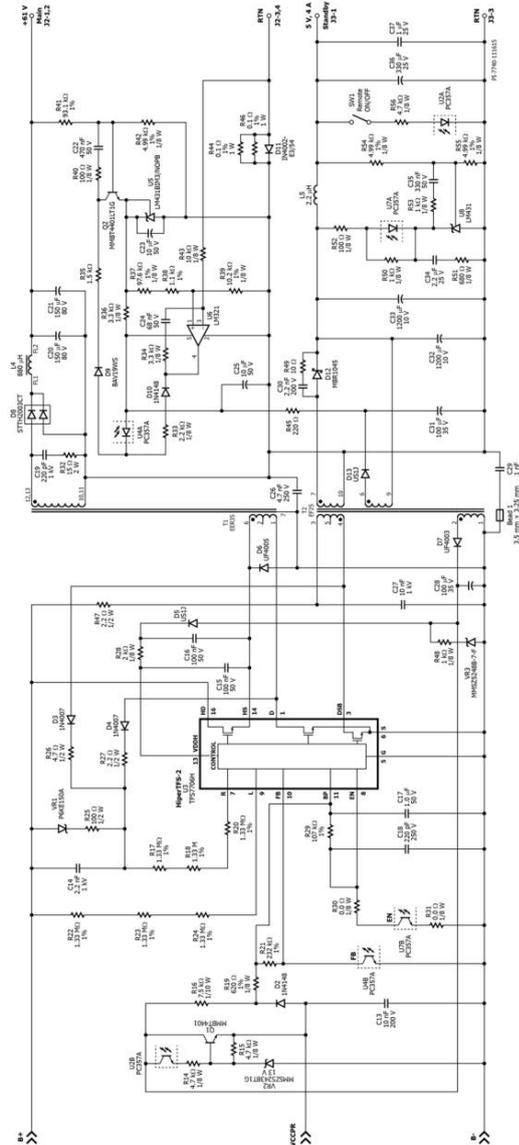


Figure 4 – Schematic Battery Charger Application Circuit - Forward Stage, Standby Supply, Bias Supplies and Output Voltage/Current Control.

DER-484 300 W Battery Charger

26-Oct-17

4 Circuit Description

The schematic in Figures 3 and 4 shows a 2-switch forward power supply with flyback standby utilizing the TFS7706H, powered via a PFC front end utilizing the PFS7528H. The secondary control circuitry provides CV/CC control for use in battery charger applications

4.1 Input Filter / Boost Converter

The PFC input stage shown in Figure 3 is designed around the Power Integrations PFS7528H integrated PFC controller. This design provides a regulated output voltage of 385 VDC nominal, maintaining a high input power factor and overall efficiency over line and load, while remaining low in cost.

4.1.1 Input EMI Filter and Rectifier

Fuse F1 provides protection to the primary side circuitry and isolates it from the AC supply in the event of a fault. Diode bridge BR1 rectifies the AC input. Capacitors C1, C2, C26 and C29 in conjunction with inductors L1 and L2 constitute the EMI filter for attenuating both common mode and differential mode conducted noise. Film capacitor C3 provides input decoupling charge storage to reduce input ripple current at the switching frequencies and harmonics.

Resistors R1-R3 discharge the EMI filter capacitors after line voltage has been removed from the circuit.

Metal oxide varistor (MOV) RV1 protects the circuit during line surge events by effectively clamping the input voltage seen by the power supply.

4.1.2 PFS7528H Boost Converter

The boost converter stage consists of the boost inductor L3 and the PFS7528H IC (U1). This converter stage operates as a PFC boost converter, thereby maintaining a sinusoidal input current to the power supply while regulating the output DC voltage.

During start-up, diode D1 provides an inrush current path to the PFC output filter/bulk capacitor C12, bypassing the switching inductor L3 and switch U1 in order to prevent a resonant interaction between the switching inductor and output capacitor.

NTC thermistor RT1 limits inrush current of the supply when line voltage is first applied. Capacitor C10 provide a short, high-frequency return path to RTN for improved EMI results and to reduce U1 MOSFET drain voltage overshoot during turn-off. Capacitor C4 decouples and bypasses the U1 VCC pin. Capacitor C12 serves as output filter and energy storage for the PFC output.

Resistor R9 programs the output voltage level [via the POWER GOOD THRESHOLD (PGT) pin] below which the POWER GOOD (PG) pin will go into a high-impedance state.



26-Oct-17

DER-484 300 W Battery Charger

Capacitor C5 on the REF pin of U1 is a noise decoupler for the internal reference and also programs the output power for either full mode, 100% of rated power [C10 = 1 μ F] or efficiency mode, 80% [C10 = 0.1 μ F] of rated power.

4.1.3 Input Feed Forward Sense Circuit

The input voltage of the power supply is sensed by the IC U1 using resistors R4-R7. Capacitor C6 bypasses the V pin on IC U1.

4.1.4 Output Feedback

Resistors R10-R13 constitute a voltage divider that provides a scaled voltage proportional to the output voltage as feedback to the controller IC U1, setting the PFC output voltage at 385 V. Capacitor C11 decouples the U1 FB pin.

Resistor R8 and capacitor C8 establish the control loop dominant pole, while C7 attenuates high-frequency noise.

4.2 Main Forward Converter / Standby

The schematic in Figure 4 depicts a 61 V, 280 W Forward DC-DC converter with constant voltage/ constant current output implemented using the TFS7706H.

Integrated circuit U3 incorporates the control circuitry, drivers and output MOSFETs necessary for a 2-switch forward converter and a flyback standby converter.

Components D3-4, C14, R25-27, and VR1 form a shared turn-off clamping circuit that limits the voltage at the U3 standby drain and establishes a higher-than-B+ reset voltage for T1 to allow a maximum duty cycle above 50%. Zener VR1 provides a defined clamp voltage and maintains a maximum voltage (150 V) on clamp capacitor C14 for higher light/no-load efficiency. The high side drain is clamped by D6.

Diode D5 provides biasing for the main converter high-side driver in U3, filtered and current limited by C15-16 and R28.

Most of the leakage and magnetizing energy associated with the main and standby converters is returned back to the B+ supply due to the slow recovery aspect of blocking diodes D3 and D4. During the main converter off-time, the main transformer is reset by a substantially higher voltage than V_{IN} , hence the main converter can operate above 50% duty cycle, lowering RMS switch currents without penalizing holdup time.

The BYPASS (BP) pin along with C17 provides a decoupled regulated 5.85 V for the HiperTFS controller. The value for C17 (1 μ F) also selects the operating frequency of the main converter at 66 kHz. At start-up the bypass capacitor is charged from a current

DER-484 300 W Battery Charger

26-Oct-17

source internal to U3. When the BP pin voltage reaches 5.8 V, the standby converter can begin switching and both the secondary and primary-side bias voltages will begin to rise.

Output of the primary bias winding on T2 is used to supply power via resistors R16 and R19 to the HiperTFS BP pin during standby-only operation. Additional current is provided via a regulator consisting of Q1, R14-15, VR2, and C13 by the primary bias supply when remote-on switch SW1 activates U2A and U2B. The value of R19 is selected to satisfy the maximum current requirement of U3. The value of R16 is selected to maintain the minimum 700 μ A required into the BP pin to inhibit the internal HiperTFS high voltage current source and thus reduce no-load consumption.

The ENABLE (EN) pin is the feedback pin for the flyback standby controller section. Prior to start-up a resistor (R29) connected from EN to BP can be detected by the controller to select the internal current limit for standby section. The circuit presented here uses a 107 k Ω resistor (R29) at the EN pin to program a standby I_{LIM} of 750 mA (maximum). A capacitor (C18) is placed between EN and G to filter high frequency noise and help prevent pulse bunching, especially at maximum output power.

The FEEDBACK (FB) pin uses a 232 k Ω pull-up resistor (R21) to the BP pin, which selects the maximum primary current limit option for the U1 main forward converter. The FB pin provides feedback for the main converter. An increase in current sinking from FB pin to ground will reduce the operating duty cycle.

Capacitor C15 is the filtering and charge storage capacitor for the U1 high-side driver. During start-up the high-side MOSFET HS pin of U3 is briefly pulled to Source for 12 ms to precharge C5 using an internal current source. The nominal voltage on C5 during normal operation is internally shunt regulated to approximately 12 V. Components D5, C16, and R28 provide an efficient alternate source of current from the primary VCC supply, so that the internal high voltage supply for the high-side driver is turned off. This increases efficiency at light load and prevents main converter from pulse skipping, especially at light output loads.

Resistors R17-18 and R20 are used to translate the maximum available OFF time reset voltage into a current for the R pin and compare with the L pin current to compute the maximum allowable duty cycle to prevent saturation and to also determine the maximum allowable duty factor as a function of peak on-time flux.

The LINE-SENSE (L) pin provides an input bulk voltage line-sense function. This information is used by the undervoltage and overvoltage detection circuits for both the Main and standby sections. This pin can also be pulled down to Source to implement a remote-ON/OFF for both the standby and main supplies simultaneously. Resistors R22-R24 are used to translate the input voltage into a current for the L pin.



26-Oct-17

DER-484 300 W Battery Charger

Components R56, SW1, and U2 (on the standby converter secondary output) provide remote start. When SW1 is closed, the output transistor of U2 turns on regulator Q1 on the primary side of the supply, providing operating current to the main converter via the BP pin of U3. Opening SW1 turns off U2, shutting down the main converter function of U3, as well as U1.

4.3 Primary Bias Supply

The standby supply utilizes built-in capability of the U3 TFS2 device. Components D7 and C28 provide a 15 V (nominal) flyback bias supply for U1 and U3, generated from a primary-referred winding on standby transformer T2. Components R48 and VR3 clamp the primary VCC output voltage when the 5V standby supply is heavily loaded.

4.4 Main Output Rectification

The output of transformer T1 is rectified and filtered by D8, L4, and C20-21. Output rectifier D8 is a 300V ultrafast rectifier chosen for high efficiency. A snubber consisting of R32 and C19 helps limit the peak voltage excursion on the output rectifier.

4.5 Output Current and Voltage Control

Output current is sensed via resistors R44-45. These resistors are clamped by diode D11 to avoid damage to the current control circuitry during an output short circuit. Components R36 and U5 provide a voltage reference for current sense amplifier U6. Capacitor C25 stabilizes U6. The reference voltage for current sense amplifier U6 is divided down by R37-39. The default current limit setting is 4.589 A, as programmed by R44-45 and R37-39. Voltage from the current sense resistors is applied to the inverting input of U6 via R43. Opamp U6 drives optocoupler U4 through D10 and R33. Components R33-34, R43, and C24 are used for frequency compensation of the current loop.

Components Q2, R40-42, and C22 are used for output constant voltage control when the current limit is not engaged. Transistor Q2 drives optocoupler U4 via D9 and R35. Components R35, R40-42, and C22 affect the voltage control loop frequency compensation.

4.6 Standby Output

A 5 V, 4 A standby output is provided via a triple insulated winding on standby transformer T2. The standby 5 V output is available externally. The 5 V standby winding is rectified and filtered by D12, C32-33, and C36. Components L5 and C36 provide additional filtering to remove high frequency ripple and noise. Snubber C30 and R49 helps limit the peak voltage excursion on D12. The 5 V output is divided down by R54-55, and is applied to the reference input of error amplifier U8, which controls the standby section of U3 via R52 and U7. Resistor R50 provides bias current to U8, while C34 and R51 comprise a soft-finish network to eliminate output voltage overshoot at start-up. Components R52-53, and C35 compensate the standby control loop.

DER-484 300 W Battery Charger

26-Oct-17

4.7 Secondary Bias Supply

Bias for the secondary control circuitry is supplied from a triple insulated winding on standby transformer T2. This winding is DC stacked on the 5 V standby output to improve regulation for the secondary bias supply. Otherwise, the bias voltage can vary considerably depending on the 5 V standby load, which can be any value from 0 A to 4 A. The standby supply is rectified and filtered by D13 and C31, with additional filtering by R45 and C25.



26-Oct-17

DER-484 300 W Battery Charger

5 PCB Layout

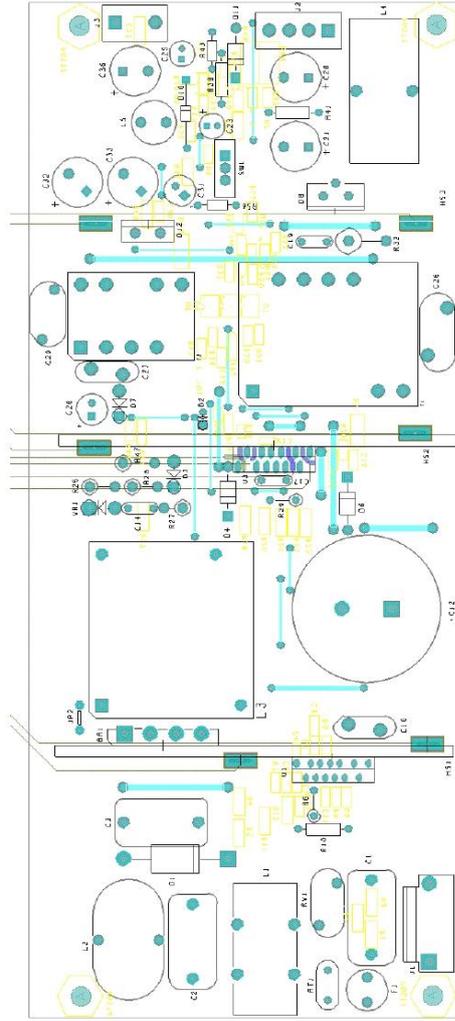


Figure 5 – Printed Circuit Layout, Showing Top Side Components with Bottom Side Traces.

DER-484 300 W Battery Charger

26-Oct-17

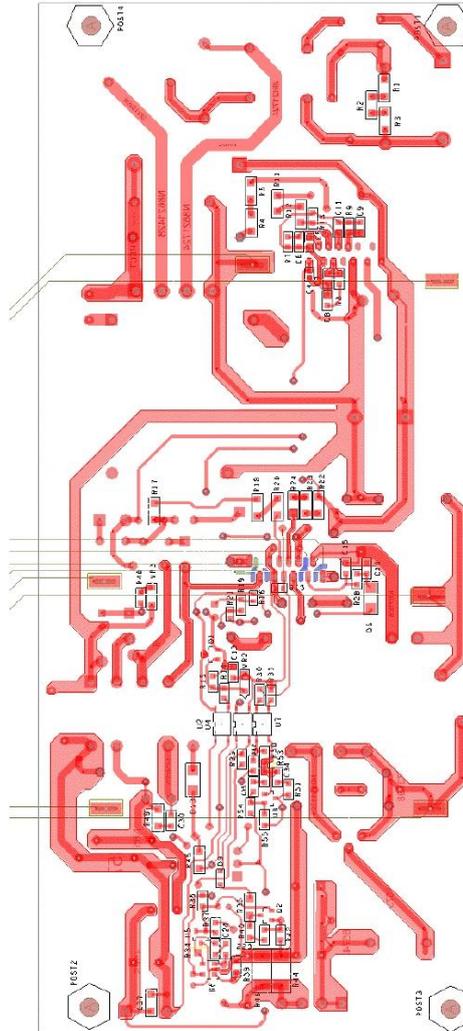


Figure 6 – Printed Circuit Layout, Bottom Side Traces and Components.



Power Integrations, Inc.
Tel: +1 408 414 9200 Fax: +1 408 414 9201
www.power.com

Page 14 of 84

26-Oct-17

DER-484 300 W Battery Charger

6 Bill of Materials

Item	Qty	Ref Des	Description	Mfg Part Number	Mfg
1	1	BEAD1	3.5 mm D x 3.25 L mm, 21 Ω at 25 MHz, 1.6 mm (.063) hole, Ferrite Bead	2643001501	Fair-Rite
2	1	BR1	800 V, 8 A, Bridge Rectifier, GBU Case	GBU8K-BP	Micro Commercial
3	2	C1 C2	330 nF, 275 VAC, Film, X2	ECQ-U2A334ML	Panasonic
4	1	C3	1.0 μF, 450 V, METALPOLYPRO	ECW-F2W105JA	Panasonic
5	1	C4	1 μF 35 V, Ceramic, X7R, 0603	C1608X7R1V105M	TDK
6	2	C5 C8	1 μF, 50 V, Ceramic, X7R, 0805	C2012X7R1H105M	TDK
7	2	C6 C11	470 pF, 50 V, Ceramic, X7R, 0805	CC0805KRX7R9BB471	Yageo
8	1	C7	100 nF, 25 V, Ceramic, X7R, 0805	08053C104KAT2A	AVX
9	1	C9	1 nF, 50 V, Ceramic, X7R, 0805	08055C102KAT2A	AVX
10	2	C10 C27	10 nF, 1 kV, Disc Ceramic	562R5HKMS10	Vishay
11	1	C12	220 μF, 450 V, Electrolytic, Snap-In, (30 x 30)	EKM451VSN221MR30S	United Chemi-con
12	1	C13	10 nF, 200 V, Ceramic, X7R, 0805	08052C103KAT2A	AVX
13	1	C14	2.2 nF, 1 kV, Ceramic, SL, 0.2" L.S.	DEBB33A222KA2B	Murata
14	2	C15 C16	100 nF, 50 V, Ceramic, X7R, 0805	CC0805KRX7R9BB104	Yageo
15	1	C17	1.0 μF, 50 V, Ceramic, X7R	FK20X7R1H105K	TDK
16	1	C18	220 pF, 250 V, Ceramic, COG, 0603	C1608COG2E221J	TDK
17	1	C19	220 pF, 1 kV, Disc Ceramic	NCD221K1KV5FF	NIC
18	2	C20 C21	150 μF, 80 V, Electrolytic, Gen. Purpose, (10 x 33)	UPJ1K151MPD	Nichicon
19	1	C22	470 nF, 50 V, Ceramic, X7R, 0805	GRM21BR71H474KA88L	Murata
20	2	C23 C25	10 μF, 50 V, Electrolytic, Gen. Purpose, (5 x 11)	EKM4500ELL100ME11D	Nippon Chemi-Con
21	1	C24	68 nF, 50 V, Ceramic, X7R, 0805	C0805C683K5RACTU	Kemet
22	1	C26	4.7 nF, Ceramic, Y1	440LD47-R	Vishay
23	2	C28 C31	100 μF, 35 V, Electrolytic, Low ESR, 180 mΩ, (6.3 x 15)	ELXZ350ELL101MF15D	Nippon Chemi-Con
24	1	C29	1 nF, Ceramic, Y1	440LD10-R	Vishay
25	1	C30	2.2 nF, 200 V, Ceramic, X7R, 0805	08052C222KAT2A	AVX
26	2	C32 C33	1200 μF, 10 V, Electrolytic, Radial	EEU-FM1A122	Panasonic
27	1	C34	2.2 μF, 25 V, Ceramic, X7R, 0805	C2012X7R1E225M	TDK
28	1	C35	330 nF, 50 V, Ceramic, X7R, 0805	GRM219R71H334KA88	Murata
29	1	C36	330 uF, 25 V, Electrolytic, Low ESR, 90 mΩ, (10 x 12.5)	ELXZ250ELL331MJC5S	Nippon Chemi-Con
30	1	C37	1 μF, 25 V, Ceramic, X7R, 1206	C3216X7R1E105K	TDK
31	1	D1	1000 V, 3 A, Rectifier, DO-201AD	1N5408-T	Diodes, Inc.
32	2	D2 D10	75 V, 300 mA, Fast Switching, DO-35	1N4148TR	Vishay
33	2	D3 D4	1000 V, 1 A, Rectifier, DO-41	1N4007-E3/54	Vishay
34	2	D5 D13	Diode Ultrafast, SW 600 V, 1 A, SMA	US1J-13-F	Diodes, Inc.
35	1	D6	600 V, 1 A, Ultrafast Recovery, 75 ns, DO-41	UF4005-E3	Vishay
36	1	D7	200 V, 1 A, Ultrafast Recovery, 50 ns, DO-41	UF4003-E3	Vishay
37	1	D8	300 V, 10 A, Diode ARRAY, GP, 35 ns, TO-220AB	STTH2003CT	ST Miscrs
38	1	D9	100 V, 0.2 A, Fast Switching, 50 ns, SOD-323	BAV19WS-7-F	Diodes, Inc.
39	1	D11	100 V, 1 A, Rectifier, DO-41	1N4002-E3/54	Vishay
40	1	D12	45 V, 10 A, Schottky, TO-220AC	MBR1045	Vishay
41	2	ESIPCLIP M4 METAL1 ESIPCLIP M4 METAL2	Heat Sink Hardware, Edge Clip, 20.76 mm L x 8 mm W x 0.015 mm Thk	NP975864	Aavid Thermalloy
42	1	F1	5 A, 250 V, Slow, TR5	37215000411	Wickman
43	1	HOTMELT_V?	Adhesive, Hot Melt, VO	3748 VO-TC	3M
44	1	HS1	FAB, Heat Sink, PFS Bridge, DER484		Custom
45	1	HS2	FAB, Heat Sink, PFS eSIP, DER484		Custom
46	1	HS3	FAB, Heat Sink, PFS Diode, DER484		Custom
47	1	J1	5 Position (1 x 5) header, 0.156 pitch, Vertical	0026604050	Molex

DER-484 300 W Battery Charger

26-Oct-17

48	1	J2	4 Position (1 x 4) header, 0.156 pitch, Vertical	26-48-1045	Molex
49	1	J3	3 Position (1 x 3) header, 0.156 pitch, Vertical	26-48-1031	Molex
50	2	JP1 JP14	Wire Jumper, Insulated, TFE, #18 AWG, 0.9 in	C2052A-12-02	Alpha
51	1	JP2	Wire Jumper, Non insulated, #22 AWG, 0.2 in	298	Alpha
52	3	JP3 JP19 JP24	Wire Jumper, Insulated, TFE, #18 AWG, 0.8 in	C2052A-12-02	Alpha
53	1	JP4	Wire Jumper, Insulated, #24 AWG, 0.6 in	C2003A-12-02	Gen Cable
54	1	JP5	Wire Jumper, Non insulated, #22 AWG, 1.0 in	298	Alpha
55	2	JP6 JP22	Wire Jumper, Insulated, #24 AWG, 0.3 in	C2003A-12-02	Gen Cable
56	2	JP7 JP17	Wire Jumper, Insulated, #24 AWG, 0.8 in	C2003A-12-02	Gen Cable
57	2	JP8 JP15	Wire Jumper, Insulated, TFE, #18 AWG, 0.6 in	C2052A-12-02	Alpha
58	1	JP9	Wire Jumper, Insulated, #24 AWG, 0.7 in	C2003A-12-02	Gen Cable
59	1	JP10	Wire Jumper, Non insulated, #22 AWG, 0.5 in	298	Alpha
60	1	JP11	Wire Jumper, Non insulated, #22 AWG, 0.4 in	298	Alpha
61	1	JP12	Wire Jumper, Insulated, TFE, #18 AWG, 0.3 in	C2052A-12-02	Alpha
62	1	JP13	Wire Jumper, Insulated, TFE, #18 AWG, 0.4 in	C2052A-12-02	Alpha
63	1	JP16	Wire Jumper, Non Insulated, #18 AWG, 2.3 in	296 SV001	Alpha
64	1	JP18	Wire Jumper, Insulated, #24 AWG, 0.5 in	C2003A-12-02	Gen Cable
65	2	JP20 JP23	Wire Jumper, Non insulated, #22 AWG, 0.3 in	298	Alpha
66	1	JP21	Wire Jumper, Insulated, #24 AWG, 1.0 in	C2003A-12-02	Gen Cable
67	1	L1	9 mH, 5 A, Common Mode Choke	T22148-902S P.I. Custom	Fontaine
68	1	L2	330 µH, 3.3 A, Vertical Toroidal	2218-V-RC VTK-00037	Bourns Premier Magnetics
69	1	L3	Custom, PFC Inductor, 221 µH, PQ32/20, Vertical	BQ32/30-1112CPFR TSD-4013	TDK Premier Magnetics
70	1	L4	Custom, 880 µH, Constructed on core AllStar T28*12*14 from PI #32-00308-00	TSD-4014	Premier Magnetics
71	1	L5	2.2 uH, 6.0 A	RFB0807-2R2L TSD-4015	Coilcraft Premier Magnetics
72	4	POST1 POST2 POST3 POST4	Post, Circuit Board, Female, Hex, 6-32, snap, 0.375L, Nylon	561-0375A	Eagle Hardware
73	2	Q1 Q2	NPN, Small Signal BJT, GP SS, 40 V, 0.6 A, SOT-23	MMBT4401LT1G	Diodes, Inc.
74	3	R1 R2 R3	680 kΩ, 5%, 1/4 W, Thick Film, 1206	ERJ-8GEYJ684V	Panasonic
75	4	R4 R5 R11 R12	6.2 MΩ, 1%, 1/4 W, Thick Film, 1206	KTR18E2PF6204	Rohm Semi
76	2	R6 R10	3.74 MΩ, 1%, 1/4 W, Metal Film	MFR-25FBF52-3M74	Yageo
77	2	R7 R13	162 kΩ, 1%, 1/8 W, Thick Film, 0805	ERJ-6ENF1623V	Panasonic
78	1	R8	30.1 kΩ, 1%, 1/8 W, Thick Film, 0805	ERJ-6ENF3012V	Panasonic
79	1	R9	332 kΩ, 1%, 1/8 W, Thick Film, 0805	ERJ-6ENF3323V	Panasonic
80	2	R14 R15	4.7 kΩ, 5%, 1/8 W, Thick Film, 0805	ERJ-6GEYJ472V	Panasonic
81	1	R16	7.5 kΩ, 5%, 1/10 W, Thick Film, 0603	ERJ-3GEYJ752V	Panasonic
82	6	R17 R18 R20 R22 R23 R24	1.33 MΩ, 1%, 1/4 W, Thick Film, 1206	RC1206FR-071M33L	Yageo
83	1	R19	620Ω, 5%, 1/8 W, Thick Film, 0805	ERJ-6GEYJ621V	Panasonic
84	1	R21	232 kΩ, 1%, 1/16 W, Thick Film, 0603	ERJ-3EKF2323V	Panasonic
85	1	R25	100 Ω, 5%, 1/2 W, Carbon Film	CF12JT100R	Stackpole
86	1	R26	4.7 Ω, 5%, 1/2 W, Carbon Film	CFR-50JB-4R7	Yageo
87	1	R27	2.2 Ω, 5%, 1/2 W, Carbon Film	CFR-50JB-2R2	Yageo
88	1	R28	2 kΩ, 5%, 1/8 W, Thick Film, 0805	ERJ-6GEYJ202V	Panasonic
89	1	R29	107 kΩ, 1%, 1/4 W, Metal Film	MFR-25FBF-107K	Yageo
90	2	R30 R31	0 Ω 5%, 1/8 W, Thick Film, 0805	ERJ-6GEY0R00V	Panasonic
91	1	R32	15 Ω, 5%, 2 W, Metal Oxide	RSF200JB-15R	Yageo
92	1	R33	2.2 kΩ, 5%, 1/8 W, Thick Film, 0805	ERJ-6GEYJ222V	Panasonic
93	2	R34 R36	3.3 kΩ, 5%, 1/8 W, Thick Film, 0805	ERJ-6GEYJ332V	Panasonic
94	1	R35	1.5 kΩ, 5%, 1/4 W, Thick Film, 1206	ERJ-8GEYJ152V	Panasonic
95	1	R37	97.6 kΩ, 1%, 1/8 W, Thick Film, 0805	ERJ-6ENF9762V	Panasonic



26-Oct-17

DER-484 300 W Battery Charger

96	1	R38	1.1 kΩ, 1%, 1/4 W, Metal Film	MFR-25FBB-1K10	Yageo
97	1	R39	10.2 kΩ, 1%, 1/8 W, Thick Film, 0805	ERJ-6ENF1022V	Panasonic
98	2	R40 R52	100 Ω, 5%, 1/8 W, Thick Film, 0805	ERJ-6GEYJ101V	Panasonic
99	1	R41	93.1 kΩ, 1%, 1/4 W, Metal Film	MFR-25FBB-93K1	Yageo
100	3	R42 R54 R55	4.99 kΩ, 1%, 1/8 W, Thick Film, 0805	ERJ-6ENF4991V	Panasonic
101	1	R43	10 kΩ, 5%, 1/8 W, Carbon Film	CF18JT10K0	Stackpole
102	2	R44 R46	0.1 Ω, 1%, 1 W, Thick Film, 2512	RL2512FK-070R1L	Yageo
103	1	R45	220 Ω, 5%, 1/4 W, Thick Film, 1206	ERJ-8GEYJ221V	Panasonic
104	1	R47	2.2 Ω, 5%, 1/2 W, Metal Film, Fusible/Flame Proof	NFR25H0002208JR500	Vishay
105	3	R48 R50 R53	1 kΩ, 5%, 1/8 W, Thick Film, 0805	ERJ-6GEYJ102V	Panasonic
106	1	R49	10 Ω, 5%, 1/4 W, Thick Film, 1206	ERJ-8GEYJ100V	Panasonic
107	1	R51	680 Ω, 5%, 1/8 W, Thick Film, 0805	ERJ-6GEYJ681V	Panasonic
108	1	R56	4.7 kΩ, 5%, 1/8 W, Carbon Film	CF18JT4K70	Stackpole
109	1	RT1	NTC Thermistor, 2.5 Ohms, 5 A	SL10 2R505	Ametherm
110	3	RTV1 RTV2 RTV3	Thermally conductive Silicone Grease	120-SA	Wakefield
111	1	RV1	320 V, 23 J, 10 mm, RADIAL	V320LA10P	Littlefuse
112	3	SCREW1 SCREW3 SCREW4	SCREW MACHINE PHIL 4-40 X 1/4 SS	PMSSS 440 0025 PH	Building Fasteners
113	2	SCREW2 SCREW5	SCREW MACHINE PHIL 4-40X 3/16 SS	67413609	MSC Industrial
114	2	SPACER_CER1 SPACER_CER2	SPACER RND, Steatite C220 Ceramic	CER-2	Richco
115	1	SW1	SWITCH SLIDE SPDT 30 V, .2 A PC MNT	EG1218	E-Switch
116	1	T1	Transformer, EER35, Vertical, 14 Custom	TSD-4016	Premier Magnetics
117	1	T2	Transformer, EF25/13/7, Vertical, Custom	TSD-4017	Premier Magnetics
118	2	TO-220 PAD1 TO-220 PAD2	THERMAL PAD TO-220 .009" SP1000	1009-58	Bergquist
119	1	U1	HiperPFS-3, eSIP16/13	PFS7528H	Power Integrations
120	3	U2 U4 U7	Optocoupler, 80 V, CTR 80-160%, 4-Mini Flat	PC357N1TJ00F	Sharp
121	1	U3	HiperTFS-2, ESIP16/12	TFS7706H	Power Integrations
122	1	U5	IC, REG ZENER SHUNT ADJ SOT-23	LM431BIM3/NOPB	National Semi
123	1	U6	OP AMP SINGLE LOW PWR SOT23-5	LM321MF	National Semi
124	1	U8	IC, REG ZENER SHUNT ADJ SOT-23	LM431AIM3/NOPB	National Semi
125	1	VR1	150 V, 5 W, 5%, TVS, DO204AC (DO-15)	P6KE150A	LittleFuse
126	1	VR2	13 V, 5%, 500 mW, SOD-123	MMSZ5243BT1G	ON Semi
127	1	VR3	Diode Zener 18 V 500 MW SOD123	MMSZ5248B-7-F	Diodes, Inc.
128	1	WASHER1	WASHER FLAT #4 SS	FWSS 004	Building Fasteners
129	4	WASHER2 WASHER3 WASHER4 WASHER5	WASHER FLAT #4 Zinc, OD 0.219, ID 0.125, Thk 0.032, Yellow Chromate Finish	5205820-2	Tyco
130	2	WASHER6 WASHER7	Washer, Shoulder, #4, 0.032 Shoulder x 0.116" Dia, Polyphenylene Sulfide PPS	7721-7PPSG	Aavid Thermalloy

ANEXO II. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son una iniciativa de las Naciones Unidas, creada en 2015. Está compuesto por 17 objetivos que buscan afrontar los desafíos más importantes a los que se enfrenta la humanidad mundialmente. Se diseñaron para ser alcanzados en 2030, e incluyen temáticas como la pobreza, el cambio climático, o la paz.

El proyecto de diseño y desarrollo de un sistema de carga inalámbrica se alinea con varios ODS. Uno de los más relevantes es el ODS 7: “Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos”. El objetivo le da importancia a la eficiencia energética y el uso de energías renovables para aumentar la sostenibilidad. El sistema de carga inalámbrica proporciona una solución tecnológicamente avanzada que fomenta el uso de una energía limpia y mejora la eficiencia energética en el sector del transporte. Con este proyecto se podría reducir el consumo de energía y la dependencia de los combustibles fósiles, alineándose con el objetivo.

Además, este proyecto respalda el ODS 9: “Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.” Al introducir un sistema de carga innovador para bicicletas eléctricas, se contribuye a la mejora de la infraestructura urbana, haciendo que el transporte sea más eficiente y sostenible. El proyecto es innovador ya que busca plantear una solución universal de carga inalámbrica que puede servir como base para futuros desarrollos en otras áreas de movilidad urbana, como los patinetes eléctricos.

Por otro lado, el sistema de carga inalámbrica está vinculado con el ODS 11: “Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”. Al proporcionar una solución ecológica para la carga de bicicletas, se apoya la

creación de una ciudad más sostenible, reduciendo la congestión del tráfico y mejorando la calidad del aire.

Por último, el proyecto contribuye al ODS 13: “Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos”. Al fomentar la sustitución de vehículos de combustión por vehículos eléctricos se consigue una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, que es uno de los mayores contribuyentes al cambio climático.



Figura 1: Objetivos de Desarrollo Sostenible