



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**CREACIÓN DE UN MODELO DE BICICLETA ELÉCTRICA PARA  
REPARTIDORES EN BICICLETAS.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO

**FELIPE ESTEBAN ALBERTO ARANEDA HARBIN**

PROFESOR GUÍA:

José Fuenzalida Navarrete

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

Gonzalo Sandoval Palma

Marcelo Matus Acuña

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por:

MakanaBikes

SANTIAGO DE CHILE

2024

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO  
POR: FELIPE ESTEBAN ALBERTO ARANEDA HARBIN  
FECHA: 2024  
PROF. GUÍA: JOSÉ IGNACIO FUENZALIDA NAVARRETE

## CREACIÓN DE UN MODELO DE BICICLETA ELÉCTRICA PARA REPARTIDORES EN BICICLETAS.

El camino de un repartidor, generalmente, parte desde la bicicleta, sin embargo, al recorrer distancias cada vez mayores, rutas con diversas pendientes, y a mayores cargas en la espalda, se hace necesario la mejora del vehículo que se conduce como herramienta de trabajo. La *start-up* MakanaBikes se desempeña en la conversión de ciclos convencionales a ciclos eléctricos, a través de la instalación de *kits* de conversión, incluyendo el mantenimiento del producto.

MakanaBikes ganó el concurso de la Agencia de Sostenibilidad Energética para ser el proveedor único del programa piloto de reemplazo de bicicletas 2T, bicicletas con motores a combustión, a bicicletas eléctricas, con el primer modelo diseñado para repartidores, denominado “Delivery Satu”. Al informarse las necesidades del sector y la demanda existente, la empresa busca diversificarse para ser una empresa que también ofrezca flotas de bicicletas eléctricas para el segmento *delivery*.

MakanaBikes no posee antecedentes del segmento específico, y los requiere para diseñar un producto que responda a las necesidades particulares de los repartidores. Para ello se realizaron encuestas a repartidores, mediciones por jornada del uso de la batería de la Delivery Satu, se estudiaron los datos externos obtenidos por el GPS instalado en dicho vehículo, y se registraron los comentarios de los beneficiarios del piloto.

Los resultados obtenidos muestran que el sistema electromecánico, es decir, la batería, motor y controlador, son suficientes para las jornadas, y que los costos operativos del sistema son bajos, pero la bicicleta base en que se integra el sistema tiene oportunidades de mejora.

Basándose en la información obtenida, se diseñó una bicicleta eléctrica que responde a todas las necesidades registradas, sin mayores desventajas, se construyó un plan de mantenimiento que permite mantener la calidad del producto ante el uso intensivo sometido por parte los repartidores, y se comparó el diseño con una motocicleta eléctrica y otra a combustión, utilizadas para hacer reparto.

*A mis padres, que me han dado su esfuerzo y su tiempo.*

# Agradecimientos

A mis padres, amigos y cercanos, a José Ignacio de MakanaBikes y a Pamela Mora de la Agencia de Sostenibilidad Energética por entregarme la oportunidad. También quiero mencionar a todas las personas, a quienes he visto y a quienes no, que se han esforzado y han permitido construir el presente en que escribo esta frase, que me han dado la oportunidad de crecer y vivir.

**Muchas gracias.**

# Tabla de Contenido

<b>1. Formulación del problema</b>	<b>1</b>
1.1. Contexto en Chile . . . . .	1
1.2. <i>Start-Up</i> MakanaBikes . . . . .	2
1.3. Objetivos . . . . .	4
1.3.1. Objetivo general . . . . .	4
1.3.2. Objetivos específicos . . . . .	4
<b>2. Marco teórico y estado del arte</b>	<b>5</b>
2.1. Bicicletas eléctricas . . . . .	5
2.1.1. Cuadro . . . . .	6
2.1.1.1. Suspensión trasera . . . . .	7
2.1.2. Sistema de dirección . . . . .	8
2.1.2.1. Suspensión delantera . . . . .	8
2.1.3. Tracción . . . . .	8
2.1.4. Sistema de transmisión . . . . .	9
2.1.5. Cambios de marcha . . . . .	10
2.1.6. Sistema de frenado . . . . .	11
2.1.7. Servicios complementarios . . . . .	12
2.1.8. Sistema electromecánico . . . . .	13
2.1.8.1. Batería . . . . .	14
2.1.8.2. Motor . . . . .	16
2.1.8.3. Controlador . . . . .	18
2.1.9. Normativas . . . . .	18
2.2. Estado del arte . . . . .	19
<b>3. Adquisición de antecedentes</b>	<b>21</b>
3.1. Encuesta exploratoria . . . . .	21
3.2. Prueba de concepto de BE . . . . .	23
3.2.1. Modelo Delivery Satu de MakanaBikes . . . . .	23
3.2.2. Mediciones de uso de la batería del modelo Delivery Satu . . . . .	39
3.2.3. Mediciones del uso real del modelo Delivery Satu . . . . .	43
3.2.4. Mantenciones preventivas de las BE Delivery Satu . . . . .	53
3.2.5. Comentarios de los beneficiarios en la prensa . . . . .	54
3.3. Modelo de carga de la batería . . . . .	55
<b>4. Diseño de la Bicicleta eléctrica</b>	<b>58</b>
4.1. Metodología . . . . .	58
4.2. Justificación del sistema electromecánico . . . . .	59

4.3. Bicicleta a ser convertida . . . . .	61
4.4. Mantenimiento de la BE . . . . .	66
4.5. Ficha técnica de la BE diseñada . . . . .	67
<b>5. Conclusiones</b>	<b>71</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>74</b>

# Índice de Tablas

2.1.	Tamaño típico del rotor para distintos tipos de bicicletas [22]. . . . .	12
2.2.	Ventajas y desventajas de las ubicaciones de los motores [24]. . . . .	14
2.3.	Valores típicos de baterías en BE [23]. . . . .	16
3.1.	Autonomía estimada dado un nivel de asistencia seleccionado. Elaboración propia.	33
3.2.	Especificaciones bicicleta base de la BE Delivery Satu. Elaboración propia. . .	34
3.2.	Especificaciones bicicleta base de la BE Delivery Satu. Elaboración propia. . .	35
3.3.	Especificaciones batería de la BE Delivery Satu. Elaboración propia. . . . .	36
3.3.	Especificaciones batería de la BE Delivery Satu. Elaboración propia. . . . .	37
3.4.	Especificaciones cargador de la BE Delivery Satu. Elaboración propia. . . . .	37
3.5.	Especificaciones motor de la BE Delivery Satu. Elaboración propia. . . . .	38
3.6.	Mediciones de la pantalla de la Delivery Satu de los beneficiarios. Elaboración propia. . . . .	39
3.7.	Cálculos de las mediciones de la pantalla de los beneficiarios. Elaboración propia.	40
3.8.	Estadísticas de mediciones y cálculos respecto al uso de la batería. Elaboración propia. . . . .	40
3.9.	Estimación del costo operativo bajo conducciones reales de la BE Delivery Satu. Elaboración propia. . . . .	41
3.10.	Estimación de la autonomía máxima posible bajo conducciones reales de la BE Delivery Satu. Elaboración propia. . . . .	41
3.11.	Cálculos de costos de recarga entre jornadas. Elaboración propia. . . . .	43
3.12.	Estadísticas de costo de recarga entre jornadas. Elaboración propia. . . . .	43
3.13.	Distancia recorrida a fecha de mantención. Elaboración propia. . . . .	53
3.14.	Estadísticas de cálculo de tiempo de recarga completa. Elaboración propia. . .	57
4.1.	Estimación de costos operativos de los beneficiarios. elaboración propia. . . . .	60
4.2.	Comparación entre BE diseñada y Delivery Satu. Elaboración propia. . . . .	66
4.3.	Especificaciones bicicleta base de la BE diseñada. Elaboración propia. . . . .	67
4.3.	Especificaciones bicicleta base de la BE diseñada. Elaboración propia. . . . .	68
4.3.	Especificaciones bicicleta base de la BE diseñada. Elaboración propia. . . . .	69
4.4.	Especificaciones de BE diseñada, Niu NQi Sport y Bajaj Pulsar NS125. Elabo- ración propia. . . . .	70

# Índice de Ilustraciones

2.1.	Rotulación de los sistemas de una BE. Elaboración propia. . . . .	5
2.2.	Estructura de un cuadro diamante [11]. . . . .	6
2.3.	Estructura de un cuadro step through. Elaboración propia. . . . .	6
2.4.	Ángulos de la espalda y hombros para distintos tipos de cuadros y manillares [12].	7
2.5.	Amortiguación por suspensión trasera [13]. . . . .	7
2.6.	Partes del sistema de dirección. Elaboración propia. . . . .	8
2.7.	Estructura de la rueda de una bicicleta [15]. . . . .	9
2.8.	Estructura de la rueda de una bicicleta. Elaboración propia. . . . .	10
2.9.	Interior transmisión interna [20]. . . . .	11
2.10.	Diagrama de bloques de una bicicleta eléctrica. Elaboración propia. . . . .	13
2.11.	Localización del motor en bicicletas eléctricas. (a) Eje rueda trasera. (b) Eje rueda delantera. (c) Eje de los pedales [23]. . . . .	13
2.12.	Arreglos de celdas en serie y en paralelo [28]. . . . .	15
2.13.	Diagrama de bloques de un BMS [23]. . . . .	15
2.14.	Diagrama de un BLDC. [31]. . . . .	17
2.15.	Corte transversal del montaje de los polos en el rotor. (a) Imán permanente montado superficialmente (b) Imán permanente interior (c) Imán permanente interior radial [23]. . . . .	17
2.16.	Diagrama de control FOC [35]. . . . .	18
2.17.	ALBOIN MAN ALIVIO 9 de Gepida [40]. . . . .	19
2.18.	equipo de conversión Bafang <i>ecargo</i> . a) Motor m620. b) Batería BT F22.960.C. c) Controlador DP C244/245.CAN [41]. . . . .	20
2.19.	Modelo <i>Zero</i> de Zoomo [43]. . . . .	20
3.1.	Género registrado de los encuestados. Elaboración propia. . . . .	22
3.2.	Frecuencia de las especificaciones mencionadas por los encuestados. Elaboración propia. . . . .	22
3.3.	Modelo Delivery Satu de MakanaBikes. Elaboración propia. . . . .	23
3.4.	Diercción del modelo Delivery Satu de MakanaBikes. Elaboración propia. . . .	24
3.5.	Transmisión Delivery Satu. Elaboración propia. . . . .	25
3.6.	Luces Delivery Satu. Elaboración propia. . . . .	26
3.7.	Componentes del sistema electromecánico del modelo delivery Satu. . . . .	26
3.8.	Celda y arreglo en el modelo DP9 [46]. . . . .	27
3.9.	Dimensiones Batería y base Reention DP9 [46]. . . . .	28
3.10.	Celda y arreglo en el modelo DP9. Elaboración propia. . . . .	28
3.11.	Gráfica desmontaje batería. Elaboración propia. . . . .	29
3.12.	Cargador Wuxi D-Power Dplc110v55 [49]. . . . .	29
3.13.	Luces de estado del cargador. Elaboración propia. . . . .	30
3.14.	Dimensiones pedalier Motor Bafang [50]. . . . .	30

3.15.	Diagrama de conexiones del motor del modelo Delivery Satu. Elaboración propia.	31
3.16.	Ubicación del sensor de velocidad en la Delivery Satu [50]. . . . .	31
3.17.	Ubicación del acelerador en la Delivery Satu. Elaboración propia . . . . .	32
3.18.	Pantalla DP C18. Elaboración propia. . . . .	32
3.19.	Control Pantalla DP C18. Elaboración propia . . . . .	33
3.20.	Gráfico y tendencia lineal de energía utilizada versus distancia total recorrida. Elaboración propia. . . . .	42
3.21.	Mediciones GPS 433 22/11. Elaboración propia. . . . .	44
3.22.	Mediciones GPS 675 24/11. Elaboración propia. . . . .	45
3.23.	Mediciones GPS 675 29/11. Elaboración propia. . . . .	46
3.24.	Mediciones GPS 632 22/11. Elaboración propia. . . . .	47
3.25.	Mediciones GPS 632 25/11. Elaboración propia. . . . .	48
3.26.	Gráfico de cajas y bigotes GPS 433 22/11. Elaboración propia. . . . .	49
3.27.	Gráfico de cajas y bigotes GPS 675 24/11. Elaboración propia. . . . .	50
3.28.	Gráfico de cajas y bigotes GPS 675 29/11. Elaboración propia. . . . .	51
3.29.	Gráfico de cajas y bigotes GPS 632 22/11. Elaboración propia. . . . .	52
3.30.	Gráfico de cajas y bigotes GPS 632 25/11. Elaboración propia. . . . .	52
3.31.	María Roa en la publicación de LUN [51]. . . . .	54
3.32.	Simulación de carga completa de la batería con el cargador [53]. . . . .	55
3.33.	Proceso de carga de la batería Reention DP9 con el cargador Wuxi D-Power Dplc110v55. Elaboración propia. . . . .	56
4.1.	Metodología propuesta. Elaboración propia. . . . .	58
4.2.	Cube Touring One easy entry [55]. . . . .	61
4.3.	Medidas cuadro Cube Touring One easy entry. . . . .	62
4.4.	Tubo inferior Cube Touring One easy entry. Elaboración propia. . . . .	62
4.5.	Manillar Cube Touring One easy entry [57]. . . . .	63
4.6.	Cambios Cube Touring One easy entry [57]. . . . .	64
4.7.	Sensor de freno hidráulico kit Bafang [50]. . . . .	64
4.8.	Luces traseras y parrilla Cube Touring One easy entry [55]. . . . .	65

# Capítulo 1

## Formulación del problema

### 1.1. Contexto en Chile

Las bicicletas son medios de transporte accesibles, en cuanto a su costo, mantención y operación. Al requerir un diseño más simple que otros vehículos livianos y al no necesitar documentos para conducir. Por otra parte, no producen emisiones de gases de efecto invernadero por la combustión directa de algún combustible, ya que son vehículos impulsados por el esfuerzo del conductor. Luego, impulsar el uso de la bicicleta como vehículo preferencial es una estrategia a favor de los esfuerzos en contra del efecto invernadero y del cambio climático.

En [1] se ha mostrado que la disminución de consumo energético de una persona de 80 [kg] y de la misma persona en bicicleta llevando la misma carga por el mismo trayecto es de 0.8717 y 0.1743 [Wh/gm/km], respectivamente. Agregando a lo anterior, una bicicleta eléctrica (BE) consume, típicamente, 9-10 [wh/km] de asistencia [2], permitiendo al conductor recorrer más distancia para el mismo nivel de consumo energético, o recorrer el mismo trayecto con menor esfuerzo físico.

Resulta natural la idea de convertir, integrando motores eléctricos, baterías y un sistema de control, la bicicleta común a una BE. De esta manera se logra asistir los esfuerzos del conductor de la bicicleta para incentivar aún más su uso, junto con no producir gases de efecto invernadero directamente al conducir.

En Chile, según los datos del Ministerio de Transporte, se realizaron más de 1.644.070 viajes diarios en bicicleta durante 2021 [3]. En particular, Datavoz, registró el 2019 que 13.3 % de los encuestados ocupa la bicicleta para trabajar haciendo envíos. En cuanto a la comercialización de BE, en 2021 se vendieron más de tres mil bicicletas eléctricas, cifra que en 2022 crecería alrededor de un 30 % [4].

En Chile un repartidor en bicicleta puede llevar una carga máxima de 25[kg] en su espalda, según la Ley número 20949 [5]. Debido a que al aumentar el peso en el vehículo es requerido un mayor esfuerzo físico del repartidor, repetidamente y durante horas en una jornada diaria, resulta conveniente hacer el cambio a un vehículo que utilice bencina o energía almacenada en una batería para moverse.

El repartidor se enfrenta principalmente a tres opciones de mejora, nombradas de menor

a mayor costo de adquisición promedio: BE, motocicleta a combustión y motocicleta eléctrica.

Una motocicleta a combustión es la primera opción, pero su costo de adquisición es mayor que la BE y se requieren documentos para su conducción. La obtención de los documentos termina aumentando el costo y el tiempo en el cual el repartidor puede empezar a utilizar el vehículo para realizar su labor. La BE es la segunda opción para los repartidores, ya que no requiere documentos para su conducción, pero no se tiene conocimiento de la autonomía real del vehículo. En consecuencia, se tiene la constante preocupación de quedar sin carga durante la jornada de trabajo o tener que pasar varios minutos esperando a que la batería se recargue, impidiendo cumplir su labor y disminuyendo sus ingresos. Lo mismo sucede para las motocicletas eléctricas, sumando un costo de adquisición mayor y barreras por los documentos para la conducción.

No obstante, los repartidores hacen también la conversión a una bicicleta con motor a combustión de dos tiempos (2T). La bicicleta 2T, también llamada bicicleta mosquito, tiene un motor que no está homologado por las autoridades en Chile, debería utilizar una licencia clase C y requiere de una patente para su conducción. Los motores de la bicicleta mosquito se instalan de forma informal en la ciudad. Otro aspecto importante es que, la bicicleta 2T emite una cantidad elevada de hidrocarburos no quemados, 22 veces mayor a lo permitido por la norma y 200 veces lo emitido por un automóvil pequeño, que son compuestos cancerígenos, y emite el doble de CO permitido por la ley, en promedio. Finalmente, el ruido que genera el motor al ser utilizado es de 80[dB], 2.5 veces mayor que el de un camión mediano [6]. Dado lo anterior se fiscalizan las bicicletas mosquito como todo vehículo que no cumple las normativas pertinentes.

## 1.2. *Start-Up* MakanaBikes

Basándose en la idea de convertir bicicletas a BE se crea la *start-up* MakanaBikes, la cual se desempeña en el diseño y ensamble de equipos, o *kits*, de conversión para ciclos eléctricos. MakanaBikes tiene 3 años de experiencia y funcionamiento, lleva más de 200 ciclos particulares convertidos sin ningún retorno, y llevando a cabo las mantenciones y reparos necesarios para mantener la calidad de sus productos.

La *start-up* con la experiencia adquirida, componentes y un precio competitivo de modelo de BE, postuló y ganó el concurso para selección del proveedor único bicicletas eléctricas para “Piloto de reemplazo de bicicletas contaminantes por bicicletas eléctricas en el segmento *delivery*” de la Agencia de Sostenibilidad Energética (AGSE). El piloto busca validar, en la Región Metropolitana, la tecnología de las BE como alternativa a las bicicletas con motor de combustión de 2 tiempos para el segmento *delivery* [7].

Esta es la primera oportunidad en que a la empresa se le solicita una flota de un modelo de BE, por lo que se diseñó el modelo que maximice la autonomía, que ocupará componentes ya utilizados de calidad y confianza, de baja mantención y al menor costo posible.

Al hacer propaganda *in situ* del concurso para selección de beneficiarias/os para “Piloto

de reemplazo de bicicletas contaminantes por bicicletas eléctricas en el segmento delivery” de la AGSE [8], MakanaBikes observó no solo una gran cantidad de interesados, sino también, se identificó varios problemas que enfrentan las personas con bicicletas mosquito, tales como:

- Fiscalización por parte de las autoridades, ya que el vehículo no está homologado y para manejar la bicicleta mosquito es necesario que esta tenga patente y licencia de conducir clase C al ser considerada una motocicleta bajo la ley en Chile.
- Alto uso de combustible, principalmente debido al diseño del motor de 2 tiempos y por su ensamblaje. Se estima un costo promedio de 5000[CLP] en combustible por jornada.
- Peso elevado del vehículo y necesidad de pedalear para empezar la marcha del vehículo.
- Mala calidad de la instalación y constante necesidad de hacer reparos.
- Mal olor, debido a la filtración de bencina en el motor 2T.
- Alto nivel de ruido que produce el motor, lo que puede provocar problemas auditivos en el conductor y molestias a actores cercanos.
- Molestias físicas, debido a las vibraciones del motor en marcha, junto con el peso de algunos pedidos que debe ser soportado por la mochila en la espalda al conducir. Esto puede derivar en trastornos musculoesqueléticos para el conductor en el mediano a largo plazo.
- Bajo estado del ánimo, al no sentirse bienvenida/o debido al vehículo que maneja y a la suciedad que impregna en el conductor.

Cabe destacar que los repartidores en bicicleta 2T están en un contexto incómodo al tratar de construir una conversación con ellos para promocionar el concurso. Esto ocurre debido a la poca confianza ante personas fuera de su círculo y el miedo a que se les fiscalice la bicicleta mosquito, lo que se traduce en perder su herramienta de trabajo.

En este sentido, MakanaBikes divisó la oportunidad de ofrecer una solución a través de la BE. En otras palabras, la situación actual de la *start-up* contra la situación que busca ser, o GAP, es la de diversificarse de una que solamente instala *kits* de conversión para bicicletas comunes, ensamblando la batería, motor y controlador, a ser una empresa que pueda entregar flotas de bicicletas eléctricas para repartidores u otros segmentos donde se requiera volumen. Para ello busca crear un modelo propio de BE, destinado al segmento de última milla, basándose en el estudio de las necesidades del sector tal de hacer un servicio/producto centrado en el cliente, en vez de la metodología aplicada para el concurso de la AGSE.

El diseño debe considerar no solo los elementos y componentes que forman la BE, sino también un programa de mantenciones que permita al vehículo mantener su calidad de conducción ante el gasto de sus componentes, y una estimación del período tiempo o distancia recorrida en necesario cambiar un componente y así prevenir su falla.

Es importante mencionar que MakanaBikes, al tener conocimiento adquirido de los más de 200 ciclos eléctricos que ha convertido, solo se posee una estimación aproximada de la autonomía, en kilómetros, de la BE. No se ha considerado un sistema GPS que recopile data de seguimiento del uso de la BE, en consecuencia, no se posee una estimación de la autonomía

de la BE conducida por un repartidor. Es por ello, que se busca tener data de la conducción de los repartidores en proyecto piloto de la AGSE. Con la data se espera hacer una aproximación, basada en mediciones reales, de la autonomía de la BE con el sistema electromecánico y tener mayor certeza al momento de ofrecer sus servicios.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

El objetivo general del trabajo es diseñar un modelo de BE, con la ficha técnica de componentes y rendimiento, destinada al solucionar los problemas que enfrentan el segmento de repartidores.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Tal de cumplir con el objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Estudio del segmento objetivo y sus necesidades.
- Analizar la información del proyecto piloto “Mi bicicleta eléctrica delivery” y del modelo Delivery Satu.
- Diseñar la BE y seleccionar sus componentes, en base los requerimientos de la encuesta y los aprendizajes del piloto.
- Crear un programa de mantenciones y de vida útil de los componentes móviles que mantenga la calidad de la conducción.

# Capítulo 2

## Marco teórico y estado del arte

### 2.1. Bicicletas eléctricas

Una bicicleta se puede descomponer en los siguientes sistemas/elementos según [9], para una BE se considera, adicionalmente, el sistema electromecánico que asiste al conductor. La figura 2.1 muestra una visualización de los elementos generales que conforman cada sistema.

1. Cuadro
2. Sistema de dirección
3. Tracción
4. Sistema de transmisión
5. Cambios de marcha
6. Frenos
7. Servicios complementarios
8. Sistema electromecánico



Figura 2.1: Rotulación de los sistemas de una BE. Elaboración propia.

### 2.1.1. Cuadro

El sistema estructural es el encargado de soportar las fuerzas ejercidas sobre la bicicleta, dar lugar de montaje al resto de elementos que la componen y fijar el tamaño del vehículo. La geometría del cuadro se diseña específicamente para los distintos ambientes en que se va a utilizar el vehículo. Los cuadros más comunes son el diamante, el cual consiste en dos triángulos que comparten uno de sus lados, y el *step through* el cual omite el tubo superior [10]. Las figuras 2.2 y 2.3 rotulan los tubos de un cuadro diamante y presentan la estructura del cuadro *step through*.

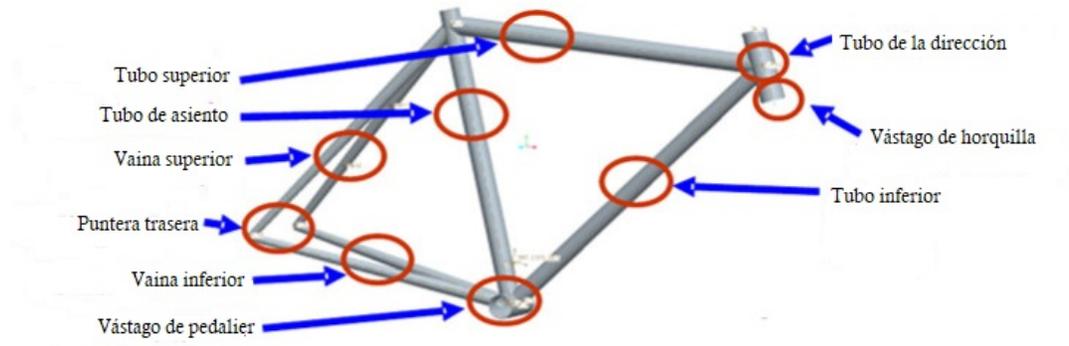


Figura 2.2: Estructura de un cuadro diamante [11].



Figura 2.3: Estructura de un cuadro *step through*. Elaboración propia.

El diseño del cuadro, junto con la altura del sillín y del manillar, definen el ángulo formado entre los hombros, la cadera y la espalda recta. La figura 2.4 presenta los distintos ángulos de espalda y hombros en 5 bicicletas.

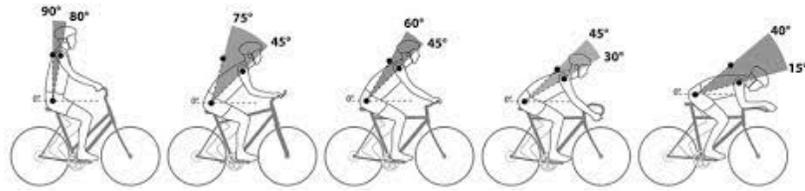


Figura 2.4: Ángulos de la espalda y hombros para distintos tipos de cuadros y manillares [12].

A mayores ángulos se obtiene una conducción más relajada, y, en consecuencia, menores velocidades, siendo el cuadro *step through* la configuración que permite dicha conducción. Por contra parte, la configuración diamante permite ángulos más aerodinámicos y que incentivan al conductor a ir con mayor rapidez.

Hoy en día, la mayoría de los cuadros son hechos de aleaciones de aluminio, acero, titanio o fibra de carbono. El aluminio tiene la ventaja de una mejor relación peso-fuerza en comparación al acero, pero el acero tiene mayor fuerza estructural. El titanio ofrece la mayor fuerza estructural y resistencia a la corrosión, con la desventaja de ser más costoso en comparación al aluminio y acero. La fibra de carbono es un compuesto no metálico utilizado por su bajo peso, fuerza estructural y capacidad tomar casi cualquier forma. Al igual que el titanio su costo es elevado.

#### 2.1.1.1. Suspensión trasera

Otro aspecto del cuadro es que define la suspensión trasera de la bicicleta. La suspensión está formada por un amortiguador de resorte entre el tubo inferior o superior, y un pivote en el tubo de asiento conectado con la vaina superior. Son más utilizados en cuadros tipo diamante para terrenos técnicos y de descenso.

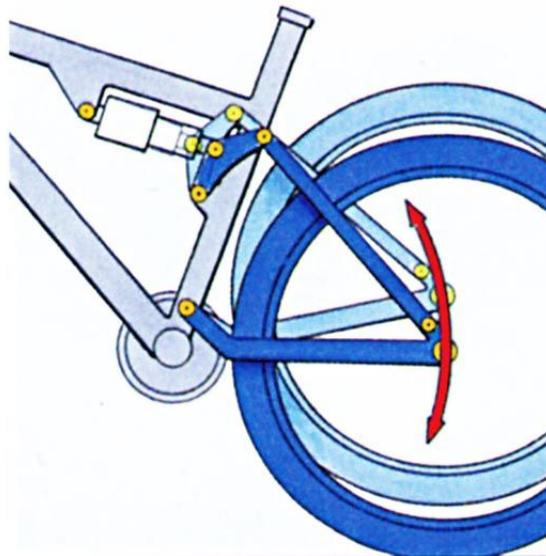


Figura 2.5: Amortiguación por suspensión trasera [13].

## 2.1.2. Sistema de dirección

Sistema que permite maniobrar y dirigir la bicicleta, siendo el elemento principal del sistema el manillar. Existen distintos manillares para distintos terrenos, como carretera, ciudad o montaña. El manillar conecta a la horquilla mediante la tee, pieza que junto con el juego de cabezales fija la altura del manillar. El manillar, junto con el cuadro y el asiento, fija el ángulo de la espalda del conductor, a mayor altura del manillar mayor ángulo de espalda. La horquilla delantera limita el tamaño de la rueda delantera y el tipo de freno delantero.

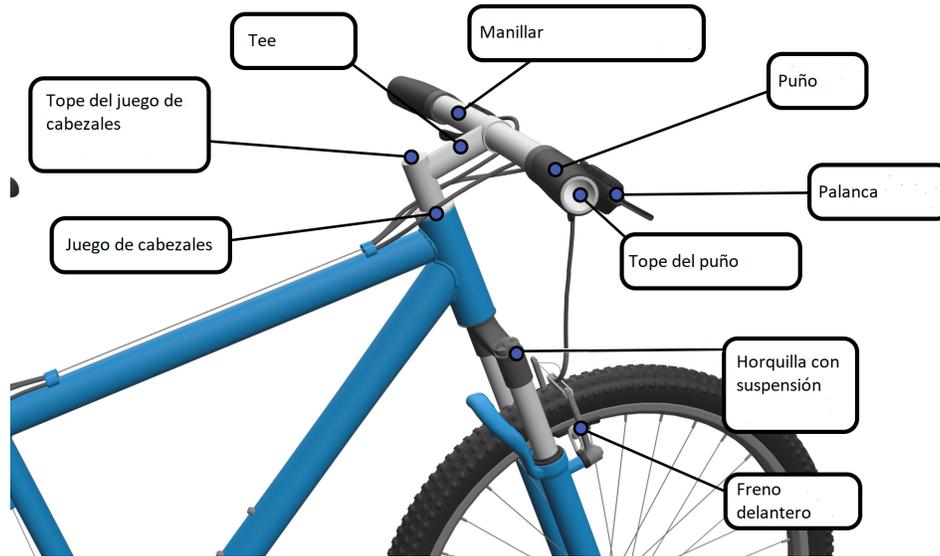


Figura 2.6: Partes del sistema de dirección. Elaboración propia.

### 2.1.2.1. Suspensión delantera

Se puede considerar una suspensión delantera al agregar una pieza telescópica a la horquilla. La suspensión delantera es utilizada para amortiguar baches en terrenos planos, donde el recorrido de la horquilla es entre 60 a 100[mm], y, especialmente, al conducir cuesta abajo, en terrenos más técnicos el recorrido de la horquilla puede llegar a los 200[mm] [14]. La figura 2.6 rotula los elementos presentes en el sistema de dirección.

## 2.1.3. Tracción

El sistema considera las ruedas de la bicicleta por completo. La rueda está compuesta por un buje, neumáticos, llantas y radios. La figura 2.9 rotula los elementos que forman la rueda de una bicicleta.

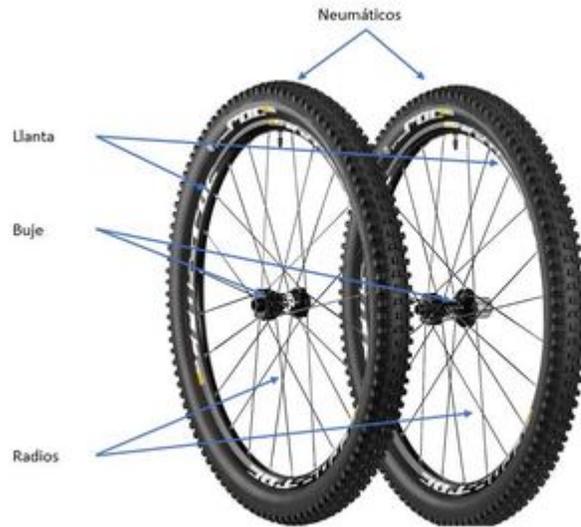


Figura 2.7: Estructura de la rueda de una bicicleta [15].

El buje es el elemento central que permite que la rueda se fije en un eje y no desvíe al girar. Es sujetado en las punteras del cuadro, utilizando una brocheta *quick release*, que permite fijar y quitar la rueda con facilidad. Los rodamientos de los bujes suelen estar sellados dentro del mismo, sin embargo, existen modelos con rodamientos sueltos para disminuir el peso de la pieza.

Los neumáticos, llantas y radios se clasifican por el terreno primario en que se diseñan. En este sentido existen 3 tipos: pista, montaña o urbanos. Para las ruedas de pista se consideran llantas y radios de aluminio o de fibra de carbono para reducir el peso y un diseño más aerodinámico, donde los radios se ubican en ángulos más cerrados, resultando en una rueda más delgada, los tamaños son usualmente de 650b o 700c [16]. Los neumáticos de ruedas de pista son no poseen tacos en su patrón de agarre y usualmente se inflan a altas presiones.

Las ruedas de montaña, en contraste, permiten ángulos mayores para los radios, tal de obtener una superficie mayor que amortigüe impactos mayores. Las llantas y radios son de los mismos materiales que en las ruedas de pista, pero los tamaños de las ruedas son de 26, 27.5 y 29 pulgadas y el ancho es desde las 2 a 2.6 pulgadas, a mayor tamaño mayor amortiguación y mayor peso [17]. Los neumáticos poseen tacos que permiten mayor tracción en terrenos técnicos y se inflan a presiones más bajas que los neumáticos de pista.

Las ruedas urbanas buscan ser un punto intermedio entre las ruedas de pista y las de montaña. Utilizan medidas de tamaño de ruedas de pista y poseen tacos de menor largo, en comparación con los de montaña.

#### 2.1.4. Sistema de transmisión

Es el sistema encargado de transmitir la fuerza que ejerce un conductor al pedalear a torque en las ruedas. El *crankset* es el grupo de partes que conforman el sistema, siendo dichas partes los pedales, bielas, pedalier, cadena y platos delantero y trasero. La figura 2.9 rotula

las partes que forman el sistema de transmisión.

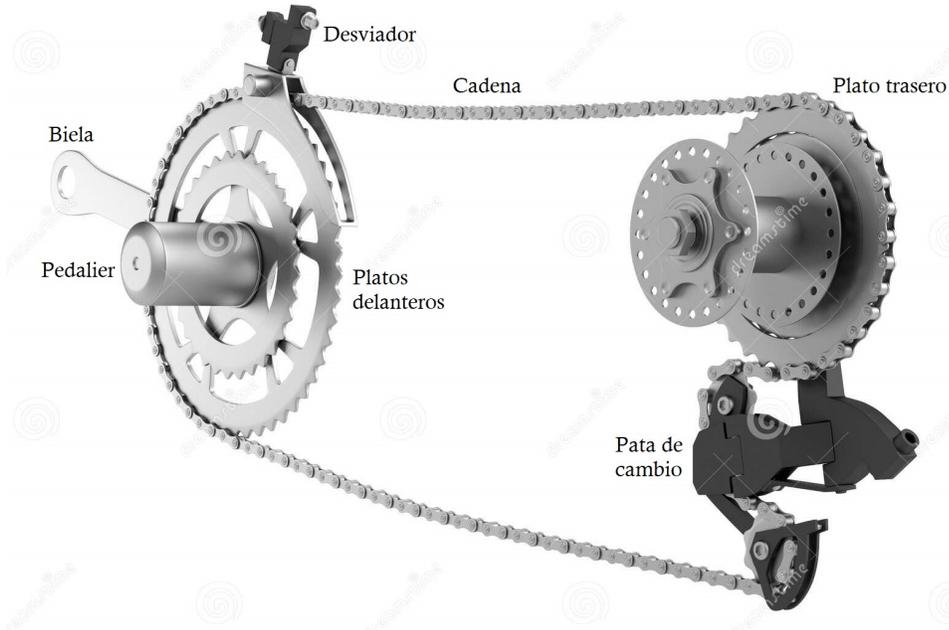


Figura 2.8: Estructura de la rueda de una bicicleta. Elaboración propia.

Los pedales, bielas y plato delantero se ubican en el pedalier de la bicicleta, mientras que el plato trasero está en el eje de la rueda trasera. La cadena transmite el torque desde los pedales en el plato delantero a torque en el plato trasero. Cabe destacar que una correa puede cumplir la función de la cadena en el sistema. La correa está fabricada de materiales sintéticos por lo que no es oxidable, no es necesaria su lubricación y tienen una mayor vida útil, la principal desventaja de la correa es su mayor costo [18]. Las bielas y plato delantero pueden rotar en el pedalier, el cual se fija en el cuadro con los husillos dentro del pedalier, mientras que el plato trasero está fijo en la rueda trasera.

### 2.1.5. Cambios de marcha

El sistema de cambios permite cambiar el engranaje, o multiplicador de fuerza, que se produce entre el plato delantero y el plato trasero. Los sistemas de cambio son elegidos por el tipo de inclinaciones en que se va a conducir y pueden ir desde una única relación de fuerza a varias relaciones distintas a escoger.

De la misma manera que en sistema de frenado, el sistema de cambios está compuesto por una parte al alcance del conductor y otra que ejecuta el mecanismo. La primera parte consiste, generalmente, de un sistema de palancas que aplica esfuerzo sobre una piola. La segunda parte consiste en un desviador, debido a su diseño simple, ligero y eficiente, el cual mueve la posición de la cadena tal de quedar alineado con otro plato en un *cassette*.

El rango entre la marcha del plato más pequeño al plato más grande en el *cassette* es define mediante un porcentaje. Es decir, una marcha de 200% permite avanzar en la marcha más

elevada 2 veces más en comparación de la marcha más baja. La forma más simple de calcular el rango es tomando la relación entre los dientes más grandes y más pequeños del *cassette* delantero, multiplicando por la misma relación en el *cassette* trasero [19].

En el *cassette* delantero a menor cantidad de dientes, menos esfuerzo se tiene que ejercer para avanzar la bicicleta. El *cassette* trasero es el viceversa de la lógica en el *cassette* delantero. Luego aumentar la marcha en el eje de los pedales implica cambiar a un plato con más dientes y aumentar la marcha en el eje trasero implica cambiar a un plato con menos dientes.

El mecanismo de cambios puede estar contenido en la masa de la rueda, este tipo se conoce como transmisión interna. El principal beneficio es la menor mantención necesaria, pero la desventaja es el mayor peso y costo [20].

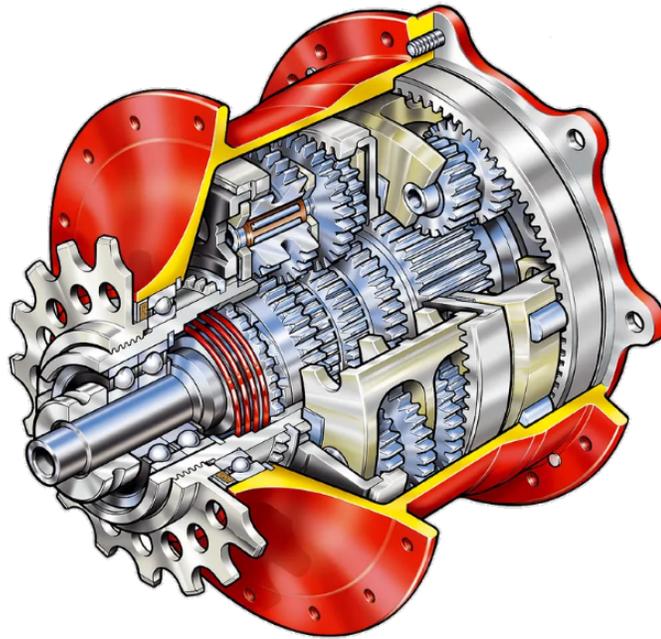


Figura 2.9: Interior transmisión interna [20].

### 2.1.6. Sistema de frenado

El sistema de frenado permite mantener, disminuir gradualmente o detener la velocidad del vehículo. El sistema consiste de 2 partes, una que está al alcance del conductor y otra que aplica el mecanismo de frenado en la rueda. La primera parte es más simple, como una palanca que hace esfuerzo sobre una piola o sobre un fluido a presión. La segunda parte consiste generalmente de un caliper que genera fricción, a través de una pastilla de freno, sobre la superficie de la rueda o sobre un disco.

En el presente se prefieren frenos de disco, por sobre los de llanta, debido a que el disco se ubica en el eje de la rueda y lejos de la suciedad de la superficie, porque está diseñado de forma en que pueda disipar el calor generador con la fricción y porque no gasta la superficie de la llanta. Las desventajas de los frenos de disco se deben principalmente a su mayor costo y a que requieren una horquilla y caliper diseñado a medida [21].

Los frenos de discos pueden ser mecánicos o hidráulicos. Los mecánicos transmiten la señal de freno a través de una piola, mientras que los hidráulicos a través de la presión de un fluido. El disco, o rotor, puede tener distintos radios y diseños según su uso primario. Los tamaños van desde los 140 a 220 mm de radio, a mayor tamaño más calor puede absorber el disco antes de que se pierda la fricción, y están generalmente hechos de acero inoxidable con agujeros colocados para disipar el calor. En general se busca un equilibrio entre el tamaño, peso de la bicicleta y sensibilidad de los frenos para cada tipo de bicicleta [22]. En la siguiente tabla se presenta los tamaños típicos para distintos tipos de bicicletas. La tabla 2.1 presenta los tamaños típicos de rotor una variedad de bicicletas.

Tabla 2.1: Tamaño típico del rotor para distintos tipos de bicicletas [22].

<b>Tipo de bicicleta</b>	<b>140mm</b>	<b>160mm</b>	<b>180mm</b>	<b>200mm+</b>
<b>Calle</b>	X	X		
<b>Gravilla</b>	X	X		
<b>XC</b>	X	X		
<b>Downcountry</b>		X	X	
<b>Trail</b>		X	X	X
<b>Eléctrica</b>		X	X	X
<b>Enduro</b>			X	X
<b>Descenso</b>				X

Las patillas de freno son de un material metálico, de resina o mixtas. Los metálicos duran más y son más consistentes ante ambientes extremos, los de resina poseen una mejor repuesta inicial y son más silenciosos. Los mixtos incluyen partículas metálicas en la resina para obtener más durabilidad y consistencia, pero su costo de adquisición es el más alto.

### 2.1.7. Servicios complementarios

Sistemas que son parte de la bicicleta, pero que no son fundamentales para el funcionamiento mecánico, pero sí utilidad para el conductor. Entre ellos se encuentran: sillín, luces, parrilla, tapa-barros y pata.

El ancho del sillín es mayor para ángulos de espalda mayores, mientras que los más angostos son utilizados en bicicletas de pista. Las luces en la bicicleta siguen los mismos estándares que en otros vehículos, delanteras blancas y traseras negras, si suelen estar diseñadas de un material reflectante. Existen parrillas de carga delanteras y traseras que se añaden directamente en el marco, es por esta razón que varios fabricantes ya consideran espacios para el encaje, debido a la distribución de peso, la parrilla trasera permite llevar una mayor cantidad de carga. Los tapa-barros, o guardapolvos, son utilizados para proteger las partes móviles de la lluvia, polvo o suciedad del ambiente que pueda afectar el funcionamiento. Finalmente, la pata es una pieza que permite mantener la bicicleta sobre sus ruedas al estar detenida.

## 2.1.8. Sistema electromecánico

El sistema electromecánico de una BE se puede resumir en el siguiente diagrama de bloques presentado en la figura 2.10

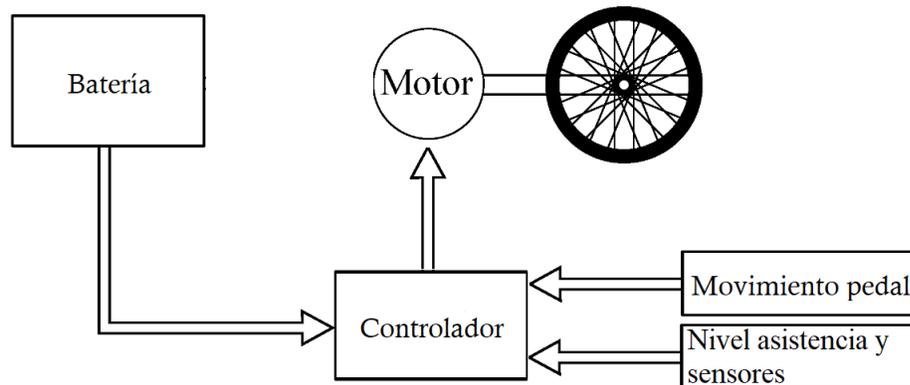


Figura 2.10: Diagrama de bloques de una bicicleta eléctrica. Elaboración propia.

El diagrama presentado considera una batería, que mantiene suministro eléctrico de forma autónoma, un motor que asiste torque a los pedales o giro a las ruedas, un controlador que permite el control de la cantidad de energía que acciona el motor, además, comunica la batería con el motor. Finalmente, se considera la fuerza aplicada en el pedaleo o en la palanca del acelerador como la variable que da inicio y funcionamiento al sistema.

Cuando el sistema asiste solamente al pedalear, se clasifica el sistema como *pedalec*. En dicho caso, la cantidad de torque suministrado por el sistema va a depender del esfuerzo del conductor, además son necesarios sensores de fuerza y/o velocidad para que el sistema funcione correctamente. El sensor de velocidad indica que el sistema se activa por la detección de rotación en alguna de las ruedas o en el *crankset*, mientras que el sensor de fuerza activa al detectar fuerza en el *crankset*. Ambas formas de activar el sistema *pedalec* pueden utilizarse en la misma BE, lo que se conoce como sistema mixto. En el caso de que el sistema asista mediante un motor accionado por un acelerador, independientemente de si se está moviendo los pedales o no, el sistema se clasifica como *power-on-demand*. Ambos sistemas pueden ser utilizados por la misma bicicleta en controles independientes si el caso lo requiere.

Otra clasificación importante es la ubicación del motor, el cual puede estar en el eje de alguna de las ruedas o en el eje de los pedales, como se ilustra en la figura 2.11

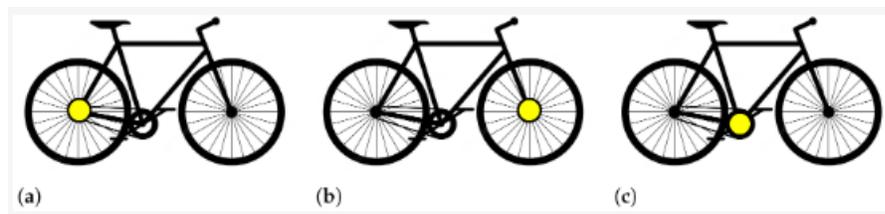


Figura 2.11: Localización del motor en bicicletas eléctricas. (a) Eje rueda trasera. (b) Eje rueda delantera. (c) Eje de los pedales [23].

En la tabla 2.2 se resumen las principales ventajas y desventajas de cada configuración.

Tabla 2.2: Ventajas y desventajas de las ubicaciones de los motores [24].

	Eje rueda trasera	Eje rueda delantera	Eje de los pedales
Ventajas	No posee problemas de patinaje de la rueda con el suelo ante pendientes.	Mantenimiento sencillo, al no ser necesario desmontar el sistema de pedaleo. Buen equilibrio de peso entre las ruedas trasera y delantera.	Genera el mejor equilibrio de peso entre las ruedas. Mantención de las ruedas sencilla. Motores más pequeños en tamaño. Mejor desempeño frente a pendientes ante el mismo torque producido.
Desventajas	Se genera un desbalance de peso más pronunciado entre la rueda trasera y la delantera, aplicándose más presión sobre la rueda trasera. Mantenimiento más complejo al tener que desmontar el motor y el sistema de pedaleo.	Frente a pendientes existe una mayor posibilidad de que la rueda delantera patine, lo que dificulta el control y manejo. En general, menor desempeño de potencia asistida en comparación.	Requiere un diseño a medida de la bicicleta, lo que aumenta su precio considerablemente.

Finalmente, se pueden clasificar las BE por el ambiente en el cual se diseñan. En este sentido la bicicleta puede ser urbana, de montaña o de carga, por lo que se requieren distintos marcos, sistemas de amortiguación, frenado y ruedas.

### 2.1.8.1. Batería

El módulo de batería es necesario en una BE tal de mantener energizado el resto del sistema en forma autónoma. A diferencia de otros vehículos eléctricos, el tamaño, peso y duración de la batería son elementos más críticos al ser la bicicleta un vehículo más simple y pequeño. Debido a lo anterior, se diseñan las baterías como una combinación de baterías más pequeñas conectadas en serie y paralelo, tal que se alcancen los parámetros de durabilidad, vida útil, voltaje, capacidad, tiempo de carga, peso y tamaño. Estas baterías pequeñas pueden ser diseñadas por distintas combinaciones como Plomo-ácido, hidruro de Níquel-metal o ion-Litio [25]. La más utilizada es una variación de la Plomo-ácido, la cual inmoviliza el electrolito, llamada *Valve Regulated Lead Acid* (VRLA) debido a su durabilidad, operación libre de mantenimiento, menor costo, naturaleza reciclable, madurez y confiabilidad de la tecnología de la batería [26].

No obstante, la introducción de regulaciones ambientales más estrictas, las baterías ion-Litio (LIB) han estado gradualmente reemplazando a las baterías que contienen Plomo. Otras razones por la cual se ha hecho la transición a LIB es por su menor peso, alto valor relativo de voltaje nominal (3.7[V]), alta densidad de potencia, eficiencia, baja descarga sin uso y gran vida útil, en general entre 800 a 1000 ciclos para que la carga máxima sea hasta el 80% de la capacidad inicial [27]. Una celda de voltaje nominal se indica que la zona plana de su descarga es alrededor de dicho voltaje, pero la celda va a alcanzar un valor mayor al estar completamente cargada y uno menor a estar completamente descargada. El tamaño de las celdas cilíndricas se resume en 5 dígitos, donde los dos primeros indican el diámetro de la celda y los últimos tres su largo, los tamaños más comunes son 21700 y 18650. El arreglo de celdas sigue la nomenclatura XSYP, con X la cantidad de celdas en serie e Y las que están conectadas en paralelo. A conectar las celdas en serie se aumenta el nivel de tensión del arreglo y se mantiene la capacidad, por el contrario, en un arreglo en paralelo se mantiene el nivel de tensión, pero se aumenta la capacidad [28]. Las figuras 2.12.a y 2.12.b presentan las viables que son modificadas en cada tipo de arreglo.

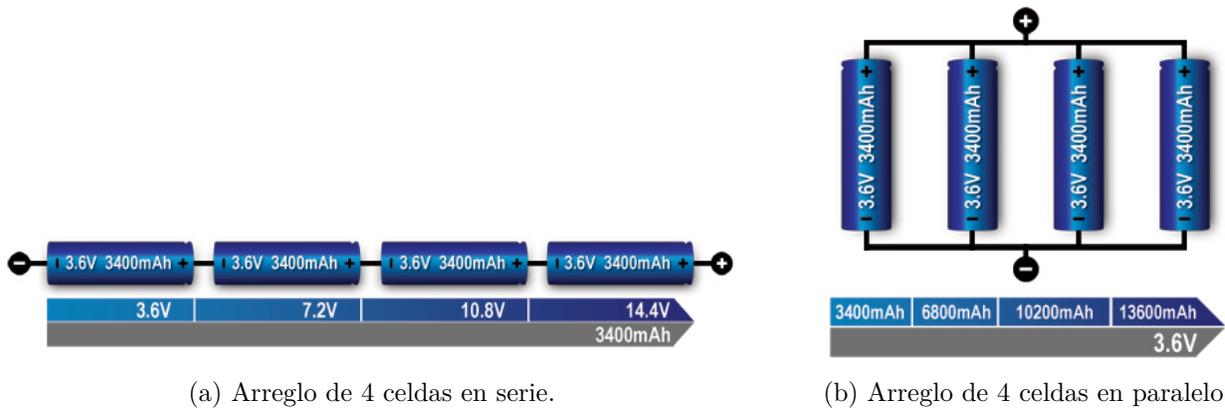


Figura 2.12: Arreglos de celdas en serie y en paralelo [28].

Para operar correctamente, es necesario coordinar las baterías pequeñas, pues si presenta un valor fuera de lo normal de voltaje, corriente o de alta temperatura, se debe detener completamente la carga o descarga del conjunto. Por lo anterior, se utiliza un sistema de gestión de baterías (BMS) que mide y regula los valores de voltajes y corrientes [29]. La figura 2.14 presenta las variables que son comunicadas en un sistema BMS.

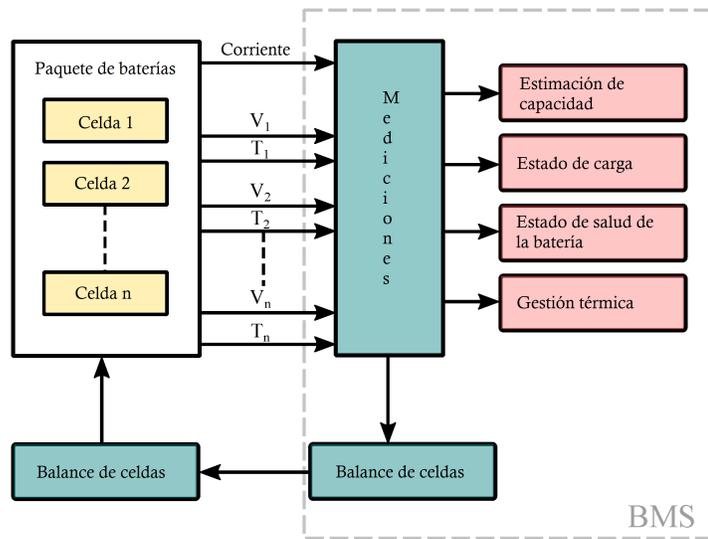


Figura 2.13: Diagrama de bloques de un BMS [23].

El balance de las variables que regula el BMS, se puede hacer de dos maneras, activa o pasiva. La forma pasiva ocupa resistencias para disipar excesos de energía, que se traducen en valores anormales de las variables a controlar, en forma de calor mediante resistencias. Este método es más sencillo y simple en su operación, pero menos efectivo y solo se puede utilizar durante el periodo de carga. La forma activa, utiliza condensadores e inductancias para suministrar energía desde baterías con exceso de energía a las con déficit, sin tener que disipar energía en forma de calor, aumentando la efectividad. El control activo se puede hacer mediante técnicas como *cell bypass*, *cell-to-cell*, *cell-to-pack* y *pack-to-cell*.

*Cell bypass* solo actúa en periodos de carga y cuando el estado de carga alcanza cierto nivel, pues consiste en hacer que la corriente de carga deje de circular por una batería que llega a cierto nivel de carga. *Cell-to-cell* busca hacer que una batería con menor carga reciba el exceso, o lo que le falte para llegar a un nivel normal, de las baterías adyacentes, lo cual hacer que el proceso tenga iteraciones y que sea más lento. *Cell-to-pack* es similar a *cell-to-cell*, solo que en este método la batería reparte su excedente equitativamente a todo el resto de baterías. *Pack-to-cell* es análogo a *cell-to-pack*, pero en este caso la batería con déficit recibe lo que le falta del resto de baterías en forma equitativa. Las dos últimas técnicas son las menos efectivas y de mayor complejidad [23].

La manera más común de realizar la carga de las baterías es mediante el algoritmo CC-CV, en el cual la batería comienza a cargarse a un nivel fijo de corriente, lo que produce un aumento del voltaje de la batería. Una vez que la batería llega a un nivel suficiente de voltaje, es el voltaje la variable que se fija y se disminuye gradualmente la corriente suministrada hasta el nivel máximo de carga. La eficiencia de la carga va a depender principalmente del nivel de corriente inicial, donde a menor nivel de corriente se aumenta la eficiencia [23].

La batería se integra mediante un conector ensamblado en el marco de la bicicleta, en el caso de bicicletas que no fueron diseñadas con batería o en las que permiten cambio de batería se incluye dicho elemento.

En la tabla 2.3 se presentan los valores típicos de una batería utilizada en el sistema de una BE:

Tabla 2.3: Valores típicos de baterías en BE [23].

	Valor	Unidad
Durabilidad	<36	Km
Voltaje	36 o 48	V
Capacidad	11 a 20	Ah
Energía	400 a 750	Wh
Cantidad de ciclos	800 a 1000	ciclos
Tiempo de carga estándar completa	3.5 a 5.4	h
Tiempo de carga rápida completa	2.5 a 3.7	h
Temperatura al operar	-20 a 60	°C
Peso	2.9 a 4.3	kg

### 2.1.8.2. Motor

Actualmente el tipo de motor más común en BE son *Brushless Direct Current* (BLDC), dado su eficiencia, tamaño, peso, rango de velocidades, rápida respuesta dinámica, larga vida útil y facilidad en el control. Un BLDC es un motor síncrono, generalmente trifásico, en donde la corriente circula por los devanados del estator, generando un campo magnético que atrae el polo opuesto del imán permanente en el rotor, produciéndose de esta manera un giro

al energizar los devanados en secuencia [30]. Las figuras 2.14 y 2.15 muestran el arreglo de los devanados de un motor BLDC y de los imanes permanentes en el motor.

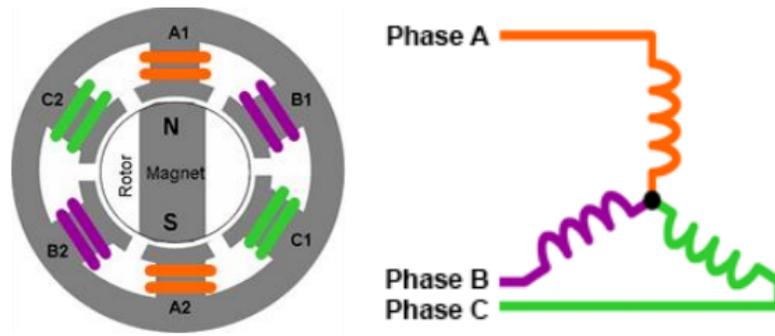


Figura 2.14: Diagrama de un BLDC. [31].

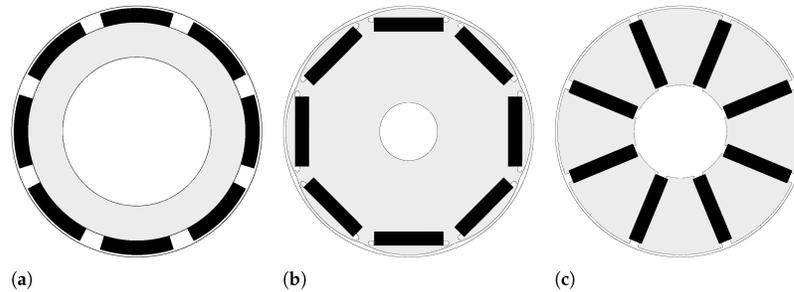


Figura 2.15: Corte transversal del montaje de los polos en el rotor. (a) Imán permanente montado superficialmente (b) Imán permanente interior (c) Imán permanente interior radial [23].

Las variables de velocidad y dirección del BLDC son controladas por el voltaje de entrada y por la polaridad. La secuencia de los voltajes de entrada para hacer que el rotor gire está dictada por un inversor *pulse width modulation* (PWM). Debido a que las velocidades de giro son suficientemente altas, el caso particular de una BE, es necesario saber la posición del rotor para que la secuencia de los devanados opere correctamente. Para ello, se utilizan sensores *hall* posicionados en el estator. Dichos sensores envían una señal que indica si el polo norte o sur del rotor ha pasado cerca, por lo que basta con solo tres sensores para determinar a todo tiempo la posición del rotor. La forma de la fuerza electromagnética producida en cada fase va a depender de la conexión de los devanados del estator, los cuales pueden ser conectados en forma trapezoidal o sinusoidal. Luego, el torque producido en un estator sinusoidal cambia de forma más suave, pero requiere más cantidad de cobre en el circuito [32].

Los BLDC pueden alcanzar velocidades mayores a las velocidades nominales, sin embargo, el torque que produce el motor a partir del valor nominal va a disminuir linealmente hasta alcanzar la velocidad máxima sin producir más torque.

El desempeño del motor va a depender de la ubicación de este, como se explicitó en la tabla 2.2.

Finalmente, el motor BLDC se puede caracterizar por sus constantes de torque y de voltaje. La constante de torque  $k_t$  permite calcular el máximo toque ejercido ante la corriente que fluye por el motor. Por otra parte, la constante de voltaje  $k_v$  permite calcular la máxima velocidad angular del motor en función del valor absoluto y la forma de onda, dado un el ángulo de la onda, de la BEMF [33].

### 2.1.8.3. Controlador

La velocidad de giro del motor puede ser impuesta y controlada por un comando de velocidad en el controlador. Considerando que las señales ocupadas son digitales y discretas en el tiempo, mediante una técnica de muestreo, se utiliza, comúnmente, algún tipo de controlador proporcional integral derivativo (PID) para enviar señales de control al sistema a los PDM.

*Field oriented control* (FOC) es una de las técnicas utilizadas para controlar BLDC trifásicos. El algoritmo recibe mediciones de las corrientes en cada fase del estator y los transforma a valores en un sistema ortogonal para calcular el ángulo del rotor. Luego transforma las corrientes del sistema ortogonal a uno ortogonal rotacional y se calculan los voltajes en este último sistema para que el PID los reciba como valores de entrada, y así pueda enviar los valores de control al PDM [34]. La figura 2.16 presenta el diagrama de bloques y las variables de entrada y salida del control FOC.

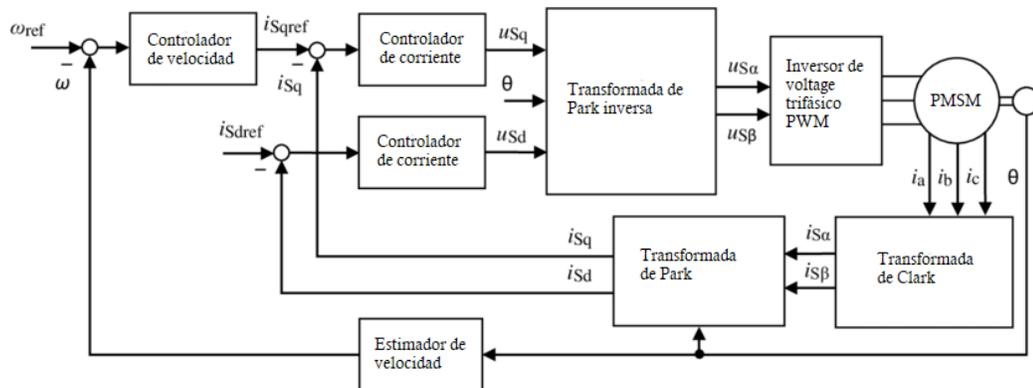


Figura 2.16: Diagrama de control FOC [35].

En el diagrama los valores de referencia se pueden cambiar acorde a un sensor de torque en los pedales, a un acelerador en el manubrio o por botones en un sistema con valores pre-determinados de corriente máxima.

Los controles o pantalla táctil del controlador se ubican en el manubrio de la BE, permitiendo controlar la bicicleta mientras se maneja de la misma manera en que operan los cambios de ejes.

### 2.1.9. Normativas

En el caso de las BE, solo la Ley de Convivencia de Modos aplica normativas que impactan su desempeño y utilización. De acuerdo a la ley, se definen los *ciclos* como “Vehículo no motorizado de una o más ruedas, propulsado exclusivamente por una o más personas situadas en él, tales como bicicletas y triciclos. También se considerarán ciclos aquellos vehículos de una o más ruedas que cuenten con un motor auxiliar eléctrico, de una potencia nominal

continua máxima de 0,25 kilowatts, en los que la alimentación es reducida o interrumpida cuando el vehículo alcanza una velocidad máxima de 25 kilómetros por hora o antes si el ciclista termina de pedalear o propulsarlo, los que se considerarán para los efectos de esta ley como vehículos no motorizados”. Lo anterior limita la potencia y velocidad máxima de los motores. En caso de requerir más potencia y/o velocidad se debe tener una patente de tránsito para dicho ciclo [36].

## 2.2. Estado del arte

Völmark, Xiaomi y Onebike son marcas que venden BE en el mercado chileno. Völmark ofrece BE urbanas, de montaña y de carga, sin embargo, el modelo *e – cargo delivery* no es apropiado debido a su elevado peso total de 40 [kg] [37]. El resto de modelos no poseen baterías fácilmente intercambiables o no poseen el diseño del marco necesario para soportar cargas mayores. Xiaomi posee un único modelo de BE, el cual no posee batería intercambiable y no tiene un marco adecuado [38]. El modelo de Onebike no posee la autonomía deseada, pues alcanza un máximo de 55 [km] utilizando la técnica *pedalec* y tampoco tiene batería intercambiable [39]. Gepida es una marca que ofrece BE que cumplen con los criterios como el modelo *Alboin man alivio 9* presentado en la figura 2.17, en particular con velocidad máxima de asistencia de 25 [km/h], batería intercambiable y de alta autonomía, un peso adecuado de 25 [kg] y marco diseñado para soportar cargas elevadas, pero no está disponible en el mercado chileno actual [40].



Figura 2.17: ALBOIN MAN ALIVIO 9 de Gepida [40].

Bafang y CYCMotors ofrecen equipos de conversión de bicicletas a BE. Bafang posee una amplia gama de equipos de conversión, buscando tener un producto para varias situaciones, entre ellas *kits* de conversión para carga, donde se destaca el modelo de motor *m620* por su alto torque de 160 [Nm], el cual es recomendado junto con la batería *BTf22.960.C* y el controlador *DPC244/245.CAN*, siendo estos componentes catalogados como *ecargo* por la firma [41], la figura 2.18 presenta el sistema electromecánico de uno de los equipo de conver-

sión de Bafang. CYCmotors se destaca por los elevados valores de torque de sus motores, de 110 a 280 [Nm], y productos de la más alta calidad, por lo que el precio de los equipos de conversión es relativamente alto [42]. En ambas firmas, es necesario contactar directamente, lo que se traduce en una barrera de entrada para la conversión de bicicletas convencionales.



Figura 2.18: equipo de conversión Bafang *ecargo*. a) Motor m620. b) Batería BT F22.960.C. c) Controlador DP C244/245.CAN [41].

Zoomo y Buzzbike ofrecen arriendos de BE por una tarifa mensual en EEUU. En el caso de Zoomo se tiene un convenio con Uber Eats y con Doordash, para el cual se paga una mensualidad de 199 [USD/mes] que incluye la BE, seguro y mantención. Los modelos de BE disponibles en dicho plan son el modelo *Zero*, visualizado en la figura 2.19, y el *Sport*. Los modelos solo se pueden conseguir mediante la suscripción y no poseen batería intercambiable [43] [44]. Buzzbike ofrece un modelo de BE con motor en la rueda trasera, batería intercambiable y candado. La bicicleta se puede obtener solo mediante la suscripción a uno de los tres planes que se ofrecen, desde los 60 a 80 [USD/mes]. El servicio incluye mantenimiento y la oportunidad de comprar la BE [45]. Ambos servicios son solo accesibles en EEUU, y no existe un servicio comparativo en Chile.



Figura 2.19: Modelo *Zero* de Zoomo [43].

# Capítulo 3

## Adquisición de antecedentes

### 3.1. Encuesta exploratoria

Se realizó un estudio en terreno con dos objetivos:

- Promocionar el piloto “Mi bicicleta eléctrica delivery”, tal de obtener una mayor cantidad de postulantes que puedan llegar a ser beneficiarios que colecten datos del uso de la BE.
- Encuestar las preferencias de los repartidores en cuanto a especificaciones que les son importantes en una BE.

Para ello se diseñó una encuesta anónima, que hiciera distinción entre género del conductor, dado que puede afectar en el sistema estructural, y no mayor a los 5 minutos de duración. En primer lugar, se promocionó el concurso a los repartidores que fueran dueños de una bicicleta motor 2T (mosquito). Se les registró por el género con el que se identificaban y se finalizó con la siguiente pregunta:

- “Sí tuvieras la posibilidad de conducir una bicicleta eléctrica, en vez de la bicicleta mosquito, ¿Cuáles son las características más importantes que debe cumplir el producto?”.

Se realizaron un total de 31 encuestas, principalmente por el bajo nivel de confianza que poseen los repartidores ante personas desconocidas y por el limitado tiempo de postulación al concurso. Los resultados se presentan en las figuras 3.1 y 3.2:



Figura 3.1: Género registrado de los encuestados. Elaboración propia.



Figura 3.2: Frecuencia de las especificaciones mencionadas por los encuestados. Elaboración propia.

De los resultados se obtuvo que se encuestaron 6 mujeres (19.4%) y 25 hombres (80.6%). Donde las características con mayor frecuencia fueron: autonomía (90.3%), parrilla (67.7%),

suspensión (61.3%) y manillar alto (48.4%). El resto de respuestas obtuvo una frecuencia menor al 25%, por lo que se consideraron peticiones particulares que se pueden resolver de manera personal con el cliente.

## 3.2. Prueba de concepto de BE

### 3.2.1. Modelo Delivery Satu de MakanaBikes

El modelo de MakanaBikes “Delivery Satu”, ilustrada en la figura 3.3, fue la BE ganadora para el proyecto piloto “Mi bicicleta eléctrica delivery” de la Agencia de Sostenibilidad energética (AGSE). En el piloto se está validando la calidad de la BE y se realizó una recolección de datos de seguimiento a través de un dispositivo GPS en la BE para estudiar la conducción de los repartidores que fueran seleccionados como beneficiarios.



Figura 3.3: Modelo Delivery Satu de MakanaBikes. Elaboración propia.

La Delivery Satu es una BE con el objetivo principal de ofrecer la mayor autonomía posible, manteniendo una distribución de peso adecuada, un nivel de suspensión adecuado para el uso en ciudad y respetando los valores descritos en la Ley de Convivencia de Modos. Es por esta razón que se diseñó considerando una batería de 1 [kWh] de capacidad y el motor Bafang MM G340.250.C centralizado de 250[W] de potencia nominal y una velocidad asistida

máxima de 25 [km/h], sistema que ya había sido probado por la *Start-up*. El motor incorpora al controlador del sistema electromecánico t determina el uso de la batería según los niveles de asistencia programados por el fabricante. La bicicleta en la cual se ensamblan el motor y batería es una MTB aro 29 con suspensión delantera, tal de poseer el nivel de suspensión deseado, a un peso relativo bajo y que pueda soportar el estrés de un uso intensivo por parte de los beneficiarios.

El cuadro es tipo diamante MTB de tamaño 29"\*17", es decir, está diseñado para ruedas de 29" y el largo del tubo superior es de 17", y está hecho de aluminio. El ángulo de espalda que permite el cuadro es de 75° y el tamaño del pedaliar es según el estándar JIS. Además, el espacio entre el tubo superior, inferior y del asiento deben tener un espacio suficiente para la batería.

La dirección de la bicicleta consiste de un manillar MTB rise con una elevación de 25[mm] y un largo de 700[mm], puños de goma y una horquilla con suspensión delantera de 100[mm] de recorrido, mediante un resorte básico sin capacidad de mantención. Las palancas de cambio y de freno se encuentran son incluidas en el modelo ST-EF500 de Shimano. La figura 3.4 muestra la vista de la dirección del modelo.



Figura 3.4: Dirección del modelo Delivery Satu de MakanaBikes. Elaboración propia.

La rueda del modelo es de 29" de aro y 1.5" de ancho. Las llantas son de Aluminio de doble pared, los neumáticos son de la marca CST, los rayos son de 2[mm] de espesor y 290[mm] de largo y el buje es de piñón roscado y rodamientos sellados.

La transmisión de la BE considera el *crankset* incluido en el Kit del motor Bafang M215 BBS01B, la pata de cambio RD-TY300 de Shimano y la cadena KMC de 8 velocidades, como se presenta en la figura 3.5.



Figura 3.5: Transmisión Delivery Satu. Elaboración propia.

La bicicleta permite elegir entre ocho cambios al cambiar la tensión de la piola que conecta la palanca de cambio con la pata de cambio. Todos los cambios ocurren en el *cassette* de la rueda trasera. El *cassette* tiene ocho platos desde los 13 dientes hasta los 32 dientes, obteniéndose un rango de marchas de 2.46.

Los frenos delantero y trasero de la BE son de disco mecánico, siendo accionado el mecanismo de freno por la tensión de la piola desde la palanca de frenado. El rotor de la rueda delantera es de 180[mm] y el de la rueda trasera es de 160[mm].

En cuanto a servicios complementarios de la Delivery Satu se considera un sillín tipo *sport* para MTB y la tija es de una aleación de aluminio. La altura de la tija se fija con un collarín de aluminio que se aprieta con una brocha *quick release*. Se consideraron luces independientes del sistema del motor de intensidad 350[Lm] para la luz delantera y 10[Lm] para la luz trasera, la figura 3.6 presenta las luces con su respectivo botón de encendido. Finalmente, la BE posee una pata en la vaina inferior izquierda para apoyar la bicicleta.



Luz delantera.

Luz trasera.

Figura 3.6: Luces Delivery Satu. Elaboración propia.

El sistema electromecánico está compuesto por la batería Reention DP9 y el kit de conversión Bafang M215 BBS01B, presentados en las figuras 3.7.a y 3.7.b.



(a) Batería Reention DP9 [46].

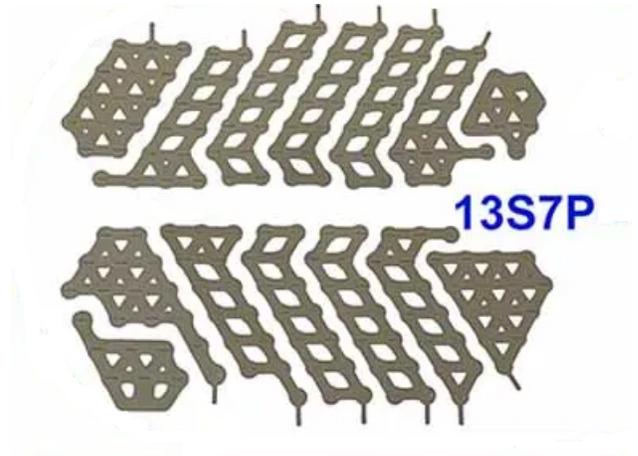
(b) Kit motor Bafang M215 BBS01B con pantalla DP C18 [47].

Figura 3.7: Componentes del sistema electromecánico del modelo delivery Satu.

La batería está compuesta por 91 celdas DMEGC INR 18650-29E de Ion-Litio, ilustrada en la figura 3.8.a, en un arreglo de 13 celdas en serie y 7 en paralelo, conectadas por tiras de níquel, como se presenta en la figura 3.8.b. El voltaje nominal de una celda es de 3.6[V] y tiene una capacidad nominal de 2.9[Ah], obteniéndose una energía almacenada de 10.73[Wh] por celda. El voltaje máximo que puede alcanzar la celda, es decir, cuando está completamente cargada, es de 4.2[V], y el voltaje mínimo es de 2.75[V]. Las celdas pueden operar en un rango de temperatura entre los -20 a 60[°C] y poseen una vida útil de 1000 ciclos al 80% [48]. La pantalla posee una protección contra el agua y el polvo IPX5.



(a) Celda DMEGC INR 18650-29E [48].



(b) Arreglo de celdas en el modelo DP9.

Figura 3.8: Celda y arreglo en el modelo DP9 [46].

El BMS integrado en la batería es el Anmbest MD390, el cual está conectado en serie al arreglo de celdas y permite una corriente de descarga continua de 35[A], una corriente *peak* de 100[A] y una corriente máxima de carga de 8[A]. EL BMS posee protecciones de sobrecarga, sobre-descarga, sobrecorriente y cortocircuito.

El modelo DP9 de Reention posee en su costado derecho un interruptor de encendido/apagado y un puerto de carga DC 2.1[mm], como se muestra en la figura 3.10.a. Por el costado izquierdo, el modelo de batería posee una cerradura al costado de la batería, ilustrada en la figura 3.10.b, la cual tiene la función de anclar la batería a la base y mantener conectados y sellados los puertos 5pin de la batería y de la base. El modelo DP9 se puede montar y desmontar de su base deslizando hacia abajo, o hacia arriba para extraerla, como se indica en la figura 3.11. Las dimensiones de la batería en la base son 368[mm] de largo, 141[mm] de alto y de 90[mm] de espesor, como se presenta en la figura 3.9. Luego, para desmontar la batería de la base se requiere 20[mm] más de largo y 10[mm] de altura. La base es de 343[mm] de largo, 65[mm] de ancho y 12[mm] de alto, y se fija en el tubo inferior de la bicicleta atornillando al menos tres tornillos de acero inoxidable M5x20 Allen en los cuatro agujeros de 35[mm] de largo y 5[mm] de espesor, separados por 25[mm], en la base. Dado que la base es plana, se prefieren cuadros con el tubo inferior lo más plano posible, para evitar movimientos laterales de la base en movimiento. El área de contacto entre la base y el tubo inferior debe ser de al menos de 150[mm] de largo y 50[mm] de ancho.

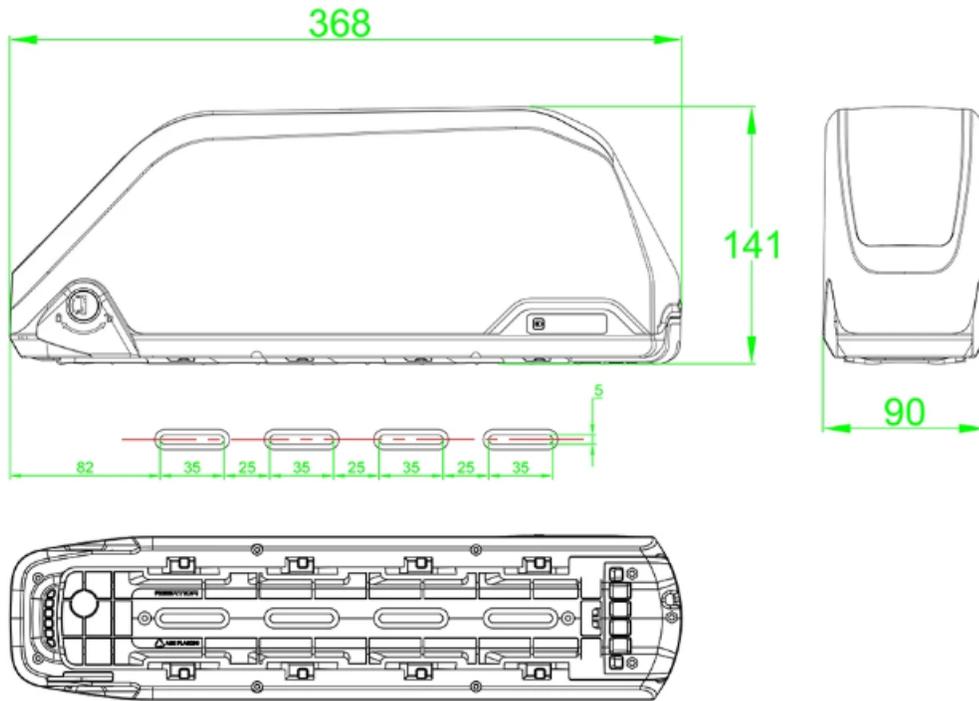


Figura 3.9: Dimensiones Batería y base Reention DP9 [46].

Lo anterior permite que la batería pueda ser cargada sin estar conectada a la bicicleta, evitando entrar la suciedad impregnada en los neumáticos al hogar. La llave de la cerradura, incluida en la batería, es única para cada batería. Dado que los beneficiarios realizan su labor en Santiago de Chile, se puede estimar que hacen la recarga de la batería en su hogar en Santiago. Luego, el costo de la energía en Santiago, para el tramo BT1 y considerando el IVA, se puede aproximar en 120[CLP/kWh].



Figura 3.10: Celda y arreglo en el modelo DP9. Elaboración propia.

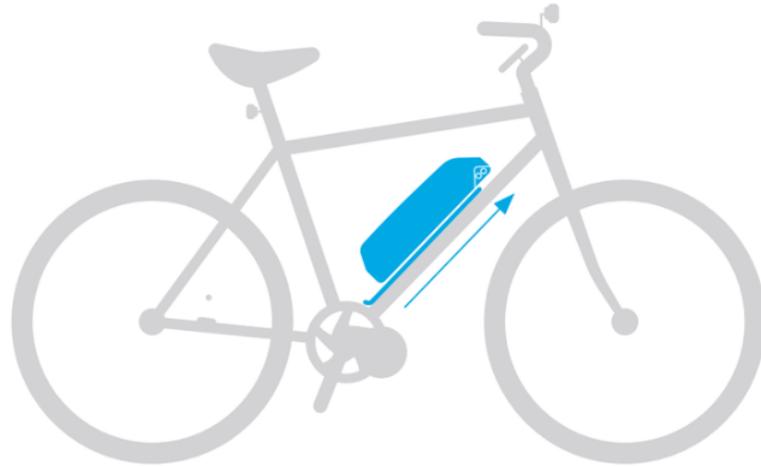


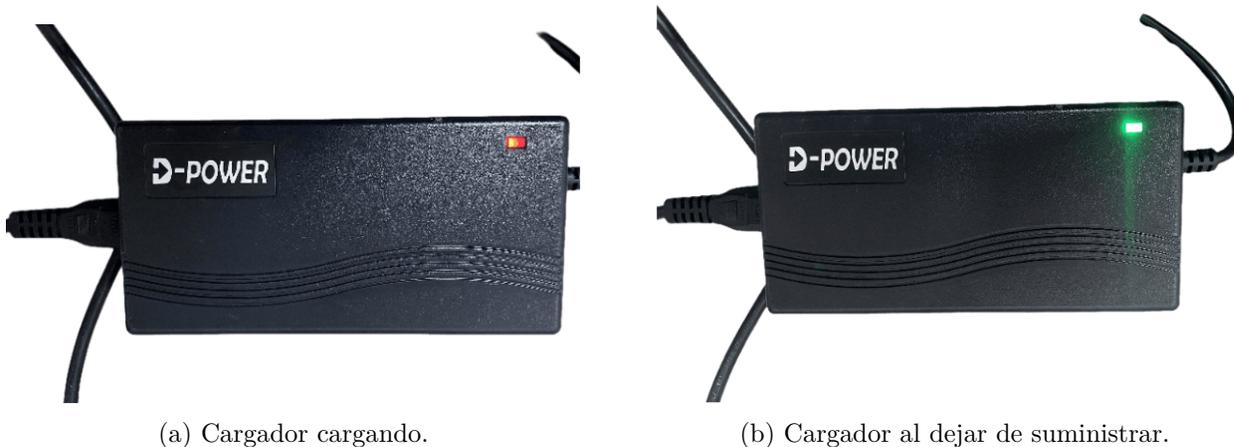
Figura 3.11: Gráfica desmontaje batería. Elaboración propia.

El cargador Dplc110v55 de la marca Wuxi D-Power, presentado en la figura 3.12, se conecta a un enchufe residencial tipo L y suministra 2[A.CC] por el puerto DC 2.1[mm] a la batería para su recarga.



Figura 3.12: Cargador Wuxi D-Power Dplc110v55 [49].

El cargador posee una luz que indica cuando la recarga se haya finalizado. La luz roja indica que el cargador está suministrando corriente, como se muestra en la figura 3.13.a, mientras que la luz verde indica que el cargador deja de suministrar, tal como se observa en la figura 3.13.b.



(a) Cargador cargando.

(b) Cargador al dejar de suministrar.

Figura 3.13: Luces de estado del cargador. Elaboración propia.

El motor Bafang MM G340.250.C es parte del kit M215 BBS01B. Posee una potencia nominal de 250[W] a un voltaje nominal de 48[V.CC]. El motor es un BLDC, hecho de acero, con un peso de 3.8[Kg] y ubicado en el eje de los pedales de la bicicleta. El pedalier del motor sigue el estándar JIS o *square tapered spindle*, en el cual el diámetro del pedalier es de 33.5 [mm] y el largo es de 68[mm] y 73[mm] considerando el espacio para las tuercas de apriete, para que pueda encajar en el vástago del pedalier [50]. La figura 3.14 muestra las medidas descritas.



Figura 3.14: Dimensiones pedalier Motor Bafang [50].

El motor incluye un plato delantero de aluminio de 44 dientes, un guardapolvo para el plato de plástico, bielas y pedales de aluminio. El plato pesa 390[g] y permite utilizar entre seis y nueve cambios traseros.

En esta ubicación el motor ofrece una máxima velocidad asistida de 25[Km/h] y un torque máximo de 80[Nm], punto de operación donde se obtiene el nivel máximo de ruido, 55 [dB], de la BE. El motor conecta con la base de la batería mediante los puertos XT60 y posee un puerto para el sensor de velocidad, tres puertos para sensores de frenado o cambio, un puerto para el acelerador, un puerto para la pantalla y un puerto para luces. El motor posee una protección contra el agua y el polvo IP65.

En el siguiente diagrama, presentado en la figura 3.15, se presentan las conexiones del motor realizadas para el modelo Delivery Satu:

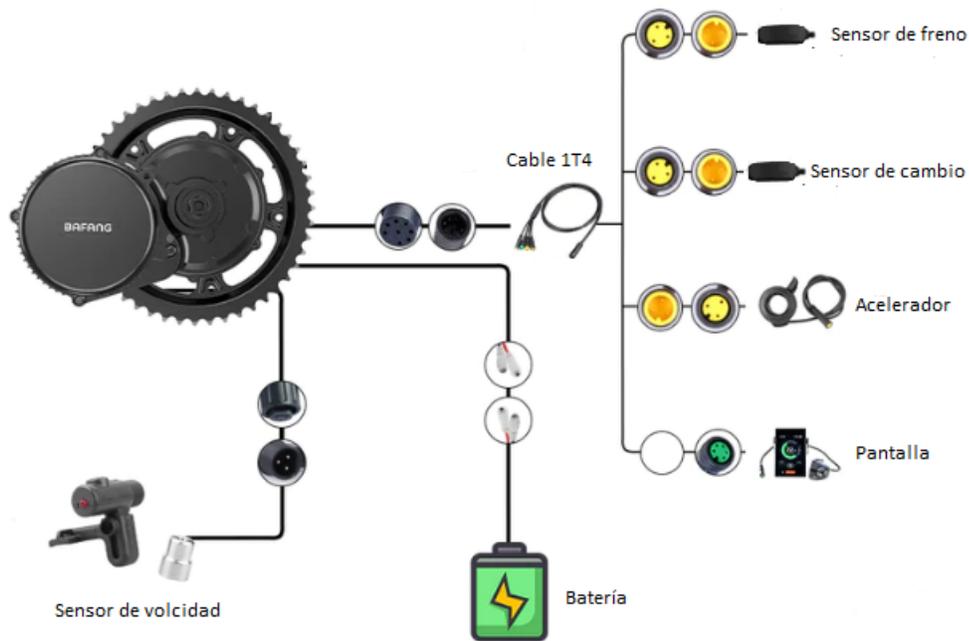


Figura 3.15: Diagrama de conexiones del motor del modelo Delivery Satu. Elaboración propia.

El sensor de velocidad se ubica en la vaina inferior izquierda junto con una pieza metálica fijada en uno de los rayos de la rueda trasera, tal como se presenta en la figura 3.16.



Figura 3.16: Ubicación del sensor de velocidad en la Delivery Satu [50].

El cable 1T4 va por dentro del tubo inferior y sale por el lado derecho cerca del tubo de dirección, donde conecta con el sensor de freno, sensor de cambio, acelerador y pantalla. El sensor de freno y de cambio pasan por la piola de cada palanca y envían una señal cuando la piola se tensa al accionar la palanca. El acelerador, ubicado en la parte izquierda del

manillar, como se muestra en la figura 3.17, se acciona empujando la palanca. La aceleración en la bicicleta es proporcional al accionamiento del acelerador, la asistencia máxima del acelerador es fijada por el nivel de asistencia seleccionada.



Figura 3.17: Ubicación del acelerador en la Delivery Satu. Elaboración propia

No se utilizó el puerto de luces debido a que la potencia que ofrece es muy baja para el uso durante las horas de poca iluminación.

La pantalla del kit Bafang es el componente que visualiza la información del controlador del sistema electromecánico. En el centro del manillar del vehículo se ubica el modelo de pantalla DP C18 de Bafang, presentado en la figura 3.18. La pantalla muestra información del nivel de asistencia seleccionado, velocidad instantánea, energía instantánea utilizada, hora, estado de carga de la batería (SOC) y el odómetro. La pantalla posee un puerto USB tipo A en la parte inferior y una protección contra el agua y el polvo IPX5. La pantalla, además, permite fijar el voltaje de corte del sistema, es decir, el voltaje en los bornes de la base de la batería medido por el motor para el cual el sistema considera que la batería no debería seguir utilizándose por riesgo de causar daño a las celdas de la batería. El valor de voltaje de corte del sistema es de 41[V], o 13% del total. De esta manera, la capacidad real de la batería es de 847.728[Wh]. Con dicho valor, se puede calcular el costo real de recargar completamente la batería, siendo el valor final de la recarga completa 101.72[CLP].



Figura 3.18: Pantalla DP C18. Elaboración propia.

La pantalla incluye control, ilustrado en la figura 3.19, con botones para el encendido y apagado del sistema, seleccionar el nivel de asistencia y hacer ajustes a la información en la pantalla. Existen nueve niveles de asistencia que siguen el nivel de potencia de forma directamente proporcional, siendo 1 el que entrega menor potencia y 9 el que entrega la máxima potencia.



Figura 3.19: Control Pantalla DP C18. Elaboración propia

Con la experiencia adquirida de MakanaBikes se realizó una estimación de la autonomía esperada de la BE presentada en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Autonomía estimada dado un nivel de asistencia seleccionado. Elaboración propia.

Nivel de asistencia	Autonomía Esperada [km]
1	600
2	300
3	200
4	150
5	120
6	100
7	90
8	80
9	75

Para iniciar el sistema electromecánico de la BE, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Asegurarse de que la batería esté asegurada a su base, asegurándose que los dientes de anclaje estén alineados y en su posición.
2. Insertar la llave de la batería y girar el cerrojo en sentido horario para anclar la batería en la base.
3. Encender la batería con el interruptor del lado izquierdo.
4. Mantener presionado el botón i del control para encender la pantalla.
5. Seleccionar el nivel de asistencia en la pantalla con los botones + o - del control.
6. Comenzar a pedalear o accionar el acelerador.

A continuación, y a modo de resumen, se presenta en detalle las especificaciones del modelo en cuanto a sus componentes mecánicos y electromecánicos en las tablas 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5.

Tabla 3.2: Especificaciones bicicleta base de la BE Delivery Satu. Elaboración propia.

Componentes	Ítem
Cuadro:	
Tipo	Diamante MTB
Material	Aluminio
Tamaño	29"*17"
Tamaño pedalier	JIS o square tapered spindle
Diámetro tubo de asiento	28.6[mm]
Diámetro tubo de dirección	28.6[mm]
Ángulo de espalda	75°
Máximo peso soportado en total	200[Kg]
Color	Azul
Peso total de la BE	24[Kg]
Dirección:	
Manillar	MTB Rise 25[mm] y 700[mm]
Tee	Fija
Puños	Puños de goma
Suspensión Delantera	Suspensión de resorte y bloqueo mecánico
Recorrido horquilla	100[mm]
Maneta de cambio	Shimano ST-EF500
Maneta de freno	Shimano ST-EF500
Pantalla	Bafang DP C18
Control de la pantalla	Bafang DP C18
Acelerador	Acelerador Bafang
Tracción:	
Tipo rueda	MTB
Tamaño de las Ruedas	29"
Ancho de los Neumáticos	1.5"
Tipo de Llantas	Aluminio doble pared
Neumáticos	CST All Terrains
Buje	Piñón roscado rodamientos sellados
Diámetro de los rayos	2[mm]
Largo de los rayos	290[mm]
Ubicación del sensor de velocidad	Rueda trasera
Transmisión:	
Crankset	Bafang MM G340.250.C

Tabla 3.2: Especificaciones bicicleta base de la BE Delivery Satu. Elaboración propia.

Componentes	Ítem
Modelo pata de cambio	Shimano RD-TY300
Cadena	KMC 8spd
<b>Cambios:</b>	
Tipo de Cambios	8 velocidades traseros
Mecanismo	Tensión de piola
Plato delantero	Bafang MM G340.250.C 44T
Cassette trasero	Piñón de aluminio 8S 13-32T.
Rango marchas	2.46
Sensor de cambio	Sí
<b>Frenos:</b>	
Tipo de Frenos	Disco mecánico
Modelo frenos	Shimano ST-EF500
Mecanismo de freno	Tensión de piola
Diámetro de los Discos	180D/160T [mm]
Sensor de freno	Sí, delantero
<b>Servicios complementarios:</b>	
Sillín	Sport
Tija del Sillín	Aleación de aluminio
Luces	Independientes delantera y trasera led
Intensidad luces	350 [Lm] delantero y 10 trasero [Lm]
Pata	Sí

Tabla 3.3: Especificaciones batería de la BE Delivery Satu. Elaboración propia.

Componentes	Ítem
Batería	
Marca	Reention
Modelo	DP9
Voltaje nominal	48 [V]
Capacidad nominal	20.3 [Ah]
Energía nominal	974.4 [Wh]
Voltaje máximo	54.6 [V]
Voltaje mínimo	36 [V]
Energía real	847.728[Wh]
Vida útil	1000 ciclos al 80 %
Puerto de carga	DC 2.1 [mm] f
Puerto de descarga de la batería	5 pin
Dimensiones	368*141*90 [mm]
Interruptor encendido/apagado	Sí
Cerradura bloqueo con la base	Sí, con llave única
Cantidad de agujeros de anclado de la base	4
Dimensiones agujeros de anclado de la base	35*5 [mm]
Separación entre agujeros	25 [mm]
Puerto de descarga de la base	XT60 f
Peso	5 [Kg]
Modelo celda	DMEGC INR18650-29E
Tipo de celda	Ion-Litio
Cantidad de celdas	91
Voltaje nominal celda	3.6[V]
Capacidad nominal celda	2.9 [Ah]
Energía nominal celda	10.73[Wh]
Voltaje máximo celda	4.2[V]
Voltaje de corte celda	2.75[V]
Corriente de operación nominal	2.85[A]
Rango de temperatura	-20 a 60[°C]
Arreglo de celdas	13S7P
Modelo BMS	Anmbest MD390
Corriente de descarga continua	35[A]
Corriente de descarga momentánea	100[A]
Voltaje nominal BMS	48[V]
Conexión de celdas en serie BMS	13s
Máxima corriente de carga	8[A]

Tabla 3.3: Especificaciones batería de la BE Delivery Satu. Elaboración propia.

Componentes	Ítem
Protección contra el agua y el polvo de la batería	IPX5
Protecciones	Sobrecarga, sobre-descarga, sobrecorriente, cortocircuito

Tabla 3.4: Especificaciones cargador de la BE Delivery Satu. Elaboración propia.

Componentes	Ítem
Cargador	
Marca	DPOWER
Modelo	dplc110v55
Voltaje de entrada	110-240[V.CA]
Voltaje de salida	54.6 +- 0.5[V.CC]
Corriente de salida	2[A.CC]
Conector de salida	DC 2.1[mm] m
Precio kWh residencial aproximado en Santiago a la fecha del estudio	120 [CLP]
Costo de recargar la batería	101.73 [CLP]
Protecciones	Cortocircuito, sobrecorriente, sobrevoltaje, Anti-contraflujo, Anti-chispeante, Sincronización, Temperatura
Certificados	UL, CUL, BSMI, CE, UKCA, SAA, FCC, CUVUS, KC, PSE, CB, EMC, IEC, ROHS, REACH, GS, CCC, CQC
Tiempo máximo de recarga	535 [min]

Tabla 3.5: Especificaciones motor de la BE Delivery Satu. Elaboración propia.

Componentes	Ítem
Motor	
Marca	Bafang
Modelo	MM G340.250.C
Potencia nominal	250[W]
Voltaje nominal	48[V.CC]
Tipo de motor	BLDC
Formas de conducción	Pedaleo, pedaleo asistido, power-on-demand
Puerto de conexión a la base de la batería	XT60 m
Material	Acero
Posición	Central
Tamaño pedalier	68 a 73[mm]
Estándar pedalier	JIS o square tapered spindle
Máxima velocidad asistida	25 [km/h]
Torque máximo	80 [Nm]
Voltaje de corte de la batería	41[V]
Nivel máximo de ruido	55[dB]
Autonomía mínima esperada	90 [Km]
Sensor de pedaleo	Sensor de cadencia
Peso	3,8 [Kg]
Puertos sensores de freno o cambio	3
Puerto acelerador	1
Puerto pantalla	1
Pantalla	DPC18
Niveles de asistencia disponibles	9
Datos en la pantalla	Hora, SOC batería, odómetro
Puerto USB pantalla	USB tipo A
Puerto luces	1
Sensor de velocidad	En la rueda trasera
Dientes plato	44
Bielas y pedales	Propios del motor
Protección contra el agua y el polvo de todos los elementos del kit	IPX5
Certificaciones	CE / EN 14764 / ROHS

### 3.2.2. Mediciones de uso de la batería del modelo Delivery Satu

Para hacer el estudio de autonomía de la batería de la Delivery Satu se realizaron mediciones del SOC, hora y odómetro que muestra la pantalla de la BE, al inicio y al final de la jornada de los beneficiarios. Las mediciones se realizaron durante 10 días continuos una vez que se entregaron todas las BE a los beneficiarios seleccionados por la AGSE. Las mediciones realizadas de la experiencia real de cinco beneficiarios, que aceptaron compartir los datos en su pantalla durante los días de jornada como repartidor, se presentan en la tabla 3.6.

Tabla 3.6: Mediciones de la pantalla de la Delivery Satu de los beneficiarios.  
Elaboración propia.

ID GPS	Día	SOC inicio [V]	SOC inicio [%]	Hora inicio [hh:mm]	Odómetro inicio [Km]	SOC fin [V]	SOC fin [%]	Hora fin [hh:mm]	Odómetro fin [Km]
433	22/11	52.9	87 %	9:48	834.2	50.2	72 %	19:41	873.7
	23/11	48.2	59 %	11:43	886.6	46.6	49 %	16:15	920.8
675	23/11	54.4	99 %	18:25	3315.5	48.3	59 %	0:33	3360.7
	24/11	53.7	94 %	14:05	3361.6	43.9	31 %	1:30	3452.4
	28/11	53.5	92 %	14:55	3697.2	46	45 %	0:42	3765.5
	30/11	54.1	97 %	16:17	3765.5	46	45 %	23:37	3845.3
384	21/11	50.4	73 %	14:46	288.1	45.9	44 %	23:07	334.9
	22/11	54.6	100 %	10:13	337.3	50.9	76 %	23:25	408.1
	24/11	54.6	100 %	11:35	479.5	52.4	86 %	23:01	534.1
	25/11	52.4	86 %	11:24	534.1	48.4	60 %	22:59	583.0
896	22/11	49.2	65 %	17:42	859.0	47.7	58 %	22:25	874.9
632	21/11	54.5	99 %	8:01	714.2	51.5	80 %	20:35	749.2
	22/11	51.6	81 %	8:49	751.6	49.6	68 %	14:25	767.6
	23/11	54.6	100 %	7:55	777.4	51.3	79 %	21:30	818.8
	24/11	51.3	79 %	8:07	818.8	48.7	62 %	21:08	851.6
	25/11	54.6	100 %	8:22	851.6	52	83 %	20:51	881.9
	26/11	51.7	81 %	8:47	881.9	48.4	60 %	21:15	921.9
	27/11	54.4	99 %	8:33	921.9	51.4	79 %	21:19	959.5
	28/11	51.4	79 %	8:10	959.5	47	51 %	20:45	1017.8
	29/11	54.7	100 %	7:42	1017.8	50.6	74 %	20:22	1070.8
	30/11	50.6	74 %	7:34	1070.8	47	51 %	20:07	1111.4

De las mediciones se pueden hacer cálculos de porcentaje de batería utilizada, días sin recargar la batería, distancia final recorrida, energía utilizada, duración de la jornada, velocidad media total, consumo energético total y eficiencia. La tabla 3.7 presenta los cálculos obtenidos.

Tabla 3.7: Cálculos de las mediciones de la pantalla de los beneficiarios.  
Elaboración propia.

ID GPS	Batería utilizada[%]	Batería recargada[%]	Jornadas sin recargar la batería[Días]	Distancia final recorrida[Km]	Energía utilizada[Wh]	Duración de la jornada[hr]	Velocidad media jornada[km/h]	Consumo energético real [Wh/Km]	Eficiencia [Km/Wh]
433	15 %	NA	0	39.5	146.16	9.8833	3.9966	3.7003	0.2703
	10 %	0 %	1	34.2	97.44	4.5333	7.5442	2.8491	0.3510
675	40 %	NA	0	45.2	389.76	6.1333	7.3696	8.6230	0.1160
	63 %	35 %	0	90.8	613.872	11.4167	7.9533	6.7607	0.1479
	47 %	61 %	0	68.3	457.968	9.7833	6.9813	6.7052	0.1491
384	52 %	52 %	0	79.8	506.688	7.3333	10.8819	6.3495	0.1575
	29 %	NA	0	46.8	282.576	8.3500	5.6048	6.0379	0.1656
	24 %	56 %	0	70.8	233.856	13.2000	5.3636	3.3031	0.3028
	14 %	24 %	0	54.6	136.416	11.4333	4.7755	2.4985	0.4002
	26 %	0 %	1	48.9	253.344	11.5833	4.2216	5.1809	0.1930
896	7 %	NA	0	15.9	68.208	4.7167	3.3710	4.2898	0.2331
632	19 %	NA	0	35.0	185.136	12.5667	2.7851	5.2896	0.1891
	13 %	0 %	1	16.0	126.672	5.6000	2.8571	7.9170	0.1263
	21 %	38 %	0	41.4	204.624	13.5833	3.0479	4.9426	0.2023
	17 %	0 %	1	32.8	165.648	13.0167	2.5198	5.0502	0.1980
	17 %	40 %	0	30.3	165.648	12.4833	2.4272	5.4669	0.1829
	21 %	0 %	1	40.0	204.624	12.4667	3.2085	5.1156	0.1955
	20 %	48 %	0	37.6	194.88	12.7667	2.9452	5.1830	0.1929
	28 %	0 %	1	58.3	272.832	12.5833	4.6331	4.6798	0.2137
	26 %	49 %	0	53.0	253.344	12.6667	4.1842	4.7801	0.2092
	23 %	0 %	1	40.6	224.112	12.5000	3.2480	5.5200	0.1812

Batería utilizada corresponde a la diferencia entre SOC inicial y el SOC final en porcentaje. Días sin recargar la batería describe la cantidad de días que transcurren desde la última recarga de la batería, se puede calcular al observar el SOC del final de la jornada con el SOC de inicio en la siguiente jornada. Distancia Final es la resta entre la medición del odómetro al fin y al inicio. Energía utilizada corresponde a la ponderación entre el valor porcentual de batería utilizada y la capacidad de la batería, en el caso de la Reention DP9 974.4[Wh]. Duración de la jornada corresponde a la cantidad de horas entre las mediciones de inicio y fin. Velocidad media total es el cociente entre los valores de distancia final y duración de la jornada. Consumo energético real es el cociente entre energía utilizada y distancia total, mientras que Eficiencia es el recíproco del cálculo anterior. Se aplicó un formato condicional a los valores de cada columna para visualizar de mejor manera la diferencia entre los datos obtenidos.

De las tablas 3.6 y 3.7 se obtuvo el promedio, desviación estándar, mínimo y máximo de los valores de SOC inicial y final en porcentaje, batería utilizada, distancia final, energía utilizada, duración de la jornada, consumo energético real y eficiencia, los resultados se muestran en la tabla 3.8.

Tabla 3.8: Estadísticas de mediciones y cálculos respecto al uso de la batería.  
Elaboración propia.

Indicador	SOC inicio [%]	SOC fin [%]	Batería utilizada [%]	Distancia final recorrida [Km]	Energía utilizada [Wh]	Consumo energético real [Wh/Km]	Eficiencia [Km/Wh]
Promedio	87.81 %	62.48 %	25.33 %	46.6571	246.8480	5.2497	0.2085
Desviación estándar	12.79 %	15.33 %	14.22 %	19.00	138.60	1.5165	0.0707
Mínimo	59.00 %	31.00 %	7.00 %	15.90	68.21	2.4985	0.1160
Máximo	100.00 %	86.00 %	63.00 %	90.80	613.87	8.6230	0.4002

Dado que el piloto seleccionó a beneficiarios que vivieran y trabajaran en Santiago, Chile, se puede obtener el costo de recarga real entre jornadas y un rendimiento del costo operativo por kilómetro recorrido basándose en los días que se realizaron recargas entre jornadas, la cantidad recargada y el consumo energético real del uso de los beneficiarios.

Para obtener el valor del costo operativo de la batería se calculó la cantidad de energía recargada y luego se ponderó por el costo residencial de tarifa BT1 del primer tramo en Santiago, considerando el IVA, que es un valor aproximado de 120[CLP/Wh]. El rendimiento, obtenido en la tabla 3.9, se calcula mediante la multiplicación entre el valor de consumo energético real y el costo de la unidad de [Wh] mencionado anteriormente.

Tabla 3.9: Estimación del costo operativo bajo conducciones reales de la BE Delivery Satu. Elaboración propia.

Indicador	Consumo energético real [Wh/Km]	Rendimiento [CLP/km]
Promedio	5.2497	0.63
Desviación estándar	1.5165	0.19
Mínimo	2.4985	0.3
Máximo	8.6230	1.03

Al hacer la ponderación entre los valores estadísticos con la capacidad real de la batería, 847.728[Wh] se obtiene la autonomía, en valores estadísticos, de la BE Delivery Satu de MakanaBikes según la conducción real de los beneficiarios durante una jornada. Los resultados se presentan en la tabla 3.10.

Tabla 3.10: Estimación de la autonomía máxima posible bajo conducciones reales de la BE Delivery Satu. Elaboración propia.

Indicador	Eficiencia [Km/Wh]	Autonomía [Km]
Promedio	0.2084	176.7138
Desviación estándar	0.0706	59.9225
Mínimo	0.1159	98.3100
Máximo	0.4002	339.3000

De la tabla 3.7 se graficó la energía utilizada y la distancia final para verificar la tendencia lineal, centrada en el origen, entre ambas variables, ilustrada en la figura 3.20.

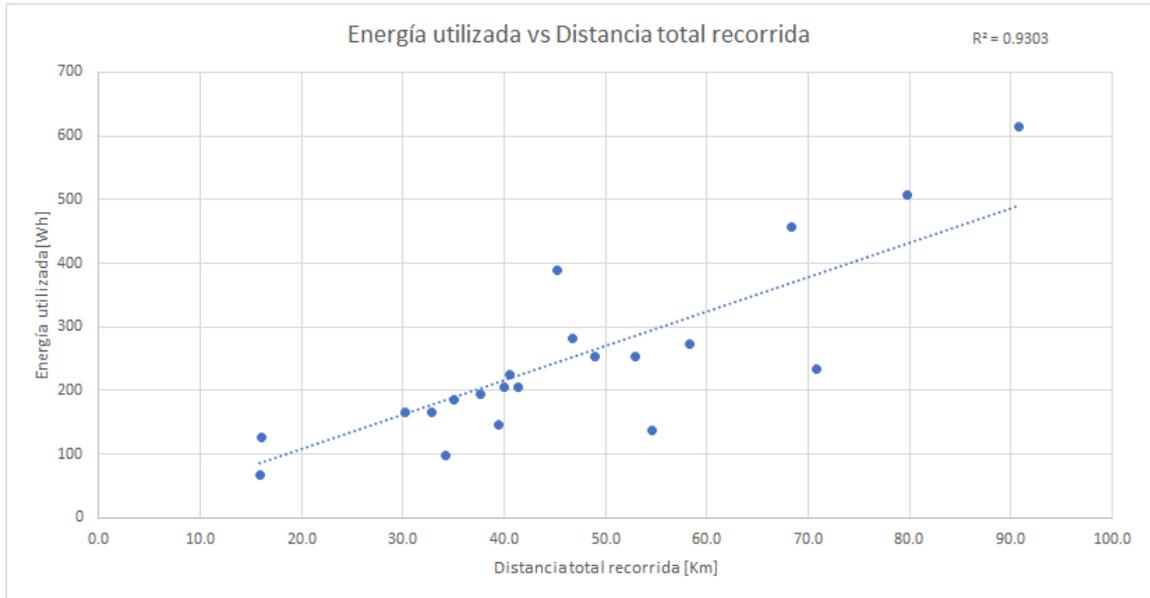


Figura 3.20: Gráfico y tendencia lineal de energía utilizada versus distancia total recorrida. Elaboración propia.

Del gráfico se obtuvo un valor de  $R^2$  de 93.03% entre ambas variables, indicando una fuerte tendencia lineal entre ambas. Como la tendencia lineal está centrada en el origen, se puede estimar la energía utilizada dado un valor de distancia recorrida con la ecuación

$$Energía = 5.71 * Distancia \quad (3.1)$$

Donde se observa que el ponderador es mayor que el consumo energético real promedio de 5.2496 en la tabla 3.8, lo cual se traduce en un estimador de costo operativo de 0.6852 [CLP/Wh].

De la columna Batería recargada [%] se seleccionaron los datos en los cuales la recarga es mayor a 0% y se obtuvieron los siguientes valores costo de recarga, al multiplicar la cantidad de energía recargada por el costo de una unidad de [Wh] en Santiago según la aproximación tarifa residencial BT1 considerando IVA de 120[CLP/kWh], los resultados se observan en las tablas 3.11 y 3.12.

Tabla 3.11: Cálculos de costos de recarga entre jornadas. Elaboración propia.

GPS	Frecuencia de días seguidos de recarga	Batería recargada [%]	Energía recargada [Wh]	Costo recarga [CLP]
675	1	35 %	341.04	40.9248
		61 %	594.384	71.3261
		52 %	506.688	60.8026
384	2/3	56 %	545.664	65.4797
		24 %	233.856	28.0627
632	1/2	38 %	370.272	44.4326
		40 %	389.76	46.7712
		48 %	467.712	56.1254
		49 %	477.456	57.2947

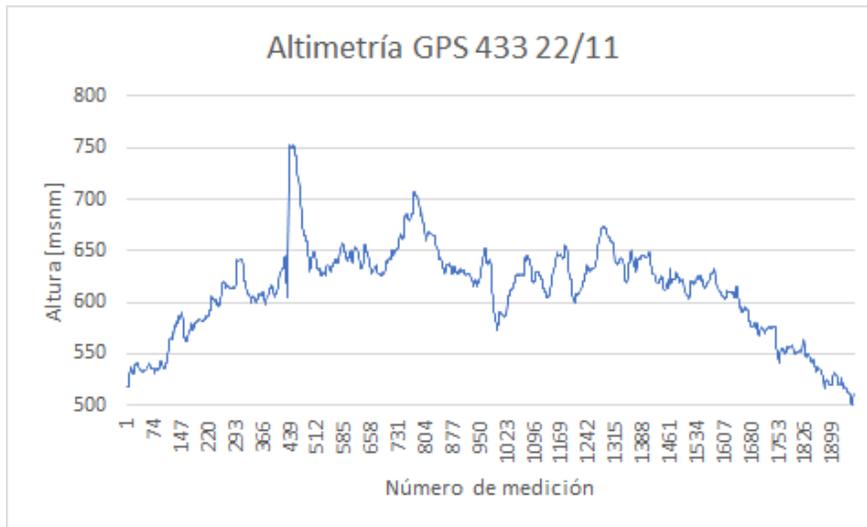
Tabla 3.12: Estadísticas de costo de recarga entre jornadas. Elaboración propia.

Indicador	Costo recarga real entre jornadas [CLP]
Promedio	52.3578
Desviación estándar	13.4946
Mínimo	28.0627
Máximo	71.3261

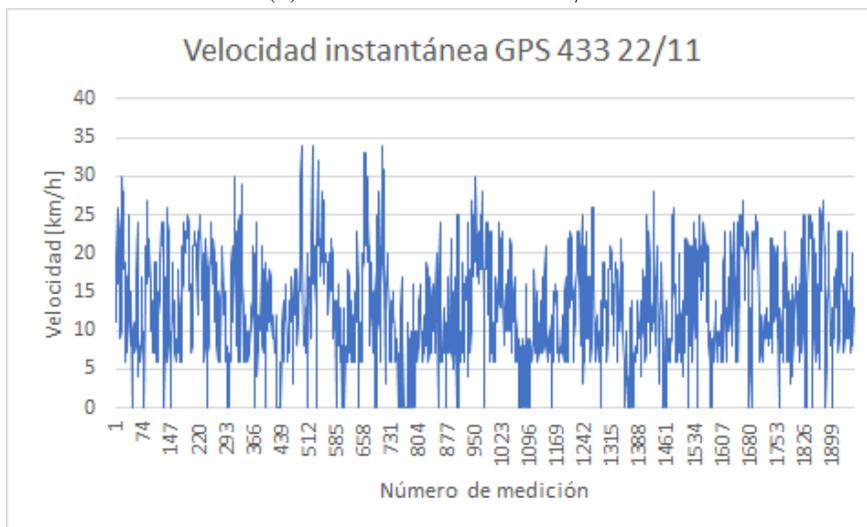
### 3.2.3. Mediciones del uso real del modelo Delivery Satu

La BE incluye un GPS, donde el dispositivo y manejo de datos es realizado por un tercero para después ser estudiado por MakanaBikes y la AGSE. El dispositivo GPS en la bicicleta es independiente de la batería del sistema y envía datos al estar cargado y detectar movimiento, no cada cierto periodo de tiempo. Se realizaron mediciones de día, hora, altimetría y velocidad instantánea con el dispositivo.

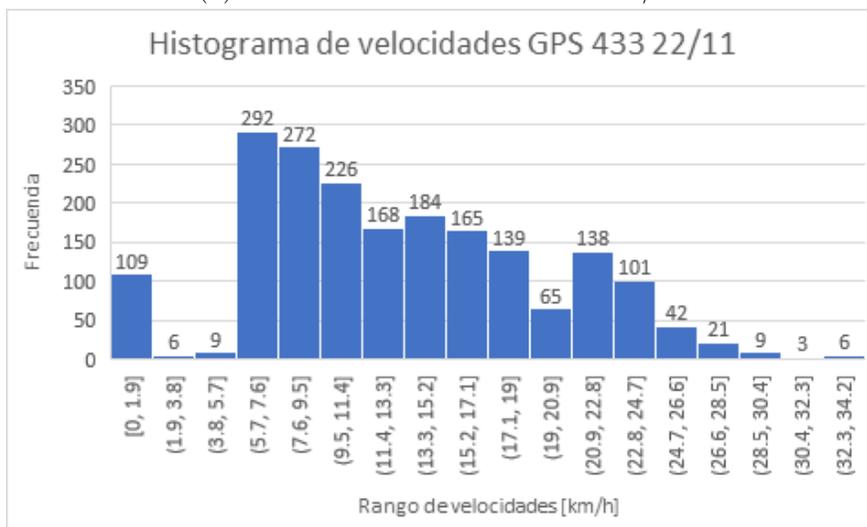
De las mediciones realizadas por el dispositivo GPS se existieron coincidencias entre los días de estudios de uso de las baterías y telemetría para los GPS 433, 675, 632. Las mediciones del GPS 433 se dieron el día 22/11 (figuras 3.21.a, 3.21.b, 3.21.c), del GPS 675 los días 24/11 (figuras 3.22.a, 3.22.b, 3.22.c) y 29/11 (figuras 3.23.a, 3.23.b, 3.23.c), y para el GPS 632 los días 22/11 (figuras 3.24.a, 3.24.b, 3.24.c) y 25/11 (figuras 3.25.a, 3.25.b y 3.25.c). Todas las mediciones de las jornadas se filtraron para mostrar los datos entre los rangos horarios en que se realizaron las mediciones del uso de la batería. A continuación, se presentan gráficos de Altimetría, velocidad instantánea dado el número de medición y un gráfico histograma de las frecuencias en que fueron registradas ciertos rangos de velocidades instantáneas.



(a) Altimetría GPS 433 22/11.

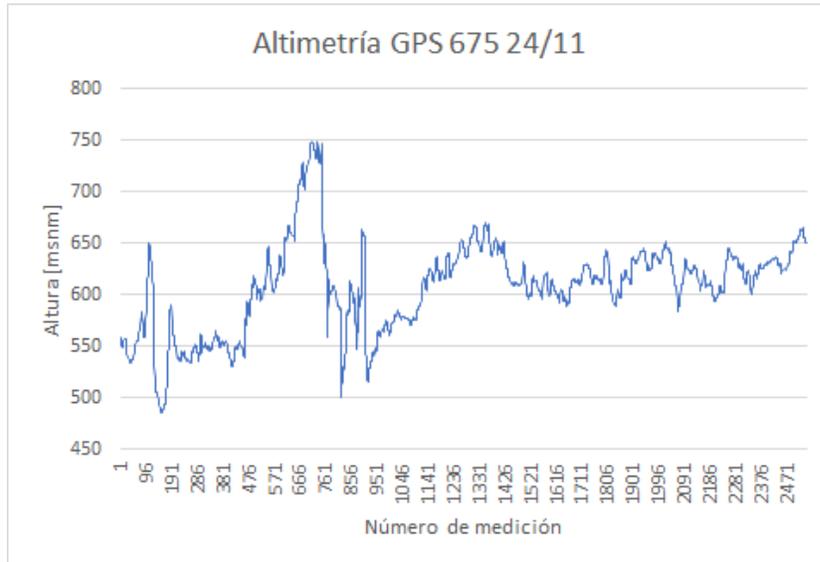


(b) Velocidad instantánea GPS 433 22/11.

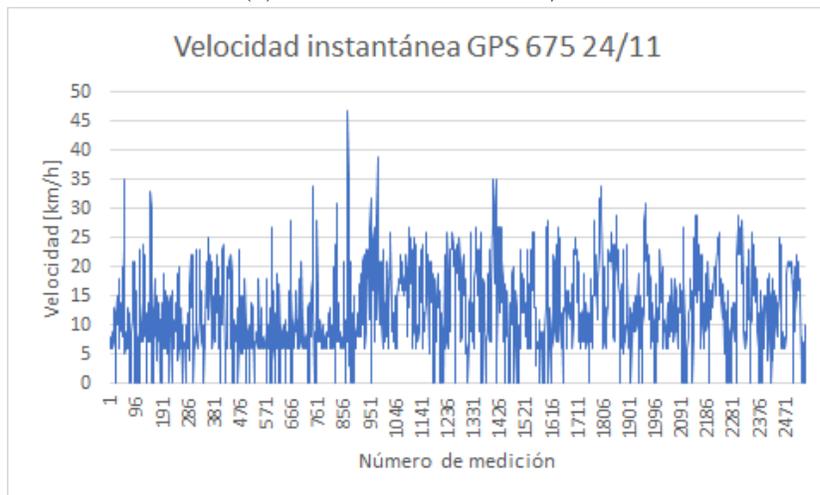


(c) Histograma de velocidad instantánea GPS 433 22/11.

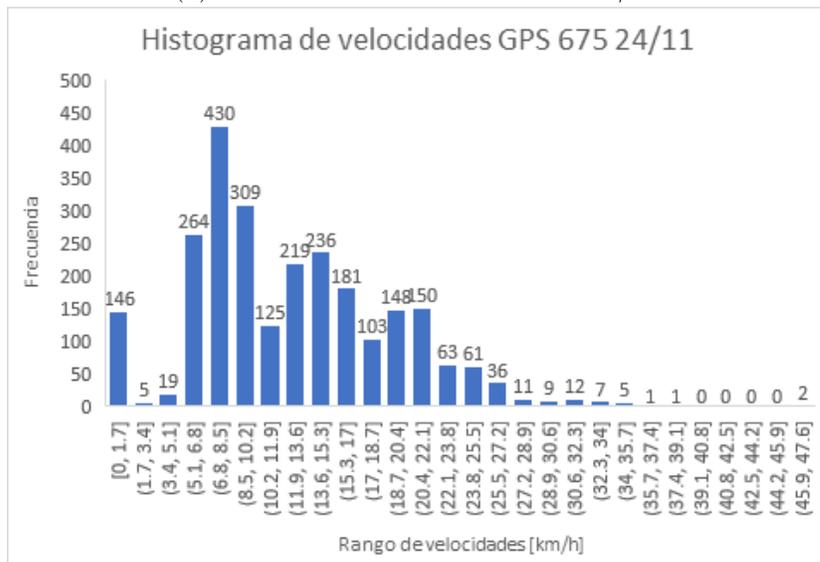
Figura 3.21: Mediciones GPS 433 22/11. Elaboración propia.



(a) Altimetría GPS 675 24/11.

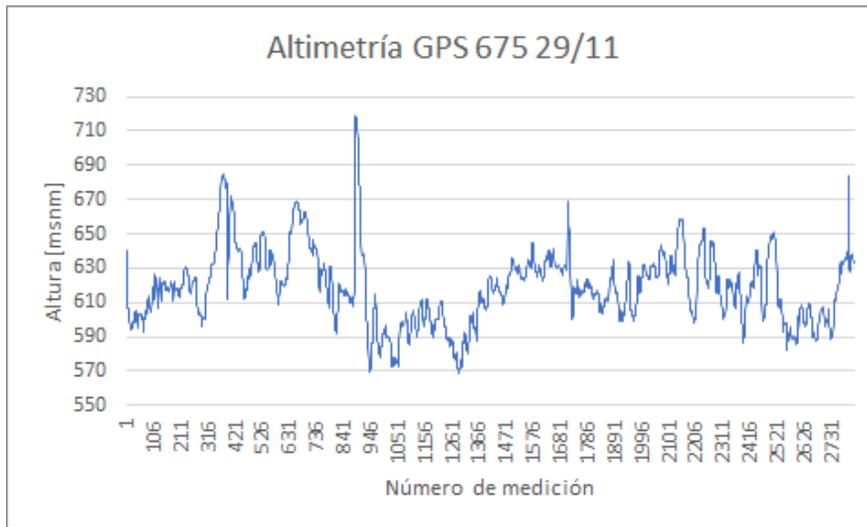


(b) Velocidad instantánea GPS 675 24/11.

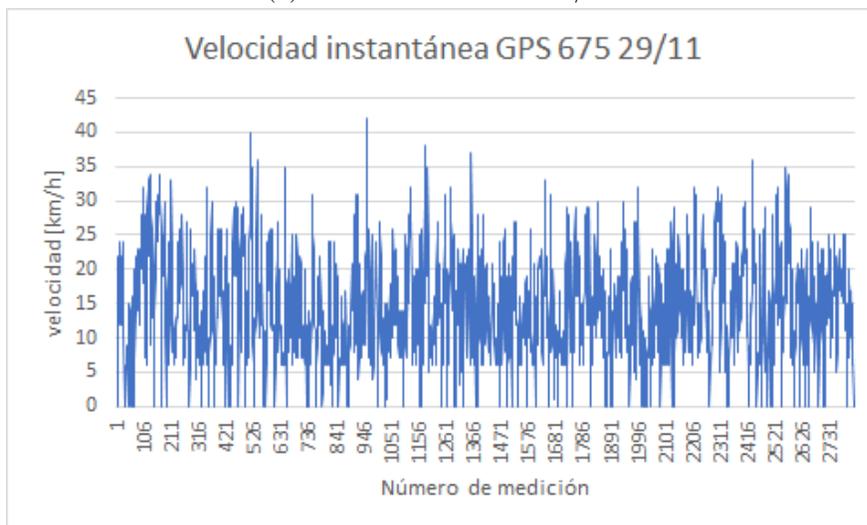


(c) Histograma de velocidad instantánea GPS 675 24/11.

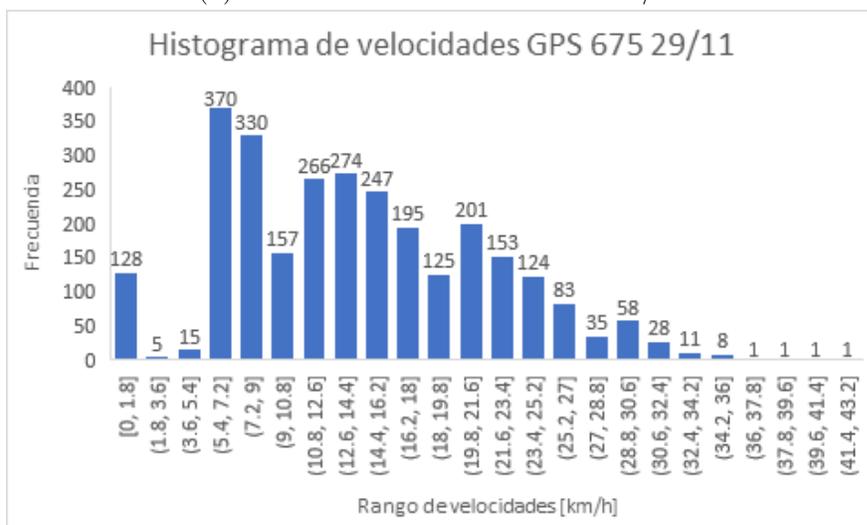
Figura 3.22: Mediciones GPS 675 24/11. Elaboración propia.



(a) Altimetría GPS 675 29/11.

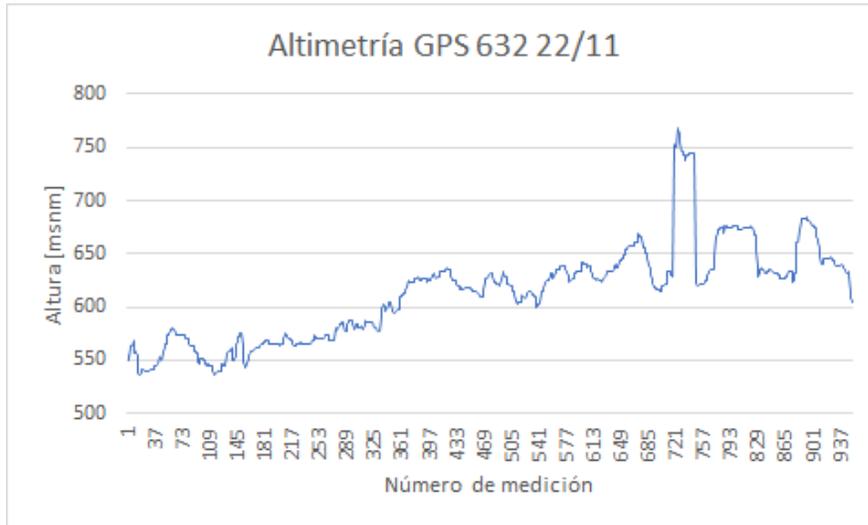


(b) Velocidad instantánea GPS 675 29/11.

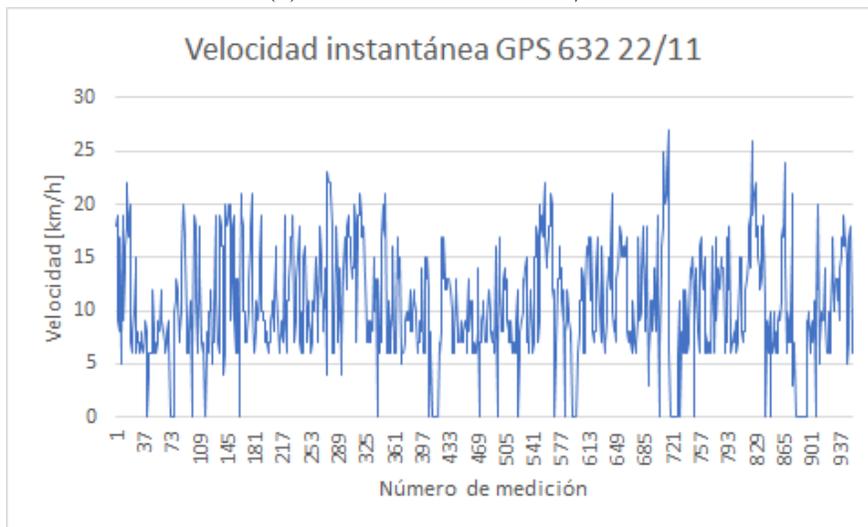


(c) Histograma de velocidad instantánea GPS 675 29/11.

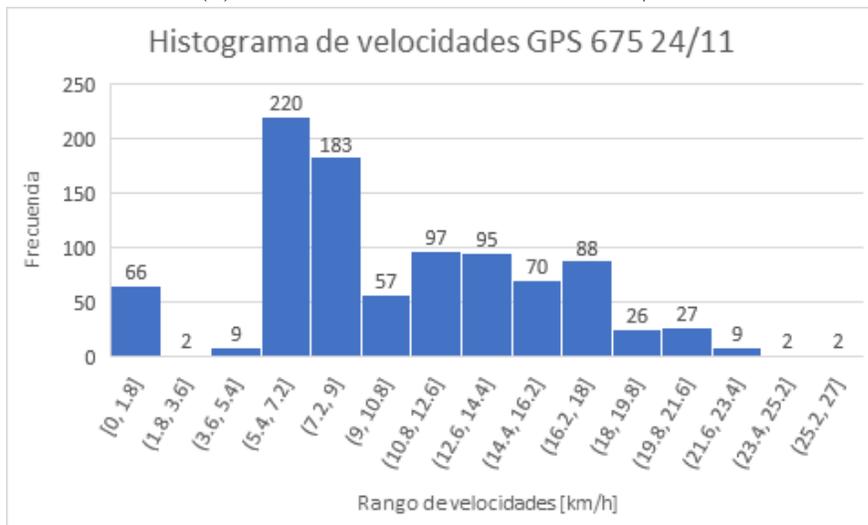
Figura 3.23: Mediciones GPS 675 29/11. Elaboración propia.



(a) Altimetría GPS 632 22/11.

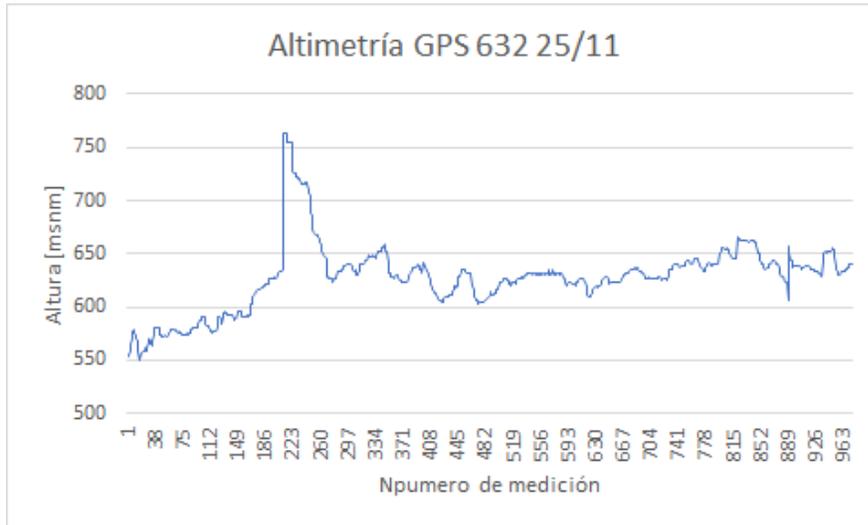


(b) Velocidad instantánea GPS 632 22/11.

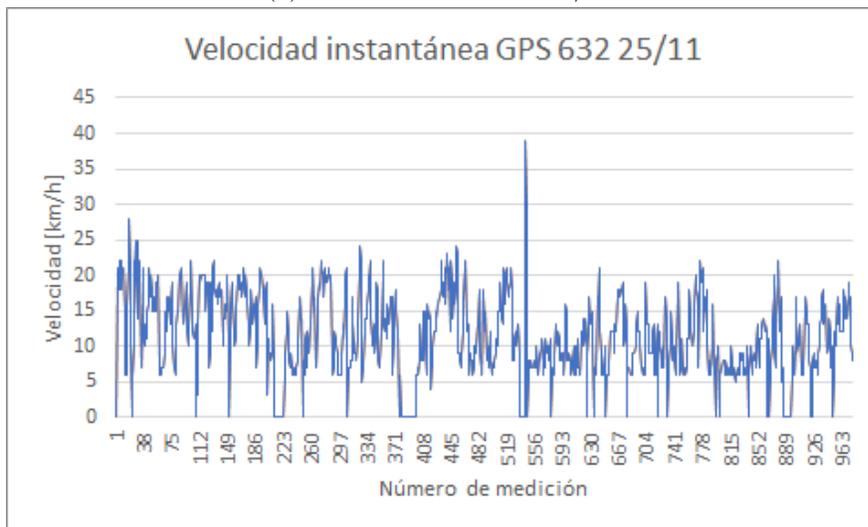


(c) Histograma de velocidad instantánea GPS 632 22/11.

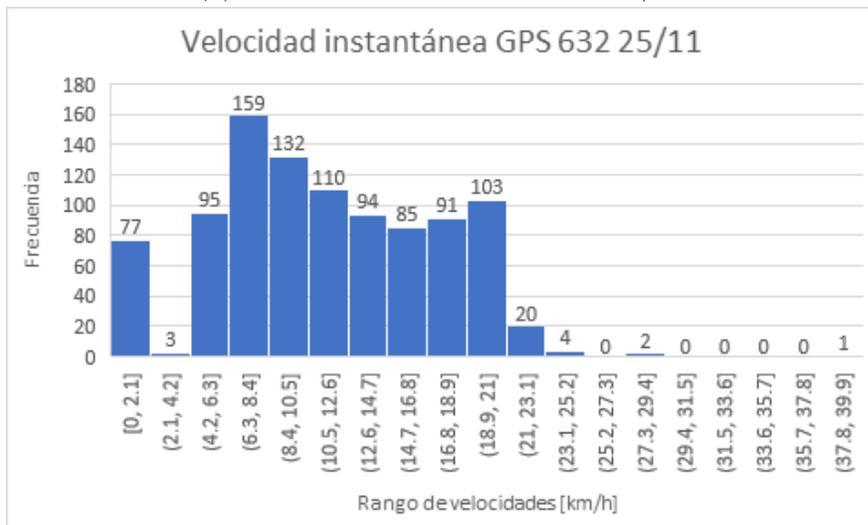
Figura 3.24: Mediciones GPS 632 22/11. Elaboración propia.



(a) Altimetría GPS 632 25/11.



(b) Velocidad instantánea GPS 632 25/11.



(c) Histograma de velocidad instantánea GPS 632 25/11.

Figura 3.25: Mediciones GPS 632 25/11. Elaboración propia.

Para verificar la velocidad de la BE en movimiento en cada una de las jornadas estudiadas se construyó un gráfico de cajas y bigotes, presentados por las figuras 3.26, 3.27, 3.28, 3.29 y 3.30. Los gráficos consideran todas las velocidades registradas por el dispositivo mayores a 0[km/h].

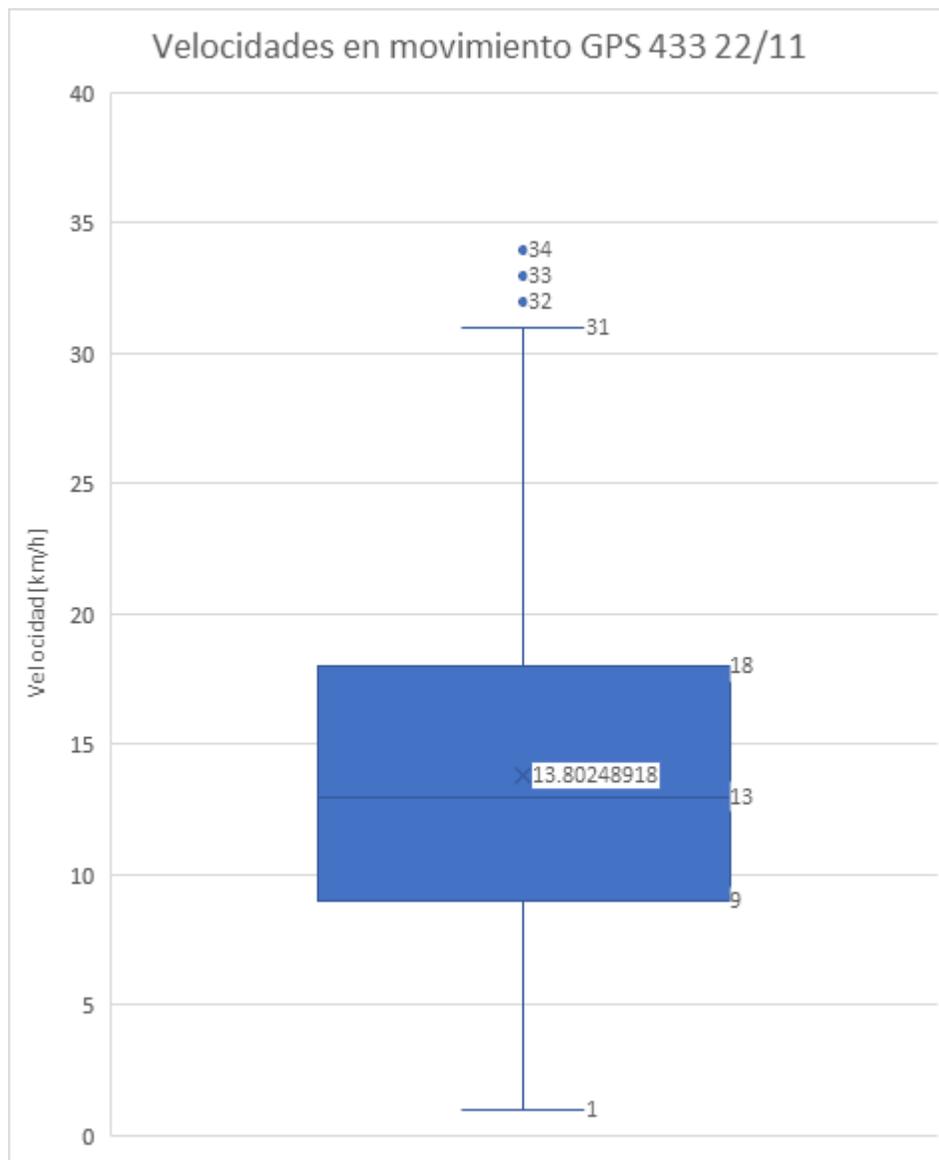


Figura 3.26: Gráfico de cajas y bigotes GPS 433 22/11. Elaboración propia.

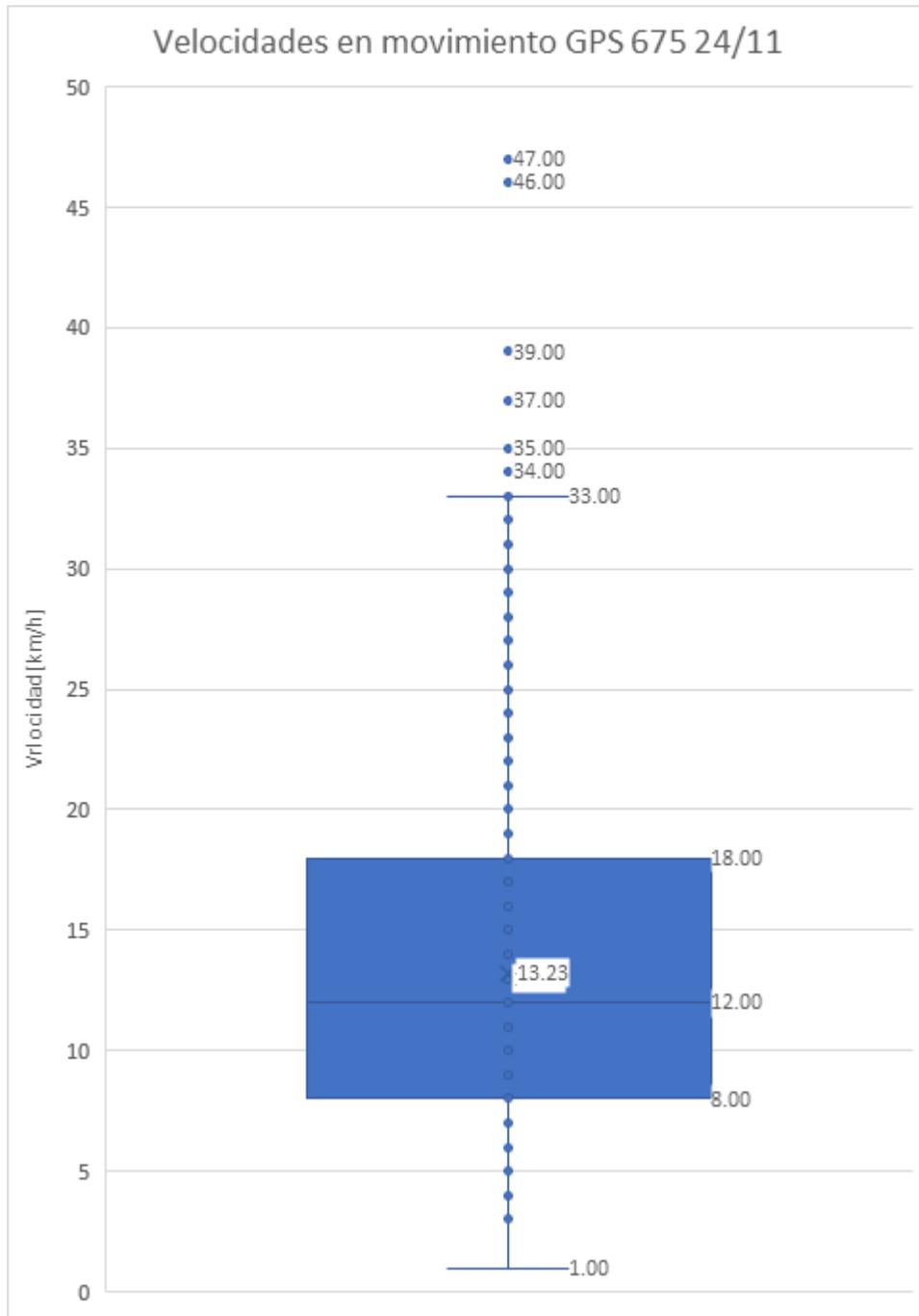


Figura 3.27: Gráfico de cajas y bigotes GPS 675 24/11. Elaboración propia.

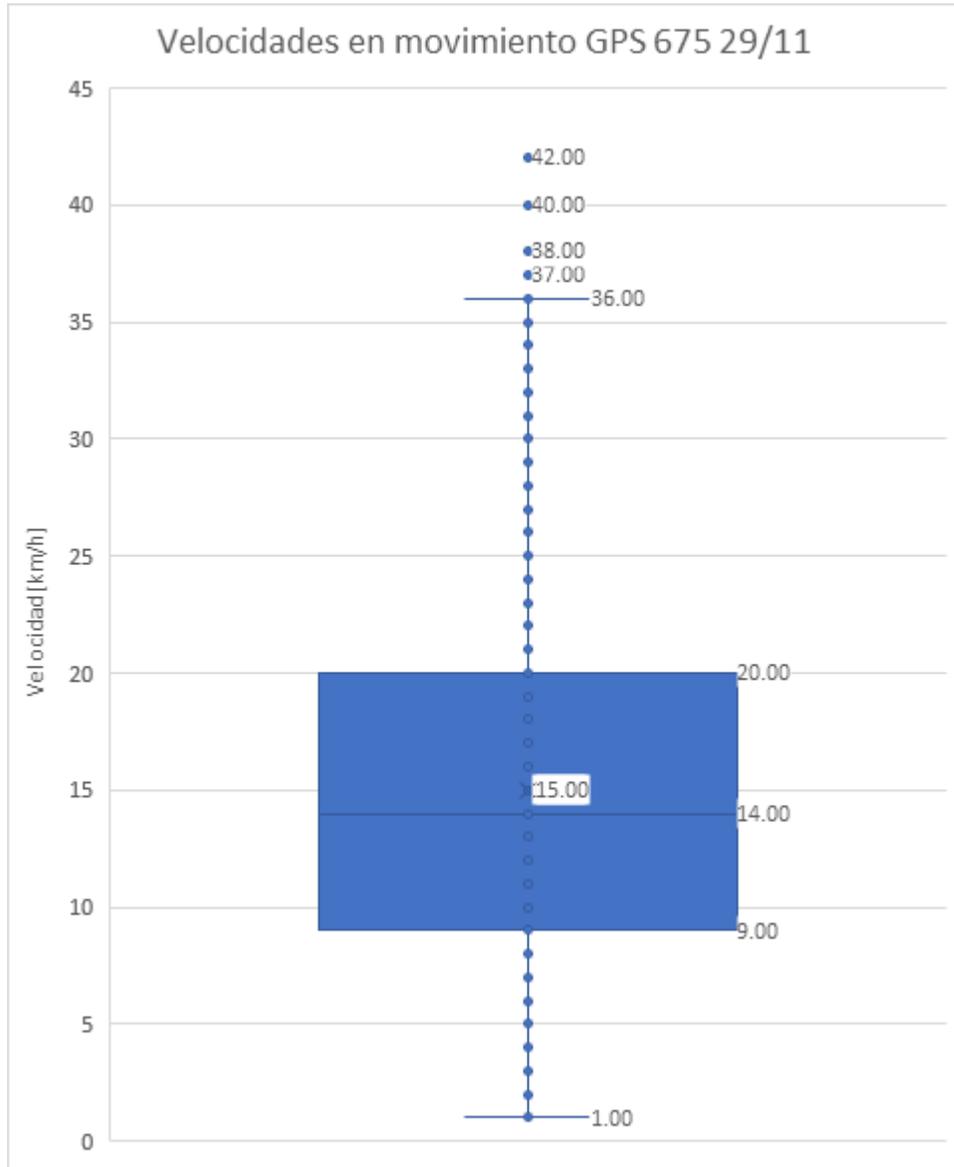


Figura 3.28: Gráfico de cajas y bigotes GPS 675 29/11. Elaboración propia.

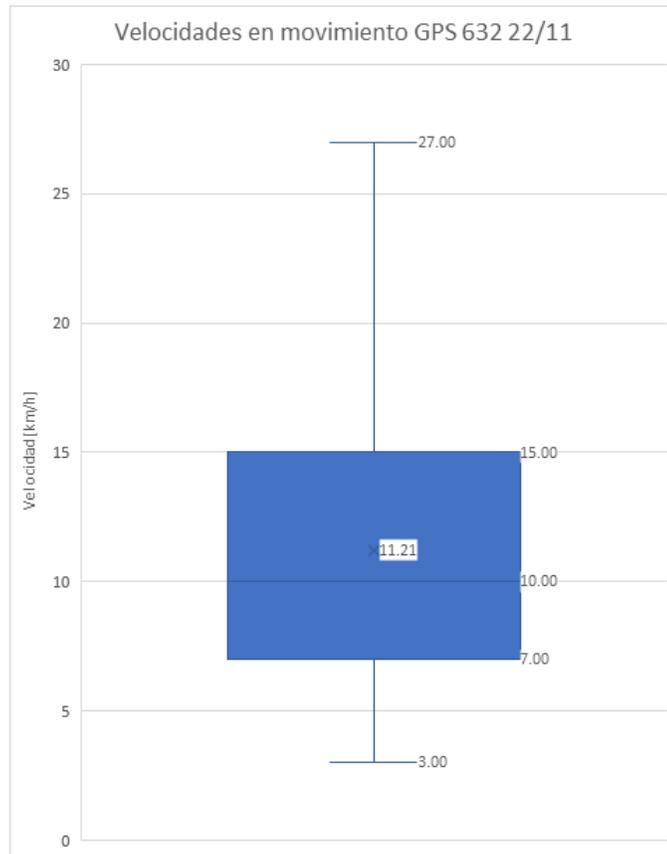


Figura 3.29: Gráfico de cajas y bigotes GPS 632 22/11. Elaboración propia.

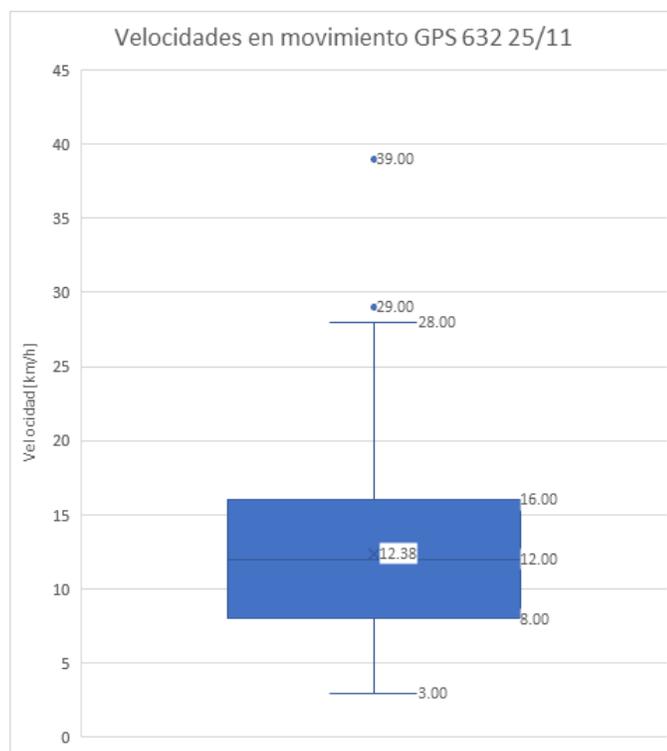


Figura 3.30: Gráfico de cajas y bigotes GPS 632 25/11. Elaboración propia.

### 3.2.4. Mantenciones preventivas de las BE Delivery Satu

Junto con la BE Delivery Satu, los beneficiarios reciben mantenciones preventivas por parte de MakanaBikes cada mes o cada 1000[km] recorridos, lo que ocurriera primero. En todos los casos de estudio se alcanzaron los 1000[km], sin embargo, los retrasos por no poder ajustarse al tiempo y coordinar la mantención con los beneficiarios provocó que la distancia recorrida por la BE, registrada en el odómetro, fuera mayor a 1000[km], como muestran los registros en la tabla 3.13.

Tabla 3.13: Distancia recorrida a fecha de mantención. Elaboración propia.

GPS	Distancia recorrida [km]
433	1112
675	1583
384	2327
896	1333
632	1146

Debido al uso que la BE, se alcanzó un valor elevado de distancia recorrida, lo que se traduce en un mayor desgaste de las piezas que la componen. Se llegaron a las siguientes conclusiones a partir de las mantenciones:

- El material del cuadro ha respondido bien a los esfuerzos aplicados, sin embargo, las vibraciones y el uso exige un reajuste de los pernos más pequeños.
- La dirección y la suspensión se han comportado de buena manera. Se recomienda hacer una mejora a una horquilla de marca reconocida para mejorar aún más la experiencia. Se han recibido solicitudes de probar un manillar más curvo para aumentar el ángulo de la espalda al llevar la mochila en los hombros.
- Las ruedas requieren de una calibración para volver a estar centralizadas. Los neumáticos han sufrido desgaste según lo planificado.
- La transmisión ha respondido correctamente al uso intensivo. Se recomienda hacer la mejora a una cadena especializada para BE.
- EL piñón roscado y la pata de cambios han rendido como se estimaba. en algunos casos se limitó los cambios a los 7 platos de menos dientes para evitar que la cadena se salga del plato trasero más grande. Se recomienda mejorar a un piñón de acero para obtener una mayor vida útil del componente.
- Los rotores de los frenos han recibido un desgaste según lo estimado. Se realiza un cambio de pastillas de freno en la mantención y se calibró la tensión de las pìolas. Se sugiere hacer la mejora a frenos de disco hidráulicos.
- El sillín puede ser más acolchado para mejorar la experiencia durante largas jornadas. Una parrilla para afirmar la mochila es solicitada por los beneficiarios.
- El sistema electromecánico ha respondido estupendamente y los beneficiarios expresan una experiencia satisfactoria. Se realizó un engrase del motor durante la mantención para

continuar con la calidad del motor y con los bajos niveles de ruido. La batería no presenta problemas ni daño estructural. La pantalla y control han respondido correctamente. El cargador no ha presentado problemas y el tiempo de carga no es elevado debido a que no se logra agotar completamente la batería.

### 3.2.5. Comentarios de los beneficiarios en la prensa

La realización del piloto llevó a dos publicaciones en la prensa, con participación e interacción de los beneficiarios. La primera fue realizada por el portal Las últimas noticias y presenta el caso de una de las beneficiarias, María Roa, ilustrada en la figura 3.31. María trabajaba repartiendo en una bicicleta mosquito, ya que el esfuerzo físico era demasiado y la bicicleta 2T era la manera más rápida y económica de seguir repartiendo. La conducción de la bicicleta mosquito le resultaba incómoda, principalmente por el nivel de ruido, vibraciones del motor, el olor constante a bencina y el no poder utilizar las ciclovías. El uso de combustible costaba, como mínimo, 2000[CLP] por jornada.

Al cambiar por la BE, no se recibió un impacto en la cuenta de luz debido a la recarga de la batería, la velocidad alcanzada es suficiente para la conducción que realiza, el esfuerzo físico realizado no agotador a lo largo de la jornada ni genera dolores, y el vehículo posee la autonomía suficiente para cumplir la jornada de trabajo sin estar preocupada de quedarse sin carga [51].



Figura 3.31: María Roa en la publicación de LUN [51].

La segunda publicación fue debido a un punto de prensa realizado en el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, con la presencia del ministro de transportes, Juan Carlos Muñoz, y el ministro de energía, Diego Pardow, dos beneficiarios, el equipo de la AGSE y el

equipo de MakanaBikes. El portal CHV Noticias publicó un vídeo de la nota, en el que se dan testimonios de repartidores anónimos en bicicleta mosquito, en el que señala la confiscación de las bicicletas mosquito, la necesidad de poder hacer viajes más largos y con una mayor frecuencia, entre otros problemas. La noticia continua, mostrando a María Roa, quien repitió su testimonio con la Delivery Satu para el portal y agrego que el costo promedio de bencina para la jornada era entre los 4000 y 8000[CLP] [52].

### 3.3. Modelo de carga de la batería

Resulta importante para MakanaBikes obtener un modelo que indique la operación de la batería de la BE, pues entrega el rango de autonomía que ofrece el vehículo. Luego, es necesario identificar el comportamiento durante la carga de la batería mediante el cargador.

Utilizando la herramienta de simulación de la empresa GRIN Technologies se realizó una estimación del proceso de carga, dado que no se encuentran disponibles en la herramienta el modelo exacto de celda, pero se puede aproximar con el modelo Samsung INR18650 29E, dado que posee el mismo valor de voltaje y un valor un poco menor de corriente que se puede descargar por cada hora, siendo este valor de 2.715 [Ah]. En la simulación se construyó un arreglo de 13 celdas en serie y 7 en paralelo, obteniéndose una batería de 48[V] y 19[Ah] que puede almacenar 938.4[Wh]. La simulación entrego proceso de carga desde 0 a 100 % a un nivel de corriente de 2[A] en el siguiente gráfico de Voltaje en la batería y corriente que fluye por la salida del cargador en función del tiempo, figura 3.32.

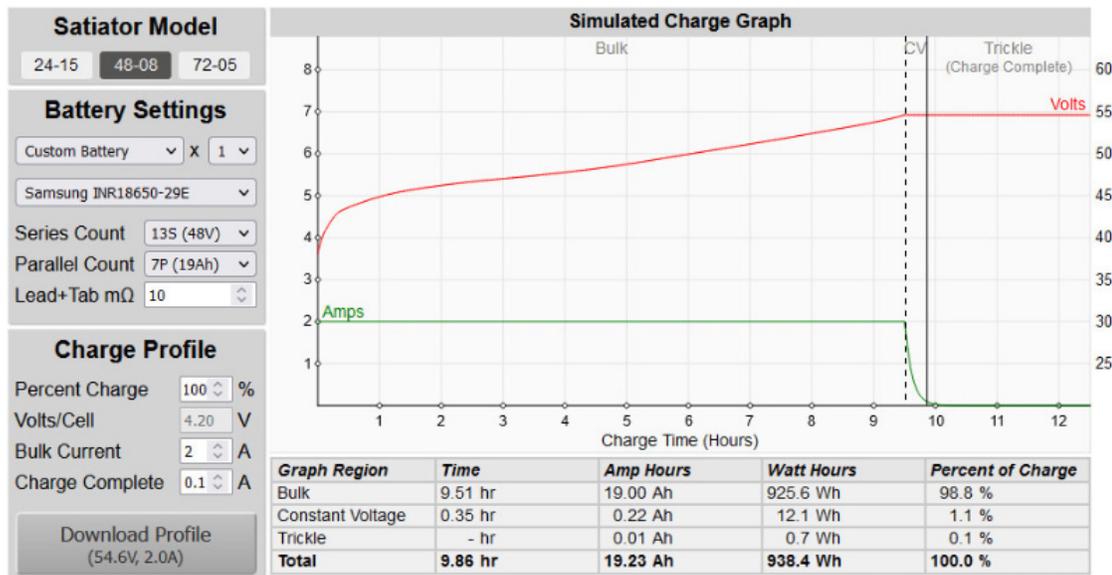
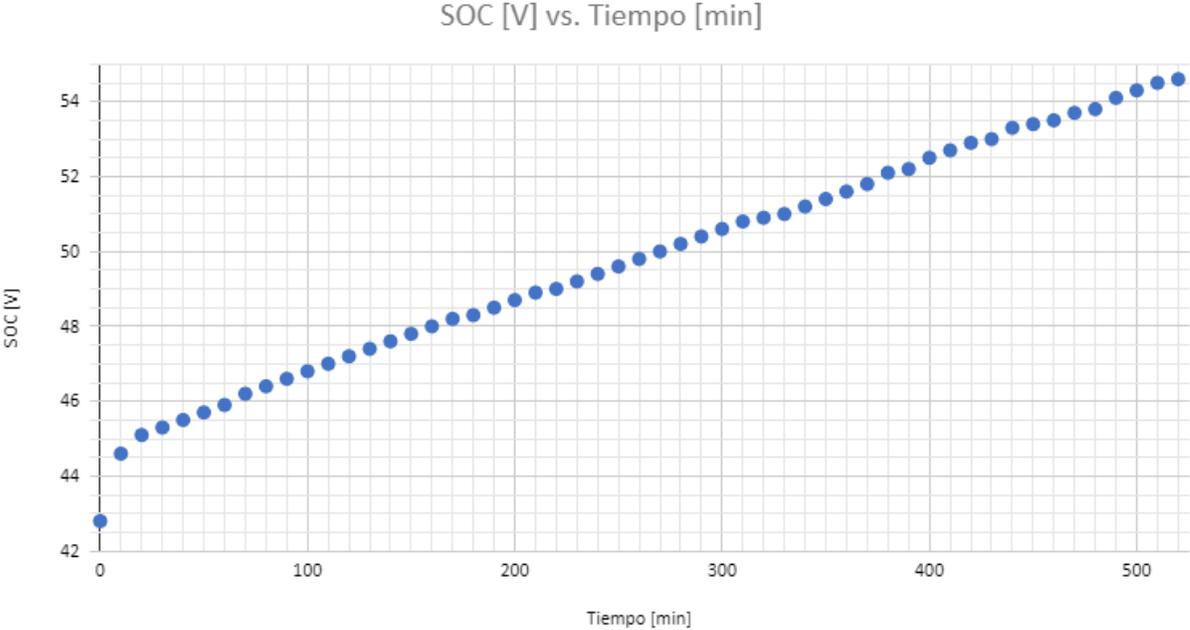


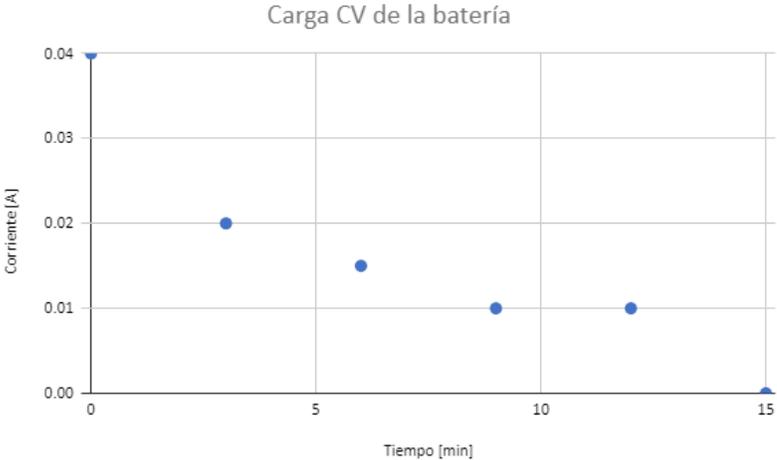
Figura 3.32: Simulación de carga completa de la batería con el cargador [53].

Para verificar la curva de carga se realizó una descarga completa de la batería Reention DP9, es decir, hasta que el controlador del motor no encienda debido a que censa un voltaje muy bajo de la batería, y se cargó la batería tomando mediciones del voltaje en bornes de

esta, utilizando la pantalla C18, cada 10 minutos para obtener la carga CC. Para verificar la carga CV, se registró, con una pinza amperimétrica, la corriente que suministra el cargador desde la red cada 3 minutos una vez que se mide 54.6[V] en los bornes de la batería. Los resultados se presentan a continuación en las figuras 3.33.a y 3.33.b



(a) Proceso de carga CC.



(b) Proceso de carga CV.

Figura 3.33: Proceso de carga de la batería Reention DP9 con el cargador Wuxi D-Power Dplc110v55. Elaboración propia.

La carga CC tuvo un periodo de 520 minutos y la carga CV de 15 minutos. Una vez que la carga CV termina, lo que se traduce en 535 minutos desde una carga vacía, la luz del cargador cambia a verde, punto en el cual se dejó de circular corriente por el cargador.

De la tabla 3.7 se puede hacer la distinción entre el SOC al final de la jornada, en los

días en que se realizó una recarga de la batería antes de empezar la jornada y de los que no. Luego, con los resultados de las figuras 3.33.a y 3.33.b, se puede calcular el tiempo de recarga completa, calculado en la tabla 3.14.

Tabla 3.14: Estadísticas de cálculo de tiempo de recarga completa. Elaboración propia.

Jornadas sin recargar la batería	SOC fin de la jornada [%]		Tiempo de recarga completa [min]	
	0 [Días]	1 [Día]	0 [Días]	1[Día]
Promedio	65 %	57 %	305	385
Desviación estándar	18 %	7 %	NA	NA
Mínimo	31 %	49 %	525	445
Máximo	86 %	68 %	135	285

# Capítulo 4

## Diseño de la Bicicleta eléctrica

### 4.1. Metodología

La metodología para efectuar los objetivos propuestos comienza con obtener una información clara del segmento objetivo, de sus necesidades y prioridades. Por otra parte, se realiza una prueba de concepto de la BE diseñada para el proyecto piloto, la cual consiste en utilizar la data recopilada por del proyecto piloto “Mi bicicleta eléctrica delivery” para definir la autonomía de la BE en el segmento objetivo y el gasto de los componentes. Además, se va a realizar un estudio de carga de la batería, tal de obtener tanto la carga como la descarga de la batería por el usuario.

Del estudio del segmento objetivo se analizarán los problemas tal de identificar los elementos de la BE que ofrecen una solución a los requerimientos, es decir, un diseño conceptual de la BE. Una vez diseñada la BE se construye un programa de mantenciones y de vida útil de las piezas móviles, que son las que mayor gasto estructural, para mantener la calidad de conducción del vehículo.

Tanto el diseño conceptual y planificación de calidad de producto, y el estudio de comportamiento de la batería, culminan en la creación de la ficha técnica final del modelo de BE, que especifica lo necesario para su construcción, operación y mantenimiento.

La retroalimentación ocurre con la evaluación del producto por parte del usuario, donde los comentarios positivos y negativos son recopilados como nuevos antecedentes, así se comienza nuevamente la recursividad. La metodología completa se resume en la figura 4.1.



Figura 4.1: Metodología propuesta. Elaboración propia.

El enfoque metodológico escogido es uno cualitativo, dado que incentiva la interacción con los individuos que forman parte de la realidad a investigar, ofrecer una solución a sus problemáticas y evaluarla de manera técnica el producto/servicio [54].

## 4.2. Justificación del sistema electromecánico

De los resultados de la encuesta se obtuvo que la principal característica que solicita el público es la autonomía. Esta característica va a depender fuertemente del sistema electromecánico, pero también de características como el peso de la bicicleta y facilidad de pedalear, que depende directamente del sistema estructural, frenado y cambios, y tracción.

De los resultados anteriores se aprecia que el sistema electromecánico de la BE Delivery Satu es satisfactoria para el público objetivo. En particular la batería posee más que suficiente capacidad para las jornadas, en las tablas 3.7 y 3.8 se observa que el mínimo SOC es de 31 % y que los beneficiarios incluso realizan recargas de la batería cada dos días. El máximo uso de la batería es de 63 % por el beneficiario 675 el día 24/11. En las figuras 3.22 y 3.27 se aprecia, en primer lugar, 7 cambios de elevación drásticos en el gráfico de altimetría con velocidades instantáneas correspondientes menores a 25 [km/h], en específico entre las mediciones entre 316 y 421, y en 841, 1681, 2101, 2206, 2521 y 2731. Durante los descensos y trayectos sin cambios de elevación se registran velocidades mayores a 25[km/h], lo que implica que se utiliza el sistema para llegar al mencionado nivel y luego se continúa pedaleando para avanzar a mayor velocidad. Lo anterior se ve reflejado en las velocidades mayores 33 [km/h] en la figura 3.27.

La mínima eficiencia alcanzada, en la tabla 3.8, permite que la mínima autonomía estimada dada la conducción real de un beneficiario posible, 98.31[km] en la tabla 3.10 sea mayor que la máxima Distancia final recorrida de una jornada, 90.8[km] hecho por el beneficiario del GPS 675 el 24/11. Dada la autonomía esperada dada la conducción de los beneficiarios promedio, de 176.7138[km], un conductor puede rendir, en promedio, la batería durante 3 días y medio, siendo la distancia promedio recorrida de 46.6571.

La conducción del beneficiario de identificación del GPS 675 muestra un uso más intensivo del sistema electromecánico, dado su alto nivel de distancia final recorrida por jornada y su histograma de velocidades, figuras 3.27 y 3.28. Sin embargo, todos los histogramas muestran cuartiles y valores promedios similares, presentando deferencias del promedio de menos de 4[km/h].

En comparación, las mediciones de uso de batería y mediciones de altimetría y velocidad instantánea de los GPS 433, 384, 896 y 632 muestran una conducción a menores velocidades, como demuestran en las figuras 3.26, 3.29 y 3.30, pero con ascensos en alturas similares, cercanos a los 140[m] según los gráficos de altimetrías, y obteniendo mejores niveles de Consumo energético real y eficiencia, como muestran los valores de la tabla 3.7.

El costo operativo para el usuario, es decir, el costo reflejado en la cuenta de la luz por recargar la batería, al momento de la mantención preventiva se puede estimar dado los valores de consumo energético real, donde se utiliza el valor promedio para cada beneficiario se presenta en la tabla 4.1. De esta manera se puede estimar el gasto operativo por los beneficiarios a la fecha de la mantención preventiva utilizando los resultados de las tablas 3.7 y

## 3.13.

Tabla 4.1: Estimación de costos operativos de los beneficiarios. elaboración propia.

GPS	Distancia recorrida [km]	Consumo energético real promedio [Wh/km]	Estimador de costo operativo promedio [CLP/km]	Estimación de costos operativos a la fecha de la mantención [CLP]
433	1112	4.3367	0.5204	578.69
675	1583	7.1096	0.8532	1350.62
384	2327	4.8622	0.5835	1357.81
896	1333	4.2898	0.5148	686.23
632	1146	5.3945	0.6473	741.81

Al comparar con el costo promedio en combustible de las bicicletas 2T, de 5000[CLP] por jornada, se aprecia la reducción considerablemente grande del costo operativo debido al uso de combustible o energía. No es posible tener una comparación del ahorro diario o mensual al no tener información de la cantidad de jornadas realizadas tanto en la Delivery Satu y en bicicletas con motor 2T. De la tabla 3.7, se obtiene el mayor costo por recarga, de 73.66 [CLP] conseguido por el beneficiario del GPS 675 el día 24/11, al multiplicar el consumo energético real, 6.7607 [Wh/km], con la distancia final recorrida, 90.8 [km], y el costo de la energía, 120 [CLP/kWh]. El costo real calculado en el peor caso es 6787.9446% menor en comparación con el costo promedio en combustible de la bicicleta mosquito.

La diferencia entre la velocidad media por jornada en la tabla 3.7 y los histogramas de velocidades, figuras 3.21.c, 3.22.c, 3.23.a, 3.24.c y 3.25.c, se explica por la manera en que el GPS registra una medición.

De las columnas de distancia final recorrida y duración de la jornada en la tabla 3.7, se observa la variabilidad de las jornadas de un usuario y la comparación con sus pares. Se aprecian, de la tabla 3.6, que existen repartidores con horarios relativamente fijos, como el GPS 632 quien sale temprano por la mañana y tiene una duración de jornada entre las 12.5 a 13 horas en total. En contraste, el beneficiario del GPS 675 muestra la mayor variabilidad de duración entre sus jornadas, pero muestra también de las mayores distancias recorridas por jornada.

Finalmente, las publicaciones en la prensa muestran que la autonomía, potencia y velocidad generan un buen balance para el uso que un beneficiario le otorga durante la jornada y generan beneficios, sin causar costos mayores para la operación del sistema electromecánico en la BE.

Debido a lo anterior, MakanaBikes, considera exitoso la elección del sistema electromecánico y planea utilizarlo en el modelo a diseñar.

### 4.3. Bicicleta a ser convertida

El resto de sistemas que componen la BE deben ser compatibles con los elementos seleccionados en el sistema electromecánico. Con la experiencia de MakanaBikes se prefiere encontrar una bicicleta candidata a ser convertida y que posea las características que satisfagan las necesidades señaladas por la experiencia de la *Start-up* y el público objetivo.

El sistema electromecánico impone dos criterios para que una bicicleta pueda ser convertida:

1. El vástago del pedalier debe ser del estándar JIS, como se indica en la figura 3.14
2. El cuadro debe ofrecer suficiente área para fijar la base de la batería, como se muestra en la figura 3.9. A partir de un área, relativamente plana, de  $50 \times 150$ [mm] se obtiene una buena fijación.

Debido a lo anterior se estudió la bicicleta modelo Touring One easy entry talla M de la marca Cube, ilustrada en la figura 4.2.



Figura 4.2: Cube Touring One easy entry [55].

El modelo de bicicleta posee un cuadro tipo *step-through*, hecho de aluminio 6061 y diseñado para ruedas de 28" y un largo del tubo de asiento de  $530$ [mm] para la talla M, como se muestra en la figura 4.3.a. El tamaño del pedalier sigue el estándar JIS, y los diámetros de los tubos de dirección y de asiento son de  $28.6$ [mm]. La geometría del diseño permite un ángulo de espalda cercano al ángulo recto. La bicicleta, considerando el sistema electromecánico, pesa  $26$ [kg] y puede soportar un peso máximo de  $115$ [kg], considerando al conductor y la carga que pueda llevar. El encaje de la batería en el tubo inferior se corroboró utilizando un modelo en el programa Inventor. El tubo inferior es relativamente plano, como se presenta en la figura 4.3.b, y posee una superficie de  $399$  [mm] y  $60$ [mm] de ancho. Las mediciones,

presentadas en las figuras 4.4.a y 4.4.b, se realizaron de una plantilla del cuadro del modelo en el programa Inventor.

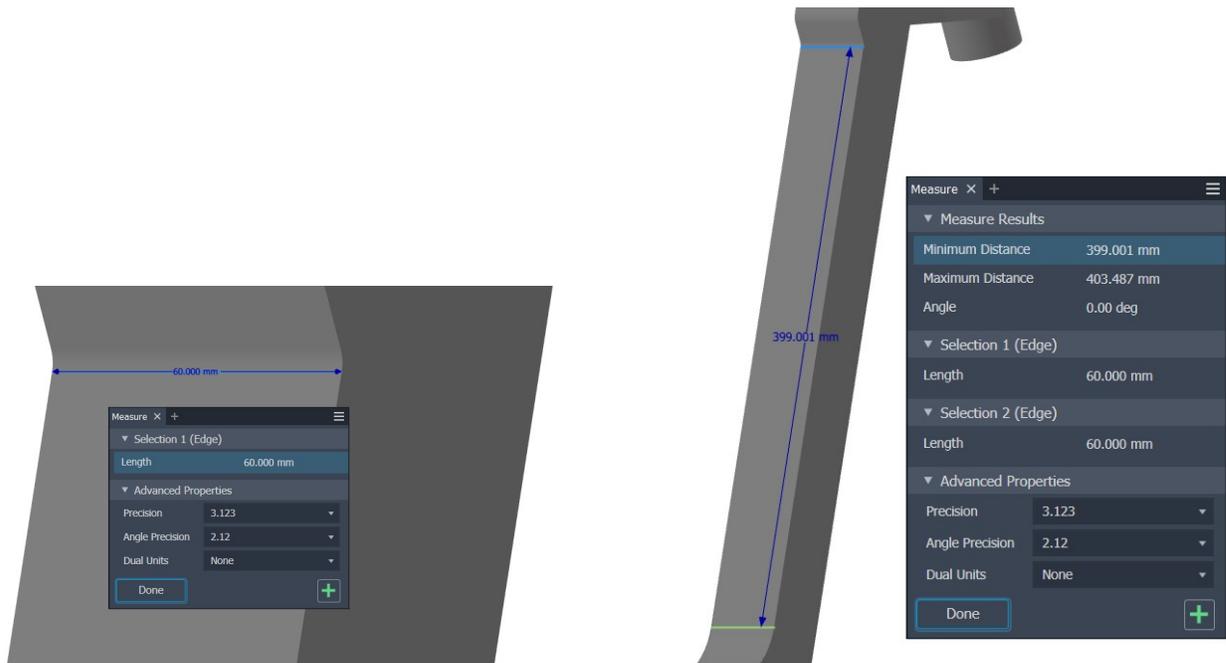


(a) Medidas cuadro Cube Touring One easy entry [56].



(b) Vista tubo inferior Cube Touring One easy entry [55].

Figura 4.3: Medidas cuadro Cube Touring One easy entry.



(a) Ancho tubo inferior Cube Touring One easy entry. (b) Largo tubo inferior Cube Touring One easy entry.

Figura 4.4: Tubo inferior Cube Touring One easy entry. Elaboración propia.

La dirección está conformada por un manillar Cube Comfort Trail Bar de 660[mm] de largo y una inclinación al conductor que permite mayores ángulos de espalda al conducir, una tee Cube comfort stem pro de 31.8[mm] de largo y de altura ajustable, y una horquilla con suspensión SR Sentour NEX con 63[mm] de recorrido. Los puños en el manillar son de la marca ACID modelo Travel Comfort, las palancas de cambio y de freno son las Shimano SL-M315 Rapidfire-plus y MT200, respectivamente. La figura 4.5 muestra la vista superior del manillar del modelo de Cube.



Figura 4.5: Manillar Cube Touring One easy entry [57].

Las ruedas son tipo MTB de 28" de diámetro y 1.75" de ancho. Las llantas son de aluminio de doble pared, los neumáticos son Schwalbe Rabge Crusier 47-622 Active. La rueda delantera posee un buje Shimano DH-3D37, mientras que la trasera tiene uno FH-TX505 de la misma marca. Los rayos de las ruedas son de 2[mm] de diámetro y 280[mm] de largo.

La cadena de la bicicleta es la Z51 de KMC y la pata de cambio es la Shimano RD-M310. La pata se ajusta al *cassette* trasero de 8 velocidades Shimano CS-HG200 de 12 a 32 dientes, a través de la tensión de la piola que conecta con la palanca en el manillar. El *cassette* permite un rango de marchas de 2.67. Se utiliza el plato delantero, bielas, pedales y sensor de cambio utilizado en la BE Delivery Satu. La figura 4.6 ilustra los cambios de la bicicleta.



Figura 4.6: Cambios Cube Touring One easy entry [57].

Los frenos delantero y trasero son de disco hidráulico BR-MT200 de Shimano. Ambos rotores son de 160[mm]. Se considera el sensor de freno por imán del kit Bafang, presentado en la figura 4.7.



Figura 4.7: Sensor de freno hidráulico kit Bafang [50].

El asiento está formado por un sillín Comfort de Cube y una tija de aleación de aluminio. Se reemplaza la luz delante por la luz delantera en el manillar del modelo Delivery Satu, porque posee una mayor intensidad lumínica. Existen dos luces traseras, presentadas en la figura 4.8, una en la parrilla y otra en el tapabarro trasero. La del tapabarro se enciende al accionar, al menos, una de las palancas de freno y es parte de los tapabarros ACID 53 BB-Mount. La parrilla ACID Semi-Integrated con el sistema RILinl Adapter de la misma marca puede soportar una carga máxima de 25[kg]. La bicicleta posee tapabarros en la rueda trasera y delantera, parte del modelo de ACID. La pata de la bicicleta es la CUBEstand Cmpt.



Figura 4.8: Luces traseras y parrilla Cube Touring One easy entry [55].

Toda la información del modelo fue obtenida de la página web oficial de Cube [55].

La tabla 4.2 resume las ventajas y desventajas de la bicicleta Touring One easy entry de Cube y la bicicleta base de la Delivery Satu.

Tabla 4.2: Comparación entre BE diseñada y Delivery Satu. Elaboración propia.

Ventajas	Desventajas
Cuadro Step-through y el manillar permite una conducción con ángulo de espalda rectos	Menor aerodinámica del ángulo de espalda
Ángulo de la tee ajustable	Menor peso máximo soportado
Horquilla delantera de marca reconocida	Mayor peso total de la BE
Mejores manetas de cambio y freno	Menor recorrido de la horquilla
Ruedas más pequeñas, da más ligereza a la conducción	Rotor de freno delantero más pequeño
Ruedas más anchas, dan mayor amortiguamiento	Componentes más caros
Bujes de marca reconocida	No existe experiencia con el usuario
Mejor modelo de pata de cambios	
Cassette trasero de marca reconocida	
Mayor rango de marchas	
Frenos de disco hidráulicos	
Luz trasera se enciende al accionar los frenos	
Presencia de tapabarros	
Presencia de parrilla	
Todos los componentes son de marca reconocida	

#### 4.4. Mantenimiento de la BE

Los componentes móviles son los más susceptibles a gasto mecánico y a desajuste, debido a vibraciones que pueden soltar las piezas de ajuste. Componentes que son fundamentales para la conducción como: sujeción de los componentes, ruedas, frenos, cambios, transmisión y el sistema electromecánico deben ser revisados, ajustados, lubricados y limpiados más frecuentemente. Una revisión completa de la BE se debe realizar cada año, en esta se consideran cambios de neumáticos y cadena, y aún rearmado completo de la bicicleta si es posible.

De las mantenciones preventivas se obtuvo claridad de los elementos que son necesarios de calibrar en las mantenciones cada 1000[km] o cada mes de uso, lo que ocurra primero. Es a partir de las mantenciones de los beneficiarios y de la experiencia de MakanaBikes que se construyó el siguiente plan de mantención:

- Revisión del sistema electromecánico. Se revisa que los contactos del sistema estén en buen estado, se cubre con grasa los engranajes del motor, se revisa la posición del sensor de movimiento y se revisa la configuración de la pantalla.
- Se hace un ajuste de la tornillería de la BE. Se revisan tornillos de la base de la batería, del motor, las bielas y pedales, y de los elementos en el manillar
- Ajuste de centrado de ruedas. Se revisa que el plano por el cual rota la rueda sea derecho en la rueda misma.
- Regulación de cambios y frenos. Se ajusta la tensión de las piolas o de la presión del líquido de frenos, se cambian las pastillas de freno y se calibra la posición del caliper.
- Limpieza general y lubricación. Se limpia la suciedad acumulada en el marco, en la horquilla delantera, ruedas y de la grasa con suciedad en la transmisión. Se lubrica la cadena de la BE.

En una revisión anual se planifica hacer un desarme y armado completo de la bicicleta para revisar la integridad de los componentes dado el uso intensivo, incluyendo el motor, pero excluyendo la batería. Además, se realiza un cambio de cadena, neumáticos, *cassette* y piolas.

## 4.5. Ficha técnica de la BE diseñada

A continuación, se presenta la ficha técnica de la BE diseñada en la tabla 4.3.

Tabla 4.3: Especificaciones bicicleta base de la BE diseñada. Elaboración propia.

Componentes	Ítem
Cuadro:	
Tipo	Step-through
Material	Aluminio
Tamaño	28"*530 [mm]
Tamaño pedalier	JIS o square tapered spindle
Diámetro tubo de asiento	28.6 [mm]
Diámetro tubo de dirección	28.6 [mm]
Ángulo de espalda	90°
Máximo peso soportado en total	115 [Kg]
Color	Gris
Peso total de la BE	26 [Kg]
Dirección:	

Tabla 4.3: Especificaciones bicicleta base de la BE diseñada. Elaboración propia.

Componentes	Ítem
Manillar	Cube Comfort Trail Bar, 660 [mm]
Tee	Ajustable, Cube comfort Stem pro, 31.8 [mm]
Puños	ACID Travel Comfort de goma
Suspensión Delantera	SR Sentour NEX
Recorrido horquilla	63 [mm]
Maneta de cambio	Shimano SL-M315, Rapidfire-Plus
Maneta de freno	Shimano BR-MT200
Pantalla	Bafang DP C18
Control de la pantalla	Bafang DP C18
Acelerador	Acelerador Bafang
<b>Tracción:</b>	
Tipo rueda	MTB
Tamaño de las Ruedas	28"
Ancho de los Neumáticos	1.75"
Tipo de Llantas	Aluminio doble pared
Neumáticos	Scwalbe Range Crusier, Active, 47-622
Buje delantero	Shimano DH-3D37
Buje trasero	Shimano FH-TX505
Diámetro de los rayos	2 [mm]
Largo de los rayos	280 [mm]
Ubicación del sensor de velocidad	Rueda trasera
<b>Transmisión:</b>	
Crankset	Bafang MM G340.250.C
Modelo pata de cambio	Shimano RD-M310
Cadena	KMC Z51
<b>Cambios:</b>	
Tipo de Cambios	8 velocidades traseros
Mecanismo	Tensión de piola
Plato delantero	Bafang MM G340.250.C 44T
Cassette trasero	Shimano CS-HG200, 12-32T
Rango marchas	2.67
Sensor de cambio	Sí
<b>Frenos:</b>	
Tipo de Frenos	Disco hidráulico
Modelo frenos	Shimano BR-MT200
Mecanismo de freno	Presión liquido
Diámetro de los Discos	160D/160T [mm]

Tabla 4.3: Especificaciones bicicleta base de la BE diseñada. Elaboración propia.

Componentes	Ítem
Frenos enciende la luz trasera	Sí
Sensor de freno	Sí, delantero
Servicios complementarios:	
Sillín	Comfort, amplio
Tija del Sillín	Aleación de aluminio
Luces	Independientes delantera y trasera led
Intensidad luces	350 [Lm] delantero y 10 traseras [Lm]
Pata	CUBEstand Cmpt
Tapabarros	ACID 53 BB-Mount
Parrilla	ACID Semi-Integrated, ACID RILinl Adapter Compatible
Máximo peso soportado por la parrilla	25 [kg]

Las especificaciones del sistema electromecánico son las misas que aparecen en las tablas 3.3, 3.4 y 3.5

Dada la ficha anterior se puede comparar con fichas técnicas de vehículos que son candidatos a reemplazar la BE. En MakanaBikes se solicitó hacer la comparación contra la motocicleta eléctrica de la marca Niu modelo NQi Sport y la motocicleta 125cc Pulsar NS125 de Bajaj, en representación de una motocicleta eléctrica y una motocicleta a combustión, que se pueden comprar en Chile. La tabla 4.4 resume y compara las principales características de los tres vehículos.

Tabla 4.4: Especificaciones de BE diseñada, Niu NQi Sport y Bajaj Pulsar NS125. Elaboración propia.

Especificación	BE diseñada	NIU NQi Sport	Bajaj Pulsar NS125
Costo de adquisición	No definido	2599000 [CLP]	1650000 [CLP]
Requerimientos para conducir	Ninguno	Patente, licencia clase C y permiso de circulación	Patente, licencia clase C y permiso de circulación
Peso vehículo	26 [kg]	99 [kg]	133 [kg], con estanque lleno
Máxima carga soportada	125 [kg]	269 [kg]	150 [kg]
Ángulo de espalda	90°	90°	75°
Autonomía	98 [km] mínimo real	50 [km] estimados	388.5 [km] real
Tipo de motor	BLDC	BLDC	4 tiempos
Velocidad máxima	25 [km/h] asistida	45 [km/h]	100 [km/h]
Potencia nominal	250 [W]	1500 [W], 50cc	8800 [W] o 11.8HP
Torque	80 [Nm]	110 [Nm]	10.75 [Nm]
Suspensión	Delantera	Delantera y posterior	Delantera y posterior
Capacidad batería	20.3 [Ah]	29 [Ah]	NA
Peso batería	5 [kg]	11 [kg]	NA
Tiempo recarga batería	535 [min]	420 [min]	NA
Voltaje nominal	48 [v]	60 [v]	NA
Tipo de celdas	18650 Ion-Litio	18650 Ion-Litio	NA
Cilindrada	NA	NA	123cc
Volumen estanque de gasolina	NA	NA	10.5 [Lt]
Gasolina utilizada	NA	NA	95 octanos
Rueda delantera	28**53 [mm]	12**90 [mm]	17**70 [mm]
Rueda trasera	28**53 [mm]	12**120 [mm]	17**100 [mm]
Rango de consumo energético	5.25 [Wh/km]	31 [Wh/km]	263.16 [Wh/km]
Rango eficiencia	0.21[km/Wh]	0.03[km/wh]	36[km/lit] o 0.0038[km/wh]
Costo por unidad recargada	0.12 [CLP/Wh]	0.12 [CLP/Wh]	0.13 [CLP/Wh]
Costo recarga completa	101.73 [CLP]	181.7 [CLP]	12894 [CLP]
costo promedio por km	0.63 [CLP/km]	3.72 [CLP/km]	30 [CLP/km]
Costo mantención 1000[km]	45000 [CLP] con cambio de pastillas	50000 [CLP] sin repuestos	53000 [CLP] sin repuestos

La información utilizada en la tabla para la comparación fue obtenida desde [58], [59] y [60].

# Capítulo 5

## Conclusiones

La encuesta exploratoria tuvo dos alcances. El primero fue ser un primer acercamiento al segmento de repartidores, por lo que no se les preguntó información personal y se realizó en la menor cantidad de tiempo posible. El segundo consistió en obtener información de los porcentajes de género entre los repartidores y las prioridades que ellos poseen. La información recopilada en la figura 3.1 y figura 3.2 muestra que, en primer lugar, se obtuvo que el porcentaje de mujeres que trabajan como repartidoras no es menor, alcanzando casi 20% de los encuestados. Las características más relevantes para el público objetivo fueron autonomía, parrilla, suspensión y manillar alto. El sistema de arriendo sí es atractivo para los encuestados.

El modelo Delivery Satu, ganador del concurso de selección de proveedor único para el piloto de la AGSE, es una herramienta de trabajo que cumple con la expectativa de autonomía que exigen los beneficiarios al comprar la autonomía mínima esperada en la tabla 3.5 y la distancia final recorrida en la tabla 3.7.

Las velocidades medias de las jornadas en la tabla 3.6, muestran que los beneficiarios no se encuentran detenidos durante gran parte de la jornada. Esto se ve reflejado en las mediciones del GPS, específicamente en los histogramas de velocidades instantáneas, figuras 3.21.c, 3.22.c, 3.23.c, 3.24.c y 3.25.c, donde se pueden apreciar el número de detenciones registradas por el GPS.

La tabla 3.8, se concluye que los beneficiarios presentan un buen uso de la carga de la batería. En primer lugar, los niveles de SOC nunca llegan al valor de corte del motor, 13%. La cantidad máxima de batería utilizada, coincidente con la máxima distancia final recorrida, muestra que la capacidad de la batería es suficiente para las jornadas de los beneficiarios, pues dicho máximo es aproximadamente el doble de distancia que el promedio recorrido por jornada. En las tablas 3.9, 3.11, 3.12 y 3.14, los resultados muestran que la energía recargada en las jornadas es variada, lo que se explica por la variabilidad de las jornadas de los repartidores, pero el costo de la recarga es bajo, siendo el máximo de 71.3261[CLP] y el promedio de 52.3578[CLP]. Los tiempos de recarga son menores, en promedio, cuando la recarga se realiza cada día por medio, pero los máximos son mayores, lo anterior se debe a dos ámbitos. El primero es la distancia que se acumula durante una jornada es relativamente menor que la que se acumula entre dos jornadas consecutivas, así la energía utilizada acumulada es menor el primer caso, obteniéndose un menor tiempo de recarga. El segundo ámbito es que los usos más intensivos en distancia recorrida utilizan más energía del sistema por jornada. Luego, la

energía utilizada en dichas jornadas requiere que el sistema sea recargado para seguir a la jornada siguiente.

El rendimiento por kilómetro recorrido del sistema electromecánico, en la tabla 3.9, es relativamente bajo, siendo en un promedio de 0.63[CLP/km] y un máximo de 1.03[CLP/km]. La autonomía máxima promedio, dada las conducciones reales de los beneficiarios presentado en la tabla 3.10, es de 176.7138[km], y su valor mínimo es de 98.31[km] superando la distancia promedio y máxima recorrida en una jornada por parte de los beneficiarios, de 46.6571 y 90.8[km].

De la figura 3.20 se observa que la distancia total recorrida es una forma aproximada muy buena para estimar el consumo de la batería del vehículo, siendo la tendencia lineal entre ambas de 93.03 %.

De la tabla 3.7 y figuras 3.26, 3.27, 3.28, 3.29, 3.30, se obtiene un mayor valor de eficiencia en la conducción cuando la velocidad del vehículo está más concentrada en el rango de la velocidad en que el pedaleo es asistido, no cuando se llega ha dicho límite para ir a mayores velocidades. De las conducciones, se obtuvo valores promedio de la BE Delivery Satu en movimiento similares entre las jornadas, siendo los valores entre los 11.2 a 15 [km/h].

El sistema electromecánico es capaz de subir cambios de elevación del orden de los 150[m] a 200[m], como se observa en las figuras 3.21.a, 3.22.a, 3.23.a, 3.24.a y 3.25.a. Por otra parte, se observa una correlación entre los registros de subida de altimetría y velocidad instantánea, para el mismo número de medición en las figuras 3.21.b, 3.22.b, 3.23.b, 3.24.b y 3.25.b, tal como se presentó en la justificación del sistema electromecánico de la BE diseñada.

Las mantenciones preventivas muestran que el uso de la BE por parte de los beneficiarios, registradas en la tabla 3.13, es alto, aproximadamente 1500[km] por mes, sin embargo, los costos operativos estimados promedio y acumulados a la fecha de la mantención presentados en la tabla 4.1 son relativamente bajos, siendo el máximo de 578.69 y 1357.81[CLP] respectivamente. El modelo de BE Delivery Satu no ha presentado fallas mayores en los beneficiarios que aceptaron participar de las mediciones. Los beneficiarios han compartido en la prensa y en las mantenciones buenos comentarios de la BE y que el cambio a la nueva tecnología ha sido beneficioso para ellos.

Se tiene un modelo del proceso de carga de la batería, presentado por las figuras 3.33.a y 3.33.b, y se aseguró que, al cambiar la luz del cargador la batería ha terminado su proceso de carga, en vez de indicar el voltaje máximo de 54.6[V] solamente. El proceso de carga es parecido a la simulación teórica, figura 3.32, en cuanto a su duración.

La metodología diseñada fue correcta para el diseño de la BE y permite hacer una retroalimentación basándose en los aprendizajes del producto anterior.

La BE diseñada consigue ventajas claras sobre el modelo Delivery Satu, y responde a los resultados de los requerimientos más frecuentes, figura 3.2, y a los comentarios de los beneficiarios en las mantenciones. El cuadro *step-through*, el ángulo de la tee ajustable y el manillar permiten ángulos de espalda y hombros mayores. El diseño considera una parrilla que pue-

de soportar el máximo peso permitido por la normativa. La horquilla y ruedas más anchas permiten una mejor sensación de suspensión. Se tienen componentes mejores de transmisión, cambios y frenos. Las desventajas del diseño no logran opacar las ventajas obtenidas, pues la BE no se conduce constantemente a velocidades que requieran una mayor aerodinámica, el menor peso soportado aún es suficiente para que una persona conduzca y reparta la carga a la parrilla, el peso ganado con el nuevo diseño es de 2[kg] y es comparable a llevar más carga en la mochila de reparto, el menor recorrido de la horquilla sigue el rango recomendado de 60 a 100[mm] y el tamaño del rotor sigue la recomendación de la tabla 2.1. El costo de los componentes y la ausencia de experiencia de uso del diseño son desventajas que se pueden estudiar una vez que el diseño sea utilizado en las conducciones del público objetivo.

Se construyó un plan de mantenimiento mensual y anual que responde al uso intensivo de los beneficiarios y que puede mantener la calidad del producto.

El Consumo energético real del sistema electromecánico es bajo en comparación a la moto eléctrica y 125cc comparadas, al igual que el costo promedio por kilómetro. La BE tiene ventajas claras en los requerimientos para su conducción, ante el costo de los límites de su velocidad máxima asistida y su potencia nominal. La motocicleta 125cc sigue superando a la BE en términos de autonomía promedio, siendo esta más que el doble del sistema electromecánico.

Se cumplieron los objetivos específicos y general del trabajo propuesto.

En cuanto a líneas de investigación propuestas del trabajo realizado, se proponen cinco estudios:

- Estudio del uso instantáneo de la energía por parte del motor en distintas situaciones, cambios de peso de la carga, inclinación, potencia de motor y autonomía, basado en el uso real de repartidores.
- Estudio de desgaste de piezas, tal de aumentar el periodo entre mantenciones.
- Estudio de comparación entre BE y motocicletas a combustión de 125cc, para identificar las ventajas y desventajas en la conducción.
- Estudio de implementación de estaciones de intercambio de batería, tal de solucionar el límite de la autonomía dada la carga de una batería.
- Estudio de mercado de otros segmentos que pueden ser beneficiados por las BE.

# Bibliografía

- [1] Fuller, R. y Aye, L., “Human and animal power—the forgotten renewables,” *Renewable energy*, vol. 48, pp. 326–332, 2012.
- [2] Grin Technologies, “Batteries.”. disponible en: <https://ebikes.ca/learn/batteries.html>.
- [3] Ministerio de transportes y comunicaciones, Gobierno de Chile, “Entregamos Balance de ciclovías a nivel nacional e informa incremento de 27,9 % en los últimos tres años.”. disponible en: <https://www.mtt.gob.cl/archivos/28458#:~:text=Adem%C3%A1s%2C%20se%20contempla%20la%20ejecuci%C3%B3n,070%20viajes%20diarios%20en%20bicicleta>.
- [4] Generación M, “Proyectan crecimiento de un 30 % en la venta de bicicletas eléctricas en 2022.”. disponible en: <https://www.elmostrador.cl/generacion-m/2022/02/03/proyectan-crecimiento-de-un-30-en-la-venta-de-bicicletas-electricas-en-2022/>.
- [5] SOCIAL, M. D. T. Y. P., “Ley 20949,” 2016.
- [6] Ricardo Hurtubia, Wolfram Jahn, J. S., “Emisiones de motores mosquito y sus impactos,” 2023.
- [7] Agencia de Sostenibilidad Energética, “Concurso para selección de proveedor único bicicletas eléctricas para “Piloto de reemplazo de bicicletas contaminantes por bicicletas eléctricas en el segmento delivery”.”. disponible en: <https://www.agenciase.org/micromovilidad-concurso-para-seleccion-de-proveedor-unico-bicicletas-electricas/>.
- [8] Agencia de Sostenibilidad Energética, “Concurso para selección de beneficiarias/os para “Piloto de reemplazo de bicicletas contaminantes por bicicletas eléctricas en el segmento delivery”.”. disponible en: <https://www.agenciase.org/concurso-para-seleccion-de-beneficiarias-os-para-piloto-de-reemplazo-de-bicicletas-contaminantes-por-bicicletas-electricas-en-el-segmento-delivery/>.
- [9] Van der Plas, R. y van der Plas, R., *Bicycle Technology*. Motorbooks International, 1991.
- [10] Brown, S., “Glosary: Diamond frame,” 2013. disponible en: [https://www.sheldonbrown.com/gloss\\_da-o.html#diamond](https://www.sheldonbrown.com/gloss_da-o.html#diamond).
- [11] Lin, C., Huang, S.-J., y Liu, C.-C., “Structural analysis and optimization of bicycle frame designs,” *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 9, p. 168781401773951, 2017, doi:10.1177/1687814017739513.
- [12] Nikitin, V., “Bike fit. back angle and handlebar height.”. disponible en: [http://diginfo.ru/en/cycling\\_en/bike-fit-back-angle-and-handlebar-height/](http://diginfo.ru/en/cycling_en/bike-fit-back-angle-and-handlebar-height/).
- [13] Bicifácil, “Los sistemas de suspensión trasera.”. disponible en: [https://www.mountainbike.es/bici-facil/repara-y-ajusta/los-sistemas-de-suspension-trasera\\_56922\\_102.html](https://www.mountainbike.es/bici-facil/repara-y-ajusta/los-sistemas-de-suspension-trasera_56922_102.html).

- [14] Clark, N., “How much suspension travel do i need on my mountain bike?.” disponible en: <https://www.bikeradar.com/advice/buyers-guides/how-much-suspension-travel-do-i-need-on-my-mountain-bike/>.
- [15] Bicivias, “Partes de una bicicleta y sus funciones.” disponible en: <https://bicivias.cl/blog/partes-de-una-bicicleta/>.
- [16] Kopecky, G., “650c and the future of wheel sizes.” disponible en: [https://www.slowlit.com/Tech/650c\\_and\\_the\\_Future\\_of\\_Wheel\\_Sizes\\_7123.html](https://www.slowlit.com/Tech/650c_and_the_Future_of_Wheel_Sizes_7123.html).
- [17] Norman, P., “Bike tyre sizes explained: Mtb, gravel, hybrid and road rubber demystified.” disponible en: <https://www.bikeradar.com/advice/buyers-guides/bike-tyre-sizes/>.
- [18] foundationfitness, “Freemotion fitness carbon drive.” disponible en: <http://www.foundationfitness.com.mx/freemotion/carbon-drive.htm>.
- [19] Brown, S., “Gain ratios: A new way to think about bicycle gears.” disponible en: <https://www.adventurecycling.org/default/assets/resources/gainratios.pdf>.
- [20] Norman, P., “Buyer’s guide to internal gear hubs | everything you need to know.” disponible en: <https://www.bikeradar.com/advice/buyers-guides/internal-gear-hubs>.
- [21] Allen, J., “Disc brakes.” disponible en: <https://www.sheldonbrown.com/disc-brakes.html>.
- [22] Anderson, F., “Disc brake rotors explained | how to find the right rotor for your bike,” 2023. disponible en: <https://www.bikeradar.com/advice/buyers-guides/disc-brake-rotors/>.
- [23] Contò, C. y Bianchi, N., “E-bike motor drive: A review of configurations and capabilities,” *Energies*, vol. 16, no. 1, 2023, doi:10.3390/en16010160.
- [24] Hung, N. B. y Lim, O., “A review of history, development, design and research of electric bicycles,” *Applied Energy*, vol. 260, p. 114323, 2020, doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114323>.
- [25] Fishman, E. y Cherry, C., “E-bikes in the mainstream: Reviewing a decade of research,” *Transport Reviews*, vol. 36, no. 1, pp. 72–91, 2016, doi:10.1080/01441647.2015.1069907.
- [26] Newman, R., “Advantages and disadvantages of valve-regulated, lead/acid batteries,” *Journal of Power Sources*, vol. 52, no. 1, pp. 149–153, 1994, doi:[https://doi.org/10.1016/0378-7753\(94\)01940-1](https://doi.org/10.1016/0378-7753(94)01940-1).
- [27] Liu, W., Liu, H., Liu, W., y Cui, Z., “Life cycle assessment of power batteries used in electric bicycles in china,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 139, p. 110596, 2021, doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110596>.
- [28] Buchmann, I., “Series and parallel battery configurations.” disponible en: [https://batteryuniversity.com/learn/article/serial\\_and\\_parallel\\_battery\\_configurations](https://batteryuniversity.com/learn/article/serial_and_parallel_battery_configurations).
- [29] Soeprapto, S., Hasanah, R., y Taufik, T., “Battery management system on electric bike using lithium-ion 18650,” *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, vol. 10, p. 1529, 2019, doi:10.11591/ijped.v10.i3.pp1529-1537.
- [30] Suryoatmojo, H., Pratomo, D., Soedibyo, Ridwan, M., Riawan, D., Setijadi, E., y Mardiyanto, R., “Robust speed control of brushless dc motor based on adaptive neuro fuzzy inference system for electric motorcycle application,” *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, vol. 16, no. 2, pp. 415–428, 2020,

- [31] Dumitrache, F., Carp, M. C., y Pana, G., “E-bike electronic control unit,” en 2016 IEEE 22nd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), pp. 248–251, 2016, doi:10.1109/SIITME.2016.7777288.
- [32] Yedamale, P., “Brushless dc ( bldc ) motor fundamentals,” 2019.
- [33] Sujanarko, B., “Bldc motor control for electric vehicle based on digital circuit and proportional-integral controller,” 2014.
- [34] Lin, C.-L., Chen, E.-P., Chen, Y.-C., y Liu, M.-K., “Advanced driving/braking control design for electric bikes,” en 2017 12th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), pp. 1254–1259, 2017, doi:10.1109/ICIEA.2017.8283031.
- [35] Bida, V., Samokhvalov, D., y Al-Mahturi, F., “Pmsm vector control techniques — a survey,” pp. 577–581, 2018, doi:10.1109/EIConRus.2018.8317164.
- [36] Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, “Ley de Convivencia de Modos: Ministerio de Transportes y telecomunicaciones.”. disponible en: <https://mtt.gob.cl/ley-de-convivencia-de-modos>.
- [37] Völamrk, “BICICLETA ELÉCTRICA VÖLMARK MODELO E-CARGO DELIVERY.”. disponible en: <https://www.volmark.cl/product/bicicleta-electrica-volmark-modelo-e-cargo-delivery>.
- [38] Xiaomi, “Mi Smart Electric Folding Bike EU.”. disponible en: <https://mistorechile.cl/producto/mi-smart-electric-folding-bike-eu/>.
- [39] OneBike, “One Power.”. disponible en: <https://onebike.cl/bikes/>.
- [40] Gepida, “Products - Electric bikes.”. disponible en: [https://gepida.com/webshop/electric\\_bicycle?f%5B0%5D=battery\\_position%3A50&f%5B1%5D=speed\\_pedelec%3A25](https://gepida.com/webshop/electric_bicycle?f%5B0%5D=battery_position%3A50&f%5B1%5D=speed_pedelec%3A25).
- [41] Bafang, “WORKBOOK 2023.”. disponible en: [https://bafang-e.com/fileadmin/Images/service/BAFANG\\_Workbook\\_OEM\\_2023.pdf](https://bafang-e.com/fileadmin/Images/service/BAFANG_Workbook_OEM_2023.pdf).
- [42] CYCmotors, “Compare Kits.”. disponible en: <https://www.cycmotor.com/compare>.
- [43] Zoomo, “Welcome, Uber! Explore your partnership rewards.”. disponible en: <https://www.ridezoomo.com/us/uber-eats-bikes>.
- [44] Zoomo, “Welcome, Dashers! Explore your partnership rewards.”. disponible en: <https://www.ridezoomo.com/us/doordash>.
- [45] Buzzbike, “THE ULTIMATE URBAN E-BIKE.”. disponible en: [https://www.buzzbike.cc/ez-electric-bike?gclid=Cj0KCQjwk96lBhDHARIsAEKO4xZDWgm7Lt278Nj9CHyUhIy6LQqsU9btrsss8itj0qyU\\_VyfVqttwQYaAkWpEALw\\_wcB](https://www.buzzbike.cc/ez-electric-bike?gclid=Cj0KCQjwk96lBhDHARIsAEKO4xZDWgm7Lt278Nj9CHyUhIy6LQqsU9btrsss8itj0qyU_VyfVqttwQYaAkWpEALw_wcB).
- [46] Store, P.-B., “Polly-caja de batería de dp-9 para bicicleta eléctrica, caja vacía de 36v, 48v, 52v, compatible con 91 piezas, 18650 celdas, tira de níquel, bms para dp9, 10s9p, 13s7p, 14s6p.”. disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/1005004601573376.html>.
- [47] Changzhou Agile Electric Technology Co., L., “Bafang mid drive electric bike conversion kit with 250w motor.”. disponible en: <https://czagile.en.made-in-china.com/product/XjVQrawUgtcz/China-Bafang-MID-Drive-Electric-Bike-Conversion-Kit-with-250W-Motor.html>.
- [48] Liionwholesale, “Dmegc inr18650-29e 18650 10a flat top 2850mah.”. disponible en: <https://www.aliexpress.com/item/1005004601573376.html>.

- [//liionwholesale.com/products/dmegc-inr18650-29e-18650-10a-flat-top-2850mah?variant=39353214500933](https://liionwholesale.com/products/dmegc-inr18650-29e-18650-10a-flat-top-2850mah?variant=39353214500933).
- [49] Path-ebike, “Alimentatore caricabatterie.”. disponible en: <https://www.path-ebike.com/product/alimentatore-caricabatterie/>.
- [50] Varstrom, “Bafang 48v 250w m215 bbs01b mm g340.250.c for ecity etour eroad ebike conversion.”. disponible en: <https://varstrom.com/products/bafang-250w-48v-bbs01b>.
- [51] LUN, “Repartidora cambió la mosquito por una bici eléctrica: gasta 120 diarios.”. disponible en: [https://www.lun.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=2023-11-21&NewsID=521472&BodyID=0&PaginaId=27&strNameFile=27\\_bicicleta\\_electrica\\_lun.flv&iMoveScroll=379](https://www.lun.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=2023-11-21&NewsID=521472&BodyID=0&PaginaId=27&strNameFile=27_bicicleta_electrica_lun.flv&iMoveScroll=379).
- [52] Noticias, C., “Ahorran y cuidan el ambiente: Repartidores reconvierten las bicicletas mosquito en eléctricas.”. disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=SZIS\\_bPvQJc](https://www.youtube.com/watch?v=SZIS_bPvQJc).
- [53] Technologies, G., “Charge simulator.”. disponible en: [https://ebikes.ca/tools/charge-simulator.html?ver=48&bat=cust\\_c16\\_s13\\_p7\\_l10&cnt=1&pct=100&amps=2&cmpl=0.1](https://ebikes.ca/tools/charge-simulator.html?ver=48&bat=cust_c16_s13_p7_l10&cnt=1&pct=100&amps=2&cmpl=0.1).
- [54] Aprendizaje Uchile, “¿Cómo escribir el marco metodológico en una investigación cualitativa?.”. disponible en: <https://aprendizaje.uchile.cl/recursos-para-leer-escribir-y-hablar-en-la-universidad/profundiza/profundiza-en-la-tesis/como-redactar-el-marco-metodologico-en-una-investigacion-cualitativa/>.
- [55] Cube, “Cube touring.”. disponible en: <https://www.cube.eu/de-en/cube-touring-black-nmetal/985e30d0eb06288586297bfb67d2455f>.
- [56] GmbH, H. B.-D., “Cube touring one easy entry grey’n’sand.”. disponible en: <https://www.bike-discount.de/en/cube-touring-one-easy-entry-grey-n-sand>.
- [57] Cube, “Cube product archive | touring pro grey ’n’ flashgreen 2017.”. disponible en: <https://archiv.cube.eu/lt/2017/840100>.
- [58] Niu, “Nqi manual de usuario v2.0.”. disponible en: <https://www.todaviatienesdudas.com/downloads/10/manual-usuario-niu-nqi-esp.pdf>.
- [59] Pallotta, S., “Bajaj pulsar ns 125: Una primera moto perfecta.”. disponible en: <https://www.galgo.com/blog/motos/bajaj-pulsar-ns-125>.
- [60] Tucopiloto, “Bajaj pulsar ns125.”. disponible en: <https://tucopiloto.cl/producto/pulsar-ns125/>.