# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA

# CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico Automotriz

# Proyecto Técnico:

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BATERÍA RECARGABLE PARA UNA BICICLETA ELÉCTRICA TIPO TRIKE MEDIANTE EL USO DE BATERÍAS RECICLADAS DE ION DE LITIO 18650"

# **Autores:**

Dalton Rodrigo Ojeda Pereira

Lenin Fernando Ortiz Pineda

# **Tutor:**

Ing. Jonatan Pozo Palacios MSc.

Cuenca, enero 2017

# CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Dalton Rodrigo Ojeda Pereira, con documento de identificación N° 0706023553 y Lenin Fernando Ortiz Pineda, con documento de identificación N° 1900566561, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BATERÍA RECARGABLE PARA UNA BICICLETA ELÉCTRICA TIPO TRIKE MEDIANTE EL USO DE BATERÍAS RECICLADAS DE ION DE LITIO 18650", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Dalton Rodrigo Ojeda Pereira 0706023553

Lenin Fernando Ortiz Pineda 1900566561

# CERTIFICACIÓN

Yo declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: " $DISE\~NO$  Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BATERÍA RECARGABLE PARA UNA BICICLETA ELÉCTRICA TIPO TRIKE MEDIANTE EL USO DE BATERÍAS RECICLADAS DE ION DE LITIO 18650", realizado por Lenin Fernando Ortiz Pineda y Dalton Rodrigo Ojeda Pereira, obteniendo el Proyecto Técnico, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Enero del 2017

Ing. Jonatan Antonio Pozo Palacios, MSc.

0103994588

# DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Lenin Fernando Ortiz Pineda con C.I.: 1900566561 y Dalton Rodrigo Ojeda Pereira con C.I.: 0706023553 autores del Proyecto Técnico: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BATERÍA RECARGABLE PARA UNA BICICLETA ELÉCTRICA TIPO TRIKE MEDIANTE EL USO DE BATERÍAS RECICLADAS DE ION DE LITIO 18650" certificamos que el total contenido del Proyecto Técnico, son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, Enero del 2017

Lenin Fernando Ortiz Pineda

Dalton Rodrigo Ojeda Pereira

#### **DEDICATORIA**

Este proyecto técnico va dedicado a toda mi familia que ha sido pilar fundamental para poder concluir esta meta tan anhelada, en especial a mis padres Rafael y Rosa Anita, ellos hicieron lo posible y con mucho sacrificio me ayudaron a cumplir esta meta.

A todos mis profesores por los conocimientos impartidos y por desarrollar con excelencia su labor.

A todos ellos Dios los bendiga.

Lenin

A mis padres Milton y Nelly por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

A mi novia Lucia por todo el apoyo para continuar, alentarme a culminar con éxito mi carrera.

A todos mis profesores por los conocimientos impartidos y por desarrollar con excelencia su labor.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Dalton

#### **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar agradecemos a Dios, fue quien nos dio la salud, sabiduría y fortaleza en momentos difíciles de nuestra carrera.

Al M.I. Jonatan Pozo quien fue tutor de este proyecto técnico, con paciencia y voluntad compartió todos sus conocimientos para fortalecer aún más el desarrollo de este trabajo de grado.

A la Empresa Pública Municipal ETAPA EP, en especial a la Subgerencia de Gestión Ambiental, quien con disposición y agrado, supo facilitarnos material para la construcción del prototipo de batería.

Finalmente agradecemos a nuestros padres, ellos nos enseñaron que con mucho sacrificio se consigue lo que uno se propone, fueron y seguirán siendo nuestro ejemplo a seguir.

**RESUMEN** 

En este proyecto técnico se presenta una metodología para el diseño y construcción de un prototipo

de batería eléctrica recargable a base de celdas 18650 recicladas.

Se requiere un prototipo de batería para la bicicleta eléctrica tipo trike, que en función de celdas

18650 recicladas, sea capaz de hacer funcionar el motor eléctrico y cooperar con el medio ambiente.

También es necesario que el prototipo de batería cumpla con las especificaciones requeridas por la

bicicleta, para que durante su funcionamiento brinde seguridad y ofrezca un rendimiento apropiado.

Para desarrollar este proyecto técnico se inicia con una metodología investigativa teórica, es decir,

se recopilan datos y antecedentes realizando un estudio y análisis a la información que se

encuentran en artículos, tesis, revistas u otras fuentes, que permitan construir un fundamento teórico

acerca de la construcción del prototipo de batería recargable para bicicletas eléctricas.

Después se realizan cálculos dinámicos de la bicicleta y eléctricos del motor, para saber cuáles son

los requerimientos energéticos que necesita el motor de la bicicleta para poder funcionar, y de esta

manera poder diseñar el pack de baterías.

Seguidamente se utiliza una metodología experimental mediante un software para llegar a obtener

un diseño que cumpla con los parámetros requeridos. En el diseño del prototipo de batería se

maneja un software de diseño CAD (SolidWorks). Al combinar cálculos eléctricos y dinámicos con

técnicas de diseño, se puede hacer funcionar el motor con las especificaciones que requiera y

también será posible construir cualquier geometría compleja que tenga el diseño.

Posteriormente se realiza un test para seleccionar las celdas que estén en buenas condiciones de

funcionamiento, donde cada una debe cumplir con ciertas características para determinar si pueden

o no ser reutilizadas.

Como resultado final de este proyecto técnico, se construye un prototipo de batería recargable con

características específicas de diseño y construcción, capaz de hacer funcionar la bicicleta eléctrica

tipo trike.

Palabras Clave: Prototipo, Celdas 18650, Diseño CAD, Requerimientos energéticos.

VII

**ABSTRACT** 

This technical project presents a methodology for the design and construction of a rechargeable

electric battery pack based on recycled 18650 cells.

A prototype battery for the trike electric bicycle is required, which, based on recycled 18650 cells,

is capable of operating the electric motor and cooperating with the environment. It is also necessary

that the battery pack meets the specifications required by the bicycle, so that during its operation

provides safety and offers appropriate performance.

This technical project starts with a theoretical research methodology, where data and background

are collected by performing a study and analysis of the information found in articles, theses,

journals or other sources that allow to construct a theoretical foundation on the construction of the

prototype of rechargeable battery for electric bicycles.

Dynamic calculations of the bicycle and electric motor are then performed, to obtain the energy

requirements of the motor in order to be able to work properly, and in this way to be able to design

the battery pack.

Then an experimental methodology is used by means of software to obtain a design that meets the

required parameters. In the design of the battery pack, a CAD design software (SolidWorks) is used.

By combining electrical and dynamic calculations with design techniques, the engine can be run to

the specifications it requires and it will also be possible to build any complex geometry that has the

design.

Subsequently a test is performed to select the cells that are in good working conditions, where each

must meet certain characteristics to determine whether or not they can be reused.

As a final result of this technical project, it is possible to build a rechargeable battery pack with

specific characteristics of design and construction, capable of operating the trike electric bicycle.

Keywords: Prototype, 18650 Cells, CAD Design, Energy requirements.

VIII

# ÍNDICE GENERAL

C	ESIÓN	DE I	DERECHOS DE AUTOR	2
1	INT	ROD	UCCIÓN	1
2	PRC	BLE	EMA	2
3	OBJ	ETI	VOS	2
	3.1	Obje	etivo General:	2
	3.2	Obje	etivos Específicos:	2
4	REV	/ISIĆ	ÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS	3
	4.1	Hist	oria de la pila o batería eléctrica	3
	4.2	Con	ceptos básicos	3
	4.2.	1	Batería eléctrica	3
	4.2.	2	Ánodo, cátodo y electrolito	4
	4.2.	3	Clasificación de la batería	4
	4.3	Com	nposición de las baterías eléctricas	5
	4.4	Cara	acterísticas que definen una batería eléctrica	5
	4.5	Aco	plamiento de baterías	6
	4.5.	1	Magnitudes de la batería	6
	4.5.	2	Conexión de baterías eléctricas	7
	4.	.5.2.1	Conexión en serie para formar un paquete de baterías	8
	4.	.5.2.2	Conexión en paralelo para formar un paquete de baterías	9
	4.	.5.2.3	Conexión mixta (serie-paralelo) para formar un paquete de baterías	9
	4.6	Pacl	de baterías recargable	10
	4.7	Bate	ería recargable de ion de litio 18650	11
	4.7.	1	Definición	11
	4.7.	2	Componentes externos e internos de una batería recargable de Li-ion 18650	11
	4.7.	3	Configuración, especificaciones y dimensiones técnicas de la batería de Li-ion 18	8650
	4.7.	4	Limitaciones de la batería recargable de Li-ion 18650	14
	4.7.	5	Efecto memoria de la batería recargable de Li-ion 18650	14
	4.7.	6	Propiedades de la batería de Li-ion	15
	4.7.	7	Características de carga y descarga de la batería de Li-ion 18650	16
	4.	.7.7.1		

	4.7.7.2	2 Durante la carga	17
	4.7.7.3	B Auto-descarga	17
	4.7.8	SOC Y DOD en la batería de Li-ion 18650	17
	4.7.9	Características de carga de la batería de Li-ion 18650	19
	4.7.10	Características de temperatura en la descarga de la batería de Li-ion 18650	20
	4.7.11	Características de velocidad de descarga de la batería de Li-ion 18650	21
	4.7.12	Características del ciclo de vida de la batería de Li-ion 18650	21
	4.8 Car	gador de baterías de Li-ion	22
	4.8.1	Definición	22
	4.8.2	Funcionamiento del cargador de Litio	<b>2</b> 3
	4.8.3	Tipos de cargadores	24
	4.9 Rec	claje de baterías en la ciudad de Cuenca	26
	4.9.1	Reciclado de baterías de ordenadores portátiles	26
	4.10 Leye	es sobre el uso de residuos de baterías y la gestión ambiental	27
5	MARCO	METODOLÓGICO	29
	5.1 Met	odología de diseño	29
	5.2 Apli	cación de la metodología de diseño	29
	5.2.1	Reconocimiento de la necesidad	30
	5.2.2	Establecer requisitos de diseño	30
	5.2.3	Conceptualización	31
	5.2.4	Evaluación de factibilidad	33
	5.2.5	Desarrollo del diseño y evaluación	38
	5.2.5.1	Cálculos dinámicos de la bicicleta	39
	5.2.5.2	Cálculos del Motor Magic Pie 2	48
	5.2.5.3	Selección de las baterías recicladas	54
	5.2.5.4	Selección del material aislante térmico	55
	5.2.5.5	5 Diseño CAD	56
	5.2.5.6	5 Diagramas eléctricos	64
	5.2.6	Producción del prototipo	65
	5.2.6.1	Fabricación de la caja de la batería	65
	5.2.6.2	Pabricación de los soportes o porta baterías	66
	5.2.6.3	Fabricación de la caja del sistema de control y protección de las baterías	67
	5.2.6.4	Fabricación del circuito de protección de la batería	67

	5.2.6.5	Sincronización del circuito protector con el Arduino Uno	69
	5.2.6.6	Fabricación de la fuente de la batería	71
	5.2.6.7	Fabricación del prototipo de batería	72
	5.2.6.8	Colocación de las baterías en el soporte	73
	5.2.6.9	Conexión de las baterías	75
	5.2.7 P	ruebas y evaluación	77
	5.2.7.1	Procedimiento	78
	5.2.7.2	Rendimiento del prototipo de batería	83
6	RESULTA	DOS	85
7	CONCLUS	SIONES	87
8	RECOME	NDACIONES	88
9	REFEREN	CIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

# LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 Pila eléctrica de Alessandro Volta del año 1800 [2]	3
Figura 4.2 Clasificación de la celda voltaica o batería [5]	4
Figura 4.3 Conexión en serie de baterías eléctricas [9]	8
Figura 4.4 Conexión en serie de tres baterías eléctricas [10]	8
Figura 4.5 Conexión en paralelo de baterías eléctricas [9]	
Figura 4.6 Voltaje total de cuatro baterías conectadas en paralelo [10]	9
Figura 4.7 Reglas de la polaridad en la conexión mixta de baterías eléctricas [14]	. 10
Figura 4.8 Pack de baterías recargable con tarjeta electrónica de control [15]	. 10
Figura 4.9 Elementos que conforman la batería Li-ion 18650 [16]	
Figura 4.10 Configuración externa de la batería Li-ion 18650 [17]	
Figura 4.11 Efecto memoria en la batería Li-ion 18650 [19]	
Figura 4.12 Conductividad de iones de litio en la descarga de la batería Li-ion 18650 [23]	. 16
Figura 4.13 Conductividad de iones de litio en la carga de la batería Li-ion 18650 [23]	
Figura 4.14 Profundidad de descarga (DOD) de la batería de Li-ion 18650 [24]	
Figura 4.15 Curvas características de la batería 18650 en carga [17]	
Figura 4.16 Curvas características de la temperatura en la descarga de la batería 18650 [17]	
<b>Figura 4.17</b> Curvas características de la velocidad de descarga de la batería 18650 [17]	
Figura 4.18 Curvas características del ciclo de vida de la batería 18650 [17]	
<b>Figura 4.19</b> Proceso de carga de la batería Li-Po y su similitud con la Li-ion [25]	
Figura 4.20 Circuito de carga [25]	
Figura 4.21 Cargador UltraFire WF-128S3 [26]	
Figura 4.22 Cargador NITECORE DigiCharger D4 para 4 baterías Li-ion 18650 [27]	
<b>Figura 4.23</b> Especificaciones y compatibilidad del cargador NITECORE Digicharger D4 [27]	
Figura 4.24 Variedad de baterías de ordenadores portátiles [28]	
Figura 4.25 Recuperación de baterías recargables de Li-ion 18650 [29]	
<b>Figura 4.26</b> Empresas de la ciudad de Cuenca encargadas del reciclado y la gestión ambiental [3	
[31]	
Figura 4.27 Fases adecuadas que debe alcanzar la batería [32]	
<b>Figura 4.28</b> Gestión de residuos sólidos urbanos de las empresas ETAPA EP y EMAC de la ciud de Cuenca [33]	
<b>Figura 4.29</b> Normativas, planes y programas internacionales de gestión de residuos [34]	
Figura 5.1 Metodología de diseño propuesta	
Figura 5.2 Pasador transversal para evitar el deslizamiento longitudinal de la batería	
Figura 5.3 Conceptualización del porta batería	
Figura 5.4 Conceptualización de una caja rectangular para la batería	
Figura 5.5 Conceptualización de una caja cilíndrica para la batería	
Figura 5.6 Área frontal de la bicicleta.	
<b>Figura 5.7</b> Ángulo de inclinación o convergencia del neumático [39]	
<b>Figura 5.8</b> Ángulo de la superficie $\Theta$ respecto de la horizontal	
Figura 5.9 Diagrama de cuerpo libre del neumático	
Figura 5.10 Denominación externa del neumático	
Figura 5.11 Aislante térmico de acrílico	

Figura 5.12 Modelo CAD de la caja de la batería (vista frontal)	56
Figura 5.13 Acotación de la caja de la batería (vista frontal)	56
Figura 5.14 Modelo CAD de la caja de la batería (perspectiva)	57
Figura 5.15 Acotación de la caja de la batería (vista lateral)	57
Figura 5.16 Modelo CAD del soporte de las baterías	58
Figura 5.17 Dimensiones del soporte de las baterías	
Figura 5.18 Ensamble final de la batería	
Figura 5.19 Modelo CAD del circuito de protección de la batería (vista superior)	59
Figura 5.20 Acotación de la caja de protección de la batería (vista lateral)	
Figura 5.21 Modelo CAD de la protección de la batería (vista frontal)	
Figura 5.22 Acotación de la caja de control y protección (vista frontal)	60
Figura 5.23 Modelo CAD del circuito de protección de la batería (vista posterior)	
Figura 5.24 Acotación de la caja de control y protección (vista posterior)	
Figura 5.25 Modelo CAD del cargador de la batería (perspectiva)	
Figura 5.26 Modelado de los potenciómetros reguladores de voltaje (vista frontal)	
Figura 5.27 Modelado del motor de la bicicleta (perspectivas)	
Figura 5.28 Disposición de los elementos del sistema	
Figura 5.29 Representación eléctrica en ProfiCAD del circuito de la fuente y del sistem	
Figura 5.30 Construcción de la caja de la batería con acero galvanizado	
Figura 5.31 Lámina de acrílico transparente [51]	
Figura 5.32 Soporte de las baterías	
Figura 5.33 Construcción de la caja del sistema de control y protección de la batería	
Figura 5.34 Construcción del circuito de protección para la batería	
Figura 5.35 Sensor de temperatura DHT11 para arduino	
Figura 5.36 Diodo protector de 20 amperios	
Figura 5.37 Fuente de alimentación del arduino	
Figura 5.38 Visualización de las señales de temperatura y voltaje en la pantalla Lcd	
Figura 5.39 Disposición del circuito protector, del arduino y de la pantalla LCD en la c	•
Figura 5.40 Fuente de la batería acoplada dentro de un regulador CDP	
Figura 5.41 Potenciómetros para la regulación del voltaje de carga	
Figura 5.42 Baterías de laptops recicladas	
Figura 5.43 Obtención de las baterías de Li-Ion 18650	
Figura 5.44 Comprobación del estado de las baterías recicladas con el cargador NITEC	
Figura 5.45 Perforación de la lámina de acrílico	
Figura 5.46 Soportes superior e inferior para la sujeción de la baterías 18650	
Figura 5.47 Colocación de las cuarenta baterías en los soportes	
<b>Figura 5.48</b> Conexión serie/paralelo de las baterías 18650	
<b>Figura 5.49</b> Ubicación del sensor de temperatura en el paquete de baterías	
<b>Figura 5.50</b> Acople de un plug de carga y diodo de protección en el paquete	
Figura 5.51 Socket de salida de 48V, plug de carga y cableado del sensor de temperatu	-
alimentación del arduino	
Figura 5.52 Pinza amperimétrica	
Figura 5.53 Osciloscopio FINEST 1006	
Figura 5.54 Velocímetro	78

Figura 5.55 Banco de pruebas	78
Figura 5.56 Montaje del motor eléctrico sobre una base de pruebas	79
Figura 5.57 Instalación de la batería y del acelerador electrónico	79
Figura 5.58 Montaje de la pinza amperimétrica	80
Figura 5.59 Disposición final de los elementos sobre la base de pruebas	80
Figura 5.60 Valores de consumo de corriente en vacío a diferentes velocidades de rotación	ı 80
Figura 5.61 Montaje de la bicicleta en el banco de pruebas	81
Figura 5.62 Instalación del sensor del velocímetro en la llanta de la bicicleta	81
Figura 5.63 Velocímetro para la toma de datos	81
Figura 5.64 Montaje de la pinza amperimétrica	82
Figura 5.65 Disposición final de la carga y de los elementos sobre el banco de pruebas	82
Figura 5.66 Valores de consumo de corriente bajo carga a diferentes regímenes de giro de	motor83
Figura 5.67 Voltaje máximo del prototipo de batería	83
Figura 5.68 Disminución de voltaje del prototipo de batería	84
Figura 6.1 Prototipo de batería final	85
Figura 6.2 Fuente de 48V	85
Figura 6.3 Protección para las baterías 18650 durante su carga	85

# LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1 Dimensiones técnicas de la batería de Li-ion 18650 [17]	12
Tabla 4.2 Especificaciones técnicas de la batería de Li-ion 18650 [17]	13
Tabla 5.1 Propuesta de solución para selección del cargador de baterías	
Tabla 5.2 Matriz de decisión para la selección del cargador de baterías	34
Tabla 5.3 Propuesta de solución para la selección del porta batería	35
Tabla 5.4 Matriz de decisión para la selección del porta batería	35
Tabla 5.5 Propuesta de solución para la selección de la forma de la caja	36
Tabla 5.6 Matriz de decisión para la selección de la forma de la caja	36
Tabla 5.7 Propuesta de solución para el material a utilizar en la caja	37
Tabla 5.8 Matriz de decisión para la selección del material	37
Tabla 5.9 Datos para los cálculos dinámicos de la bicicleta	38
Tabla 5.10 Valores de la densidad y de la viscosidad en función de la altitud [35]	40
Tabla 5.11 Coeficiente aerodinámico para varios cuerpos [35]	41
Tabla 5.12 Factor de resistencia a la rodadura según el vehículo y la superficie donde se desplaz	za
[37]	44
Tabla 5.13 Factor de resistencia a la rodadura según la marca y modelo del neumático [38]	44
Tabla 5.14 Ángulo de la superficie respecto de la horizontal en carreteras normales y en montañ	ías
[40]	46
Tabla 5.15 Propiedades físicas del acrílico vs vidrio	
Tabla 5.16 Características del piloto, de la bicicleta y de la batería	82
Tabla 5.18 Resultados del rendimiento del prototipo	84
Tabla 6.1 Resultados del rendimiento del prototipo	86

# LISTA DE SÍMBOLOS

Ah Amperios-hora

KWh Kilovatios-hora

C Carga máxima que puede recibir la batería

n Horas de carga

C/n Corriente de carga durante el número de horas indicado

1C Corriente que se descarga en una hora

2C Corriente que se descarga en dos horas

Wh Vatios hora

W Watts

Km Kilómetros

# Letras griegas

- ρ Densidad del aire
- θ Ángulo de la superficie

### LISTA DE SIGLAS

SOC Nivel de carga de la batería

DOD Profundidad de descarga de la batería

CC Corriente constante (Current Constant)

CV Voltaje constante (Voltage Constant)

RF Radio frecuencia

ETAPA Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua

Potable, Alcantarillado y Saneamiento

EMAC Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca

Fa Fuerza aerodinámica

Cx Coeficiente aerodinámico

Af Área frontal

V Velocidad máxima de la bicicleta

Fr Fuerza de resistencia a la rodadura

Wb Peso de la Bicicleta

Wp Peso del piloto

Crr Coeficiente de resistencia a la rodadura

Fp Fuerza de resistencia a la pendiente

W Peso total

Fi Fuerza de aceleración

t Tiempo

d Distancia

a Aceleración

FT Fuerza Total

CR Circunferencia de rodadura

RD Radio dinámico

w Velocidad angular

T Torque

P Potencia

#### 1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años el tema de reciclaje en nuestro país se ha vuelto muy importante, pues se busca aprovechar al máximo los residuos, dándoles una aplicación útil. Partiendo del proyecto realizado en la Universidad Politécnica Salesiana denominado "Diseño y construcción de una bicicleta eléctrica tipo trike" por parte del grupo UPS Racing Team con respecto a la movilidad, surge la idea de colaborar con esta innovación. De esta manera se pretende diseñar y construir un prototipo de batería eléctrica recargable partiendo de los residuos de celdas tipo 18650, las cuales se encuentran dentro de las baterías de ordenadores portátiles.

Con la ayuda de un software CAD, se plasmará un diseño para obtener el paquete de baterías a la medida y eficiente de acuerdo a las características de la bicicleta.

Este proyecto técnico se estructura de la siguiente manera:

Para el desarrollo de la primera parte de este proyecto técnico, se utilizará el método de investigación con el fin de recopilar datos e información que se encuentren ya sea en artículos, tesis, revistas o cualquier fuente que nos permita construir un fundamento teórico, en la construcción de baterías eléctricas recargables.

Mediante cálculos matemáticos, se establecerán las características, especificaciones eléctricas, el número total de pilas que dicho paquete utilizará y el consumo que se requiere para que le de funcionamiento al motor.

Seguidamente, se usará una metodología experimental mediante un software para llegar a obtener un diseño del paquete de baterías y del acople en la estructura de la bicicleta, que cumpla con los parámetros requeridos; para el diseño del paquete se utilizará un software de diseño CAD.

Para el proceso de obtención de las pilas se recurre a las empresas ETAPA y EMAC, que son empresas públicas municipales de la ciudad de Cuenca encargadas del saneamiento y gestión ambiental de la ciudad de Cuenca.

Posteriormente se establecerá la metodología y equipos de medición necesarias que se utilizarán en el proyecto, donde se construirá un prototipo de batería a partir de residuos reciclables como son las celdas cilíndricas 18650.

Finalmente se presentan los resultados obtenidos de consumo y duración del prototipo de batería a una velocidad constante, de igual manera el consumo que existe en intervalos de tiempo a distintas velocidades.

#### 2 PROBLEMA

Actualmente en la ciudad de Cuenca no existe un conocimiento profundo de la tecnología de paquetes de baterías y de las aplicaciones que se podrán lograr. La empresa EMAC y ETAPA cuentan con un programa de reciclaje de baterías pero únicamente las utilizan para rellenos sanitarios, y no se aprovechan al máximo dichos residuos.

Este proyecto técnico se desarrolla para el Grupo de Investigación en Ingeniería de Transporte GIIT, de la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, a través de la línea de investigación de Diseño Mecánico Automotriz, el mismo que servirá de referencia para diseños futuros; de esta manera el UPS Racing Team podrá optimizar tiempo para diseñar o adquirir la batería para la bicicleta tipo trike.

#### 3 OBJETIVOS

# 3.1 Objetivo General:

♣ Diseñar y construir un prototipo de batería recargable para una bicicleta eléctrica tipo trike mediante el uso de baterías recicladas de ion de litio 18650.

# 3.2 Objetivos Específicos:

- Realizar un análisis teórico de la tecnología de baterías cilíndricas 18650 y su reciclaje en la ciudad de Cuenca.
- ♣ Diseñar el paquete de baterías para la bicicleta eléctrica tipo trike.
- Construir el paquete de baterías recargable y realizar pruebas de funcionamiento.

# 4 REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

# 4.1 Historia de la pila o batería eléctrica

En el año 1800, el físico italiano Alessandro Volta desarrolla un invento muy significativo como es la pila o batería eléctrica. Volta ideó una pila de discos de cobre y de cinc separados por papel secante empapado en agua con sal, con la siguiente sucesión: disco de cobre, papel mojado, disco de zinc; disco de cobre, papel mojado, disco de cinc, etc. Según se aumenta el número de discos de cobre y cinc separados por el papel mojado en agua con sal, se aumentaba la fuerza de su pila o batería. [1]

En la figura 4.1 se muestra la primera batería eléctrica de Volta.



Figura 4.1 Pila eléctrica de Alessandro Volta del año 1800 [2]

Pese a que la carga era débil, el aparato demostró mantener la continua acción eléctrica y capacidad inacabable. Lo más sorprendente del invento de Volta fue que la pila estaba compuesta de puros elementos conductores y ningún aislante; además, su invención permitió el descubrimiento de las propiedades electrolíticas, térmicas y magnéticas de la corriente eléctrica. [3]

#### 4.2 Conceptos básicos

#### 4.2.1 Batería eléctrica

Las baterías son dispositivos portátiles que sirven para producir energía eléctrica a partir de una reacción química. Estas baterías son algunos de los residuos más contaminantes que se fabrican, pues requieren de un tratamiento especial y una disposición final cuidadosa ya que son considerados residuos muy peligrosos.

# 4.2.2 Ánodo, cátodo y electrolito

- ♣ Ánodo (electrodo negativo): en este electrodo se produce una reacción de oxidación, mediante la cual un material al perder electrones, incrementa su estado de oxidación.
- ♣ Cátodo (electrodo positivo): es un electrodo con carga negativa que sufre una reacción de reducción, mediante la cual un material reduce su estado de oxidación al recibir electrones.

  [4]
- ♣ Electrolito: es el conductor iónico que proporciona el medio para la transferencia de la carga, dentro de la celda entre el ánodo y el cátodo. El electrolito suele ser en muchos casos un líquido, tal como agua u otros solventes, con sales disueltas, ácidos, o álcalis.

#### 4.2.3 Clasificación de la batería

Existen dos clases principales de baterías, las cuales son:

- **♣ Batería Primaria:** Su reacción electroquímica es irreversible, es decir, después de que la batería se ha descargado no puede volver a cargarse, estas son las baterías desechables.
- ♣ Batería Secundaria: Su reacción electroquímica es reversible, es decir, después de que la batería se ha descargado puede ser cargada suministrándole corriente continua desde una fuente externa, estas son las baterías recargables.

En la figura 4.2 se presenta una clasificación más detallada de la batería eléctrica o celda voltaica.

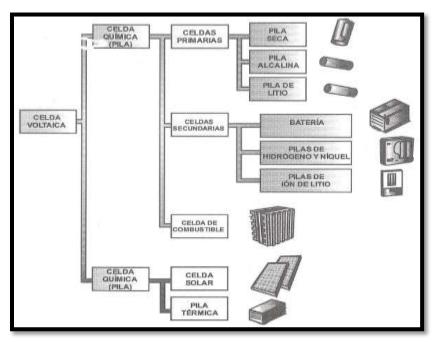


Figura 4.2 Clasificación de la celda voltaica o batería [5]

# 4.3 Composición de las baterías eléctricas

Las composiciones más comunes de las baterías son:

- **♣** Ion-Litio (Li-ion)
- ♣ Nickel-cadmio (NiCd)
- ♣ Nickel-hidruro (NiMH)
- ♣ Plomo-ácido (Pb-ácido)
- Polímero-Litio (Li-poly)
- ♣ Aire-zinc
- Celdas de combustible

### 4.4 Características que definen una batería eléctrica

Las características principales que definen una batería son:

- **La máxima corriente que puede entregar:** se mide en Amperios (A) y se define como un número fraccionario, por ejemplo para I=200 Ah una de tipo I/20=10A, quiere decir que la batería puede entregar 10A por 20 horas.
- **♣ El voltaje o potencial:** se mide en Voltios (V) y es el que suele determinar si la batería conviene al uso a que se le destina.
- La profundidad de descarga que puede sostener o rendimiento: es la relación porcentual entre la energía eléctrica recibida en el proceso de carga y la que la batería entrega durante la descarga.
- La cantidad de energía que puede almacenar: se mide habitualmente en Wh (watt-hora y su unidad SI es el joule. El número de Wh puede calcularse multiplicando el valor del voltaje nominal por el número de Ah.
  - $\circ$  1 Wh= 3600 J = 3.6 kJ; 1 J = 0.278 mWh
- ↓ La corriente o intensidad eléctrica: en el SI se expresa en C/s (culombios sobre segundo), unidad que se denomina amperio. Normalmente se mide en la práctica por referencia a los tiempos de carga y de descarga en Ah.
  - o 1 Ah = 1000 mAh = 3600 Coulomb; 1 Coulomb = 1 Ah/3600 = 0,278 mAh

Hay que tener en cuenta que, las indicaciones en el cuerpo de las baterías o en sus envases como "cárguese a C/10 durante 12 horas", la letra C no se refiere al coulomb, sino a la carga máxima que puede recibir la batería. Por ejemplo, si la capacidad de la batería fuera 1200 mAh, se le debería aplicar una corriente de carga de 1200/10 = 120 mA durante el número de horas indicado.

**La resistencia interna:** es la que permite suministrar cargas mucho más intensas o mucho más débiles, sobre todo de forma transitoria. Por ejemplo, la resistencia interna de un acumulador de plomo-ácido es de 0,006 ohm y la de otro de Ni-Cd de 0,009 ohm. [6]

#### 4.5 Acoplamiento de baterías

# 4.5.1 Magnitudes de la batería

El funcionamiento de la batería está caracterizado por las siguientes cuatro magnitudes:

#### a. Fuerza electromotriz (E)

Es la energía proveniente de cualquier fuente, medio o dispositivo que suministre corriente eléctrica. Para esto se requiere la existencia de una diferencia de potencial entre dos electrodos (uno negativo y el otro positivo) de dicha fuente, que sea capaz de impulsar las cargas eléctricas a través de un circuito cerrado.

Conectando los dos electrodos a los bornes de un multímetro de gran resistencia, la corriente consumida es casi nula y la diferencia de potencial mostrada por el multímetro es, aproximadamente igual a la fuerza electromotriz de la batería.

#### b. Resistencia interna (r)

Es la resistencia que opone el electrolito al paso de la corriente eléctrica. Ésta se puede conocer realizando dos mediciones con dos resistencias externas diferentes. Denominando r a la resistencia interna y R a la externa, la fuerza electromotriz E se calcula de la siguiente forma:

$$E = R.I + r.I$$
 (4.1)

Donde R.I es la tensión en los bornes de la batería y r.I es la caída interna de tensión; por lo que:

$$V = R.I \tag{4.2}$$

$$E = V - r.I \tag{4.3}$$

Colocando una primera resistencia, se conseguirá:

$$V_1 = E - r I_1$$

Y colocando una segunda resistencia:

$$V_2 = E - r.I_2$$

De las dos deducciones anteriores se obtiene que la resistencia interna es:

$$r = \frac{V_1 - V_2}{I_2 - I_1} \tag{4.4}$$

# c. Corriente de régimen (I)

Es la máxima corriente que puede dar la batería sin polarizarse. Esta corriente depende de las dimensiones de la batería y de las sustancias que la forman. Se calcula con la fórmula:

$$I = \frac{E}{R + r} \tag{4.5}$$

#### d. Capacidad

La capacidad de una batería es la cantidad de electricidad en amperios-hora que puede suministrar. [7]

#### 4.5.2 Conexión de baterías eléctricas

Existen algunos parámetros que se tienen que tomar en cuenta al momento de acoplar baterías. Es muy esencial que todas las baterías a utilizar tengan las mismas características y todas ellas se enfrenten al mismo grado de carga. En la conexión entre las baterías, la soldadura debe ser lo más precisa e idónea, los cables eléctricos cortos, de igual longitud y de sección adecuada. [8]

Las baterías se pueden conectar de tres formas diferentes:

- a. Conexión en serie
- b. Conexión en paralelo
- c. Conexión mixta

# 4.5.2.1 Conexión en serie para formar un paquete de baterías

La conexión de baterías en serie se utiliza cuando se quiere aumentar el voltaje de salida (fuerza electromotriz) manteniendo la corriente constante. La representación gráfica de la conexión en serie se indica en la figura 4.3.

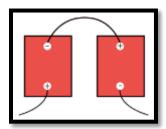


Figura 4.3 Conexión en serie de baterías eléctricas [9]

En la conexión en serie se plasma que:

♣ La fuerza electromotriz (voltaje de salida) del paquete es igual a la suma de las fuerzas electromotrices de cada una de las baterías. Ver figura 4.4.

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$$
 (4.6)

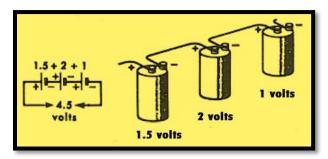


Figura 4.4 Conexión en serie de tres baterías eléctricas [10]

♣ La resistencia interna del paquete es igual a la suma de las resistencias internas de cada una de las baterías.

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + r_n \tag{4.7}$$

- La intensidad de la corriente eléctrica es igual en todas las baterías.
- ♣ Si todas las baterías del paquete tienen la misma corriente de régimen, la corriente de régimen del paquete es igual a la de una sola batería; por el contrario, la corriente de régimen del paquete es igual a la de la batería que tiene una corriente de régimen menor.

  [11]

# 4.5.2.2 Conexión en paralelo para formar un paquete de baterías

La conexión de baterías en paralelo se utiliza cuando se quiere aumentar la corriente, manteniendo el voltaje (fuerza electromotriz) constante. La representación gráfica se muestra en la figura 4.5.

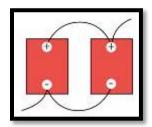


Figura 4.5 Conexión en paralelo de baterías eléctricas [9]

En la conexión en paralelo se plasma que:

La f.e.m. del paquete de baterías es igual a la f.e.m. de una sola batería. Ver figura 4.6.

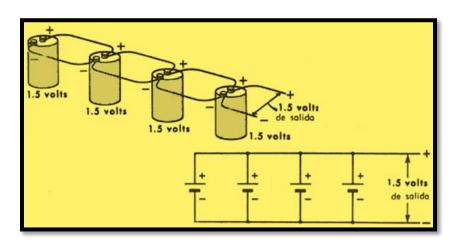


Figura 4.6 Voltaje total de cuatro baterías conectadas en paralelo [10]

- ♣ La resistencia interior del paquete de baterías es igual a la resistencia interior de una batería, dividida por el número de baterías.
- ♣ La corriente de régimen total es igual a la suma de las corrientes de régimen de todas las baterías. [12]

#### 4.5.2.3 Conexión mixta (serie-paralelo) para formar un paquete de baterías

La conexión mixta de baterías se utiliza cuando se quiere aumentar voltaje y corriente a la vez. Esta configuración combina la conexión en serie con la conexión en paralelo.

Cuando se realiza una conexión mixta, se deben seguir las reglas de la polaridad (ver figura 4.7): circuitos en serie, se conecta positivo con negativo; y en circuitos en paralelo, se conectan positivo con positivo y negativo con negativo. [13]

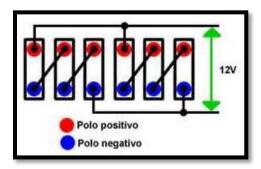


Figura 4.7 Reglas de la polaridad en la conexión mixta de baterías eléctricas [14]

#### 4.6 Pack de baterías recargable

Se denomina pack de baterías al conjunto, ensamble o paquete de pilas que se conectan ya sea en serie, paralelo o en forma mixta para aumentar el voltaje, amperaje o las dos al mismo tiempo, respectivamente. Dependiendo del número de baterías soldadas entre sí, es necesario un sistema de control tanto de temperatura como de carga, para evitar daños prematuros en el pack, ver figura 4.8.

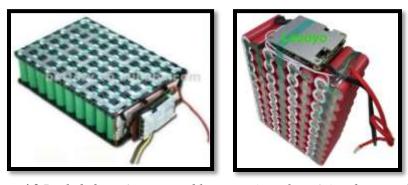


Figura 4.8 Pack de baterías recargable con tarjeta electrónica de control [15]

# 4.7 Batería recargable de ion de litio 18650

#### 4.7.1 Definición

La batería de iones de litio también denominada batería Li-Ion, es un dispositivo diseñado para almacenamiento de energía eléctrica que emplea como electrolito una sal de litio que consigue los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo.

Entre sus características está que es ligera, potente, no le afecta el efecto memoria, fácil y rápida de descargar y con ciclos de duración igual que las de NiMh. Además la batería 18650 es la más utilizadas en sistemas portátiles y electrónicos.

#### 4.7.2 Componentes externos e internos de una batería recargable de Li-ion 18650

En la figura 4. 9 se pueden apreciar todos los componentes internos y externos de la batería 18650.

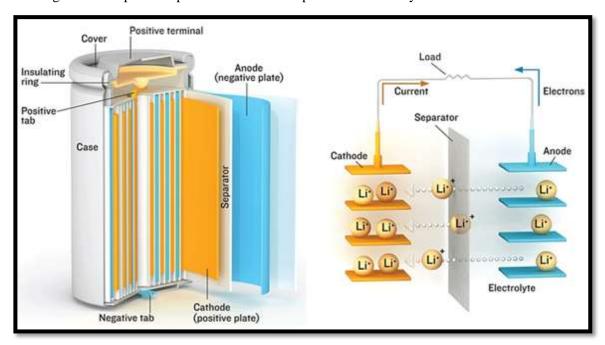


Figura 4.9 Elementos que conforman la batería Li-ion 18650 [16]

Entre los elementos más significativos de la figura 4.9 resaltan tres y se definen a continuación:

- ♣ El ánodo suele ser de grafito.
- ♣ El cátodo es de una aleación de litio (LiFPO4, LiCoO2, LiMn2O4)
- ♣ El electrolito es una sal de litio en un disolvente orgánico (un polímero en las baterías de polímero de litio)

**♣** Separador es generalmente un polímero poroso. [16]

# 4.7.3 Configuración, especificaciones y dimensiones técnicas de la batería de Li-ion 18650

La batería de Li-ion 18650 es una batería de bajo mantenimiento. Entre sus particularidades sobresalen la capacidad de almacenamiento de energía y la resistencia a la descarga que son muy altas, lo cual la hace ideal para el desarrollo de esta investigación.

El efecto memoria en las baterías de Li-ion es más bajo en comparación con el resto de baterías y su configuración es más apropiada para esta investigación, ver figura 4.10.

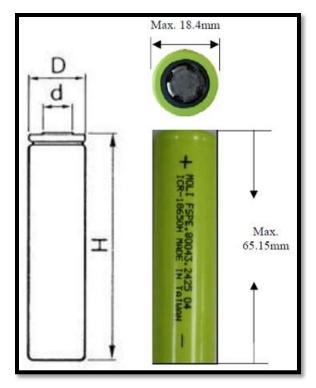


Figura 4.10 Configuración externa de la batería Li-ion 18650 [17]

En la tabla 4.1 se muestran las dimensiones técnicas de la batería recargable de Li-Ion 18650.

**Tabla 4.1** Dimensiones técnicas de la batería de Li-ion 18650 [17]

	Н	64.7 mm Min. – 65.15 mm Max.
DIMENSIONES TÉCNICAS	D	18.05 mm Min. – 18.4 mm Max.
	d	9.0 mm

En la tabla 4.2 se presentan las especificaciones técnicas de la batería recargable de Li-Ion 18650.

**Tabla 4.2** Especificaciones técnicas de la batería de Li-ion 18650 [17]

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
Capacidad nominal	2600 mAh (0.2C, 2.75V descarga)	
Capacidad mínima	2550 mAh (0.2C, 2.75V descarga)	
Voltaje de carga	$4.2 \pm 0.05 \text{ V}$	
Voltaje nominal	3.7 V	
Método de carga	CC – CV	
	(Voltaje constante con corriente limite)	
Corriente de carga	Carga estándar: 1300 mA	
	Carga rápida: 2600 mA	
Tiempo de carga	Carga estándar: 3 horas	
	Carga rápida: 2.5 horas	
Corriente de carga máxima	2600 mA (Temperatura ambiente 25°C)	
Corriente de descarga máxima	5200 mA (Temperatura ambiente 25°C)	
Corte de voltaje en la descarga	2.75 V	
Peso de la batería	47.0g Max	
Dimensiones de la celda	Altura: 65.00 mm Max	
	Diámetro: 18.40mm Max	
Temperatura de operación	Carga: 0 a 45°C	
	Descarga:-20 a 60°C	
	1 año: -20~25 °C	
Temperatura de almacenamiento	3 meses: -20~45°C	
	1 mes: -20~60°C	

Las baterías funcionan mal a temperaturas extremadamente bajas y altas. A baja temperatura, la difusión iónica y la migración pueden ser obstaculizadas y reacciones secundarias perjudiciales pueden ocurrir. Las temperaturas altas favorecen otras reacciones secundarias, tales como la generación de la corrosión y gas.

Como se puede observar en la tabla 4.2, el rango de temperatura de operación en descarga de una batería normalmente tiene un límite inferior y el límite superior más alto que el rango de operación de carga. Las baterías de Li-ion tienen una autonomía de 20-60 ° C.

# 4.7.4 Limitaciones de la batería recargable de Li-ion 18650

Entre las diversas limitaciones de la batería de Li-ion 18650 destacan:

- Caras de fabricar.
- ♣ Requieren de un circuito protector.
- ♣ No hay tamaños estándar, la mayoría de las células se producen para los mercados de consumo de alto volumen.
- ♣ Hay que tener mucha precaución al momento de manipular, ya que tienen muy alta densidad de energía. [18]

#### 4.7.5 Efecto memoria de la batería recargable de Li-ion 18650

El efecto memoria de las baterías es una desviación del voltaje de las baterías que puede limitar su uso e impedir una medida correcta de su capacidad. La principal consecuencia es una pérdida de potencia que supone que la batería se descargue sin ofrecer el voltaje requerido y la capacidad de la batería se desaprovecha.

Estudios recientes demuestran que las baterías de Li-ion si sufren el efecto memoria, pero es relativamente menor en comparación con las baterías anteriores. En cualquier caso el efecto es muy bajo, variando el voltaje tan solo unos pocas partes por mil. [19] Ver figura 4.11.

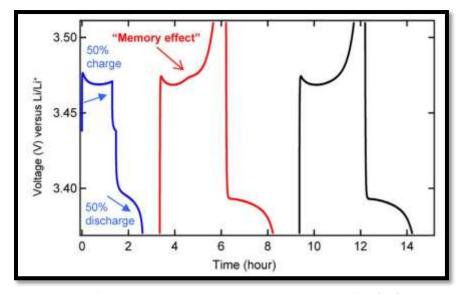


Figura 4.11 Efecto memoria en la batería Li-ion 18650 [19]

#### 4.7.6 Propiedades de la batería de Li-ion

- Resistencia interna: la resistencia dentro de la batería, por lo general diferente para la carga y la descarga, depende también del estado de carga de la batería. Como la resistencia interna aumenta, la eficiencia disminuye la batería y la estabilidad térmica se reduce a medida que más de la energía de carga se convierte en calor.
- **La potencia:** la potencia entregada por una batería en un momento determinado es tan sencillo como multiplicar tensión por intensidad pero además hay que tener en cuenta las limitaciones impuestas por la química y estructura interna de la batería.
- ♣ Energía Específica (Wh / kg): a veces se hace referencia como la densidad de energía gravimétrica. La energía específica es una característica de la química de la batería y el embalaje. Junto con el consumo de energía del vehículo, determina el peso de la batería necesaria para lograr una autonomía eléctrica dada.
- ♣ Potencia Específica (W / kg): es una característica de la química de la batería y el embalaje. Se determina el peso de la batería necesaria para conseguir un objetivo de rendimiento dado.
- ♣ Densidad de energía (Wh / L): la energía de la batería nominal por unidad de volumen, a veces se hace referencia como la densidad de energía volumétrica. La energía específica es una característica de la química de la batería y el embalaje. Junto con el consumo de energía del vehículo, determina el tamaño de la batería requerida para lograr una gama eléctrica dada.
- ♣ Densidad de Potencia (W / L): es la potencia máxima disponible por unidad de volumen. La potencia específica es una característica de la química de la batería y el embalaje. Se determina el tamaño de la batería necesaria para conseguir un objetivo de rendimiento dado.
- ♣ Corriente derivada continua máxima: es la corriente máxima a la que la batería puede descargarse continuamente. Este límite se define generalmente por la batería fabricante con el fin de evitar que las tasas de descarga excesiva que puedan dañar la batería o reducir su capacidad. Junto con la potencia máxima continua del motor, esto define la velocidad sostenible parte superior y la aceleración del vehículo. [20]
- ♣ Miliamperios hora: en las baterías es muy frecuente el uso del miliamperio hora (mAh), que es la milésima parte del Ah, o lo que es lo mismo 3.6 C. Esto indica la máxima carga

eléctrica que es capaz de almacenar la batería. A más de carga eléctrica almacenada, más tiempo tardará en descargarse. [21] El tiempo de descarga viene dado por la expresión 4.8.

$$Tiempo \ de \ descarga = \frac{Carga \ electrica \ bater\'a}{Consumo \ e\'l\'ectrico \ dispositivo} \tag{4.8}$$

El consumo eléctrico de un dispositivo se puede hallar de la siguiente forma:

Consumo eléctrico dispositivo = 
$$\frac{Carga \ electrica \ batería}{Tiempo \ de \ descarga}$$

# 4.7.7 Características de carga y descarga de la batería de Li-ion 18650

#### 4.7.7.1 Durante la descarga

En la figura 4.12 se observa que los iones litio cambian espontáneamente del electrodo negativo al electrolito y de este al electrodo positivo. El electrolito permite el paso de iones pero no de electrones. Al mismo tiempo, los electrones fluyen espontáneamente del electrodo negativo al positivo mediante el único camino que queda libre a través del circuito eléctrico.

A medida que avanza la descarga, el potencial de cada electrodo cambia de forma que su diferencia disminuye y cae por tanto el voltaje de la celda a medida que sacamos carga eléctrica de la batería. [22]

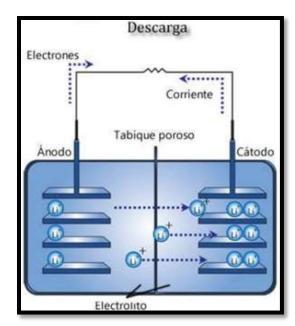


Figura 4.12 Conductividad de iones de litio en la descarga de la batería Li-ion 18650 [23]

# 4.7.7.2 Durante la carga

En la figura 4.13 se observa que los electrones son bombeados y extraídos del electrodo positivo. Por tanto, el electrodo negativo se vuelve más negativo y el positivo más positivo, aumentando así la diferencia de potencial entre ellos, o, lo que es lo mismo, el voltaje de la celda. Este proceso fuerza también a los iones litio a salir del electrodo positivo y a intercalarse en el negativo.

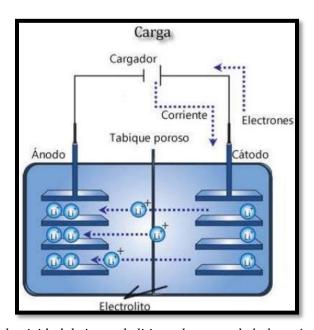


Figura 4.13 Conductividad de iones de litio en la carga de la batería Li-ion 18650 [23]

#### 4.7.7.3 Auto-descarga

Con el pasar del tiempo, las baterías sufren un proceso de auto-descarga que normalmente suele ser menor del 3% cada mes. Este consumo de energía puede ser apreciable para el caso de tiempos largos entre procesos de carga.

#### 4.7.8 SOC Y DOD en la batería de Li-ion 18650

La batería puede experimentar antes de que no cumple con los criterios de rendimiento específicos. El ciclo de vida es estimada para condiciones de carga y descarga específicos. La vida útil real de la de la batería se ve afectada por la velocidad y la profundidad de los ciclos y por otras condiciones tales como temperatura y humedad. Cuanto mayor sea el DOD, menor será la vida de ciclo. [20] Véase figura 4.14

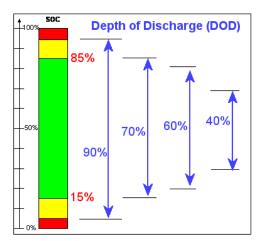


Figura 4.14 Profundidad de descarga (DOD) de la batería de Li-ion 18650 [24]

- **♣ El SOC:** es el porcentaje de lo que hay en la batería respecto a la capacidad nominal. Si cargamos la batería al completo de su capacidad nominal tendremos un SOC del 100%. Si está a la mitad el SOC será del 50%.
- Llegar al 0% del SOC en una batería de litio es una malísima idea. Un SOC del 100% a menudo tampoco es lo ideal. Por esa razón casi todos los modelos tienen opciones para cargar a diario solo hasta un límite del SOC y generalmente no permiten descargas por debajo de otro límite mínimo del SOC. [20]
- **♣ El DOD:** es un término en cierto modo complementario al SOC. Hace referencia al porcentaje de descarga realizado respecto a la capacidad nominal. Ejemplo, si de una batería con una capacidad nominal de 50 kWh vamos de un SOC del 90% (45 kWh) a un SOC del 20% (10 kWh) habremos realizado una DOD del 70%.

## 4.7.9 Características de carga de la batería de Li-ion 18650

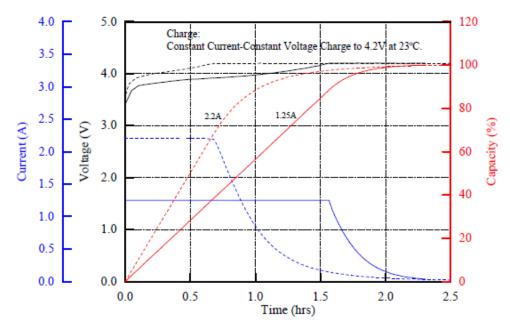


Figura 4.15 Curvas características de la batería 18650 en carga [17]

En la figura 4.15 se muestran las curvas características cuando la batería se carga con CC-CV (1C-4.2V), esta es cargada con una corriente constante de 1C y el voltaje de la batería sube gradualmente hasta el voltaje controlado de 4.2 V en aproximadamente 50 minutos. En este punto, el estado de carga es aproximadamente un 80%.

Después de eso, CV se inicia la carga y la corriente de carga disminuye. La carga completa se logra en aproximadamente 2.5 horas.

## 4.7.10 Características de temperatura en la descarga de la batería de Li-ion 18650

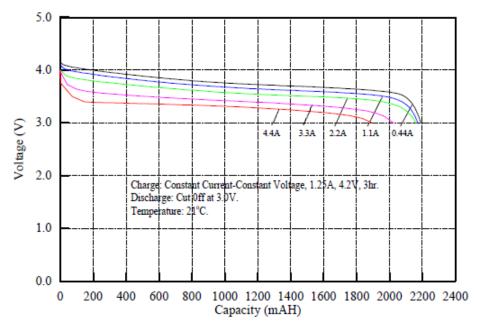


Figura 4.16 Curvas características de la temperatura en la descarga de la batería 18650 [17]

En la figura 4.16 se muestran las curvas de descarga en función de la temperatura de operación. El aumento de la corriente de descarga significa la disminución de la capacidad de descarga. Esto es debido a la disminución de la reactividad de los materiales activos. Además, una larga corriente de descarga causa que el voltaje de descarga sea inferior debido a que la tensión de polarización en las reacciones de los electrodos aumenta.

La corriente de descarga estándar es inferior a 1C para descarga continua y por debajo de 2C para la descarga de impulsos porque una descarga con más de 2C lleva a una gran caída de tensión.

## 4.7.11 Características de velocidad de descarga de la batería de Li-ion 18650

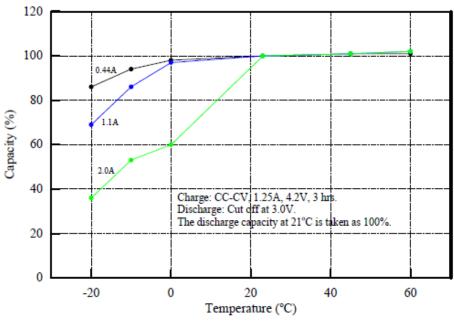


Figura 4.17 Curvas características de la velocidad de descarga de la batería 18650 [17]

La figura 4.17 representa la velocidad con la que se descarga la batería cuando está sometida a diferentes temperaturas. La capacidad de descarga a alta temperatura es igual o mayor que a temperatura ambiente, pero la capacidad a bajas temperaturas disminuye. El rendimiento se recuperará a temperatura ambiente.

### 4.7.12 Características del ciclo de vida de la batería de Li-ion 18650

En la figura 4.18 se muestra el ciclo de vida una batería en función de la capacidad de almacenamiento. En general, el final del ciclo de vida de las baterías secundarias se define cuando la capacidad cae por debajo de 60 % de la capacidad nominal y ya no se recupera por los ciclos posteriores. El ciclo de vida depende en gran medida de las condiciones del ciclo tales como la carga, la profundidad de descarga, la corriente y la temperatura ambiente.

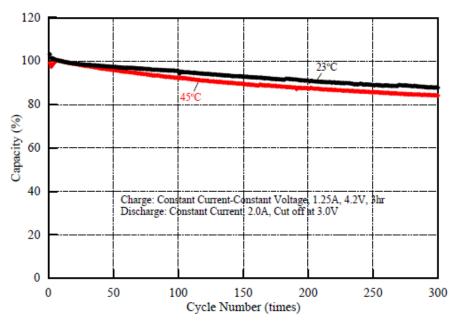


Figura 4.18 Curvas características del ciclo de vida de la batería 18650 [17]

## 4.8 Cargador de baterías de Li-ion

### 4.8.1 Definición

El cargador de Li Ion es un dispositivo con limitador de voltaje y de corriente. La carga completa se obtiene luego de que el voltaje alcanza su umbral superior y la corriente cae y se estabiliza cerca del 3% de su tasa nominal, o alrededor de los 0.03°C. El tiempo de carga de las baterías de Li Ion es de aproximadamente tres-cinco horas, a una corriente de carga inicial de 1C.

Por su voltaje adicional y a una mayor capacidad de energía, la batería de Li-ion podría incendiarse o explotar si se carga en un cargador de Ni-Cad o Ni-MH. Este debe dar de 3,8 a 4,2 voltios por celda. El uso de un sistema de baja energía puede causar que el litio se adhiera al ánodo de la batería y que el oxígeno sea generado en el cátodo, produciendo una mezcla enormemente inflamable. Véase figura 4.19.

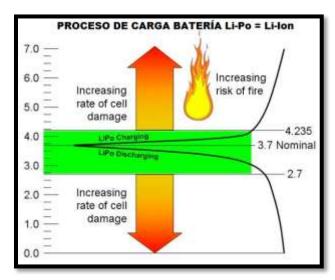


Figura 4.19 Proceso de carga de la batería Li-Po y su similitud con la Li-ion [25]

Es muy importante y recomendable cargar las baterías de ion litio a un 40% antes de almacenarlas por períodos largos. No es bueno para la batería cargarla por completo y después almacenarla, dado que esto reducirá drásticamente su vida útil.

Si el cargador de la batería de ion de litio no posee la tensión necesaria, este puede causar inestabilidad en su voltaje normal de funcionamiento. Si se excede la tensión de carga (por encima de 4.30V), puede dañar los recubrimientos internos de la batería provocando así agentes de oxidación, elevando la temperatura de la batería. [25]

## 4.8.2 Funcionamiento del cargador de Litio

El proceso de carga de una batería de Li-Polímero es muy similar al de Li-ion. Las mismas utilizan un electrolito con gel para mejorar la conductividad. Para deducir cómo funciona un cargador de Litio, se presenta un circuito que aplica el chip LP2951. Véase figura 4.20.

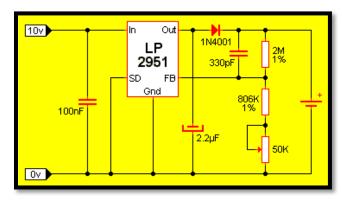


Figura 4.20 Circuito de carga [25]

En la figura 4.20 se observa que el chip LP2951 se encarga de medir el estado de la batería (por medio de su terminal de Feedback) y de controlar la tensión por el terminal de salida (Out). Los condensadores actúan como filtros de posibles parásitos de RF y el potenciómetro de 50 permite ajustar el sistema según la tensión de trabajo de la celda.

Al colocar una batería, el circuito verifica el estado de carga de la misma y, de ser necesario, efectúa la carga. Una vez completada la carga el circuito entra en modo de espera, controlando periódicamente el estado de la batería por si debe continuar cargando.

Este circuito está diseñado para una sola batería de Li-Ion. Hay que recalcar que este tipo de baterías no pueden ser cargadas ni en serie ni en paralelo, por lo que se debe realizar un sistema por cada batería que se quiera cargar simultáneamente. Además, este circuito consigue ser alimentado por una tensión continua de entre 6 y 10 V con una corriente igual a 1.5 veces la capacidad de la batería a cargar. [25]

## 4.8.3 Tipos de cargadores

Entre las diversos tipos de cargador que existen para las baterías de Li-ion, resaltan los que poseen un sistema de carga y los que no poseen un sistema de carga. Los fabricantes de baterías de Li-ion recomiendan utilizar los cargadores que posean un sistema de carga controlado. Dentro de los cargadores con sistema controlado de carga se tienen los siguientes, ver figuras 4.21, 4.22 y 4.23.



Figura 4.21 Cargador UltraFire WF-128S3 [26]



Figura 4.22 Cargador NITECORE DigiCharger D4 para 4 baterías Li-ion 18650 [27]



Figura 4.23 Especificaciones y compatibilidad del cargador NITECORE Digicharger D4 [27]

## 4.9 Reciclaje de baterías en la ciudad de Cuenca

## 4.9.1 Reciclado de baterías de ordenadores portátiles

La batería de un ordenador portátil oculta en su interior un valioso dispositivo que puede ser de gran utilidad para grandes proyectos. Ese valioso dispositivo es la batería recargable de Li-Ion 18650, ver figuras 4.24 y 4.25.



Figura 4.24 Variedad de baterías de ordenadores portátiles [28]





Figura 4.25 Recuperación de baterías recargables de Li-ion 18650 [29]

Actualmente en la ciudad de Cuenca existen dos empresas encargadas de la gestión ambiental sobre residuos de baterías de ordenadores portátiles. Estas baterías pueden ser reutilizadas de manera independiente, como fuente de alimentación y en relleno sanitario. Estas empresas son:

- **4** ETAPA EP
- **♣** EMAC





**Figura 4.26** Empresas de la ciudad de Cuenca encargadas del reciclado y la gestión ambiental [30] [31]

### 4.10 Leyes sobre el uso de residuos de baterías y la gestión ambiental

Es de mucha importancia tener en cuenta los impactos medioambientales y la sostenibilidad de cualquier nueva tecnología, ya que su uso intensivo podría llevar a una situación medioambiental o energética similar a la que se trata de resolver, es decir, no viable.

La gran parte de la tecnología actual como dispositivos portátiles y vehículos eléctricos está utilizando litio en sus baterías. El litio también se usa para la fabricación de aluminios, vidrios, cerámicas y lubricantes. Debido a estas aplicaciones, la demanda y su precio subirán considerablemente.

Como se puede observar, las utilidades de la batería que utilizan litio son numerosas, pero hay que cuidar del medio ambiente porque como desecho éstas son un contaminante muy peligroso.

Hay un orden propicio que debe seguir la batería para evitar catástrofes en el medio ambiente, ver figura 4.27.

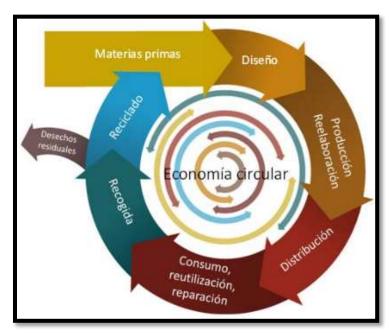
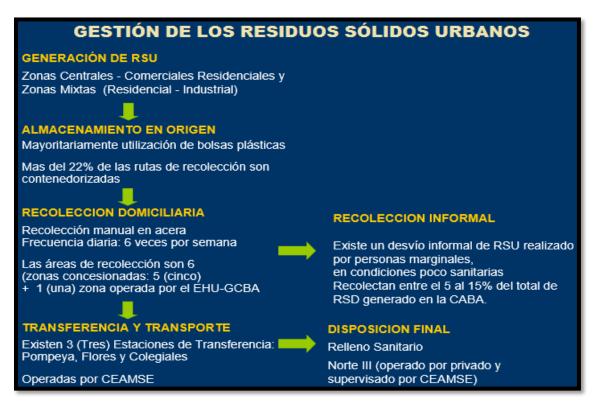


Figura 4.27 Fases adecuadas que debe alcanzar la batería [32]

En el ámbito nacional, tanto ETAPA EP como EMAC, utilizan el siguiente plan de gestión y tratamiento de residuos de baterías en la ciudad de Cuenca. Véase figura 4.28.



**Figura 4.28** Gestión de residuos sólidos urbanos de las empresas ETAPA EP y EMAC de la ciudad de Cuenca [33]

A continuación se presentan algunas normas, planes y programas internacionales sobre el tratamiento y reciclaje de residuos de baterías, ver figura 4.29:



Figura 4.29 Normativas, planes y programas internacionales de gestión de residuos [34]

## 5 MARCO METODOLÓGICO

## 5.1 Metodología de diseño

Para diseñar cualquier elemento y llegar a obtener una solución viable, es importante establecer una metodología de diseño. En este proyecto se utilizará la siguiente metodología de diseño, ver figura 5.1

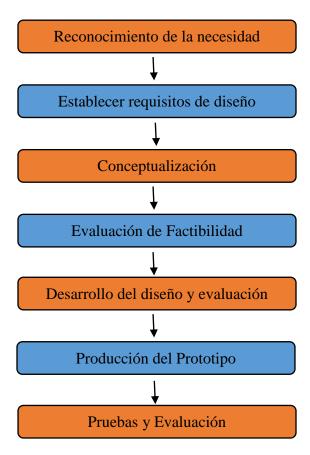


Figura 5.1 Metodología de diseño propuesta

El proceso descrito anteriormente no es lineal, más bien es iterativo; en el cual se puede retomar un estado previo para establecer otras ideas que ayuden a solucionar problemas que se presenten en cada fase.

## 5.2 Aplicación de la metodología de diseño

A continuación se aplica paso a paso la metodología de diseño propuesta.

### 5.2.1 Reconocimiento de la necesidad

"Se requiere diseñar y construir un prototipo de batería recargable para una bicicleta eléctrica tipo trike".

## 5.2.2 Establecer requisitos de diseño

El diseño de prototipo de batería recargable deberá cumplir con ciertos requisitos, que indican que debe ofrecer y hacer dicho prototipo.

## Forma y posición:

- ♣ La batería deberá tener una forma rectangular con un área acorde al espacio disponible en la estructura de la bicicleta.
- Las dimensiones de la batería deben ser similares a las baterías convencionales.

#### Peso:

- ♣ No existe ninguna especificación respecto al peso de la batería recargable.
- El peso de la batería depende de cada diseño y aplicación.

### Desmontaje fácil:

- La batería debe estar acoplada en una base, la cual está ubicada detrás del asiento del piloto.
- ♣ La batería debe contar con un acople deslizable en la parte inferior, permitiendo un desmontaje fácil al aplicar una pequeña fuerza hacia afuera.

#### **Seguridad:**

♣ La batería no debe tener deslizamiento longitudinal durante el funcionamiento de la bicicleta, por tal motivo deberá contar con un dispositivo (pasador transversal) que limite su deslizamiento longitudinal. Véase figura 5.2.

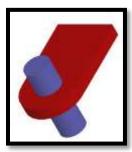


Figura 5.2 Pasador transversal para evitar el deslizamiento longitudinal de la batería

♣ Debe de tener un fusible de seguridad para evitar problemas en caso de cortos circuitos.

## 5.2.3 Conceptualización

La conceptualización es un esquema donde se plasma la primera idea, o el primer prototipo sin medidas, relacionado con la batería recargable para la bicicleta tipo trike. A continuación, se muestran cuatro conceptualizaciones:

- Concepto del cargador de baterías 18650
- Concepto del porta baterías
- Concepto de la forma de la caja
- ♣ Concepto del material a utilizar en la caja

En la figura 5.3 se propone la conceptualización del porta baterías, el cual varía de acuerdo a la cantidad de baterías a utilizar en el paquete.

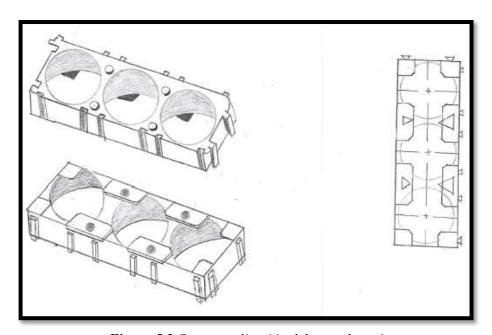


Figura 5.3 Conceptualización del porta batería

En la figura 5.4 se propone la conceptualización de una caja rectangular, la misma que constará de un circuito protector para controlar el voltaje y la temperatura de las baterías.

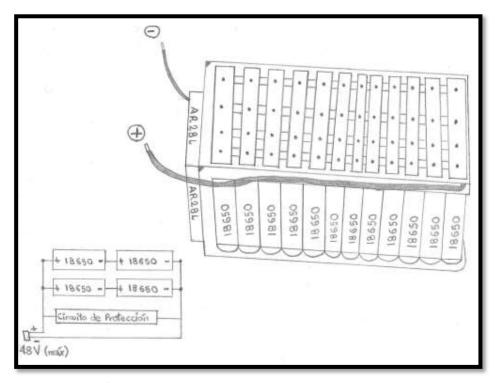


Figura 5.4 Conceptualización de una caja rectangular para la batería

En la figura 5.5 se propone la conceptualización de una caja cilíndrica, la cual tiene una forma muy aerodinámica para acoplarla en la estructura de la bicicleta.

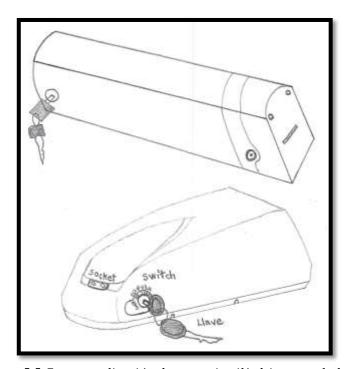


Figura 5.5 Conceptualización de una caja cilíndrica para la batería

## 5.2.4 Evaluación de factibilidad

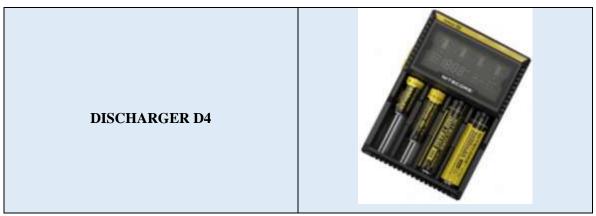
Para satisfacer los parámetros de desempeño es necesario generar ideas y proponer soluciones factibles para el diseño, como se muestra a continuación:

- ♣ Evaluación de factibilidad del cargador de baterías 18650
- Evaluación de factibilidad del porta baterías
- ♣ Evaluación de factibilidad de la forma de la caja
- Evaluación de factibilidad del material a utilizar en la caja

En la tabla 5.1 se plantea una propuesta de solución para la selección del cargador de baterías 18650.

Tabla 5.1 Propuesta de solución para selección del cargador de baterías

Propuesta de solución	
UNIVERSAL	
ELLICHARGER i4	



En la tabla 5.2 se muestra la matriz de decisión para seleccionar el cargador adecuado.

Tabla 5.2 Matriz de decisión para la selección del cargador de baterías

	Calidad	Desempeño	Menor Costo	Disponibilidad	Suma
Factor de ponderación	0.1	0.4	0.35	0.15	1
UNIVERSAL	3	3	10	7	
	0.3	1.2	3.5	1.05	6.05
INTELLICHARGER 14	7	8	6	1	
	0.7	3.2	2.1	0.15	6.15
	10	10	5	1	
DISCHARGER D4	1	4	1.75	0.15	6.90

Según la tabla 5.2, el cargador DISCHARGER D4 es el más factible para las baterías 18650. El desempeño de este es mucho más eficiente a la hora de cargar dichas baterías. Además, cuenta con un sistema de protección y control más eficiente que los otros dos cargadores, siendo más sencillo y práctico al momento de controlar la carga.

En la tabla 5.3 se presenta una propuesta de solución para la selección del porta batería 18650.

Tabla 5.3 Propuesta de solución para la selección del porta batería



En la tabla 5.4 se muestra la matriz de decisión para seleccionar el porta batería apropiado.

Tabla 5.4 Matriz de decisión para la selección del porta batería

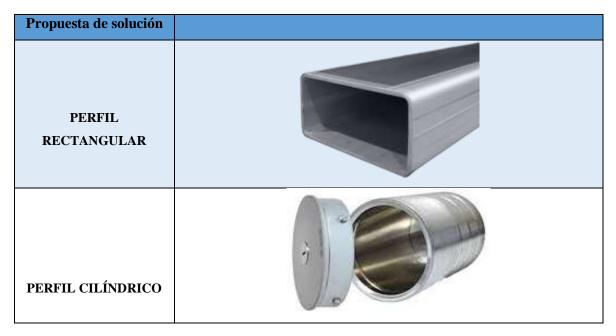
	Fácil montaje y fijación	Tiempo de diseño	Menor Costo	Disponibilidad	Suma
Factor de ponderación	0.4	0.35	0.15	0.1	1
DISEÑO PROPIO	7 2.8	8 2.8	8 1.2	0.8	7.6
DISEÑO	10	2	2	2	
IMPORTADO	4	0.7	0.3	0.2	5.2

De acuerdo a la tabla 5.4, se concluye que el diseño propio de un porta batería, según las características deseadas, es lo más viable. En la ciudad de Cuenca, existen muchas empresas que pueden fabricar prototipos de porta baterías, de acuerdo al tamaño y número de agujeros deseados. Uno de los materiales más comunes con los que trabajan dichas empresas, es el acrílico transparente. Este es un plástico muy ligero, resistente a impactos, fácil de perforar e incluso muy económico.

Aunque en el montaje y fijación es mejor el porta batería importado, con el diseño propio de un porta batería se ahorraría tiempo y dinero.

En la tabla 5.5 se presenta una propuesta de solución para la selección de la forma de la caja para la batería.

Tabla 5.5 Propuesta de solución para la selección de la forma de la caja



En la tabla 5.6 se muestra la matriz de decisión para seleccionar la forma de la caja apropiada.

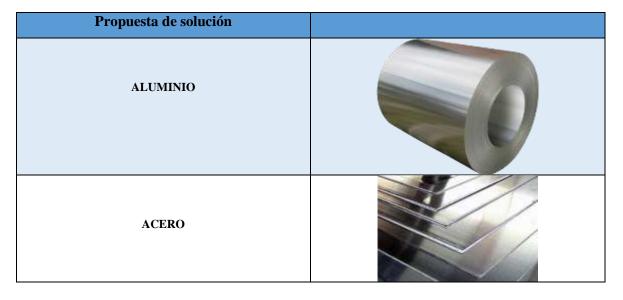
Tabla 5.6 Matriz de decisión para la selección de la forma de la caja

	Facilidad de acople	Facilidad de manufactura	Eficiencia	Menor Costo	Suma
Factor de ponderación	0.4	0.3	0.15	0.15	1
PERFIL	10	10	8	8	
RECTANGULAR	4	3	1.2	1.2	9.40
PERFIL	7	3	3	6	
REDONDO	2.8	0.9	0.45	0.9	5.05

Según la tabla 5.6, se establece que el perfil rectangular es el más adecuado para la forma de caja de la batería. Este perfil se puede acoplar de forma rápida y eficiente en la estructura de la bicicleta. Además, internamente, cada batería puede ajustarse de la mejor manera, es decir, una seguida de otra, sin dejar espacios huecos.

En la tabla 5.7 se plantea una propuesta de solución para el material a utilizar en el diseño y construcción de la caja de la batería.

Tabla 5.7 Propuesta de solución para el material a utilizar en la caja



En la tabla 5.8 se muestra la matriz de decisión para seleccionar el material adecuado para la caja de la batería.

Tabla 5.8 Matriz de decisión para la selección del material

	Menor Costo	Maleabilidad	Disponibilidad	Menor Peso	Soldadura	Propiedades Térmicas	Suma
Factor de ponderación	0.15	0.25	0.1	0.25	0.1	0.15	1
ALUMINIO	8 1.2	8	0.8	8 2	0.1	3 0.45	6.55
ACERO	6 0.9	5 1.25	8 0.8	5 1.25	10	1.5	6.70

De acuerdo a la tabla 5.8, se determina que el acero es el material adecuado para construir la caja de la batería. Este material tiene características mecánicas que superan al aluminio y que son significativos a la hora del diseño y fabricación del prototipo. El acero pierde puntaje en cuanto a peso y maleabilidad (suavidad, elasticidad), pues es mucho mejor el aluminio en este punto; sin embargo, en el momento de la soldadura, el acero lo supera totalmente, lo cual lo hace factible para emplearlo en la fabricación de la caja.

## 5.2.5 Desarrollo del diseño y evaluación

Para realizar los cálculos aerodinámicos de la bicicleta se requieren datos del motor, de la batería, de la bicicleta, del piloto e incluso datos geográficos. Véase tabla 5.9

Tabla 5.9 Datos para los cálculos dinámicos de la bicicleta

Características del motor eléctrico: Magic Pie 2			
Marca	Golden Motor		
Modelo	Magic Pie 2		
Peso	7.5 kg		
Voltaje	48 V		
Potencia	1000 W		
Velocidad Máxima	45 Km/h		
Máxima eficiencia	85%		
Par o Torque	21 N*m		
Pico de potencia	1200 W		
Características de la l	patería		
Capacidad de la batería	12 Ah		
Corriente máxima	25 A		
Energía de la batería	576 Wh		
Características de la bicicleta			
Largo de la biela del pedal	170 mm		
Velocidad del pedal	178,5 cm/seg		
Potencia de salida continua del ciclista	350 W		
Fuerza aplicada en el pedal	30 Lbs		
Peso de la bicicleta	45 Kg		
Máxima carga	100 Kg		
Batalla (Distancia de eje a eje)	1200 mm		
Bastidor / Tubo central	1140 mm		
Altura del centro de gravedad	200 mm		
Masa en el eje delantero	66%		
Masa en el eje trasero	33%		
Altura hasta el asiento	240 mm		
Recorrido total de la suspensión	80 mm		
Ancho total	960 mm		
Altura total			
Desde el suelo a la corona de la cabeza del piloto	1114 mm		
Desde el suelo hasta el punto más alto de la silla	830 mm		
Longitud total			
Desde el punto más lejano de la rueda trasera hasta el	2200 mm		

pedalier			
Desde el eje de la rueda trasera al eje del pedalier	1500 mm		
Características de los neumáticos			
Delanteros: 50-406 (20	x 1.95)		
Presión de inflado	45 psi		
Ancho de la llanta	45 mm		
Diámetro exterior	20 plg		
Diámetro interior	16 plg		
Posterior: 56-559 (26 x 2.10)			
Presión de inflado	55 psi		
Ancho de la llanta	56 mm		
Diámetro exterior	26 plg		
Diámetro interior	22 plg		
Características del p	piloto		
Peso del piloto	77 Kg		
Cadencia promedia del piloto	100 rpm		
Características geográficas			
Altitud de Cuenca	2500 msnm		
Densidad del aire	0,957 Kg/m^3		
Viscosidad cinemática	1,777 x 10^-6 m^2/s		
Conductividad térmica	0,00253 J/ms °K		

## 5.2.5.1 Cálculos dinámicos de la bicicleta

## a. Fuerza aerodinámica o resistencia aerodinámica al avance [35]

Para determinar la fuerza aerodinámica de la bicicleta  $(F_a)$  se utilizará la siguiente fórmula:

$$F_a = 0.5 * \rho * C_x * A_f * V^2$$
 (5.1)

Donde:

## Densidad del aire $(\rho)$

Se denomina densidad del aire a la cantidad de masa de aire por unidad de volumen. La densidad del aire disminuye con la altura, también disminuye la presión del aire y se reduce la temperatura. Ver tabla 5.10.

**Tabla 5.10** Valores de la densidad y de la viscosidad en función de la altitud [35]

Z (m)	$\rho(Kg/m^3)$	√(m²/s)
0	1.225	1.453 x 10 <sup>-5</sup>
500	1.168	1.510 x 10 <sup>-5</sup>
1000	1.112	1.571 x 10 <sup>-5</sup>
1.500	1.059	1.636 x 10 <sup>-5</sup>
2.000	1.007	1.705 x 10 <sup>-5</sup>
2.500	0.957	1.777 x 10 <sup>-6</sup>
3.000	0.909	1.853 x 10 <sup>-6</sup>

La ciudad de Cuenca se sitúa a una altitud aproximada de 2550 msnm (8366 pies). Por lo tanto, en la tabla 5.10 se escoge el valor de densidad de: 2500 msnm (Cuenca)  $\rightarrow \rho = 0.957 \ kg/m^3$ 

## Coeficiente aerodinámico de la bicicleta ( $C_x$ )

El coeficiente de resistencia o también conocido como coeficiente aerodinámico, es un coeficiente que se obtiene por lo general experimentalmente, dentro de túneles de viento, para poder ver qué tanto le afecta a la bicicleta el viento en contra. Este coeficiente va desde valores relativamente pequeños como 0.001 para flujos laminares hasta valores grandes como 0.7 o 1.1 para coches de la fórmula 1. [36]

Hasta cierto punto, el  $C_x$  es independiente del tamaño del cuerpo y de la velocidad del fluido. A partir de cierto punto, puede haber grandes variaciones en el  $C_x$  por cualquiera de las dos causas (tamaño del cuerpo y velocidad del fluido). En la tabla 5.11 se muestra el coeficiente aerodinámico para algunos cuerpos.

Tabla 5.11 Coeficiente aerodinámico para varios cuerpos [35]

Cuerpo	Orientacion del flujo	C×
Placa circular	-	1.17
Esfera		0.47 •
Semiesfera		0.42 *
Cono (60')	-4-	0.5
Cubo		1.05 •
Cilindro (I/D>2)	D	0.82
Cilindro (I/D<1)	- []	1.15
Cuerpo currentilineo I/D = 2.5		004
Medio cuerpo currentilineo sobre el suelo		0.09

De acuerdo a la tabla 5.11, se determina que para la bicicleta tipo trike, es apropiado escoger una orientación del flujo de forma rectangular vertical con  $C_x = 1.15$ .

# Área frontal de la bicicleta $(A_f)$

Para poder estimar el área frontal, el sistema más sencillo consiste en realizar una fotografía frontal y, mediante un software especializado, se puede calcular la superficie considerando alguna medida conocida de la bicicleta, como la anchura de vía. También se puede descomponer la imagen en formas simples para estimar la superficie. Ver figura 5.6.

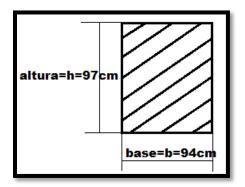


Figura 5.6 Área frontal de la bicicleta

$$f = 0.8 \ a \ 0.85$$

$$A_f = f * b * h \tag{5.2}$$

$$A_f = 0.8 * 0.94 m * 0.97 m$$

$$A_f = 0.729 m^2$$

## Velocidad máxima de la bicicleta (V)

Se consideró una velocidad máxima de la bicicleta de V = 10 km/h.

$$V = 10 \frac{km}{h} * \frac{1000m}{1km} * \frac{1h}{3600s}$$
$$V = 2.777 \, m/s$$

$$F_a = 0.5 * \rho * C_x * A_f * V^2$$

$$F_a = 0.5 * 0.957 \frac{kg}{m^3} * 0.82 * 0.729 m^2 * (2.777 \frac{m}{s})^2$$

$$F_a = 2.20 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

$$F_a = 2.20 N Resp.$$

## b. Fuerza de resistencia a la rodadura [35]

Para determinar la fuerza de resistencia a la rodadura de la bicicleta  $(F_r)$  se utilizará la siguiente fórmula:

$$F_r = W * C_{rr} * cos(\theta)$$
 (5.3)

Donde:

## Peso de la bicicleta $(W_b)$

$$m = 45 kg$$
$$g = 9.8 m/s^2$$

$$W_b = m * g$$
 (5.4)  
 $W_b = 45kg * 9.8 m/s^2$   
 $W_b = 441 N$ 

## Peso del piloto $(W_p)$

$$m = 65 kg$$
$$g = 9.8 m/s^2$$

$$W_p = m * g$$

$$W_p = 65kg * 9.8 m/s^2$$

$$W_p = 637 N$$

## Peso total (W)

$$W = W_b + W_p$$
 (5.5)  
 $W = 441 N + 637 N$   
 $W = 1078 N$ 

## Coeficiente de resistencia a la rodadura ( $\mathcal{C}_{rr}$ )

Este factor es una constante que depende de la superficie donde se mueve la bicicleta. En la tabla 5.12 y 5.13 se presentan diversos coeficientes de resistencia a la rodadura para diversos tipos de neumáticos.

**Tabla 5.12** Factor de resistencia a la rodadura según el vehículo y la superficie donde se desplaza [37]

$\mathcal{C}_{rr}$	Descripción
0,0010 a 0,0024	Ruedas de ferrocarril de acero sobre rieles de acero.
0,0010 a 0,0015	Rodamientos de bolas en acero sobre acero
0,0025	Neumáticos especiales Michelin para automóvil solar/eco-
	marathon
0,005	Rieles estándar de tranvía
0,0055	Neumáticos BMX de bicicleta usados para automóviles solares
0,010 a 0,015	Neumáticos ordinarios de automóvil sobre losas de piedra
0,030 a 0,035	Neumáticos ordinarios de automóvil sobre alquitrán o asfalto
0,3	Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hierba, barro y arena

Tabla 5.13 Factor de resistencia a la rodadura según la marca y modelo del neumático [38]

СЛ	Marca / Modelo	Crr	Watts 30km/h
С	Deda Tre Giro d'Italia	0.0038	26
С	Vittoria Open Corsa Evo CX	0.0039	27
C	Michelin Pro 2 Race	0.0042	29
C	Vittoria Diamante Pro Rain	0.0044	31
С	Michelin Megamium 2	0.0047	33
С	Pariba Revolution	0.0048	33
T	*Veloflex Carbon (Tubular)	0.0049	34
C	Michelin Carbon	0.0050	35
T	*Gommitalia Route du Nord (Tubular)	0.0050	35
C	Panaracer Stradius Pro	0.0051	35
C	Schwalbe Stelvio Plus	0.0052	36
T	*Gommitalia Platinum (Tubular)	0.0053	37
T	*Vittoria Corsa Evo CX (Tubular)	0.0054	38
С	Schwalbe Stelvio Evolution Front	0.0056	39
С	Continental GP Force (rear specific)	0.0057	40
С	Hutchinson Fusion	0.0057	40
С	Schwalbe Stelvio Evolution Rear	0.0057	40
T	*Vittoria Corsa Evo KS (Tubular)	0.0057	40
С	Continental Ultra GatorSkin	0.0058	40
C	Ritchey Pro Race Slick WCS	0.0058	40
С	Schwalbe Stelvio	0.0059	41
Т	*Continental Competition (Tubular)	0.0059	41
T	*Veloflex Roubaix (Tubular)	0.0059	41
T	*Continental Podium (Tubular)	0.0060	42
C	Specialized S-Works Mondo	0.0061	42
С	Continental GP 3000	0.0067	47
C	Hutchinson Top Speed	0.0069	48
T	*Schwalbe Stelvio (Tubular)	0.0069	48
С	Continental GP Attack (front specific)	0.0073	51
T	*Tufo Elite Jet (Tubular)	0.0073	51
T	*Schwalbe Montello 300 (Tubular)	0.0075	52
T	*Tufo Hi-Composite Carbon (Tubular)	0.0077	54

Por lo tanto, se escoge  $\mathcal{C}_{rr}=0.0055$  que es para neumáticos de bicicleta en asfalto.

## Ángulo de inclinación $(\theta)$

Para el caso de la bicicleta tipo trike, el ángulo de inclinación es  $\theta = 0$ . Véase figura 5.7.

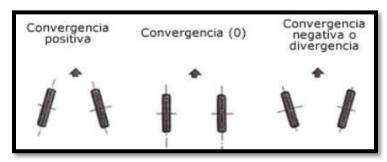


Figura 5.7 Ángulo de inclinación o convergencia del neumático [39]

$$F_r = W * C_{rr} * cos(\theta)$$
  
 $F_r = 1078 N * 0.0055 * cos(0)$   
 $F_r = 5.929 N Resp.$ 

### c. Resistencia gravitatoria o fuerza de resistencia a la pendiente [35]

Para determinar la fuerza de resistencia a la pendiente de la bicicleta (F<sub>p</sub>), se utilizará la siguiente fórmula:

$$F_p = W * sen(\theta) \quad (5.6)$$

La fuerza de resistencia de pendiente puede expresarse en grados o porcentaje de desnivel (%). Los parámetros para determinar la fuerza de resistencia a la pendiente son:

## Peso total (W)

$$W = W_b + W_p$$

$$W = 441 N + 637 N$$

$$W = 1078 N$$

## Ángulo de la superficie respecto de la horizontal $(\theta)$

Si  $\theta$  es Positivo se opone al movimiento; y sí, es Negativo, es propulsora. Ver figura 5.8.

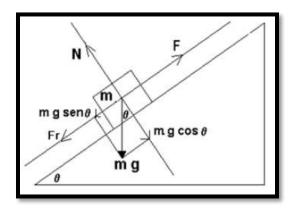


Figura 5.8 Ángulo de la superficie  $\Theta$  respecto de la horizontal

En la tabla 5.14 se muestra el ángulo de la superficie que esta con respecto a la horizontal, tanto para carreteras normales como para montañas.

**Tabla 5.14** Ángulo de la superficie respecto de la horizontal en carreteras normales y en montañas [40]

Carreteras Normales	≤10°	Pendientes menores del 17%
Montañas	10° a 45°	Pendientes de hasta 100%

*Para*  $\theta = 10^{\circ}$ ; *pendiente* = 17%

$$F_p = W * sen(\theta)$$
 
$$F_p = 1078 N * sen(10^\circ)$$
 
$$F_p = 187.192 N \qquad Resp.$$

## d. Fuerza de aceleración [35]

Para determinar la fuerza de aceleración de la bicicleta  $(F_i)$  se utilizará la siguiente fórmula:

$$F_i = m_t * a \quad (5.7)$$

Donde:

Masa total bicicleta-piloto  $(m_t)$ 

$$m_t = m_b + m_p (5.8)$$

$$m_t = 45 kg + 65 kg$$

$$m_t = 110 kg$$

## Aceleración normal con el pedal (a)

$$t = 45 \, s$$

$$d = 60 \, m$$

Presión de inflado de neumáticos

Delantero: 45 PSI

Trasero: 55 PSI

$$V = \frac{d}{t}$$

$$V = \frac{60 \text{ m}}{45 \text{ s}}$$

$$V = 1.333 \frac{m}{s} \quad 6 \quad V = 4.799 \frac{km}{h}$$

$$V_f = V_0 + a * t \quad (5.9)$$

$$V_f = a * t$$

$$a = \frac{V_f}{t}$$

$$a = \frac{1.333 \text{ m/s}}{45 \text{ s}}$$

$$a = 0.029622 \text{ m/s}^2$$

$$F_i = m_t * a$$
 
$$F_i = 110~kg * 0.029622~m/s^2$$
 
$$F_i = \textbf{3.258 N}~~\textit{Resp.}~~ o \textit{Con el Pedal}$$

Fuerza total necesaria para mover la bicicleta:

$$F_T = F_a + F_r + F_p + F_i \quad (5.10)$$
 
$$F_T = 2.20 N + 5.929 N + 187.19N + 3.258 N$$
 
$$\mathbf{F_T} = \mathbf{198.577 N}$$

## 5.2.5.2 Cálculos del Motor Magic Pie 2

#### **Datos**

Aro de la bicicleta = 26 pulgadas

Radio exterior = 330 mm = 33.0 cm = 0.330 m = 0.000330 km

Radio interior = 279.5 mm = 27.95 cm = 0.2975 m = 0.0002975 km

$$Velocidad = 10 \frac{km}{h} = 2.777 \frac{m}{seg}$$

$$Velocidad = 5\frac{km}{h} = 1.388 \frac{m}{seg}$$

En la figura 5.9 se pueden apreciar las diferentes fuerzas que actúan sobre el neumático de la bicicleta.

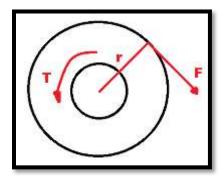


Figura 5.9 Diagrama de cuerpo libre del neumático

### Circunferencia de rodadura

La circunferencia de rodadura  $C_R$  es el perímetro dinámico del neumático. Cada vuelta de rueda, el vehículo ha de avanzar la misma distancia que su circunferencia dinámica o de rodadura. [41] Existen dos maneras de establecer la circunferencia de rodadura, las cuales son:

### Con la rueda fuera del vehículo:

Para determinar la circunferencia de rodadura del neumático, se puede medir su radio con la mayor precisión posible, con la rueda quitada del coche o en el aire sin apoyar en el suelo. [41] La fórmula del perímetro de la circunferencia es:

Circunferencia de rodadura = 
$$2 * \pi * r$$
 (5.11)
$$C_R = 2 * \pi * 330.2 mm$$

$$C_R = 2074.708 mm$$

## Considerando el peso de la bicicleta:

Para tener en cuenta la deformación dinámica del neumático al soportar el peso del automóvil se sustituye el valor de pi (3,1416) por 3,05, resultando la siguiente fórmula [41]:

Circunferencia de rodadura = 
$$2 * 3.05 * r$$
 (5.12)  
 $C_R = 2 * 3.05 * 330.2 mm$   
 $C_R = 2014.22 mm$ 

### Circunferencia teórica del neumático

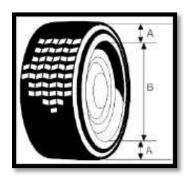


Figura 5.10 Denominación externa del neumático

Para determinar la circunferencia teórica de un neumático se debe calcular el diámetro que depende de la altura del flanco y del diámetro interior de la llanta, para finalmente multiplicar por 3.1416 (pi). [42]

Para el neumático trasero: 56-559 (26x2.10) → 56/4 R22

La fórmula es:

$$C_R = [(A * 2) + B] * 3,1416 (5.13)$$

$$C_R = \left[ \left( \frac{56 * 4}{100} \right) * 2 + (22 * 25.4) \right] * 3,1416$$

$$C_R = (2.24 * 2 + 558.8) * 3,1416$$

$$C_R = 1760 mm$$

O también puede ser:

$$C_R = (A + B + A) * 3,1416$$
 (5.14)

Dónde:

La altura del flanco en mm es:

$$A = \frac{56 * 4}{100} = 2.24$$

El diámetro de la llanta en mm es:

$$B = 22 plg * 25.4 mm = 558.8 mm$$

El diámetro de la rueda (llanta y neumático) es:

$$d = 2.24 + 2.24 + 558.8 = 563.28 \, mm$$

La circunferencia teórica de la rueda:

$$C_R = (2.24 + 558.8 + 2.24) * 3,1416$$

$$C_R = 563.28 * 3,1416$$

$$C_R = 1760 mm$$

#### Radio dinámico

#### **Con la rueda fuera del vehículo se tiene**

$$Radio\ din\'amico = \frac{Circunferencia\ de\ rodadura\ (C_R)}{2*\pi} \qquad (5.15)$$
 
$$Radio\ din\'amico = \frac{2074.708\ mm}{2*\pi}$$

Radio dinámico = 330.2 mm

## Considerando el peso de la bicicleta se obtiene

$$Radio\ din\'amico = rac{Circunferencia\ de\ rodadura\ (C_R)}{2*\pi}$$
 
$$Radio\ din\'amico = rac{2014.22\ mm}{2*\pi}$$
 
$$Radio\ din\'amico = 320.573\ mm$$

## **♣** Radio dinámico con la circunferencia teórica del neumático

$$Radio~din\'amico = \frac{Circunferencia~de~rodadura~(C_R)}{2\pi}$$
 
$$Radio~din\'amico = \frac{1760~mm}{2\pi}$$

Radio dinámico = 280.113 mm

## Velocidad angular

$$w = \frac{V}{r}$$
 (5.16)  
$$w = \frac{2.777 \, m/seg}{0.2975 \, m}$$
  
$$w = 9.334 \, seg$$

## **Torque**

$$T = 21 N * m$$

$$T = F * r \qquad (5.17)$$

$$F = \frac{T}{r}$$

$$F = \frac{21 N * m}{0.2975 m}$$

$$F = 70.5882 N$$

### Potencia del motor

$$P = T * w$$
 (5.18)  
 $P = 21 N * m * 9.334 seg$   
 $P = 196.014 N * m * seg$   
 $P = 196.014 W$ 

### Consumo

Eficiencia del motor: 95 % / 100 = 0.95

Eficiencia de la batería: 90 % / 100 = 0.90

Potencia eléctrica = 
$$\frac{potencia \ del \ motor}{trabajo}$$
 (5.19)
$$P = \frac{196.014}{0.95 * 0.90}$$

$$P = 229.256 \ W$$

Consumo o Energía = Potencia 
$$*$$
 tiempo (5.20)  
Consumo = 229.256 W  $*$  0.5 hora  
Consumo = 114.628 Wh = 0.1146 Kwh

## **Amperios hora**

Consumo = 229.256 Wh

Voltaje = 48 V

$$Amperios hora = \frac{Consumo}{Voltaje}$$
 (5.21) 
$$Amperios hora = \frac{229.256 Wh}{48 V}$$
 
$$Amperios hora = 4.78$$

## Energía de la batería: [43]

Energía de la batería = 
$$Voltaje * Amperios hora$$
 (5.22)  
Energía de la batería =  $48V * 12Ah$   
Energía de la batería =  $576Wh$ 

1Wh = 3600 Joules

Energía de la batería = 
$$576 Wh * \frac{3600 Joules}{1Wh}$$
  
Energía de la batería =  $2073600 Joules$ 

## Autonomía de la batería [44] [45]

Se refiere a la distancia que recorre la bicicleta a cierta velocidad.

$$Autonomía\ de\ la\ batería = Voltaje * Amperios\ hora * \frac{Velocidad\ máxima}{Potencia\ del\ motor} \tag{5.23}$$

Velocidad de 10km/h

Autonomía de la batería = 
$$48 V * 12Ah * \frac{10km/h}{1000W}$$

Autonomía mínima de la batería = 5.76km

Velocidad de 15km/h

Autonomía de la batería = 
$$48 V * 12Ah * \frac{15km/h}{1000W}$$

Autonomía mínima de la batería = 8.64km

Velocidad de 20km/h

Autonomía de la batería 
$$=48\,V*12Ah*rac{20km/h}{1000W}$$
  
Autonomía mínima de la batería  $=11.52km$ 

Los resultados obtenidos en los tres casos anteriores se refieren a la autonomía mínima de la batería. Intervienen otros factores que pueden aumentar o disminuir esta autonomía como el pedaleo que realiza el ciclista, que no siempre se circula a la velocidad máxima, el terreno por el que se circula, o la edad de la batería (mientras más años, menos electricidad podrá almacenar).

#### 5.2.5.3 Selección de las baterías recicladas

Es difícil saber cuánto tiempo una batería de iones de litio va a perdurar. El motivo de no saber con exactitud la vida de una batería, es que existen reacciones parásitas que matan a las baterías; estas reacciones parásitas son causadas por una formación de sólidos en el electrodo negativo. [46]

El rendimiento de una batería se mide en la capacidad. La capacidad es el principal indicador del estado de la batería. La resistencia interna y la auto-descarga también juegan un papel, pero estos son menos significativas para predecir el final de la vida de la batería con un moderno Li-ion. [47]

### Procedimiento de ensayo para determinar la eficiencia de la batería

#### Comprobar el voltaje:

- ♣ Si la batería está en buenas condiciones la lectura en el multímetro debe estar entre 3,6 y 3,7 voltios.
- ♣ Si la batería ha sido cargada, la lectura puede ser de hasta 4 voltios o disminuir a 3,7 voltios.
- ♣ Si la lectura está por debajo de los 3,5 voltios, cargar la batería hasta que esté llena.
- Dejar reposar por 24 horas y luego probar de nuevo la tensión. Si se mantiene por debajo de 3,5 voltios esto indica que la batería ha completado su vida útil.

### Comprobar la corriente:

- ♣ La batería 18650 de Li-ion completamente cargada, en buen estado, mide el mismo voltaje
  y corriente que especifica el fabricante.
- Las mediciones de energía caen a medida que la batería se descarga durante el uso, por lo que si la lectura es superior al 5 por ciento por debajo de los miliamperios hora en la descripción de la batería, se debe cargar la batería hasta el 100%.
- Ahora, si los miliamperios hora se encuentran a más de un 5 por ciento por debajo de los miliamperios hora especificados por el fabricante, esto indica que la batería no hará funcionar el equipo eléctrico durante la cantidad de tiempo correcta. [48]

### Comprobar la resistencia interna:

La resistencia interna varía con la edad de la batería, pero en la mayoría de baterías comerciales la resistencia interna es ≤ a 1 ohmio.

### 5.2.5.4 Selección del material aislante térmico

10.0

4.69

Entre el acrílico y el vidrio, ambos son buenos aislantes térmicos. En la tabla 5.15 se pueden apreciar las diferentes propiedades físicas que ofrece el acrílico en comparación con el vidrio. [49]

Espesor	Aislamiento Térmico factor U (w/m k) <sup>2</sup>		Peso (kg/m <sup>2</sup> )		Aislamiento Acústico DIN 52211D - 75 KW (D8)		Transmisión de Luz según ASTMD-
(mm)	Acrílico	Vidrio	Acrílico	Vidrio	Acrílico	Vidrio	1003 (%)
3.0	5.49	5.87	3.6	7.34	22	28	
4.0			4.8	8.8	24	30	19
8.0			9.6	17.6	28	32	

22

33

Tabla 5.15 Propiedades físicas del acrílico vs vidrio

Según la tabla 5.15, el acrílico es más liviano que el vidrio y mejor aislante.

12.0

5.68

El acrílico cuenta con un peso específico de 1.19 gr/cm cúbico, es 50% más ligero que el vidrio y 43% más ligero que el aluminio. [50]

Dentro de las propiedades térmicas, la temperatura de deflexión del acrílico varía de 72 a 100 grados centígrados, con una temperatura de servicio típica de 80 grados centígrados; es 20% mejor aislante que el vidrio. [50].

Se concluye que el acrílico es el material idóneo para aislar partes eléctricas e incluso para construir un soporte o porta baterías. Pues ofrece un excelente aislamiento térmico y acústico, es muy liviano, resistente al impacto y sobre todo, se puede cortar fácilmente (mediante láser) según la forma que se desee. Ver figura 5.11



Figura 5.11 Aislante térmico de acrílico

### 5.2.5.5 Diseño CAD

Para modelar el prototipo se utilizó el software SolidWorks 2014. A continuación, se detalla paso a paso el modelado de la batería, del circuito de protección, del cargador de la batería y del motor de la bicicleta.

#### Modelo CAD de la batería

En la figura 5.12 se muestra el diseño de los rieles donde va a ir montado el paquete de baterías. Su finalidad es impedir que el paquete toque las paredes de la caja y así evitar un corto circuito.

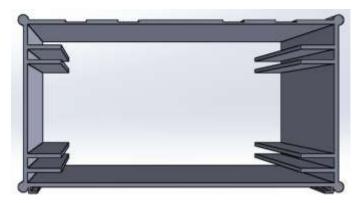


Figura 5.12 Modelo CAD de la caja de la batería (vista frontal)

Las dimensiones de la parte frontal de la caja de la batería se muestran en la figura 5.13.

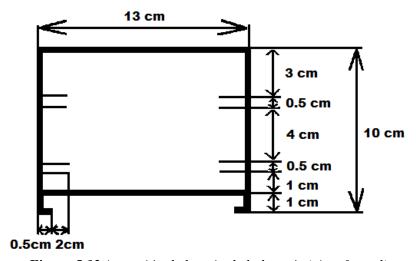


Figura 5.13 Acotación de la caja de la batería (vista frontal)

En la figura 5.14 se presenta el diseño de la caja de la batería. La misma consta de un socket macho en la parte frontal; y en la parte posterior, contiene el plug de carga y un socket hembra para enviar señales al arduino.

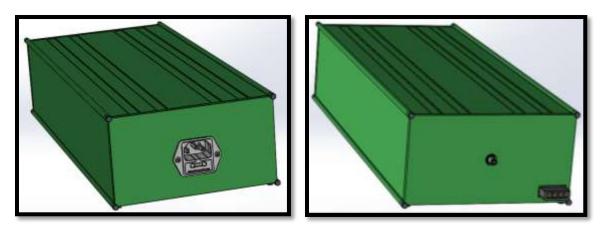


Figura 5.14 Modelo CAD de la caja de la batería (perspectiva)

Esta caja se diseñó de acuerdo a las dimensiones de la base de la batería en la bicicleta, de modo que se acople de la mejor manera. Véase figura 5.15.

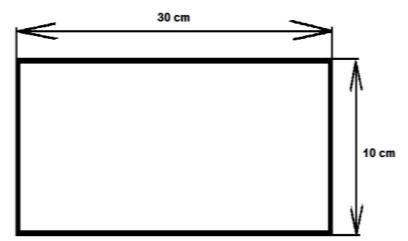


Figura 5.15 Acotación de la caja de la batería (vista lateral)

También se diseñó el soporte de las baterías, el mismo que cuenta con un total de cuarenta agujeros, cuatro verticalmente y diez horizontalmente. Ver figura 5.16.



Figura 5.16 Modelo CAD del soporte de las baterías

En la figura 5.17 se pueden apreciar las dimensiones con las que se diseñó el soporte.

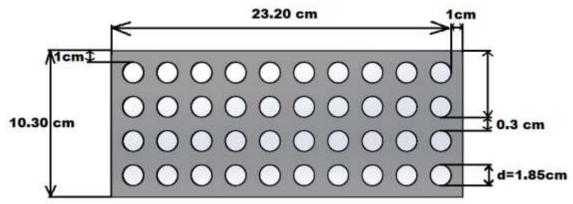


Figura 5.17 Dimensiones del soporte de las baterías

Por último, en la figura 5.18 se presenta el ensamble final de la batería. En ella se puede apreciar la disposición del paquete en los rieles, así como la ubicación de las baterías en los soportes.

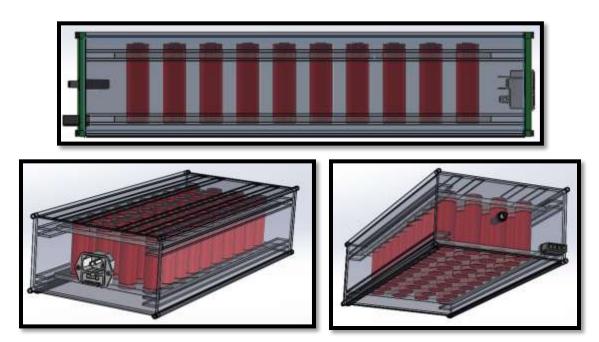


Figura 5.18 Ensamble final de la batería

## Modelo CAD de la protección de la batería

En la figura 5.19 se presenta el diseño de la caja y del circuito de protección de la batería. Este circuito se diseñó con el objetivo de proteger cada una de las baterías, durante el proceso de carga. Pues evita que las baterías se sobrecarguen o que se descarguen por completo, alargando de esta forma la vida útil de las baterías.

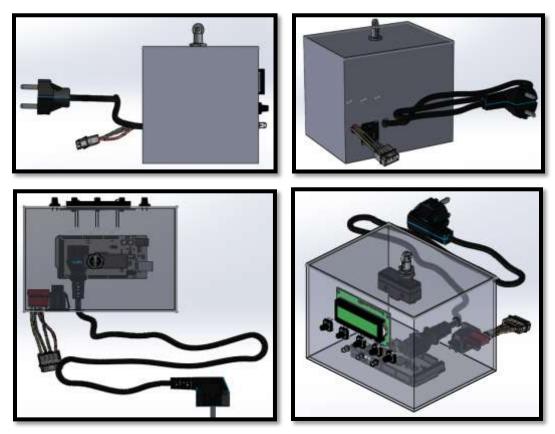


Figura 5.19 Modelo CAD del circuito de protección de la batería (vista superior)

Las dimensiones con las que se construyó la caja del sistema de control y protección de las baterías, se muestran en las figura 5.20.

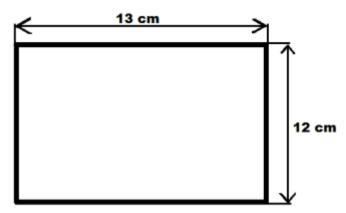


Figura 5.20 Acotación de la caja de protección de la batería (vista lateral)

En la parte frontal de la caja de protección, se tiene una pantalla LCD para mostrar los datos, cinco pulsantes para calibrar o resetear tanto el voltaje como la temperatura de funcionamiento y tres leds que indican que el sistema está funcionando. Véase figura 5.21.

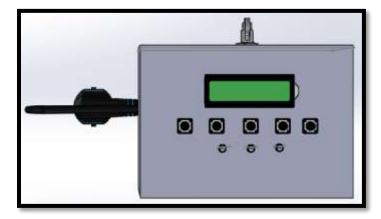


Figura 5.21 Modelo CAD de la protección de la batería (vista frontal)

Las dimensiones de la parte frontal de la caja de la protección se indican en la figura 5.22.

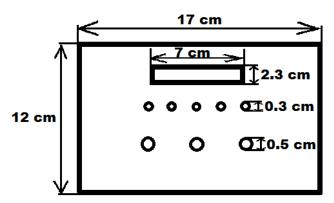


Figura 5.22 Acotación de la caja de control y protección (vista frontal)

Finalmente, en la parte posterior de la caja de protección se tiene un socket hembra donde se conecta la fuente de la batería. De esta caja, sale a su vez un socket macho que se conecta a la pared (110V). Ver figura 5.23.

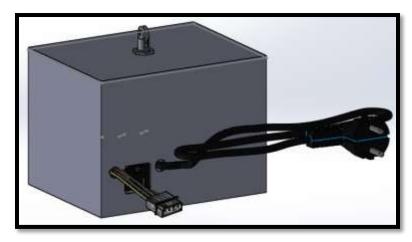


Figura 5.23 Modelo CAD del circuito de protección de la batería (vista posterior)

Las dimensiones de la parte posterior de la caja del circuito de protección se indican en la figura 5.24.

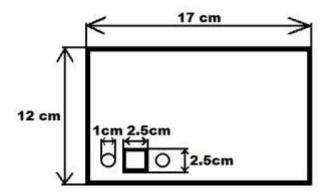


Figura 5.24 Acotación de la caja de control y protección (vista posterior)

# Modelo CAD del cargador de la batería

Para el cargador de la batería, se diseñó una caja de acuerdo a las dimensiones y características de un regulador de voltaje CDP, donde va a ir montado el circuito de carga. Véase figura 5.25



Figura 5.25 Modelo CAD del cargador de la batería (perspectiva)

El cargador contará con dos potenciómetros para regular el voltaje de carga deseado (48V). Ver figura 5.26.



Figura 5.26 Modelado de los potenciómetros reguladores de voltaje (vista frontal)

# Modelo CAD del motor de la bicicleta

En la figura 5.27 se muestra el diseño del motor de la bicicleta, el cual va montado sobre una llanta de rin de 26 pulgadas.



Figura 5.27 Modelado del motor de la bicicleta (perspectivas)

# Disposición de los elementos del sistema

Finalmente, en la figura 5.28 se presenta el ensamble final: protección, cargador, batería y motor.

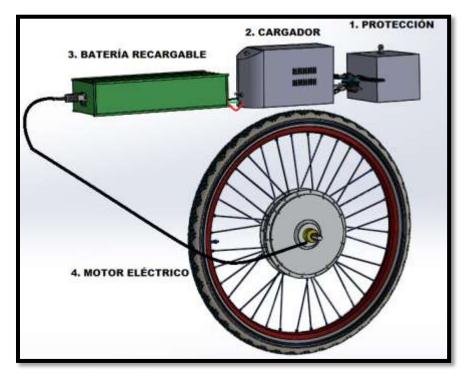


Figura 5.28 Disposición de los elementos del sistema

## 5.2.5.6 Diagramas eléctricos

# Diagrama eléctrico de la fuente y del sistema de control

En la figura 5.29 se puede ver cómo está constituido el circuito eléctrico de la fuente y del sistema de control tanto de temperatura como de voltaje.

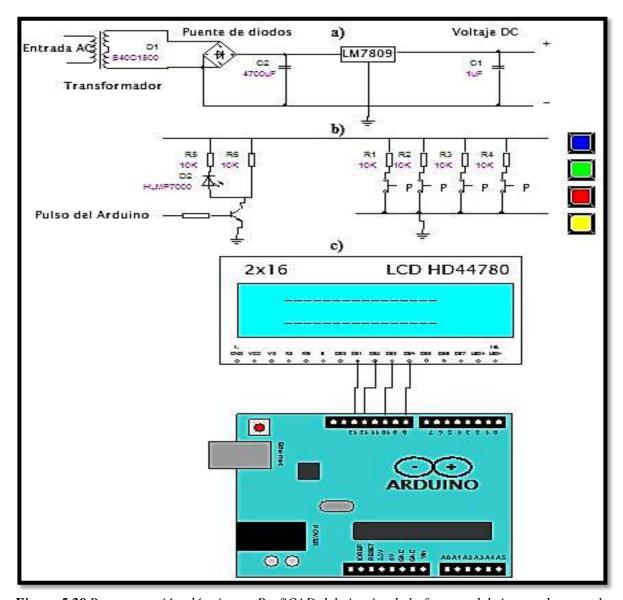


Figura 5.29 Representación eléctrica en ProfiCAD del circuito de la fuente y del sistema de control

En la figura 5.29a se aprecia el diagrama eléctrico de la fuente de la batería. La misma que consta de un transformador de AC a DC, con un puente de diodos y un integrado para la regulación, dando un voltaje de salida de 48 voltios que es lo que se requiere para la batería.

En la figura 5.29b se puede ver el esquema eléctrico para el control de voltaje y temperatura. El mismo que cuenta con cuatro pulsantes, dos de ellos para regular el voltaje y los otros dos restantes para regular la temperatura.

Finalmente, en la figura 5.29c se tiene un arduino mega con la programación respectiva, para realizar el control; este a su vez está sincronizado a una pantalla LCD HD44180, donde se mostrarán los valores de voltaje y temperatura.

### 5.2.6 Producción del prototipo

El prototipo de batería recargable fue construido con materiales maleables, livianos y resistentes a temperaturas considerables. Para proteger el paquete de baterías, se incorporó un sistema de control de voltaje y temperatura; a continuación se detalla el proceso de producción del prototipo:

### 5.2.6.1 Fabricación de la caja de la batería

Para la construcción de la caja de la batería se utilizó el acero galvanizado, debido a que sus características mecánicas son las adecuadas para la construcción de una caja que sea ligera, portátil y económica.

El proceso de construcción consistió en doblar la plancha galvanizada hasta el punto de darle una forma rectangular. Luego se procedió a soldar los soportes en forma de "L", donde va a ir montado el paquete de baterías. Véase figura 5.30.



Figura 5.30 Construcción de la caja de la batería con acero galvanizado

## 5.2.6.2 Fabricación de los soportes o porta baterías

Para la construcción de los soportes de las baterías se utilizaron láminas de acrílico transparentes de 3mm de grosor, que vienen con un recubrimiento de papel para evitar rayones en su superficie. Ver figura 5.31.



Figura 5.31 Lámina de acrílico transparente [51]

La lámina de acrílico es ideal para el corte, perforación, grabado, impresión, flexión. Al ser un plástico, su peso es bastante reducido y es resistente a la rotura, más fuerte y más seguro que el vidrio. [51]. Es por estas características que se utilizó dicha lámina para fabricar un porta batería. La misma fue sometida a un proceso de perforación para obtener los agujeros deseados (40 agujeros). Véase figura 5.32.

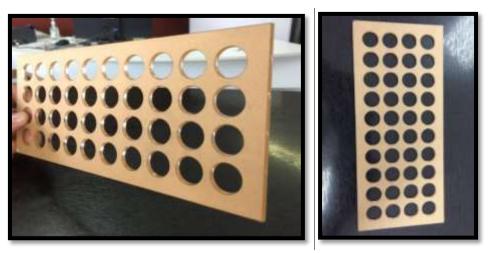


Figura 5.32 Soporte de las baterías

# 5.2.6.3 Fabricación de la caja del sistema de control y protección de las baterías

Para la construcción de la caja del sistema de control y protección de las baterías, también se utilizó el acero galvanizado. El proceso de construcción consistió en doblar la plancha galvanizada hasta el punto de darle una forma cuadrada. Véase figura 5.33.

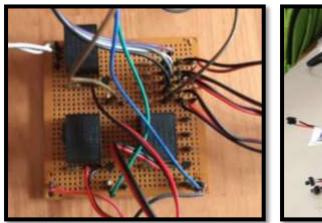


Figura 5.33 Construcción de la caja del sistema de control y protección de la batería

## 5.2.6.4 Fabricación del circuito de protección de la batería

El circuito de protección para la batería se construyó de la siguiente manera:

♣ En una baquelita se soldaron tres leds en paralelo con sus respectivas resistencias para limitar la corriente y evitar que se queme el led. La función del primer led es de informar que el circuito este activado; el segundo led indica el corte de corriente del cargador hacia la batería, cuando se excede del voltaje de 48V; y el tercer led, indica de igual manera, el corte de corriente del cargador hacia la batería, mostrando de esta manera que se ha excedido la temperatura normal de funcionamiento de las baterías. Véase figura 5.34.



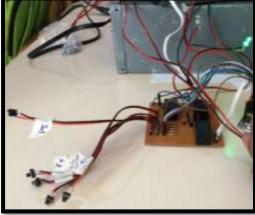


Figura 5.34 Construcción del circuito de protección para la batería

- ♣ En el circuito también se pueden observar tres relés, los mismos que funcionan como un interruptor controlado, que permiten activar o desactivar la corriente durante la carga de la batería.
- ♣ Además, el circuito consta de cinco pulsantes; dos de ellos permiten grabar (subir y bajar) el voltaje deseado y los otros dos, la temperatura del paquete de baterías. Y el quinto pulsante sirve para resetear el sistema.
- ♣ En la figura 5.35 se puede apreciar el sensor de temperatura DHT11, el cual va montado en la parte central del paquete. Su función es de censar la temperatura y enviar el valor de la temperatura hacia el arduino, donde procesa el valor de la temperatura y la envía hacia el relé para activarlo.

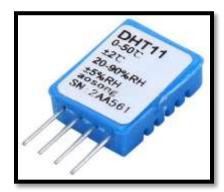


Figura 5.35 Sensor de temperatura DHT11 para arduino

♣ Además, el circuito de protección cuenta con un diodo protector de 20 amperios, el cual evita que en el proceso de carga la corriente de las baterías regrese hacia el cargador. Véase figura 5.36.



Figura 5.36 Diodo protector de 20 amperios

## 5.2.6.5 Sincronización del circuito protector con el Arduino Uno

- ♣ En el arduino se realizó la programación para recibir las señales y enviar los datos procesados a los respectivos relés. Estos a su vez se activen y hacen el corte correspondiente de la carga hacia las baterías.
- Para la alimentación del arduino se realizó una conexión mixta serie-paralelo de tres baterías, las mismas que ofrecen nueve voltios y dos amperios. Esta fuente se encuentra ubicada en un extremo del paquete, junto a las treinta y siete baterías. Ver figura 5.37.

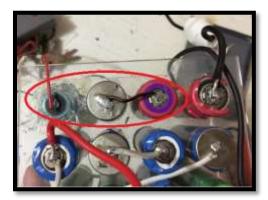




Figura 5.37 Fuente de alimentación del arduino

El sensor de temperatura envía la señal hacia la entrada del arduino, el arduino procesa esta señal y la envía por la salida del arduino hacia el relé, para activarlo o desactivarlo.

- ♣ Exactamente lo mismo del punto anterior sucede para la medición del voltaje, hay una señal que va a la entrada del arduino, esta es procesada y pasa por la salida del arduino hacia el relé, para activarlo o desactivarlo.
- ♣ En la pantalla Lcd HD44180, se puede visualizar el estado de la batería durante el proceso de carga, la misma recibe las señales de voltaje y temperatura que emite el arduino. Ver figura 5.38.

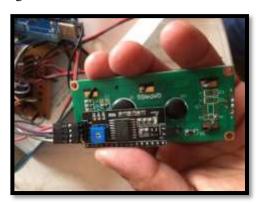




Figura 5.38 Visualización de las señales de temperatura y voltaje en la pantalla Lcd

Finalmente, todo el circuito va montado en una caja; dentro de la misma se encuentra una lámina de acrílico, que sirve como protección para evitar cortocircuitos en el interior de la caja. También se puede observar un interruptor en la parte superior, el cual permite el paso de corriente hacia el arduino. Además, en la parte posterior de la caja existe un conector, el cual va conectado directamente con la fuente; la finalidad de dicho conector es la de cortar el paso de corriente de la fuente hacia las baterías, mediante la activación del relé. Véase figura 5.39.



Figura 5.39 Disposición del circuito protector, del arduino y de la pantalla LCD en la caja

### 5.2.6.6 Fabricación de la fuente de la batería

De acuerdo al número de componentes eléctricos que se emplearon en el circuito de la fuente, se vio muy factible colocarlos dentro de una caja de un regulador de voltaje CDP, ahorrándose de esta forma la fabricación de otra caja. Ver figura 5.40.



Figura 5.40 Fuente de la batería acoplada dentro de un regulador CDP

En la figura 5.41 se muestra la fuente para la carga de la batería. La misma está constituida de dos potenciómetros para regular el voltaje de carga deseado (48V). También se puede observar que, a la salida de la fuente se encuentra conectado un plug, que va conectado a la batería para su carga.

En el proceso de carga, la fuente también se conecta con el sistema de control, dentro del cual existe un circuito de corte de corriente cuando la batería está cargada por completo.



Figura 5.41 Potenciómetros para la regulación del voltaje de carga

## 5.2.6.7 Fabricación del prototipo de batería

## Reciclaje de baterías

En primer lugar se procedió a reciclar un total de diez baterías de laptops. Las mismas debían ser del mismo voltaje (10.8V) y amperaje (4200mAh). Véase figura 5.42.



Figura 5.42 Baterías de laptops recicladas

Seguidamente, se desarmaron las baterías de laptops recicladas, para obtener las pilas de Li-Ion 18650. Ver figura 5.43.



Figura 5.43 Obtención de las baterías de Li-Ion 18650

Se investigó y determinó que de cada batería de laptop, una o dos pilas 18650, son las causantes de que dicha batería no funcione y por ende es desechada.

#### Test de baterías

En la figura 5.44 se presenta una prueba para determinar el estado general de la batería reciclada. Esta prueba se la lleva a cabo con un cargador de baterías de Li-Ion de marca NITECORE, el cual da la opción de cargar y medir cuatro baterías a la vez.



Figura 5.44 Comprobación del estado de las baterías recicladas con el cargador NITECORE

Otra de las ventajas del cargador NITECORE, es que, aquellas baterías que tienen un voltaje inferior a los 2.5V, no las carga, dándonos a entender que la batería no sirve. Se determinó que las baterías que están por encima de los 2.5V puede ser reutilizadas, volviéndolas a su estado original de carga que es de 3.7V.

Es recomendable dejar cargar las baterías hasta el máximo de su carga que es 4.2V, luego de 24 horas deberían tener un voltaje entre 3.7 y 4.2, caso contrario estas no sirven.

Normalmente, las baterías de Li-Ion recicladas se cargan de tres a cinco horas, dependiendo del porcentaje de carga en que se encuentren. Si las mismas están completamente descargadas, pueden tardar cinco horas, o inclusive más.

### 5.2.6.8 Colocación de las baterías en el soporte

Para los soportes se emplearon láminas de acrílico de 3 mm de espesor, las mismas que se sometieron a un proceso de perforación para obtener los agujeros deseados. Se realizaron un total de cuarenta agujeros, a la medida de la batería 18650 para que se acople a presión con el soporte. Ver figura 5.45.



Figura 5.45 Perforación de la lámina de acrílico

Para evitar el deslizamiento vertical de las baterías, se vio necesario fabricar otro soporte más, uno para la parte superior y otro para la parte inferior de la batería. Véase figura 5.46.



Figura 5.46 Soportes superior e inferior para la sujeción de la baterías 18650

Seguidamente, se ubicaron las cuarenta baterías en los soportes, de las cuales treinta y siete forman en sí la batería y las tres restantes conforman una fuente para alimentar el arduino. Ver figura 5.47.



Figura 5.47 Colocación de las cuarenta baterías en los soportes

### 5.2.6.9 Conexión de las baterías

En la figura 5.48 se muestra la conexión mixta serie-paralelo del paquete de baterías. La conexión está conformado por nueve paquetes de cuatro pilas, conectados en serie para aumentar el voltaje; y tres paquetes de doce pilas, para aumentar la corriente.

Para transferir el voltaje del paquete hacia el motor eléctrico, se soldaron dos cables (número catorce), siendo uno el positivo (rojo) y otro, el negativo (negro); estos a su vez están conectados a un socket hembra, que va acoplado en la caja de la batería. Desde allí se puede tomar el voltaje con un socket macho, para llevarlo hacia el motor.



Figura 5.48 Conexión serie/paralelo de las baterías 18650

Además, en el paquete de baterías se instaló el sensor de temperatura DHT11, el cual va a enviar la señal hacia el arduino para procesarla y a su vez activar o desactivar el proceso de carga. Véase figura 5.49.

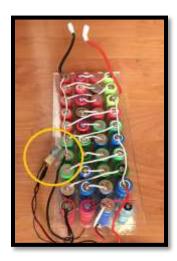


Figura 5.49 Ubicación del sensor de temperatura en el paquete de baterías

En la parte posterior del paquete también se soldaron dos cables; uno al positivo y otro al negativo de un plug para la carga del paquete, junto con un diodo protector de veinte amperios que evita la contra carga de las baterías hacia la fuente. Ver figura 5.50.

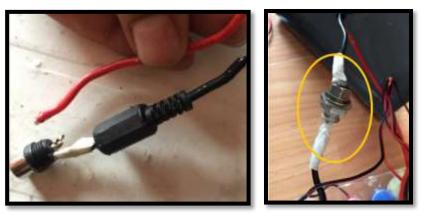


Figura 5.50 Acople de un plug de carga y diodo de protección en el paquete

Una vez hechas todas las conexiones, se procedió a montar y acoplar todo en la caja metálica. En la parte frontal de la batería se tiene el socket de salida de los 48 voltios, mientras que en la parte posterior se observan el plug de carga, los cables del sensor de temperatura y de la alimentación del arduino. Véase figura 5.51.



**Figura 5.51** Socket de salida de 48V, plug de carga y cableado del sensor de temperatura y alimentación del arduino

# 5.2.7 Pruebas y evaluación

Los equipos utilizados en las pruebas de la batería son los siguientes:

Para medir el consumo de la batería se utilizó una pinza amperimétrica TECPEL. Ver figura 5.52.



Figura 5.52 Pinza amperimétrica

Para visualizar los valores de consumo de la batería, se empleó el osciloscopio FINEST 1006. Además, se puede visualizar mediante gráficas el comportamiento del consumo. Véase figura 5.53.



Figura 5.53 Osciloscopio FINEST 1006

Para controlar la distancia, la velocidad y el tiempo, se utilizó un velocímetro. Véase figura 5.54.



Figura 5.54 Velocímetro

Los ensayos de funcionamiento de la batería se realizaron en un banco de pruebas, como se puede ver en la figura 5.55.



Figura 5.55 Banco de pruebas

## 5.2.7.1 Procedimiento

El proceso que se siguió para realizar las pruebas de consumo y de rendimiento del prototipo de batería, se detalla a continuación:

Medición del consumo de corriente

### **♣** Consumo del motor en vacío

Para medir el consumo de corriente en vacío, lo primero que se hizo fue colocar el motor eléctrico sobre una base para poder realizar las pruebas respectivas. Ver figura 5.56.



Figura 5.56 Montaje del motor eléctrico sobre una base de pruebas

Luego, se procedió a instalar los elementos que accionan al motor eléctrico, los mismos que son, la batería que cumple la función de fuente de alimentación y el acelerador electrónico que comanda al motor, ver figura 5.57.



Figura 5.57 Instalación de la batería y del acelerador electrónico

Un punto muy importante es el acoplamiento de la pinza amperimétrica, la cual tiene posición de montaje. La pinza amperimétrica va montada sobre el cable positivo que viene de la batería, y se debe respetar la dirección de la flecha que indica el fluir de la corriente hacia el motor. Generalmente, esta flecha viene marcada en la parte interna de las tenazas de la pinza. Véase figura 5.58.



Figura 5.58 Montaje de la pinza amperimétrica

Una vez montados todos los elementos necesarios para accionar el motor y para tomar datos, se procede a verificar que todo esté en orden para poder iniciar con las pruebas respectivas. Véase figura 5.59.



Figura 5.59 Disposición final de los elementos sobre la base de pruebas

En la figura 5.60 se muestran los valores tomados de consumo del motor en vacío, a diferentes regímenes de carga:

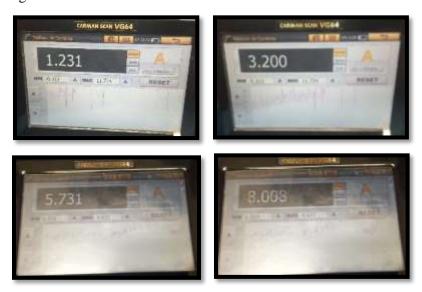


Figura 5.60 Valores de consumo de corriente en vacío a diferentes velocidades de rotación

## 👃 Consumo del motor bajo carga

Para medir el consumo de corriente bajo carga, primero se procedió a montar la bicicleta en un banco de pruebas, como se puede ver en la figura 5.61.





Figura 5.61 Montaje de la bicicleta en el banco de pruebas

Luego, se procedió a instalar el velocímetro y sus componentes en la llanta de la bicicleta, el mismo que sirve para tomar valores de tiempo, distancia recorrida, kilometraje entre otros. Véase figuras 5.62 y 5.63.





Figura 5.62 Instalación del sensor del velocímetro en la llanta de la bicicleta



Figura 5.63 Velocímetro para la toma de datos

A continuación, se procedió a montar la pinza amperimétrica sobre el cable positivo que viene de la batería, siempre respetando y siguiendo la flecha que indica el fluir de la corriente, desde la batería hacia el motor. Ver figura 5.64.



Figura 5.64 Montaje de la pinza amperimétrica

Finalmente, se coloca la carga (peso del piloto) sobre la bicicleta y se verifica que todos los elementos estén correctamente montados para dar inicio a las pruebas. Véase figura 5.65.



Figura 5.65 Disposición final de la carga y de los elementos sobre el banco de pruebas

En la tabla 5.16 se presentan las características del piloto, de la bicicleta y de la batería que se utilizaron para llevar a cabo las pruebas de consumo de corriente.

Tabla 5.16 Características del piloto, de la bicicleta y de la batería

Peso	Valor		
Del piloto	65 kg		
De la bicicleta	45 kg		
Del prototipo de batería	3.4 kg		

En la figura 5.66 se muestran cuatro capturas, de los valores tomados de consumo bajo carga, a diferentes regímenes del motor:

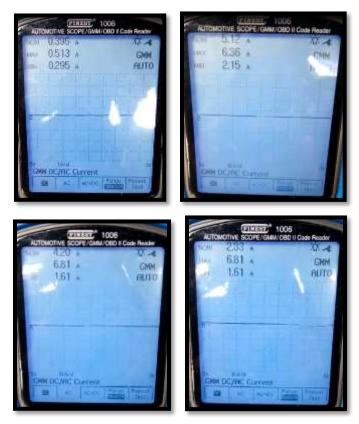


Figura 5.66 Valores de consumo de corriente bajo carga a diferentes regímenes de giro del motor

# 5.2.7.2 Rendimiento del prototipo de batería

Para determinar el rendimiento del prototipo de batería, lo primero que se hizo fue cargarla al máximo, obteniendo un voltaje total de 48.4 V, como se puede ver en la figura 5.67.



Figura 5.67 Voltaje máximo del prototipo de batería

Luego, a una velocidad constante y continua se procedió a descargar la batería para ver su rendimiento. En la tabla 5.17 se muestran los valores obtenidos a velocidades de 10 km/h.

Voltaje Inicial: 48.4 V Duración: 33 min. Distancia: 6.21 Km Velocidad: 10 Km/h Voltaje Final: 39.3 V

Tabla 5.177 Resultados del rendimiento del prototipo

Velocidad (Km/h)	10 10		10	10
Tiempo (min)	10	20	30	33
Distancia (Km)	1.883	3.766	5.649	6.213
Consumo (A)	4.72	4.60	4.37	3.66
Máximo (A)	6.00	6.36	6.81	6.81
Mínimo (A)	2.96	2.15	1.61	1.61

Al descargarse por completo el prototipo, su voltaje disminuyó de 48.4 V a 39.3 V. Ver figura 5.68.



Figura 5.68 Disminución de voltaje del prototipo de batería

# 6 RESULTADOS

Se diseñó y fabricó el prototipo de batería que satisface los requerimientos de la bicicleta eléctrica tipo trike. Véase figura 6.1.





Figura 6.1 Prototipo de batería final

Para la carga del prototipo, se diseñó y construyó una fuente de 48V; de la misma forma, para la protección el prototipo durante su proceso de carga, también se diseñó y construyó un circuito de protección. Ver figuras 6.2 y 6.3.



Figura 6.2 Fuente de 48V





Figura 6.3 Protección para las baterías 18650 durante su carga

Además, se realizaron varios ensayos de funcionamiento del prototipo de batería en el banco de pruebas, donde se midió el rendimiento del prototipo, estas pruebas se realizaron a una velocidad constante de 10 km/h. Ver tabla 6.1 .

Tabla 6.1 Resultados del rendimiento del prototipo

Velocidad (Km/h)	10	10	10	10
Tiempo (min)	10	20	30	33
Distancia (Km)	1.883	3.766	5.649	6.213
Consumo (A)	4.72	4.60	4.37	3.66
Máximo (A)	6.00	6.36	6.81	6.81
Mínimo (A)	2.96	2.15	1.61	1.61

## Cálculos del prototipo de batería

Potencia = Voltaje \* corriente

Potencia = 48.4 V \* 4.56A

Potencia = 220.70 Wh

Consumo o Energía = Potencia 
$$*$$
 tiempo (5.20)  
Consumo = 220.70 W  $*$  0.5 hora  
Consumo = 110.35 Wh = 0.1103 Kwh

### **Amperios hora**

Consumo = 220.70 Wh

Voltaje = 48.4 V

$$Amperios hora = \frac{Consumo}{Voltaje}$$
(5.21)
$$Amperios hora = \frac{220.7 Wh}{48.4 V}$$
$$Amperios hora = 4.56$$

#### 7 CONCLUSIONES

Una vez terminado el presente proyecto técnico se concluye lo siguiente:

- ♣ El diseño y la construcción del prototipo de batería recargable fue exitoso, se lo obtuvo mediante el uso de treinta y siete celdas recicladas de Li-Ion tipo 18650, conectadas de forma mixta serie/paralelo.
- ♣ El dimensionamiento del prototipo de batería se logró mediante diseños CAD, donde se acotó y modeló pieza por pieza, hasta obtener un ensamble total del prototipo de batería.
- Los cálculos dinámicos y de consumo para construir el paquete de baterías fueron apropiados, de acuerdo a las características requeridas por la bicicleta eléctrica tipo trike.
- ♣ Se efectuaron pruebas de funcionamiento de la batería, donde se concluyó que, a una velocidad constante de 10 km/h y bajo carga, el prototipo de batería da una utilidad de 33 minutos con 19 segundos, hasta descargarse por completo.
- ♣ Al usar celdas recicladas se tiene un rendimiento de 33 minutos hasta descargarse por completo; a diferencia de emplear celdas nuevas, dan un tiempo de 1 hora, 16 minutos y 10 segundos.
- ♣ La distancia recorrida a una velocidad constante de 10 km/h, hasta que se descargue por completo, fue de 6.214 km con celdas recicladas y 13.9 km con celdas nuevas.
- ♣ El voltaje máximo que se utilizó para realizar las pruebas de funcionamiento del prototipo de batería fue de 48 V, el mismo que disminuyó a 40 V cuando se descargó la batería al máximo.
- ♣ Durante los diez primero minutos, la batería original del motor tuvo un consumo de corriente de 4.59 A; mientras que el consumo del prototipo de batería fue de 4 A, esto a una velocidad constante de 10 Km/h.

#### 8 RECOMENDACIONES

- ♣ Diseñar y fabricar sus propios utensilios como los soportes de baterías, el aislamiento eléctrico, el circuito de protección entre otros, con el fin de ahorrarse tiempo de importación e incluso dinero.
- ♣ Establecer un procedimiento adecuado para la selección de las celdas 18650 recicladas, para determinar si están buenas o malas.

## Como trabajo futuro se propone:

- ♣ Hacer el estudio de las curvas de carga y descarga, mediante un modelado matemático.
- Profundizar y analizar de mejor manera el proceso de carga del prototipo de batería.
- Realizar pruebas de funcionamiento con diferentes cargas, en pendientes de más de 10° de inclinación.
- ♣ Acoplar un sistema de refrigeración en la batería, para disipar y disminuir la temperatura en el interior del paquete, ya que la misma se calienta durante su funcionamiento.
- ♣ Trabajar con otro tipo de motores eléctricos para ver la eficiencia que rinden cada uno de ellos. Debido a que la bicicleta eléctrica tipo trike es pesada, se recomienda acoplar un motor más potente, para que su rendimiento especialmente en pendientes, sea mejor.
- Montar el motor eléctrico en otro tipo de bicicleta y realizar pruebas de consumo a diferentes regímenes de velocidad.

# 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Claudio, «www.historiaybiografias.com,» Historia y Biliografías HB, 24 Diciembre 2014. [En línea]. Available: http://historiaybiografias.com/siglo19\_4/. [Último acceso: 30 05 2016].
- [2] G. Heurema, «www.heurema.com,» Enseñanza de la Física y de la Química, [En línea]. Available: http://www.heurema.com/TestQ44.htm. [Último acceso: 30 05 2016].
- [3] D. D. Martino, «www.mddimartino.blogspot.com,» Revolución Industrial: La Pila Voltaica, 19 Septiembre 2014. [En línea]. Available: http://mddimartino.blogspot.com/2014/11/revolucion-industrial-la-pila-voltaica.html. [Último acceso: 30 05 2016].
- [4] A. Ouji, «www.cyncd.blogspot.com,» Ciencia y No Cienca, 28 Noviembre 2011. [En línea]. Available: http://cyncd.blogspot.com/2011\_11\_01\_archive.html. [Último acceso: 01 06 2016].
- [5] G. E. Harper, «Baterías y Celdas de Combustible,» de Tecnología Eléctrica, México, Limusa, 2013, pp. 133-135.
- [6] M. Word, «www.batteryplex.com,» Baterías Eléctricas. Información e Historia de Baterías, [En línea]. Available: http://www.batteryplex.com/sheets/Bateriaselectrico.pdf. [Último acceso: 01 06 2016].
- [7] R. C. Valero, Tecnología 2.1 máquinas eléctricas, Barcelona: Bruño, 1978.
- [8] «www.mpptsolar.com,» Conexión en serie y en paralelo de varias baterías, 2011. [En línea]. Available: http://www.mpptsolar.com/es/baterias-serie-paralelo.html. [Último acceso: 02 06 2016].
- [9] Rolls, «rollsbattery.com,» Manual de uso Baterías, 1935. [En línea]. Available: http://rollsbattery.com/uploads/pdfs/documents/user\_manuals/ManualdeUsoBaterias.pdf. [Último acceso: 02 06 2016].
- [10] J. Zamora, «www.wikispaces.com,» Fuente Eléctrica Circuitos y Fuentes Serie y Paralelo, 22 Noviembre 2009. [En línea]. Available: https://jorgezamora.wikispaces.com/file/view/CIRCUITOS+Y+FUENTES+SERIE-+PARALEO.pdf. [Último acceso: 03 06 2016].
- [11] P. A. San Miguel, «Efecto químico de la corriente eléctrica. Pilas y acumuladores,» de Electrotecnia, Madrid España, Paraninfo, 2011, pp. 98-99.
- [12] J. R. Vázquez, «Acoplamiento de pilas eléctricas,» de Pilas y Acumuladores Máquinas de Corriente Continua, Barcelona España, CEAC, S.A., 1978, pp. 65-80.
- [13] «www.sapiensman.com,» Conceptos de Electrotecnia para Aplicaciones Industriales., [En línea]. Available: http://www.sapiensman.com/electrotecnia/problemas4.htm. [Último acceso: 06 06 2016].
- [14] «www.taringa.net,» Todo lo que debes saber sobre baterías y electricidad., 13 Enero 2013. [En

- línea]. Available: http://www.taringa.net/post/info/16241144/Todo-lo-que-debes-de-saber-sobre-Baterias-y-Electricidad.html. [Último acceso: 06 06 2016].
- [15] «www.leadyo-battery.com,» Shenzhen Leadyo Technology Co., Ltd, 2013. [En línea]. Available: http://www.leadyo-battery.com/en/productView.asp?id=360. [Último acceso: 06 06 2016].
- [16] L. González, «forococheselectricos.com,» Vida y muerte de una batería de ion-litio (parte II), 15 Mayo 2013. [En línea]. Available: http://forococheselectricos.com/2013/05/vida-y-muerte-de-una-bateria-de-ion.html. [Último acceso: 07 06 2016].
- [17] D. Sheet, «www.meircell.com,» MOLICEL Lithium-Ion Rechargeable Battery Model ICR18650H, [En línea]. Available: http://www.meircell.co.il/files/Moli%20ICR18650H.pdf. [Último acceso: 07 06 2016].
- [18] C. Y. W. Christhoper D. Rahn, Battery Systems Engineering, The Pennsylvania State University, USA: Wiley, 2013.
- [19] L. González, «forococheselectricos.com,» Sufren de efecto memoria las baterías de Li-ion, 20 Abril 2013. [En línea]. Available: http://forococheselectricos.com/2013/04/Baterias-ion-litio-efecto-memoria.html. [Último acceso: 07 06 2016].
- [20] M. E. V. Team, «web.mit.ed,» A Guide to Understanding Battery Specifications, Diciembre 2008. [En línea]. Available: http://web.mit.edu/evt/summary\_battery\_specifications.pdf. [Último acceso: 08 06 2016].
- [21] H. S. Claro, «es.slideshare.net,» Baterías de Ordenadores Portátiles, 03 Noviembre 2013. [En línea]. Available: http://es.slideshare.net/hectorsantamariaclaro/presentacin-sobre-bateras. [Último acceso: 08 06 2016].
- [22] P. G. R. Nieves Casañ Pastor, «www.cienciateca.com,» Baterías de Litio, Abril 1996. [En línea]. Available: http://www.cienciateca.com/ctslibat.html. [Último acceso: 08 06 2016].
- [23] E. Bringit, «bbaterias.com,» Blog Das Bateráas, 16 Julio 2012. [En línea]. Available: http://bbaterias.com.br/bateria-notebook/artigos-bateria/o-que-e-uma-bateria-de-ion-de-litio. [Último acceso: 09 06 2016].
- [24] «gwl-power.tumblr.com,» Lithium & Solar power LiFePO4, 2009. [En línea]. Available: http://gwl-power.tumblr.com/post/26696964746/depth-of-discharge-dod-all-battery. [Último acceso: 09 06 2016].
- [25] «bateriasdelitio.net,» Baterías de Litio Cargadores Especiales de Litio, Junio 2014. [En línea]. Available: http://bateriasdelitio.net/?m=201406. [Último acceso: 10 06 2016].
- [26] «www.ultrafire.es,» UltraFire España, 2010. [En línea]. Available: http://ultrafire.es/cargadores/83-cargador-ultrafire-wf128s3-3-bahias-814810021007.html. [Último acceso: 10 06 2016].
- [27] «www.yoimprimo.com,» Cargadores y pilas Nitecore , [En línea]. Available:

- http://www.yoimprimo.com/cargador-nitecore-digicharger-d4-para-4-baterias-li-ion-18650-14500-rcr123a-nimh-y-lifepo4-1329. [Último acceso: 10 06 2016].
- [28] «www.nethumans.com,» Suministros de Energía Baterías, 2005. [En línea]. Available: http://www.nethumans.com/products/energy/Supplies.aspx. [Último acceso: 14 06 2016].
- [29] «www.candlepowerforums.com,» Laptop Battery Pack 18650 Extraction, 27 Octubre 2009. [En línea]. Available: http://www.candlepowerforums.com/vb/showthread.php?246699-Tutorial-Laptop-Battery-Pack-18650-Extraction. [Último acceso: 14 06 2016].
- [30] «www.etapa.net.ec,» ETAPA EP GAD MUNICIPAL DE CUENCA, [En línea]. Available: http://www.etapa.net.ec/Productos-y-servicios/Gesti%C3%B3n-ambiental/Gesti%C3%B3n-de-Desechos-y-Calidad-Ambiental/Programa-de-Recolecci%C3%B3n-y-Disposici%C3%B3n-de-Pilas. [Último acceso: 15 06 2016].
- [31] «www.emac.gob.ec,» EMAC GAD MUNICIPAL DE CUENCA, [En línea]. Available: http://www.emac.gob.ec/?q=content/reciclaje-0. [Último acceso: 15 06 2016].
- [32] «www.magrama.gob.es,» Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos Ministerio del Medio Ambiente, 22 Octubre 2015. [En línea]. Available: http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/pemaraprobado6noviembrecondae\_tcm7-401704.pdf. [Último acceso: 16 06 2016].
- [33] «www.fi.uba.ar,» Estudio para la identificación y análisis de pilas y baterías Agencia de Protección Ambiental, 2009. [En línea]. Available: http://www.fi.uba.ar/archivos/Informe\_Pilas\_VF.pdf. [Último acceso: 17 06 2016].
- [34] «www.magrama.gob.es,» Recopilación de la normativa a nivel Autonómico, Estatal y Europeo y de los planes y programas de gestión de residuos existentes en el estado Español, [En línea]. Available: http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/normativa-y-planificacion/Default.aspx. [Último acceso: 19 06 2016].
- [35] F. A. Izquierdo, C. V. Alvarez y V. D. López, «Aerodinámica de los Automóviles y Prestaciones,» de Teoría de los Vehículos Automóviles, Madrid, 2da ed, Noviembre 2001, pp. 119-274.
- [36] J. Besa, «ich1102g18.blogspot.com,» Comportamiento aerodinámico de un móvil, bicicleta, que se desplaza en el aire. , 18 Mayo 2007. [En línea]. Available: http://ich1102g18.blogspot.com/2007/05/comportamiento-aerodinmico-de-un-mvil.html. [Último acceso: 18 08 2016].
- [37] O. E. Piro, «www2.fisica.unlp.edu.ar,» Notas sobre Física General: Resistencia a la rodadura, [En línea]. Available: http://www2.fisica.unlp.edu.ar/materias/fisicageneralcn/Resistenciarodadura.pdf. [Último acceso: 18 08 20016].
- [38] A. Martínez, «www.amtriathlon.com,» Resistencia a la Rodadura: pruebas de laboratorio, 27 Julio 2010. [En línea]. Available: http://www.amtriathlon.com/2009/07/resistencia-la-

- rodadura-pruebas-de.html. [Último acceso: 19 08 20016].
- [39] «www.aficionadosalamecanica.net,» Sistema de Dirección, 2014. [En línea]. Available: http://www.aficionadosalamecanica.net/direccion-geometria.htm. [Último acceso: 22 08 2016].
- [40] C. Rivas, «elbikersolitario.blogspot.com,» Pendientes expresadas de manera porcentual, 27 Abril 2009. [En línea]. Available: http://elbikersolitario.blogspot.com/2009/04/pendientes-expresadas-de-manera.html. [Último acceso: 25 08 2016].
- [41] «autastec.com,» Tecnología del Automóvil, [En línea]. Available: http://autastec.com/blog/organos-elementos/circunferencia-de-rodadura/. [Último acceso: 01 09 2016].
- [42] «www.catech.fr,» Circunferencia del neumático, 01 Noviembre 2013. [En línea]. Available: http://www.catech.fr/sp/0453fd9ad71280604/formulas/0453fd9b250ce6d01.php. [Último acceso: 02 09 2016].
- [43] Anonimo, «TODOPRODUCTIVIDAD,» 16 02 2011. [En línea]. Available: http://todoproductividad.blogspot.com/2011/02/como-calcular-la-capacidad-de-las.html. [Último acceso: 20 09 2016].
- [44] Chema, «BIBIAPUNTO,» 09 Marzo 2014. [En línea]. Available: http://www.biciapunto.com/te-contamos-como-calcular-la-autonomia-real-de-la-bateria-de-una-bicicleta-electrica-y-no-te-lleves-sorpresas/. [Último acceso: 3 10 2016].
- [45] «www.lemev.com,» La "fórmula mágica" para la autonomía, 22 Mayo 2014. [En línea]. Available: http://www.lemev.com/es\_ES/index/comunidadver/id/71. [Último acceso: 22 12 2016].
- [46] J. Dahn, «BATTERY bro,» 19 Abril 2016. [En línea]. Available: https://batterybro.com/blogs/18650-wholesale-battery-reviews/103090502-why-do-lithium-ion-batteries-die-long. [Último acceso: 3 10 2016].
- [47] B. University, «BATTERY UNIVERSITY,» 08 Marzo 2016. [En línea]. Available: http://batteryuniversity.com/learn/article/charging\_lithium\_ion\_batteries.. [Último acceso: 10 09 2016].
- [48] S. Benham, «eHow Español,» 14 03 2015. [En línea]. Available: http://www.ehowenespanol.com/probar-bateria-18650-litio-como\_157628/. [Último acceso: 19 09 2016].
- [49] «www.domosluz.com,» DOMOS LUZ ACRÍLICO, [En línea]. Available: http://www.domosluz.com/paginas/07-caracteristicas\_productos.html. [Último acceso: 20 12 2016].
- [50] «www.ecured.cu,» Conocimiento con todos y para todos ACRÍLICO, [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Acr%C3%ADlico. [Último acceso: 20 12 2016].
- [51] «es.aliexpress.com,» AliExpress, [En línea]. Available:

https://es.aliexpress.com/item/Promotion-Price-148-105-3mm-Transparent-Brown-Acrylic-Plate-Clear-Extruded-Home-Decor-Plexiglass-Plastic-

Transparent/32722991931.html?spm=2114.43010708.4.6.QlKjD0. [Último acceso: 19 12 2016].