



Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Automotriz

**Eficiencia de una bicicleta electro asistida
en las ciclo vías de Cuenca**

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecánica Automotriz

Autor: Pablo Josué Vizhñay Cantos

Director: Ing. Gustavo Andrés Álvarez Coello, Mgt.

Cuenca – Ecuador

2023

Índice

I.	Introducción	7
A.	Justificación	9
II.	Objetivos	9
A.	Objetivo general	9
B.	Objetivos específicos	9
C.	Preguntas de investigación	9
D.	Alcance	9
III.	Materiales y métodos	9
A.	Ruta	9
B.	Bicicletas y componentes	9
C.	Dispositivos utilizados	11
IV.	Metodología	11
A.	Adaptación del motor eléctrico en una bicicleta Cube Acid	11
B.	Ruta recreativa	12
C.	Energía	12
D.	Tiempo	12
E.	Costo	13
V.	Resultados	13
A.	Bicicleta Cube Acid adaptada el kit eléctrico	13
B.	Ruta recreativa	13
C.	Energía	13
D.	Tiempo	14
E.	Velocidad promedio	14
F.	Costo	14
VI.	Conclusiones	15
VII.	Recomendación	16
VIII.	Referencias	17

Figuras

Figura 1: Ciclo vías de Cuenca.....	8
Figura 2: Cube Acid.....	9
Figura 3: Cube Stereo Hybrid.....	9
Figura 4: Cube Elite.....	10
Figura 5: Kit eléctrico Schuck.....	10
Figura 6: Componentes.....	10
Figura 7: Dispositivos.....	11
Figura 8: Proceso de adaptación del kit.....	11
Figura 9: Bicicleta (A).....	12
Figura 10: Tipos de ciclo vía.....	12
Figura 11: Ruta.....	12
Figura 12: Instalación de componentes del kit.....	13
Figura 13: Ruta recreativa seleccionada.....	13
Figura 14: Datos reloj Garmin.....	14
Figura 15: Calorías vs Tiempo.....	14
Figura 16: Curva de distancia vs tiempo.....	14
Figura 17: Tiempo de recorrido.....	14
Figura 18: Latitud vs Longitud.....	14
Figura 19: Velocidad promedio.....	14
Figura 20: Gráfico de costos.....	15

Tablas

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS CUBE ACID.....	9
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS CUBE STEREO.....	10
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS CUBE ELITE.....	10
TABLA 4. CARACTERÍSTICAS KIT ELÉCTRICO.....	10
TABLA 5. COMPONENTES ADICIONALES.....	11
TABLA 6. DATOS DE ENERGÍA.....	13
Tabla 7. CONSUMO DE ENERGÍA.....	15
TABLA 8. TIEMPO DE RECORRIDO.....	15
TABLA 9. VELOCIDAD PROMEDIO.....	15

Dedicatoria—

Este proyecto de titulación dedico a mis queridos padres Pablo Vizhñay y Diana Cantos, por el apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos, quienes me brindaron cariño, paciencia y atención durante una de las etapas más importantes en mi vida.

A mi tío Adrián, quien siempre me ha brindado su apoyo, consejos y experiencia para culminar mi carrera universitaria con profesionalismo y responsabilidad.

A mi tutor Gustavo Álvarez, por su dedicación y paciencia en la elaboración del presente proyecto de titulación.

Agradecimiento—

Primeramente, quisiera agradecer a Dios y a la Virgen del Cisne por bendecirme cada día con salud, motivación y perseverancia necesaria para alcanzar una meta más en mi vida.

Quiero agradecer a mis padres y hermanos quienes creyeron en mi en todo momento y me han motivado en mi formación académica y como persona.

A mi director de tesis, Ingeniero Gustavo Álvarez por su apoyo para llevar a cabo mi proyecto de titulación, quien con sus conocimientos me ha guiado de la mejor manera para culminar este proyecto.

Agradecerles a todos mis compañeros los cuales muchos de ellos se han convertido en amigos y hermanos. Gracias por las horas compartidas, los trabajos realizados en conjuntos y las historias vividas durante todo este periodo universitario.

Resumen—

El presente proyecto consiste en adaptar un kit eléctrico en una bicicleta convencional, en donde se elaboró una investigación teórica necesaria tanto de una bicicleta con un motor eléctrico asistido como de una bicicleta convencional en recorridos recreativos. Teniendo como resultado el impacto positivo que se genera al adaptar un kit eléctrico en una bicicleta convencional, que en este caso se adaptó un kit eléctrico en una bicicleta convencional. Por consiguiente, se designó una ruta recreativa de aproximadamente 10 kilómetros de recorrido, conectando los 4 tipos de ciclo vía que existen en la ciudad de Cuenca. De manera que, se realizaron varias pruebas en sentido horario y antihorario, 6 pruebas en una bicicleta electro asistida (750 watts), 6 pruebas en una bicicleta convencional y 6 pruebas en la bicicleta adaptada el kit eléctrico (1500 watts). Del mismo modo, se realizaron comparaciones entre las tres bicicletas en un ámbito de energía, tiempo y costo, mediante dispositivos GPS y aplicaciones (Garmin, Strava y Tracks Logger). Por lo que, mediante comparaciones y estimaciones de tiempo, velocidad, consumo de energía y costo de movilización, la bicicleta adaptada un kit eléctrico resulta más eficiente un 25% en tiempo al realizar la ruta, 50% menos desgaste energético del ciclista y un costo de carga de \$0.37, brindando una autonomía de 50 kilómetros de recorrido en las ciclo vías de Cuenca.

Palabras clave: bicicleta eléctrica, ciclo vía, movilidad recreativa, movilidad sostenible, energía calórica.

I. ABSTRACT—

THIS PROJECT CONSISTED ON ADAPTING AN ELECTRIC KIT ON A CONVENTIONAL BICYCLE, WHERE WAS A NECESSARY THEORETICAL RESEARCH OF ASSISTED ELECTRIC BICYCLES AND A CONVENTIONAL BICYCLE IN RECREATIONAL RIDES WAS CARRIED OUT. THE RESULT WAS THE POSITIVE IMPACT GENERATED BY ADAPTING AN ELECTRIC KIT ON A CONVENTIONAL BICYCLE, WHICH IN THIS PROJECT CONSISTED ON ADAPTING AN ELECTRIC KIT OF 1500 WATTS OF POWER ON A CUBE ACID BICYCLE. CONSEQUENTLY, A RECREATIONAL ROUTE OF APPROXIMATELY 10 KILOMETERS WAS DESIGNATED, CONNECTING THE 4 TYPES OF BICYCLE ROUTES THAT EXIST IN CUENCA CITY. THUS, SEVERAL TESTS WERE CARRIED OUT IN CLOCKWISE AND COUNTERCLOCKWISE DIRECTION, 6 TESTS ON A HYBRID BICYCLE (750 WATTS), 6TESTS ON A CONVENTIONAL BICYCLE AND 6 TESTS ON THE BICYCLE WITH THE ADAPTED THE ELECTRIC KIT (1500 WATTS). SIMILARLY, COMPARISONS WERE MADE BETWEEN THE THREE BIKES IN A SCOPE OF ENERGY, TIME AND COST, USING GPS DEVICES AND APPLICATIONS (GARMIN, STRAVA AND TRACKS LOGGER). THEREBY, THROUGH COMPARISONS AND ESTIMATES OF TIME, SPEED, ENERGY CONSUMPTION AND COST OF MOBILIZATION, THE CONVENTIONAL BICYCLE ADAPTED WITH AN ELECTRIC KIT IS 25% MORE EFFICIENT IN TIME TO PERFORM THE ROUTE, 50% LESS ENERGY CONSUMPTION OF THE CYCLIST AND A COST OF \$0.37 PER CHARGE, PROVIDING AN AUTONOMY OF 50 KILOMETERS OF TRAVEL ON THE CYCLE ROUTES OF CUENCA.

Keywords—e-bike, routes, recreational mobility, sustainable mobility, heat energy.

TRANSLATED BY



Pablo Josué Vizhñay Cantos



Tutor:

Ing. Gustavo Álvarez Coello.



Career director

Robert Rockwood Iglesias

Eficiencia de una bicicleta electro asistida en las ciclo vías de Cuenca

Vizhñay Cantos Pablo Josué
Ingeniería Automotriz
Universidad Del Azuay
Cuenca, Ecuador
pabloviz951@es.uazuay.edu.ec

Álvarez Coello Gustavo Andrés
Ingeniería Automotriz
Universidad Del Azuay
Cuenca, Ecuador
galvarezc@uazuay.edu.ec

Resumen—El presente proyecto consiste en adaptar un kit eléctrico en una bicicleta convencional, en donde se elaboró una investigación teórica necesaria tanto de una bicicleta con un motor eléctrico asistido como de una bicicleta convencional en recorridos recreativos. Teniendo como resultado el impacto positivo que se genera al adaptar un kit eléctrico en una bicicleta convencional, que en este caso se adaptó un kit eléctrico en una bicicleta convencional. Por consiguiente, se designó una ruta recreativa de aproximadamente 10 kilómetros de recorrido, conectando los 4 tipos de ciclo vía que existen en la ciudad de Cuenca. De manera que, se realizaron varias pruebas en sentido horario y antihorario, 6 pruebas en una bicicleta electro asistida (750 watts), 6 pruebas en una bicicleta convencional y 6 pruebas en la bicicleta adaptada el kit eléctrico (1500 watts). Del mismo modo, se realizaron comparaciones entre las tres bicicletas en un ámbito de energía, tiempo y costo, mediante dispositivos GPS y aplicaciones (Garmin, Strava y Tracks Logger). Por lo que, mediante comparaciones y estimaciones de tiempo, velocidad, consumo de energía y costo de movilización, la bicicleta adaptada un kit eléctrico resulta más eficiente un 25% en tiempo al realizar la ruta, 50% menos desgaste energético del ciclista y un costo de carga de \$0.37, brindando una autonomía de 50 kilómetros de recorrido en las ciclo vías de Cuenca.

Palabras clave: bicicleta eléctrica, ciclo vía, movilidad recreativa, movilidad sostenible, energía calórica, kit eléctrico.

Abstract— This project consisted on adapting an electric kit on a conventional bicycle, where was necessary theoretical research of assisted electric bicycles and a conventional bicycle in recreational rides was carried out. The result was the positive impact generated by adapting an electric kit on a conventional bicycle, which in this project consisted on adapting an electric kit of 1500 watts of power on a Cube Acid bicycle. Consequently, a recreational route of approximately 10 kilometers was designated, connecting the 4 types of bicycle routes that exist in Cuenca city. Thus, several tests were

carried out in clockwise and counterclockwise direction, 6 tests on a hybrid bicycle (750 watts), 6 tests on a conventional bicycle and 6 tests on the bicycle with the adapted the electric kit (1500 watts). Similarly, comparisons were made between the three bikes in a scope of energy, time and cost, using GPS devices and applications (Garmin, Strava and Tracks Logger). Thereby, through comparisons and estimates of time, speed, energy consumption and cost of mobilization, the conventional bicycle adapted with an electric kit is 25% more efficient in time to perform the route, 50% less energy consumption of the cyclist and a cost of \$0.37 per charge, providing an autonomy of 50 kilometers of travel on the cycle routes of Cuenca.

Keywords— *e-bike, routes, recreational mobility, sustainable mobility, metabolic energy, electric kit.*

II. INTRODUCCIÓN.

El desarrollo de la tecnología eléctrica en la última década, ha dado un impulso notable a nuevos medios de movilidad urbana y recreativa de una forma segura, cómoda y eficiente [1].

Las bicicletas eléctricas básicamente son el transporte emergente que ofrece una alternativa sostenible al uso del automóvil y transporte masivo en las zonas urbanas. Se han centrado en las perspectivas de los usuarios en relación al cuidado del medio ambiente, como un medio recreativo con la implementación de ciclo vías dentro de las ciudades y la solución a mejorar su estado de salud [2].

Este medio de transporte es un vehículo ligero de dos ruedas, asistido por un motor eléctrico apoyando al ciclista en su circulación. Las bicicletas eléctricas se mueven a una mayor velocidad y recorren mayores distancias en comparación a una bicicleta convencional; estas circunstancias le permiten ser una opción competitiva frente a un vehículo particular [3].

Las bicicletas pueden circular por las ciclo vías y presentan una ventaja en comparación con los vehículos de combustión interna, ya que no requieren de una licencia para conducir [4].

En una ruta recreativa el recorrido es de aproximadamente 13 kilómetros según el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón de Cuenca (2022) pero el desplazarse en una bicicleta convencional para algunos ciclistas podría ser una limitante en cuanto a su condición física.

La bicicleta es un medio de transporte económico, de gran sostenibilidad social y económica, reconocido oficialmente por países europeos, Estados Unidos y Australia al tratarse de una movilidad práctica y sencilla en zonas urbanas [5].

Cuenca es una ciudad que se encuentra en constante crecimiento urbanístico, turístico y recreativo, siendo la primera ciudad de Latinoamérica en recibir una certificación que la distingue como ciudad “Bike Friendly” (Amigable con la bicicleta). Se reconoce a la “Atenas del Ecuador” por los esfuerzos realizados para el incentivo en el uso de la bicicleta como medio de movilidad y recreación [6]. La construcción de las ciclo vías han incentivado el uso de la bicicleta para desplazamientos tanto recreativos como urbanos dentro de la ciudad, mediante la implementación de aproximadamente 36 kilómetros de ciclo carriles y sendas compartidas. Se encuentra en constante crecimiento turístico y recreativo, la cual cuenta con ciclo vías que generan una red de ejes longitudinales y transversales a lo largo de la ciudad, con un recorrido de aproximadamente 36 kilómetros y un desnivel de 180 metros aproximadamente [7].

Ciclo vías	
Sendas de uso compartido	
Bici Acera	
Ciclo Carril	

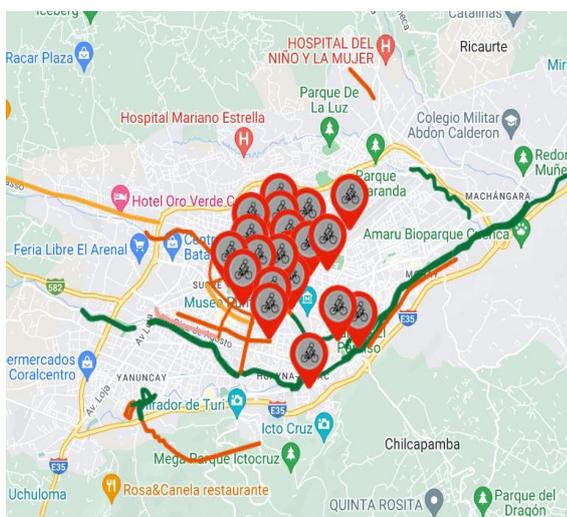


Figura 1: Ciclo vías de Cuenca

Las rutas planteadas generan una red de ejes longitudinales y transversales a lo largo de la zona urbana de Cuenca conectando zonas residenciales, comerciales, turísticas, deportivas y administrativas. Se han excluido calles locales o vías secundarias paralelas

a ejes principales, porque tienen menor tránsito vehicular y justamente uno de los primeros criterios al colocar un carril exclusivo para bicicletas es brindar seguridad a los ciclistas de la ciudad.

Las ciclo vías recreativas son calles libres de vehículos motorizados que permiten, durante varias horas del día, principalmente los domingos y días festivos, el paseo gratuito y seguro en bicicleta, a pie o en patines de miles de personas. Con la finalidad de recuperar la vida de la ciudad, generando espacios para la recreación y donde sea posible y agradable jugar y realizar actividad física, así como también llevar a cabo actividades culturales y educativas que fomenten la convivencia y promuevan estilos de vida saludables y sostenibles.

La edad promedio entre 16 a 40 años demanda el 45% de ciclistas urbanos. Donde el 80% de rutas realizadas dentro de la ciudad tienen una duración de entre 30 a 45 minutos en una distancia de 7 a 10 kilómetros, teniendo en cuenta que el 75% de los ciclistas son hombres y apenas el 15 % son mujeres, aunque sigue en constante aumento de sin importar el género [8].

Las bicicletas eléctricas representan una parte cada vez mayor de la movilidad urbana debido a sus pequeños tamaños y así poder evitar el uso de combustibles. Las bicicletas se han posicionado en la actualidad como un medio de distracción, fines deportivos o transporte apto para profesionales, estudiantes, jóvenes y adultos debido a la eficiencia que esta brinda [9].

El régimen de velocidad de una bicicleta eléctrica puede ir desde una velocidad media de 21,86 km/h hasta una velocidad máxima superior a 30 km/h [10]. Estudios recientes han informado que hay diferencias de velocidad promedio de 2 a 9 km / h entre una bicicleta eléctrica y una bicicleta convencional. Esto requiere consideraciones específicas en instalaciones mixtas donde se utilizan bicicletas eléctricas, bicicletas convencionales y peatones

Una bicicleta eléctrica puede ser usada por cualquier persona y no requiere de un mayor esfuerzo para su movilidad ya que incluye la asistencia del motor eléctrico que se puede ajustar dependiendo de la necesidad del ciclista [11]. Cuenca incentiva a los ciudadanos al uso de la bicicleta como medio de transporte o recreativo por lo que se espera que en un futuro se obtenga una gran aceptación por parte de la sociedad.

A. Justificación

Con este estudio se pretende evidenciar que las bicicletas electro asistidas pueden ser una opción viable para ciclistas sin una condición física previamente adquirida, determinar el tiempo de recorrido entre los tipos de bicicletas y estimar el costo al recorrer la ruta designada en las ciclo vías de Cuenca.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Evaluar el desempeño de una bicicleta electro asistida en un ámbito recreativo en las ciclo vías de Cuenca.

B. Objetivos específicos

- Adaptar un kit eléctrico a una bicicleta convencional.
- Definir la ruta de prueba dentro de las ciclo vías de Cuenca.
- Comparar las distintas bicicletas en un ámbito de energía, tiempo y costo.

C. Preguntas de investigación

- ¿Cuál es el proceso para adaptar un kit eléctrico en una bicicleta convencional?
- ¿Qué diferencias se pueden apreciar en las bicicletas, en un ámbito de energía, tiempo y costo?
- ¿Cómo designar una ruta recreativa dentro de la ciudad de Cuenca?

D. Alcance

Para realizar este proyecto comparativo, se necesitó de tres tipos de bicicletas para ser analizadas en un ámbito de energía, tiempo y costo. Se definió una ruta recreativa que abarque los 4 tipos de ciclo vías que existen en la ciudad de Cuenca. Puesto que, se realizaron alrededor de 20 pruebas en las bicicletas con un recorrido total de 240 km. Por último, para el análisis de datos y comparaciones de las bicicletas se utilizó aplicaciones de celulares y dispositivos GPS.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Ruta

Se asignó una ruta recreativa basándonos en la distancia y en el tiempo que comprende el realizar una actividad recreativa, conectando varias zonas de la ciudad para una mejor movilidad urbana en las ciclo vías.

B. Bicicletas y componentes



Figura 2: Cube Acid.

TABLA1. CARACTERÍSTICAS CUBE ACID.

(A) CUBE ACID 29"	
Material	Aluminio Lite
Peso	13,3 kg
Talla	M
Tracción	3x10 Shimano
Suspensión	RockShox Recon
Neumáticos	Maxxis
Frenos	Shimano Hidráulico



Figura 3: Cube Stereo Hybrid.

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS CUBE STEREO.

(B) CUBE STEREO	
Material	Aluminio lite
Peso	26 kg
Talla	M
Tracción	1x10 Shimano
Suspensión	RockShox 140mm
Neumáticos	Maxxis
Frenos	Shimano Hidráulico
Motor	Bosch 750 Watts
Potencia	85 Nm



Figura 4: Cube Elite.

TABLA 4. CARACTERÍSTICAS KIT ELÉCTRICO.

Kit Eléctrico Schuck	
Controlador	Sin escobillas (48V)
Batería	48 V
Rin posterior	29 pulg con motor
Motor	1500 Watts de potencia
Pantalla	Pantalla a color LCD8H
Sensor	Pedaleo asistido
Botones	On - Off - Modos
Peso total	10 kg



Figura 5: Kit eléctrico Schuck.

TABLA 3. CARACTERÍSTICAS CUBE ELITE.

(C) CUBE ELITE 29"	
Material	Carbon n black
Peso	8,6 kg
Talla	M
Tracción	1x12 Sram
Suspensión	Fox 32 SC Factory
Neumáticos	Schwalbe Racing 2,25
Frenos	Sram XLT Hidráulico



Figura 6: Componentes.

C. Dispositivos utilizados

Para el estudio y toma de datos de este proyecto, fue necesario la implementación de aplicaciones de celular como Strava y Tracks Logger como también un dispositivo GPS de un reloj Garmin Fenix 5.

Strava es una aplicación deportiva la cual monitorea ritmo cardíaco, mide la potencia, y registra la ruta de desplazamiento, mientras que la aplicación Tracks Logger, registra pistas en archivos como: registro de latitud, longitud, altitud, velocidad y distancia. Por otro lado, el reloj Garmin Fenix 5 se conecta a una aplicación de Garmin en el celular y sirve para el conteo de pulsaciones, registro de la ruta, calorías consumidas y el estado de actividad en vivo.



Figura 7: Dispositivos

V. METODOLOGÍA

A. Adaptación del motor eléctrico en una bicicleta Cube Acid

Para este proyecto, se importó un motor eléctrico de 1500 watts de potencia, que se adaptó en una bicicleta Cube Acid. Se fabricó acoples de metal en el torno para situar la batería y el controlador en el cuadro de la bicicleta, asimismo al conectar los componentes del kit al controlador se juntó todos los cables y se forraron con plástico, de manera que no estorbe al momento de manejar la bicicleta.

El motor va situado en el rin posterior de la bicicleta, que va conectado al controlador y a la batería. Por otro lado, se adaptó un sensor en la biela del pedal izquierdo que conecta al controlador, de

esta manera la bicicleta se puede acelerar o pedalear con asistencia del motor.

La pantalla, botones y acelerador van situados en el volante, para cambios de modo de potencia la cual cuenta con 6 modos: 2 modos de ahorro de energía, 3 modos estándar y 1 modo de potencia.

Por consiguiente, se cambiaron algunos componentes mecánicos de la bicicleta como llantas, discos de freno, pedales y volante para un manejo más cómodo, seguro, mayor eficiencia en el frenado y estabilidad de la bicicleta.

TABLA 5. COMPONENTES ADICIONALES.

COMPONENTES	
Relación	3x5 Shimano
Pastillas de freno	Shimano
Disco de freno posterior	120 mm de diámetro
Volante	FSA 80 cm de largo
Llantas	Maxxis Rekon (29x2,35)
Acoples	Para batería y controlador
Pedales	Venzo con clavos



Figura 8: Proceso de adaptación del kit.



Figura 9: Bicicleta (A).

B. Ruta recreativa

Para realizar este proceso comparativo en la ruta recreativa que se muestra en la (Figura 10), se realizó varias pruebas en las tres bicicletas (A, B, C) en un sentido horario y antihorario, analizando el rendimiento en tiempo, velocidad, energía consumida y el costo en cada bicicleta.

C. Tipos de ciclo vía

- Bici Acera; este tipo de ciclo vía es igualmente de uso compartido entre ciclistas y personas sobre el borde de la vereda.
- Ciclo vía; este tipo de vía es neto solo de ciclistas, ya que es un ciclo carril señalado para el tránsito de ciclistas.
- Ciclo carril; este tipo de ciclo vía esta señalado junto a la calle de los vehículos ya sea separado por líneas o separadores de carril.
- Senda de uso compartido; este tipo de ciclo vía se encuentra en los bordes de los ríos de Cuenca y es compartido entre ciclistas y personas.



Figura 10: Tipos de ciclo vía.

El ciclista que realizó todas las pruebas fue: Pablo Josué Vizhñay Cantos, de 23 años de edad, un peso de 80 kg y 1.80 m de alto.



Figura 11: Ruta

- En la ruta designada, 3 pruebas en sentido horario al medio día y 3 pruebas en sentido antihorario en horas de la tarde, bicicleta A (Cube Elite carbón).
- En la ruta designada, 3 pruebas en sentido horario a medio día y 3 pruebas en sentido antihorario en la noche, bicicleta B (Cube Stereo 120).
- En la ruta designada, 3 pruebas en sentido horario a medio día y 3 pruebas en sentido antihorario en horas de la tarde, bicicleta C (Cube Acid electro asistida).

D. Energía

Para el análisis de consumo de energía de una bicicleta eléctrica se estimó el tiempo de carga de las baterías (Schuck y Bosch) y del mismo modo la autonomía que brinda una carga completa de la batería, lo cual depende del modo de potencia que nos brinda el motor eléctrico.

Mediante la aplicación Strava (App iPhone 14) se determinó el rendimiento energético que mide la cantidad de trabajo que se realiza durante cada ruta expresado en (kJ). Es el factor de la cantidad de pedaleo, la velocidad de pedaleo y la potencia que se ejerce en los pedales de parte del ciclista (medida en W).

E. Tiempo

Con las aplicaciones Strava, Tracks Logger y dispositivos GPS (App iPhone 14 y Reloj Garmin Fenix 5) se cuantificó el tiempo de recorrido en cada una de las pruebas en las tres bicicletas, como también, se realizó la ruta en sentido horario y antihorario de manera que se pueda determinar alguna variación de tiempo dependiendo del sentido de la ruta, lo cual fue insignificante en todas las pruebas, de esta manera se podrá comparar el tiempo de recorrido en cada bicicleta.

La aplicación Tracks Logger mide el tiempo en 4 datos por segundo dependiendo de la longitud, altitud, latitud, velocidad y kilómetros recorridos. Por lo contrario, el dispositivo GPS (Garmin) y la aplicación

Strava mide el tiempo de movimiento y de descanso en minutos.

F. Costo.

En el ámbito de costo, se analizará el precio de la energía necesaria para cargar las baterías de las bicicletas electro asistidas, se calculará el costo de consumo de energía en cada ruta definiendo un total de consumo en todas las pruebas realizadas, por último, se realizará una comparación del costo de las bicicletas y la adaptación del kit y componentes a la bicicleta (A).

VI. RESULTADOS

A. Bicicleta Cube Acid adaptada el kit eléctrico.

Como se puede observar en la (Fig. 9), el motor fue adaptado en el rin posterior, el cual tiene un espesor mayor para más resistencia debido al peso, los botones, acelerador y pantalla se encuentran en el volante, para mayor comodidad visibilidad de velocidad, odómetro estado de la batería y modo de potencia. La batería y controlador están ubicados en el cuadro con las conexiones respectivas pegadas al cuadro de la bicicleta para comodidad al momento del pedaleo y finalmente el funcionamiento del sensor de biela para un pedaleo asistido por el motor.



Figura 12: Instalación de componentes del kit.

B. Ruta recreativa

La ruta designada que se muestra en la figura 12, conecta los 4 tipos de ciclo vía que existen en la ciudad de Cuenca, con una longitud de 11,30 km y un desnivel de 87 m.

La ruta inicia en el Puente de madera de las calles Pablo Neruda y Av. Pumapungo siguiendo la ciclo vía hasta la Av. Paseo de los Cañaris en donde se debe girar el redondel y pasar a la calle Paseo 3 de Noviembre por la senda de uso compartido.

Seguimos, pasamos el puente de las olvidadas, llegamos a la ciclo via adoquinada hasta la Av. Loja donde giramos a la izquierda y seguimos por el ciclo carril hasta llegar a la Av. Remigio Crespo donde bajaremos por la bici acera de color rojo en donde llegaremos a la calle Agustín Cueva, giramos a la derecha y seguimos avanzando por el ciclo carril, pasamos la Av. 10 de Agosto seguimos recto por la Av. 27 de Febrero y giramos a la derecha por el puente Felipe II en donde, tomaremos la ciclo vía de bajada de la Av. 1 de Mayo hasta llegar a los Tres puentes y nos cruzamos a la ciclo vía de la Av. 27 de Febrero. De forma similar, avanzamos hasta llegar a la ciclo vía de la Av. 10 de Agosto y giramos a la derecha hasta llegar al Puente Av. Del Paraíso en donde giramos a la derecha y de igual forma tomamos la senda de uso compartido por la orilla del Río Yanuncay y finalmente llegamos de nuevo al Puente donde se inició la ruta.



Figura 13: Ruta recreativa seleccionada.

C. Energía

La tabla 6 muestra el tiempo que demora en cargarse las baterías de las bicicletas y el consumo de energía calórica (kJ) que se obtuvo en el reloj Garmin mediante pulsaciones.

TABLA 6. DATOS DE ENERGÍA.

Bicicletas	T. Carga (h)	Rendimiento (kJ)
(A)	4	151
(B)	2,5	263
(C)	0	305



Figura 14: Datos reloj Garmin.

En la figura 15 se puede observar calorías vs tiempo muestra un promedio de las calorías utilizadas al realizar la ruta en relación al tiempo de ruta en cada bicicleta.

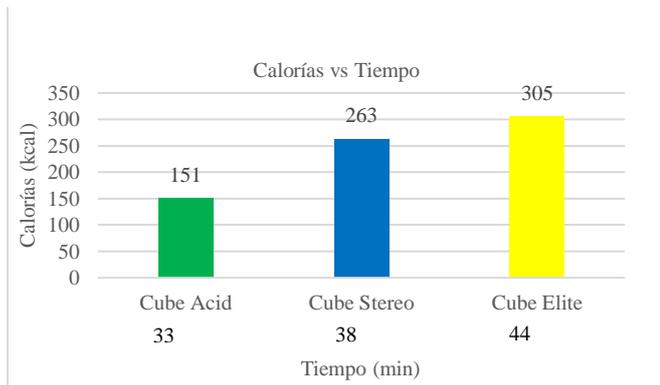


Figura 15: Calorías vs Tiempo.

D. Tiempo

La figura 16 muestra distancia vs tiempo muestra el tiempo que requiere cada bicicleta para realizar la ruta asignada de 11.30 km de longitud.

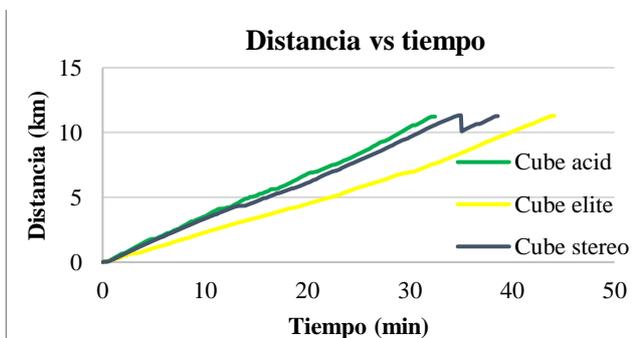


Figura 16: Curva de distancia vs tiempo.

Este gráfico de barras que muestra la figura 17 muestra la eficiencia en relación al tiempo de la bicicleta (A) que tiene una diferencia de 5 min con la bicicleta (B) y de 11 min con la bicicleta (C).

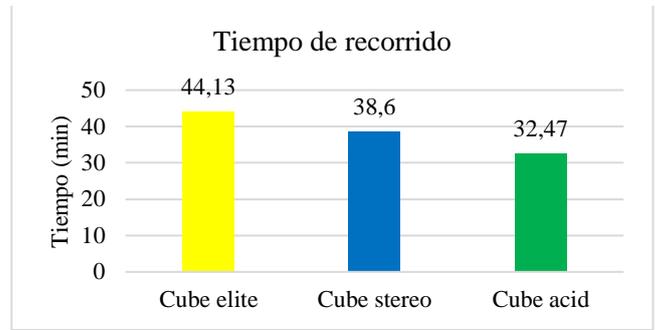


Figura 17: Tiempo de recorrido.

Al graficar los datos de longitud vs latitud se puede observar que se dibuja la ruta designada como se muestra en la figura 18.

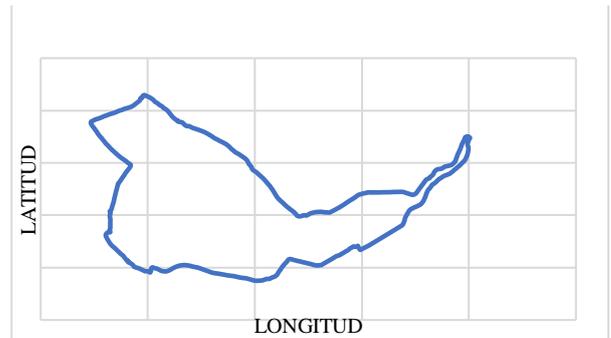


Figura 18: Latitud vs Longitud.

E. Velocidad promedio

La velocidad promedio de la bicicleta (A) fue mayor con respecto a las otras bicicletas, 4km/h mayor a la bicicleta (B) y 8 km/h mayor a la bicicleta (C) como se puede observar en la figura 19.

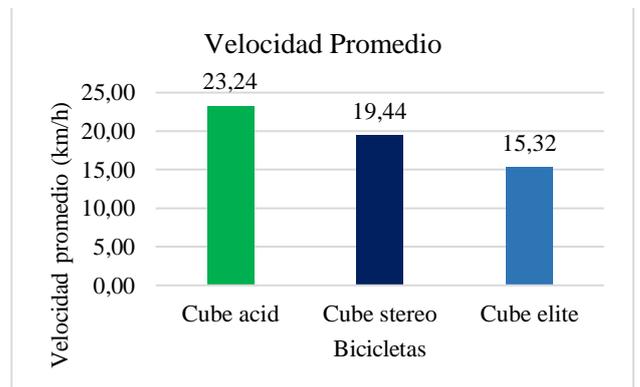


Figura 19: Velocidad promedio.

F. Costo.

Costo de kw/h en Ecuador es de \$0.092 por cada kilovatio-hora.

La siguiente gráfica representa:

- Costo de la bicicleta Cube Acid electro asistida \$1650.

- Costo de carga de la batería \$0.37
- Costo del total de cargas de la batería para las pruebas \$1.85.
- Costo de consumo de energía por ruta \$0.09.
- Costo de consumo de energía en todas las pruebas \$1.67.
- Costo de energía por km a menos de \$0.01.



Figura 20: Gráfico de costos.

VII. CONCLUSIONES

Al instalar el kit eléctrico en una bicicleta convencional Cube Acid (A), se ubicó la batería y el controlador en el cuadro, de manera que se pueda mantener el centro de gravedad bajo, el motor de 1500 watts de potencia está adaptado en el rin posterior para una tracción pasiva de acuerdo al pedaleo del ciclista, al adaptar el kit, el peso de la bicicleta aumentó en un 70%, pero en comparación a la bicicleta Cube Stereo Hybrid (B) su peso es 11% menor, por ende, la bicicleta (A) es 14 kg más pesada que la bicicleta (C), esto es debido al peso del kit eléctrico. Al tener mayor velocidad y tracción en la bicicleta se cambió las pastillas y el disco de freno posterior de 120 mm de diámetro mejorando la calidad de frenado, también se cambió a un volante de 80 cm de largo de modo que nos brinde mayor estabilidad al momento de manejar, adicional se cambió llantas, pedales y grips para mayor comodidad en ruta.

Dado que el recorrido en una ruta recreativa es de aproximadamente 10 kilómetros, se seleccionó una ruta que conecte los 4 tipos de ciclo vías dentro de la ciudad de Cuenca con una longitud de 11,30 kilómetros y un desnivel de 87 m. La ruta fue analizada de manera que inicie y termine en un mismo punto (Puente de madera Av. Pumapungo) en donde se pueda comparar las tres bicicletas.

Finalmente, en las siguientes tablas se comparan las tres bicicletas en el ámbito energético, tiempo y costo respectivamente.

Como se puede observar en la tabla 7, las diferencias en el tiempo de carga de las dos bicicletas electro asistidas, varía un 62% debido a que el motor Schuck tiene el doble de potencia que el motor Bosch. Por otro lado, también se analizó el rendimiento energético entre las tres bicicletas, en donde existe una diferencia del 100% al comparar la bicicleta (A) con la bicicleta (C).

Tabla 7. CONSUMO DE ENERGÍA.

Bicicletas	T. Carga (h)	Rendimiento (kJ)
(A)	4	151
(B)	2,5	263
(C)	0	305

Al analizar el tiempo como se muestra en la tabla 8, se puede apreciar la diferencia que existe al recorrer la misma ruta en sentido horario y antihorario entre las tres bicicletas. La bicicleta (A) representa menor tiempo en un 25% en comparación a la bicicleta (C) y un 15% a la bicicleta (B), esto es debido a la velocidad promedio de cada bicicleta en la ruta.

TABLA 8. TIEMPO DE RECORRIDO.

Bicicletas	Tiempo de recorrido (min)
(A) Cube Acid	32,42
(B) Cube Stereo	38,6
(C) Cube Elite	44,13

Como se puede observar en la tabla 9, la diferencia de velocidad promedio de ruta entre las tres bicicletas es del 34% entre las bicicletas A y C, y del 17% entre las bicicletas A y B brindando una mayor eficiencia en velocidad, tiempo y comodidad la bicicleta adaptada el kit eléctrico.

TABLA 9. VELOCIDAD PROMEDIO.

Bicicletas	Velocidad Promedio (km/h)
(A) Cube Acid	23,34
(B) Cube Stereo	19,44
(C) Cube Elite	15,32

Para finalizar, se realizó un cálculo de costo de energía que según el Directorio del CONELEC (2022) nos muestra una tarifa promedio de 9.20 cUSD/kWh. Al analizar el tiempo de carga de las bicicletas A y B se determinó un costo de \$0.37 para la batería de la bicicleta A y \$0.23 para la bicicleta B. El precio total de carga de la bicicleta adaptada el kit eléctrico es de \$1.85, y por último el costo total de la bicicleta adaptada un kit eléctrico es de \$2000, el precio de la bicicleta B es de \$4000 y de la bicicleta C es de \$3600.

VIII. RECOMENDACIÓN

Se recomienda que para futuros estudios se consideren ciclistas de diferentes edades, sexo, y condición física para evaluar su experiencia al conducir bicicletas electro asistidas en las ciclo vías de Cuenca. Este tipo de investigaciones contribuyen a la evaluación técnica de nuevas formas de transporte más sostenibles con el medio ambiente.

IX. REFERENCIAS

- [1] J. Luna Ordoñez, «Evaluación de una bicicleta eléctrica como alternativa de movilidad en la ciudad de Cuenca.» Universidad del Azuay, Cuenca, 2016.
- [2] S. Aono y A. Bigazzi, «Perspectives on the adoption of Electric Bicycles in British Columbia.» Industry Stakeholder, Londres, 2019.
- [3] P. Baptista, A. Pina, G. Duarte, C. Rolim, G. Pereira y C. Silva, «From on-road trial evaluation of electric and conventional bicycles to comparison with other urban transport modes.» Volume 92, Lisbon, 2017.
- [4] A. Andrew, Campbell, R. Christopher, Cherry y M. S. Ryerson., «Factors influencing the choice of shared bicycles and shares electric bikes in Beijing.» Volume 67, Beijing, 2016.
- [5] Hernández, R. A. Ríos y Claudia., «La bicicleta nos puede llevar hacia un futuro más sostenible e incluso tras la pandemia.» BID, México, 2020.
- [6] Araujo y Adela., «Cuenca es reconocida por ser una ciudad Bike friendly.» *Metro*, pp. 1-2, 25 Julio 2022.
- [7] Emov, «Ruta recreativa.» Alcaldía de Cuenca., Cuenca, 2022.
- [8] A. Sanmiguel, «Análisis de edades, trayectos y minutos de uso en la utilización de un sistema de bicicletas compartidas.» Universidad de Vigo, España, 2019.
- [9] H. Jiang, C. Dave y Parry, «Comparative life cycle assessment of electric bikes for commuting in the UK.» Transport, Londres, 2022.
- [10] C. Cherry y C. R., «Use characteristics and mode choice behavior of electric bike users in China.» Transport Policy, Beijing, 2007.
- [11] A. Carrasco León, «Estudio de factibilidad financiera del uso de bicicletas eléctricas en la ciudad de Cuenca.» Universidad del Azuay, Cuenca, 2018.
- [12] G. A. D. M. d. C. d. Cuenca, 2022.