



## ING. AUTOMOTRIZ

**Trabajo integración Curricular previa a la  
obtención del título de Ingeniero en Automotriz.**

**AUTORES:**

Edgar Geovanny Cabascango  
Cesar Jonathan Sañay

**TUTOR:**

Ing. Denny Guanuche

Implementación de sistema de freno regenerativo o  
KERS en un scooter eléctrico Folding Electric Scooter

QUITO – ECUADOR | 2022

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR FACULTAD DE**

**INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICADO**

Ing. Denny Guanuche

**CERTIFICA**

Que el trabajo de “Implementación de sistema de freno regenerativo o KERS en un scooter eléctrico Folding Electric Scooter” realizado por los estudiantes: EDGAR GEOVANNY CABASCANGO y CESAR JONATHAN SAÑAY ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple con las normas estatutarias establecidas por la Universidad Internacional del Ecuador, en el Reglamento de Estudiantes.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, si recomiendo su publicación. El mencionado trabajo consta de un empastado que contiene toda la información de este trabajo. Autoriza a los señores: EDGAR GEOVANNY CABASCANGO y CESAR JONATHAN SAÑAY que lo entreguen a la biblioteca de la facultad, en calidad de custodia de recursos y materiales bibliográficos.

Quito, noviembre del 2022

Ing. Denny Guanuche  
Director de proyecto

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR FACULTAD DE  
INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICADO DE AUTORIA**

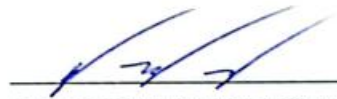
Nosotros, EDGAR GEOVANNY CABASCANGO y CESAR JONATHAN SAÑAY, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



---

EDGAR GEOVANNY CABASCANGO  
CI. 1003776661



---

CESAR JONATHAN SAÑAY  
CI. 1718725144

## **DEDICATORIA**

Con todo mi amor a mis queridos padres Miguel Cabascango y María Perugachi quienes siempre han creído en mí y me han brindado su apoyo incondicional durante toda mi formación académica, por llenarme de valiosos consejos a lo largo de esta ardua etapa de mi vida y por ser mi mayor motivación para cumplir exitosamente este tan anhelado sueño.

Edgar Cabascango

Quiero dedicar este proyecto a mis padres, gracias a ellos y a su esfuerzo han sido parte fundamental en este tiempo, quienes con su paciencia y consejos me permiten ahora cumplir una etapa más en mi vida, a mi familia, amigos y a todas las personas que de manera directa eh indirecta me han ayudado durante mi carrera universitaria.

Jonathan Sañay

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar un sincero agradecimiento a aquellas personas que fueron parte de mi proceso de formación profesional. A mis hermanas por ser un ejemplo de tenacidad y constancia y por hacer de mí una mejor persona. Sin duda alguna, este camino no hubiera sido fácil de recorrer sin mis amigos y familia con quienes he compartido momentos tristes, alegres y difíciles. Finalmente, quiero extender un especial agradecimiento a los docentes que con su profesionalismo contribuyeron a la realización de este trabajo.

Edgar Cabascango

Agradezco a mis padres, quienes creyeron en mí, mostrándome su gran ejemplo de humildad y sacrificio, gracias por cada consejo y por todas sus enseñanzas, cuyo esfuerzo logrado dan resultado a un proyecto más que culmino.

A mis seres queridos más cercanos quienes me ayudaron en este largo proceso, este nuevo logro es en gran parte gracias a ustedes.

A mi compañero de tesis, con el que fuimos testigos de nuestra formación académica, por el aporte fundamental en la culminación de nuestro proyecto.

A quienes conforman la facultad de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador, por haber impartido sus amplios conocimientos, mediante los cuales han contribuido a mi desarrollo profesional.

Jonathan Sañay

## ÍNDICE GENERAL

Certificado de Acuerdo de Confidencialidad .....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento .....	v
Índice General.....	vi
Índice de Tablas.....	ix
Índice de Figuras .....	x
Índice de Anexos .....	xiii
Resumen .....	xiv
Abstract.....	xv
Capítulo I: Problema de la Investigación .....	16
1.1. Definición del Problema .....	16
1.2. Pregunta de Investigación.....	17
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1. Objetivo General.....	17
1.3.2. Objetivos Específicos .....	17
1.4. Justificación .....	18
1.4.1. Justificación Teórica .....	18
1.4.2. Justificación Metodológica .....	18
1.4.3. Justificación Practica .....	19
1.5. Delimitaciones .....	19
1.5.1. Delimitación Temporal:.....	19
1.5.2. Delimitación Geográfica:.....	19
1.6. Línea de investigación: .....	19
1.7. Materiales y Métodos.....	20
1.7.1. Materiales.....	20
1.7.2. Método Experimental .....	20
Capitulo II: Marco teórico .....	21
2.1. Vehículo Folding Electric Scooter.....	21
2.2. Sistema de Freno Regenerativo .....	22

2.2.1. Función del Freno Regenerativo.....	23
2.2.2. Historia del Freno Regenerativo.....	24
2.2.3. Aspectos del Funcionamiento del Freno Regenerativo.....	24
2.3. Categoría L1.....	26
2.4. Asociación Nacional de funcionarios de Transporte de la Ciudad.....	26
2.5. Normativa de señalización Vial en Ecuador.....	27
2.6. Norma Ecuatoriana sobre Emisiones Contaminantes.....	27
2.7. Aplicación Strava.....	28
2.8. Desnivel de la Ciudad de Otavalo.....	28
2.8.1. Dinamómetro.....	28
2.8.2. Emisión de Dióxido de Carbono.....	29
2.8.3. Módulo de carga automática y control de batería.....	29
2.8.4. Scooter eléctrico.....	29
2.8.5. Sistema KERS.....	29
Capitulo III: Pruebas al Vehículo Folding Electric Scooter.....	30
3.1. Pruebas sin modificación al Vehículo Folding Electric Scooter.....	30
3.1.1. Prueba 1.....	30
3.1.2. Prueba 2.....	32
3.1.3. Prueba 3.....	34
3.1.4. Prueba 4.....	36
3.1.5. Prueba 5.....	38
3.2. Procedimiento de instalación sistema regenerativo.....	41
3.3. Pruebas con modificación al Vehículo Folding Electric Scooter.....	54
3.3.1. Prueba 1.....	54
3.3.2. Prueba 2.....	56
3.3.3. Prueba 3.....	58
3.3.4. Prueba 4.....	60
3.3.5. Prueba 5.....	62
3.3.6. Prueba 6.....	64
3.3.7. Prueba 7.....	66
3.3.8. Prueba 8.....	68

3.3.9. Prueba 9 .....	70
3.3.10. Prueba 10 .....	72
Capitulo IV: Análisis de Resultados.....	77
Conclusiones.....	80
Recomendaciones .....	81
Referencias .....	82
Anexos.....	85



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Especificaciones Técnicas del Vehículo Folding Electric Scooter</i> .....	21
Tabla 2. <i>Especificaciones Técnicas del Kit de conversión de sistema KERS con Motor de rueda sin escobillas para scooter eléctrico</i> .....	25
Tabla 3. <i>Resumen de Resultados Pruebas sin modificación al Vehículo Folding Electric Scooter</i> .....	41
Tabla 4. <i>Resumen de Resultados Pruebas con el sistema KERS incorporado</i> .....	74
Tabla 5. <i>Comparación entre resultados totales de las pruebas realizadas</i> .....	77
Tabla 6. <i>Relación entre la distancia promedio de frenado y el desgaste de la carga en la batería</i> .....	78
Tabla 7. <i>Costos Asociados a la incorporación del Sistema KERS al Scooter Eléctrico</i> .....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Scooter eléctrico Smiles X8</i> .....	22
Figura 2. <i>Recorrido Prueba 1 sin modificación</i> .....	31
Figura 3. <i>Altitud Prueba 1 sin modificación</i> .....	31
Figura 4. <i>Velocidad Prueba 1 sin modificación</i> .....	32
Figura 5. <i>Recorrido Prueba 2 sin modificación</i> .....	33
Figura 6. <i>Altitud Prueba 2 sin modificación</i> .....	33
Figura 7. <i>Velocidad Prueba 2 sin modificación</i> .....	34
Figura 8. <i>Recorrido Prueba 3 sin modificación</i> .....	35
Figura 9. <i>Altitud Prueba 3 sin modificación</i> .....	35
Figura 10. <i>Velocidad Prueba 3 sin modificación</i> .....	36
Figura 11. <i>Recorrido Prueba 4 sin modificación</i> .....	37
Figura 12. <i>Altitud Prueba 4 sin modificación</i> .....	37
Figura 13. <i>Velocidad Prueba 4 sin modificación</i> .....	38
Figura 14. <i>Recorrido Prueba 5 sin modificación</i> .....	39
Figura 15. <i>Altitud Prueba 5 sin modificación</i> .....	39
Figura 16. <i>Velocidad Prueba 5 sin modificación</i> .....	40
Figura 17. <i>Rueda Delantera</i> .....	42
Figura 18. <i>Desprendimiento de Cinta Protectora</i> .....	42
Figura 19. <i>Retiro de Molduras</i> .....	43
Figura 20. <i>Tuerca de Sujeción de la Rueda</i> .....	44
Figura 21. <i>Extracción de Tuerca Lado Derecho de la Rueda</i> .....	44
Figura 22. <i>Extracción de Arandela y Muelle</i> .....	45
Figura 23. <i>Rueda removida</i> .....	45
Figura 24. <i>Plegado del Manubrio</i> .....	46
Figura 25. <i>Plegado del Manubrio</i> .....	46
Figura 26. <i>Detalle de los tornillos de sujeción</i> .....	47
Figura 27. <i>Detalle de cilindro porta baterías</i> .....	48
Figura 28. <i>Remisión del Módulo Electrónico</i> .....	48
Figura 29. <i>Elementos de Conexión</i> .....	49

Figura 30. <i>Falla de Fabrica</i> .....	50
Figura 31. <i>Detalle del Cableado</i> .....	50
Figura 32. <i>Cables conectados</i> .....	51
Figura 33. <i>Detalle del acelerador a remover</i> .....	52
Figura 34. <i>Manubrios Removidos</i> .....	52
Figura 35. <i>Acelerador nuevo instalado</i> .....	52
Figura 36. <i>Detalles del Nuevo Controlador</i> .....	53
Figura 37. <i>Nuevo Controlador instalado y sus conexiones</i> .....	53
Figura 38. <i>Resultado Final</i> .....	54
Figura 39. <i>Recorrido Prueba 1 con modificación</i> .....	55
Figura 40. <i>Altitud Prueba 1 con modificación</i> .....	55
Figura 41. <i>Velocidad Prueba 1 con modificación</i> .....	56
Figura 42. <i>Recorrido Prueba 2 con modificación</i> .....	57
Figura 43. <i>Altitud Prueba 2 con modificación</i> .....	57
Figura 44. <i>Velocidad Prueba 2 con modificación</i> .....	58
Figura 45. <i>Recorrido Prueba 3 con modificación</i> .....	59
Figura 46. <i>Altitud Prueba 3 con modificación</i> .....	59
Figura 47. <i>Velocidad Prueba 3 con modificación</i> .....	60
Figura 48. <i>Recorrido Prueba 4 con modificación</i> .....	61
Figura 49. <i>Altitud Prueba 4 con modificación</i> .....	61
Figura 50. <i>Velocidad Prueba 5 con modificación</i> .....	62
Figura 51. <i>Recorrido Prueba 5 con modificación</i> .....	63
Figura 52. <i>Altitud Prueba 5 con modificación</i> .....	63
Figura 53. <i>Velocidad Prueba 5 con modificación</i> .....	64
Figura 54. <i>Recorrido Prueba 6 con modificación</i> .....	65
Figura 55. <i>Altitud Prueba 6 con modificación</i> .....	65
Figura 56. <i>Velocidad Prueba 6 con modificación</i> .....	66
Figura 57. <i>Recorrido Prueba 7 con modificación</i> .....	67
Figura 58. <i>Altitud Prueba 7 con modificación</i> .....	67
Figura 59. <i>Velocidad Prueba 7 con modificación</i> .....	68
Figura 60. <i>Recorrido Prueba 8 con modificación</i> .....	69

Figura 61. <i>Altitud Prueba 8 con modificación</i> .....	69
Figura 62. <i>Velocidad Prueba 8 con modificación</i> .....	70
Figura 63. <i>Recorrido Prueba 9 con modificación</i> .....	71
Figura 64. <i>Altitud Prueba 9 con modificación</i> .....	71
Figura 65. <i>Velocidad Prueba 9 con modificación</i> .....	72
Figura 66. <i>Recorrido Prueba 10 con modificación</i> .....	73
Figura 67. <i>Altitud Prueba 10 con modificación</i> .....	73
Figura 68. <i>Velocidad Prueba 10 con modificación</i> .....	74

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Aplicación Strava.....	85
Anexo B. Desnivel del área urbana de la Ciudad de Otavalo.....	87
Anexo C. Ensamblaje del Scooter .....	88
Anexo D. Pruebas con el Scooter .....	95

## RESUMEN

El presente estudio planteó la implementación de un sistema de freno regenerativo o KERS en un scooter eléctrico Folding Electric Scooter evidenciando la variación de autonomía con pruebas dinámicas y estáticas, para ello se efectuó una revisión documental de los componentes del sistema de tracción del Folding Electric Scooter, definiendo los principales aspectos funcionales del mismo y la normativa aplicable. Luego se seleccionó un Kit de conversión de sistema KERS con Motor de rueda sin escobillas para scooter eléctrico y se adaptó al scooter Folding Electric Scooter asegurándose la correcta recuperación de energía, el cumplimiento de las especificaciones técnicas requeridas para la aplicación de pruebas del sistema y que presentará un medio de revisión de la carga de la batería. La adaptación implicó la remoción de la rueda delantera y el controlador o módulo electrónico. Finalmente, se realizó el análisis del sistema de freno regenerativo, de su comportamiento, de los niveles de la recuperación de energía y de la eficiencia del proceso de frenado, a través de pruebas experimentales, obteniéndose un incremento de 4,2 veces de desplazamiento con la misma carga de batería, generándose una total reposición de carga gastada si se realiza en promedio al menos un frenado eléctrico cada 100 metros. El sistema KERS implementado permite el mejoramiento de la autonomía de scooters convencionales, como una alternativa a la compra de un equipo nuevo que incorpore este sistema, por un costo accesible.

**Palabras Claves:** Sistema KERS, Scooter Eléctrico, Vehículo ligero motorizado, pruebas de recorrido.

## ABSTRACT

This study proposed the implementation of a regenerative braking system or KERS in an electric scooter Folding Electric Scooter evidencing the variation of autonomy with dynamic and static tests, for this purpose a documentary review of the components of the traction system of the Folding Electric Scooter was carried out, defining the main functional aspects of the same and the applicable regulations. Then, a KERS system conversion kit with brushless wheel motor for electric scooter was selected and adapted to the Folding Electric Scooter, ensuring the correct energy recovery, compliance with the technical specifications required for the application of system tests and that it will present a means of checking the battery charge. The adaptation involved the removal of the front wheel and the controller or electronic module. Finally, the analysis of the regenerative braking system, its behavior, the levels of energy recovery and the efficiency of the braking process was performed through experimental tests, obtaining an increase of 4.2 times of displacement with the same battery charge, generating a total replenishment of spent charge if an average of at least one electric braking is performed every 100 meters. The implemented KERS system allows the improvement of the autonomy of conventional scooters, as an alternative to the purchase of a new equipment that incorporates this system, for an affordable cost.

**Keywords:** KERS system, electric scooter, light motorized vehicle, travel tests.

# **CAPÍTULO I:**

## **PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Definición del Problema**

Hoy en día existe un destacado interés por la electromovilidad como posibilidad considerable costo-efectiva, para el transporte, interés que se da gracias a las principales ventajas que los autos de combustión interna nos ofrecían (los precios, la fácil carga de combustible y la densidad energética) esto se acerca cada vez más a la posibilidad de vehículos eléctricos (principalmente por la mejora que se dieron en las baterías) dando aún más beneficios que son bien recibidos por los usuarios.

Al respecto Varela (2020) afirma que “durante la última década, los vehículos eléctricos se han posicionado como una alternativa válida frente a los motores de combustión, ya sea por costos, impacto ambiental y/o bienestar humano” (p. 177).

Con una disminución considerable de prestaciones entre los vehículos de combustión interna con los vehículos eléctricos junto con las ventajas y características económicas y favorables con el medio ambiente que nos demuestran, cada vez más usuarios se inclinan a un vehículo eléctrico, así dando una oportunidad nueva al desarrollo e innovación.

En Ecuador, aunque se carece de una industria automotriz enfocada en diseñar y fabricar sus propios vehículos de manera íntegra, se puede empezar por la innovación y el ofrecimiento de mejoras en electrónica y sistemas de control, y así tomar la iniciativa para tener una industria cada vez más desarrollada e íntegra.

Ya existen estudios que avalan la factibilidad de la migración tecnológica hacia sistemas motrices basados en electricidad, como señala Paredes (2019) sobre el servicio de transporte público urbano en el Ecuador continental:

Se concluye que es plenamente factible desde el punto de vista energético abastecerla demanda inclusive si todo el parque automotor del sector transporte público migra hacia autobuses eléctricos. En términos de rendimiento se ha demostrado que los sistemas basados en electromovilidad son más eficientes que los sistemas de combustión interna a través de diésel. La migración progresiva hacia electromovilidad otorgará al país ahorros en térmicos energéticos y Eficiencia Energética en su matriz de energéticos (p. 195).



Entonces para dar comienzo a los avances en la electromovilidad se tienen los sistemas de freno regenerativo, los cuales, reducen las velocidades de vehículo automotor, al transformar la energía cinética del mismo en energía eléctrica, la cual es almacenada, ya sea en acumuladores o baterías para su aprovechamiento futuro.

La presente investigación, en base al estudio del funcionamiento de los sistemas de freno regenerativo, específicamente del sistema de recuperación de energía cinética, llamado en inglés Kinetic Energy Recovery System (KERS), se plantea la implementación de freno regenerativo en un patinete eléctrico plegable (Folding Electric Scooter), sin alterar en ese vehículo su maniobrabilidad, su estabilidad ni eficiencia.

## **1.2. Pregunta de Investigación**

¿Cómo será el proceso a utilizar para la adaptación de un sistema KERS en un scooter eléctrico, en que ayudará a la autonomía?

El sistema KERS de recuperación de energía cinética, será adaptado con una rueda de 6.7" de diámetro, colocado en la parte frontal del scooter, con un módulo de control de carga de batería e indicador de carga con un semáforo de colores, mandos adaptados al manubrio del scooter. El sistema KERS transformará la energía cinética en energía eléctrica, la cual será almacenada en las baterías del scooter Folding Electric Scooter, entregando mayor autonomía.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Implementar un sistema de freno regenerativo o KERS en un scooter eléctrico Folding Electric Scooter evidenciando la variación de autonomía con pruebas dinámicas y estáticas.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Realizar la revisión documental sobre de los distintos componentes que constituyen el sistema de tracción de un scooter eléctrico, específicamente de un scooter Folding Electric Scooter.

- Seleccionar el hardware necesario para ejecutar una carga automática en cada frenado y también que la misma al estar cargada detenga la carga hasta la próxima carga.
- Adaptar el sistema de freno regenerativo, utilizando los componentes adecuados al scooter Folding Electric Scooter asegurando la correcta recuperación de energía.
- Analizar del sistema de freno regenerativo su comportamiento los niveles de la recuperación de energía y la eficiencia del proceso de frenado, a través de pruebas experimentales.

## **1.4. Justificación**

### **1.4.1. Justificación Teórica**

La presente investigación tiene como fundamento las investigaciones relacionadas con el tema de diseño e implementación de frenos regenerativos enfocado en vehículos tipo scooter, con las cuales se trabajó para el desarrollo de un sistema de freno regenerativo que presente parámetros adecuados, de autonomía, eficiencia y rentabilidad.

Además, el estudio se realiza con el propósito de realizar un aporte de teórico y experimental sobre el desarrollo de un sistema de freno regenerativo en un scooter eléctrico, cuyos resultados podrán ser aplicados a otros vehículos de características similares.

### **1.4.2. Justificación Metodológica**

Se aplicará el método experimental, que es en donde el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. Es decir, es un experimento que consiste en hacer un cambio en el valor de una variable independiente, como es la implementación del sistema KERS y observar su efecto, en otra variable dependiente, como la autonomía, eficiencia y recuperación de energía. Según Baena (2017) “La investigación experimental se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular” (p. 18).

### **1.4.3. Justificación Practica**

En la ciudad de Otavalo al hablar de movilidad, debemos hablar del parque automotor que aproximadamente alcanza los 9877 de vehículos, el cual lleva a ser el causante de un 72% de los atascos en las zonas céntricas de la ciudad sometidas a una carga de entre 800 a 1500 vehículos/hora, así teniendo una tasa de niveles elevados de congestión vehicular. Diariamente al centro de Otavalo ingresan de entre 3000 y en horas pico hasta 5500 vehículos aproximadamente, lo que nos lleva a pensar que las tres cuartas partes del centro de Otavalo, se encuentra sometido a cargas que rebasan su capacidad (Guerra, 2021).

Con todos estos problemas, muchos ciudadanos han optado por la compra de bicicletas y en tendencia del momento los scooters eléctricos, esta opción resulta muy amigable con el medio ambiente ya que esto permite que los ciudadanos opten por otros medios de transporte deferentes al automóvil, entonces el aporte de la investigación al desarrollar una mejor autonomía y eficiencia a un scooter eléctrico, se traduce en mejores prestaciones para los scooters de los ciudadanos mencionados, los cuales contaran con mayor tiempo de uso y ahorros económicos en consumo eléctrico dispuesto para la carga del vehículo.

## **1.5. Delimitaciones**

### **1.5.1. Delimitación Temporal:**

El proyecto experimental se desarrollará durante seis meses a partir de la aprobación por parte del consejo directivo de la facultad de ingeniería automotriz.

### **1.5.2. Delimitación Geográfica:**

El presente proyecto experimental se desarrollará en la provincia de Imbabura, ciudad de Otavalo, su alcance será a nivel nacional.

## **1.6. Línea de investigación:**

Campo: Innovación y Tecnología

Área académica: ingeniería automotriz

Línea de investigación: sector automotriz

Sub línea de investigación: vehículos eléctricos.

## **1.7. Materiales y Métodos**

### **1.7.1. Materiales**

Se realizarán mediciones de rendimiento y potencia con un dinamómetro, además de pruebas en circunstancias normales circulando por la ciudad de Quito, con los datos obtenidos se creará un modelo sobre procedimiento de rendimiento y autonomía de las baterías, mediante estudios computarizados, se establecerá las ganancias o pérdidas en cada uno de los elementos del sistema. Se efectuarán también pruebas de desempeño con distintos pesos, en cuestas y bajadas y en planicies.

Se implementará un módulo de control de carga de baterías para mantener la eficacia de las baterías con una eficiencia de carga sobre el 75% de carga en condiciones normales de trabajo. Se realizarán mediciones en tiempo real en condiciones de uso cotidiano, con las irregularidades que se presentan en la ciudad de Quito, además se realizaran pruebas de desempeño mecánico de torque y potencia en un dinamómetro de rodillo, se analizara la autonomía entregada del sistema en regímenes del máximo de potencia y de potencia media.

### **1.7.2. Método Experimental**

Para la realización de esta investigación se aplicará el método experimental, que es en donde el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. Es decir, es un experimento que consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular (Baena, 2017). Se va a realizar la respectiva toma de datos de campo.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Vehículo Folding Electric Scooter

El scooter o patinete eléctrico Folding Electric Scooter, es un vehículo diseñado para el desplazamiento en áreas urbanas con la mayor facilidad y potencia otorgada por este tipo de transporte, utiliza unos neumáticos robustos y resistentes de 8,5 pulgadas, con tacos para ser utilizados en cualquier terreno. El sistema de frenos incluye un doble disco de freno mecánico en la parte delantera y trasera. Este scooter posee un motor de 350W que le permite alcanzar una velocidad máxima de 20 km/h.

Cuenta con tres modos de manejo, principiante, normal y deportivo, con los que se puede desplazar a una velocidad constante según el modo elegido, además, puede manejarse por pendientes con inclinaciones de hasta quince grados. Posee una batería de litio de 42V 2 A consigue desplazamientos de hasta 45 km. Su estructura es muy estable y fue construido con una aleación de acero y materiales de aluminio, teniendo además un diseño plegable. Puede soportar un peso máximo de 120 kilos, pesando el scooter un total 14,5 kg.

**Tabla 1.**

*Especificaciones Técnicas del Vehículo Folding Electric Scooter*

General	<u>Marca:</u> Smiles <u>Tipo:</u> Scooter eléctrico <u>Modelo:</u> X8 <u>Color:</u> negro
Especificación	<u>Peso máximo soportado:</u> 120 kg <u>Velocidad máxima:</u> 25 km/h <u>Potencia del motor:</u> 36V/350W <u>Tamaño del neumático:</u> 8,5 pulgadas <u>Inclinación máxima:</u> ≤15 grados <u>Tiempo de carga:</u> 5-7 horas <u>Kilometraje por carga:</u> 30-45 km <u>Tipo de batería:</u> batería de litio <u>Rango de Voltaje de Carga:</u> AC100-240V <u>Frecuencia de Carga:</u> 50-60 Hz <u>Capacidad de la batería:</u> 36V 7,8Ah a 10 Ah <u>Voltaje de Salida:</u> 42V <u>Corriente de Salida:</u> 2ª <u>Temperatura de Carga y operación:</u> 0°C-35°C

Peso y tamaño	<u>Peso del producto:</u> 14,5 kg <u>Tamaño del producto desplegado:</u> 1073 x 420 x 1176 mm <u>Tamaño del paquete plegado:</u> 1073 x 420 x 450 mm <u>Altura del pedal al suelo:</u> 110 mm
Contenidos del paquete	1 patinete eléctrico. 1 cargador. 1 kit de herramientas. 1 manual de usuario.

*Fuente:* Smilescooter (2018, p. 1)

En la figura 1 se aprecia el estado del vehículo en proceso de armado y completamente terminado.

**Figura 1.**

*Scooter eléctrico Smiles X8*



*Fuente:* Autores (2022)

## 2.2. Sistema de Freno Regenerativo

La reversibilidad en las máquinas eléctricas, es decir, la capacidad de poder consumir energía eléctrica cuando se comportan como motores, o producir energía cuando su

comportamiento es de generador, se presenta en gran cantidad. Los motores se componen principalmente del estator (pieza móvil) y del rotor (pieza rotativa). Cuando el flujo de potencia va del estator al rotor, entonces funcionara como motor. Sin embargo, cuando el flujo de potencia va del rotor al estator entonces funcionara como generador.

El accionamiento de este sistema consiste en devolver energía a la batería cuando este desacelera al vehículo mientras está en movimiento, el automóvil que utilice el sistema de frenado regenerativo fundamentado en un motor eléctrico podrá generar energía eléctrica adicional al de la carga inicial para así incrementar su distancia recorrida (Chapi & Correa, 2021).

Este tendrá un consumo mínimo de electricidad al instante de la recarga del coche e incremento de vida útil de los frenos de fricción. Este freno tiene un accionamiento similar a la técnica de frenado basado en la compresión natural de un motor de combustión.

### **2.2.1. Función del Freno Regenerativo**

Un freno regenerativo se diseña y construye para el almacenamiento de gran parte de la energía cinética que se desaprovecha con el uso del freno de disipación convencional, utilizados para desacelerar el vehículo o detenerlo en su totalidad.

El funcionamiento del freno regenerativo está basado en crear el giro de un grupo de imanes en torno a de un eje de espiras. El campo magnético que varía, procedente del giro de los imanes, provoca un campo eléctrico en las espiras del núcleo. Los imanes suelen estar situados en conjunto con las ruedas, mientras que las espiras del estator son conectadas por medio de un circuito hacia una batería (Chiriboga & Velasco, 2017).

Entonces se está generando una corriente proveniente del movimiento magnético, que a su vez parte de la acción de freno que se acciona en el vehículo, de esta manera el freno regenerativo realiza la recuperación de una gran parte de la energía cinética involucrada en el proceso de frenado en forma de energía eléctrica que se almacena, por ello la aplicación de este tipo de freno, es altamente factible por diversos elementos, entre los que destacan, la facilidad de instalación, adecuación y operatividad, al evitar el desperdicio de la totalidad de la energía utilizada cuando se frena y permitir el incremento en autonomía del vehículo eléctrico.

### **2.2.2. Historia del Freno Regenerativo**

El termino Kinetic Energy Recovery System (KERS) o sistema de recuperación de energía cinética se empieza a utilizar en la Formula 1 para el año 2009, donde durante el frenado se recuperaba energía y se almacenaba, para luego utilizar esta energía para que el monoplace obtuviera durante unos segundos más velocidad y potencia. Emergió primordialmente por dos razones, la primera la Federación Internacional del Automóvil (FIA) quería proyectar una imagen responsable con el medio ambiente y por la posibilidad futura de su instauración en vehículos convencionales; la segunda el deseo de la FIA por acrecentar el espectáculo al facilitar los adelantamientos.

### **2.2.3. Aspectos del Funcionamiento del Freno Regenerativo**

El frenado regenerativo no puede ser ilimitado pues depende de la capacidad de la batería que una vez al máximo de su capacidad no podrá acumular mayor cantidad de energía, por eso los vehículos deben contar también con un freno convencional. Sin embargo, los frenos regenerativos son frenos que requirieron funcionar en menor cantidad, por tanto, presentan un desgaste menor, y, por ende, el intervalo de mantenimiento es mayor.

El sistema KERS está compuesto principalmente por tres partes, la primera el motor generador, el cual está encargado de la potencia de frenado del vehículo, en segundo lugar, la batería, para el almacenamiento de la energía recuperada y en tercero la unidad de control que interviene durante todo el proceso de recuperación de la energía (Jaramillo, 2018).

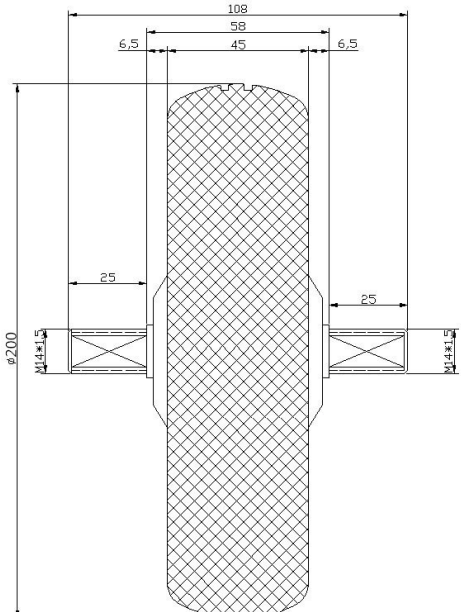
También es significativo señalar que el freno regenerativo requiere operar de forma conjunta con los frenos convencionales, pues este último debe actuar cuando el nivel de energía almacenado resulte limitado para aminorar la velocidad o parar el vehículo, esto se debe a que el sistema KERS no resulta eficiente a bajas velocidades y que su accionar se restringe por las capacidades de almacenamiento de las baterías y del sistema en sí.

El sistema KERS que se implementó en la presente investigación es un sistema desarrollado y comercializado por la empresa L-faster que trabaja tanto con bicicletas como patinetes eléctricos, se comercializan kit de conversión donde se sustituye una rueda convencional por un freno motor, la cual es la que permite el aprovechamiento de la energía cinética del frenado, en la tabla 2 se muestran las especificaciones Técnicas del mencionado sistema KERS.



**Tabla 2.**

*Especificaciones Técnicas del Kit de conversión de sistema KERS con Motor de rueda sin escobillas para scooter eléctrico*

<p>General</p>	<p><u>Marca:</u> L-faster  <u>Tipo:</u> Sistema de frenado regenerativo de Motor de Rueda sin escobillas  <u>Modelo:</u> Sin información  <u>Color:</u> variado según componente</p>
<p>Elementos que incluye el Kit</p>	<p>Un motor de Rueda sin escobillas de 8 pulgadas y 1n80 W  Un controlador de motor  Un interruptor de con opciones de freno (eléctrico KERS y crucero)  Un acelerador de pulgar (con botón interruptor e indicador de batería tipo semáforo)  Un bolso para la batería (solo el bolso, no se incluye la batería)  Algunas tuberías y cinta.  Nota: El kit no incluye batería ni cargador de batería.</p>
<p>Especificaciones del Motor de Rueda</p>	<p><u>Modelo:</u> L-ND02  <u>Tipo:</u> Motor de Rueda sin escobillas ni engranajes sin sensor de entrada  <u>Tamaño de la rueda:</u> 8 pulgadas (neumático 200 mm x 45 mm)  <u>Voltaje:</u> 24/36/48 voltios  <u>Salida:</u> 180 Watts  <u>Tipo de freno:</u> freno electrónico  <u>Velocidad:</u> 500-800 rpm - 25 km/h  <u>Corriente nominal:</u> 10.5A / 7A / 5.2A  <u>Par de torsión nominal:</u> 11 N . m  <u>Carga máxima:</u> 75 kg  <u>Eficiencia nominal:</u> <math>\geq 75\%</math>  <u>Adecuado para:</u> horquilla E-scooter con un ancho interior de más de 60 mm  <u>Peso neto:</u> 3 kg</p>
<p>Dimensiones del Motor de Rueda</p>	 <p>The diagram is a technical cross-section of the wheel motor. It shows a central cylindrical body with a mesh-like texture. On either side, there are mounting brackets. Dimensions are indicated with dimension lines and arrows: the total width of the motor is 108 mm; the width of the central body is 58 mm; the width of the mounting brackets is 45 mm; the distance from the center of the motor to the center of the mounting brackets is 6.5 mm; the diameter of the axle is 20 mm; and the distance from the center of the motor to the center of the axle is 25 mm.</p>

Fuente: L-faster Electric Vehicle Studio (2019, p. 1)

Uno de los propósitos de este estudio es entonces es la revisar los parámetros de operación del sistema adquirido e instalado frente a las condiciones de conducción en la ciudad de Otavalo con sus particularidades de geográficas, urbanísticas y de altura de la localidad.

### **2.3. Categoría L1**

Referido a la clasificación L de vehículos de menos de cuatro ruedas del reglamento Armonizado Clasificación de Vehículos, emitido por el Mercado Común del Sur (MERCOSUR). Se trata específicamente de los vehículos con dos ruedas con una cilindrada que no sobrepase los 50 cc y con una velocidad de diseño máxima de 40 km/h (MERCOSUR, 1995). Misma clasificación es utilizada en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656:2012 Clasificación Vehicular, pero en la especificación difiere por el hecho que reza: vehículos de dos ruedas, de hasta 50 cm<sup>3</sup> y velocidad máxima de 50 km/h (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012), es decir difieren en la velocidad máxima. Esta es la clasificación a la que se ajusta el Vehículo Folding Electric Scooter.

### **2.4. Asociación Nacional de funcionarios de Transporte de la Ciudad**

La Asociación Nacional de funcionarios de Transporte de la Ciudad, NACTO por sus siglas en inglés, es una coalición de los Departamentos de Transporte de las ciudades de América del Norte, la asociación fue fundada en 1996, NACTO ha participado en una serie de iniciativas de investigación relacionadas con el transporte de superficie en áreas urbanas. Las campañas anteriores se han centrado en el uso de bicicletas, autobuses de tránsito rápido, trenes ligeros, bicicletas compartidas y carga. Sus guías de diseño han obtenido el respaldo de numerosas ciudades, estados y otras organizaciones, además de obtener la aceptación de la Administración Federal de Carreteras, FHWA por sus siglas en inglés, para su uso junto con otras guías y recursos obligatorios.

Son los creadores de la Guía de diseño de ciclovías urbanas (parte de la iniciativa Ciudades para el ciclismo), cuyo propósito es brindar a las ciudades soluciones de última generación que puedan ayudar a crear calles completas que sean seguras y agradables para los ciclistas. La Guía de diseño de ciclovías urbanas de NACTO se basa en la experiencia de las mejores ciudades ciclistas del mundo. Para crear la Guía, los autores realizaron una extensa búsqueda bibliográfica en todo el mundo a partir de pautas de diseño y experiencias de la vida

real. Han trabajado en estrecha colaboración con un panel de profesionales de la planificación de ciclovías urbanas de las ciudades miembros de la NACTO, así como con ingenieros de tránsito, planificadores y académicos con amplia experiencia en aplicaciones de ciclovías urbanas (NACTO, 2021).

La planificación y diseño de ciclovías urbanas en ciudades de Latinoamérica como Lima y Bogotá se han basado en esta guía, ya que da pautas para su aplicación.

## **2.5. Normativa de señalización Vial en Ecuador**

El Reglamento que instaura los requisitos que deben desempeñar los dispositivos de control de circulación vehicular y los principios para su aplicación, además de impulsar la seguridad y eficiencia en las vías del Ecuador, por medio del movimiento ordenado de los conductores es la Reglamento Técnico Ecuatoriano Señalización Vial en sus dos partes Señalización Vertical y Horizontal (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2019).

Los principios de este Reglamento dictado por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2011) indican:

La circulación vehicular y peatonal debe ser guiada y regulada a fin de que ésta pueda llevarse a cabo en forma segura, fluida, ordenada y cómoda, siendo la señalización de tránsito un elemento fundamental para alcanzar tales objetivos. En efecto, a través de la señalización se indica a los usuarios de las vías la forma correcta y segura de transitar por ellas, con el propósito de prevenir riesgos para la salud, la vida y el medio ambiente (p. 2).

## **2.6. Norma Ecuatoriana sobre Emisiones Contaminantes**

La normativa NTE INEN 2204 está en aplicación en el Ecuador a partir del año 2002, este reglamento técnico tiene como finalidad el regular los límites permitidos de emisiones producidas por vehículos automotores.

Este reglamento presento una revisión en el año 2017 para estar más están acordes con aspectos técnicos, como los avances tecnológicos en el parque automotor; sociales, cambios en hábitos de consumo y transporte; geográficos y características del entorno, la normativa establece un máximo de emisión de hasta un 6,5% de monóxido de carbono y un mínimo de 1%

del mismo en el humo que sale de los tubos de escape que circulan a menos de 1.500 metros sobre el nivel del mar (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2017).

## **2.7. Aplicación Strava**

La aplicación Strava, resulta en un programa de seguimiento y de registro de rendimiento capaz de descargarse desde un dispositivo móvil, como teléfono celular inteligente o reloj inteligente, con sistemas operativos Android o iPhone, siendo capaz de registrarse una gran variedad de aspectos relativos a una actividad deportiva, donde exista un desplazamiento con respecto al tiempo, como correr o montar bicicleta.

Al poder realizar también un registro de las rutas realizadas durante los desplazamientos en el feed de Strava, resulta una herramienta ideal para el presente estudio, al incorporar una herramienta, gratuita, fácil de usar y compatible con un gran número de dispositivos, relojes, GPS, para el registro de las rutas, tiempos y alturas que se establecerán durante las pruebas del scooter eléctrico, tanto con el sistema KERS, como sin él (Ver Anexo A).

## **2.8. Desnivel de la Ciudad de Otavalo**

De acuerdo a un memorándum realizado por la Alcaldía de Otavalo del 02 de agosto del 2022, en consulta realizada por la directora de ordenamiento territorial y planificación sobre las pendientes del área urbana de la ciudad de Otavalo, se indica la pendiente general es de 1,84%, con una diferencia de altura global de 39 metros (Ver Anexo B).

### Marco Conceptual

#### **2.8.1. Dinamómetro**

El dinamómetro es un instrumento para medir fuerzas, con base en la deformación elástica de un resorte calibrado. Se conoce también como dinamómetro o banco dinamométrico a los dispositivos empleados para absorber o disipar la potencia generada por una máquina basándose en la medición de ciertos parámetros como el par torsional y la velocidad angular. Dependiendo del principio de operación del dinamómetro se realiza la estimación de la potencia mecánica generada por la máquina, bajo diferentes condiciones de funcionamiento (Centro Nacional de Metrología, 2019).

### **2.8.2. Emisión de Dióxido de Carbono**

La principal actividad del ser humano que emite CO<sub>2</sub> es la combustión de combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) para generar energía y con fines de transporte, aunque ciertos procesos industriales y cambios en el uso de la tierra también emiten CO<sub>2</sub> (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2021).

### **2.8.3. Módulo de carga automática y control de batería**

Regula el voltaje de carga de arranque de la batería, mide y automatiza la carga de la misma bajo las especificaciones del usuario (Electrostore, 2019).

### **2.8.4. Scooter eléctrico**

Se trata de una motocicleta con 110km de autonomía para poder viajar. Ofrece mayor velocidad, pero queda limitada en la duración de su batería, que se reduce a 3 horas en velocidad constante (López, 2020).

### **2.8.5. Sistema KERS**

Los sistemas de frenado regenerativo o sistema KERS ayudan a la reducción de consumo en vehículos híbridos y a la reducción de su huella de carbono, también pueden aumentar la autonomía de los vehículos eléctricos (Bosch, 2021).

## **CAPITULO III:**

### **PRUEBAS AL VEHÍCULO FOLDING ELECTRIC SCOOTER**

En el siguiente apartado se estableció la descripción de las diversas pruebas realizadas al vehículo Folding Electric Scooter, en primera instancia a las pruebas que implicaban el uso del equipo sin la aplicación de modificaciones, luego se realizó la exposición del proceso de instalación y adaptación del sistema KERS al vehículo, finalmente se describen las pruebas realizadas ya con el sistema KERS instalado.

#### **3.1. Pruebas sin modificación al Vehículo Folding Electric Scooter**

Las pruebas se realizaron de acuerdo a los reglamentos Generales de Circulación y de Vehículos de la nación española modificados en el decreto Real Decreto 970/2020 (Boletín Oficial del Estado, 2020), donde se incorporan las directrices para definir los Vehículos de Movilidad Personal (VMP) donde se incluyen a los Folding Electric Scooter, además del Manual de características de los vehículos de movilidad personal publicado mediante resolución en 2022 (Boletín Oficial del Estado, 2022).

Además, se utilizó la normativa internacional EN 17128:2020 sobre los Vehículos ligeros motorizados para el transporte de personas y mercancías e instalaciones relacionadas y no sujetos a homologación para uso en carretera. Vehículos eléctricos ligeros personales (PLEV). Requisitos de seguridad y métodos de ensayo, (Asociación Española de Normalización UNE, 2020), este documento se aplica a los vehículos eléctricos ligeros personales con o sin sistema de auto equilibrado, total o parcialmente alimentados eléctricamente, a partir de fuentes de energía autónomas que tengan voltajes de batería de hasta 100 VCC, con o sin un cargador de batería integrado, con una entrada de hasta 240 VCA, donde se especifica los requisitos de seguridad, los métodos de prueba, el marcado y la información relacionada con los vehículos eléctricos ligeros personales

##### **3.1.1. Prueba 1**

En esta prueba se llevó a cabo un recorrido de 2.400 m desde la calle Cristóbal Colon como punto de partida, en un horario sin tráfico siendo la hora de partida las 10:00 am, con un tiempo de recorrido de 19m 30s, realizado por una persona de 78 kg de peso en vías adoquinadas

con dos cuestas que presentaban  $15^\circ$  de inclinación, con desnivel positivo de 31 m una altitud máxima de 2.566 m con una velocidad promedio de 7,7km/h y una velocidad máxima de 30,7 km/h se realizaron un total de 17 frenados en esquinas, semáforos y cruce de carril. Batería full en la primera carga con un desgaste en modo deportivo de 30% en el primer recorrido. Las figuras 2, 3 y 4, presentan el recorrido, las altitudes alcanzadas y parámetros del recorrido respectivamente, en la prueba 1.

### Figura 2.

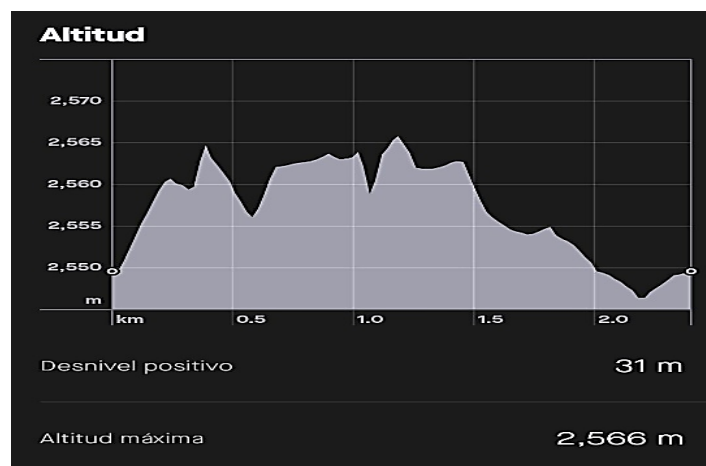
*Recorrido Prueba 1 sin modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

### Figura 3.

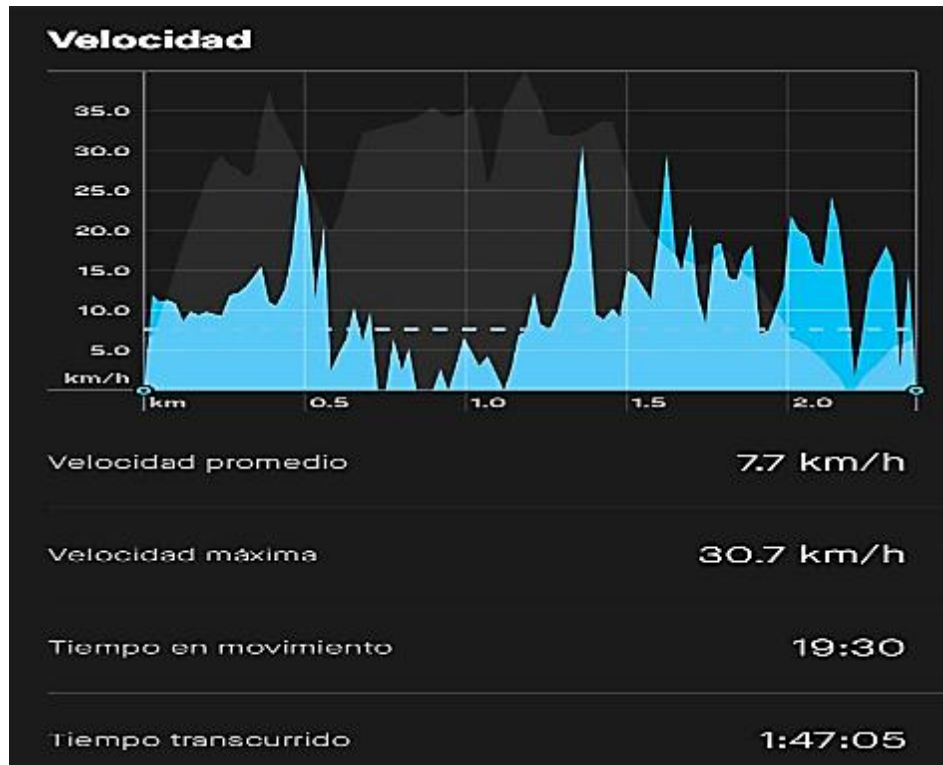
*Altitud Prueba 1 sin modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 4.**

*Velocidad Prueba 1 sin modificación*



*Fuente:* Autores (2022)

### **3.1.2. Prueba 2**

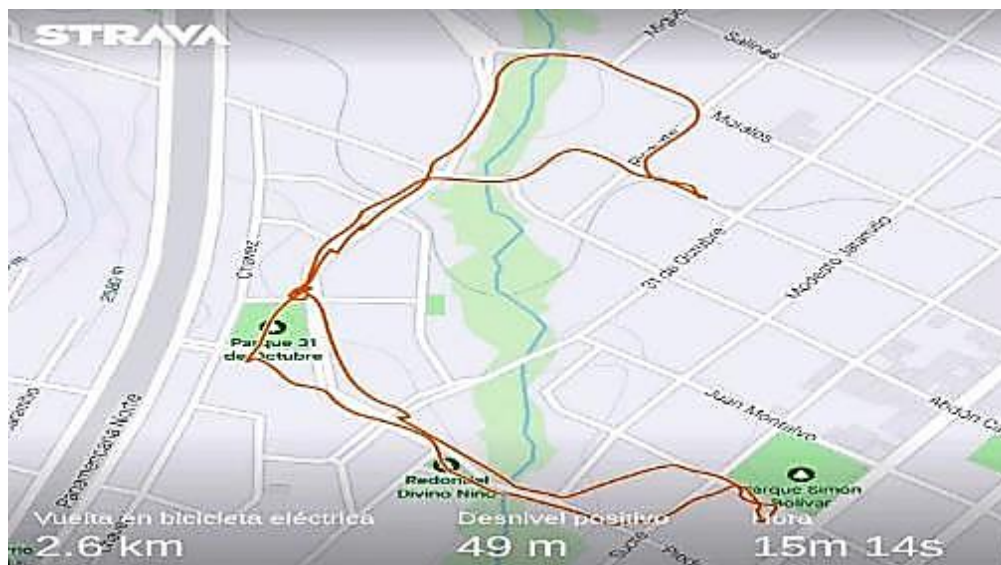
En esta prueba se realizó un recorrido de 2.600 m desde la calle Cristóbal Colon como punto de partida, en un horario con tráfico comenzando desde la 1 pm con un tiempo recorrido de 15m 14s con una persona de 62 kg de peso como conductor en vías adoquinadas con desnivel positivo de 49 m, una altitud máxima de 2.565 m con una velocidad promedio de 10,3 km/h y una velocidad máxima de 34,5 km/h con hasta 30 frenados y calles en mal estado. La Batería se encontraba en 70% y presentó un desgaste de 15% desde la primera carga en modo deportivo.

Las figuras 5, 6 y 7, presentan el recorrido, las altitudes alcanzadas y parámetros del recorrido respectivamente, en la prueba 2.



**Figura 5.**

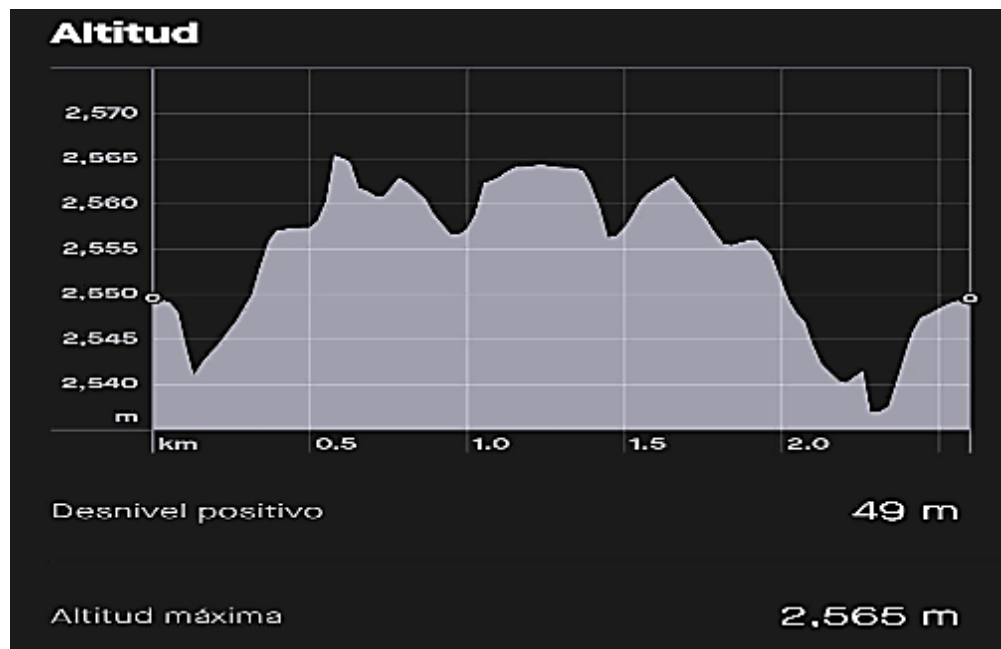
*Recorrido Prueba 2 sin modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 6.**

*Altitud Prueba 2 sin modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 7.**

*Velocidad Prueba 2 sin modificación*



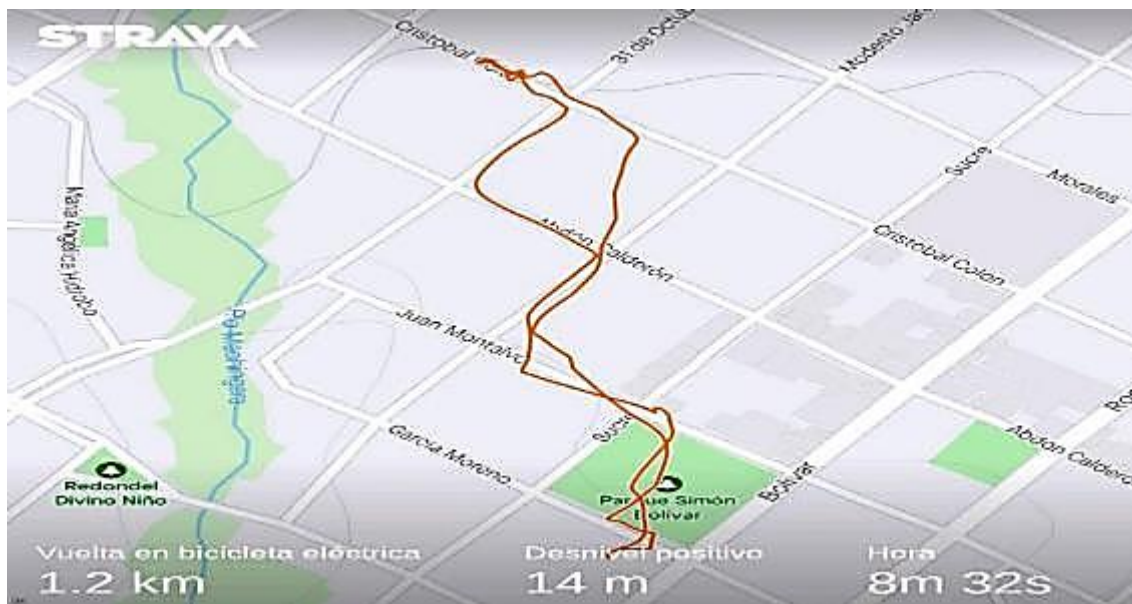
*Fuente: Autores (2022)*

### **3.1.3. Prueba 3**

En esta prueba se completó un recorrido de 1.200 m desde la calle Cristóbal Colon como punto de partida, en un horario con tráfico normal, comenzando a las 3 pm con, un tiempo recorrido de 8m 32s, con una persona de 78kg de peso manejando en vías adoquinadas, con desnivel positivo de 14m una altitud máxima de 2.564 m con una velocidad promedio de 8,6km/h y una velocidad máxima de 34,4 km/h con hasta 30 frenados y calles en mal estado. La Batería con un estado inicial del 45%, presentó un desgaste de 5% desde la primera carga. Las figuras 8, 9 y 10, presentan el recorrido, las altitudes alcanzadas y parámetros del recorrido respectivamente, en la prueba 3.

**Figura 8.**

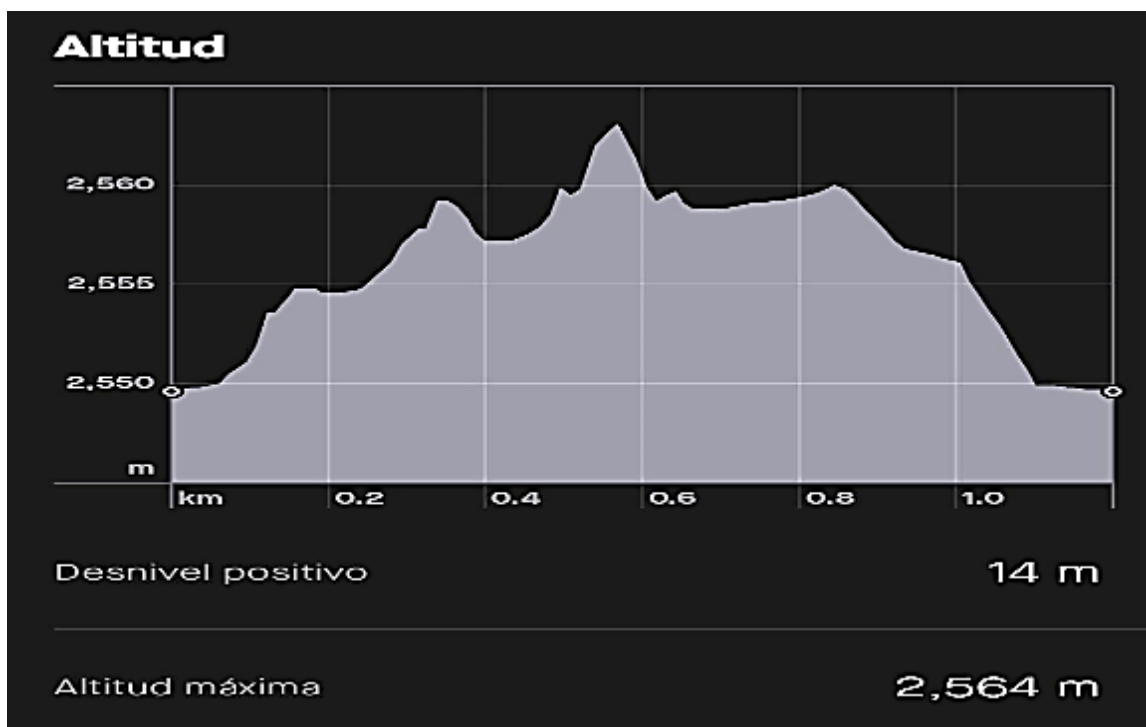
*Recorrido Prueba 3 sin modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 9.**

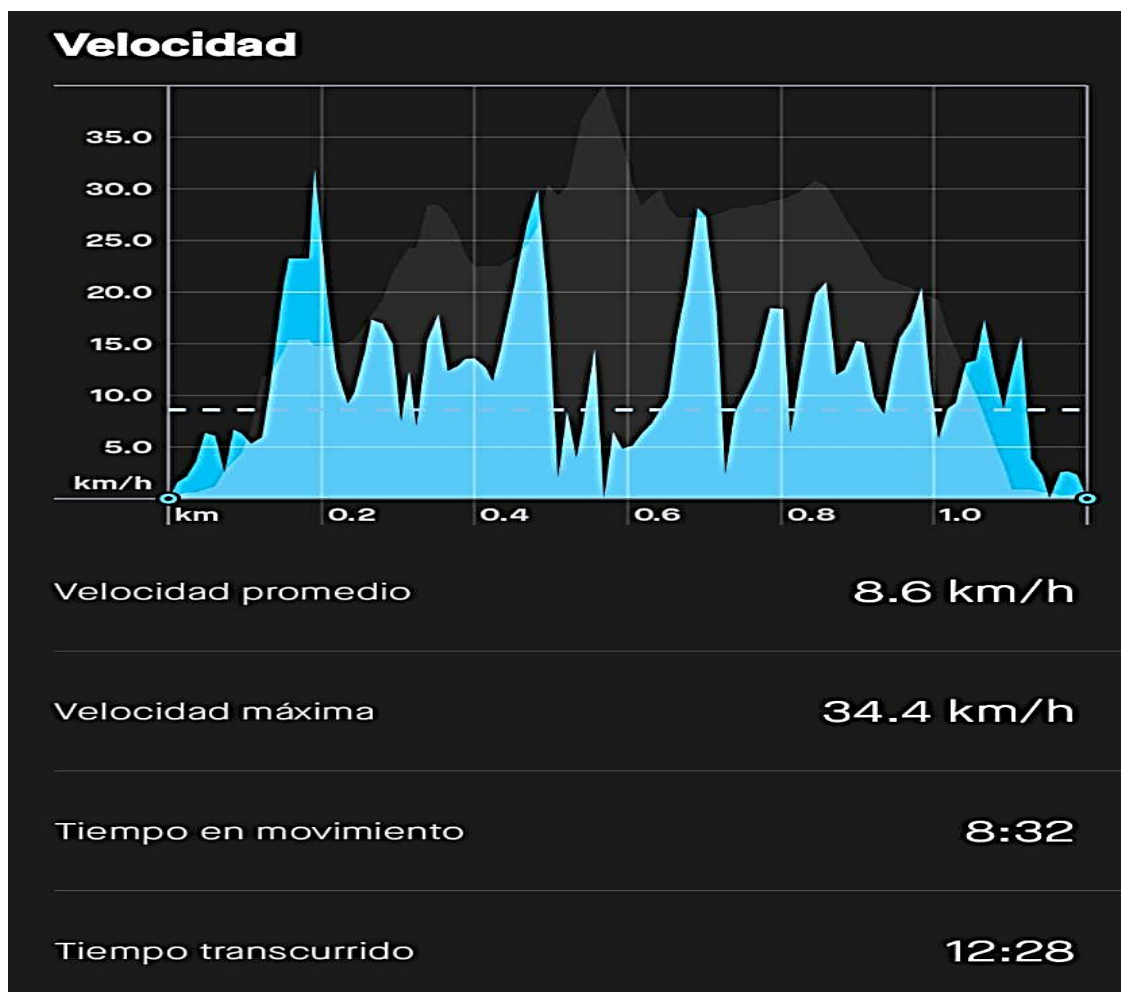
*Altitud Prueba 3 sin modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 10.**

*Velocidad Prueba 3 sin modificación*



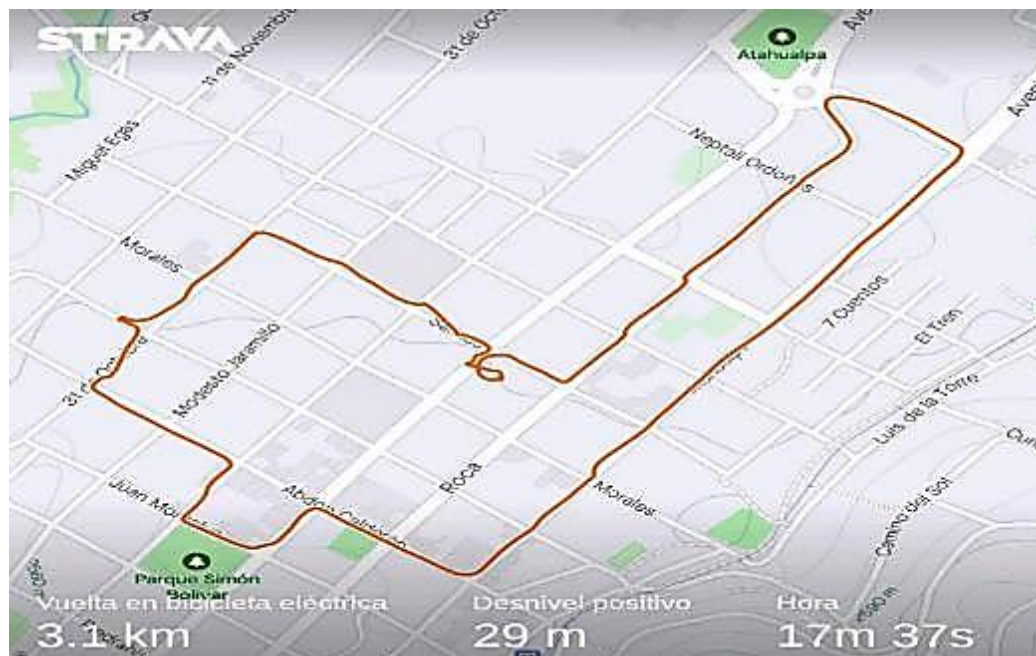
*Fuente: Autores (2022)*

### 3.1.4. Prueba 4

En esta prueba se estableció un recorrido de 3.100 m desde la calle Cristóbal Colon como punto de partida, en un horario de tráfico medio, comenzando a las 4:30 pm, con un tiempo recorrido de 17m 37s con un conductor con 65kg de peso, en vías adoquinadas con desnivel positivo de 29 m una altitud máxima de 2.559 m, con una velocidad promedio de 10,6km/h y una velocidad máxima de 45,8 km/h con hasta 30 frenados y calles en mal estado. La batería presentaba una carga del 15%, con desgaste de 15% para dejar la batería en 0%. Las figuras 11, 12 y 13, presentan el recorrido, las altitudes alcanzadas y parámetros del recorrido respectivamente, en la prueba 4.

**Figura 11.**

*Recorrido Prueba 4 sin modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 12.**

*Altitud Prueba 4 sin modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 13.**

*Velocidad Prueba 4 sin modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

### **3.1.5. Prueba 5**

En esta prueba se estableció un recorrido de 2.700 m desde la calle Cristóbal Colon como punto de partida, en un horario de tráfico medio, comenzando a las 11 am con un tiempo recorrido de 22m 57s, con un conductor de 78kg de peso en vías adoquinadas con desnivel positivo de 33m, una altitud máxima de 2.554 m, con una velocidad promedio de 7,1km/h y una velocidad máxima de 41,6 km/h con hasta 33 frenados y calles en mal estado. Se realiza una segunda carga de batería, por lo cual al inicio del recorrido su estado es del 100%, obteniéndose un desgaste de 40%. Las figuras 14, 15 y 16, presentan el recorrido, las altitudes alcanzadas y parámetros del recorrido respectivamente, en la prueba 5.

**Figura 14.**

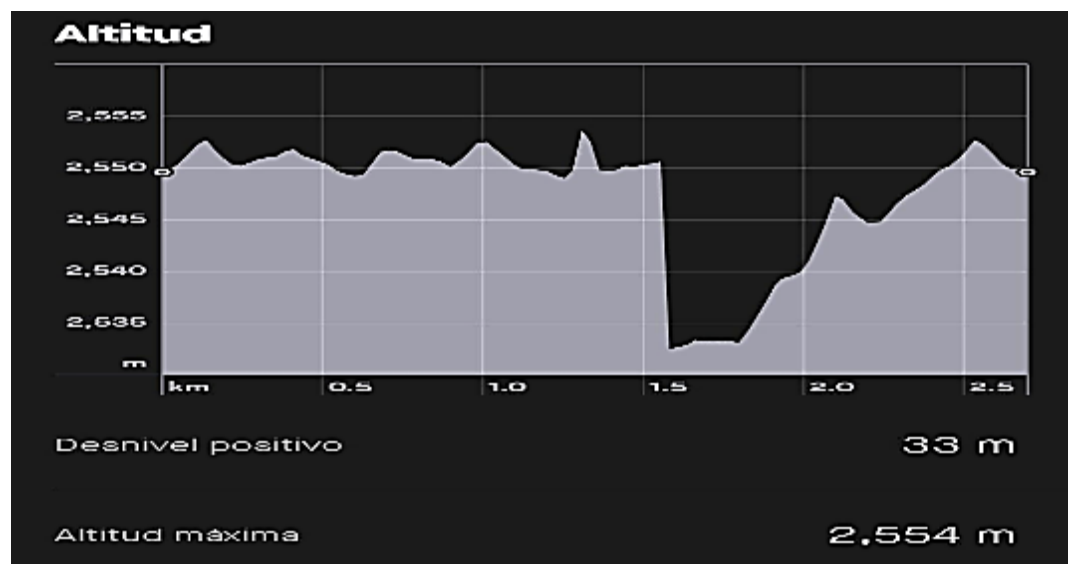
*Recorrido Prueba 5 sin modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 15.**

*Altitud Prueba 5 sin modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 16.**

*Velocidad Prueba 5 sin modificación*



*Fuente:* Autores (2022)

La tabla 3 muestra el resumen de los resultados de las diversas pruebas realizadas con el vehículo sin modificaciones. En ella se pueden constatar que no siempre se dio una correlación directa entre el desgaste de la batería y la distancia recorrida, ya que entro en juego las cargas soportadas, las velocidades alcanzadas, los desniveles que se encontraron, donde se aprovechaba la energía potencial para el desplazamiento, y también que cuando la batería era cargada completamente, en su primer uso el desgaste era mayor ejemplo pruebas 01 y 05, por otro lado las alturas máximas oscilaron entre los 2.554 m y los 2.566 m, la cantidad de frenados aumento por el estado de las calles y el tráfico que se encontraba de acuerdo a la hora de inicio de la prueba.



**Tabla 3.***Resumen de Resultados Pruebas sin modificación al Vehículo Folding Electric Scooter*

<b>Prueba 01</b>	<b>Distancia Recorrida</b>	<b>Hora de Inicio</b>	<b>Carga Soportada</b>	<b>Modo de Carrera</b>	<b>Desgaste de Carga de batería</b>
	2.400 m	10:00 a. m.	78 kg	Deportivo	30%
	<b>Tiempo de Recorrido</b>	<b>Desnivel positivo</b>	<b>Altura Máxima</b>	<b>Velocidad Promedio</b>	<b>Velocidad Máxima</b>
	19m 30s	31 m	2.566 m	7,7 km/ h	30,7 km/h
<b>Prueba 02</b>	<b>Distancia Recorrida</b>	<b>Hora de Inicio</b>	<b>Carga Soportada</b>	<b>Modo de Carrera</b>	<b>Desgaste de Carga de batería</b>
	2.600 m	1:00 p. m.	62 kg	Deportivo	15%
	<b>Tiempo de Recorrido</b>	<b>Desnivel positivo</b>	<b>Altura Máxima</b>	<b>Velocidad Promedio</b>	<b>Velocidad Máxima</b>
	15m 14s	49 m	2.565 m	10,3 km/ h	34,5 km/h
<b>Prueba 03</b>	<b>Distancia Recorrida</b>	<b>Hora de Inicio</b>	<b>Carga Soportada</b>	<b>Modo de Carrera</b>	<b>Desgaste de Carga de batería</b>
	1.200 m	3:00 p. m.	78 kg	Deportivo	5%
	<b>Tiempo de Recorrido</b>	<b>Desnivel positivo</b>	<b>Altura Máxima</b>	<b>Velocidad Promedio</b>	<b>Velocidad Máxima</b>
	8m 32s	14 m	2.564 m	8,6 km/ h	34,4 km/h
<b>Prueba 04</b>	<b>Distancia Recorrida</b>	<b>Hora de Inicio</b>	<b>Carga Soportada</b>	<b>Modo de Carrera</b>	<b>Desgaste de Carga de batería</b>
	3.100 m	4:30 p. m.	65 kg	Deportivo	15%
	<b>Tiempo de Recorrido</b>	<b>Desnivel positivo</b>	<b>Altura Máxima</b>	<b>Velocidad Promedio</b>	<b>Velocidad Máxima</b>
	17m 37s	29 m	2.559 m	10,6 km/ h	45,8 km/h
<b>Prueba 05</b>	<b>Distancia Recorrida</b>	<b>Hora de Inicio</b>	<b>Carga Soportada</b>	<b>Modo de Carrera</b>	<b>Desgaste de Carga de batería</b>
	2.700 m	11:00 a. m.	78 kg	Deportivo	40%
	<b>Tiempo de Recorrido</b>	<b>Desnivel positivo</b>	<b>Altura Máxima</b>	<b>Velocidad Promedio</b>	<b>Velocidad Máxima</b>
	22m 57s	33 m	2.554 m	7,1 km/ h	41,6 km/h

*Fuente: Autores (2022)*

### 3.2. Procedimiento de instalación sistema regenerativo

Como primer paso se tuvo a la identificación de la rueda delantera del scooter, y en que sección se encontraba está sujeta con pernos, para proceder a su retiro, en las figuras 17 y 18 se aprecia que el neumático delantero contenía una cinta reflectora, al desprender desde su extremo

un trozo no mayor a 3 cm de su longitud. se logró la observación de los pernos que sujetaban la rueda.

**Figura 17.**

*Rueda Delantera*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 18.**

*Desprendimiento de Cinta Protectora*



*Fuente: Autores (2022)*

Al extraer los pernos de sujeción, como se aprecia en la figura 19, se procedió al retiro de las dos molduras plásticas que sirven como guarda polvos y como medio de ingreso del perno de sujeción de la rueda del scooter, al momento de retirar las molduras, se observó también el cable principal de alimentación que proviene de la batería a la rueda del scooter. El cual fue retirado y posteriormente reemplazado por uno nuevo,

**Figura 19.**

*Retiro de Molduras*



*Fuente:* Autores (2022)

En la figura 20 se aprecia que la rueda va sujeta con una tuerca, por lo cual para que la misma pueda salir, se procedió al uso de una llave francesa para su extracción, se comenzó por el lado derecho de la rueda como se muestra en la figura 21, luego en la figura 22 se advierte la presencia de una arandela de presión y un muelle elástico, que ayuda a que el cable principal no sufra daño por el movimiento de la dirección del scooter, estos componentes se ubicaban en ambos lados de la rueda y fueron en ambos casos retirados, se tomó en cuenta, como se indicó anteriormente, el retiro del cable de alimentación, en la figura 23 se aprecia la rueda desacoplada aun unida a dicho cable.

**Figura 20.**

*Tuerca de Sujeción de la Rueda*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 21.**

*Extracción de Tuerca Lado Derecho de la Rueda*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 22.**

*Extracción de Arandela y Muelle*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 23.**

*Rueda removida*



*Fuente: Autores (2022)*

Una vez la rueda fue desmontada, se procedió a la remoción del cable principal que conectaba el módulo electrónico con la batería y el motor del scooter, por lo cual primero se plegó la parte del manubrio del scooter para su fácil remoción, en la figura 24, se denota que una vez plegado el manubrio se advirtió la presencia de otro muelle que protegía al cable principal, el cual iba sujeto con un seguro y atornillado con dos tonillos tipo Allen, el proceso de remoción se advierte en la figura 25.

**Figura 24.**

*Plegado del Manubrio*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 25.**

*Plegado del Manubrio*

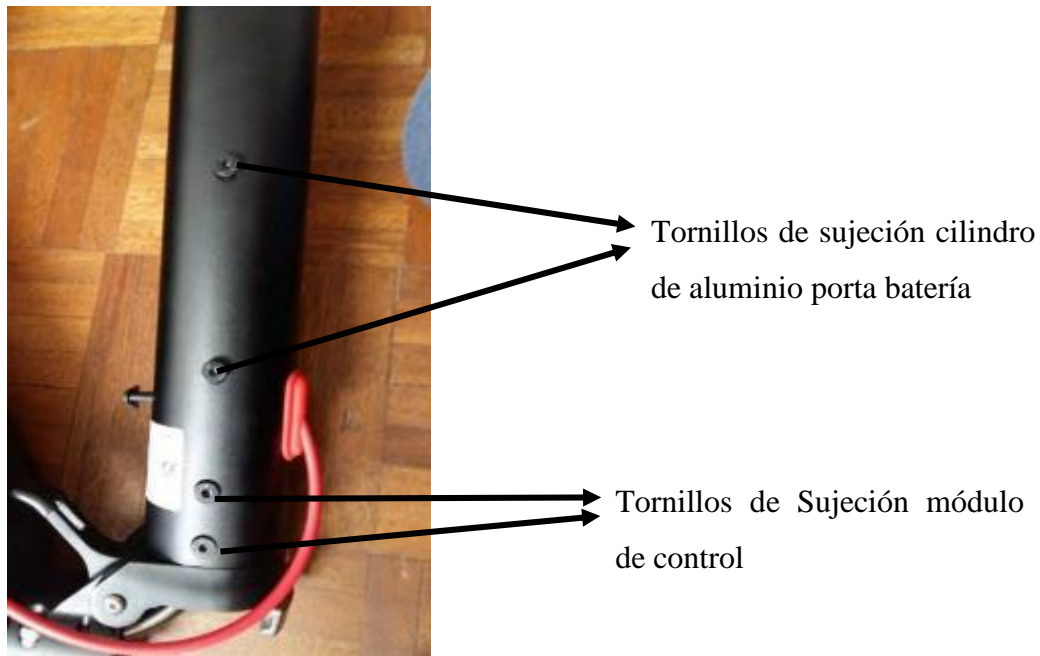


*Fuente: Autores (2022)*

En la remoción de los seguros para la extracción del cable principal se comprobó que para ese momento aún no se podía remover la parte inferior del sujetador de la batería, ya que en los costados del manubrio se podían divisar 4 tipos de tornillos por cada lado, dos tornillos corresponden a la sujeción cilindro de aluminio porta batería y dos tornillos corresponden a la sujeción módulo de control, la figura 26 detalla esta configuración.

**Figura 26.**

*Detalle de los tornillos de sujeción*



*Fuente:* Autores (2022)

En la parte interna del scooter se constató que el cilindro porta batería cuenta con ciertas ranuras por las cuales pasan los cables que van dirigidos a los mandos, freno mecánico, luz, tacómetro y acelerador, este cilindro no pudo ser removido y las ranuras por donde pasan los cables originales resultan de diámetros exactos, todo esto se muestra en la figura 27.

En la figura 28 se advierte todo está perfectamente diseñado para su correcta implementación, una vez retirados los pernos se pudo encontrar una carcasa metálica que sirve como sujetador del módulo electrónico, apreciándose en la parte inferior de la carcasa con el pin de carga, un conector de 5 pines que sirve para el paso de la corriente y 2 conectores adicionales que funcionan para cargar la batería una esta se agote, estos conectores, se acoplan

con la batería, por lo cual para poder retirar el módulo electrónico descrito se procedió a su remoción.

**Figura 27.**

*Detalle de cilindro porta baterías*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 28.**

*Remisión del Módulo Electrónico*



*Fuente: Autores (2022)*



En la figura 29 se distingue la identificación de los pines del conector, los de mayor grosor de color rojo corresponden a los terminales para el paso de la corriente al motor, y los más delgados, en el medio, corresponden a los pines de carga, en la placa se observa la nomenclatura de cada uno de los conectores, en donde se indica que la batería trabaja con 48 Voltios.

Una acotación, es que, durante la remoción de una de las terminales de paso de corriente, se pudo constatar que al mínimo movimiento, el cable realizaba un falso contacto, por lo que un pin de este conector no se encontraba correctamente soldado, se aprecia en figura 30, así que se decidió realizar la corrección la falla y a la prosecución de la instalación.

### **Figura 29.**

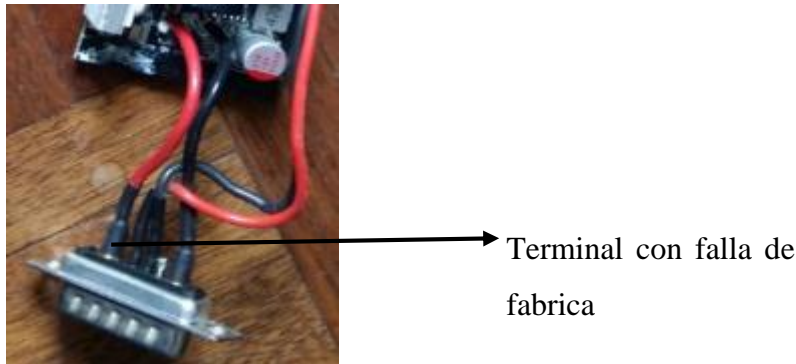
#### *Elementos de Conexión*



*Fuente:* Autores (2022)

### **Figura 30.**

*Falla de Fabrica*

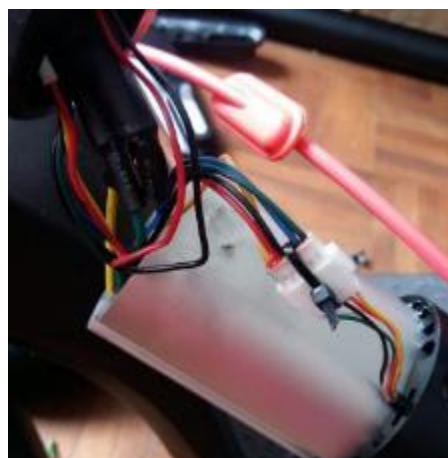


*Fuente: Autores (2022)*

Al momento de la instalación del nuevo controlador, se presentaron varios inconvenientes en la instalación del cableado, en la figura 31, se denota como uno de los conectores pasa por las aberturas del cilindro principal del scooter y estas son específicamente para el cableado original, por lo que se decidió enviar el cableado principal del nuevo controlador por la parte externa, también en la figura se aprecia el conector tipo molex que se utiliza para el control de las 3 velocidades con que cuenta el scooter y la visualización del estado de carga de la batería, por último se denota un cable rojo que de igual manera pasa por el cilindro principal, este cable acciona el freno mecánico que se ubica en la rueda posterior del scooter.

### **Figura 31.**

*Detalle del Cableado*



*Fuente: Autores (2022)*

En la figura 32 se distingue que una vez retirada placa de control anterior, se procedió a su conexión con la nueva, generándose un empate para aumentar el número de cables que se dirigen a la batería (cables rojo y azul), de manera que la energía suministrada, pueda dirigirse hacia el motor (cables rojo y plomo), se toma en cuenta que, del conector de la batería visto en la parte superior de la imagen, provienen los cables rojo y azul y para llevarlo al motor se transforman en cables gris y rojo, por el aumento.

**Figura 32.**

*Cables conectados*



*Fuente: Autores (2022)*

En la figura 33 se aprecia el comienzo de la colocación del acelerador del nuevo kit, para esto, primero se procede al retiro del acelerador de color rojo que se muestra en la figura mencionada, los manubrios del scooter son del tipo enroscables por lo que se procedió a su remoción con un giro y a continuación al retiro del acelerador.

### **Figura 33.**

*Detalle del acelerador a remover*



*Fuente: Autores (2022)*

En la figura 34 se observan los manubrios ya removidos y retirado el acelerador anterior, en la figura 35 se visualiza ya instalado el nuevo acelerador, que cuenta con un semáforo que indica la carga de la batería, además de poseer un botón de color rojo para el encendido del nuevo kit.

### **Figura 34.**

*Manubrios Removidos*



*Fuente: Autores (2022)*

### **Figura 35.**

*Acelerador nuevo instalado*



*Fuente: Autores (2022)*

En la figura 36 se aprecia que en el lado izquierdo del manubrio. se colocó otro controlador, donde el botón corresponde al modo crucero, y el botón 2 es para el freno regenerativo.

**Figura 36.**

*Detalles del Nuevo Controlador*



*Fuente: Autores (2022)*

En la figura 37 se advierte como quedo el sistema instalado por la parte externa del scooter, debido a que el controlador anterior tenía el diámetro exacto para encajar en la parte interna del manubrio principal, también se puede observar el tamaño del controlador y las distintas conexiones que realizaron.

**Figura 37.**

*Nuevo Controlador instalado y sus conexiones*



*Fuente: Autores (2022)*

Finalmente, el resultado final del montaje del sistema regenerativo se muestra en la imagen 38.

### **Figura 38.**

*Resultado Final*



*Fuente:* Autores (2022)

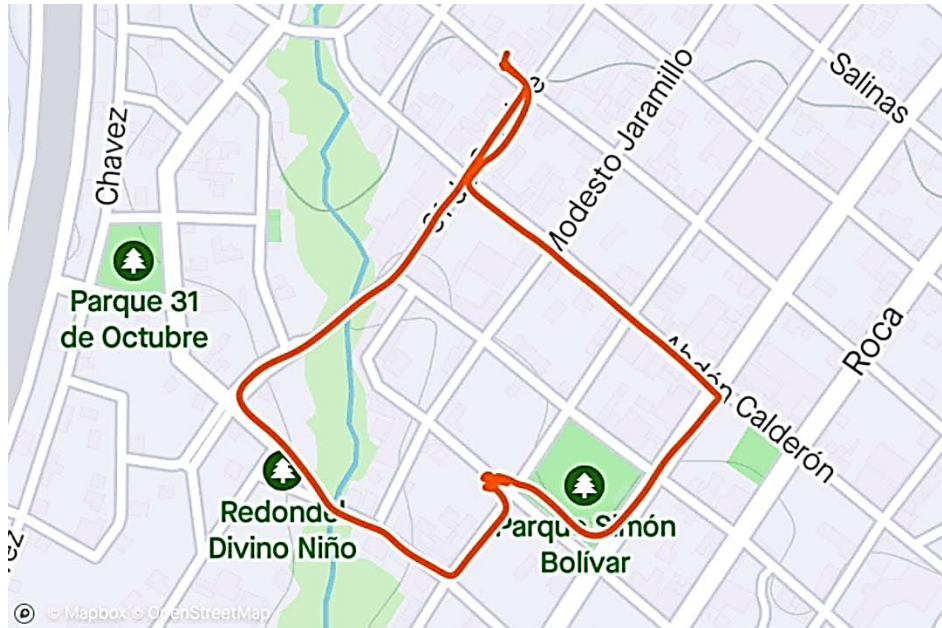
## **3.3. Pruebas con modificación al Vehículo Folding Electric Scooter**

### **3.3.1. Prueba 1**

En esta prueba se llevó a cabo un recorrido de 1.710 m desde la calle Cristóbal colon como punto de partida, en un horario de sin tráfico desde las 09:00 am, con un tiempo de recorrido de 20m 17s, con una persona de 78 kg de peso, en vías adoquinadas con 2 cuestas a 15°, con un total de 17 frenados con freno eléctrico y 10 frenados mecánicos en esquinas, semáforos y cruce de carril. Batería: full primera carga sin desgaste en velocidad libre en el primer recorrido, la velocidad de scooter fue libre sin controlador. Las figuras 39, 40 y 41, presentan el recorrido, las altitudes alcanzadas y parámetros del recorrido respectivamente, en la prueba 1.

**Figura 39.**

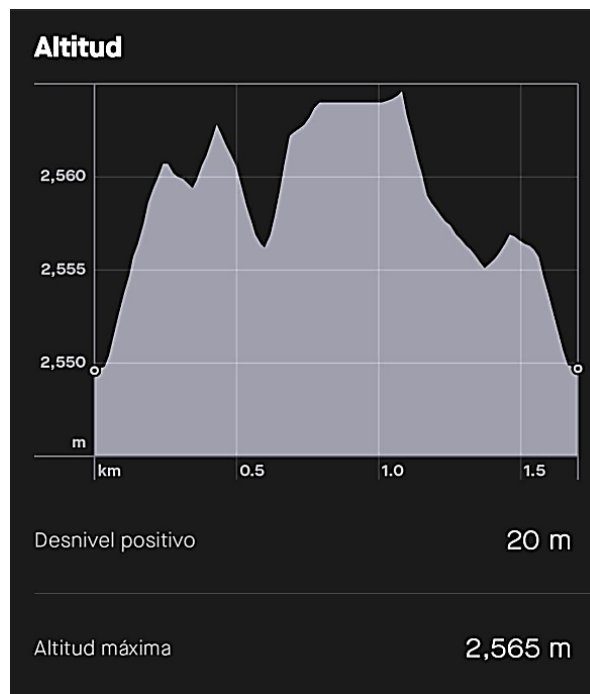
*Recorrido Prueba 1 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 40.**

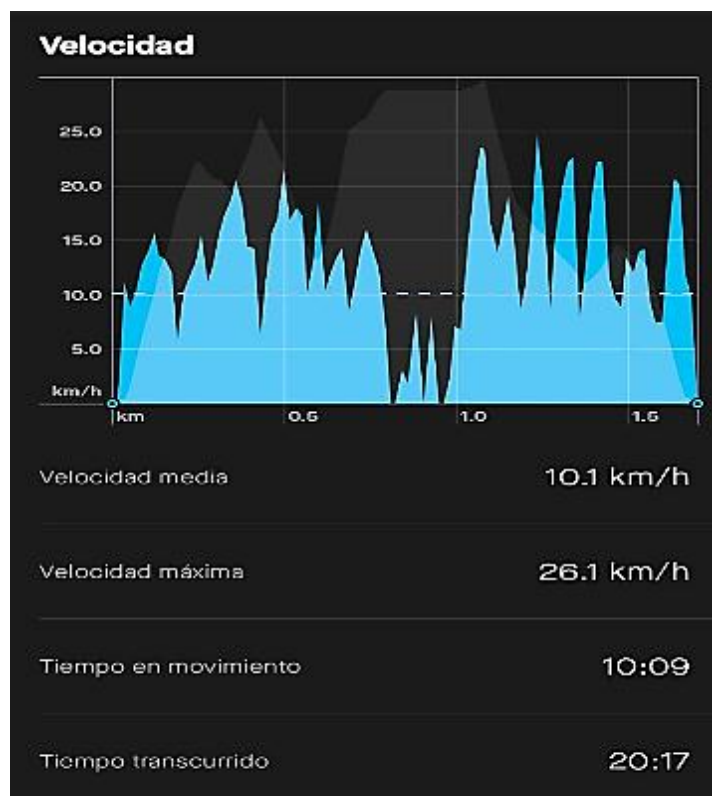
*Altitud Prueba 1 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 41.**

*Velocidad Prueba 1 con modificación*



*Fuente:* Autores (2022)

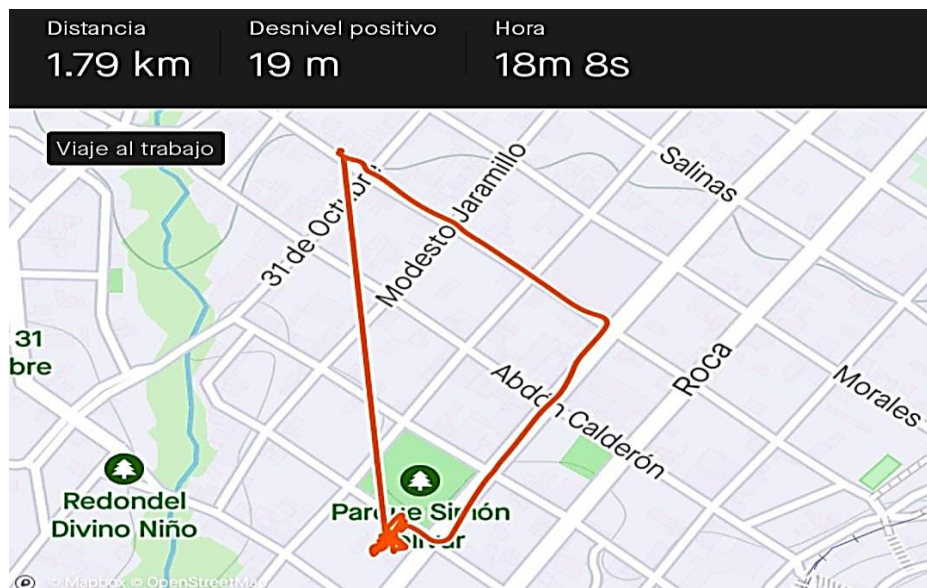
### 3.3.2. Prueba 2

En esta prueba se produjo un recorrido de 1.790 m desde la calle Cristóbal Colon como punto de partida, en un horario con tráfico desde la 1:00 pm, con un tiempo recorrido de 18m 8s, con una persona de 62 kg de peso, en vías adoquinadas con desnivel positivo de 19 m, una altitud máxima de 2.566 m, con una velocidad promedio de 5,9 km/h y una velocidad máxima de 21,7 km/h, con hasta 38 frenados eléctricos y 12 frenados mecánicos en calles en mal estado. Es importante mencionar que las vías se encontraban en reparación y se tomó la prueba en una ruta similar. Batería en 100% sin desgaste notable de batería desde la primera carga en velocidad libre. Las figuras 42, 43 y 44, presentan el recorrido, las altitudes alcanzadas y parámetros del recorrido respectivamente, en la prueba 2.



**Figura 42.**

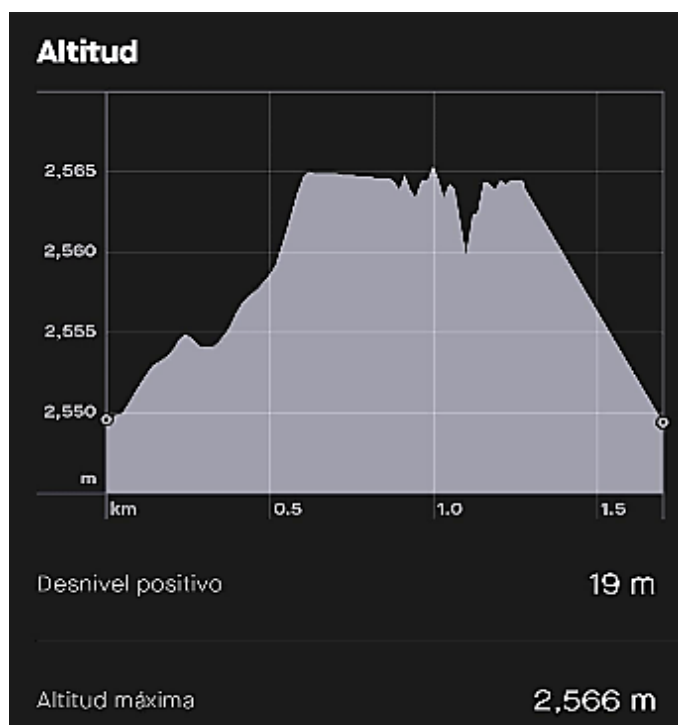
*Recorrido Prueba 2 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 43.**

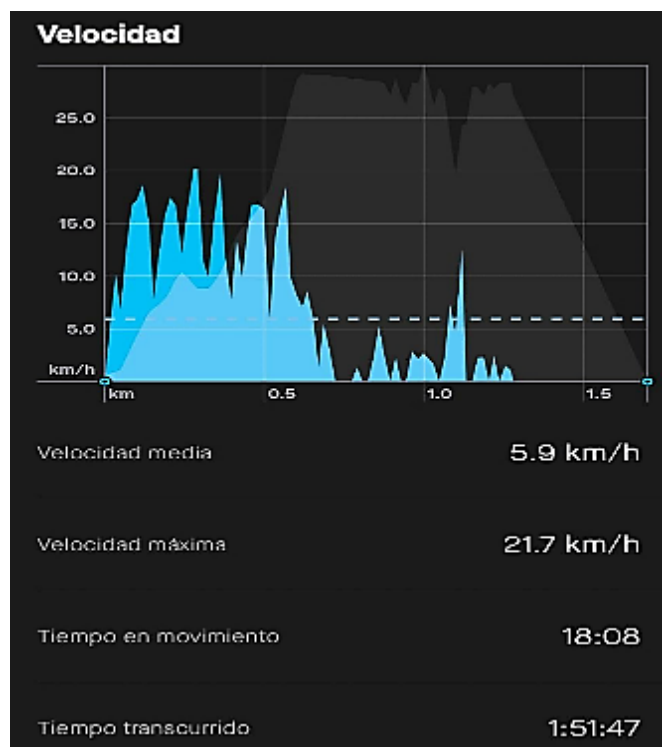
*Altitud Prueba 2 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 44.**

*Velocidad Prueba 2 con modificación*



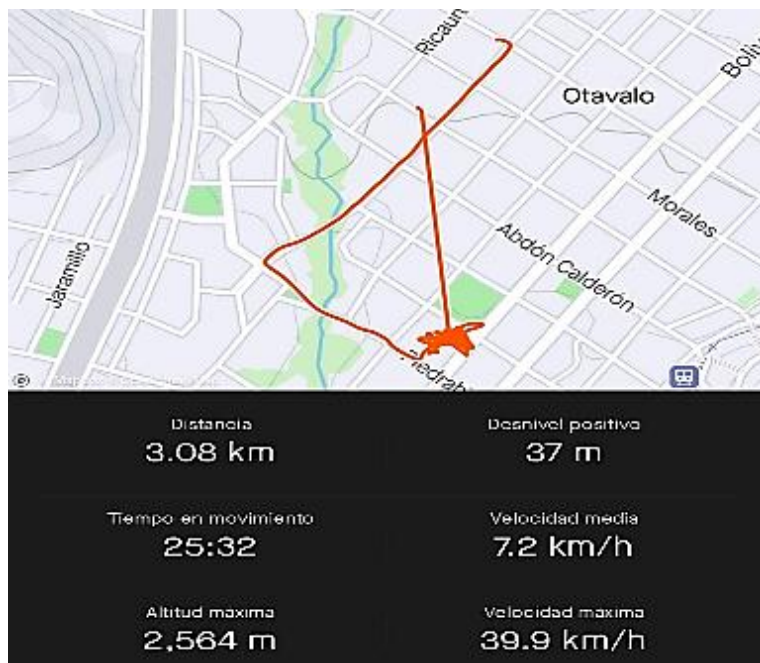
*Fuente:* Autores (2022)

### 3.3.3. Prueba 3

En esta prueba se realizó un recorrido de 3.080 m desde la calle Cristóbal Colon como punto de partida, en un horario con tráfico normal desde las 03:50 pm, con un tiempo recorrido de 25m 32s, con una persona de 78kg de peso en vías adoquinadas, con desnivel positivo de 37m una altitud máxima de 2.564 m, con una velocidad promedio de 7,2 km/h y una velocidad máxima de 39,9 km/h, con hasta 25 frenados eléctricos y 10 frenados mecánicos calles en mal estado. La batería 95% con desgaste de 5% desde la primera carga. Las figuras 45, 46 y 47, presentan el recorrido, las altitudes alcanzadas y parámetros del recorrido respectivamente, en la prueba 3.

**Figura 45.**

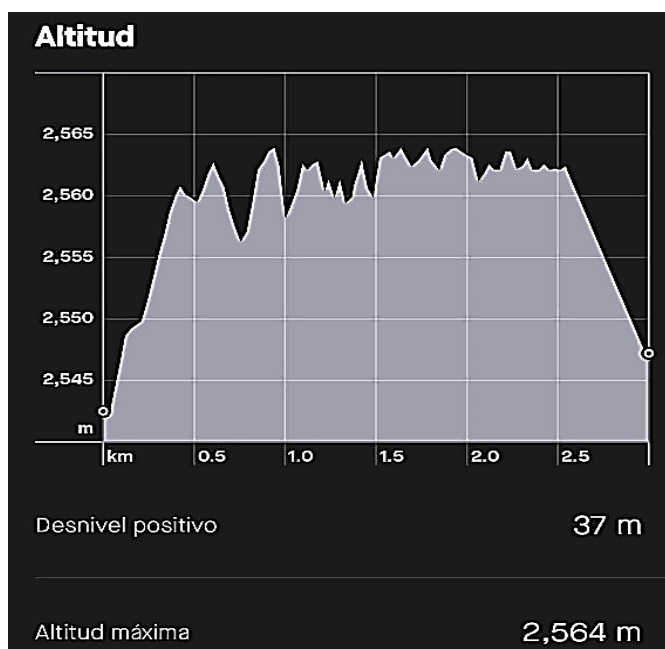
*Recorrido Prueba 3 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 46.**

*Altitud Prueba 3 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 47.**

*Velocidad Prueba 3 con modificación*



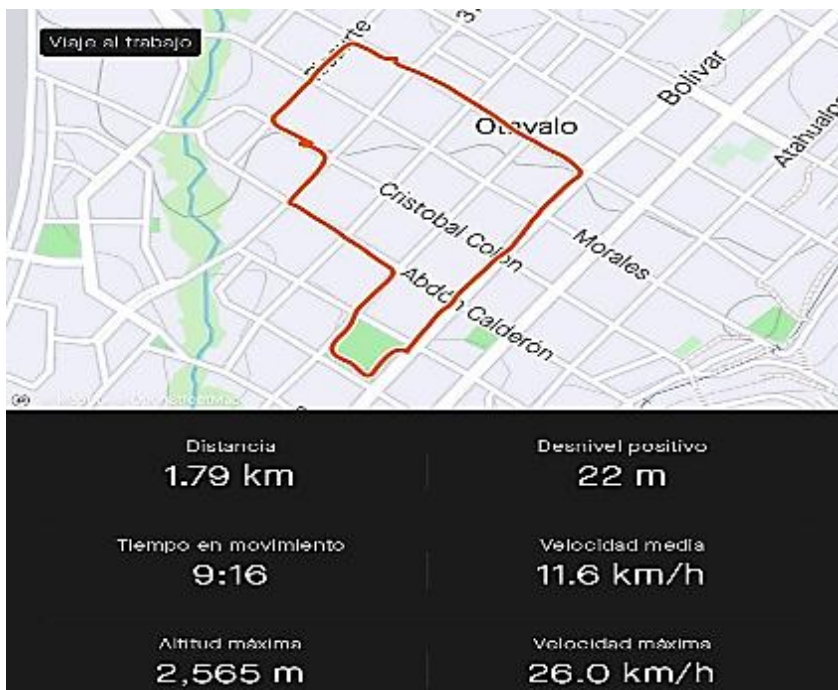
*Fuente:* Autores (2022)

### **3.3.4. Prueba 4**

En esta prueba se desarrolló un recorrido de 1.790 m desde la calle Cristóbal Colon como punto de partida, en un horario de tráfico medio desde las 03:30 pm, con un tiempo recorrido de 9m 16s, con una persona de 65 kg de peso, en vías adoquinadas, con desnivel positivo de 22m una altitud máxima de 2.565 m, con una velocidad promedio de 11,6 km/h y una velocidad máxima de 26,0 km/h con hasta 8 frenados eléctricos y 5 frenados mecánicos calles en mal estado. La Batería 95% con desgaste de 10% batería en 85%. Las figuras 48, 49 y 50, presentan el recorrido, las altitudes alcanzadas y parámetros del recorrido respectivamente, en la prueba 4.

**Figura 48.**

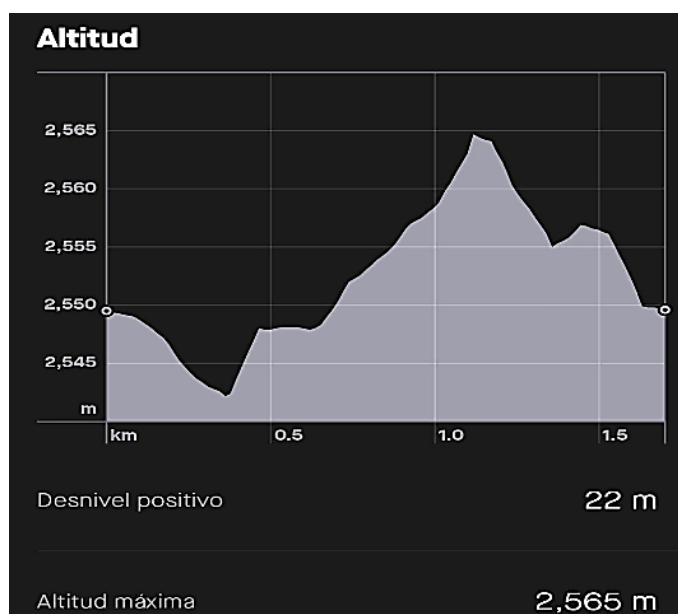
*Recorrido Prueba 4 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 49.**

*Altitud Prueba 4 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 50.**

*Velocidad Prueba 5 con modificación*



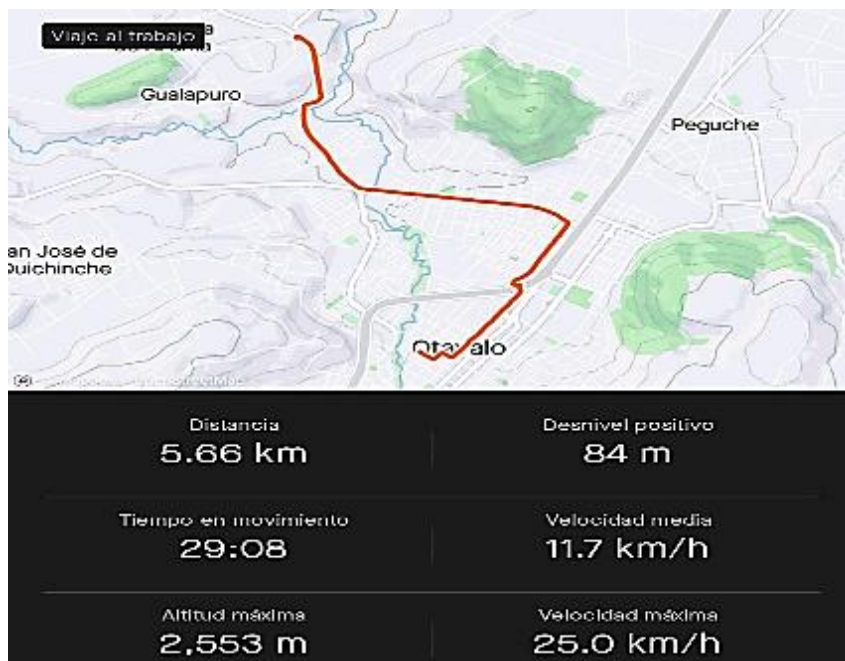
*Fuente:* Autores (2022)

### **3.3.5. Prueba 5**

En esta prueba se dio un recorrido largo desde la comunidad Azama, con un terreno mixto entre asfaltado y adoquinado de 5.660 m desde la salida de la comunidad como punto de partida, en un horario de tráfico medio/alto desde las 10:00 am, con un tiempo recorrido de 29m 08s, con una persona de 78 kg de peso en vías adoquinadas, con desnivel positivo de 84m un altitud máxima de 2.553 m, con una velocidad promedio de 11,7 km/h y una velocidad máxima de 25,0 km/h con hasta 19 frenados eléctricos y 20 frenados mecánicos calles en mal estado. Con una carga de batería de 85% con un desgaste de 18.34% quedando en 66.66% de batería, segmento de carga de batería tipo semáforo color verde 99,99, color amarillo 66,66 y color rojo 33,33. Las figuras 51, 52 y 53, presentan el recorrido, las altitudes alcanzadas y parámetros del recorrido respectivamente, en la prueba 5.

**Figura 51.**

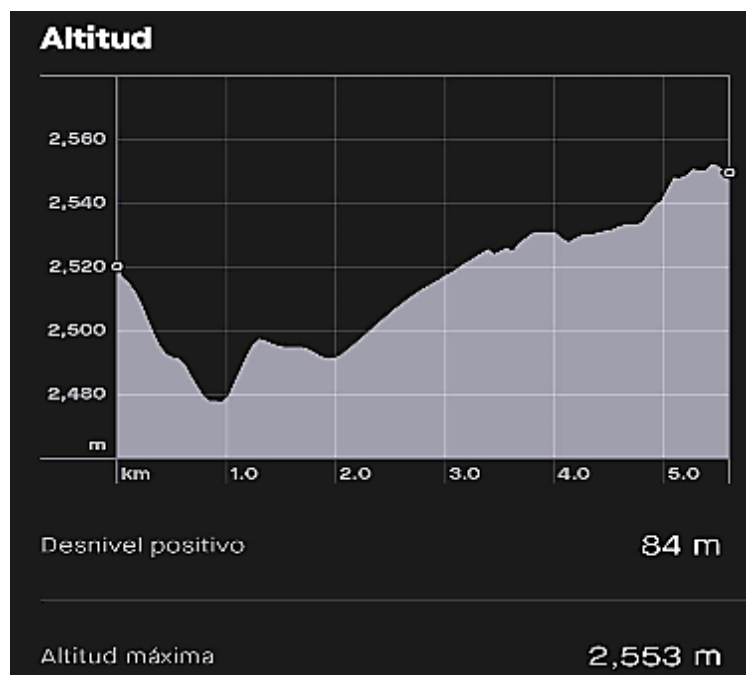
*Recorrido Prueba 5 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 52.**

*Altitud Prueba 5 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 53.**

*Velocidad Prueba 5 con modificación*



*Fuente:* Autores (2022)

### **3.3.6. Prueba 6**

En esta prueba se recorrieron 3.160 m desde la calle Cristóbal Colon como punto de partida, en un horario de tráfico medio desde las 10:24 am, con un tiempo recorrido de 30m 29s, con una persona de 65 kg de peso, en vías adoquinadas con desnivel positivo de 24 m una altitud máxima de 2.567 m, con una velocidad promedio de 6.2km/h y una velocidad máxima de 29.2 km/h con hasta 31 frenados eléctricos y 8 frenados mecánicos calles en mal estado. La Batería comenzó en 66.66% sin desgaste en batería ya que contaba con hasta 4 descensos consecutivos hasta el punto de llegada por lo tanto el freno regenerativo ayudo a no desgastar la batería tanto como se esperaba. Las figuras 54, 55 y 56, presentan el recorrido, las altitudes alcanzadas y parámetros del recorrido respectivamente, en la prueba 6.



**Figura 54.**

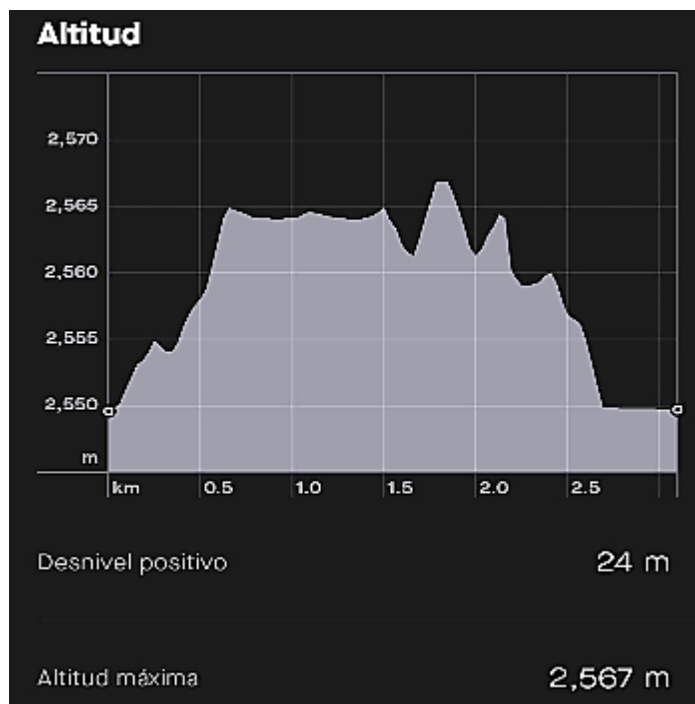
*Recorrido Prueba 6 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 55.**

*Altitud Prueba 6 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 56.**

*Velocidad Prueba 6 con modificación*



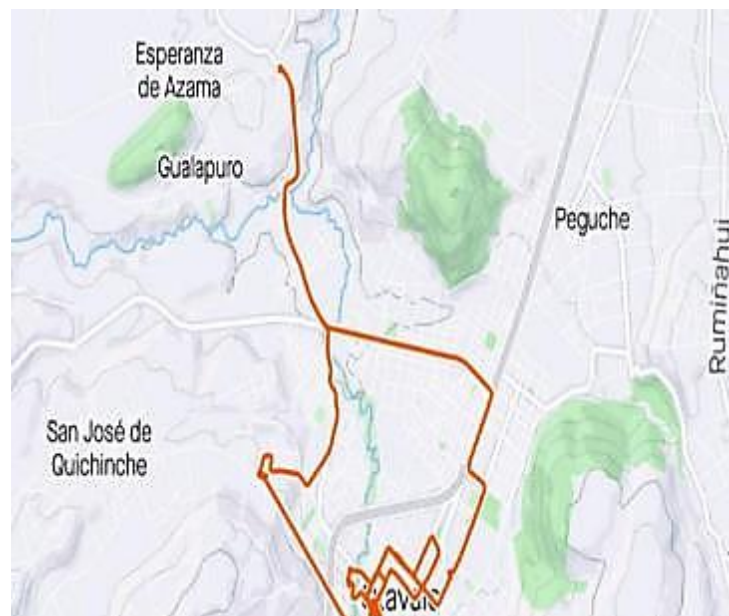
*Fuente:* Autores (2022)

### **3.3.7. Prueba 7**

En esta prueba se llevó a cabo un recorrido de 21.600 m desde la comunidad Esperanza de Azama como punto de partida y la llegada a la ciudad de Otavalo a la calle Cristóbal Colon, en un horario de tráfico medio desde las 11:15 am, con un tiempo recorrido de 1h 49m 40s, con una persona de 78 kg de peso en vías de asfalto, con desnivel positivo de 297 m un altitud máxima de 2.606 m, con una velocidad promedio de 11,8km/h y una velocidad máxima de 70.3 km/h con hasta 128 frenados eléctricos y 50 frenados mecánicos calles en mal estado. Esta constituyo la ruta más larga en las pruebas con scooter modificado para verificar su eficacia con una reducción de batería desde el 66% al 33%. Las figuras 57, 58 y 59, presentan el recorrido, las altitudes alcanzadas y parámetros del recorrido respectivamente, en la prueba 7.

**Figura 57.**

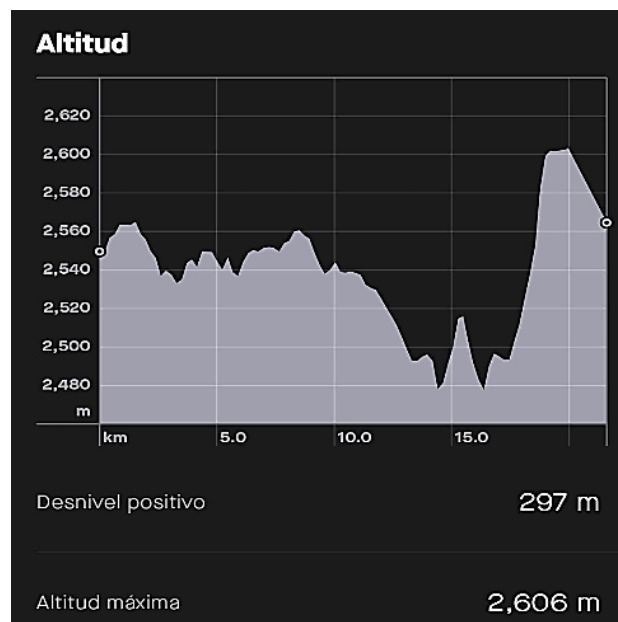
*Recorrido Prueba 7 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 58.**

*Altitud Prueba 7 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 59.**

*Velocidad Prueba 7 con modificación*



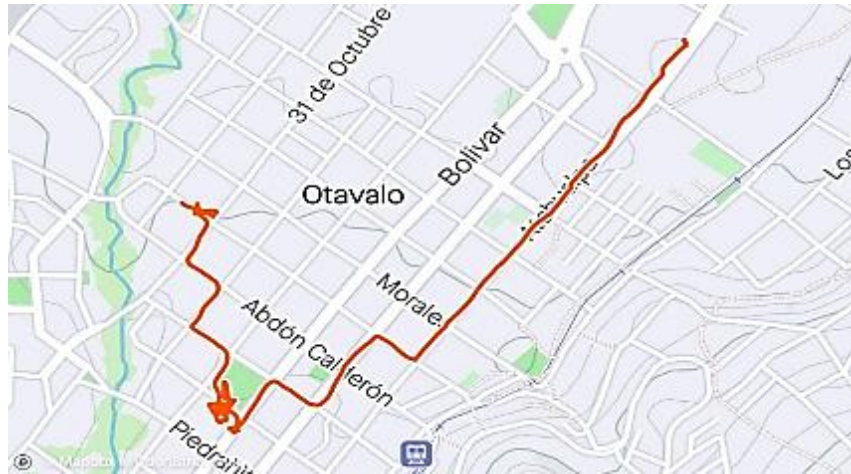
*Fuente:* Autores (2022)

### **3.3.8. Prueba 8**

En esta prueba se realizó un recorrido de 3.290 m desde la avenida Atahualpa como punto de partida y llegada al parque bolívar, en un horario de tráfico medio desde las 12:05 pm, con un tiempo recorrido de 32m 40s, con una persona de 78 kg de peso en vías adoquinadas. con desnivel positivo de 29 m una altitud máxima de 2.565m, con una velocidad promedio de 6.0km/h y una velocidad máxima de 34,0 km/h con hasta 10 frenados eléctricos y 5 frenados mecánicos, las calles se encontraban en mal estado y resulto una prueba realizada con tráfico muy fluido. Se realizó la primera carga desde la modificación batería al 99.99%. Las figuras 60, 61 y 62, presentan el recorrido, las altitudes alcanzadas y parámetros del recorrido respectivamente, en la prueba 8.

**Figura 60.**

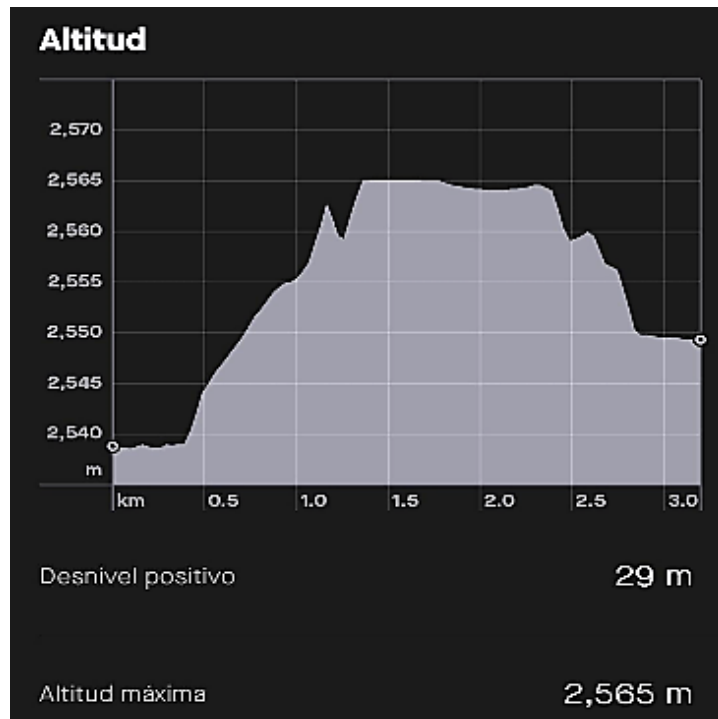
*Recorrido Prueba 8 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 61.**

*Altitud Prueba 8 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 62.**

*Velocidad Prueba 8 con modificación*



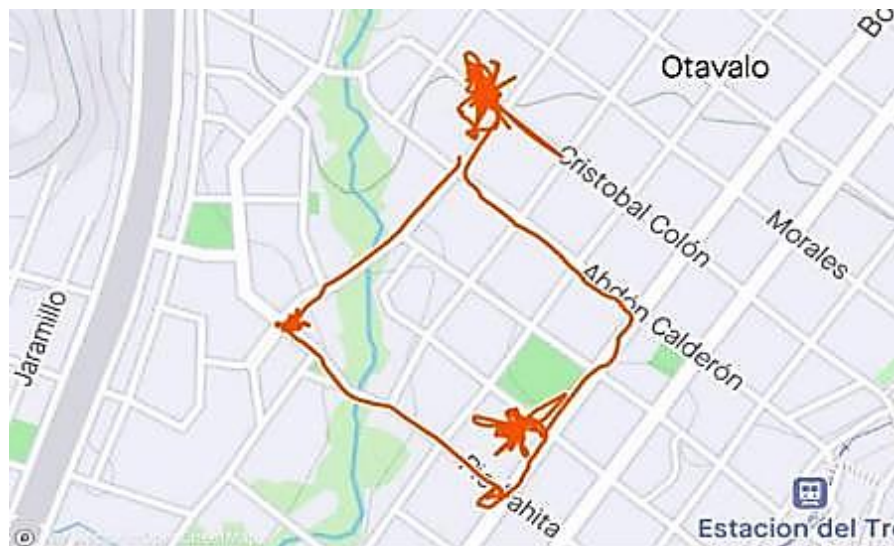
*Fuente: Autores (2022)*

### **3.3.9. Prueba 9**

En esta prueba se desarrolló un recorrido de 5.550 m desde la calle Cristóbal colon como punto de partida y llegada al mismo punto de partida, en un horario de tráfico medio desde las 11:30 am, con un tiempo recorrido de 1h 02m 00s, con una persona de 82 kg de peso en vías adoquinadas, con desnivel positivo de 28 m un altitud máxima de 2.570 m, con una velocidad promedio de 5,4 km/h y una velocidad máxima de 46,0 km/h, con hasta 55 frenados eléctricos y 8 frenados mecánicos calles en mal estado una prueba realizada con tráfico muy fluido. La batería comenzó con el 99,99% inicial y no se ha constatado desgaste en la prueba el semáforo de batería, manteniéndose en verde. Las figuras 63, 64 y 65, presentan el recorrido, las altitudes alcanzadas y parámetros del recorrido respectivamente, en la prueba 9.

**Figura 63.**

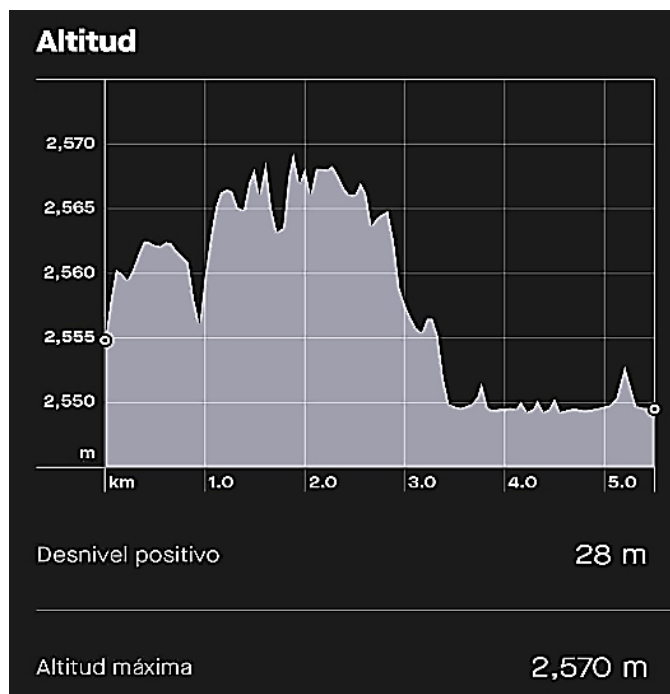
*Recorrido Prueba 9 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 64.**

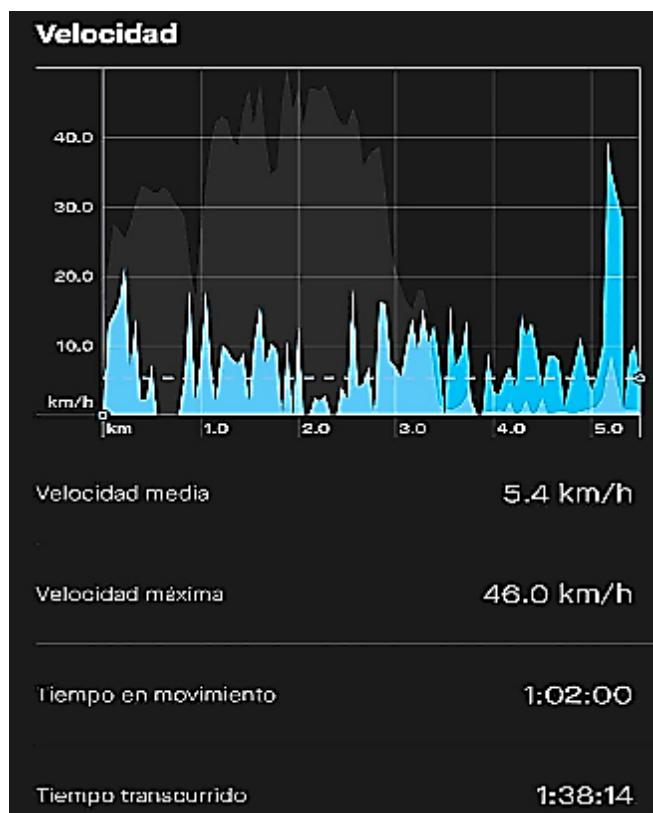
*Altitud Prueba 9 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 65.**

*Velocidad Prueba 9 con modificación*



*Fuente:* Autores (2022)

### **3.3.10. Prueba 10**

En esta prueba se recorrieron 2.370 m desde la comunidad San Juan Alto como punto de partida y llegada a la universidad de Otavalo, en un horario de tráfico medio desde las 04:42 pm, con un tiempo recorrido de 7m 37s, con una persona de 78kg de peso en vías adoquinadas, con desnivel positivo de 3 m, con una altitud máxima de 2.605 m, con una velocidad promedio de 18.7km/h y una velocidad máxima de 30.7 km/h, con hasta 27 frenados eléctricos y 15 frenados mecánico vía panamericana asfaltado. Al finalizar las pruebas se comprobó, que para su realización dentro del periodo de un mes solo basto una carga dando como un resultado positivo a la modificación y seguridad del freno de sistema KERS regenerativo. Las figuras 66, 67 y 68, presentan el recorrido, las altitudes alcanzadas y parámetros del recorrido respectivamente, en la prueba 10.



**Figura 66.**

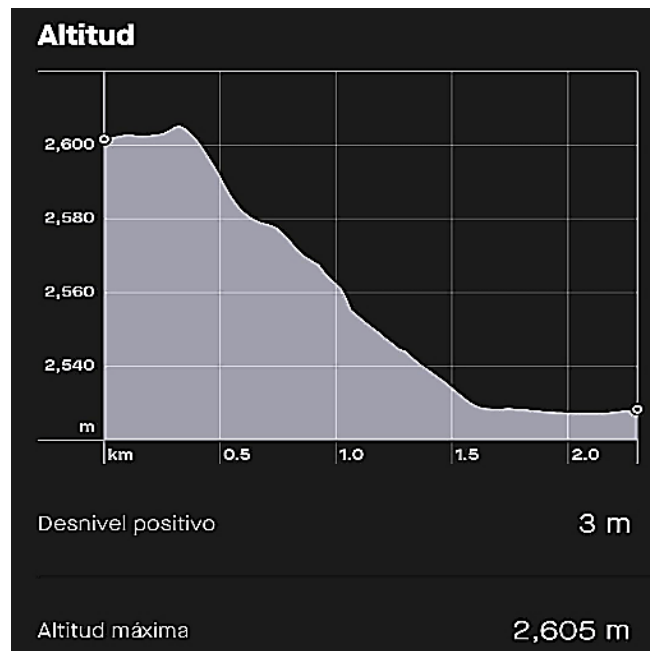
*Recorrido Prueba 10 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 67.**

*Altitud Prueba 10 con modificación*



*Fuente: Autores (2022)*

**Figura 68.**

*Velocidad Prueba 10 con modificación*



*Fuente:* Autores (2022)

En la tabla 4, se detalla el resumen de los resultados de las diversas pruebas realizadas con el vehículo con el sistema KERS incorporado. Se puede primero denotar que la cantidad de pruebas fue el doble, y la cantidad de distancia recorrida fue mucho mayor que en las pruebas anteriores, pero en cambio la cantidad de rendimiento de la batería se incrementó notablemente, se nota también una relación entre la cantidad de los frenados eléctricos y el ahorro energético, que se manifestaba en poca pérdida de carga de la batería de acuerdo al recorrido.

**Tabla 4.**

*Resumen de Resultados Pruebas con el sistema KERS incorporado*

	<b>Distancia Recorrida</b>	<b>Hora de Inicio</b>	<b>Carga Soportada</b>	<b>Numero de Frenado Eléctrico</b>	<b>Desgaste de Carga de batería</b>
<b>Prueba 01</b>	1.710 m	9:00 a. m.	78 kg	17	Sin Desgaste
	<b>Tiempo de Recorrido</b>	<b>Desnivel positivo</b>	<b>Altura Máxima</b>	<b>Velocidad Promedio</b>	<b>Velocidad Máxima</b>
	20m 17s	20 m	2.565 m	10,1 km/ h	26,1 km/h

<b>Prueba 02</b>	<b>Distancia Recorrida</b>	<b>Hora de Inicio</b>	<b>Carga Soportada</b>	<b>Numero de Frenado Eléctrico</b>	<b>Desgaste de Carga de batería</b>
	1.790 m	1:00 p. m.	62 kg	38	Sin Desgaste
	<b>Tiempo de Recorrido</b>	<b>Desnivel positivo</b>	<b>Altura Máxima</b>	<b>Velocidad Promedio</b>	<b>Velocidad Máxima</b>
	18m 8s	19 m	2.566 m	5,9 km/ h	21,7 km/h
<b>Prueba 03</b>	<b>Distancia Recorrida</b>	<b>Hora de Inicio</b>	<b>Carga Soportada</b>	<b>Numero de Frenado Eléctrico</b>	<b>Desgaste de Carga de batería</b>
	3.080 m	3:50 p. m.	78 kg	25	5%
	<b>Tiempo de Recorrido</b>	<b>Desnivel positivo</b>	<b>Altura Máxima</b>	<b>Velocidad Promedio</b>	<b>Velocidad Máxima</b>
	25m 32s	37 m	2.564 m	7,2 km/ h	39,9 km/h
<b>Prueba 04</b>	<b>Distancia Recorrida</b>	<b>Hora de Inicio</b>	<b>Carga Soportada</b>	<b>Numero de Frenado Eléctrico</b>	<b>Desgaste de Carga de batería</b>
	1.790 m	3:30 p. m.	65 kg	8	10%
	<b>Tiempo de Recorrido</b>	<b>Desnivel positivo</b>	<b>Altura Máxima</b>	<b>Velocidad Promedio</b>	<b>Velocidad Máxima</b>
	9m 16s	22 m	2.565 m	11,6 km/ h	26,0 km/h
<b>Prueba 05</b>	<b>Distancia Recorrida</b>	<b>Hora de Inicio</b>	<b>Carga Soportada</b>	<b>Numero de Frenado Eléctrico</b>	<b>Desgaste de Carga de batería</b>
	5.660 m	10:00 a. m.	78 kg	19	18,34%
	<b>Tiempo de Recorrido</b>	<b>Desnivel positivo</b>	<b>Altura Máxima</b>	<b>Velocidad Promedio</b>	<b>Velocidad Máxima</b>
	29m 08s	84 m	2.553 m	11,7 km/ h	25,0 km/h
<b>Prueba 06</b>	<b>Distancia Recorrida</b>	<b>Hora de Inicio</b>	<b>Carga Soportada</b>	<b>Numero de Frenado Eléctrico</b>	<b>Desgaste de Carga de batería</b>
	3.160 m	10:24 a. m.	65 kg	31	Sin Desgaste
	<b>Tiempo de Recorrido</b>	<b>Desnivel positivo</b>	<b>Altura Máxima</b>	<b>Velocidad Promedio</b>	<b>Velocidad Máxima</b>
	30m 29s	24 m	2.567 m	6,2 km/ h	29,2 km/h
<b>Prueba 07</b>	<b>Distancia Recorrida</b>	<b>Hora de Inicio</b>	<b>Carga Soportada</b>	<b>Numero de Frenado Eléctrico</b>	<b>Desgaste de Carga de batería</b>
	21.600 m	11:15 a. m.	78 kg	128	33%
	<b>Tiempo de Recorrido</b>	<b>Desnivel positivo</b>	<b>Altura Máxima</b>	<b>Velocidad Promedio</b>	<b>Velocidad Máxima</b>
	1h 49m 40s	297 m	2.606 m	11,8 km/ h	70,3 km/h
<b>Prueba 08</b>	<b>Distancia Recorrida</b>	<b>Hora de Inicio</b>	<b>Carga Soportada</b>	<b>Numero de Frenado Eléctrico</b>	<b>Desgaste de Carga de batería</b>
	3.290 m	12:05 p. m.	78 kg	10	34%
	<b>Tiempo de Recorrido</b>	<b>Desnivel positivo</b>	<b>Altura Máxima</b>	<b>Velocidad Promedio</b>	<b>Velocidad Máxima</b>
	32m 40s	29 m	2.565 m	6,0 km/ h	34,0 km/h

<b>Prueba 09</b>	<b>Distancia Recorrida</b>	<b>Hora de Inicio</b>	<b>Carga Soportada</b>	<b>Numero de Frenado Eléctrico</b>	<b>Desgaste de Carga de batería</b>
	5.550 m	11:30 a. m.	82 kg	55	Sin Desgaste
	<b>Tiempo de Recorrido</b>	<b>Desnivel positivo</b>	<b>Altura Máxima</b>	<b>Velocidad Promedio</b>	<b>Velocidad Máxima</b>
	1h 02m 00s	28 m	2.570 m	5,4 km/ h	46,0 km/h
<b>Prueba 10</b>	<b>Distancia Recorrida</b>	<b>Hora de Inicio</b>	<b>Carga Soportada</b>	<b>Numero de Frenado Eléctrico</b>	<b>Desgaste de Carga de batería</b>
	2.370 m	4:42 p. m.	78 kg	27	Sin Desgaste
	<b>Tiempo de Recorrido</b>	<b>Desnivel positivo</b>	<b>Altura Máxima</b>	<b>Velocidad Promedio</b>	<b>Velocidad Máxima</b>
	7m 37s	3 m	2.605 m	18,7 km/ h	30,7 km/h

*Fuente: Autores (2022)*

## CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se establece el análisis del sistema de freno regenerativo, su comportamiento, los niveles de la recuperación de energía y la eficiencia del proceso de frenado en función a los datos aportados por las pruebas experimentales.

Lo primero es establecer el grado de eficacia del sistema, esto se puede lograr, si se comparan las dos series de pruebas, donde se aprecia que con el sistema KERS se quintuplica la distancia que se puede recorrer con casi la misma cantidad de desgaste de carga en la batería como se refleja en la tabla 5. En otras palabras, exactamente se puede lograr un desplazamiento 4,2 mayor y aun no faltaría un 5% de desgaste para igualar resultados.

**Tabla 5.**

*Comparación entre resultados totales de las pruebas realizadas*

<b>Serie de Pruebas</b>	<b>Distancia Total Recorrida</b>	<b>Desgaste total de Carga de Batería</b>
Pruebas sin modificación	12.000 m	105%
Pruebas con modificación	50.360 m	100%

*Fuente:* Autores (2022)

En función a los niveles de recuperación de energía, se establece de acuerdo a la tabla 6 que, si se realiza una frenada eléctrica, aproximadamente cada 100 metros, se puede lograr la reposición de la energía suministrada por la batería para el desplazamiento del scooter durante el recorrido, si esta distancia promedio entre frenados eléctricos, se prologa, o es mayor a cien metros, se comienza a notar un desgaste en la carga de la batería, puesto que la energía suministrada por el sistema KERS es menor a la necesaria para el desplazamiento del vehículo.

En otras palabras, por lógica a mayor cantidad de frenadas eléctricas mayor será la energía recuperada, que disminuye el desgaste de la batería, pero obviamente el mayor número de estas frenadas implicaría un desplazamiento poco fluido, debe existir un equilibrio entre las frenadas realizadas y las condiciones del optimas de desplazamiento, por eso en entornos urbanos se puede aprovechar los aspectos de tráfico y terreno.

**Tabla 6.**

*Relación entre la distancia promedio de frenado y el desgaste de la carga en la batería.*

<b>Prueba</b>	<b>Distancia Recorrida (en metros)</b>	<b>Numero de Frenado Eléctrico</b>	<b>Desgaste de Carga de batería</b>	<b>Relación Distancia-Frenado (metros por frenado)</b>
1	1710	17	0%	101
2	1790	38	0%	47
3	3080	25	5%	123
4	1790	8	10%	224
5	5660	19	18,34%	298
6	3160	31	0%	102
7	21600	128	33%	169
8	3290	10	34%	329
9	5550	55	0%	101
10	2730	27	0%	101

*Fuente:* Autores (2022)

Se debe tomar en cuenta que dentro de los factores que afectan al scooter eléctrico promedio se pueden incluir la velocidad promedio, el tamaño de la batería, el tamaño del motor y la eficiencia del motor. Sin embargo, podría decirse que el factor de mayor impacto es cuánto peso tiene que llevar el scooter. Esto incluye el peso del patinete eléctrico, el peso del conductor y cualquier carga de peso además de esto, en este caso el sistema KERS incorporado, pero la mayor parte del peso incorporado estaba en la rueda motor que fue sustituida, por lo que al final el peso adicional no supera el kilogramo.

También se realiza la aclaración que al no intervenir directamente dentro del elemento motor principal del scooter, este no ve afectada directamente sus prestaciones iniciales, más allá de incorporar mayor masa adicional por el sistema KERS incorporado.

Sobre la factibilidad económica asociada a la incorporación de un sistema KERS a un scooter eléctrico convencional, se presenta primero los costos directos asociados al proyecto en la tabla 7.

**Tabla 7.**

*Costos Asociados a la incorporación del Sistema KERS al Scooter Eléctrico.*

<b>Elemento</b>	<b>Costo Asociado</b>
Vehículo Folding Electric Scooter Marca Smiles	\$ 250,00
Kit de conversión de sistema KERS Marca L-Faster	\$ 100,00
Insumos de Instalación	\$ 20,00
<b>Total</b>	<b>\$ 370,00</b>

*Fuente:* Autores (2022)

Si se compara este precio con el valor de scooter eléctricos que ya incorporan el sistema KERS, como el Xiaomi M365, el E-Micro Merlin X4 y el E-Scooter Segway-Ninebot Max G30 los cuales presentan un costo que oscila en el rango de los 700 a los 900 dólares, el proyecto realizado, resulta una opción viable, si se tomó en cuenta la relación costo autonomía alcanzada.

## CONCLUSIONES

Se realizó una revisión documental sobre los diversos elementos que componen a un scooter eléctrico, en especial sus sistemas motores y de frenado, se analizó la definición y funcionamiento de un sistema de freno regenerativo, sus aspectos funcionales, la normativa relacionada, y los elementos que lo componen.

Se efectuó la selección de un Kit de conversión de sistema KERS con Motor de rueda sin escobillas para scooter eléctrico, requerido para la ejecución de una carga automática en cada frenado eléctrico, que cumplía con las especificaciones técnicas requeridas para realizar las pruebas y que presentaba un medio de revisión de la carga de la batería.

Se llevo a cabo, la adaptación del sistema de freno regenerativo, utilizando los componentes adecuados al scooter Folding Electric Scooter asegurando la correcta recuperación de energía, en este caso el proceso implico la remoción de la rueda delantera y el controlador o módulo electrónico que venía con el Scooter por el que se requería para la incorporación del sistema KERS.

Se analizo el sistema de freno regenerativo, su comportamiento, los niveles de la recuperación de energía y la eficiencia del proceso de frenado, a través de pruebas experimentales, dando como resultado un aumento de 4,2 veces de desplazamiento con la misma carga de batería, generándose una reposición de carga gastada si se realiza en promedio al menos un frenado eléctrico cada 100 metros. El sistema permite además mejorar la autonomía de scooter convencionales como alternativa a la compra de un equipo nuevo que incorpore este sistema, por un costo accesible.



## **RECOMENDACIONES**

Realizar una mayor cantidad de pruebas al scooter modificado, para probar el rendimiento del sistema KERS en un periodo prolongado de tiempo.

Extrapolar este tipo de estudios a vehículos eléctricos como bicicletas y motos eléctricas con mayor velocidad y potencia.

Revisar las normas locales en cuanto al uso de los vehículos eléctricos como Scooter en áreas urbanas para mejorar la seguridad de sus usuarios y demás transeúntes.

## REFERENCIAS

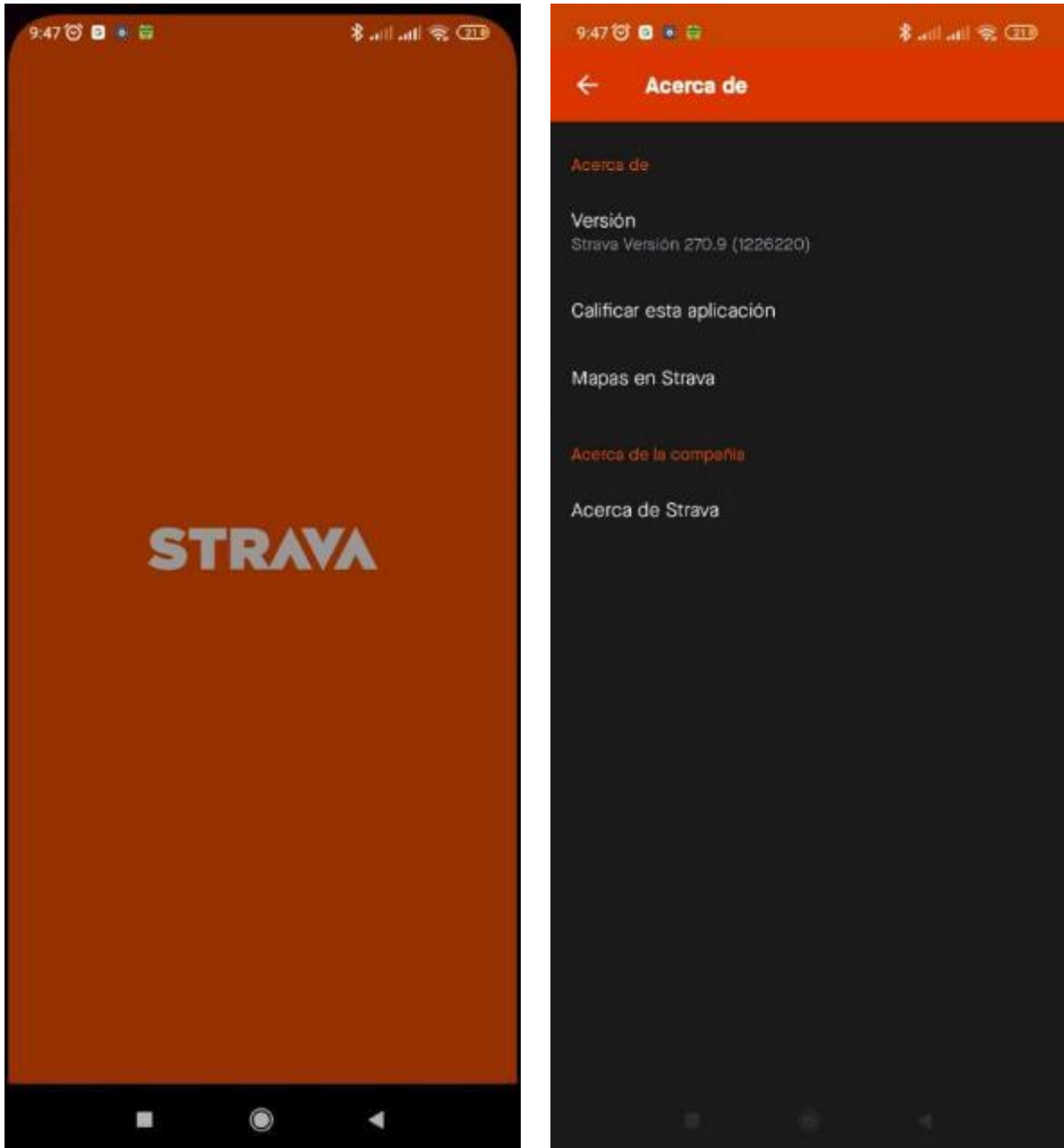
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2021). *Emisiones de dióxido de carbono*. Obtenido de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono>
- Asociación Española de Normalización UNE. (2020). UNE-EN 17128:2020. *ehículos ligeros motorizados para el transporte de personas y mercancías e instalaciones relacionadas y no sujetos a homologación para uso en carretera. Vehículos eléctricos ligeros personales (PLEV). Requisitos de seguridad y métodos de ensayo*. España.
- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación* (3era ed.). México: Grupo Editorial Patria. Retrieved 06 15, 2021, from [http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales\\_de\\_consulta/Drogas\\_de\\_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf)
- Boletín Oficial del Estado. (10 de Noviembre de 2020). Real Decreto 970/2020 por el que se modifican el Reglamento General de Circulación aprobado por Real Decreto 1428/2003 de 21 de noviembre y el Reglamento General de Vehículos aprobado por Real Decreto 2822/1998 de 23 de diciembre en materia de medidas. *urbanas de tráfico*(297). España. Obtenido de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2020/11/10/970>
- Boletín Oficial del Estado. (21 de enero de 2022). Resolución de 12 de enero de 2022, de la Dirección General de Tráfico, por la que se aprueba el Manual de características de los vehículos de movilidad personal. (18). España. Obtenido de [https://www.boe.es/eli/es/res/2022/01/12/\(3\)](https://www.boe.es/eli/es/res/2022/01/12/(3))
- Bosch. (2021). *Regenerative braking systems*. Obtenido de Reduce consumption and help protect the environment: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/driving-safety/regenerative-braking-systems/>
- Centro Nacional de Metrología. (2019). *¿Qué es un dinamómetro vehicular y cómo se usa para la medición de emisiones contaminantes de los vehículos?* Obtenido de Dinamómetros vehiculares calibrados, condición fundamental en el Programa de Verificación Vehicular: <https://www.gob.mx/cenam/articulos/que-es-un-dinamometro-vehicular-y-como-se-usa-para-la-medicion-de-emisiones-contaminantes-de-los-vehiculos>
- Chapi, J., & Correa, Á. (2021). *Desarrollo de un sistema electrónico para la autonomía en bicicletas eléctricas con freno regenerativo a base de supercondensadores*. Universidad

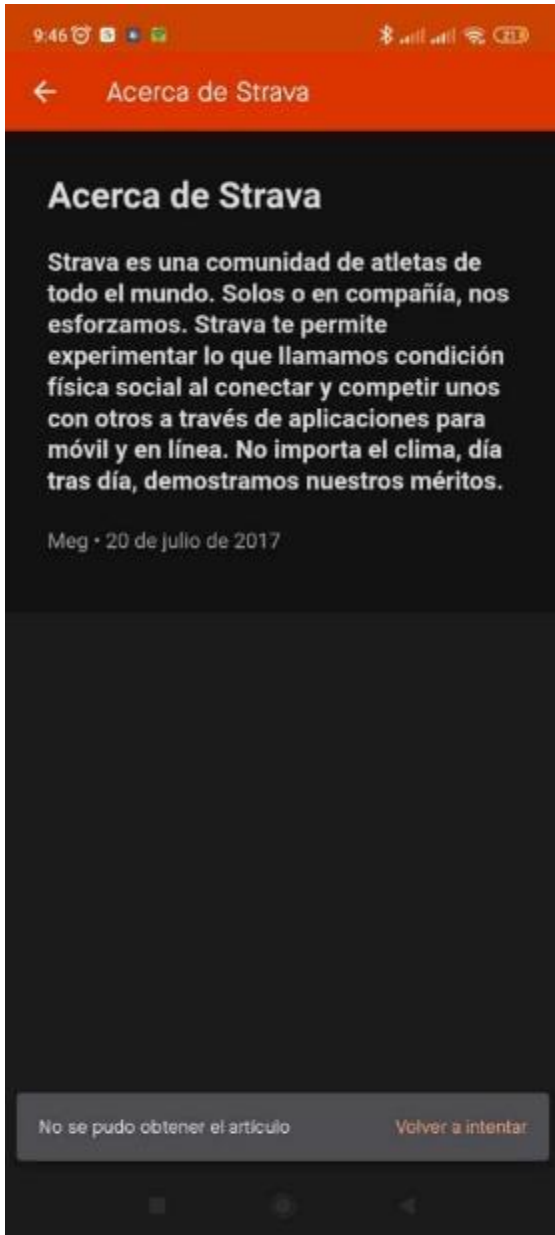
- Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, Ibarra. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11155>
- Chiriboga, E., & Velasco, C. (2017). *Diseño e implementación de un sistema de freno regenerativo y transmisión eléctrica en una motocicleta convencional para la carrera de Ingeniería Automotriz. Tesis de Grado en Ingeniería Automotriz*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/7658>
- Electrostore. (2019). *Módulo de Carga Automática y Control de Batería 12V XH-M601*. Obtenido de <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/cargadores-para-baterias/modulo-de-carga-y-control-de-bateria-xh-m601/>
- Guerra, P. (2021). *Estudio de factibilidad para la creación de una microempresa dedicada al lavado y lubricado de vehículos, utilizando un sistema de reutilización de aguas, en la ciudad de Otavalo, provincia de Imbabura*. Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas. Carrera de Contabilidad y Auditoría, Ibarra. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11350>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 004-2:2011. *Señalización Vial. Parte 2. Señalización Horizontal*. Quito, Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656:2012 Clasificación Vehicular. Quito, Ecuador.
- Jaramillo, E. (2018). *Sistema de frenos regenerativos en autos eléctricos e híbridos en el taller automotriz Quinteros en el barrio Martha Bucaram. Tesis de Grado en Licenciatura en Mecánica Automotriz*. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Filosofía Letras y Ciencias de La Educación. Carrera Mecánica Automotriz, Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/16215>
- L-faster Electric Vehicle Studio. (2019). *Electric Scooter Brushless Hub Motor Kit (58mm) 24V / 36V / 48V 180W*. Retrieved from <https://www.l-faster.com/items/180w-e-scooter-hub-motor-kit-58mm/>
- López, J. (2020). *Ventajas y beneficios de las scooters eléctricas*. Obtenido de <https://movilidadelectrica.com/ventajas-y-beneficios-scooters-electricas/>

- MERCOSUR. (1995). MERCOSUR/GMC/RES N° 35/94 - ANEXO: Reglamento Armonizado Clasificación de Vehículos.
- Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (2019). *Reglamento Técnico Ecuatoriano de señalización vial*. Obtenido de <https://www.gob.ec/regulaciones/reglamento-tecnico-ecuadoriano-senalizacion-vial>
- NACTO. (2021). *Urban Bikeway Design Guide*. Obtenido de <https://nacto.org/publication/urban-bikeway-design-guide/>
- Paredes, L. (2019). Electromovilidad y Eficiencia Energética en el Transporte Público de Pasajeros del Ecuador Continental. *Revista Técnica "Energía"*, 16(1), 91-100. Retrieved from <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v16.n1.2019.340>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2017). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204 Segunda revisión 2017-01 Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites Permitidos de Emisiones Producidas Por Fuentes Móviles Terrestres que Emplean Gasolina. Quito, Ecuador.
- Smilescooter. (2018). X8. Retrieved from <https://www.smilescooter.com/x8/>
- Varela, C. (2020). Aplicaciones de energía cinética en electromovilidad autónoma y sostenible. *Revista UIS Ingenierías*, 19(4), 167-180. doi:<https://doi.org/10.18273/revuin.v19n4-2020015>

## ANEXOS

### Anexo A. Aplicación Strava





## Anexo B. Desnivel del área urbana de la Ciudad de Otavalo



### MEMORANDO N° – 022 – TOPO – 2022

**PARA:** Arq. Consuelo Pabon C.  
**DIRECTORA DE ORDENAMIENTO  
TERRITORIAL Y PLANIFICACION**

**ASUNTO:** consulta sobre pendientes

**FECHA:** 02 de agosto de 2022

Atendiendo sumilla inserta en RDE-2022-C44-0942 de fecha 08 de julio de 2022, luego de revisar y realizar el análisis de pendientes en el MDT (modelo digital del terreno) del área urbana de la ciudad desde el redonde de la intersección de la avenida Paz Ponce de León con la vía E35, continuando por el eje de la calle Bolívar hasta la intersección de esta con la vía E35, con una longitud total de 2150m se pudo determinar que la pendiente general es de 1.84%, la cota más baja de este trazado corresponde a 2528msnm y la final a 2567msnm, con un diferencia de altura global de 39m.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines consiguientes.

Atentamente,



Ing. Jorge Recalde  
Topógrafo /Analista I

## Anexo C. Ensamblaje del Scooter





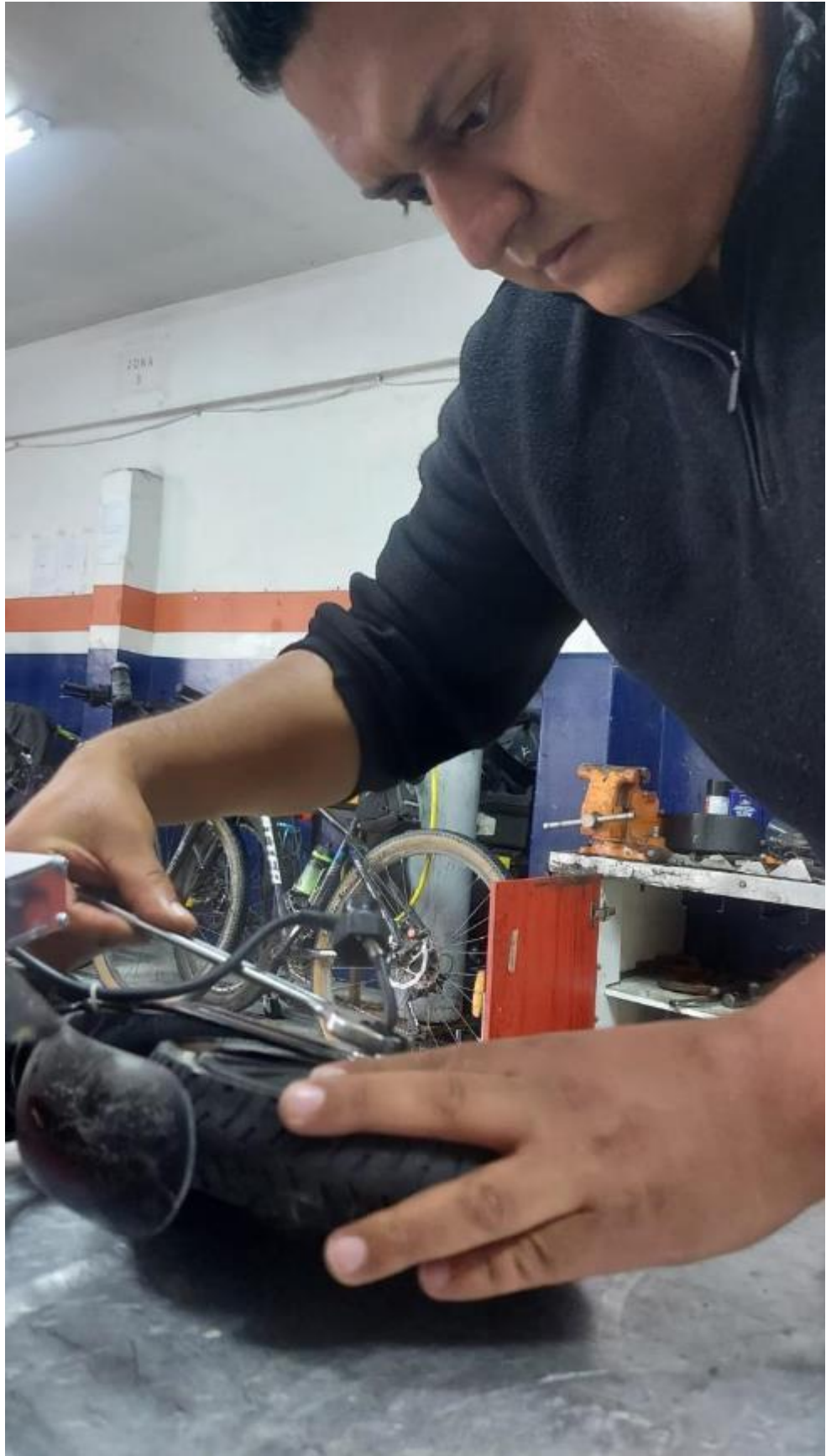












**Anexo D. Pruebas con el Scooter**







