

Análisis y descripción del impacto de la moto eléctrica en el sistema de distribución



Cristian David Zuleta Duque

Juan David Salazar Salazar

Análisis y descripción del impacto de la moto eléctrica en el sistema de
distribución

Cristian David Zuleta Duque

Juan David Salazar Salazar

Trabajo de grado presentado como requisito

Parcial para optar al título de

Ingeniero Electricista

Pereira, Noviembre de 2018

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

Programa de Ingeniería Eléctrica.



Análisis y descripción del impacto de la moto eléctrica en el sistema de distribución

Cristian David Zuleta Duque

Juan David Salazar Salazar

Director: Alexander Molina Cabrera

Pereira, Noviembre de 2018

Programa de Ingeniería Eléctrica.

Universidad Tecnológica de Pereira

La Julita. Pereira (Colombia)

Tel: (+57)(6)3137122

AGRADECIMIENTOS

- Cristian David Zuleta Duque

En primera instancia agradecer a Dios porque me permite sonreír ante las adversidades y logros, por la bendición de la vida con la hermosa oportunidad de compartir con mi familia y las fuerzas para sacar adelante cualquier meta que me propongo en la vida.

A mi familia especialmente a mi hija Celeste Zuleta Ciro porque es mi polo a tierra en mi vida diaria y el motor que me impulsa a seguir adelante, a mis padres por el hecho de darme la vida y por su apoyo incondicional durante todo este proceso educativo.

A mi director de tesis Alexander Molina Cabrera por su ayuda en la solución de cada obstáculo que se presentó, por su compromiso, tiempo y dedicación que fueron cruciales para el desarrollo de este trabajo.

A mi compañero de tesis Juan David Salazar Salazar por la dedicación, el entusiasmo y el compromiso con este trabajo.

- Juan David Salazar Salazar

Ante todo, agradezco a Dios por permitir que cada día amanecer con vida para poder disfrutar y ser felices con las personas que amamos, por darme fuerza y cumplir cada día una nueva meta.

A una parte fundamental de mi la cual es mi familia especialmente a mi madre, quien me impulsa y me anima a cumplir a cabalidad mis logros. A mi padre y mi hermano que me han apoyado a lo largo de mi vida.

Al director de tesis por su empeño, entrega, compromiso y animo con cada vez que nos alentó en seguir con el este proyecto fue crucial para llevarlo a cabalidad.

A mi compañero de tesis, por darme la mano desde que empezamos la carrera juntos.

RESUMEN

En este trabajo se desarrolló el impacto de la motocicleta eléctrica en la red de distribución, donde se propuso y se desarrolló un dispositivo de medición basado en la toma de datos en tiempo real con la ayuda de una tarjeta de adquisición de datos, posteriormente mediante la segunda ley de Newton se logra establecer el modelo de la motocicleta eléctrica en función de diferentes variables como lo son el peso, la fuerza de rodadura, la fuerza aerodinámica, la fuerza motriz y por último la fuerza gravitacional con sus respectivas componentes, este modelo se implementó tanto para la subida como para la bajada, así mismo se registró la cantidad y los diferentes recorridos de las motos de combustión interna que se dirigen hacia la universidad tecnológica de Pereira, los datos recolectados mediante encuesta virtual y presencial se emplearon para establecer mediante las matrices de origen destino la potencia consumida por la moto eléctrica en diferentes recorridos para proponer y validar los beneficios del cambio de las motos de combustión interna por motos eléctricas en los usuarios de la Universidad Tecnológica que aceptarían dicho cambio, finalmente verificando los resultados obtenidos se concluye con el objetivo principal del impacto de la motocicleta en la red de distribución.

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema	5
1.2 Justificación	6
1.3 Objetivos.....	8
1.3.1 Objetivo general	8
1.3.2 Objetivos específicos.....	8
1.4 Estado del Arte	9
METODOLOGÍA.....	11
2.1. Estudio de movilidad.....	11
2.1.1. Modelo basado en viajes.....	11
2.1.2. Encuesta.....	13
2.2. Modelamiento.....	15
2.3. Medición y dispositivo de adquisición de datos	18
2.3.1 Sensor	19
2.3.2 Dispositivo DAQ.....	22
2.3.3 Software Controlador	24
2.3.4 Formato de almacenamiento de datos	25
2.3.5 La alimentación del circuito de adquisición.....	26
RESULTADOS	27
3.1. Gráficas y perfiles de los recorridos de pruebas.....	27
3.2. Resultado de las encuestas.....	36

3.3 Modelo.....	38
3.4 Impacto de la carga sobre el sistema de distribución	51
3.4.1 Factor de descarga.	53
CONCLUSIONES.....	60
4.1 Trabajos futuros.....	61
Bibliografía.....	60

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

Desde el siglo XIX varios países se unen mediante agencias, acuerdos y cumbres con el fin de promover la seguridad energética, debido a políticas energéticas sostenibles que estimulan el crecimiento económico y la protección ambiental en un contexto global.

La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero contribuyen al cambio climático, esto se logrará a través de la eficiencia energética mejorada, el desarrollo y despliegue de tecnologías bajas en carbono.

En diciembre del 2015 se anunció el Acuerdo de Paris el cual fue implementado en noviembre del 2016 con el objetivo de limitar el aumento de la temperatura media global a límites aceptables para las futuras generaciones.

La Agencia internacional de Energía (AIE) establecida en noviembre de 1974, es una agencia autónoma comprometida en encontrar soluciones a los desafíos energéticos globales con el fin de disminuir la producción de gases de efecto invernadero (GEI).

Se da a conocer las diferentes políticas de algunos países a favor de la lucha contra el calentamiento global. La posible electrificación del sector de transporte desempeña un papel importante en el escenario, destinados a la descarbonización del sistema energético, debido a que el parque automotor en el 2017 representaba el 23% de las emisiones mundiales de GEI.

Actualmente se ha presentado recortes importantes a los GEI gracias a la movilidad eléctrica, con los vehículos de corta distancia, entiéndase estos vehículos de dos ruedas, tres ruedas, vehículos livianos para pasajero (PLDV), transporte público y de carga. A continuación, se presentará la proyección de 2 clases de vehículos en el parque automotor para los países de China y Europa, seguidos de Japón y EEUU [1].

Vehículo Año \ Clase de	PLDV	2 ruedas
2030	150 millones (alrededor del 10% a nivel mundial)	400 millones (alrededor del 40% a nivel mundial)
2060	1,2 mil millones (mayor del 60% a nivel mundial)	Para el 2055 se electrificarán por completo

Figura 1. 1 Información de vehículos de corta distancia.

El foro de la iniciativa de vehículos eléctricos (EVI) establecida en 2009 bajo la Ministerial de energía limpia (CEM) es una realidad, el cual invita a los diferentes gobiernos al despliegue de los vehículos eléctricos (EV) en todo el mundo.

A partir del 2016 el EVI junto a diferentes gobiernos han subido las ventas en el mercado del PLDV con más de 750 mil ventas en todo el mundo. Noruega da el paso más notable con un 29 %, los países bajos con 6,4 %, Suecia con 3,4 %, y un 1,5 % los países de China, Francia y Reino Unido cada uno, estos porcentajes son basado los vehículos vendidos.

China con un porcentaje pequeño es el país donde más automóviles eléctricos vendidos en el mundo, en efecto a la gran cantidad de vehículos en el sector de transporte. En India, Sudáfrica y las Coreas son miembros activos a esta iniciativa, debido a su gran demanda en el servicio de transporte público, esto con el fin de establecer un trilema energético que se constituye como la eficiencia energética, la seguridad energética, y la mitigación del impacto ambiental [1].

Las cifras anteriores no tienen comparación con las de Colombia, el cual cuenta con mucho menos vehículos eléctricos circulando por el país, no obstante, la iniciativa que ha tenido Colombia en la parte de Latinoamérica es una de las más grandes y abundantes.

La descarbonización del sector transporte cada vez se va agrandando con planes pilotos en los sistemas de transporte integrado, un mercado que ofrece vehículos de 2 ruedas totalmente eléctricos donde grandes ciudades como Bogotá ha tenido una gran acogida, los PLDV apenas están entrando al mercado a precios asequibles para los usuarios. El auge de la

movilidad eléctrica ya se está ejecutando acompañada de diferentes campañas, donde marcas reconocidas ofrecen sus productos y beneficios por adquirirlo, esto sin contar con las diferentes políticas de estado que apoyan la idea del cambio de movilidad.

En septiembre del 2017 tuvo lugar en Colombia el 1° encuentro internaciones de movilidad eléctrica donde la unidad de planeación minero energética (UPME) destaca el consumo de energía y de emisiones de GEI en Colombia. El sector transporte representa el 40% de consumo de energía en el país y emite 11% de GEI total generado en el país. Como lo indica la historia el sector de transporte, va en crecimiento a medida que transcurre el tiempo, se puede apreciar en la figura 1.2.

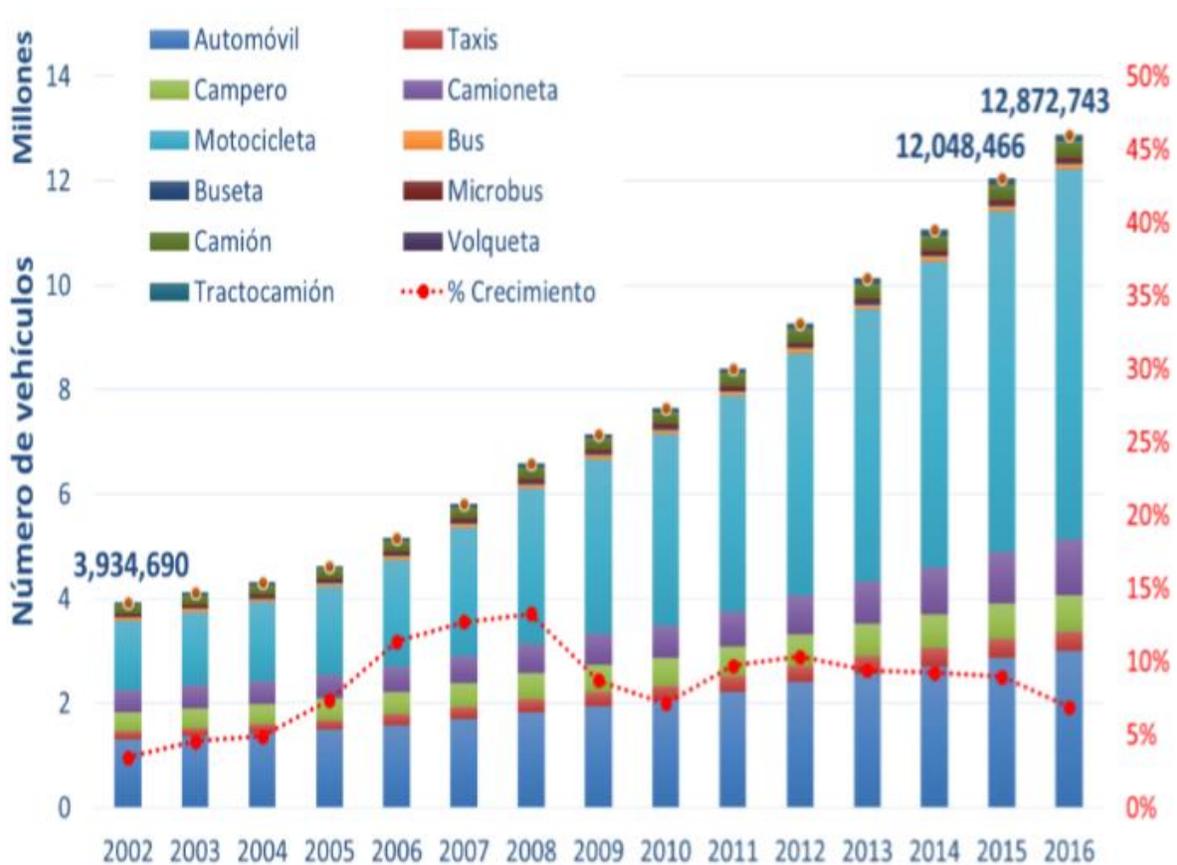


Figura 1. 2 Numero de vehículos por año, Fuente: EY, Datos: RUNT, UPME (2016)

Se busca encontrar una posible solución en la reducción de los GEI incentivando el cambio de pensamiento, en vez de comprar un vehículo de motor convencional, adoptar por comprar

uno con motor eléctrico, no obstante estas iniciativas van de la mano con la capacidad de ofrecer un producto al cliente, se hace necesario resaltar que las personas que van adquirir un vehículo a combustión y un vehículo eléctrico no conoce los beneficios de costo beneficio y de la oportunidad de generar un cambio al país en tema energía y medioambiente.

En el 2016 el consumo final de transporte solo se utilizaba 0,06 % de electricidad y la otra gran parte sería fuentes de energía como la gasolina, ACPM, gas natural, entre otras. La comparación de costos de las diferentes tecnologías es uno de los motivos por el cual ha surgido esta brecha gigantesca.

Los estudios realizados en los planes pilotos en Colombia se concluye que la inversión inicial supera el 100% tanto en el transporte masivo eléctrico como en los vehículos eléctricos comparado con el transporte convencional, pero el beneficio de optar por este transporte se ve reflejado a largo plazo con un ahorro en el costo de energía consumida mayores al 47% al año, es decir la relación costo beneficio en el transporte eléctrico es buena.

	Consumo de carburante	Electricidad (equivalente)	Gasto
Gasolina	5,5 l/100 km	53,35 kWh/100 km	6,86 euros/100 km
Diesel	4,5 l/100 km	48,15 kWh/100 km	5,16 euros/100 km
Eléctrico	-	15 kWh/100 km	1,76 euros/100 km

Figura 1.3. comparación vehículos de combustión interna y vehículos eléctricos. [2]

Con este cambio hacia una nueva movilidad eléctrica se pretende realizar este documento con el fin de solucionar la necesidad de un estudio que permita identificar algunos aspectos del impacto de las motocicletas eléctricas en el sistema de distribución de energía en este caso en la ciudad de Pereira, ¿Por qué empezar con motos y no con PLDV?, porque en Colombia la motocicleta domina el parque automotor, su presencia casi triplica al de los automóviles y representa un 55% del total de registros y sigue aumentando de manera exuberante. El impacto de una moto no hace la diferencia, pero varias en conjunto si marcan una diferencia.

1.1 Planteamiento del problema

El crecimiento de las ciudades capitales de todo el mundo es de manera exponencial, lo que conlleva a las urbanizaciones que enfrenten múltiples desafíos. “¿Cómo queremos vivir en el futuro?” Esa es la pregunta que se planteó a los representantes de urbes y municipios en la ‘Conferencia Comunal de Protección del Clima’ en Bonn. La solución no es detener el crecimiento de las ciudades si no crecer con ellas, implicando la modernización de diferentes sistemas (de distribución de energía, de transporte, etc.) con el objetivo de crear ciudades autosostenibles o bien llamadas ciudades inteligentes.

Las ciudades inteligentes son para los ciudadanos: donde la tecnología es la principal forma de conectarlos, los dispositivos móviles forman la conexión perfecta donde los usuarios pueden encontrar servicios y soluciones. La ciudad de Barcelona es una de las principales promotoras de este tipo de ciudad, mediante diferentes plataformas y sensores permite interactuar con la persona los lugares de interés, estaciones de transporte público, calidad del medio ambiente, entre otras funciones más que tienen disponibles. Otra forma que se está aplicando en diferentes países es por medio de la medición y gestión inteligente del consumo eléctrico, la cual permite a los usuarios manejar cuanta energía se está consumiendo y administrarla en cualquier momento que desee el usuario.

El concepto de sostenibilidad implica un entorno limpio, donde diferentes metrópolis como Nueva York, Paris y Berlín han abierto caminos a la innovación en varios aspectos como el ambiente, residuos y transporte. La ciudad industrial Bottrop de Alemania se logró modernizar hasta llegar al punto de recortar sus emisiones de CO₂ en un 50 %. Una de las estrategias empleadas fue la energía distribuida, la cual buscaba mediante energías renovables como la energía fotovoltaica ubicar paneles solares en las casa y edificios para la producción de energía suficiente no solo para ser autosuficientes, sino incluso para aportarle energía a la red eléctrica.

La movilidad eléctrica es un futuro próximo para el transporte por consecuencia las empresas de la mano con el gobierno trabajan en el desarrollo de diferentes proyectos, tales como, caminos eléctricos para transportar peatones, automóviles eléctricos de uso público, ascensores horizontales. Estas soluciones de movilidad han tenido un gran impacto en Europa. En Colombia está empezando el auge lo cual conlleva a diseñar un equipamiento adecuado para permitir la movilidad eléctrica, dicho equipo debe contemplar, las estaciones eléctricas de carga que comprende su ubicación e impacto que tiene sobre la red eléctrica de distribución, los vehículos eléctricos que pueden ser diversos como (motos, carros, transporte masivo, entre otros), y el comportamiento del sistema de distribución después de haber entrado cargas nuevas.

En esta dirección, el problema fundamental a resolver con este proyecto de grado es la necesidad de un estudio que permita identificar el impacto de las motocicletas eléctricas en el sistema de distribución de energía.

1.2 Justificación

A través del paso del tiempo el ambiente terrestre va cambiando cada vez más, uno de los principales motivos es debido al efecto del cambio climático como consecuencia de los gases del efecto invernadero, se han planteado diversas soluciones para controlar estos gases, una de las propuestas más ambiciosas son las ciudades inteligentes que en un futuro próximo mejoraran la calidad de vida de los seres humanos desde diferentes aspectos (social, ambiental, económico, etc.) contribuyendo con el medio ambiente utilizando la tecnología a su favor. Este tipo de ciudades son únicas, por tal motivo no se pueden encontrar dos ciudades idénticas debido a que depende de las características propias, esto conllevaría a realizar un estudio individual.

Por otro lado, los vehículos eléctricos tendrán un papel fundamental para disminuir los gases de efecto invernadero mediante los ecosistemas de las Smart Grids. Las Smart Grids se

reconoce como la tecnología para mejorar la competitividad económico-social, así como el uso eficiente de la energía y las infraestructuras, como también su contribución en la reducción de los gases de efecto invernadero en el sector de transporte.

Así mismo, es un deber de todas las naciones introducir e incentivar el uso de vehículos eléctricos, muchas ya han adoptado este cambio y otros están en este proceso, ya que los beneficios son considerables, el principal beneficio es ayudando al medio ambiente en la reducción las emisiones de CO₂ mejorando la calidad de vida de las personas disminuyendo la contaminación auditiva entre otras. Además, los usuarios del transporte eléctrico no verían un cambio de potencia del motor debido a que son equivalentes y de fácil mantenimiento.

Por último, la temática que se manejara tiene como fin estudiar el impacto que tiene las motos eléctricas en el sistema de distribución de energía, a partir de la implementación de uno de estos vehículos en la realidad, analizando sus recorridos, consumo y demás factores que se requiera para poder realizar un modelamiento óptimo. Implementado este modelo se podrá realizar un estudio de posible ubicación de nuevas estaciones de recarga dependiendo de la demanda de los usuarios, además realizar una proyección de las posibles motos eléctricas circulando por la ciudad, lo anteriormente a realizar es con el fin de determinar el efecto que tiene sobre la red.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar y describir el impacto de las motos eléctricas en el sistema de distribución.

1.3.2 Objetivos específicos

- 1) Analizar y proponer un dispositivo de medición el cual relacione la distancia recorrida con el consumo de la moto eléctrica.
- 2) Establecer mediante las matrices origen destino la potencia consumida por la moto eléctrica en diferentes recorridos.
- 3) Revisar el estado del arte de los diferentes modelos de vehículos eléctricos.
- 4) Establecer el modelo eléctrico de la moto eléctrica en función de diferentes variables como los son: peso, pendiente, distancia, etc.
- 5) Implementar un entorno de simulación con las diferentes estaciones de recarga para motos eléctricas.
- 6) Registrar la cantidad y los diferentes recorridos de las motos de combustión interna de la Universidad tecnológica de Pereira.
- 7) Proponer y validar los beneficios del cambio de las motos de combustión interna por motos eléctricas en los usuarios de la Universidad Tecnología que aceptarían dicho cambio.
- 8) Verificar y analizar los resultados obtenidos.

1.4 Estado del Arte

Dentro de los avances que hoy se tienen, la industria automotriz no se queda atrás, ya existen fabricas ensambladoras de vehículos eléctricos rompiendo el paradigma, donde las sociedades modernas buscan un cambio hacia un crecimiento sustentable, no obstante ya se cuenta con desarrollos tecnológicos en varios países donde se estudia de forma óptima el comportamiento de estos vehículos, como lo aseguran los autores de [3] en el documento “La necesidad de movilidad y medio ambientales de las grandes ciudades” que invita por medio de una estrategia diferente a los usual de motivar el cambio del transporte tradicional a un transporte eléctrico 100% amigable con el medioambiente.

En América Latina ya se cuenta con acciones como instalación de puntos de carga, electrolinerías y montaje de fábricas ensambladoras de vehículos eléctricos, por otro lado la adquisición de estos vehículos no se han hecho esperar para el 2016 en el mundo circulaban cerca de dos millones por las distintas carreteras del mundo, cifra de crecimiento satisfactoria si se compara con los datos del año 2015 donde un millón de vehículos ya se encontraban en circulación, según la IEA (Agencia Internacional de la Energía), para el 2040 se tiene como cifra especulativa unos 600 millones de vehículos donde el 95% de adquisición se concentraran principalmente en 10 países (China, Estados Unidos, Japón, Canadá, Gran Bretaña, Francia, Alemania, Países Bajos y Suecia) [4] [5]

En Colombia se cuenta con menos de 400 vehículos eléctricos circulando por el país, actualmente en el país Codensa ha desarrollado varios avances respecto a movilidad eléctrica, donde cuenta con la infraestructura capaz de abastecer una flota de vehículos eléctricos (taxis) con visión a un plazo de 10 años contar con la posibilidad de cargar 3 mil taxis [6].

En la ciudad de Pereira la empresa de energía de Pereira (EEP), son promotores de introducir en la ciudad el uso de los vehículos eléctricos empezando por las motocicletas, actualmente la EEP comercializa la motocicleta MEEP son fabricadas en Alemania, no obstante, cabe resaltar que en la ciudad de Pereira hay a aproximadamente unas 70.000 motocicletas que

producen 124 millones de dióxido de carbono al año, lo que equivaldría a tener que plantar 5 millones de árboles para poder cubrir la contaminación al 100%. Con este vehículo eléctrico el ahorro económico de combustible es de un 70% anual, es una iniciativa limpia que ayudaría a reducir los índices de contaminación en la ciudad [7].

Los autores de [8] y [9], los cuales realizaron estudios respectivamente en Buenos Aires y Cataluña sobre el impacto que tendría que llevar el cambio de los vehículos tradicionales hacia los vehículos eléctricos; estos son una gran experiencia para proponer un ejemplo similar en la ciudad de Pereira. Basados en [7], este trabajo propone las pruebas sobre rendimiento, funcionamiento y eficiencia producidas por cambiar la moto de combustión interna teniendo en cuenta las características de tráfico, topografía y demás factores de la ciudad de Pereira. Basados con la información obtenida y con ayuda de [10] se busca proponer un modelamiento de dicha moto.

CAPITULO 2

METODOLOGÍA

2.1. Estudio de movilidad

2.1.1. Modelo basado en viajes

Surge la necesidad en los primeros años de la década de los 70 de obtener modelos basados en los sistemas de transporte con el propósito de mejorar la eficiencia del propio esquema de transporte obteniendo a causa de esto beneficios como la reducción del CO₂, esquemas de inspección, mantenimiento, optimización de distancia, accesibilidad y predicción para escenarios móviles, vehículos interconectados o formas alternativas de propulsión como la movilidad eléctrica. Lo anteriormente descrito se conoce como sistemas de transporte inteligente (ITS) por ende se logra gracia a la comunicación de información y tecnología en la infraestructura de transporte y vehículos [11].

En los primeros años se crea el modelo con aproximaciones teóricas sobre la construcción de matrices de viajes a partir de información fácilmente disponible, como los volúmenes de tráfico en las carreteras los cuales fueron recolectados en la mayor parte en las áreas urbanas mediante sensores de tráfico. Estas aproximaciones existen para sintetizar las matrices de viajes a partir de conteos en los lugares escogidos, se pueden clasificar en dos categorías O'Neill [12]:

- Técnicas de calibración de parámetros.
- Métodos de estimación de matrices.

Las técnicas de calibración de parámetros utilizan un análisis de regresión lineal o no lineal para la construcción de modelos de demanda con la finalidad de estimar las entradas de las matrices de viajes.

Por otra parte, los métodos de estimación de matrices solamente necesitan conteos de tráfico en los puntos de recolección y una información de la estructura de la matriz de viaje [13].

El modelo basado en viajes implementado en la elaboración del estudio descrito en este documento utiliza las técnicas de calibración de parámetros los cuales se representan mediante la expresión $g(\theta)$, el cual es descrito por la matriz Origen-Destino (O-D) en función de un vector de parámetros θ , donde el modelo supone que cada viaje individual tiene un origen y un destino (por ejemplo, viaje de hogar al trabajo).

Con base a lo anterior se define una matriz O-D $m_{ij}^{(t)}$ el cual relaciona la cantidad de vehículos que van de la zona i hacia la zona j en un tiempo t como se representa en la Figura 2.1 y Figura 2.2, donde la diagonal de la matriz es igual a 0.

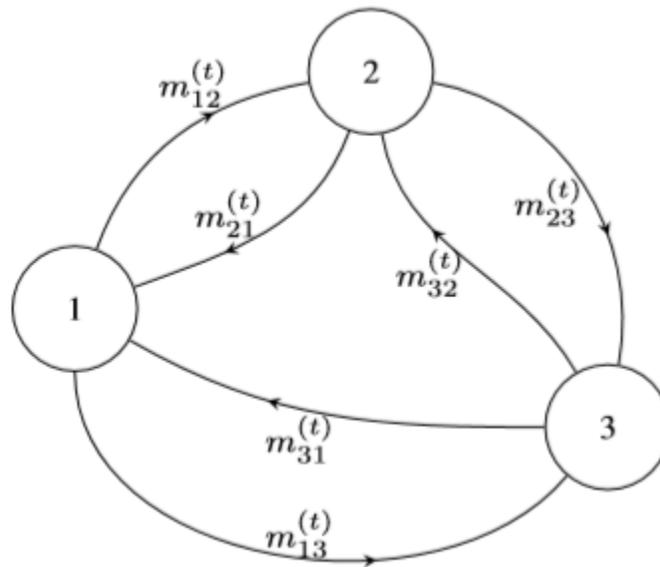


Figura 2. 1 Representación esquemática de una matriz de viaje para tres zonas.

$$m_{ij}^{(t)} = \begin{bmatrix} m_{11}^{(t)} & m_{12}^{(t)} & m_{13}^{(t)} \\ m_{21}^{(t)} & m_{22}^{(t)} & m_{23}^{(t)} \\ m_{31}^{(t)} & m_{32}^{(t)} & m_{33}^{(t)} \end{bmatrix}$$

Figura 2. 2 Representación de una matriz de viaje para tres zonas.

2.1.2. Encuesta

La encuesta es uno de los métodos más utilizados en la investigación. Según Stanton, Etzel y Walker, una encuesta consiste en reunir datos entrevistando a la gente. Para Richard L. Sandhusen, las encuestas obtienen información sistemáticamente de los encuestados a través de preguntas, ya sea personales, telefónicas o por correo. Según Naresh K. Malhotra, las encuestas son entrevistas con un gran número de personas utilizando un cuestionario prediseñado con el fin de obtener información específica. Para Trespalacios, Vázquez y Bello, las encuestas son instrumentos de investigación descriptiva que precisan identificar a priori las preguntas a realizar, las personas seleccionadas en una muestra representativa de la población, especificar las respuestas y determinar el método empleado para recoger la información que se vaya obteniendo [14].

En síntesis, una encuesta es una técnica de investigación la cual recolecta información específica de manera rápida y eficaz de las personas en la que se aplica la encuesta mediante los cuestionarios previamente diseñados.

La finalidad de la encuesta es obtener los datos de diferentes recorridos que se aplicara a un grupo personas de la Universidad Tecnológica de Pereira, las personas a encuestar deben conducir motocicleta de combustión interna, no obstante que se desplacen desde el lugar donde residen o trabajen y que tengan como fin llegar a la Universidad Tecnológica de Pereira, tener en cuenta que el lugar de origen o de destino estén dentro del área metropolitana de los municipios de Pereira y Dosquebradas.

Los datos recolectados mediante esta técnica es la cantidad de vehículos que van de la zona i hacia la zona j , en este caso de aplicación la matriz O-D será simplificada dado el caso de

estudio se enfocará en el impacto de la moto eléctrica en el sistema de distribución, que suministra energía eléctrica a la Universidad Tecnológica de Pereira, donde las componentes de la matriz va ser una fila donde la longitud es el número de orígenes de los recorridos hacia el mismo destino que sería la universidad siendo así una matriz O-D con un solo destino, representado en (2.1) con un dibujo esquemático ilustrado por la Figura 2.3.

$$m_{1j}^{(t)} = [0 \quad m_{21}^{(t)} \quad m_{31}^{(t)} \quad m_{41}^{(t)} \quad m_{51}^{(t)} \quad \dots \quad m_{j1}^{(t)}] \quad (2.1)$$

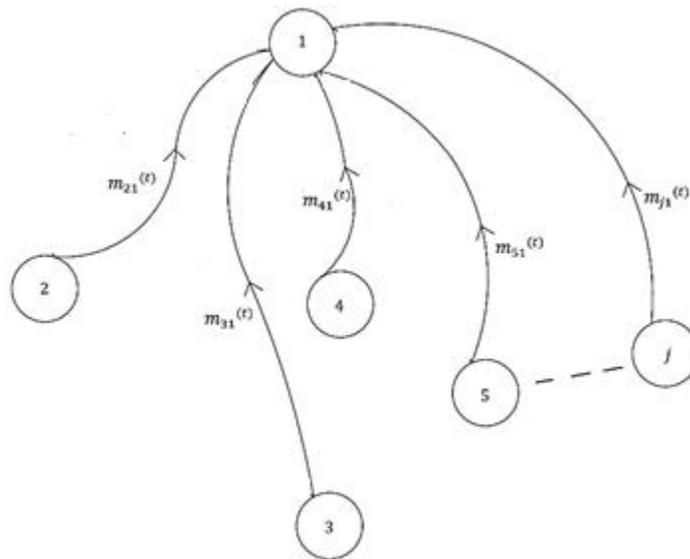


Figura 2. 3 Representación esquemática de la matriz de viaje implementada.

2.2. Modelamiento de la moto eléctrica

El modelo dinámico de un vehículo se puede describir mediante la segunda Ley de Newton, donde actúan las diferentes fuerzas sobre un cuerpo libre cuando va en movimiento [15].

Segunda Ley de Newton:

$$\sum F = ma$$

Donde las fuerzas son:

- Fuerza de la resistencia a la rodadura: Se presenta cuando un cuerpo rueda sobre una superficie, deformándose uno de ellos o ambos. Por ejemplo, el neumático con el pavimento, ver Figura 2.4 [16].

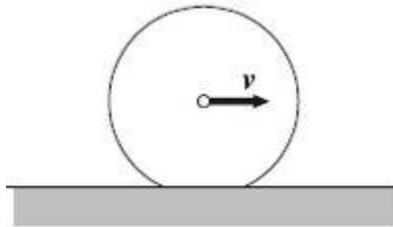


Figura 2. 4 Deformación de un neumático.

Fuerza de la resistencia aerodinámica: Fuerza que sufre un cuerpo al moverse a través del aire (Figura 2.5). A velocidades bajas es proporcional al valor absoluto de la velocidad, pero a velocidades más altas su valor se hace proporcional a la velocidad al cuadrado [17].

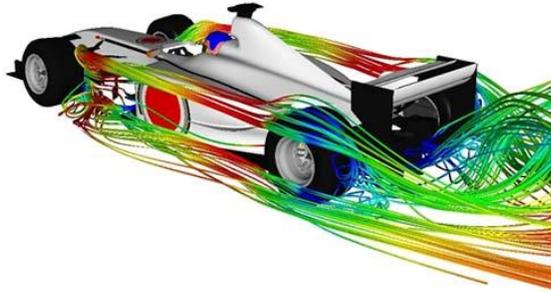


Figura 2. 5 Aerodinámica de un vehículo.

Fuerza de la gravedad: Es la fuerza donde los cuerpos son atraídos hacia el centro de la tierra, es decir, es la fuerza que mantiene todas las cosas pegadas al suelo [18].

Fuerza motriz: Es la fuerza proveniente del par de la rueda la cual se ejerce para producir movimiento.

Desarrollando la segunda Ley de Newton:

$$F_d - F_{gxt} - F_{roll} - F_{ad} = ma \quad (2. 2)$$

Donde F_d es la fuerza motriz, F_{gxt} la componente en x de la fuerza de la gravedad, F_{roll} la fuerza de la resistencia a la rodadura, F_{ad} la fuerza de la resistencia aerodinámica, m la masa del vehículo y a la aceleración.

Despejan la fuerza automotriz se encuentra la ecuación de la fuerza necesaria para logra movimiento, por lo tanto, la ecuación dinámica del vehículo se puede obtener como [15] :

$$F_d = F_{gxt} + F_{roll} + F_{ad} + ma \quad (2.3)$$

$$F_d = mg\sin(\theta) + mg(C_0 + C_1v) * \text{sgn}(v) + \frac{1}{2}\rho C_d A_F (v + v_0)^2 * \text{sgn}(v) + \left(m + \frac{J_{wh}}{r^2}\right) \frac{dv}{dt} \quad (2.4)$$

Donde g es la aceleración de la gravedad, θ es el ángulo de grado, C_0 y C_1 son los coeficientes de rodadura, ρ es la densidad del aire, C_d es el coeficiente de resistencia aerodinámica, A_F es el área frontal del vehículo, v_0 es la velocidad del viento, v es la velocidad lineal del vehículo y J_{wh} es la inercia de la rueda.



Figura 2. 6. Diagrama de cuerpo libre del vehículo

2.3. Medición y dispositivo de adquisición de datos

Surge la necesidad de efectuar un medidor de corriente, con el objetivo de medir la variable corriente de la batería obteniendo los datos por medio de formulación matemática de potencia eléctrica consumida por la moto eléctrica. Esta potencia eléctrica es convertida en potencia mecánica cumpliendo con transportar al usuario.

Para comenzar se debe adquirir ciertos elementos para el acondicionamiento de la señal de corriente emitida por la batería. Dicho acondicionamiento consiste en la manipulación electrónica de la señal para obtener rango de voltajes o corrientes adecuados para el ingreso de la señal a la tarjeta de adquisición, se debe tener en cuenta la ecuación característica del comportamiento del sensor que está midiendo la variable deseada para que los datos arrojados sean verosímiles, el cual debe tener un error de medición según la aplicación deseada.

A continuación, se describe el proceso de diseño del sistema de adquisición de datos describiendo detalladamente la elección de cada uno de los elementos que lo integran, estos son:

- Sensor
- Dispositivo de DAQ
- Software Controlador
- Formato de almacenamiento de datos
- La alimentación del circuito de adquisición.

2.3.1 Sensor

Es el dispositivo del sistema de adquisición de datos encargado de transformar o convertir la energía de entrada en otra distinta a la salida, pero de valores muy pequeños en términos relativos a la energía de entrada.

Para la selección de este elemento se debe tener en cuenta la variable a medir, las magnitudes y el error que entrega el dispositivo en la medición. Por criterios del equipo de trabajo los cuales se van a dar a conocer a continuación se opta por el WCS1800 -Hall Effect Base Linear Current Sensor [19].

El WCS1800 proporciona una precisión al manejar un error adecuado para nuestra aplicación de detección de corriente DC por medio del efecto Hall. Posee una sensibilidad de 66 mV/A a 30°C (en la figura 2.9 se puede ver el factor de corrección dependiendo de la temperatura), el rango de tensión de funcionamiento de $3 \sim 12 \text{ VDC}$ con la característica especial de energizarse a 5 V DC el rango de detección de corriente se amplía de $0 \sim 35 \text{ A}$.

La característica de linealidad en el transductor es importante para conocer la relación de la variable de entrada, en nuestro caso la corriente DC con la variable de salida la cual va ser una tensión en un rango $0 \sim 5$ apta para el dispositivo de adquisición, dicha relación se presenta en la figura 2.8.

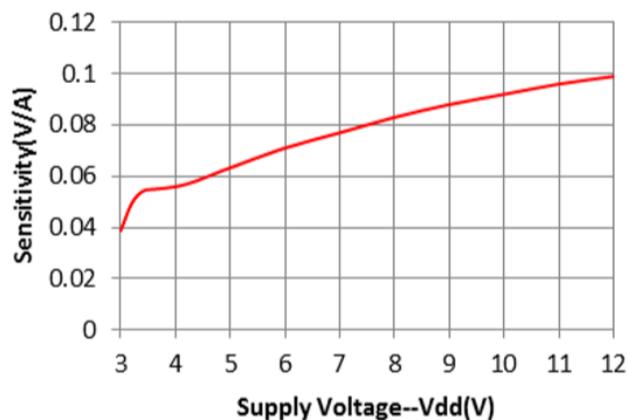


Figura 2. 7 Sensibilidad sensor WCS1800 con un voltaje de entrada del sensor de 5 volts [19].

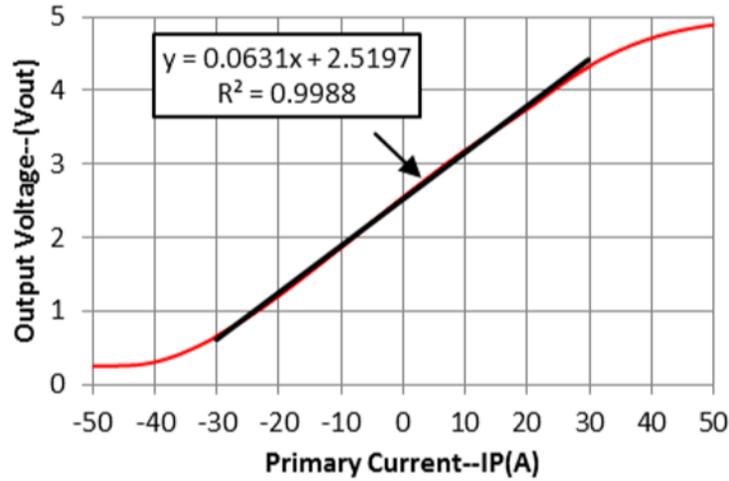


Figura 2. 8 Voltaje de salida vs Corriente de entrada por el sensor WCS1800 con un voltaje de entrada del sensor de 5 volts [19].

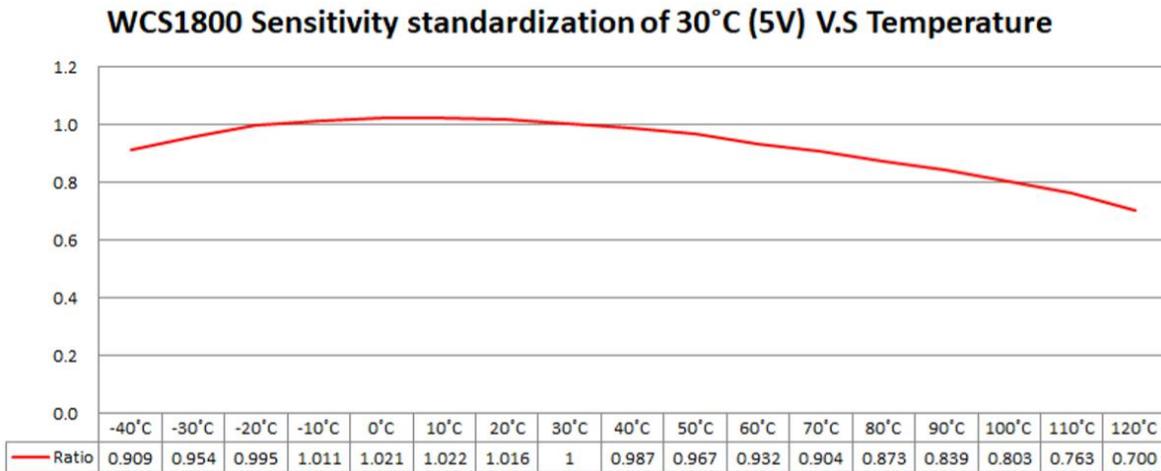


Figura 2. 9 Sensibilidad estándar a 30 °C vs temperatura ambiente con un voltaje de entrada del sensor de 5 volts [19].



Figura 2. 10 Sensor WCS1800 -Hall Effect Base Linear Current Sensor.

2.3.1.1 Pruebas sensor WCS1800

Seguidamente, para tener certeza de que las mediciones posteriores sean fiables, se procede a realizar las pruebas al sensor WCS1800 en el laboratorio de máquinas de la Universidad Tecnológica de Pereira para medir en que valor de corriente el sensor se satura, para así tener claridad al momento de proceder con las pruebas respectivas a la motocicleta eléctrica.

Así mismo se hizo el montaje de la figura 2.11 con dos generadores en paralelo, 8 reóstatos cada par conectado en serie, y en paralelo cada par, esto para tener la opción de ir variando la corriente, no obstante se adicionaron unos medidores de corriente en serie con el dispositivo de adquisición de datos y junto al dispositivo conectamos un computador con el programa de Arduino que estuviera ejecutando el código y compilando los resultados que se iban obteniendo mostrándolos en pantalla, se comprobó que el sensor WCS1800 se satura a una corriente de 35 A aproximadamente.



Figura 2. 11 Montaje circuito de prueba sensor WCS1800.

2.3.2 Dispositivo DAQ

El dispositivo de adquisición de datos (DAQ) es la interfaz del proceso de medición que comunica los datos de la variable medida de la salida del sensor con el ordenador el cual contiene un hardware de medidas DAQ.

Comparados con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de los computadores estándares en la industria proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable.

Para suplir la necesidad de cumplir esta parte en el sistema de medición se buscaron diferentes soluciones, entre ellas se escoge la elección del Arduino UNO ya que es una solución económica, flexible y con la capacidad suficiente para el cumplimiento de muestreo de la señal requerida en el tiempo determinado.

El Arduino UNO tiene un tiempo de muestreo de 112 micro segundos lo que es equivalente a una frecuencia de muestreo de 8,928 kHz teniendo en cuenta el tiempo perdido que requiere el Arduino Uno en guardar y calcular las diferentes variables de tiempo [20].

Otro factor influyente es la selección de resolución, el cual se mide por los bits que tiene el dispositivo y se obtiene de los datos de placa, 10 bits de resolución arrojan los datos de placa, lo que significa que tendrá 1024 posibles combinaciones y el rango de voltaje de operación es de 5 V o 3,3 V, con esto se puede tener la resolución que es igual a:

$$RESOLUCIÓN = \frac{5 V}{1024} = 4.88 mV \quad (2.5)$$

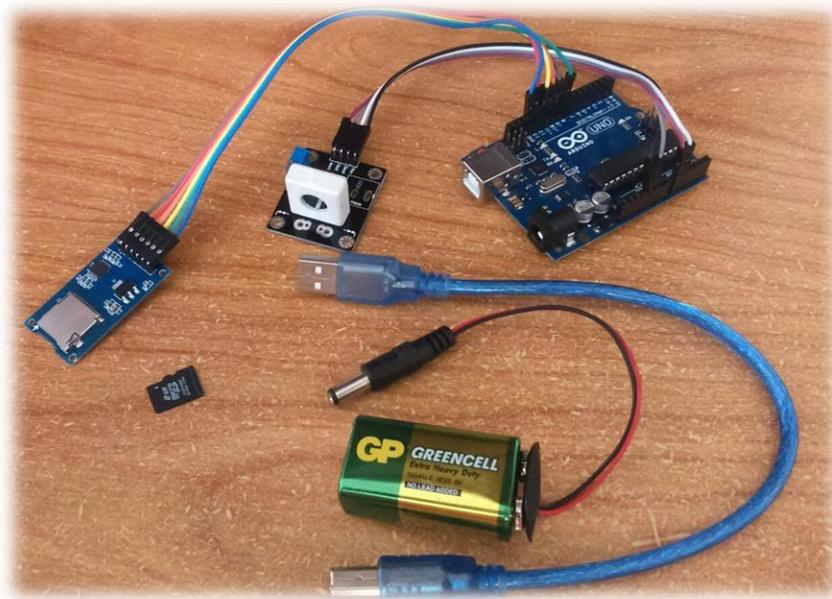


Figura 2. 12 Dispositivo de adquisición de datos. Imagen propia.

2.3.3 Software Controlador

El software controlador sobre el DAQ que se implemento es un IDE, entorno de desarrollo integrado (siglas en inglés de Integrated Development Environment). Este IDE es proporcionado por la plataforma de Arduino y es muy utilizado por su fácil programación.

EL IDE de Arduino consiste en un editor de código, un compilador, un deparador y un constructor de interfaz gráfica (GUI) Además incorpora las herramientas para cargar el programa ya compilado en la memoria flash del hardware [21].

A continuación, se mostrará el código programado en el Arduino para la adquisición de datos.

```
int muestra=0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}
void loop()
{

  int sensor1 = analogRead(A0);
  float A= float(sensor1)*5/1023;
  int sensor2 = analogRead(A1);
  float B= float(sensor2)*5/1023;
  Serial.print("Muestra,");
  Serial.print(muestra);
  Serial.print(", tiempo(ms)=,");
  Serial.print(millis());
  Serial.print(", sensor1=,");
  Serial.print(A,7);
  Serial.print(", sensor2=,");
  Serial.print(B,7);
  Serial.print(", sensor3=,");
  Serial.print(sensor1);
  Serial.print(", sensor4=,");
  Serial.println(sensor2);

  muestra++;
  delay(300);
}
```

Figura 2. 13 Código de programación Arduino.

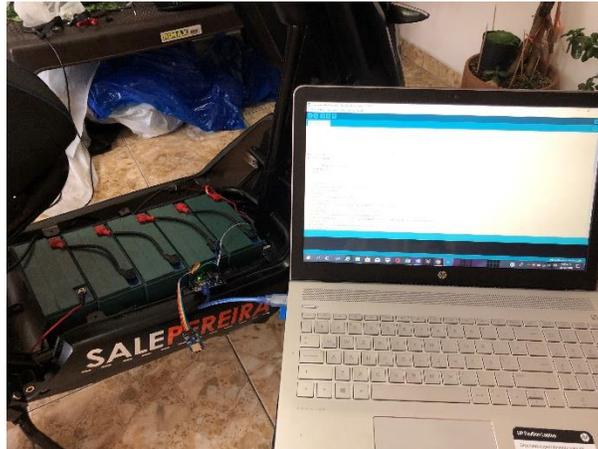


Figura 2. 14 Programación del código al dispositivo Arduino.

2.3.4 Formato de almacenamiento de datos

Por medio de un Adaptador MicroSD Lectura-Escritura se conecta una memoria SD con la capacidad de almacenamiento de 2 gigas bites al Arduino, este adaptador ya viene acondicionado para conectarlo directamente al Arduino, el Arduino por medio de su código previamente programado genera un documento de texto (.txt) en el cual se guardará las lecturas en el formato programado.



Figura 2. 15 Formato de almacenamiento de datos. Imagen propia.

2.3.5 La alimentación del circuito de adquisición.

Por medio de un conector 9v con plug para Arduino se logra conectar una pila cuadrada de 9 voltios al circuito de adquisición (Se conecta al Arduino el cual alimentara al sensor y al adaptador MicroSD).



Figura 2. 16 Alimentación del circuito de adquisición.



Figura 2. 17 Alimentación del circuito de adquisición (2

Capítulo 3

RESULTADOS

3.1. Gráficas y perfiles de los recorridos de pruebas

Las pruebas realizadas tienen como fin implementar el estudio descrito en este documento, calculando matemáticamente la potencia eléctrica consumida por la moto, conseguida de la ecuación (3.10) donde la corriente eléctrica que pasa por las baterías del vehículo son adquiridas a través del módulo de adquisición de datos descrito anteriormente en este documento, y la tensión en bornes de la batería obtenida mediante un sensor que posee la motocicleta donde se puede visualizar en el tablero de la misma. La inclinación se obtiene a través del perfil de elevación adquirido a través del software Google Earth Pro.

Los criterios para la selección de los diferentes recorridos fueron los siguientes.

- No se encuentren semáforos, pases o señalización de tránsito donde se requiera que se detenga la moto o se disminuya su velocidad.
- Presenten un perfil topográfico con diferentes inclinaciones entre todos los recorridos hechos.
- La conducción sea sencilla, en horas donde la vía presente bajo flujo vehicular.

A continuación, se describen los recorridos realizados y por medio de las gráficas se presenta la potencia a lo largo del recorrido con su respectiva inclinación.

- Primer recorrido: Vía que conecta la Urbanización la Macarena con el Refugio

Las características de la vía de aproximadamente 470 m hacen que sea una buena decisión al presentar un perfil topográfico con diferentes inclinaciones. Por medio de la figura 3.1 se

visualiza la ubicación, la figura 3.2 muestra el perfil de inclinación de esta vía y por último se hace un resumen en la figura 3.3 de la potencia eléctrica consumida por la moto con su debida inclinación en el instante de la adquisición de datos.



Figura 3. 1 Vía que conecta la Urbanización la Macarena con el Refugio.

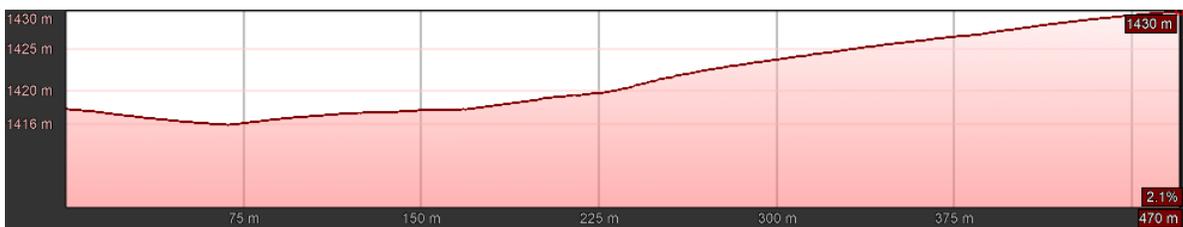


Figura 3. 2 Perfil de elevación vía que conecta la Urbanización la Macarena con el Refugio.

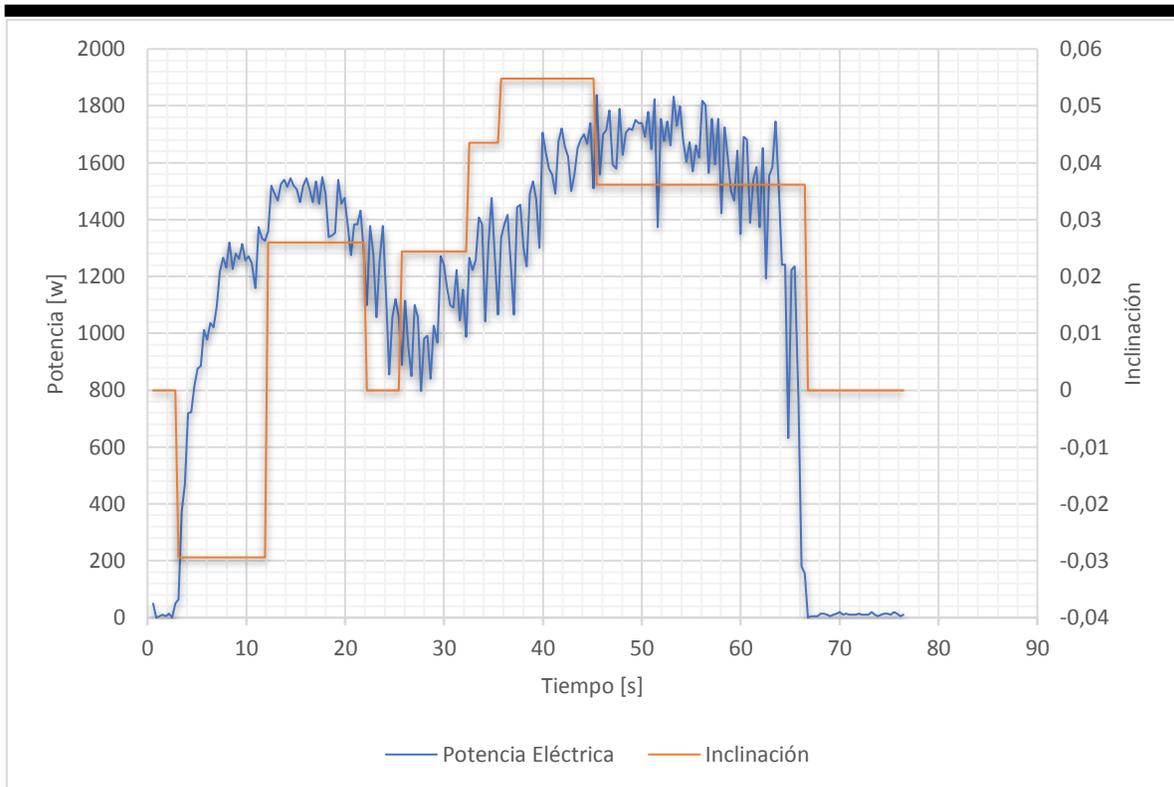


Figura 3. 3 Potencia eléctrica e inclinación en el recorrido N°1, Urbanización la Macarena hacia el Refugio.

- Segundo Recorrido: Vía que conecta Colinas de Triunfo con el Parque Industrial.

En la prueba realizada en este recorrido de 1,33 km se obtiene la potencia eléctrica consumida que se requiere para vencer las diferentes fuerzas y sobre todo las inclinaciones elevadas que presenta la topografía de la vía al final del recorrido. En la figura 3.4 se muestra la vía donde se realizó la prueba, la figura 3.5 muestra el perfil topográfico y por último se hace un resumen en la figura 3.6 y en la figura 3.7 de la potencia eléctrica consumida por la motocicleta con su debida inclinación en el instante de la adquisición de datos.

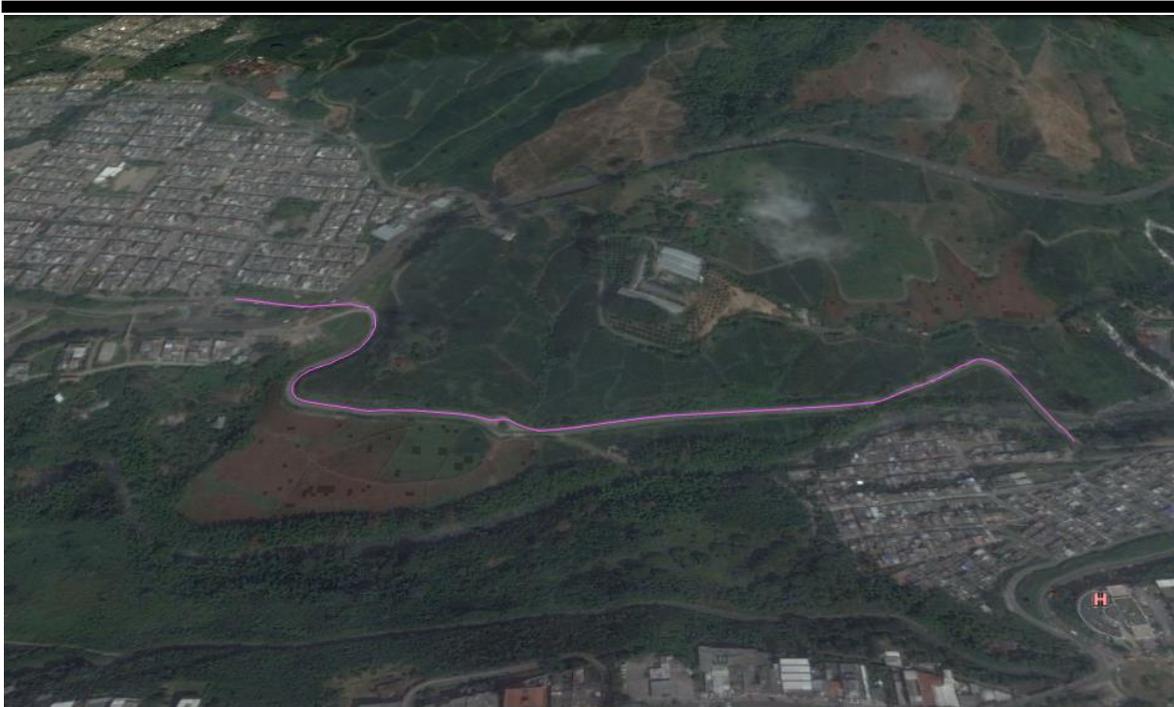


Figura 3. 4 Vía que conecta Colinas de Triunfo con el Parque Industrial.



Figura 3. 5 Perfil de elevación vía que conecta Colinas de Triunfo con el Parque Industrial.

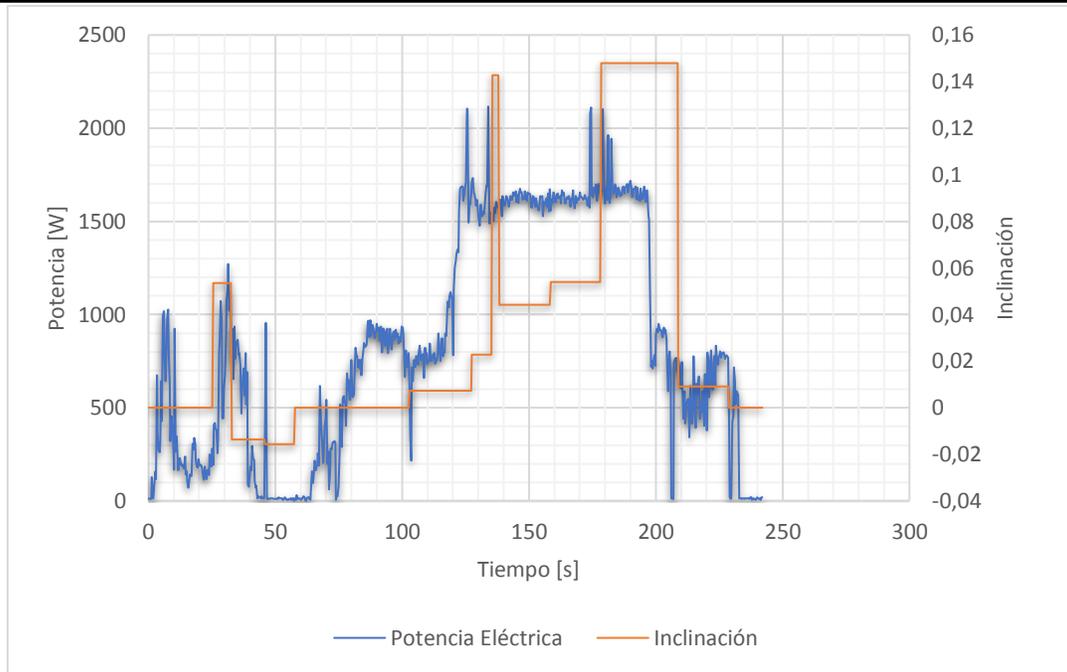


Figura 3. 6 Potencia eléctrica e inclinación en el recorrido N°2, Colina del triunfo hacia Parque Industrial.

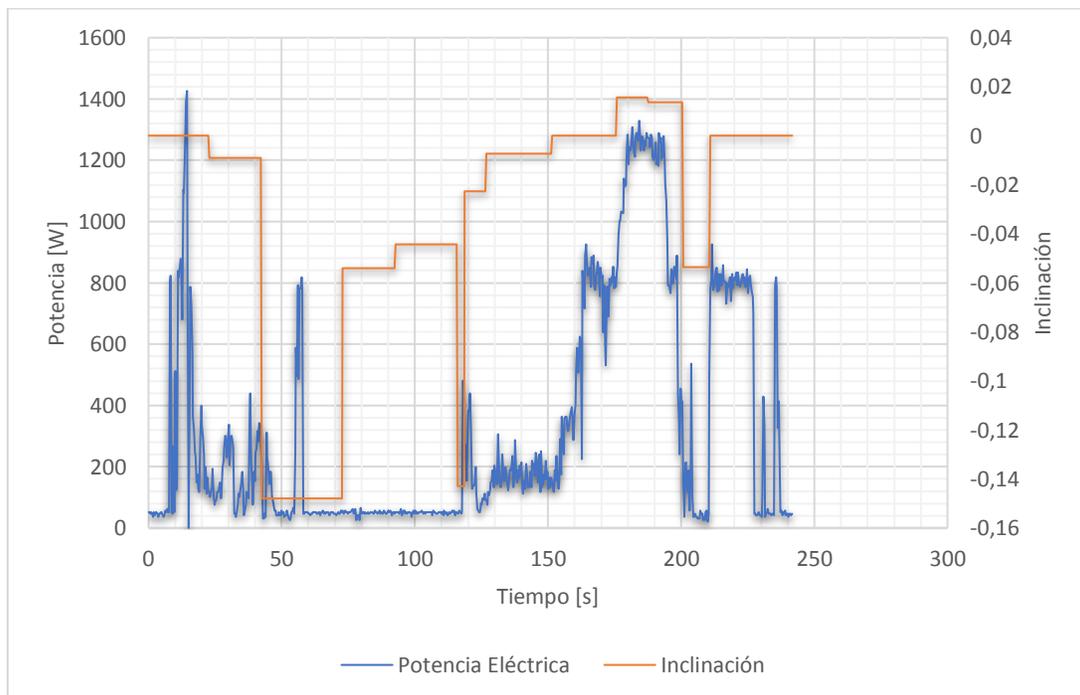


Figura 3. 7 Potencia eléctrica e inclinación en el recorrido N°2, Parque Industrial hacia Colina del triunfo.

- Tercer Recorrido: Avenida Belalcázar.

Se escoge esta avenida dado a sus 3 carriles de amplitud en el mismo sentido como también a la gran factibilidad de conducción. Se realiza la prueba de un recorrido de 1 km, posteriormente se visualiza en la figura 3.8 la avenida, en la figura 2 el perfil de elevación de todo el recorrido y en las figuras 3.9 y 3.10 la potencia eléctrica consumida por la motocicleta con su debida inclinación en el instante de la adquisición de datos.



Figura 3. 8 Avenida Belalcázar



Figura 3. 9 Perfil de elevación avenida Belalcázar.

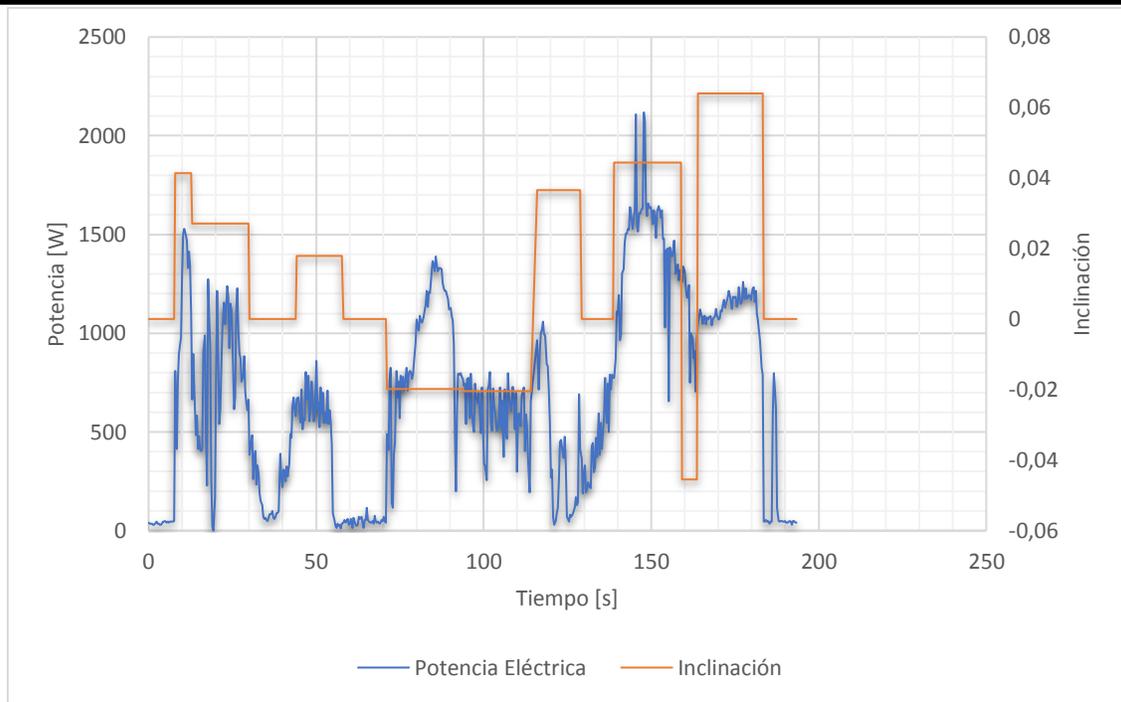


Figura 3. 10 Potencia eléctrica e inclinación en el recorrido N°3, Centenario hacia Pinares.

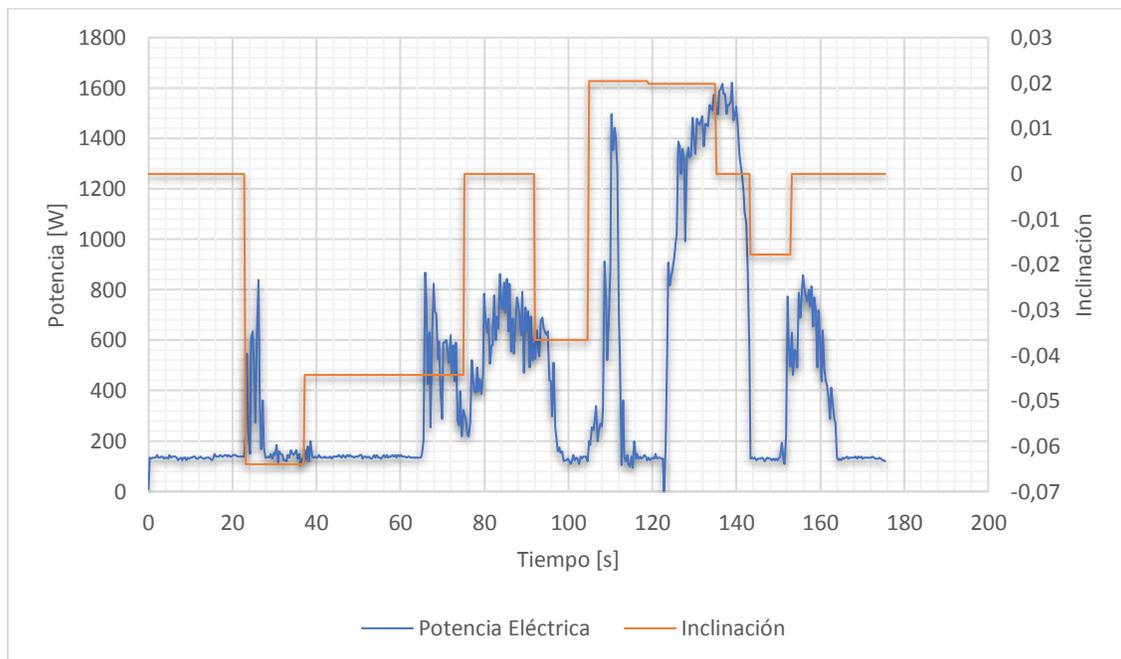


Figura 3. 11 Potencia eléctrica e inclinación en el recorrido N°3, Pinares hacia Centenario.

- Cuarto Recorrido: Vía Pinares hacia la Julita.

Para consolidar los datos obtenidos en los diferentes recorridos se hace un último para constatar el comportamiento de la potencia eléctrica consumida por la motocicleta en las distintas inclinaciones de todas las pruebas anteriormente hechas, el presente recorrido consta de 720 metros, presenta inclinaciones bajas al inicio y elevadas en el final. En las siguientes figuras muestra el recorrido realizado figura 3.12 y el perfil de elevación figura 3.13, la figura 3.14 se visualiza la potencia eléctrica consumida por la moto con su debida inclinación en el instante de la adquisición de datos.



Figura 3. 12 Vía Pinares hacia La Julita.



Figura 3. 13 Perfil de elevación vía Pinares hacia la Julita.

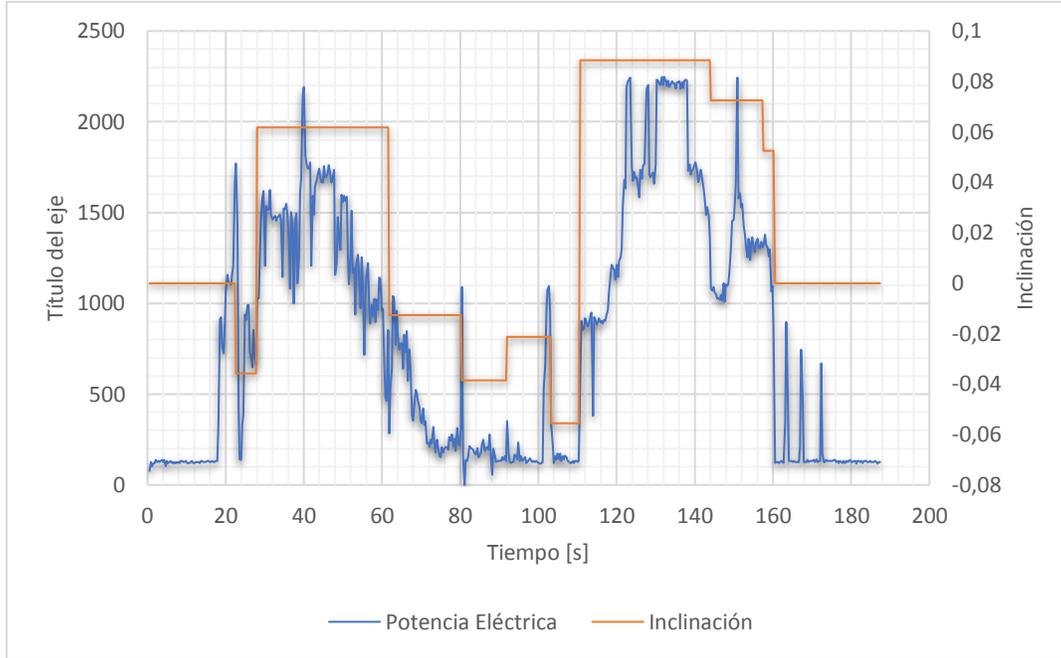


Figura 3. 14 Potencia eléctrica e inclinación en el recorrido N°4, Pinares hacia la Julita.

La variable inclinación de los distintos recorridos es calculada mediante la ecuación de la pendiente utilizando los puntos (x_1, y_1) y (x_2, y_2) los cuales forman una línea recta donde el subíndice 1 es la posición inicial de la recta y el subíndice 2 es la posición final de la recta, esta relación la describe la ecuación (3.1).

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3.1)$$

Esto se ejecuta con el objetivo de encontrar el ángulo de inclinación a través de la ecuación 576, este ángulo es la componente fundamental para el estudio del modelo, dado que determina la fuerza gravitacional que es ejercida sobre la moto donde va ser nuestro enfoque.

$$\theta = \text{arccotan}(m) \quad (3.2)$$

3.2. Resultado de las encuestas

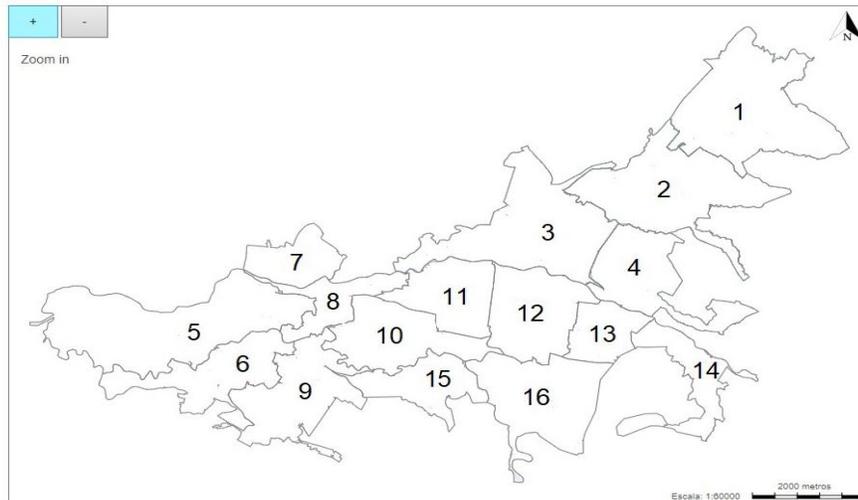
La encuesta realizada sobre la comunidad estudiantil de la Universidad Tecnológica de Pereira con la finalidad descrita en el Subcapítulo 2.1.2. Encuesta tubo la siguiente estructura:

Movilidad en moto UTP

Por favor si no te movilizas en moto abstenerse de responder, gracias a todos.

¿Desde qué zona del mapa (número) se dirige hacia la UTP?

Mapa Pereira-Dosquebradas



Barríos en la zona, si tu barrio no esta por favor busca el más cercano

1. Bosque de la Acuarela, La Romelia, Júpiter, La Mariana, Galaxia, Loma Linda, La capilla, Camilo Torres, Santa Teresita
2. Los naranjos, El Poblado Santa Isabel, Santa Isabel, Los Lagos, Las violetas, Los Rosales, Los molinos, Girasol, San Fénix
3. La Graciela, La Badea, Urbanización la macarena, Campestre C, Campestre A, Las vegas
4. La Pradera, Santa Mónica, Japón, Valher, Frayles, La Popa, La Sultana
5. Mercasa, Conjunto residencial San Felipe, Belmonte,
6. Alta Vista, La villa, Gama, Olimpico
7. Parque Industrial, Confamiliar, Llano Grande.
8. Nacederos, Colinas del Triunfo
9. Montelibano, 2500 Lotes, Centro Cuba, Sauces, El Cardal, Libertadores, Bello Horizonte
10. Panorama, Padre Valencia, Naranjito, Bosques de Santa Helena, El Poblado 1, El Poblado 2
11. Centro 1, Remigio Antoni Cañarte, El Jardín
12. Centro 2, Centenario, Los Molinos
13. Los Alpes, Alfonso López, Urbanización la Aurora
14. Kennedy, Comuna Oriente, Villa Santana, Caserío Canceles
15. Villa Verde, Samaria 1, Samaria 2, Palmar de Villa Verde
16. El Tulcán, Boston, Álamos, Pinares, Providencia, Canaán

Este formulario se creó en Universidad Tecnológica de Pereira.

Google Formularios

Las encuestas fueron aplicadas por medio virtual y personal, se recopilaron los datos y se obtuvieron los siguientes resultados:

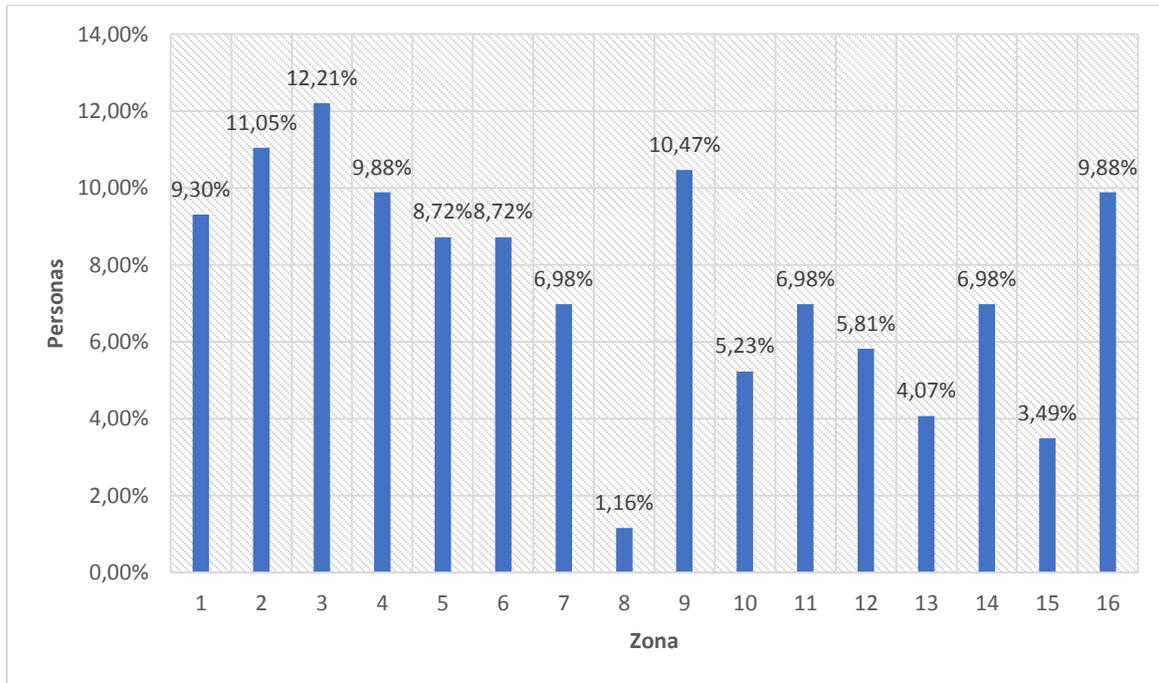


Figura 3. 15 Resultados de la encuesta.

El total de las encuestas realizadas es 208.

Para crear la matriz origen destino se tomará en cuenta la figura 3.15 y la capacidad que poseen los parqueaderos de motocicletas de la Universidad para este fin, los cuales son los siguientes:

Nombre del Parqueadero	Capacidad (motos)
Parqueadero biblioteca Jorge Roa Martínez	400
Parqueadero bloque L	300
Parqueadero bloque medicina	500
Parqueadero de la Julita	400
Total	1600

Figura 3. 16 Capacidad de los parqueaderos de la Universidad Tecnológica de Pereira (aproximado).

No se considera la posibilidad de que los encuestados hagan el mismo recorrido dos veces al día o que algún día de la semana falte, dado que no sería consistente para todos los días. Se castiga la capacidad total de motos con el fin de calcular las motocicletas que se movilizan desde Pereira-Dosquebradas por ende se restan 300 motos debido a que son las motocicletas que provienen de municipios aledaños como Cartago, Santa Rosa, Chinchiná, La Virginia entre otros. El criterio en la selección de la cantidad restringida fue tomado de las encuestas realizadas a mano, donde nos permitieron visualizar este panorama fuera de la ciudad.

se multiplica por los porcentajes descritos en la figura 3.15 para obtener como resultado la cantidad de motocicletas que parten de las diferentes zonas hacia la Universidad, donde estos datos serán almacenados en la matriz O-D.

$$m = [0 \ 120 \ 144 \ 159 \ 129 \ 113 \ 113 \ 91 \ 15 \ 136 \ 68 \ 91 \ 76 \ 53 \ 91 \ 45 \ 128] \quad (3.3)$$

Cabe resaltar que el primer término de la matriz es 0 debido a que el origen sería el mismo destino, explicado en el capítulo 2 subcapítulo 2.1.1.

La expresión matemática (3.3) describe la Matriz O-D implementa para el estudio que se desarrolla en este documento.

3.3 Modelo

En este documento se analiza una moto eléctrica *Starker Hunter* marca Auteco como caso puntual para futuros estudios, por lo tanto, se procede a modelar dicha moto con los parámetros reales dado las características de la motocicleta proporcionadas por el fabricante. Posteriormente, se presenta la ecuación dinámica del vehículo descrita en el capítulo 2.2 de este documento, la cual se aplicó a la moto eléctrica.

$$F_d = mgsin(\theta) + mg(C_0 + C_1v) + \frac{1}{2}\rho C_d A_F (v + v_0)^2 + \left(m + \frac{J_{wh}}{r^2}\right) \frac{dv}{dt} \quad (2.4)$$

Se procede estudiar el comportamiento de la motocicleta con la aproximación de una velocidad constante de $v = 25 \text{ km/h}$ ($6,944 \text{ m/s}$), al ser una velocidad constante la fuerza ejercida por la aceleración se anula dando así la siguiente ecuación:

$$F_d = mgsin(\theta) + mg(C_0 + C_1v) + \frac{1}{2}\rho C_d A_F (v + v_0)^2 \quad (3.4)$$

Como punto de partida se calcula las constantes de la ecuación (3.4), la masa del vehículo es de 98 kg y la masa del conductor es de 75 kg dando un total de $m = 173 \text{ kg}$, la aceleración de la gravedad igual a $9,81 \text{ m/s}^2$. Los autores de [22] proponen calcular el Coeficiente de fricción estático mediante la ecuación (3.5) donde el resultado de $C_o = 0,05$, en [23] se da un acercamiento al coeficiente de fricción dinámico $C_1 = 00000344$, el cual es el coeficiente de una bicicleta con el conductor, la densidad del aire $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ para condiciones climatológicas en Pereira, el coeficiente de resistencia aerodinámica de la moto $C_d = 0,9$ dado por los autores de [22], las características de la moto con el conductor da un área frontal $A_F = 0,77 \text{ m}^2$, una velocidad del viento promedio en la ciudad de Pereira $v_0 = 3,5 \text{ km/h}$ ($0,97222 \text{ m/s}$) [24].

$$C_o = \frac{\mu_r}{r_r} = \frac{0,01 \text{ m}}{0,2 \text{ m}} = 0,05 \quad (3.5)$$

donde μ_r es el coeficiente de rodadura y r_r es el radio de la llanta de la moto.

Se presenta la ley de la conservación de la energía la cual afirma que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma. Por medio de este principio se relaciona la energía eléctrica suministrada por las baterías de la moto con la energía mecánica que tiende a desarrollar la moto para vencer las fuerzas y continuar con el mismo movimiento de velocidad constante y la energía de las diferentes pérdidas.

$$E_{eléctrica} = E_{mecánica} + E_{pérdidas} \quad (3.6)$$

De manera similar, se aplica una relación de potencia eléctrica con potencia mecánica por medio de una eficiencia η , donde la eficiencia contempla la potencia en pérdidas.

$$P_{eléctrica} = \frac{P_{mecánica}}{\eta} \quad (3.7)$$

La ecuación (3.7) esta descrita por la ecuación (3.4), donde:

$$P_{mecánica} = F_d \cdot v$$

$$P_{mecánica} = \left[mgsin(\theta) + mg(C_0 + C_1v) + \frac{1}{2}\rho C_d A_F (v + v_0)^2 \right] * v \quad (3.8)$$

Se procede analizar las diferentes componentes anteriormente mencionadas y se crean dos constantes:

$$k_1 = mgv$$

$$k_2 = \left[mg(C_0 + C_1v) + \frac{1}{2}\rho C_d A_F (v + v_0)^2 \right] * v$$

La potencia mecánica queda en función de la inclinación del terreno.

$$P_{mecánica} = k_1 sin(\theta) + k_2 \quad (3.9)$$

Se determina numéricamente las constantes k_1 y k_2 .

$$k_1 = 11785,55 \text{ W}$$

$$k_2 = 776,93 \text{ W}$$

Se retoma la $P_{eléctrica}$ descrita la ecuación (3.7), la cual es calcula a través de la siguiente expresión:

$$P_{eléctrica} = V * I \quad (3. 10)$$

Donde I es la corriente que circula por las baterías de la motocicleta eléctrica y es tomada por la DAQ y V es la tensión de las baterías donde la motocicleta tiene un sensor incorporado donde mide y muestra en el tablero la tensión en bornes de las baterías.

Por medio de los datos adquiridos en las pruebas basadas en los diferentes recorridos y posteriormente presentadas en la sección de Gráficos y Perfiles en este documento se presenta un resumen de las diferentes potencias a estudiar que posean inclinaciones mayores o iguales a cero en la tabla que se presenta a continuación.

<i>Recorrido</i>	<i>Angulo radianes</i>	<i>Angulo en grados</i>	<i>Potencia consumida por la gravedad</i>	<i>Potencias Mecánica</i>	<i>Potencia Eléctrica</i>	<i>Eficiencia</i>
1	0,000000	0,000000	0,00	776,83	1114,37	69,71%
3	0,013699	0,784874	161,44	938,27	1224,5	76,62%
3	0,015625	0,895247	184,14	960,97	1262,96	76,09%
5	0,019802	1,134570	233,36	1010,19	1424,46	70,92%
5	0,020408	1,169302	240,50	1017,33	1425,22	71,38%
2	0,022727	1,302177	267,83	1044,66	1525,3	68,49%
1	0,025974	1,488202	306,08	1082,91	1465,94	73,87%
1	0,036145	2,070932	425,89	1202,72	1641,114	73,29%
4	0,041322	2,367593	486,87	1263,70	1441,71	87,65%
2	0,044248	2,535211	521,31	1298,14	1483,94	87,48%
4	0,044335	2,540208	522,34	1299,17	1553,51	83,63%
2	0,054054	3,097069	636,75	1413,58	1632,15	86,61%
1	0,054795	3,139495	645,46	1422,29	1579,5	90,05%
6	0,061719	3,536253	726,93	1503,76	1635,26	91,96%
2	0,073964	4,237854	870,92	1647,75	1800,14	91,53%
6	0,088169	5,051689	1037,77	1814,60	1984,44	91,44%

(3. 11) Resumen de potencias recolectadas en distinto recorridos con inclinaciones iguales o mayores a 0.

En la anterior tabla se muestra un resumen de las inclinaciones positivas (vehículo subiendo) dependiendo del recorrido hecho en la prueba, la potencia consumida por la gravedad la cual es igual a al primer componente de la $P_{mecánica}$ el cual es igual a $k_1 \sin(\theta)$, la potencia mecánica calculada con la ecuación (3.9), la $P_{eléctrica}$ es el promedio de la potencia eléctrica calculada median la ecuación (3.10) en la zona donde se estabiliza en determinada inclinación del terreno y por último se presenta la relación entre dichas dos potencias despejando η de la ecuación (3.7).

El comportamiento de la eficiencia respecto a la potencia mecánica consumida se puede visualizar mediante la gráfica 1, donde se hace una regresión exponencial para relacionar la eficiencia en función de la potencia mecánica la cual da la siguiente expresión:

$$\eta = 0,0403 P_{mecánica}^{0,4216} \quad (3. 12)$$

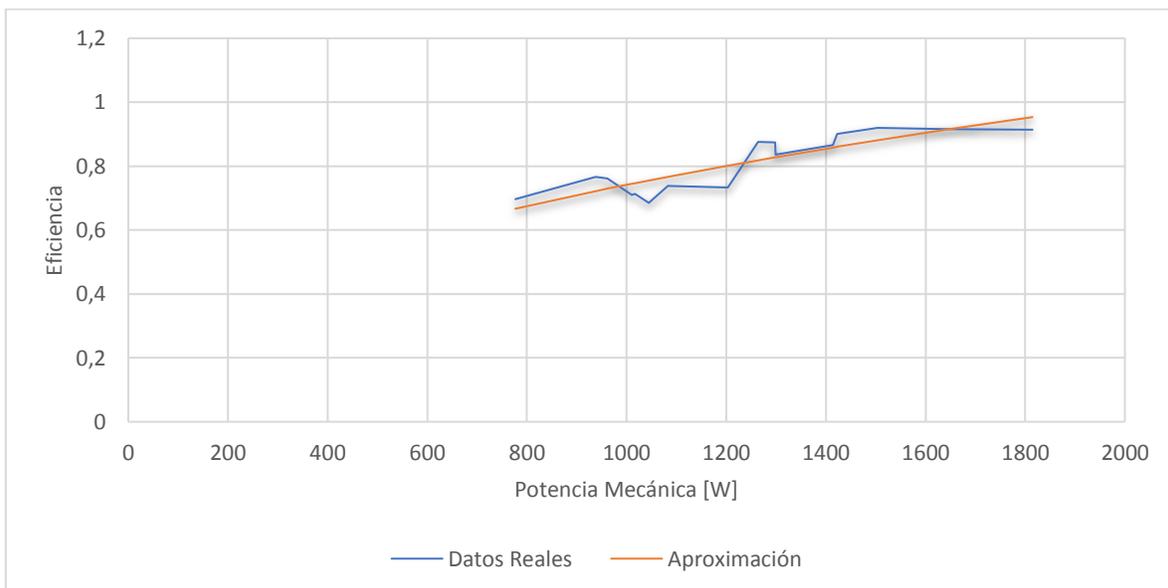


Figura 3. 17 Eficiencia vs Potencia Mecánica.

Se realiza el último ajuste a la regresión para validar que la función de la eficiencia en términos de la potencia mecánica sea óptima para el modelo. Los autores de [25] hablan sobre la eficiencia de los motores eléctricos donde presentan sus respectiva grafica que se muestra en la figura 3.18, la cual relaciona la eficiencia con la carga de los motores con sus valores más comunes. Para lograr una mayor certeza se valida la eficiencia máxima con un fabricante de un Motor HUB DC sin escobillas de 1500 W con tensión de operación de 48V-72V [26] de características similares es de 87%.

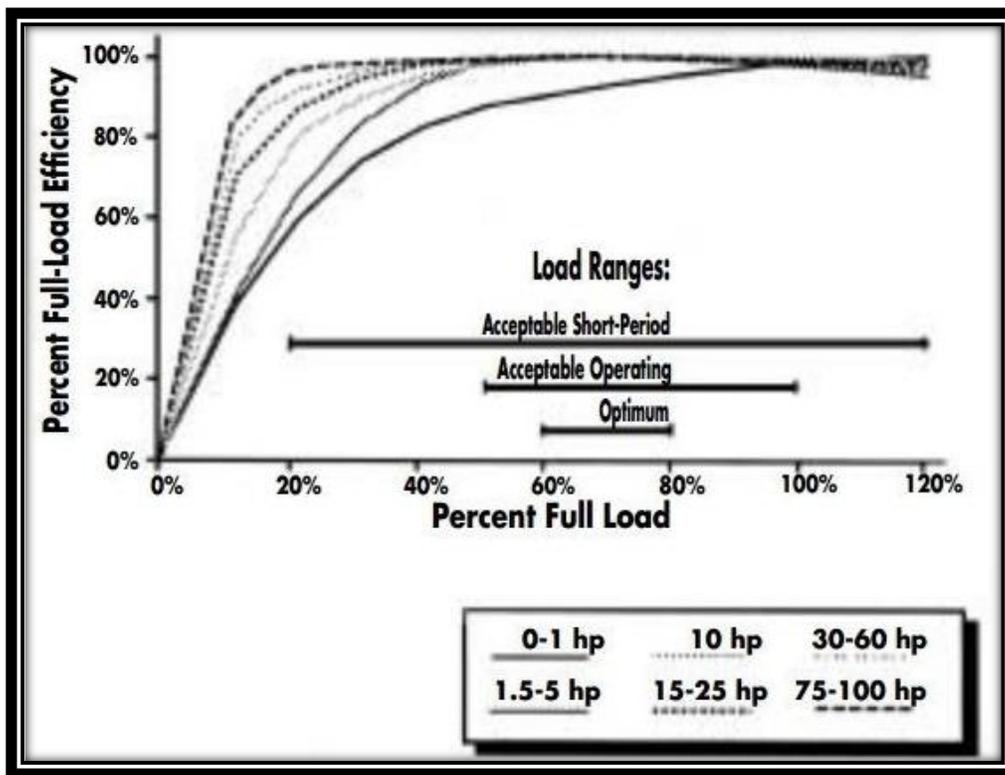


Figura 3. 18 Eficiencia vs carga de motores.

A continuación, se presenta la ecuación final de la eficiencia del modelo en función de la potencia mecánica con las consideraciones anteriormente mencionadas.

$$\eta = 0,1812P_{mecánica}^{0,2077} \quad (3. 13)$$

Se calcula la carga de motor con la expresión matemática (3.14) para comparar la aproximación inicial ecuación (3.12) y aproximación final ecuación (3.13) de la eficiencia con la figura 3.18, teniendo en cuenta que la potencia nominal de la moto es de 1500 W aproximadamente 2 HP, esta comparación se puede ver por medio de la figura 3.19 y 3.20, donde la figura 4 muestra la eficiencia de motores entre 1 a 5 HP. Se concluye que la ecuación es válida para demostrar el comportamiento de la eficiencia en función de la potencia mecánica de la moto eléctrica.

$$Carga\ del\ motor = \frac{Potencia\ mecanica}{Potencia\ nominal} \quad (3.14)$$

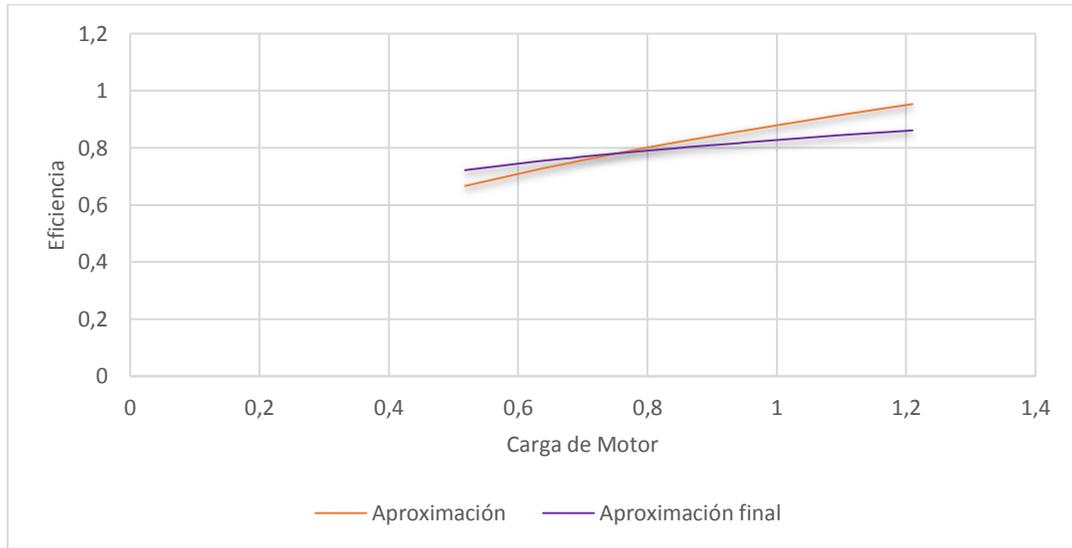


Figura 3. 19. Eficiencia vs Carga de motor de la moto eléctrica (aproximaciones).

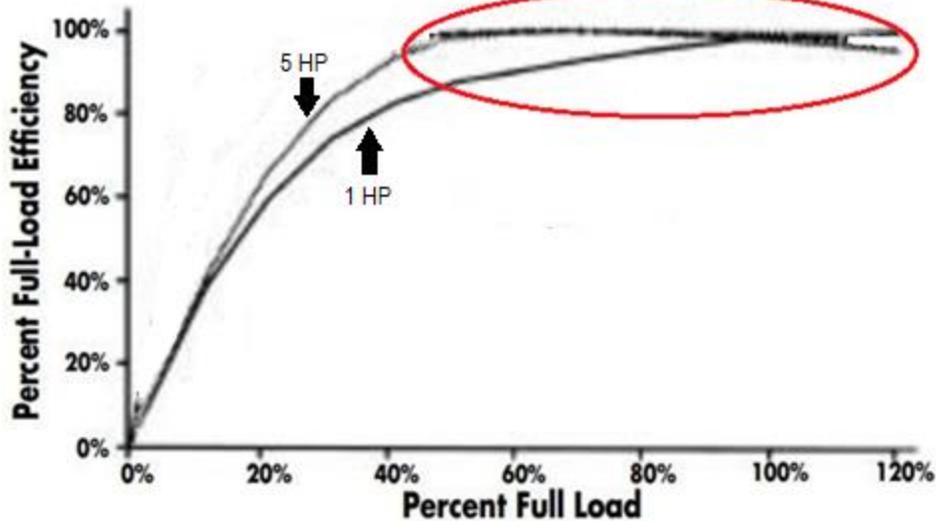


Figura 3. 20 Valores típicos de eficiencia vs carga de motor para motores de 1 HP y de 5 HP.

Con la eficiencia en función de la potencia mecánica ya podemos reemplazarla en la ecuación (3.7) en busca de la potencia eléctrica consumida para diferentes inclinaciones.

$$P_{el\acute{e}ctrica} = \frac{P_{mec\acute{a}nica}}{0,1812P_{mec\acute{a}nica}^{0,2077}} \quad (3.15)$$

Finalizado el análisis de las inclinaciones mayores o iguales a 0 se presenta el análisis para inclinaciones menores a 0, donde el primer componente de la $P_{mec\acute{a}nica}$ $k_1 \sin(\theta)$ matemáticamente es un número negativo haciendo que la potencia requerida para continuar el movimiento a velocidad constante disminuya.

Hablando físicamente se requiere menos $P_{mec\acute{a}nica}$ dado que el cuerpo se encuentra en caída por un plano inclinado, la fuerza de la gravedad incrementa el movimiento haciendo que la motocicleta experimente un movimiento uniformemente acelerado, esta aceleración aumenta a medida que el plano se encuentre más inclinado.

Dado lo anterior las pruebas que se realizaron presentan una velocidad constante, por lo tanto, la aceleración es nula. Con el fin de conservar estos principios se implementa el frenado constante por el sistema de frenos de la motocicleta y el freno motor.

El sistema de frenos es el conjunto de partes independiente del motor destinados a la disminución de la velocidad hasta llegar el momento de parar el vehículo, para la motocicleta que se implementó en las pruebas cuenta con un sistema de freno delantero de disco y freno trasero de campana.

El freno motor es la acción frenante ejercida por el motor cuando, una vez reducida la alimentación al mínimo, es arrastrado en rotación a una velocidad superior a la correspondiente a dicho mínimo [27].

Se consideran que para inclinaciones menores a cero se da la acción de freno motor, por lo tanto, se tomaron dos esquemas:

1. Utilizando freno motor y ocasionalmente el sistema de frenado de la motocicleta, debido a que el freno motor no sea suficiente para mantener la velocidad constante.
2. Implementando solamente el sistema de frenos de la moto.

Los vehículos eléctricos pueden tener la capacidad de un frenado regenerativo, para el caso de la moto eléctrica utilizada en las pruebas carece de esta característica.

Por medio de los datos adquiridos en las pruebas en los diferentes recorridos y tomando como consideración los dos esquemas se presenta el resumen de las potencias en inclinaciones menores a cero en las tablas posteriores.

<i>Recorrido</i>	<i>Angulo radianes</i>	<i>Angulo en grados</i>	<i>Potencia consumida por la gravedad</i>	<i>Potencias Mecánica</i>	<i>Potencia Eléctrica</i>	<i>Eficiencia</i>
2	-0,013699	-0,784874	-161,44	615,39	708,90	86,81%
4	-0,019802	-1,134570	-233,36	543,47	655,73	82,88%
5	-0,036585	-2,096187	-431,08	345,75	561,60	61,56%
5	-0,044335	-2,540207	-522,34	254,49	330,18	77,08%
3	-0,053571	-3,069417	-631,07	145,76	206,40	70,62%
5	-0,064	-3,666930	-753,76	23,07	149,20	15,46%

Figura 3. 21 Resumen de las diferentes potencias utilizando el primer esquema.

<i>Recorrido</i>	<i>Angulo en radianes</i>	<i>Angulo en grados</i>	<i>Potencia consumida por la gravedad</i>	<i>Potencias Mecánica</i>	<i>Potencia Eléctrica</i>	<i>Eficiencia</i>
6	-0,012658	-0,725263	-149,18	627,65	541,97	115,81%
2	-0,013699	-0,784874	-161,44	615,39	461,17	133,44%
3	-0,022727	-1,302177	-267,83	509,00	244,60	208,09%
5	-0,036585	-2,096187	-431,08	345,75	134,30	257,44%
3	-0,053571	-3,069417	-631,07	145,76	37,890	384,70%

Figura 3. 22 Resumen de las diferentes potencias utilizando el segundo esquema.

En las anteriores tablas se presentan un resumen de las inclinaciones negativas (vehículo bajando) dependiendo del recorrido hecho en la prueba, la potencia consumida por la gravedad es igual al primer componente de la $P_{mecánica}$ el cual es igual a $k_1 \sin(\theta)$, la potencia mecánica calculada con la ecuación (3.9) la $P_{eléctrica}$ es el promedio de la potencia eléctrica calculada mediante la ecuación (3.10) en la zona donde se estabiliza en determinada inclinación del terreno y finalmente se presenta la relación entre las dos potencias despejando η de la ecuación (3.7).

El comportamiento de la eficiencia en las dos consideraciones es totalmente diferente, en el primero presenta una gran ineficiencia dado que consume energía eléctrica para frenar el motor, haciendo que se incremente el consumo energético de manera indeseada. Los datos de la potencia eléctrica almacenados en la tabla no equivalen a la zona estable si no a la potencia pico que se presenta en cada inclinación al utilizar este tipo de frenado, sin ir más

lejos, es la potencia con que arranca el freno motor alcanzando la zona de estabilidad en los 250 Watts (ver figura 3.23).

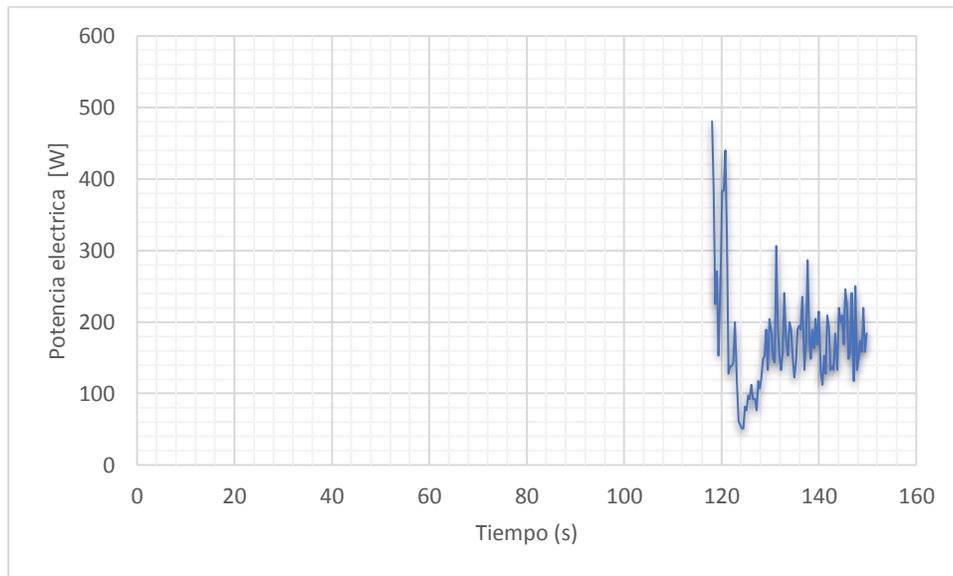


Figura 3. 23 Pico de potencia y la zona de estabilidad por freno motor.

En el segundo esquema la eficiencia es alta dado que utiliza un sistema de frenado independiente al motor haciendo que solo la moto consuma potencia eléctrica por otros factores (luces, pérdidas en los conductores, etc.). Ver figura 3.24.

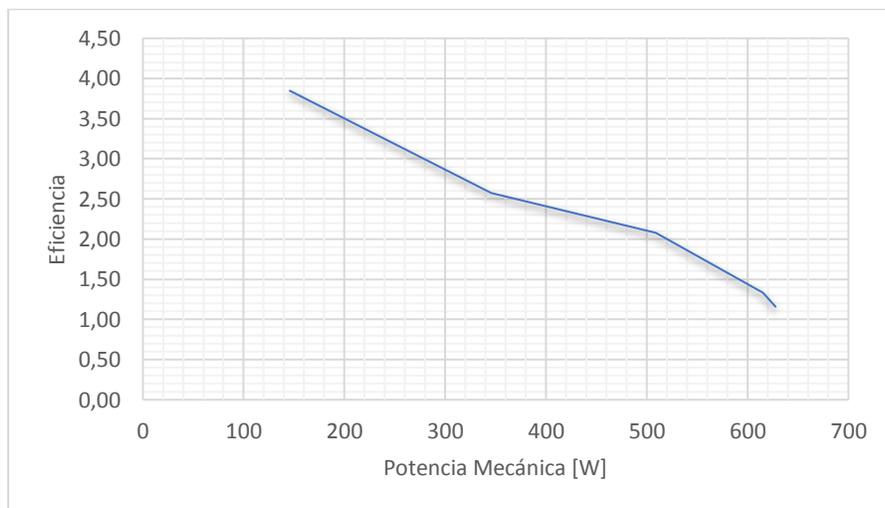


Figura 3. 24 Eficiencia vs Potencia Mecánica utilizando el segundo esquema.

El comportamiento de la eficiencia respecto a la potencia mecánica consumida en la figura 3.4 está dada mediante la aplicación de la regresión exponencial, esta técnica es la mejor para encontrar la ecuación que relacione este recorrido de la gráfica. Las ecuaciones encontradas para los esquemas son:

Para el primer esquema:

$$\eta = 0,0114P_{mecánica}^{0,6565} - 0,17843 \quad (3.16)$$

Para el segundo esquema:

$$\eta = 29,557P_{mecánica}^{-0,519} - 0,2126 \quad (3.17)$$

Finalmente, el modelamiento desarrollado en esta última parte donde las inclinaciones son menores de cero depende de las consideraciones establecidas para el frenado de la moto, cabe resaltar que la buena práctica a la hora de manejar un vehículo eléctrico que no posee frenado regenerativo es utilizar adecuadamente el sistema de frenos de la motocicleta que ya vienen preestablecidos de fábrica. El freno motor no es recomendado para este tipo de vehículos.

Cuando la motocicleta se encuentre a una velocidad mayor a la diseñada para el motor debido a las inclinaciones y topologías del terreno donde la fuerza de la gravedad hace que la aceleración se incremente, el motor se encuentra embalado donde si se acelera la moto, el motor actúa como freno (freno motor) por lo consiguiente no es recomendable inyectar potencia cuando se presente esta condición y si se va a frenar se utilice el sistema de frenos de la motocicleta.

Una vez obtenido las ecuaciones que relacionan la eficiencia, como también la potencia mecánica para todas las inclinaciones, se presenta la $P_{mecánica}$ cuando la inclinación es igual a cero, esto debido a que es el punto donde se parte en dos el análisis:

Si:

$$\theta = 0$$

$$P_{mecánica} = 776,83 \text{ Watts}$$

Por medio de la ecuación (3.9) se obtiene la potencia mecánica cuando la inclinación es cero con las condiciones establecidas atrás en este capítulo del documento.

Quedando la función de la eficiencia de la moto eléctrica descrita en una función por partes la cual se menciona a continuación, se puede visualizar en la figura 3.25.

$$\eta = \begin{cases} 0,0114P_{mecánica}^{0,6565} - 0,17843 & \text{si } P_{mecánica} < 776,83 \text{ y primer esquema} \\ 29,557P_{mecánica}^{-0,519} - 0,2126 & \text{si } P_{mecánica} < 776,83 \text{ y segundo esquema} \\ 0,1812P_{mecánica}^{0,2077} & P_{mecánica} \geq 776,83 \end{cases} \quad (3.18)$$

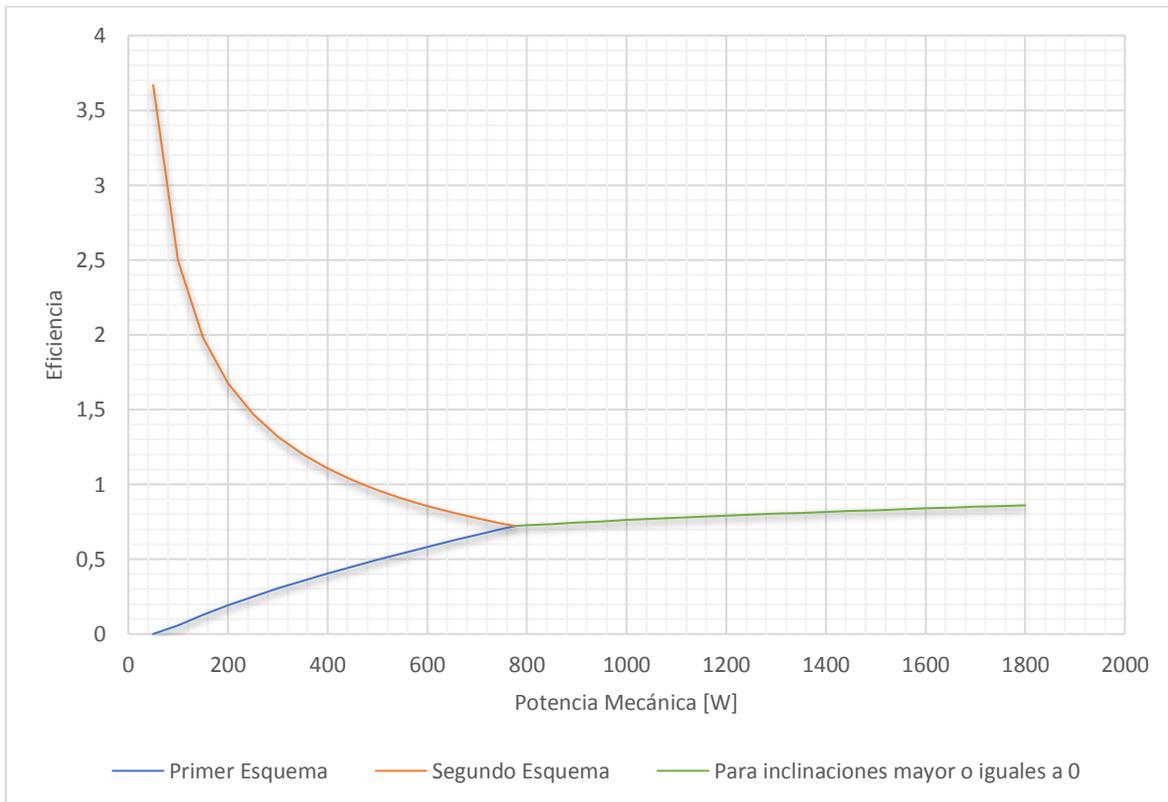


Figura 3. 25. Eficiencia vs Potencia Mecánica.

Para efectos de cálculos de la potencia eléctrica se recomienda utilizar la ecuación (3.7) con la eficiencia η dada por la expresión (3.18) cuando las inclinaciones son mayores o iguales a cero. Para las inclinaciones menores a cero, y de acuerdo con las observaciones, se usa el escenario de potencia constante de 250 Watts, dado que no se implementa la expresión (3.18). Este último escenario introduce un valor de potencia baja que usualmente se presenta en pendiente negativa debido al hábito de manejo por el conductor en el frenado.

Se continua con la expresión de la energía eléctrica de la moto para determinar la energía consumida en cualquier recorrido, dado que ya tenemos todas las componentes de la ecuación (3.7), con la cual se encuentra la $P_{eléctrica}$ y se calcula matemáticamente dicha energía por medio de la ecuación (3.19).

$$E_{eléctrica} = \int_0^t P_{eléctrica} dt \quad (3.19)$$

Si la moto eléctrica viaja a una velocidad constante la integral se vuelve en una suma de Riemann de la siguiente forma:

$$E_{eléctrica} \approx \sum_0^{T_{final}} P_{eléctrica} T_o \quad (3.20)$$

3.4 Impacto de la carga sobre el sistema de distribución

El impacto energético generado por la carga de las motos eléctricas en el sistema de distribución de la Universidad se describe como la energía utilizada en la recarga de estos vehículos, por lo tanto, calcularemos por medio de **la matriz O-D** descrita en el Subcapítulo 2.1.1. Resultados de la encuesta representada por la figura 3.15. Además, se define el factor de energía requerida ξ_{1j} , el cual va ser la energía consumida por la moto eléctrica de haber realizado los diferentes recorridos de la matriz O-D, donde este factor dependerá de la topografía de la ruta. Suponemos que cada vehículo comienza el recorrido con la batería llena y se recarga en su totalidad en la Universidad Tecnológica de Pereira el cual sería el destino

de todos los trayectos, por lo tanto, la energía total demandada en el destino viene dada por:
[11]

$$E_1^{(t)} = \sum_j \xi_{1j}^{(t)} m_{1j}^{(t)} \quad (3.21)$$

La energía en el destino no depende del tiempo, se obtiene la siguiente expresión:

$$E_1 = \sum_j \xi_{1j} m_{1j} \quad (3.22)$$

Donde la ξ_{1j} es el factor de descarga o de energía requerida para cada recorrido siendo así una matriz de igual dimensión de m_{1j} , donde este ultima es la matriz O-D.

Terminando, el factor de descarga ξ para los distintos recorridos se calcula por medio del modelo dinámico de la moto eléctrica que depende de la topología del terreno dado a los diferentes ángulos de inclinación θ , como también de la velocidad v del sistema de transporte que aproximamos a una constante, dicho de otro modo, el factor de descarga ξ es la energía que consume la moto al realizar el recorrido. La energía que impactara el sistema de distribución hallado a través de la matriz O-D, describe la cantidad de vehículos que se movilizan en los diferentes recorridos, como también el factor de descarga de estos mismos trayectos, luego se suma la energía de cada recorrido teniendo como objetivo encontrar la energía total que se necesitaría para suplir la recarga de la motocicleta.

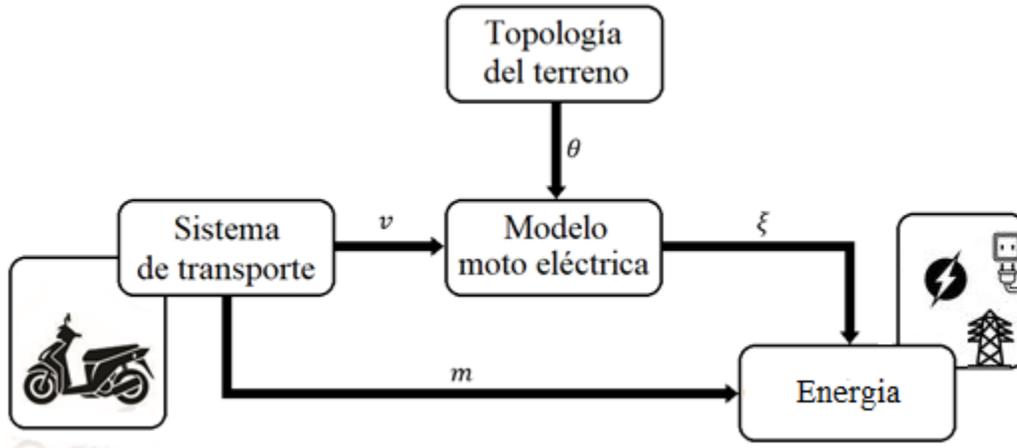


Figura 3. 26 Esquema de variables que intervienen para la energía.

3.4.1 Energía requerida.

Para el cálculo de la energía requerida se inicia a través del mismo desarrollo de cómo se obtuvieron los perfiles de los recorridos de las pruebas, se obtienen los perfiles topográficos de los recorridos de las 16 zonas, los cuales se trazan del punto central de la zona hasta el destino común de todos que sería la Universidad Tecnológica de Pereira como los muestra la figura 3.27. Por medio del software Google Maps se da trazado de los recorridos, el cual muestra la ruta más viable para hacer el recorrido, tanto en tiempo como en distancia.



Figura 3. 27 Mapa de la ciudad Pereira-Dosquebradas con las 16 rutas.

Posteriormente se realiza el perfil de elevación de los 16 recorridos establecidos.

Recorrido Relieve



3



4



5



6



7



8



9



10



11



12



13



14



15



16



Figura 3. 28 Gráficos de los perfiles de elevación de los 16 recorridos.

Llegado a este punto, se continua el proceso calculando la energía eléctrica consumida por la moto el cual sería el factor de descarga ξ para los diferentes trayectos, para esto se emplea el subcapítulo 3.3 modelamiento donde describe el procedimiento matemático de forma detallada con sus respectivos comentarios donde los resultados se almacenan en la siguiente matriz.:

$$\xi = \begin{bmatrix} 0 & 0,227688 & 0,212404 & 0,207851 & 0,181662 & 0,517574 & 0,424259 & 0,442216 & \dots \\ 0,379930 & 0,407665 & 0,303508 & 0,197125 & 0,171289 & 0,156133 & 0,197129 & 0,265990 & 0,107697 \end{bmatrix} kWh \quad (3.23)$$

*Nota: Los resultados del modelo están en Watts * s se hacen las conversiones respectivas para llevarlos a kWatts * h*

Dado las dos matrices ξ y m descritas anteriormente por la expresión (3.3) y (3.23) respectivamente, finalmente se calcula la energía total mediante la ecuación (3.22).

$$E_1 = \xi \cdot m$$

$$E_1 = 425,7642 kWh$$

Se consideran 3 escenarios energéticos las cuales implicarías sus respectivas condiciones.

-
- **Primer escenario:** Solo se considera que los estudiantes van a la Universidad en un solo recorrido donde se ocupara el 100% de la capacidad que posee los parqueaderos en todo el día, esta energía sería:

$$E_{escenario\ 1} = 425,7642\ kWh$$

- **Segundo escenario:** Se considera que la comunidad educativa hace dos recorridos, donde el primer recorrido es por la mañana donde se llena la capacidad total de los parqueaderos (100%), por la tarde debido a diversos factores, dando como ejemplo que algunos estudiantes permanecen todo el día en la universidad, se retiran de las instalaciones y no regresan a la universidad, por otro lado que solo vienen en la tarde y no en la mañana, por lo tanto se considera un factor de incremento del 60%, haciendo que se aumente la energía en dicho valor.

$$E_{escenario\ 2} = 425,7642\ kWh * 160\% = 681,2227\ kWh$$

- **Tercer escenario.** Se contempla las mismas condiciones del segundo escenario, esta vez se le adiciona un nuevo flujo de vehículos de la jornada nocturna de la Universidad, donde se considera un 80% adicional de demanda del segundo escenario, este incremento se detalla a través de la siguiente expresión.

$$E_{escenario\ 3} = 425,7642\ kWh * 240\% = 1021,83408\ kWh$$

Para visualizar de forma clara la metodología empleada en este trabajo, se realizó esquema de las actividades plasmadas en todo el documento, con el fin de incentivar al estudio de diferentes modelos de vehículos eléctricos.

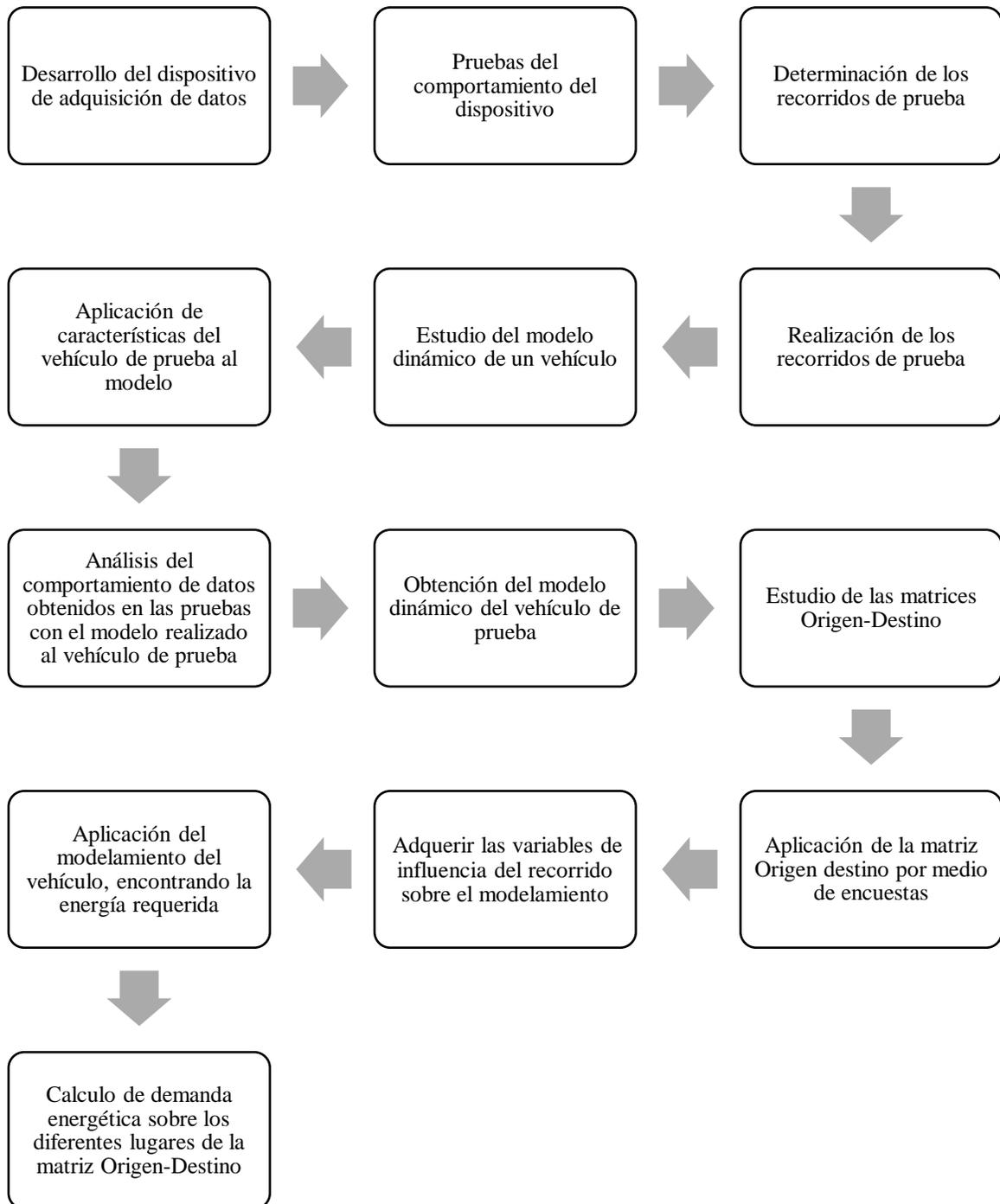


Figura 3. 29 Esquema de metodología empleada estudio de vehículos eléctricos

Capítulo 4

CONCLUSIONES

Predecir el futuro siempre ha sido una intuición de muchos, pero si se logra comprender que se acercan grandes cambios en el sector de las energías renovables todo da un giro a favor de la sociedad, un futuro energético no está muy lejos, en el sector de transporte se observa grandes avances con relación a las tecnologías verdes. Actualmente en Colombia el sector de transporte se ve inmerso a diversos cambios, las personas ya cuentan con una idea de cambio de sus vehículos de combustión interna por uno eléctrico que satisfazca sus necesidades de movilidad por la ciudad, como se puede apreciar en este estudio base aplicado específicamente en la ciudad de Pereira, donde se pueden ver los grandes beneficios en favorabilidad de la comunidad al contar con este tipo de vehículo, como también los cambios que se deben tener en cuenta en el sistema eléctrico para el máximo aprovechamiento de estos vehículos.

El auge de los vehículos eléctricos está creciendo en el mercado transporte en Colombia, para diferentes países ya es una realidad, surge la necesidad de determinar un modelo que describa el comportamiento, para ver el impacto en el sistema de transporte y energético. Con respecto al trabajo desarrollado en este proyecto obtiene una contribución importante como documento base debido a que establece un modelo matemático que describe el comportamiento energético de una motocicleta eléctrica con unas determinadas características, dando a conocer el consumo de energía eléctrica que es requerido al momento de desplazarse de un lugar a otro, esto gracias a la adquisición de datos en tiempo real obtenidos mediante un sistema de medición descrito en el documento.

Se ha propuesto en este proyecto una metodología simple para el cálculo de las demandas energéticas de un sistema eléctrico que cuente con movilidad eléctrica. Esto debe ser

utilizado para entender las dinámicas futuras basadas en la nueva tecnología disponible en el mercado. Si bien es cierto que la movilidad eléctrica ofrece muchas ventajas, también es posible plantear que impone muchos retos tecnológicos.

En la aplicación de este trabajo se determina la demanda energética en un lugar específico en este caso la universidad Tecnológica de Pereira demostrando a través de la matriz origen destino la cantidad de vehículos con consumos respectivos que formarían una nueva carga en el sistema haciendo que se planee una renovación de las instalaciones eléctricas para poder suplir esta carga.

Se logró determinar que el consumo podría estar en un mínimo de $425,7642 \text{ kWh}$ y un máximo de $1021,83408 \text{ kWh}$, lo que puede dar las señales para la renovación o modernización de las redes eléctricas de la Universidad tecnológica de Pereira y la necesidad en número de estaciones de carga.

Se demuestra el comportamiento de la motocicleta eléctrica, así mismo la principal variable a estudiar es la inclinación del terreno, de tal manera que la eficiencia para inclinaciones mayores a 0 se comporta de una forma similar a los diferentes motores eléctricos, en las inclinaciones menores a cero la energía consumida por el vehículo depende del modo de manejo del conductor debido a los dos esquemas de manejo desarrollados, el más óptimo es el frenado sin la intervención del motor de la motocicleta eléctrica, dado que las características del vehículo de prueba no posee frenado regenerativo.

4.1 Trabajos futuros

A partir de los datos recolectados en este trabajo, se proyectan varios trabajos que pueden originarse a través del proyecto realizado, esto con el objetivo de generalizar algunos temas planteados o dar una profundidad necesaria a los temas planteados en el impacto de la motocicleta eléctrica en la red de distribución, algunos temas en los que se puede hacer extensión son movilidad, eficiencia de las baterías, eficiencia de vehículos eléctricos, estaciones de carga, entre otros. Se destacaron los siguientes estudios para un futuro cercano.

- Continuación del modelo dinámico de la motocicleta eléctrica para motocicletas con frenado regeneración.
- Formulación de metodología en la obtención de la curva de carga de los diferentes vehículos eléctricos en los puntos de recarga.
- Estudio de la masificación de las motocicletas eléctricas y su impacto en la red a través de puntos centrales de recarga y modelación de su comportamiento mediante matrices origen-destino.
- Expansión y restructuración de la red debido a la masificación de las motocicletas eléctricas.
- Planeamiento de estaciones de carga rápida para vehículos de dos ruedas.
- Optimización del impacto energético de la motocicleta eléctrica a través de los recorridos según la topografía de cada ciudad.
- Estudio de dispositivos de almacenamiento de energía locales en las estaciones de recarga entregando energía a los vehículos y recargándose en horas valle del sistema de distribución.

Bibliografía

- [1] E. Colombia, "Movilidad eléctrica 2do encuentro nacional," 2018. [Online]. Available: <http://movilidadelectrica.energycolombia.org/>. [Accessed Febrero 2018].
- [2] Motor.es, «Motor.es,» 26 04 2018. [En línea]. Available: <https://www.motor.es/noticias/cuanto-cuesta-cargar-coche-electrico-201734364.html>. [Último acceso: febrero 2018].
- [3] M. T. Garcia, «La necesidad de movilidad y el medioambiente en las grandes ciudades,» Universidad Pontificia ICAI ICADE Comillas Madrid., Madrid, 2014.
- [4] Ámbito.com, «Ámbito.com,» 9 Mayo 2017. [En línea]. Available: <http://www.ambito.com/884585-vehiculos-electricos-el-futuro-de-la-mo>. [Último acceso: Febrero 2018].
- [5] B. Q. Martínez., «El mercado mundial de los vehículos eléctricos. Twenergy,» 2 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://twenergy.com/a/el-mercado-mundial-de-vehiculos-electricos-2746>. [Último acceso: Febrero 2018].
- [6] Codensa, «Avances tecnológicos Colombia Codensa, Movilidad eléctrica,» 15 Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://www.codensamovilidadelectrica.com/Proyectos-colombia/inversion-avances>. [Último acceso: Febrero 2018].
- [7] E. Hernandez, C. Sierra, F. Perarnau y A. Rocabayera, «BARCELONA SMARTMOTO CHALLENGE . 17th International Congress on Project Management and Engineering , 9.,» ETSEIB (UPC), Gestamp, Mss ., Barcelona, 17 de Julio 2013.
- [8] J. P. A. Piccardo, «Vehículo Eléctrico de producción nacional,» Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 2012.
- [9] D. Martínez Vicente, «El impacto del vehículo eléctrico en la red de distribución,» Universidad politécnica de Cataluña., Barcelona, Cataluña, 2011.

- [10] M. E. C. Velasco., *Modelado orientado a objetos de una motocicleta eléctrica.*, Madrid: Universidad Carlos III, 2012.
- [11] Y. G. A. M. Alejandro Garces, «Optimal Congestion Management of Sub-transmission Grids with Electric Vehicles and Local Energy Storage Considering Information from Traffic Simulations,» *IEEE*, p. 4, 2016.
- [12] W. A. P. D. D. O'Neill, « Origin-destination trip table estimation usign traffic counts.,» University of New York at Buffalo, NY ., 1987.
- [13] D. D. V. Rayo, «ESTIMACIÓN DE MATRICES ORIGEN-DESTINO Y CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS EN EL PROBLEMA DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO EN REDES CONGESTIONADAS,» UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA, Cuenca, 2011.
- [14] Amazonaws, «Amazonaws,» [En línea]. Available: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36952451/ENCUESTA_Trabajo.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1541384353&Signature=Bpo866HQ3%2FD1hGhbPUG0Y9W1yGY%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DEstudio_De_Encuestas.pdf. [Último acceso: Octubre 2018].
- [15] C. M. A. E. David Wenzhong Gao, «Modeling and Simulation of Electric and Hybrid Vehicles,» *IEEE*, 2007.
- [16] Encured, «Ecured,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Segunda_Ley_de_Newton. [Último acceso: Octubre 2018].
- [17] WheeledWorld, «WheeledWorld,» 27 Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://wheeledworld.wordpress.com/2015/03/27/aerodinamica-de-las-motos-i-teoria/>. [Último acceso: Octubre 2018].

- [18] icarito, «icarito,» 22 Marzo 2010. [En línea]. Available: <http://www.icarito.cl/2010/03/22-8948-9-fuerza-de-gravedad.shtml/>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [19] Winson, «Winson,» [En línea]. Available: <http://www.winson.com.tw/Data%20Sheet/WCS1800.pdf>. [Último acceso: Septiembre 2018].
- [20] J. Carlos, «Booleanbite,» 10 Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://booleanbite.com/web/adquisicion-de-datos-con-arduino-i-tiempo-de-muestreo-y-resolucion/>. [Último acceso: Septiembre 2018].
- [21] Aprendiendoarduino, «Aprendiendoarduino,» 6 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/software/>. [Último acceso: Septiembre 2018].
- [22] M. G. Ricardo Marchese, «El consumo del combustible y energia en el transporte.,» Universidad Nacional de Tucuman , Argentina, 2011.
- [23] N. Gutierrez, «Biomecanica y ciclismo,» Universidad de Granada , España, 1994.
- [24] weatherspark, «weatherspark,» Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://es.weatherspark.com/y/22431/Clima-promedio-en-Pereira-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [25] electricaplicada, «electricaplicada,» 7 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://www.electricaplicada.com/eficiencia-de-un-motor-electrico-y-los-valores-mas-comunes/>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [26] aliexpress, «aliexpress,» 2018. [En línea]. Available: https://www.aliexpress.com/item/10-2-15inch-Single-Shaft-1500W-205-45H-V1-48V-72V-Brushelss-DC-Electric-Scooter-Motorcycle/32812648306.html?cv=47843&af=501872&aff_platform=aaf&mall_aff

r=pr3&cpt=1540841104046&afref=https%253A%252F%252Fwww.google.com.co%252. [Último acceso: Octubre 2018].

- [27] Motorgiga, «Motorgiga,» 11 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/freno-motor-definicion-significado/gmx-niv15-con194228.htm>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [28] E. Hernandez, C. Sierra, F. Perarnau, A. Rocabayera y G. M. .. ETSEIB (UPC), «SMARTMOTO CHALLENGE,» de *ETSEIB (UPC), Gestamp, Mss . BARCELONA SMARTMOTO CHALLENGE . 17th International Congress on Project Management and Engineering , 9, BARCELONA, 2013.*