

PROPUESTA DE CICLO DE CONDUCCIÓN PARA UN MOTOCARRO OPERANDO EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN

por:

Cristian Mateo Arango López

c.arango2081@pascualbravo.edu.co

Programa

Tecnología en Mecánica Automotriz



Asesor:

Ph.D. Alejandra Estefanía Patiño Hoyos

Institución Universitaria Pascual Bravo

Departamento de Mecánica

Junio de 2023

Tabla de contenido

| | |
|---|----|
| Resumen | 5 |
| 1 Introducción | 6 |
| 2 Marco Teórico | 6 |
| 2.1 Motocarro | 6 |
| 2.1.1 Motocarros en Colombia..... | 7 |
| 2.1.2 Ventajas de los motocarros | 8 |
| 2.2 Motor a combustión interna..... | 9 |
| 2.3 Ciclo de conducción | 9 |
| 2.4 Distancia y distancia recorrida | 10 |
| 2.5 Velocidad y velocidad promedio | 11 |
| 2.6 Ralentí de un motor | 11 |
| 2.7 Aceleración..... | 12 |
| 2.8 Filtrado por medias móviles | 13 |
| 2.9 Error absoluto | 13 |
| 3 Estado del arte | 14 |
| 4 Objetivos | 16 |
| 5 Metodología | 17 |
| 6 Resultados | 23 |
| Conclusiones | 30 |
| Referencias | 31 |

Lista de Figuras

Figura 1: Motocarros típicos empleados en Colombia

Figura 2: Motor de un motocarro

Figura 3: Ejemplo de ciclo de conducción

Figura 4: Distancia en un movimiento

Figura 5: Comparación entre velocidad media y velocidad instantánea

Figura 6: Ralentí de una motocicleta

Figura 7: Definición de Aceleración

Figura 8: Ejemplo de filtrado por media móvil

Figura 9: Motocarros y Depósito de materiales

Figura 10: Pruebas de funcionamiento en app

Figura 11: Conductor de motocarro

Figura 12: Recolección de datos y formulas en Excel viaje #3

Figura 13: Ciclo de conducción para el viaje #4

Figura 14: Recolección de datos finales para el viaje #5

Figura 15: Tabla de frecuencias

Figura 16: Histograma viaje #5

Figura 17: Medidas resumen

Figura 18: Promedios de los datos de cada viaje

Figura 19: Tabla con valores reales de cada viaje

Figura 20: Tabla de errores mínimos

Figura 21: Ciclo de conducción típico para un motocarro en la ciudad de Medellín

Lista de tablas

Tabla 1: Tabla de velocidad vs tiempo para el ciclo propuesto

Tabla 2: Parámetros de ciclo de conducción propuesto

Resumen

En este trabajo, se propone establecer un ciclo de conducción para motocarros aplicable a la ciudad de Medellín. El objetivo principal es establecer perfiles de velocidad y tiempo para al menos 10 viajes de menos de 5 km y proponer un ciclo de conducción característico para este tipo de vehículo. Para ello, se utilizó una aplicación móvil para recopilar datos en tiempo real; distancia recorrida, velocidad máxima, altura, tiempo, entre otros, datos que fueron posteriormente analizados en una hoja de cálculo. Dicho análisis permitió determinar el ciclo más representativo para motocarros en la ciudad de Medellín. Además, se identificaron los errores mínimos de cada viaje en relación al promedio general. El ciclo típico de conducción se seleccionó con base al viaje con la menor cantidad de errores mínimos. Para mejorar la representación visual, se aplicó un suavizado utilizando un filtro de medias móviles.

Palabras clave: Motocarro, ciclo de conducción, estandarización, series de tiempo.

1 Introducción

Un ciclo de conducción busca mediante un gráfico de velocidad contra tiempo, resumir la forma típica de manejo en un determinado lugar. Este tipo de información es común encontrarla para automóviles y para motos, sin embargo, cuando por las particularidades del vehículo no se dispone de ningún ciclo que aplique, suele ser requerida la recolección de datos en ruta y el manejo estadístico de los mismos con el fin de llegar al gráfico que sea representativo de la forma de manejo. Este es el caso de los motocarros en Colombia, para los que no se cuenta con pruebas estandarizadas que permitan caracterizar su desempeño en modo dinámico. Esto constituye una problemática, ya que, para muchos efectos, estos vehículos son clasificados como motocicletas, cuando en realidad sus características mecánicas y de dimensiones son diferentes.

Para los motocarros no se dispone información relacionada con las velocidades, aceleraciones promedio, tiempos de parada, entre otros datos. Dicha información podría ser empleada para la estandarización de pruebas, o así mismo, para el diseño de componentes en los que se deba tener en cuenta la forma de manejo. Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente trabajo se busca proponer un ciclo que caracterice este tipo de vehículos.

2 Marco Teórico

Teniendo en cuenta que la definición de ciclos involucra varios términos que en ocasiones no son de uso común en ingeniería, a continuación, se presentan algunas definiciones que facilitarán la comprensión del trabajo.

2.1 Motocarro

La industria relacionada con entregas en trayectos cortos, se mantiene en una constante búsqueda de alternativas que ayuden a optimizar los procesos, a la vez que se satisface la alta demanda de pedidos, no solamente entregando sus productos en un menor tiempo, si no a un menor costo de operación. Los vehículos utilizados actualmente para realizar la distribución de las mercancías en trayectos o distancias cortas son grandes y contaminantes lo que dificulta cumplir con los tiempos establecidos, ya que presentan dificultades para acceder a zonas donde las vías son reducidas, tienen un alto consumo de combustible y generan un nivel elevado de emisiones que

afectan el medio ambiente. El motocarro surge como una opción que ayuda a mitigar esta problemática; esto se debe a sus características técnicas y modo de operación.

Un motocarro es un vehículo usualmente empleado para trabajo relacionado con carga de personas o materiales, por lo que podría decirse que es un híbrido entre dos mundos; cuenta con 3 ruedas, en la parte delantera es una motocicleta con motor de moto, su cilindrada oscila entre 200 y 400 cm³, y en la parte trasera, es similar a un vehículo de carga. Hoy en día son altamente usados, tanto en Europa como en América Latina, lo cual se debe a su bajo costo, al bajo consumo de combustible, y principalmente a su capacidad de adaptarse a cualquier tipo de actividad en la industria y necesidad de transporte de carga o pasajeros en distancias cortas. En la Figura 1, se presentan imágenes típicas de los motocarros usados en Colombia.



Figura 1. Motocarros típicos empleados en Colombia

2.1.1 Motocarros en Colombia

En el parque automotor de Colombia existen matriculados aproximadamente 24.000 motocarros, y de esta cantidad el 80% corresponde al distribuidor Bajaj, pero después de su separación con Auteco dejó libre el camino a UMA. Más de la mitad de los motocarros de Colombia están en la región del caribe con un aproximado del 60%. Por otro lado, al norte del país, cerca del 90% de los usuarios les da un uso para el transporte público, ya que tiene una ventaja al ser más barato que usar taxis o plataformas digitales, lo que lo convierte en un método más rápido y eficaz de transporte, aunque también son utilizados para otro tipo de actividades similares como transporte de niños, mensajería, carga y venta ambulante de alimentos. (Revista Forbes, 2020, #)

El mercado de estos vehículos ha venido abriéndose paso a lo largo de los últimos años en el país, ha tenido un gran crecimiento principalmente con sus ventas enfocadas a las microempresas, personas naturales y negocios pequeños. Según cifras del RUNT en el mes de abril del año 2022 se matricularon 1.345 unidades correspondientes a motocarros, lo que correspondió a un crecimiento del 53,2% comparándolo con el mismo mes del año 2021, y mucho más que en el 2020. Las marcas que más destacan en ventas en el país son TVS, Bajaj, AKT y Piaggio, destacan por ser las que ofrecen mejores y más versátiles alternativas para cada tipo de necesidades de los clientes; algunas de las referencias de motocarros más vendidas en Colombia son: TVS King Gs; AKT carguero 3W 200 y Bajaj Torito (Autofact & Ortuya, 2022).

2.1.2 Ventajas de los motocarros

A lo largo de los últimos 5 años aproximadamente, los motocarros se han venido adaptando de una gran manera a las microempresas que no movilizan o transportan un alto flujo de productos o insumos y para los cuales pagar una transportadora les genera un sobre costo debido a que el recorrido entre un lugar y otro es de poca distancia, o porque no es una cantidad lo suficientemente grande de material. Pero no solo ha sido útil para el sector de carga, sino también de transporte de pasajeros, lo que ha mejorado algunos servicios del sector turístico, optimizando algunas actividades de transporte en la ciudad.

Los motocarros también han sido útiles para los negocios de comidas rápidas, ya que pueden ser adaptados como carritos de comida o food trucks, por su facilidad de desplazamiento, carga de productos y adaptación a las diferentes necesidades (implementar una parrilla, una nevera interna etc.). Las características del motocarro han permitido a los emprendedores desplazarse por diferentes zonas con hasta 480 kg de carga por la ciudad sin necesidad de invertir mucho dinero en transporte o en un punto de venta fijo, lo que lo convierte en un medio bastante práctico. (Auteco, 2021). Como ya se ha mencionado, estos vehículos en su parte delantera, se constituyen por una motocicleta, y como tal en este segmento, se emplean motores de combustión interna, principalmente de ciclo Otto o de encendido por chispa, tal como se describe en la siguiente sección.

2.2 Motor a combustión interna

El motor a combustión interna es una máquina que produce energía mecánica, después de un proceso de 4 tiempos: admisión, compresión, explosión y escape. En el Ciclo de Otto, o encendido por chispa, se quema la gasolina en la cámara de combustión, luego de la carrera de compresión. Todas las partes del motor son fundamentales para su óptimo funcionamiento, y cualquier desajuste o falla en alguna de estas, puede provocar un funcionamiento por fuera de especificaciones técnicas. Entre las partes más importantes del motor a combustión interna están: bloque, culata, cilindros, pistones, cárter, bomba de aceite, cigüeñal, bujía, entre otros.

Aunque, de acuerdo con el tipo de combustible empleado, los motores se clasifican como de encendido por chispa o por compresión, principalmente por su costo, los más empleados en los motocarros, al igual que en las motos, son del tipo encendido por chispa y emplean gasolina como combustible. En la Figura 2, se presenta el motor típico de un motocarro.



Figura 2. Motor de un motocarro

2.3 Ciclo de conducción

Un ciclo de conducción es un conjunto de datos de tiempo y velocidad, que pueden representar un patrón o manera típica de manejo de un vehículo, normalmente se resume en una serie de puntos de datos que representa la velocidad de un vehículo en el tiempo. En la construcción del ciclo, se tiene en cuenta, además de la forma típica de conducir en una ciudad o autopista, la

tecnología del vehículo, las circunstancias de tráfico, de las calles, condiciones climáticas y geográficas, la hora, entre muchas otras condiciones. (Wikipedia, 2022, #) La Figura 3 presenta un ejemplo de ciclo de conducción.

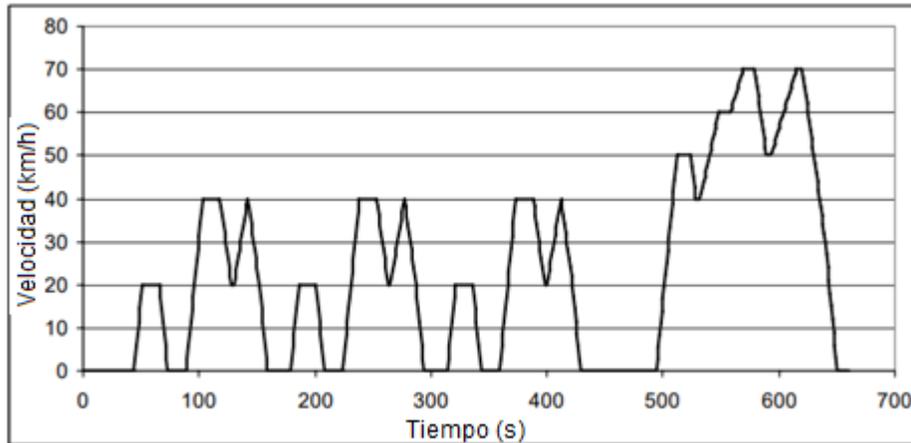


Figura 3. Ejemplo de ciclo de conducción

Si bien los ciclos de conducción suelen emplearse para estandarizar las pruebas en vehículos, tal como se muestra en la siguiente sección, no se dispone de dicha información para motocarros de carga empleados en la ciudad de Medellín. Para comprender mejor un ciclo de conducción, se van a definir a continuación algunos conceptos que son parte fundamental de los mismos.

2.4 Distancia y distancia recorrida

La distancia se puede definir como el espacio que un objeto recorre durante el movimiento que realiza, al ser una medida de longitud se expresa usualmente en metros (m), kilómetros (km) o millas (mi) y también se puede definir como la suma de las distancias recorridas. De una forma simple, se puede decir que la distancia es la magnitud de un recorrido X entre dos puntos. Por su parte, la distancia recorrida se puede entender cómo la extensión total del camino recorrido entre dos posiciones. (Universidad de Guanajuato, 2016) (Khan Academy, 2023)

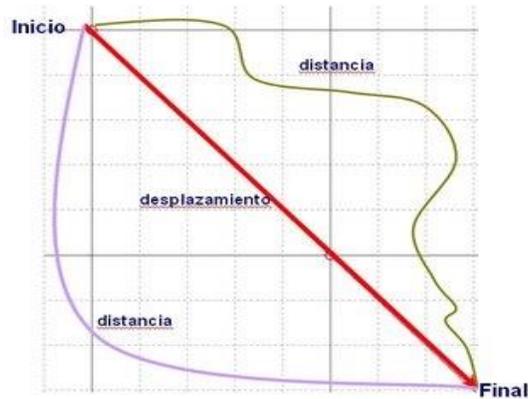


Figura 4. Distancia en un movimiento

2.5 Velocidad y velocidad promedio

Al definir la velocidad se tienen en cuenta 3 conceptos principales que, en conjunto, son la definición de esta: la dirección, el espacio y el tiempo empleado por un objeto al momento de realizar un recorrido, esta es una magnitud de carácter vectorial. También se puede definir como un cambio de posición respecto al tiempo que transcurre de un sitio a otro y se expresa más comúnmente en kilómetros por hora, (km/h), en millas por hora (mph) o en metros por segundo (m/s). (Toda Marteria, 2023).

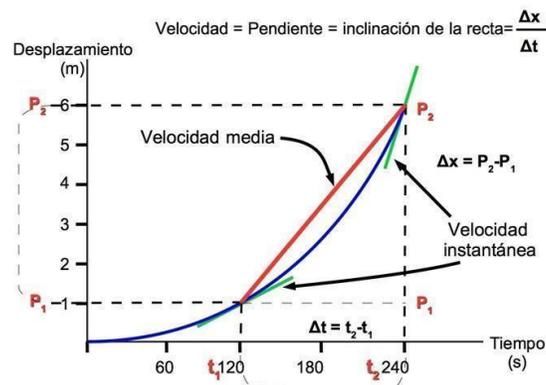


Figura 5. Comparación entre velocidad media y velocidad instantánea

2.6 Ralentí de un motor

El ralentí de un motor a combustión interna se define como el régimen mínimo (o rpm) en el que el motor puede mantenerse encendido, es decir que produce sólo la cantidad de energía necesaria

para mantenerse para el autoconsumo. El motor se encuentra en ralentí, toda vez que el vehículo se encuentre detenido, pero con el motor encendido, por ejemplo, en un semáforo, en condiciones de mucho tráfico, antes de iniciar el recorrido, entre otras.



Figura 6. Ralentí de una motocicleta

2.7 Aceleración

Se puede definir cómo aceleración a cualquier acción o movimiento en el que la velocidad varía en el tiempo, es decir, solamente hay dos maneras de acelerar; cuando aumenta o disminuye la velocidad es una forma, y la otra es cuando se cambia la dirección, si en un movimiento no está cambiando ninguno de estos dos factores, simplemente no se está acelerando. Un ejemplo sencillo es el de un avión que tenga una velocidad constante de 700km/h con dirección en línea recta, este no está acelerando ya que su velocidad y dirección son constantes, no importa lo rápido que vaya. (Khan Academy, 2023)

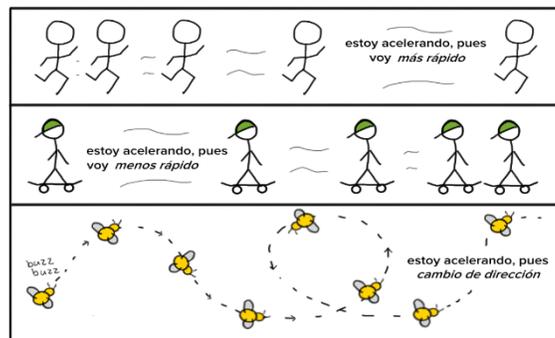


Figura 7. Definición de Aceleración

2.8 Filtrado por medias móviles

El suavizado por medias móviles, es una técnica utilizada en análisis de datos y series temporales para reducir la variabilidad y resaltar patrones o tendencias subyacentes. Consiste en calcular el promedio de un determinado número de observaciones consecutivas y utilizar ese valor como estimación del dato suavizado. Este método es ampliamente utilizado en campos como la economía, las finanzas, la ingeniería y la estadística.

Este tipo de filtrado se usa generalmente para suavizar un ruido con una frecuencia o picos muy altos, cada uno de los procesos de medida de una señal conlleva algunas variaciones, estas son aleatorias como también pueden ser de mayor o menor intensidad a las que también se puede llamar ruido. El proceso para reducir el ruido de una señal es conocido generalmente como filtrado. Ya en el tema de procesar señales, actualmente hay una gran variedad de técnicas digitales para aumentar la relación entre un proceso de señales y ruido en una obtención de datos, entre estas destaca el filtrado por media móvil gracias a su simplicidad y eficacia.

La media móvil de una serie de datos es el resultado de sumar todos los datos y dividir el resultado por el número de unidades que constituyen el conjunto de datos. Si este cálculo se repitiera sucesivamente, descartando el primero de los datos del conjunto y añadiendo un nuevo dato, se obtendría una sucesión de valores medios que representados gráficamente constituirían una línea que se denominaría media móvil.

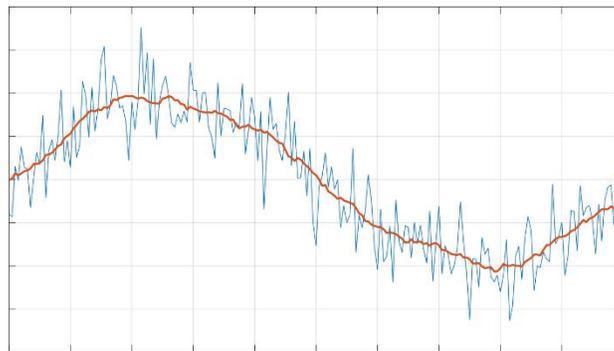


Figura 8. Ejemplo de filtrado por media móvil

2.9 Error absoluto

Se define el error absoluto como la diferencia, tomada siempre en positivo, entre el valor real y el valor aproximado de una cantidad. Es decir, se toma el valor absoluto de esa diferencia:

$$Ea = |\text{valor real} - \text{valor aproximado}|$$

Es una medida de cuánto se desvía la aproximación del valor real. Para el cálculo del error absoluto de una medida es muy importante saber el valor que se considera principalmente cómo

real. Por norma general ese valor es la media de los valores obtenidos al realizar un número n de mediciones en las mismas condiciones.

El error absoluto es una medida de magnitud, no de dirección. Por lo tanto, no considera si la aproximación es mayor o menor que el valor real, solo cuánto se desvía en términos de magnitud.

3 Estado del arte

Los ciclos de conducción vienen ganando terreno en el campo de la estandarización de pruebas de vehículos, y conociendo de las ventajas de su implementación, varios estudios han presentado propuestas para varias ciudades y vehículos, como el caso del estudio desarrollado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en el que se buscó establecer el ciclo de conducción representativo para los vehículos livianos de la ciudad de Riobamba (Ecuador). En este se recopiló información de: consumo de combustible, patrones de conducción, señales de sensores del automóvil y la concentración volumétrica de los gases nocivos. Para esto, usaron vehículos livianos funcionando con gasolina. Las pruebas se realizaron durante 8 meses, monitoreando las 10 marcas con mayor demanda en la localidad, con ciertas condiciones de altitud y utilizando un software que recopila y permite el análisis de los datos obtenidos. En general, obtuvieron 52 parámetros de funcionamiento de cada automóvil. Posteriormente, se aplicó un análisis de datos para obtener los parámetros característicos y dividir el total de mediciones en 500 micro viajes. Luego de estudiar los datos, analizarlos y agruparlos, se procedió a la construcción del ciclo. (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2021)

En el informe presentado por la UdeA, también para ciclos de conducción, se detalla la metodología seguida para determinar dos ciclos de conducción de vehículos típicos del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). En este estudio se consideran dos vehículos uno de ellos con peso inferior a 3.8 ton, y otro para motocicletas. Vale la pena destacar que, al igual que en el anterior estudio, en este también fue empleada la técnica de los micro viajes para clasificar los recorridos realizados por los vehículos de análisis (Universidad de Antioquia, 2017). También, el propósito de este estudio fue establecer un ciclo estandarizado para ser utilizado en la evaluación de automóviles y motocicletas.

Si bien, los ciclos de conducción permiten la evaluación dinámica de los motores que emplean los vehículos, cuando no se dispone de dicha información, se pueden realizar pruebas en estado estable o pruebas en ruta, estas últimas sujetas a una alta incertidumbre, debido a las condiciones altamente cambiantes del entorno. Siguiendo este último enfoque, fue realizado un estudio sobre motocarros llevado a cabo por la Universidad Autónoma del Caribe Colombia, en el cual se puso a prueba el desempeño de uno de estos vehículos con un motor de dos tiempos, pero convertido a gas natural vehicular (GNV), lo primero que se desarrolló fue la conversión del motor y la adaptación del mismo para funcionar a gas natural vehicular, luego de esto fueron desarrolladas dos pruebas o comparaciones, la primera es con el combustible gasolina, y la segunda con el gas natural vehicular, para después realizar una comparación de rendimiento y parámetros con ambos combustibles. (Universidad Autónoma del Caribe Colombia, 2006, #)

El anterior estudio, evidencia una necesidad creciente del transporte de cargas y mercancías de la “última milla” (como también son conocidos estos vehículos), y es que se requiere cada día, hacer más con menos y con un menor impacto ambiental. En un estudio similar pero esta vez desarrollado por la UAN, se hicieron pruebas piloto con motocarros en las ciudades de Bucaramanga, Medellín y Bogotá. En donde recolectaron datos por medio de sistemas de telemetría instalados en motocarros un periodo aproximado de 6 semanas, esto, con el fin de analizar el comportamiento del vehículo en diferentes condiciones de operación. De sus resultados, se evidencia que la variable de altitud no afecta la eficiencia energética de los mismos. (Universidad Antonio Nariño, 2022)

En otro estudio sobre desempeño de motocarros, se analiza la factibilidad de incluir motocarros eléctricos, en el parque automotor de la organización Colombiana de Encomiendas S.A., dado que los motocarros pueden realizar recorridos con mayor facilidad de desplazamiento, pues al ser livianos y menos voluminosos, podrán moverse en el tráfico pesado de ciudades como Bogotá en los trayectos dispuestos, adicionalmente, no tendrán regulación de circulación al ser eléctricos (Universidad Distrital Francisco José De Caldas, 2021). De sus resultados se destaca ventajas de operación ya que los vehículos son amigables con el medio ambiente, son ligeros y aptos para el gran tráfico de una ciudad como Bogotá.

La Universidad Libre, seccional Pereira también presentó un estudio de caso ubicado en el municipio de Rivera, Departamento del Huila, Colombia. Esta fue una investigación abordada desde el enfoque preponderantemente cualitativo y tomó como base la revisión y análisis de la regulación que establece el procedimiento para la elaboración de estudios de este tipo, que permitan determinar la necesidad y demanda insatisfecha de movilización del servicio público de transporte terrestre automotor mixto en motocarro en el municipio de Rivera. (UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA).

Como se puede notar en la anterior revisión bibliográfica, ninguno de los estudios que busca determinar el desempeño dinámico de los motocarros, lo hace mediante el ciclo de conducción. Lo anterior, pese a la mayor facilidad y confiabilidad relacionada a este tipo de pruebas, toda vez que son realizadas bajo condiciones controladas y en un ambiente de laboratorio. Por lo anterior se destaca la importancia de proponer un ciclo de conducción de motocarros, como el planteado en este trabajo.

4 Objetivos

Partiendo de la búsqueda del estado del arte y habiendo identificado la necesidad de un ciclo de conducción para motocarros que permita la estandarización de pruebas, en el presente trabajo, se plantean los siguientes objetivos.

Objetivo general:

Establecer el ciclo de conducción característico para un motocarro operando en la ciudad de Medellín considerando trayectos cortos.

Objetivos específicos:

1. Definir perfiles de velocidad y tiempo característicos de un motocarro en al menos 10 trayectos con longitud inferior a 5 km.
2. Caracterizar los trayectos usando métodos estadísticos con el fin de determinar distancias, velocidades, aceleraciones y demás parámetros típicos de conducción.
3. Proponer un ciclo de conducción característico para este tipo de vehículo basado en mediciones experimentales de trayectos cortos.

5 Metodología

Para determinar el ciclo típico de conducción, las pruebas de ruta se desarrollaron en un barrio de la ciudad de Medellín, donde típicamente se emplea este tipo de transporte. Lo anterior se hizo, tomando datos de los trayectos por medio de un celular que mantuvo una app abierta en tiempo real que hacía uso del GPS. A través de dicha aplicación se midieron tiempos, velocidades y distancias recorridas en un día normal de trabajo. La recolección de esta información permitió tener un estudio sobre estos vehículos, ya que hasta el momento no se cuenta con ningún dato anterior que ayude a interpretar el método de manejo de los motocarros en la ciudad. Las etapas a seguir con el fin de dar cumplimiento a los objetivos, son las siguientes:

- Se realiza la elección de un motocarro típico. Para este objetivo se seleccionan dos motocarros usados en el barrio Santo Domingo de la ciudad de Medellín de un depósito de materiales de la zona, las referencias de los mismos fueron: AKT carguero 200w y la otra una CERONTE tricargo 200cc. (ver Figura 9).

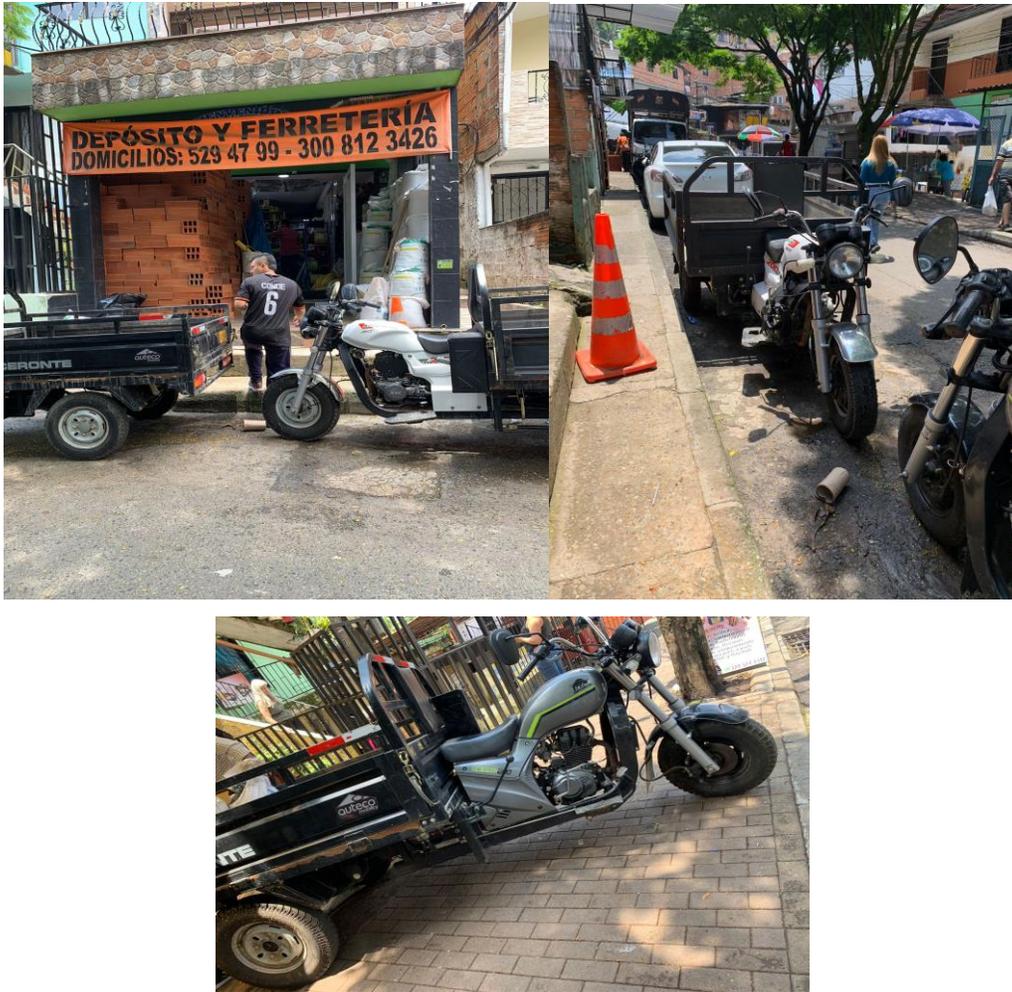


Figura. 9. Motocarros y Depósito de materiales

- Se elige la app y se realizan pruebas preliminares de recolección de datos, identificando posibles fallas y condiciones normales de operación: la app GPS logger es seleccionada, ésta permite medir datos en tiempo real como: tiempo del trayecto, distancia recorrida, velocidad promedio, altitud, entre otros. Inicialmente se realizan pruebas preliminares para verificar el funcionamiento de la misma y así garantizar que en los recorridos del motocarro las mediciones sean lo más precisas posible. En la Figura 10 se observan cuáles son los datos que mide la app en tiempo real a la hora de realizar la grabación, y en la pestaña Archivo, al momento de guardar el recorrido o trayecto, muestra datos finales del recorrido como la distancia total, la duración del mismo, la diferencia de altitud, velocidad máxima y promedio y la dirección del mismo.

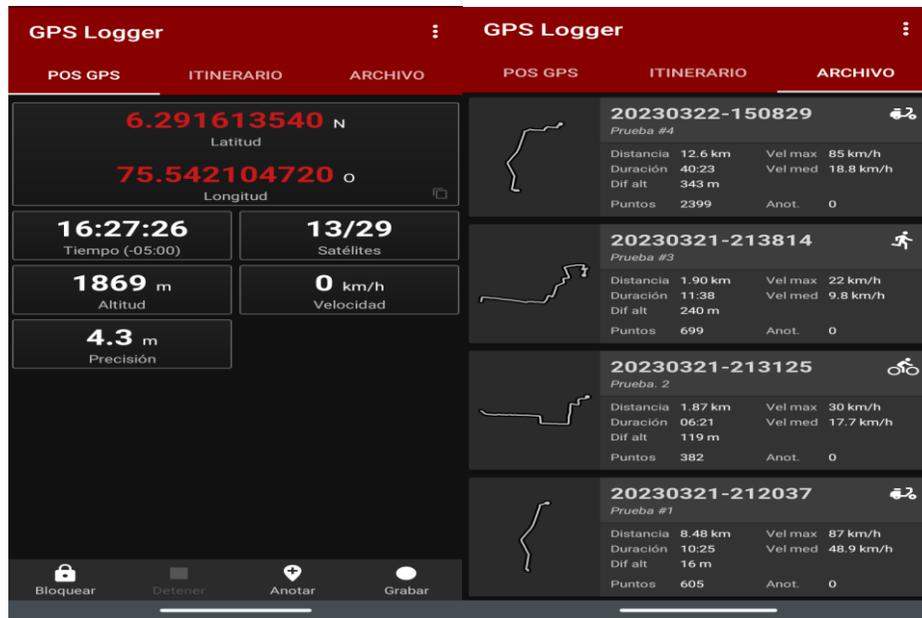


Figura 10. Pruebas de funcionamiento en app

- Se contacta a un conductor o dueño de motocarros en Medellín para realizar la recolección de datos, en este caso es el conductor de dos motocarros de un depósito de materiales en la ciudad de Medellín. (ver Figura 11)

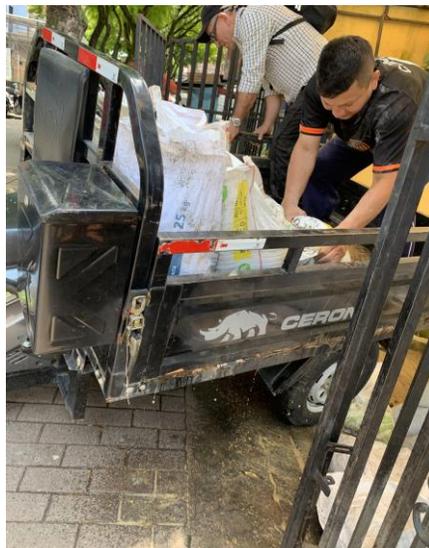


Figura 11. Conductor de motocarro

- Se instala en el celular la app móvil que recolectará los datos de los 10 trayectos cortos que va a realizar el motocarro y se realiza un seguimiento constante al operador y al motocarro para que la aplicación móvil cense datos de una manera correcta y sea efectiva la investigación. Cabe aclarar que en algunos de los trayectos fue censada la información en una motocicleta que va detrás del motocarro, como también en algunos otros, el operador del vehículo recolectó los datos.
- Para cada uno de los viajes se evalúa la información recolectada en Excel, se carga el viaje desde un archivo de texto con todos los datos provenientes de la app y se agregan cálculos como velocidad, ralentí, distancia, aceleración, entre otros (ver Figura 12).

| | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q |
|----|------------|-------------|-------------|--------------|------------|-------------|-----------------|---------------|----------------------|--------------------|----------------|--------------|----------|
| 1 | longitude | accuracy(m) | altitude(m) | geoid_height | speed(m/s) | speed(km/h) | ralentí (vel=0) | distancia (m) | aceleración 1 (m/s2) | aceleración (m/s2) | desaceleración | bearing(deg) | sat_used |
| 2 | -75,542495 | 3,22 | 1877,688 | 23,631 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | | | | 16 |
| 3 | -75,542491 | 3,22 | 1879,654 | 23,631 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | | | | 16 |
| 4 | -75,542491 | 3,22 | 1881,102 | 23,631 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | | | | 16 |
| 5 | -75,542487 | 3,22 | 1879,78 | 23,631 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | | | | 16 |
| 6 | -75,542481 | 3,22 | 1877,313 | 23,631 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | | | | 16 |
| 7 | -75,542484 | 3,22 | 1877,735 | 23,631 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | | | | 15 |
| 8 | -75,542485 | 3,22 | 1877,491 | 23,631 | 0,35 | 1,26 | | 0,35 | 0,35 | 0,35 | | 237 | 15 |
| 9 | -75,542497 | 3,22 | 1881,969 | 23,631 | 0 | 0 | 8 | 0 | -0,35 | | -0,35 | | 15 |
| 10 | -75,542505 | 3,22 | 1883,175 | 23,631 | 0,32 | 1,152 | | 0,32 | 0,32 | 0,32 | | 301 | 15 |
| 11 | -75,542503 | 3,22 | 1882,285 | 23,631 | 0 | 0 | 10 | 0 | -0,32 | | -0,32 | | 15 |
| 12 | -75,542499 | 3,22 | 1882,794 | 23,631 | 0,3 | 1,08 | | 0,3 | 0,3 | 0,3 | | 130 | 15 |
| 13 | -75,54247 | 3,22 | 1879,076 | 23,63 | 0,51 | 1,836 | | 0,51 | 0,21 | 0,21 | | 40 | 15 |
| 14 | -75,54247 | 3,22 | 1879,319 | 23,63 | 0 | 0 | 13 | 0 | -0,51 | | -0,51 | | 15 |
| 15 | -75,542466 | 3,22 | 1879,898 | 23,63 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | | | | 15 |
| 16 | -75,542466 | 4,29 | 1880,033 | 23,63 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | | | | 15 |
| 17 | -75,542468 | 4,29 | 1880,789 | 23,63 | 0 | 0 | 16 | 0 | 0 | | | | 15 |
| 18 | -75,542466 | 4,29 | 1880,154 | 23,63 | 0 | 0 | 17 | 0 | 0 | | | | 14 |
| 19 | -75,54247 | 4,29 | 1879,663 | 23,63 | 0 | 0 | 18 | 0 | 0 | | | | 14 |
| 20 | -75,542468 | 4,29 | 1879,156 | 23,63 | 0,32 | 1,152 | | 0,32 | 0,32 | 0,32 | | 129 | 14 |
| 21 | -75,542478 | 4,29 | 1880,723 | 23,63 | 0 | 0 | 20 | 0 | -0,32 | | -0,32 | | 14 |
| 22 | -75,542459 | 4,29 | 1879,692 | 23,63 | 0 | 0 | 21 | 0 | 0 | | | | 14 |

Figura 12. Recolección de datos y formulas en Excel viaje #3

Una vez se tienen todos los datos consolidados, se realiza una gráfica del ciclo de conducción, es decir, una gráfica tomando los datos de velocidad vs. tiempo para cada uno de los 10 viajes (ver Figura 13).

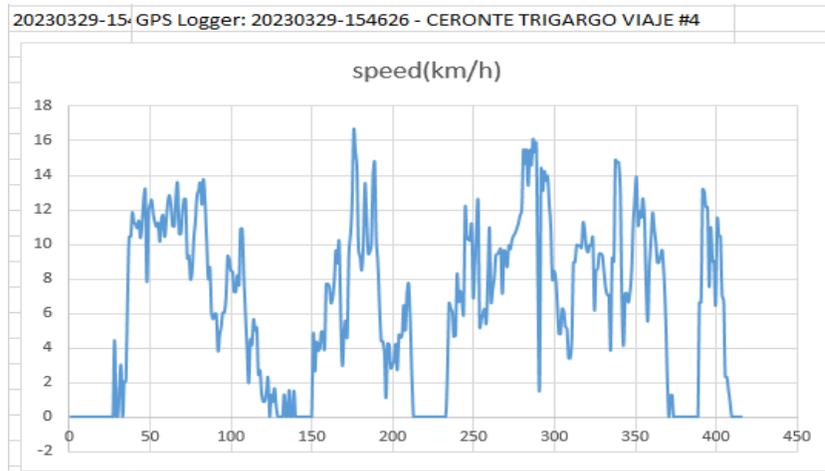


Figura 13. Ciclo de conducción para el viaje #4

El siguiente paso es determinar para cada uno de los recorridos, por medio de fórmulas en Excel, datos como velocidad máxima, paradas, tiempo en ralentí, aceleración, distancia recorrida, tiempo, entre otros. Este procedimiento ayuda a tener una mejor idea del desarrollo de cada recorrido (ver Figura 14).

| | |
|--|-------------|
| Duración total (s) | 362 |
| Número de paradas | 3 |
| Distancia recorrida (m) | 1058,66 |
| Aceleración Promedio (m/s²) | 0,47056604 |
| Desaceleración promedio (m/s²) | -0,51246575 |
| Aceleración máx (m/s²) | 2,18 |
| Desaceleración máx (m/s²) | -2,15 |
| Velocidad máxima (km/h) | 28,224 |
| Velocidad promedio (km/h) | 10,5281105 |
| Tiempo en ralentí (v=0) (s) | 45 |

Figura 14. Medidas resumen para el viaje #5

Por último, se realiza para cada viaje una tabla de frecuencias y un histograma con la velocidad en km/h, estos datos y el gráfico ayudan a comprender mejor los rangos de

velocidad en cada uno de los ciclos, ya que muestran el recuento de la cantidad de segundos que el motocarro anduvo a determinada velocidad (ver Figuras 15 y 16).

| <i>Clase</i> | <i>Frecuencia</i> |
|--------------|-------------------|
| 5 | 91 |
| 10 | 93 |
| 15 | 85 |
| 20 | 44 |
| 25 | 34 |
| 30 | 15 |
| 35 | 0 |
| y mayor... | 0 |

Figura 15. Tabla de frecuencias

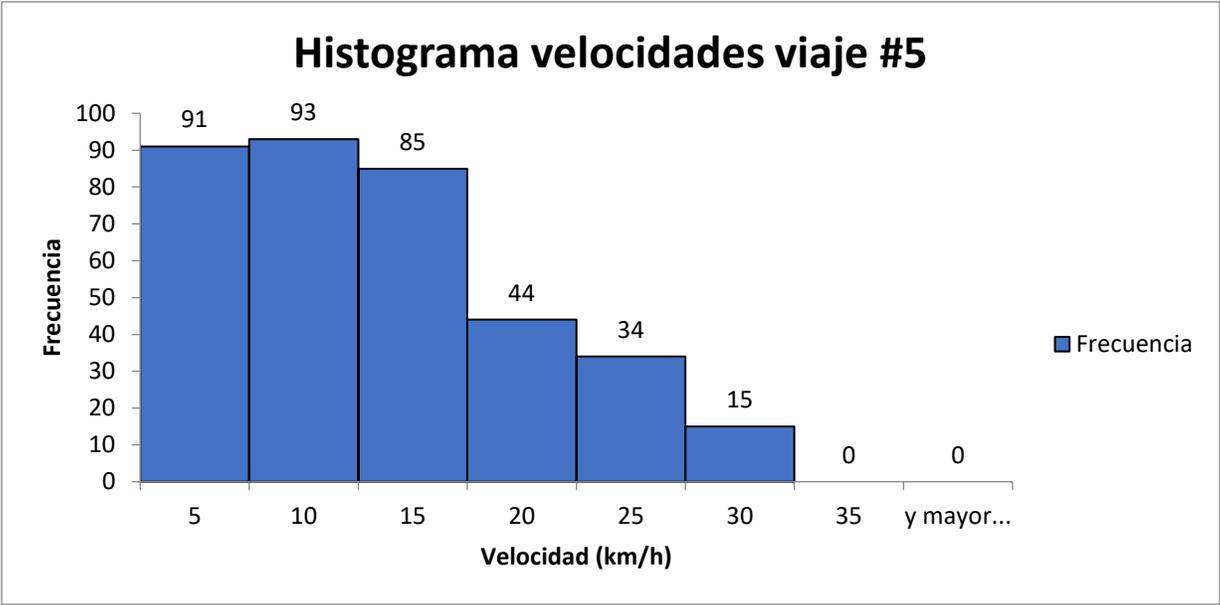


Figura 16. Histograma viaje #5

6 Resultados

Para comenzar con los resultados obtenidos se toman y tienen las medidas resumen para cada uno de los 10 recorridos realizados (Figura 17), en la figura se describen los datos más importantes y se muestran hasta el viaje #3, pero siguen sucesivamente hasta el recorrido #10.

| impor | item | v1 | v2 | v3 |
|-------|---|-----------|-----------|-----------|
| 10 | Velocidad promedio (km/h) | 9,6752818 | 2,1811688 | 7,8047332 |
| 9 | Duración total (s) | 479 | 231 | 431 |
| 8 | Aceleración máx (m/s ²) | 2,27 | 3,39 | 2,79 |
| 7 | Desaceleración máx (m/s ²) | -2 | -3,75 | -1,93 |
| 6 | Velocidad máxima (km/h) | 21,384 | 4,88 | 18,684 |
| 5 | Tiempo en ralenti (v=0) (s) | 55 | 26 | 54 |
| 4 | Número de paradas | 2 | 0 | 3 |
| 3 | Distancia recorrida (m) | 1287,35 | 503,85 | 934,4 |
| 2 | Aceleración Promedio (m/s ²) | 0,4547196 | 0,5680357 | 0,3953371 |
| 1 | Desaceleración promedio (m/s ²) | -0,452605 | -0,642626 | -0,404425 |

Figura 17. Medidas resumen

Después de esto, se calcula un promedio para cada uno de estos datos, con base en los 10 recorridos realizados, tal como se muestra en la Figura 18. Estos promedios van a ser fundamentales para el siguiente paso que va a ser realizar el cálculo del error absoluto.

| impor | item | promedios |
|-------|---|--------------|
| 10 | Velocidad promedio (km/h) | 7,934195635 |
| 9 | Duración total (s) | 458,7 |
| 8 | Aceleración máx (m/s ²) | 2,904 |
| 7 | Desaceleración máx (m/s ²) | -2,554 |
| 6 | Velocidad máxima (km/h) | 19,9208 |
| 5 | Tiempo en ralenti (v=0) (s) | 66 |
| 4 | Número de paradas | 2,8 |
| 3 | Distancia recorrida (m) | 1092,289 |
| 2 | Aceleración Promedio (m/s ²) | 0,407806554 |
| 1 | Desaceleración promedio (m/s ²) | -0,443037423 |

Figura 18. Promedios de los datos de cada viaje

Para calcular el error absoluto en cada uno de los datos de los viajes, se toma la diferencia entre el valor real en cada uno de los viajes (valores mostrados en la siguiente tabla) y el promedio que ya se ha calculado. Se expresa positivo ya que lo que se busca es la magnitud de la diferencia entre ambos valores cómo tal y no su signo (ver figura 19).

| | | | | | | | | | | |
|-------|--------|------|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|--|
| err1 | err2 | er | er | e | el | err | el | el | el | |
| 1,741 | 5,753 | 0,13 | 1,51 | 2,6 | 0,4 | 0,66 | 0 | 1 | 1,9 | |
| 20,3 | 227,7 | 27,7 | 42,7 | 97 | 55 | 52,7 | 199 | 67 | 215 | |
| 0,634 | 0,486 | 0,11 | 0,63 | 0,7 | 0,3 | 0,82 | 0,1 | 1,2 | 0,2 | |
| 0,554 | 1,196 | 0,62 | 0,3 | 0,4 | 0,8 | 0,61 | 0,8 | 0,6 | 0,8 | |
| 1,463 | 15,041 | 1,24 | 3,32 | 8,3 | 2,4 | 3,47 | 12 | 6,7 | 2,9 | |
| 11 | 40 | 12 | 29 | 21 | 20 | 26 | 39 | 36 | 14 | |
| 0,8 | 2,8 | 0,2 | 1,2 | 0,2 | 2,2 | 0,8 | 1,2 | 0,2 | 0,8 | |
| 195,1 | 588,44 | 158 | 350 | 34 | 251 | 123 | 360 | 208 | 740 | |
| 0,047 | 0,1602 | 0,01 | 0,03 | 0,1 | 0 | 0,09 | 0 | 0 | 0,1 | |
| 0,01 | 0,1996 | 0,04 | 0 | 0,1 | 0 | 0,08 | 0 | 0,1 | 0,1 | |
| 0,01 | 0,1602 | 0,01 | 0 | 0,1 | 0 | 0,08 | 0 | 0 | 0,1 | |

Figura 19. Tabla con valores reales de cada viaje

Lo que se busca con esto es encontrar el error mínimo en cada uno de los datos y en los diferentes recorridos, tratando de definir el recorrido que tenga la mayor cantidad de errores mínimos, en este caso el viaje que cumple con esta característica es el viaje #8, que es el que presenta el mínimo error en los parámetros de: velocidad promedio, aceleración máxima y aceleración promedio, tal como se muestra en la siguiente tabla (Figura 20) siendo este el recorrido con más cantidad de errores mínimos (3), cuando los otros recorridos tienen entre 2,1 y algunos 0 errores mínimos.

| import | ítem | | | | | | | | | | | | |
|--------|--|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| 10 | Velocidad promedio (km/h) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 9 | Duración total (s) | 20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 8 | Aceleración máx (m/s ²) | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 7 | Desaceleración máx (m/s ²) | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 6 | Velocidad máxima (km/h) | 1,2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 5 | Tiempo en ralenti (v=0) (s) | 11 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 4 | Número de paradas | 0,2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 3 | Distancia recorrida (m) | 34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 2 | Aceleración Promedio (m/s ²) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 1 | Desaceleración promedio | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | |

Figura 20. Tabla de errores mínimos

Finalmente se procede a realizar el gráfico del ciclo típico de conducción para un motocarro en la ciudad de Medellín (Figura 21), también se incluye en el mismo el viaje # 8 al ser el recorrido que cumple con mayor cantidad de errores mínimos y se resalta en la gráfica en azul claro.

Para el ciclo típico de conducción de un motocarro en la ciudad de Medellín tomando los 10 recorridos hechos, se realiza un suavizado (filtrado) por medias móviles del ciclo típico seleccionado que corresponde al viaje # 8, con una ventana de tres tiempos de 10, 5 y 5 segundos respectivamente, buscando que las velocidades y aceleraciones se ajustaran a lo que se puede reproducir en un dinamómetro. Este procedimiento arroja como resultado el ciclo que se presenta en la Figura 21 en color negro.

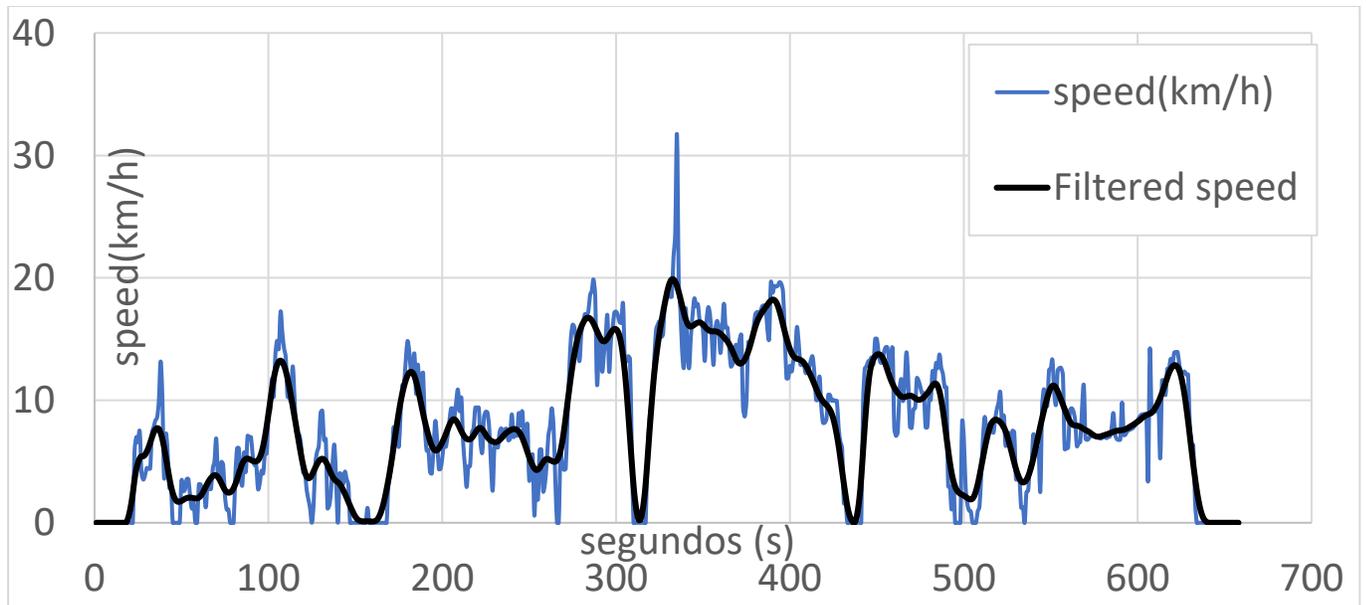


Figura 21. Ciclo de conducción típico para un motocarro en la ciudad de Medellín

Los datos del ciclo propuesto son los siguientes, el tiempo es expresado en segundos y la velocidad en km/h.

Tabla 1. Tabla de velocidad vs tiempo para el ciclo propuesto

| Tiempo (s) | Velocidad (km/h) |
|------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|
| 1 | 0 | 101 | 9,87624 | 201 | 6,880176 | 301 | 15,620832 |
| 2 | 0 | 102 | 10,853136 | 202 | 7,226064 | 302 | 15,217632 |
| 3 | 0 | 103 | 11,715552 | 203 | 7,598448 | 303 | 14,552496 |
| 4 | 0 | 104 | 12,405168 | 204 | 7,955856 | 304 | 13,590864 |
| 5 | 0 | 105 | 12,893184 | 205 | 8,241984 | 305 | 12,360816 |
| 6 | 0 | 106 | 13,170384 | 206 | 8,420256 | 306 | 10,747728 |
| 7 | 0 | 107 | 13,240656 | 207 | 8,44776 | 307 | 8,89056 |
| 8 | 0 | 108 | 13,129056 | 208 | 8,3232 | 308 | 6,915456 |
| 9 | 0 | 109 | 12,844224 | 209 | 8,078256 | 309 | 4,9428 |
| 10 | 0 | 110 | 12,395232 | 210 | 7,774992 | 310 | 3,071376 |
| 11 | 0 | 111 | 11,800656 | 211 | 7,467552 | 311 | 1,708272 |
| 12 | 0 | 112 | 11,094192 | 212 | 7,20432 | 312 | 0,785664 |
| 13 | 0 | 113 | 10,319328 | 213 | 6,997824 | 313 | 0,238032 |
| 14 | 0 | 114 | 9,510192 | 214 | 6,86016 | 314 | 0,253584 |
| 15 | 0 | 115 | 8,682192 | 215 | 6,804864 | 315 | 0,825552 |
| 16 | 0 | 116 | 7,850736 | 216 | 6,828624 | 316 | 1,781568 |
| 17 | 0 | 117 | 7,014816 | 217 | 6,93648 | 317 | 3,1824 |
| 18 | 0 | 118 | 6,185232 | 218 | 7,124688 | 318 | 5,08968 |
| 19 | 0,2556 | 119 | 5,387184 | 219 | 7,365024 | 319 | 7,046208 |
| 20 | 0,76212 | 120 | 4,681872 | 220 | 7,579008 | 320 | 8,96328 |
| 21 | 1,46832 | 121 | 4,1328 | 221 | 7,71912 | 321 | 10,74528 |

| Tiempo (s) | Velocidad (km/h) |
|------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|
| 22 | 2,39319429 | 122 | 3,78288 | 222 | 7,736256 | 322 | 12,3012 |
| 23 | 3,52442057 | 123 | 3,637584 | 223 | 7,625232 | 323 | 13,52736 |
| 24 | 4,35684686 | 124 | 3,694896 | 224 | 7,419888 | 324 | 14,601168 |
| 25 | 4,90314514 | 125 | 3,906432 | 225 | 7,19352 | 325 | 15,535584 |
| 26 | 5,27285143 | 126 | 4,198176 | 226 | 6,981264 | 326 | 16,386192 |
| 27 | 5,43258514 | 127 | 4,509936 | 227 | 6,817104 | 327 | 17,170992 |
| 28 | 5,43060686 | 128 | 4,800528 | 228 | 6,705936 | 328 | 17,919936 |
| 29 | 5,54901257 | 129 | 5,027472 | 229 | 6,630336 | 329 | 18,619488 |
| 30 | 5,80227429 | 130 | 5,178816 | 230 | 6,587424 | 330 | 19,227888 |
| 31 | 6,121728 | 131 | 5,226912 | 231 | 6,59232 | 331 | 19,654416 |
| 32 | 6,528384 | 132 | 5,163264 | 232 | 6,646752 | 332 | 19,875312 |
| 33 | 6,968448 | 133 | 4,99104 | 233 | 6,755616 | 333 | 19,871856 |
| 34 | 7,352928 | 134 | 4,71096 | 234 | 6,909264 | 334 | 19,673856 |
| 35 | 7,613712 | 135 | 4,360464 | 235 | 7,075152 | 335 | 19,329984 |
| 36 | 7,731072 | 136 | 4,02552 | 236 | 7,227072 | 336 | 18,85536 |
| 37 | 7,652736 | 137 | 3,753216 | 237 | 7,362288 | 337 | 18,295344 |
| 38 | 7,350912 | 138 | 3,54672 | 238 | 7,465536 | 338 | 17,706384 |
| 39 | 6,8472 | 139 | 3,412224 | 239 | 7,545744 | 339 | 17,134848 |
| 40 | 6,165936 | 140 | 3,300624 | 240 | 7,614432 | 340 | 16,625952 |
| 41 | 5,36976 | 141 | 3,158784 | 241 | 7,65288 | 341 | 16,276032 |
| 42 | 4,52016 | 142 | 2,946096 | 242 | 7,642656 | 342 | 16,080768 |
| 43 | 3,69 | 143 | 2,675952 | 243 | 7,587072 | 343 | 16,027344 |
| 44 | 2,969712 | 144 | 2,37168 | 244 | 7,460784 | 344 | 16,07832 |
| 45 | 2,424672 | 145 | 2,053584 | 245 | 7,240896 | 345 | 16,178112 |
| 46 | 2,031696 | 146 | 1,716048 | 246 | 6,95016 | 346 | 16,275024 |
| 47 | 1,798128 | 147 | 1,381104 | 247 | 6,597792 | 347 | 16,348176 |
| 48 | 1,716048 | 148 | 1,06488 | 248 | 6,194016 | 348 | 16,360848 |
| 49 | 1,726992 | 149 | 0,767376 | 249 | 5,774688 | 349 | 16,304112 |
| 50 | 1,784016 | 150 | 0,509472 | 250 | 5,362272 | 350 | 16,191216 |
| 51 | 1,868112 | 151 | 0,31968 | 251 | 4,988592 | 351 | 16,032816 |
| 52 | 1,953648 | 152 | 0,206352 | 252 | 4,679136 | 352 | 15,87384 |
| 53 | 2,014416 | 153 | 0,144 | 253 | 4,442544 | 353 | 15,75288 |
| 54 | 2,049552 | 154 | 0,119952 | 254 | 4,318848 | 354 | 15,67368 |
| 55 | 2,05272 | 155 | 0,117504 | 255 | 4,342896 | 355 | 15,634368 |
| 56 | 2,038608 | 156 | 0,1224 | 256 | 4,48776 | 356 | 15,633792 |
| 57 | 2,013984 | 157 | 0,1224 | 257 | 4,70088 | 357 | 15,632496 |
| 58 | 1,990512 | 158 | 0,117504 | 258 | 4,935744 | 358 | 15,599088 |
| 59 | 1,993392 | 159 | 0,107712 | 259 | 5,118768 | 359 | 15,534144 |
| 60 | 2,061216 | 160 | 0,105408 | 260 | 5,208336 | 360 | 15,438816 |
| 61 | 2,200032 | 161 | 0,126432 | 261 | 5,193648 | 361 | 15,309648 |
| 62 | 2,401344 | 162 | 0,190656 | 262 | 5,119776 | 362 | 15,154272 |
| 63 | 2,660256 | 163 | 0,338976 | 263 | 5,045472 | 363 | 14,989968 |
| 64 | 2,94696 | 164 | 0,597888 | 264 | 4,992624 | 364 | 14,808528 |
| 65 | 3,225744 | 165 | 0,97416 | 265 | 4,990896 | 365 | 14,588784 |

| Tiempo (s) | Velocidad (km/h) |
|------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|
| 66 | 3,467088 | 166 | 1,46088 | 266 | 5,100624 | 366 | 14,315184 |
| 67 | 3,666096 | 167 | 2,053872 | 267 | 5,382864 | 367 | 14,001552 |
| 68 | 3,811824 | 168 | 2,73096 | 268 | 5,870304 | 368 | 13,66416 |
| 69 | 3,885552 | 169 | 3,484512 | 269 | 6,585984 | 369 | 13,349664 |
| 70 | 3,859632 | 170 | 4,304448 | 270 | 7,512768 | 370 | 13,115232 |
| 71 | 3,728448 | 171 | 5,20056 | 271 | 8,593488 | 371 | 13,007952 |
| 72 | 3,508704 | 172 | 6,157872 | 272 | 9,737424 | 372 | 13,018032 |
| 73 | 3,22776 | 173 | 7,135776 | 273 | 10,861632 | 373 | 13,129488 |
| 74 | 2,934864 | 174 | 8,093952 | 274 | 11,930256 | 374 | 13,333968 |
| 75 | 2,679696 | 175 | 9,006336 | 275 | 12,9132 | 375 | 13,628304 |
| 76 | 2,51712 | 176 | 9,828 | 276 | 13,780944 | 376 | 13,99608 |
| 77 | 2,45736 | 177 | 10,538064 | 277 | 14,51448 | 377 | 14,43816 |
| 78 | 2,48688 | 178 | 11,14056 | 278 | 15,123312 | 378 | 14,951088 |
| 79 | 2,607408 | 179 | 11,63592 | 279 | 15,61968 | 379 | 15,478704 |
| 80 | 2,835504 | 180 | 12,013488 | 280 | 16,012656 | 380 | 15,969312 |
| 81 | 3,164976 | 181 | 12,253968 | 281 | 16,32168 | 381 | 16,383456 |
| 82 | 3,565296 | 182 | 12,328848 | 282 | 16,56432 | 382 | 16,716096 |
| 83 | 4,016016 | 183 | 12,24 | 283 | 16,717392 | 383 | 16,97328 |
| 84 | 4,459392 | 184 | 11,971728 | 284 | 16,751808 | 384 | 17,195616 |
| 85 | 4,832064 | 185 | 11,516688 | 285 | 16,68312 | 385 | 17,396496 |
| 86 | 5,082048 | 186 | 10,93104 | 286 | 16,52616 | 386 | 17,599392 |
| 87 | 5,20992 | 187 | 10,277568 | 287 | 16,278336 | 387 | 17,803728 |
| 88 | 5,238432 | 188 | 9,58968 | 288 | 15,976656 | 388 | 17,996256 |
| 89 | 5,201136 | 189 | 8,907264 | 289 | 15,654672 | 389 | 18,146736 |
| 90 | 5,127264 | 190 | 8,272944 | 290 | 15,344496 | 390 | 18,223344 |
| 91 | 5,050944 | 191 | 7,683696 | 291 | 15,066432 | 391 | 18,195264 |
| 92 | 5,005296 | 192 | 7,146864 | 292 | 14,87592 | 392 | 18,032976 |
| 93 | 5,013936 | 193 | 6,663888 | 293 | 14,810688 | 393 | 17,723664 |
| 94 | 5,105232 | 194 | 6,273792 | 294 | 14,887872 | 394 | 17,27928 |
| 95 | 5,330016 | 195 | 6,016896 | 295 | 15,063552 | 395 | 16,755552 |
| 96 | 5,720832 | 196 | 5,90832 | 296 | 15,29064 | 396 | 16,188192 |
| 97 | 6,281568 | 197 | 5,927616 | 297 | 15,528816 | 397 | 15,614352 |
| 98 | 7,008192 | 198 | 6,067152 | 298 | 15,720768 | 398 | 15,07032 |
| 99 | 7,889904 | 199 | 6,295104 | 299 | 15,826032 | 399 | 14,59224 |
| 100 | 8,868384 | 200 | 6,57288 | 300 | 15,801696 | 400 | 14,179968 |

| | | | | | | | |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|----------|-----|-----------|
| 401 | 13,845888 | 471 | 10,277856 | 541 | 5,909616 | 611 | 9,612 |
| 402 | 13,61088 | 472 | 10,172736 | 542 | 6,574032 | 612 | 9,892512 |
| 403 | 13,471632 | 473 | 10,08504 | 543 | 7,234704 | 613 | 10,227024 |
| 404 | 13,395744 | 474 | 10,04832 | 544 | 7,885296 | 614 | 10,606464 |
| 405 | 13,35024 | 475 | 10,068048 | 545 | 8,50968 | 615 | 11,012256 |
| 406 | 13,30128 | 476 | 10,136304 | 546 | 9,115488 | 616 | 11,42856 |
| 407 | 13,210992 | 477 | 10,255968 | 547 | 9,682848 | 617 | 11,85336 |
| 408 | 13,065264 | 478 | 10,398096 | 548 | 10,21248 | 618 | 12,244032 |

| | | | | | | | |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|
| 409 | 12,856896 | 479 | 10,56816 | 549 | 10,681488 | 619 | 12,543984 |
| 410 | 12,601008 | 480 | 10,767456 | 550 | 11,015856 | 620 | 12,755232 |
| 411 | 12,316464 | 481 | 10,996848 | 551 | 11,185056 | 621 | 12,867264 |
| 412 | 12,010896 | 482 | 11,205648 | 552 | 11,189088 | 622 | 12,853584 |
| 413 | 11,680416 | 483 | 11,351376 | 553 | 11,023488 | 623 | 12,703248 |
| 414 | 11,339136 | 484 | 11,35656 | 554 | 10,72872 | 624 | 12,405888 |
| 415 | 10,995552 | 485 | 11,163024 | 555 | 10,379088 | 625 | 11,92536 |
| 416 | 10,664064 | 486 | 10,71864 | 556 | 10,01376 | 626 | 11,254608 |
| 417 | 10,366128 | 487 | 10,037664 | 557 | 9,648 | 627 | 10,412352 |
| 418 | 10,112688 | 488 | 9,153216 | 558 | 9,279216 | 628 | 9,409104 |
| 419 | 9,907776 | 489 | 8,116128 | 559 | 8,911008 | 629 | 8,29224 |
| 420 | 9,74736 | 490 | 7,004016 | 560 | 8,570736 | 630 | 7,111296 |
| 421 | 9,60624 | 491 | 5,905296 | 561 | 8,28648 | 631 | 5,913792 |
| 422 | 9,440928 | 492 | 4,90176 | 562 | 8,081136 | 632 | 4,74264 |
| 423 | 9,22104 | 493 | 4,051584 | 563 | 7,983072 | 633 | 3,640896 |
| 424 | 8,906688 | 494 | 3,410496 | 564 | 7,95528 | 634 | 2,6496 |
| 425 | 8,461152 | 495 | 2,952864 | 565 | 7,935264 | 635 | 1,813968 |
| 426 | 7,861536 | 496 | 2,661264 | 566 | 7,895232 | 636 | 1,14768 |
| 427 | 7,12296 | 497 | 2,480688 | 567 | 7,832304 | 637 | 0,652176 |
| 428 | 6,267888 | 498 | 2,371392 | 568 | 7,745904 | 638 | 0,328752 |
| 429 | 5,27832 | 499 | 2,289168 | 569 | 7,65576 | 639 | 0,142848 |
| 430 | 4,22784 | 500 | 2,215872 | 570 | 7,575408 | 640 | 0,04608 |
| 431 | 3,18816 | 501 | 2,122704 | 571 | 7,501248 | 641 | 0,006912 |
| 432 | 2,21112 | 502 | 2,025216 | 572 | 7,420176 | 642 | 0 |
| 433 | 1,341072 | 503 | 1,94616 | 573 | 7,31952 | 643 | 0 |
| 434 | 0,724896 | 504 | 1,904256 | 574 | 7,210512 | 644 | 0 |
| 435 | 0,322704 | 505 | 1,971648 | 575 | 7,122672 | 645 | 0 |
| 436 | 0,09432 | 506 | 2,205216 | 576 | 7,06104 | 646 | 0 |
| 437 | 0 | 507 | 2,606544 | 577 | 7,033104 | 647 | 0 |
| 438 | 0,29568 | 508 | 3,14856 | 578 | 7,041168 | 648 | 0 |
| 439 | 0,976416 | 509 | 3,811968 | 579 | 7,075728 | 649 | 0 |
| 440 | 2,096532 | 510 | 4,54608 | 580 | 7,119216 | 650 | 0 |
| 441 | 3,688248 | 511 | 5,29776 | 581 | 7,166448 | 651 | 0 |
| 442 | 5,80686 | 512 | 6,032304 | 582 | 7,214688 | 652 | 0 |
| 443 | 7,874976 | 513 | 6,71616 | 583 | 7,263216 | 653 | 0 |
| 444 | 9,716004 | 514 | 7,320384 | 584 | 7,31304 | 654 | 0 |
| 445 | 11,22576 | 515 | 7,802784 | 585 | 7,366608 | 655 | 0 |
| 446 | 12,344412 | 516 | 8,141472 | 586 | 7,427088 | 656 | 0 |
| 447 | 12,965544 | 517 | 8,335584 | 587 | 7,474464 | 657 | 0 |
| 448 | 13,355892 | 518 | 8,416944 | 588 | 7,5096 | 658 | 0 |
| 449 | 13,59936 | 519 | 8,402976 | 589 | 7,5348 | | |
| 450 | 13,738032 | 520 | 8,329968 | 590 | 7,55136 | | |
| 451 | 13,765824 | 521 | 8,209728 | 591 | 7,566336 | | |
| 452 | 13,702752 | 522 | 8,037648 | 592 | 7,59672 | | |
| 453 | 13,542048 | 523 | 7,800624 | 593 | 7,646112 | | |
| 454 | 13,278672 | 524 | 7,480224 | 594 | 7,713792 | | |

| | | | | | | | |
|-----|-----------|-----|----------|-----|----------|--|--|
| 455 | 12,915072 | 525 | 7,065504 | 595 | 7,796736 | | |
| 456 | 12,496464 | 526 | 6,574176 | 596 | 7,886592 | | |
| 457 | 12,06936 | 527 | 6,036192 | 597 | 7,970832 | | |
| 458 | 11,680992 | 528 | 5,467248 | 598 | 8,064 | | |
| 459 | 11,345328 | 529 | 4,911984 | 599 | 8,161056 | | |
| 460 | 11,050992 | 530 | 4,393008 | 600 | 8,259984 | | |
| 461 | 10,804032 | 531 | 3,951792 | 601 | 8,359776 | | |
| 462 | 10,6092 | 532 | 3,607488 | 602 | 8,491392 | | |
| 463 | 10,446192 | 533 | 3,383136 | 603 | 8,61264 | | |
| 464 | 10,3176 | 534 | 3,29184 | 604 | 8,707392 | | |
| 465 | 10,264896 | 535 | 3,338784 | 605 | 8,784144 | | |
| 466 | 10,27512 | 536 | 3,506112 | 606 | 8,853696 | | |
| 467 | 10,315872 | 537 | 3,794832 | 607 | 8,922672 | | |
| 468 | 10,360656 | 538 | 4,198752 | 608 | 9,00504 | | |
| 469 | 10,381392 | 539 | 4,687344 | 609 | 9,148464 | | |
| 470 | 10,353744 | 540 | 5,270544 | 610 | 9,352368 | | |

También se resaltan finalmente los parámetros medidos y calculados más importantes para el ciclo de conducción propuesto para un motocarro en la ciudad de Medellín:

Tabla 2. Parámetros de ciclo de conducción propuesto

| Ítems | Promedios |
|--|--------------|
| Velocidad promedio (km/h) | 7,934195635 |
| Duración total (s) | 458,7 |
| Aceleración máxima (m/s²) | 2,904 |
| Desaceleración máxima (m/s²) | -2,554 |
| Velocidad máxima (km/h) | 19,9208 |
| Tiempo en ralentí (v=0) (s) | 66 |
| Número de paradas | 2,8 |
| Distancia recorrida (m) | 1092,289 |
| Aceleración Promedio (m/s²) | 0,407806554 |
| Desaceleración promedio (m/s²) | -0,443037423 |

Conclusiones

Luego de desarrollado el presente proyecto, se llega a las siguientes conclusiones:

- No se encuentran datos actualmente que ayuden a comprender el funcionamiento de los motocarros en la ciudad de Medellín, por lo que se realizó una investigación sobre estos vehículos en dicha ciudad.
- En este trabajo se propone un ciclo típico de conducción para un motocarro en la ciudad de Medellín considerando trayectos cortos, definiendo perfiles de velocidad y tiempo característicos de un motocarro en al menos 10 trayectos con longitud inferior a 5 km, caracterizando los trayectos usando métodos estadísticos con el fin de determinar distancias, velocidades, aceleraciones y demás parámetros típicos de conducción, y proponiendo un ciclo de conducción característico para este tipo de vehículo basado en mediciones experimentales de trayectos cortos.
- El ciclo típico que se plantea, después de la recolección de datos de 10 recorridos es el recorrido #8, la elección de este se da por cálculos de error mínimo en cada uno de los trayectos, siendo este el que tiene mayor cantidad de errores mínimos cumple, siendo así el ciclo típico ideal sus características principales son una velocidad promedio de 7,9 km/h, una distancia recorrida de 1452 metros y una duración total en segundos de 658.
- La recolección de información sobre los trayectos de los motocarros permitirá tener un estudio sobre estos vehículos, ya que hasta el momento no se cuenta con ningún dato anterior que ayude a interpretar el método de manejo de los motocarros en la ciudad.
- Es necesario seguir investigando y recopilando datos para mejorar el rendimiento y la eficiencia de los motocarros en la ciudad de Medellín y en otras ciudades de Colombia.

Referencias

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. (2021). *Desarrollo de un ciclo de conducción por micro viajes y obtención de los factores de emisión*. Riobamba.

Universidad de Antioquia. (2017). *ARTICULACIÓN UNIVERSIDAD-EMPRESA-ESTADO PARA ESTABLECER LOS FACTORES DE EMISIÓN REALES DE FUENTES MÓVILES EN EL VALLE DE ABURRÁ – FEVA*. Medellín.

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA. (s.f.). *ESTUDIO DE CASO EL SERVICIO PÚBLICO MIXTO EN MOTOCARRO EN EL MUNICIPIO DE RIVERA-HUILA*.

Auteco, D. (2021). *Ventajas de contar con MOTOCARRO como transporte*. Dimerca. Retrieved March 17, 2023, from <https://dimerca.com/estas-empezando-a-emprender-descubre-las-ventajas-de-contar-con-un-motocarro-como-transporte-para-tu-negocio/>

Autofact, & Ortuya, N. (2022, junio 15). *MOTOCARRO: CONOCE LOS MODELOS QUE SE VENDEN EN COLOMBIA*. autofact. <https://www.autofact.com.co/blog/comprar-carro/mercado/motocarro>

Revista Forbes. (2020, enero 31). Más de 2.500 motocarros de Bajaj entrarán pronto a las calles de Colombia. <https://forbes.co/2020/01/31/negocios/mas-de-2-500-motocarros-de-bajaj-entraran-pronto-a-las-calles-de-colombia>

Universidad Antonio Nariño. (2022). Análisis del desempeño técnico, económico y ambiental de motocarros de combustión interna bajo condiciones reales de operación con respecto a vehículos convencionales para distribución de mercancías en la última milla para tres ciudades de Colombia. http://repository.uan.edu.co:8080/bitstream/123456789/7399/1/2023_Juan%20Pablo%20Salgado%20Ram%c3%adrez.pdf

Universidad Autónoma del Caribe Colombia. (2006, julio-diciembre). Evaluación del desempeño de un motocarro con motor de dos tiempos convertido a gas natural vehicular (GNV). <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496251108013.pdf>

Universidad Distrital Francisco José De Caldas. (2021, Mayo). Inclusión de motocarros eléctricos para el transporte de carga, que permita culminar los procesos logísticos en Bogotá de la organización Colombiana de Encomiendas S.A. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/28966/BermudezGomezSindyKarimeyMorenoCamachoCarlosEduardo2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Wikipedia. (2022, Abril 20). Ciclo de conducción. https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_conducci%C3%B3n

Khan Academy. (11 de Abril de 2023). ¿Qué es el desplazamiento? Obtenido de <https://es.khanacademy.org/science/physics/one-dimensional-motion/displacement-velocity-time/a/what-is-displacement#:~:text=La%20distancia%20se%20define%20como,camino%20recorrido%20entre%20dos%20posiciones>.

Khan Academy. (2023). *¿Qué es la aceleración?* Obtenido de <https://es.khanacademy.org/science/physics/one-dimensional-motion/acceleration-tutorial/a/acceleration-article>

TodaMateria. (2023). *Velocidad*. Obtenido de Todamateria: <https://www.todamateria.com/velocidad/#:~:text=Unidades%20de%20medida%20de%20velocidad,este%20%C3%ADmite%20es%2025%20mph>

.Universidad de Guanajuato. (2016). DISTANCIA VS DESPLAZAMIENTO. Obtenido de https://oa.ugto.mx/oa/oa-enmssm-0000003/distancia_vs_desplazamiento.html#:~:text=La%20distancia%20se%20refiere%20a,el%20Sistema%20Internacional%20de%20Medidas.

Wikipedia. (20 de Abril de 2022). Ciclo de conducción. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_conducci%C3%B3n