



“UNIVERSIDAD DEL AZUAY”

DEPARTAMENTO DE POSGRADOS

“OBTENCIÓN DE UN CICLO TÍPICO DE CONDUCCIÓN PARA LOS VEHÍCULOS DE LA UNIÓN DE TAXISTAS DEL AZUAY”.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

Magíster en Sistemas Vehiculares.

Autor: Ing. Danilo Santiago Dávalos Figueroa.

Director: Ing. Daniel Guillermo Cordero Moreno. PhD

Cuenca, Ecuador

2017

Dedicatoria:

A mis padres, Danilo y Nancy, por su apoyo y amor incondicional. A mi hermana, Andrea, por su apoyo, cariño y amistad. A mi amor, Catalina, por su respaldo y devoción en cada momento de mi vida.

Agradecimientos:

Primero a Dios y a nuestra Madre Dolorosa por la vida. A mi director y mentor Ing. Daniel Cordero PhD, por guiarme y transmitir sus conocimientos. A mis amigos y colegas Rómulo Astudillo y Washington Durán, por el respaldo para la realización del presente trabajo. Con mucho cariño gracias a todos.

Contenido

CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Justificación.....	2
1.2. Problemática.....	2
1.3. Hipótesis.....	3
1.4. Ciclo de conducción.....	3
1.5. Tipos de ciclos de conducción.....	4
1.5.1. Ciclos de conducción Estacionarios.....	4
1.5.2. Ciclos de conducción Transitorios.....	5
1.6. Métodos de elaboración de ciclos de conducción.....	5
1.6.1. Métodos directos.....	6
1.6.2. Métodos indirectos.....	7
1.7. Estado del arte	7
1.8. Objetivo general.....	9
1.9. Objetivos específicos.....	9
1.10. Alcance y contribuciones.....	9
CAPITULO II.....	10
ANÁLISIS DE LAS UNIDADES DE TAXIS DEL CANTÓN CUENCA	10
2.1. Antecedentes del transporte de pasajeros urbano del cantón Cuenca.....	10
2.2. Vida útil taxis.....	11
2.3. Procesos de homologación para transporte comercial (Taxi) en el Ecuador.....	12
2.4. Análisis de las unidades de taxis del cantón Cuenca	13
2.4.1 Características de las unidades de taxis del cantón Cuenca.....	13
2.5. Importancia del ciclo de conducción en los taxis.....	22

CAPÍTULO III.....	23
METODOLOGÍA.....	23
3.1. Fundamentos.....	23
3.2. Método a utilizar.....	23
3.2.1. Análisis por promedios ponderados.....	24
3.2.2. Selección de rutas y vehículo de análisis.....	26
3.2.3. Instrumentación.....	27
3.2.4. Recolección de datos.....	29
3.2.5. Dinámica de vehículos.....	30
CAPÍTULO IV.....	39
ADQUISICIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	39
4.1. Instrumentación.....	39
4.2. Obtención de datos.....	41
4.2.1. Cronograma de registro y formato del almacenamiento.....	42
4.2.2. Procesamiento de la información y recolección de datos.....	44
4.2.3. Separación de curvas experimentales.....	45
4.3. Determinación de área frontal del vehículo.....	48
4.4. Determinación de coeficiente aerodinámico.....	49
CAPÍTULO V.....	51
ANÁLISIS DE DATOS Y OBTENCIÓN DEL CICLO DE CONDUCCIÓN.....	51
5.1. Elaboración de los parámetros resumen para representar a cada viaje.....	51
5.2. Determinación de las variables.....	51
5.3. Determinación de los parámetros resumen.....	57
5.4. Cálculo de pesos relativos.....	58
5.5. Cálculo de los promedios ponderados.....	61
5.6. Resultados de los ciclos de conducción y energías presentes en el ciclo.....	63
CAPITULO VI.....	71

Resultados y Conclusiones	71
6.1. Resultados.....	71
6.2. Conclusiones.....	78
GLOSARIO	80
BIBLIOGRAFÍA	82

Índice de figuras

Figura 1. Ejemplo de un ciclo Estacionario, ciclo NEDC (TRL Limited, 2009)	4
Figura 2. Ejemplo de ciclo Transitorio, ciclo EPA Federal Test Procedure (United States Environmental Protection Agency, n.d.).....	5
Figura 3. Ejemplo Métodos directos, Ejemplo de un ciclo Transitorio, ciclo HDUDDS (United States Environmental Protection Agency, n.d.)	6
Figura 4. Ejemplo ciclo método indirecto, ciclo <i>Mode 10 – 15 Japan</i> . (United States Environmental Protection Agency, n.d.).....	7
Figura 5. Cantidad de vehículos por marca.	14
Figura 6. Distribución por modelos de taxis.....	16
Figura 7. Distribución por año de fabricación de los taxis de Cuenca.	19
Figura 8. Distribución por cilindrada de taxis en la ciudad de Cuenca.	21
Figura 9. Esquema de la metodología.....	23
Figura 10. Diagrama de procesos de la metodología.....	24
Figura 11. Fuerzas presentes en el vehículo. (Dietsche, 2005).....	30
Figura 12. Obtención del área frontal del vehículo.....	35
Figura 13. Coeficiente de resistencia a la rodadura para neumáticos de estructura radial y diagonal, presión de inflado nominal. (Gillespie, 1992).....	37
Figura 14. Navegador Garmin <i>GPSmap® 64St</i> (Ltd., 2016).....	39
Figura 15. Taxímetro Lakedriver (ABM, 2016)	41
Figura 16. Conversión de archivo .gpx a .txt (Schneider, 2003)	42
Figura 17. Recibo de una carrera.	45
Figura 18. Área frontal del vehículo.	49

Figura 19. Ciclo típico de conducción N°111 carreras cortas.	64
Figura 20. Perfil de altura y tiempo ciclo de conducción N°111 carreras cortas.....	65
Figura 21. Ciclo típico de conducción N°197 carreras medias.....	65
Figura 22. Perfil de altura y tiempo, ciclo de conducción N°197 carreras medias.....	66
Figura 23. Ciclo típico de conducción N°100 carreras largas.	67
Figura 24. Perfil altura tiempo, ciclo de conducción N°100 carreras largas.	68
Figura 25. Demanda de energía en rueda por el taxi en la ciudad de Cuenca.	70
Figura 26. Ciclo típico de conducción N°197 carreras medias.....	72
Figura 27. Perfil de altura y tiempo ciclo de conducción N°111 carreras cortas.....	73
Figura 28. Ciclo típico de conducción N°197 carreras medias.....	74
Figura 29. Perfil de altura y tiempo, ciclo de conducción N°197 carreras medias.....	75
Figura 30. Ciclo típico de conducción N°100 carreras largas.	76
Figura 31. Perfil altura tiempo, ciclo de conducción N°100 carreras largas.	77

Índice de tablas

Tabla 1. Vida útil para los vehículos de transporte público y comercial. (Agencia Nacional de Tránsito, 2010).....	11
Tabla 2. Marcas de taxis.	14
Tabla 3. Distribución por modelos de taxis.	16
Tabla 4, Distribución por año de fabricación de los taxis de Cuenca.....	19
Tabla 5. Distribución por cilindrada de Taxis en la ciudad de Cuenca.	21
Tabla 7. Técnicas de recolección de datos (Cedillo, 2013).	29
Tabla 10. Cuadro de coeficientes de rodadura. (Gillespie, 1992).....	36
Tabla 11. Características físicas y de rendimiento del GPSmap® 64St (Ltd., 2016).....	40
Tabla 12. Registros obtenidos de las pruebas en el taxi.	43
Tabla 13. Datos de un archivo GPX del GPSmap® 64CS compilado en Excel	44
Tabla 14. Criterio de división de carreras.	46
Tabla 15. Coeficientes de variación de las distancias totales de las carreras.	48
Tabla 16. Variables para la prueba de coeficiente aerodinámico.	50
Tabla 17. Coeficiente de arrastre y de fricción.	50
Tabla 18. Datos que conforman un ciclo experimental.	52

Tabla 19. Variables descriptoras utilizadas para los parámetros resumen.....	53
Tabla 18. Parámetros resumen.	57
Tabla 19. Ejemplo de cálculo de pesos relativos	58
Tabla 20. Pesos relativos carreras cortas.	59
Tabla 21. Pesos relativos carreras medias.....	60
Tabla 22. Pesos relativos carreras largas.	60
Tabla 23. Matriz Pesos, nomenclatura. (Astudillo, 2016)	61
Tabla 24. Análisis del ciclo de conducción 111 (Carreras Cortas). (Astudillo, 2016)	63
Tabla 25. Parámetros estadísticos del ciclo de conducción típico de carreras cortas.	64
Tabla 26. Parámetros estadísticos del ciclo de conducción típico de carreras medias.	66
Tabla 27. Parámetros estadísticos del ciclo típico de conducción de carreras largas.	67
Tabla 28. Consumo energético de ciclos de conducción de un taxi en la ciudad de Cuenca. .	69
Tabla 29. Parámetros estadísticos del ciclo de conducción típico de carreras cortas.....	72
Tabla 30. Parámetros estadísticos del ciclo de conducción típico de carreras medias.	74
Tabla 31. Parámetros estadísticos del ciclo típico de conducción de carreras largas.....	76

OBTENCIÓN DE UN CICLO TÍPICO DE CONDUCCIÓN PARA LOS VEHÍCULOS DE LA UNIÓN DE TAXISTAS DEL AZUAY

RESUMEN

Los ciclos de conducción son curvas de velocidad vs tiempo, que describen los parámetros típicos de manejo de una determinada ciudad o región. Actualmente son utilizados para evaluar el consumo de combustible y emisiones en el escape, y también se utilizan para configurar el tren motriz de vehículos nuevos o ya en circulación. Para esta última aplicación, es necesario determinar un ciclo de conducción local que además considere el perfil de altitud. Al no existir una metodología estándar para establecer un ciclo de conducción, una de las técnicas utilizadas es obtener una muestra de viajes, representarlos por parámetros resumen -como la velocidad promedio, aceleración máxima, tiempo en ralentí, entre otros- y aplicar promedios ponderados para la selección el ciclo. En este trabajo se propone una metodología para seleccionar estos parámetros resumen y sus ponderaciones, que consiste en evaluar la energía demandada por el vehículo para vencer las fuerzas de arrastre (F_d), rodadura (R_x), inercia (R_i) y pendiente (R_g). Para esto se realizó la recolección de viajes en un taxi de la ciudad de Cuenca, registrándose 512 viajes, más de 79 horas de registros y 30 días de pruebas. Finalmente se determinaron tres ciclos de conducción, que incluyen el perfil de altitud, para carreras cortas ($< 2.5\text{km}$), medias ($>2.5\text{km}$ y $<5 \text{ km}$) y largas ($<5 \text{ km}$).

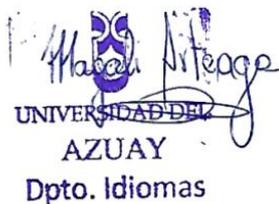
Palabras clave: Ciclos de conducción, taxis, rutas variables, mínimas diferencias ponderadas.

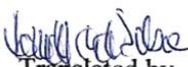
OBTAINING A TYPICAL DRIVING CYCLE FOR THE VEHICLES OF THE *AZUAY* TAXI DRIVERS UNION

ABSTRACT

Driving cycles are speed versus time curves, which describe the typical driving parameters of a city. Currently, they are used to evaluate fuel consumption and exhaust emissions, and to configure the powertrain of new or already-in-circulation vehicles. For this last application, it is necessary to determine a driving cycle that considers altitude. In the absence of a standard methodology for establishing a driving cycle, it is possible to use a travel sample represented by summary parameters, and to apply weighted averages to select the cycle. This paper proposed a methodology to select these summary parameters and their weightings, which consisted in evaluating the energy required by the vehicle. For this, information gathering of taxi trips in the city of Cuenca was performed, registering 512 trips, 79 hours of records and 30 days of tests. Finally, three driving cycles that included the altitude profile were determined.

Keywords: driving cycles, taxis, variable routes, minimal weighted differences.




Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Desde el siglo pasado siempre existió la preocupación por los niveles de contaminación en todo el mundo. Las proyecciones de modelos estadísticos dictan que debemos reducir las fuentes móviles contaminantes y de eso se encargan, específicamente, los entes regulatorios, tales como: la EPA (Agencia Protección Ambiental) o en Europa la AEMA (Agencia Europea del Medio Ambiente). Pero en Latinoamérica, no es sino hace pocas décadas que se empiezan a tomar medidas y se trabaja en reducir los niveles de emisiones contaminantes; los mismos que tratan de determinar la conducta de los automotores y la manera de conducción típica. Se emplean metodologías propias para dar seguimiento a la forma en la que el tráfico se mueve por las grandes urbes en crecimiento. Proyectos y estudios experimentales en países como México, Costa Rica, Chile, Colombia, algunos de los pioneros en el desarrollo de los ciclos de conducción, son parte fundamental en la medición de niveles de contaminación de las fuentes móviles y objetivo principal de éste estudio. (Chacón, 2016)

Pero, ¿qué es un ciclo de conducción? Se trata de la secuencia de datos de velocidad y tiempo que representa patrones de manejo de la actividad del parque automotor. (Restrepo, Carranza, & Tibaquirá, 2007). ¿Qué son patrones?, ¿A qué se debe que tomen la facultad de ser representativos? Los patrones, son sucesos o variables constantes, que son característicos dentro de un conjunto de datos, es decir representan la actividad automovilística de un lugar determinado. (Cedillo, 2013).

1.1. Justificación

Es necesario y de alto interés para la Universidad del Azuay y la ciudad de Cuenca, conocer los ciclos de conducción de los vehículos en la ciudad de Cuenca. Para eso, en este estudio se orienta al análisis de los taxis, ya que son los vehículos que tienen el mayor recorrido dentro de las ciudades. Un ciclo típico de conducción es fundamental para conocer los parámetros de consumo y emisiones de las fuentes móviles en las ciudades.

En el Ecuador las entidades encargadas de emplear ciclos de conducción para la homologación de vehículos son: la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) y el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) (Astudillo, 2016). Así, mediante el establecimiento y aplicación de normas se establece la utilización de ciclos de conducción internacionales para normalizar y homologar los vehículos de transporte de personas. Al no tener un registro de la actividad de conducción de vehículos a nivel local, se hace necesario la utilización de ciclos extranjeros.

1.2. Problemática

No existen ciclos de conducción capaces de representar de manera típica la forma y regularidad de conducir de un taxi en la ciudad de Cuenca. Los análisis que se han realizado en otras localidades son procesos y parámetros comunes que, según el criterio de los expertos, no se consideran los más adecuados para representar los ciclos de nuestra localidad. Haciendo mención a los factores como la distribución del tránsito y la intrincada forma geográfica que tiene la urbe, se reitera: no existe una metodología estandarizada para representar ciclos. La variación de terreno y altura disponen que, se deba realizar el estudio correspondiente para

garantizar que se cumplan con los requerimientos mencionados. Es por eso que se ha establecido una metodología que considere todos los procesos comunes de conducción real de estudios previos, para definir un ciclo de conducción real, representativo y adecuado.

1.3. Hipótesis

Con las capacidades de medición, recolección y agrupación de ciclos de conducción se obtiene, de manera estadística, un ciclo de conducción que representa la manera típica de conducción, de un taxi, en la ciudad de Cuenca.

1.4. Ciclo de conducción.

La innovación de la industria automotriz, canaliza recursos para la investigación de nuevas fuentes energéticas y en su búsqueda, se encuentran vehículos cada vez más eficientes con un reducido consumo de combustible y bajos niveles de emisiones. (Gómez de las Heras, 2011). Con la finalidad de evaluar los vehículos mejorados, los fabricantes recurren a pruebas de laboratorio para representar el uso del automóvil en un determinado sector de movilización. Una de las herramientas utilizadas para dicha evaluación son los ciclos de conducción.

El ciclo de conducción se define como una secuencia de datos de velocidad y tiempo, que representa patrones de manejo de la actividad de los vehículos en un determinado sector; pudiendo ser urbano, rural o en carretera. Se analizan los datos de velocidad que tiene cada viaje versus el tiempo empleado en completar el recorrido. Generalmente se utiliza una frecuencia de 1Hz, es decir un dato por segundo.

1.5. Tipos de ciclos de conducción.

Existen varios patrones de conducción. Dependiendo del entorno o región, se encuentra que dentro de los ciclos destacan dos grupos: los estacionarios y transitorios. (Sanabria Sandí, 2012).

1.5.1. Ciclos de conducción Estacionarios

Los ciclos de conducción estacionarios o modales, tienen como característica de construcción del ciclo lapsos de velocidades y aceleraciones constantes en la totalidad de su perfil de velocidad y tiempo. (Figura 1). Son utilizados para representar condiciones de manejo determinadas en laboratorio con dinamómetros de prueba.

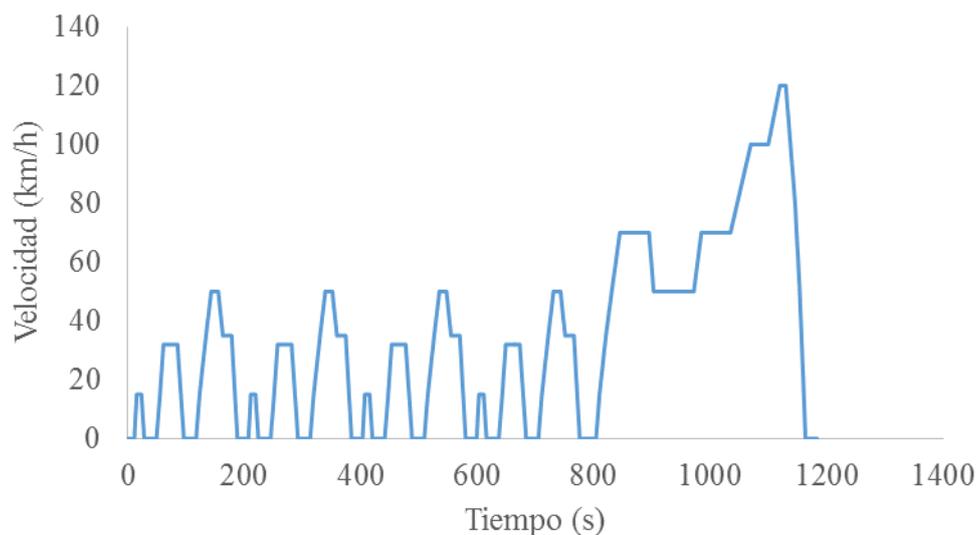


Figura 1. Ejemplo de un ciclo Estacionario, ciclo NEDC (TRL Limited, 2009)

1.5.2. Ciclos de conducción Transitorios

Los ciclos de conducción transitorios, tienen como característica las variaciones de velocidad en cada instante de tiempo. Son mediciones reales de manejo urbano, donde se producen aceleraciones y picos de velocidad a lo largo del ciclo. (Figura 2).

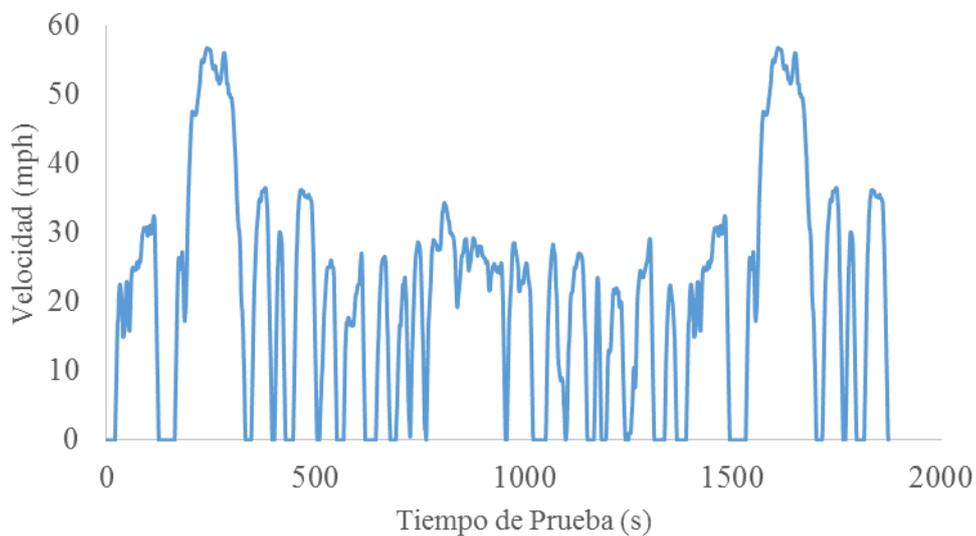


Figura 2. Ejemplo de ciclo Transitorio, ciclo *EPA Federal Test Procedure* (*United States Environmental Protection Agency, n.d.*)

1.6. Métodos de elaboración de ciclos de conducción.

Existen dos métodos de obtención de ciclos de conducción los métodos directos e indirectos, a continuación se especifican cada uno de los métodos.

1.6.1. Métodos directos.

El método directo consiste en derivar, directamente de las mediciones reales, un ciclo representativo del tráfico real del entorno que se está estudiando. (Gómez de las Heras, 2011). Generalmente selecciona de manera previa la ruta para las pruebas, y a través de la instrumentación del vehículo, se registran los datos de velocidad y tiempo que posteriormente son analizados con métodos estadísticos para seleccionar un ciclo de conducción que represente al conjunto de datos muestreados. Como ejemplo tenemos el *HDUDDS*, Figura 3.

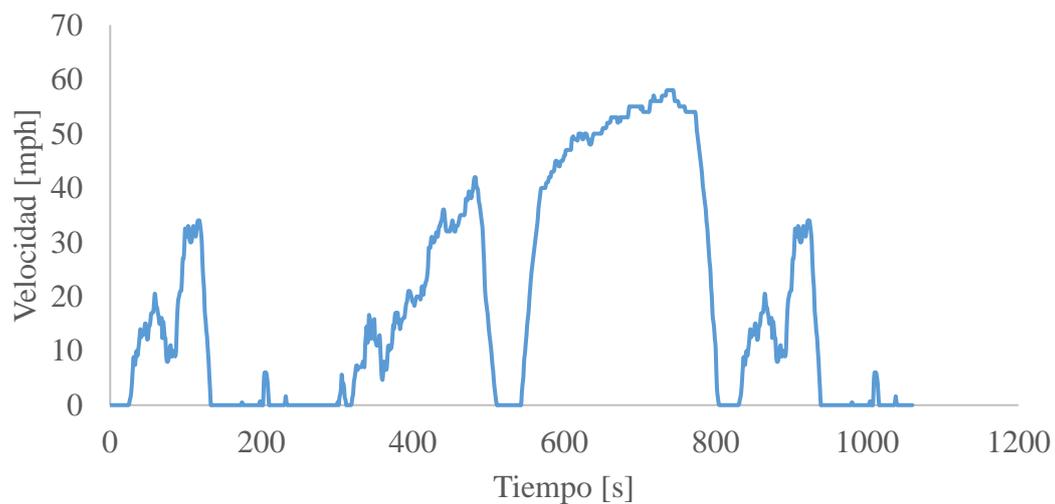


Figura 3. Ejemplo Métodos directos, Ejemplo de un ciclo Transitorio, ciclo HDUDDS

(United States Environmental Protection Agency, n.d.)

1.6.2. Métodos indirectos.

Los métodos indirectos recolectan información de registro de viajes realizados en una ruta determinada, para posteriormente, utilizar ajustes con velocidades tiempos y factores de emisiones fijados por modelos internacionales; como ejemplo, el ciclo Japonés 10 – 15. Figura 4.

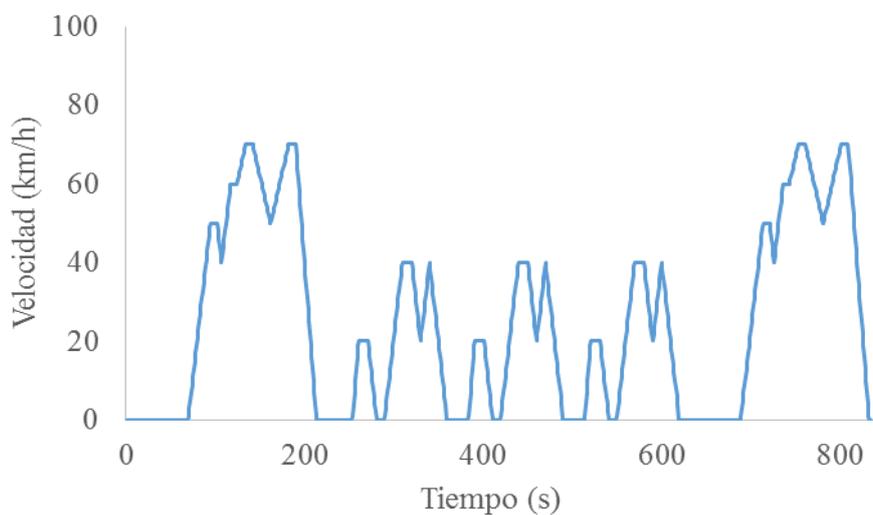


Figura 4. Ejemplo ciclo método indirecto, ciclo *Mode 10 – 15 Japan*. (United States Environmental Protection Agency, n.d.)

1.7. Estado del arte

Es importante analizar los ciclos de conducción que se utilizan en otras partes del mundo, destacan las técnicas que se emplean para obtener un ciclo representativo en condiciones reales de manejo. Los investigadores coinciden en que se debe fijar una ruta, determinar el método

de recolección de datos y el procesamiento de información para la construcción del ciclo. (Astudillo, 2016).

Ciclos de conducción de Chile, denominado como: “Determinación experimental de ciclos de conducción de vehículos livianos para la ciudad de Santiago”. (Osse & Rojas, 2003). Se aplicó tres etapas. La primera corresponde a la selección de arcos viales. La segunda etapa involucra la medición experimental de velocidad y tiempo de los arcos seleccionados, y finalmente, se procesaron los intervalos de velocidades y aceleraciones, para construir los microciclos y obtener la curva de operación, que finalmente construye el ciclo de conducción.

Ciclos de conducción de México, “Determinación de ciclos típicos de conducción” (Cedillo, 2013). “Utiliza la metodología de mínimas diferencias ponderadas, que se basa en elegir el ciclo, cuyos parámetros característicos, mejor se aproximan a las medias de los parámetros característicos del grupo de ciclos medidos.” La autora calcula el valor de las ponderaciones que son necesarias para seleccionar de manera estadística el ciclo típico.

Ciclos de conducción Colombia, “Diseño y aplicación de una metodología para determinar ciclos de conducción vehicular en la ciudad de Pereira” (Restrepo, Carranza, & Tibaquirá, 2007). Los ciclos de conducción se realizan en rutas fijas. Aplican el método de mínimas diferencias ponderadas y calculan el coeficiente de variación CV para estimar el número de muestras necesarias para la construcción del ciclo. Utilizan la quinta rueda y un GPS para el muestreo y recolección de datos. (Cedillo, 2013)

Ciclos de conducción Ecuador, “Obtención de ciclos de conducción para buses urbanos de Cuenca” (Astudillo, 2016). Utiliza la metodología de promedios ponderados, calcula el CV

(coeficiente de variación) en el muestreo, utiliza GPS para levantamiento de datos y adiciona a los cálculos el perfil de altura de la ciudad. Se estiman los valores de pesos relativos con cálculos de fuerza en rueda.

1.8. Objetivo general.

- Obtener un ciclo de conducción típico de taxis de la ciudad de Cuenca.

1.9. Objetivos específicos.

- Elaborar una metodología para determinar los ciclos de conducción.
- Aplicar la metodología en un taxi y determinar el ciclo de conducción.
- Analizar los datos obtenidos del ciclo de conducción.

1.10. Alcance y contribuciones.

El proyecto propone la determinación de ciclos de conducción para taxis en la ciudad de Cuenca. Los taxis no tienen rutas fijas, por ello se obtendrán tres ciclos de conducción, uno para carreras cortas, otro para medias y el último para carreras largas. La descripción de carreras cortas, medias y largas se hará en el capítulo IV de este documento. Además cada ciclo de conducción se obtendrá con su perfil de altitud. En el proceso se utilizará la demanda energética de los vehículos.

CAPITULO II

ANÁLISIS DE LAS UNIDADES DE TAXIS DEL CANTÓN CUENCA

2.1. Antecedentes del transporte de pasajeros urbano del cantón Cuenca.

El artículo 1 de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, prescribe que la misma tendrá “por objeto de la organización, planificación, fomento, regulación, modernización y control del transporte terrestre, tránsito y seguridad vial, con el fin de proteger a las personas y bienes que se trasladan de un lugar a otro por la red vial del territorio ecuatoriano y a las personas y lugares expuestos a las contingencias de dicho desplazamiento, contribuyendo al desarrollo socio-económico en aras de lograr el bienestar general de los ciudadanos” (Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador, 2016).

Actualmente existen dos frentes asociados en el transporte de taxis en Cuenca. La “Unión de Taxistas del Azuay” (UTA), gremio al que pertenecen las cooperativas de transporte; y, el “Frente Unido de Taxistas” (FUT), al cual pertenecen las compañías de transporte que circulan en el perímetro urbano de la ciudad. Al realizarse un enfoque para las condiciones de funcionamiento propias del cantón, es beneficioso establecer el ciclo de conducción de un taxi que permita un análisis específico en cuanto a su comportamiento.

Según la (Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador, 2016) ANT, en el año 2012 se transfirieron las competencias de tránsito al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal

de Cuenca (GAD de Cuenca). Mismas que éste ha asumido a través de su Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV-EP) y la Dirección Municipal de Tránsito (DMT) utiliza las competencias para planificar, regular y controlar el tránsito y transporte terrestre del cantón (Astudillo, 2016).

2.2. Vida útil taxis

Los vehículos que operan como taxis, al estar sometidos a un uso regular y continuo, presentan desgaste en sus mecanismos que alteran sus prestaciones; llegando en un lapso de tiempo a ser disfuncionales y elevando el riesgo de accidentes y averías. En la Tabla 1 se aprecia en detalle el periodo de vida útil estimado por la ANT y adoptado por la DMT del GAD de Cuenca.

Tabla 1. Vida útil para los vehículos de transporte público y comercial. (Agencia Nacional de Tránsito, 2010)

Cuadro de aplicación de la vida útil total				
Modalidad de transporte	Tipo de vehículo	Constitución jurídica y permiso de operación	Incrementos y cambios	Vida útil total
		Años	Años	Años
Taxi	Automóvil	0	6	15
Taxis ejecutivos	Automóvil	0	0	5
Carga liviana	Camioneta CS	5	10	15
Transporte mixto	Camioneta DC	5	10	15

Para la ciudad de Cuenca, la legislación determina que la vida útil de un taxi convencional es de 15 años (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca). El proceso de renovación de flota cuenta con un programa de chatarrización de las unidades antiguas y con un plan de financiamiento para la entrega de unidades nuevas de transporte (ANT, 2016). Pero en la adquisición de los nuevos vehículos, se opta por un taxi que tenga un desempeño efectivo en la geografía de la ciudad, significando un beneficio económico al propietario de la unidad.

2.3. Procesos de homologación para transporte comercial (Taxi) en el Ecuador

Para ingresar las unidades adquiridas por las cooperativas de taxis en la renovación de flota vehicular, los prospectos de compra deben ser homologados para su funcionamiento en el Ecuador. La entidad encargada de este proceso es la ANT, en coordinación con el Ministerio de Industrias y Competitividad y el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2002) y con base en la Norma NTE INEN 2 204:2002; norma que comprende la gestión ambiental de aire y límites permitidos de emisiones por fuentes móviles terrestres de gasolina (Astudillo, 2016). El proceso se describe en el Reglamento General de Homologación para la Transportación Pública y Comercial (Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador, 2013).

2.4. Análisis de las unidades de taxis del cantón Cuenca

El análisis de unidades de taxis comprende las características, distribución, porcentaje de vehículos, modelos y marcas más comunes que se detallan a continuación.

2.4.1 Características de las unidades de taxis del cantón Cuenca

Los taxis convencionales que circulan en la ciudad de Cuenca, se dividen en cuanto a su organización asociativa en compañías y cooperativas; existiendo cuarenta compañías y sesenta y siete cooperativas, y a cada una de ellas pertenecen un determinado número de unidades de taxis definido. En su totalidad suman 3524 unidades que brindan el servicio de transporte de taxi. La DMT lleva un registro de los automóviles matriculados en la ciudad, entre los cuales se encuentran los taxis convencionales. En este registro se verifican datos como: registro municipal, placa, tipo de licencia, tipo de servicio prestado, propietario, RUC del propietario, estado, entre otros.

El análisis de taxis permite determinar parámetros de utilidad, a saber: renovación, vida útil, marcas, modelos, cilindrada y, se pueden determinar, con este registro, las unidades ideales para el muestreo en la realización de los ciclos de conducción. En la lista existen dos marcas predominantes: Hyundai y Chevrolet, que representan más del 66% del total de taxis de la ciudad. A estas le siguen las otras marcas que significarían el 30%. Y, por último existe un número de unidades que no están registradas que suman el 4% restante. (Figura 5, Tabla 2).

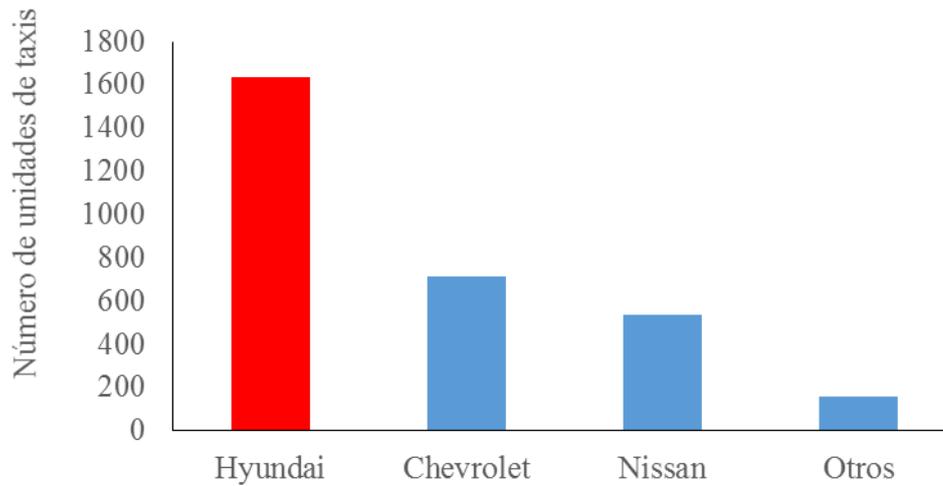


Figura 5. Cantidad de vehículos por marca.

Tabla 2. Cantidad de vehículos por marca.

Marca	Unidades	Porcentaje
Hyundai	1634	45,7%
Chevrolet	712	19,9%
Nissan	535	15,0%
Toyota	158	4,4%
Kia	154	4,3%
Daewoo	102	2,9%
Mazda	95	2,7%

Renault	28	0,8%
Lada	7	0,2%
Skoda	4	0,1%
Citroen	3	0,1%
Volkswagen	3	0,1%
Jac	3	0,1%
Mitsubishi	2	0,1%
Sin registro	139	3,9%
Total	3578	100%

En la base de datos (Figura 6, Tabla 3) recopilada, se aprecia diversidad en los modelos dentro de cada marca de fabricante, especialmente en los modelos Chevrolet. Esto permite acceder a su información técnica, y clasificar los modelos de mejor desempeño en ruta, etc. Para las marcas Hyundai y Nissan se observan los modelos que predominan y de igual forma sucede al agrupar modelos con características similares para Chevrolet; ya que como se especificó antes, registra un gran número de modelos dentro de la base de datos de la DMT. Las otras marcas tienen pocos modelos. Cada modelo tiene un determinado número de unidades y un porcentaje de flota del total de cada marca.

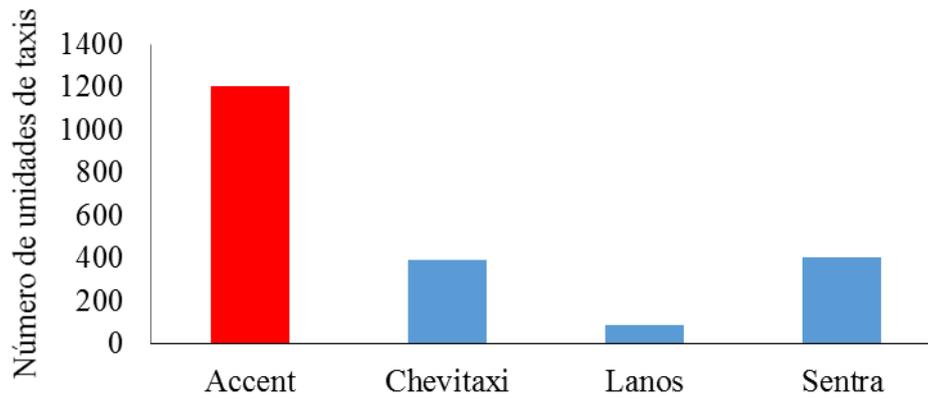


Figura 6. Distribución por modelos de taxis.

Tabla 3. Distribución por modelos de taxis.

Modelo	Unidades	Porcentaje
Hyundai		
Accent	1208	74%
Matrix	362	22%
Atos	1	0,1%
Elantra	24	1,5%
Excel	1	0,1%
Getz	37	2,3%
Chevrolet		
Chevytaxi	392	55,1%
Aveo	218	30,6%
Corsa	61	8,6%
Esteem	13	1,8%
Optra	4	0,6%

Sail	20	2,8%
Spark	1	0,1%
Vivant	4	0,6%
San Remo	1	0,1%
Nissan		
Sentra	405	75,7%
Tida	79	14,8%
Almera	30	5,6%
AD Wagon	17	3,2%
Versa	5	0,9%
Citroen		
C-Elysee	3	100,0%
Volkswagen		
Parati	3	100,0%
Daewoo		
Lanos	89	87%
Cielo	11	11%
Nubira	1	1%
Racer	1	1%
Toyota		
Yaris	106	67%
Corolla	51	32%
Tercel	1	1%
JAC		
HFC7150B	3	100%
KIA		
Rio	143	93%
Cerato	8	5%
Carens	2	1%
Spectra	1	1%
Lada		
Serie 100	7	100%

Mazda		
323	19	20%
Allegro	76	80%
Renault		
Logan	24	86%
Megane	1	4%
Sandero	1	4%
Symbol	2	7%
Mitsubishi		
Lancer	2	100%
Skoda		
Felicia	2	50%
Octavia	2	50%

Para estimar el tamaño de la muestra se clasifica a los taxis por el año de fabricación, de esta forma se delimita un modelo y año de vehículo. Además, una estimación del tiempo de vida útil, permite planificar la renovación de las unidades, lo que es de interés para los choferes profesionales que conducen un taxi. El 97% de los taxis en Cuenca han sido fabricados entre el 2001 y el 2014, un pequeño porcentaje están cursando más de la mitad de su vida útil. En la (Figura 7), se aprecia que la mayor cantidad de vehículos están entre los años 2005 y 2011. También se describe el porcentaje de distribución por año de fabricación de los taxis (Tabla 4). En cuanto a la cilindrada de los taxis, se describe una tabla con el porcentaje del número de taxis que se encuentran en un rango determinado de cilindrada. (Tabla 5, Figura 8).

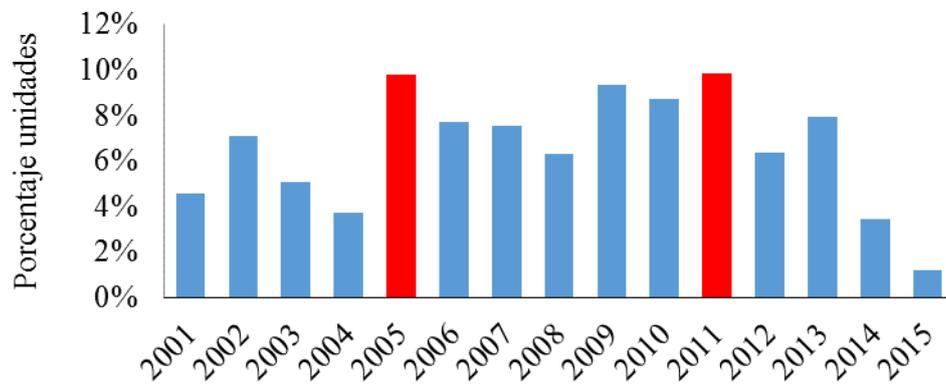


Figura 7. Distribución por año de fabricación de los taxis de Cuenca.

Tabla 4, Distribución por año de fabricación de los taxis de Cuenca.

AÑO DE FABRICACIÓN	UNIDADES	PORCENTAJE
1992	2	0,1%
1993	1	0,0%
1994	2	0,1%
1995	1	0,0%
1996	1	0,0%
1997	1	0,0%
1998	13	0,4%
1999	20	0,6%
2000	2	0,1%
2001	161	4,6%

2002	250	7,1%
2003	179	5,1%
2004	132	3,7%
2005	345	9,8%
2006	273	7,7%
2007	267	7,6%
2008	222	6,3%
2009	329	9,3%
2010	308	8,7%
2011	347	9,8%
2012	225	6,4%
2013	280	7,9%
2014	121	3,4%
2015	42	1,2%
TOTAL	3524	100,0%

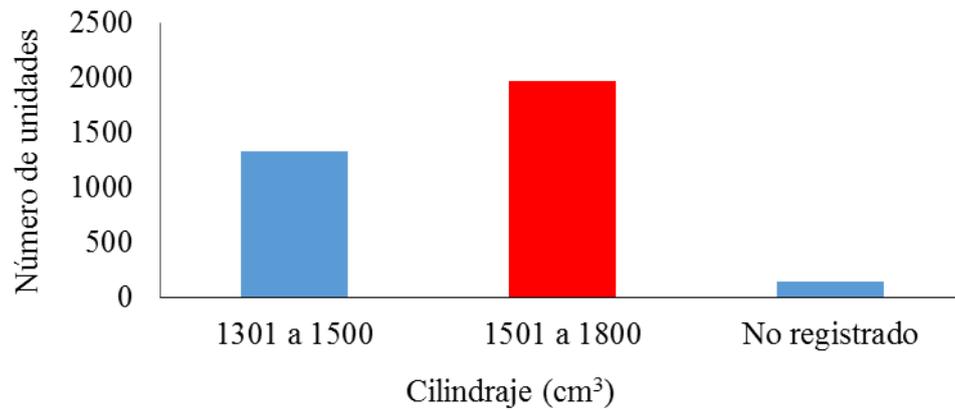


Figura 8. Distribución por cilindrada de taxis en la ciudad de Cuenca.

Tabla 5. Distribución por cilindrada de Taxis en la ciudad de Cuenca.

Cilindrada (cm³)	Porcentaje
1000 a 1300	0,6%
1301 a 1500	38,2%
1501 a 1800	56,9%
1801 a 2000	0,2%
No registrado	4,1%
Total	100%

2.5. Importancia del ciclo de conducción en los taxis.

El ciclo de conducción en los taxis es de importancia para la ciudad, los taxis recorren un promedio de 300km diarios y un promedio de 18 horas al día. Un taxi se desplaza no solo por el área céntrica de la ciudad, sino también las parroquias cercanas. Tiene rutas variables. No tienen ruta fija, sino que varía según los viajes realizados. Representa la forma real de conducción en el casco urbano de Cuenca. No se tienen registros realizados de ciclos de taxis en el área.

El proceso para obtener el ciclo de conducción es el siguiente; primero se realiza una selección del método de toma de datos, en este caso se utilizó el método directo que consta de la selección del vehículo, la instrumentación con los equipos de medición. El estudio continua con la medición de viajes con pasajeros y la posterior recolección de datos de velocidad tiempo y altitud en las mediciones. Finalmente se analizan dichos datos para seleccionar el ciclo de conducción.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Fundamentos.

El objetivo es obtener uno o varios ciclos de conducción representativos, con ensayos realizados a bordo. En principio se debe definir el método, establecer el programa de recolección de datos, instrumentación en el vehículo, levantamiento de datos de viajes, análisis de datos y finalmente el ciclo de conducción (Figura 9).

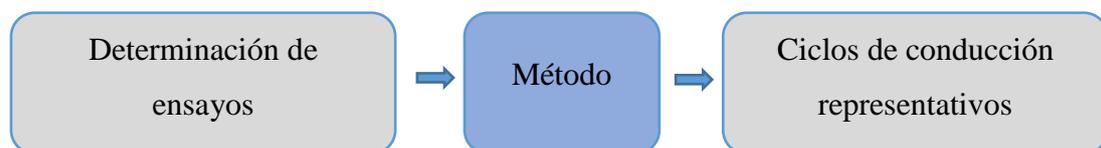


Figura 9. Esquema de la metodología.

3.2. Método a utilizar.

Para satisfacer las necesidades del ciclo de conducción en los taxis, es conveniente utilizar un método directo, ya que involucra varios datos de una curva experimental. El principio de selección del ciclo va a ser el siguiente: determinar el ciclo representativo a partir de promedios ponderados. (Astudillo, 2016). El método de promedios ponderados tiene un procedimiento para construir el ciclo de conducción. (Figura 10).

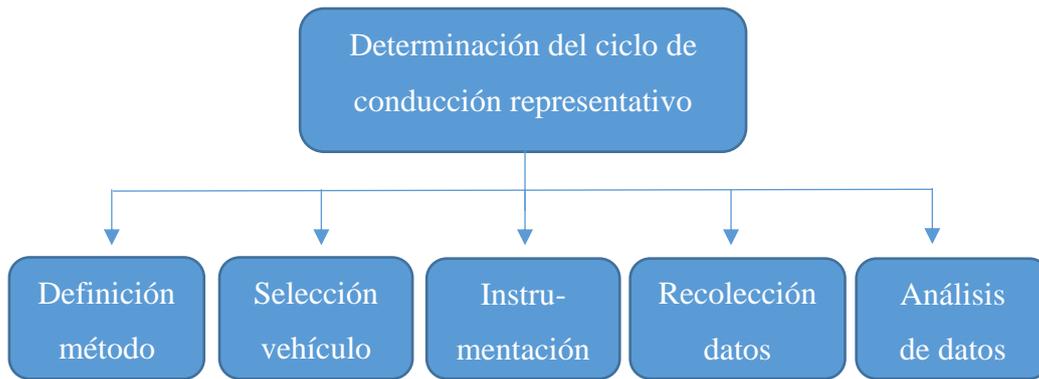


Figura 10. Diagrama de procesos de la metodología.

3.2.1. Análisis por promedios ponderados.

El método de promedios ponderados, es un análisis estadístico que consiste en la recolección de datos o muestras, para su posterior clasificación y representación mediante los parámetros resumen; es decir, variables características para el análisis de las muestras. El siguiente paso es asignar una ponderación a los parámetros que tienen la función de comparador, contra el promedio de los parámetros de la muestra. De esta manera se escoge el recorrido que más se aproxime a la media de los recorridos o muestras en sus parámetros resumen (Astudillo, 2016).

La metodología propuesta ya se ha aplicado con anterioridad en Colombia, México, Australia, Francia y Estados Unidos (Restrepo, Carranza, & Tibaquirá, 2007). “La obtención del ciclo de conducción resultante de una muestra de curvas experimentales se realiza al comparar las variables representativas de mayor influencia de cada curva experimental, con respecto al promedio de dichas variables en todas las curvas experimentales, con la asignación previa de una ponderación” (Astudillo, 2016). Las variables se han escogido de otros trabajos de investigación y son fundamentales para la determinación de ciclos de conducción en los taxis.

Para el análisis de los promedios ponderados se trabajará con cinco variables la resistencia a la inercia, resistencia a la rodadura, resistencia aerodinámica y resistencia a la pendiente cada una multiplicada por la velocidad para obtener el consumo energético de cada una, la energía total se obtiene de la sumatoria de las energías en rueda (Astudillo, 2016).

Las ecuaciones y fórmulas descritas en este trabajo son parte de la metodología propuesta por (Cedillo, 2013), e implementada por (Astudillo, 2016) en el estudio: “Obtención de ciclos de conducción para la flota de buses urbanos del cantón Cuenca”. Esto, pues los trabajos comparten un objetivo similar que es obtener el ciclo de conducción en la ciudad de Cuenca. En el caso de los buses se analizan las fuerzas que intervienen en el movimiento y para el caso de los taxis se determina la energía demandada en el ciclo.

La mínima diferencia de promedios ponderados sirve para dar una valoración a las muestras y para seleccionar el que corresponda al valor mínimo de la desviación de los parámetros resumen en el análisis con respecto a su media (Astudillo, 2016), (Ec.1).

$$y = \arg \min \sum f_i(x_i - \bar{x}) \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

y = Valor mínimo de la sumatoria de parámetros ponderados.

f_i = Factor de ponderación para cada parámetro.

x_i = Valor de parámetro resumen.

\bar{x} = Media de valores de parámetros resumen.

Con la modificación de la (Ec.1), se realiza la comparación de variables lo que se representa con la (Ec.2).

$$y = \min \left(\sum W_i \frac{|P_{ij} - \bar{P}|}{\bar{P}} \right) \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

y = Valor mínimo de la sumatoria de parametros.

W_i = Peso de la ponderación.

P_{ij} = Valor de parametro i para el ciclo j .

\bar{P} = Media de valores del parametro i .

3.2.2. Selección de rutas y vehículo de análisis.

En el caso particular de los ciclos de conducción para taxis, la selección de ruta, que es un paso a seguir en la metodología, se realiza sin seguir una ruta específica para el muestreo de los datos. La intención del análisis es monitorear de manera real la conducción del taxi, para de esta forma, seleccionar un recorrido típico representativo. El criterio de selección del vehículo es indiferente, el autor puede determinar el automóvil de análisis a conveniencia para cumplir con el muestreo que se plantea en el capítulo IV. Hay que resaltar que es indistinto el vehículo en cuestión para el análisis debido a que no presenta variaciones significativas entre uno u otro. Los ciclos de conducción son curvas representativas de la velocidad y tiempo que se puede reproducir en cualquier automotor.

El vehículo seleccionado es un Nissan Sentra año 2005 de cilindraje 1600cc, con la colaboración del Ing. Washington Durán, propietario de la unidad 0385 de la cooperativa Virgen de la Nube. El conductor, chofer profesional, Sr. Arturo Rivas. Entra dentro de las características de “Conductor cotidiano”, descrito en la (tabla 7).

3.2.3. Instrumentación

La instrumentación en el análisis de los ciclos de conducción es fundamental, con el fin de realizar la recolección de los datos necesarios. Para la investigación se empleará el dispositivo GPS, ya que cumple con los requerimientos necesarios. El registro de velocidad instantánea versus el tiempo y la altitud en el recorrido puede determinarse con diferentes alternativas disponibles, las que son indicadas en la Tabla 6.

Tabla 6. Descripción de alternativas de instrumentación para medición de ciclos típicos de conducción (Cedillo, 2013).

Variable	Alternativas	Ventajas	Desventajas
Velocidad	GPS	Permite la medición instantánea de la variable. No requiere instrumentación complicada.	Pérdida de señal en pasos a desnivel y puentes. Alto costo dependiendo de la resolución requerida.
	OBD	Exactitud de medición al tomar los datos directamente de la computadora del vehículo.	Poca disponibilidad al cambiar el software para su lectura ya que varía dependiendo de cada fabricante de motores.
Altitud	GPS	Ventajas similares a la variable de velocidad.	Desventajas similares a la variable de velocidad, por el decremento en el nivel de exactitud en la medición de altitud al no contar con filtros y puntos de comparación.
Consumo de combustible	OBD	Permite el registro de consumo instantáneo en tiempo real.	Alto costo dependiendo del software desarrollado por cada fabricante. Poca disponibilidad al depender de cada fabricante de motores.
	Tanque para combustible	Bajo costo de implementación al requerir tanque graduado, conexiones directas al tanque y dispositivos para medición de volumen, peso y temperatura.	Poca exactitud. Incremento de dificultad de mediciones instantáneas.

3.2.4. Recolección de datos

El fundamento de la recolección de datos es la logística que se lleva a cabo, como la selección del conductor, la instrumentación y el levantamiento de datos. Existen tres técnicas (Tabla 7): vehículo de seguimiento, conductor experto y conductor cotidiano. Para el trabajo se empleará la de conductor cotidiano, con la finalidad de registrar las condiciones normales de manejo.

Tabla 7. Técnicas de recolección de datos (*Cedillo, 2013*).

Alternativas	Ventajas	Desventajas
Automóvil de seguimiento.	Instrumentación “completa” de un vehículo el cual será el encargado de “perseguir” vehículos objetivo instrumentados a un menor nivel. Registro de condiciones de manejo de vehículos objetivos a través de seguimiento o persecución durante las rutas seleccionadas.	La recolección de los datos depende de la selección del “chase car” ya que de éste dependerá el registro de datos al “perseguir” el vehículo objetivo. Influencia del “chase car” sobre los vehículos objetivos durante la persecución afectando el registro de datos. Asegurar la correcta selección de láser (instrumentación) para medición de distancias. Baja relación con desempeño en condiciones normales por comportamiento anormal debido al sentimiento de persecución. Incremento de cambios de velocidad al tratar de seguir a carro objetivo.
Conductor experto	Repetitividad en muestreo al permanecer constante la variable del conductor.	Baja relación con desempeño en condiciones normales al aplicar diferentes técnicas de manejo que un conductor común no desarrolla. El registro de las mediciones depende de un buen conductor experto.
Conductor cotidiano	Alta relación con desempeño normal de condiciones de conductor común.	Incremento en complejidad de logística de recolección y costo de instrumentación. Posibles ajustes de velocidad al sentirse monitoreado el conductor. Incremento de variables durante la recolección de datos.

3.2.5. Dinámica de vehículos.

Dentro del análisis de ciclo de conducción, resulta importante analizar la dinámica de los vehículos. Este análisis es el punto de partida para determinar las fuerzas principales que intervienen y se oponen al movimiento del vehículo, siendo un indicativo de relevancia para estudiar el comportamiento de los taxis en Cuenca, porque cada esfuerzo demanda una cierta energía que interviene en el movimiento.

3.2.5.1. Ecuaciones para el cálculo de la fuerza en rueda.

El cálculo de la fuerza en rueda, es el resultado de la sumatoria de cuatro fuerzas que se oponen al movimiento, éstas son: la resistencia de arrastre, la resistencia a la inercia, la resistencia a la rodadura y la resistencia a la pendiente (Figura 11) (Astudillo, 2016). Las fuerzas son parte del cálculo energético y de potencia del vehículo. Es posible realizar un análisis de demanda energética para saber que energía intervino con mayor presencia en los ciclos y asignar una ponderación calculada para refinar los resultados.

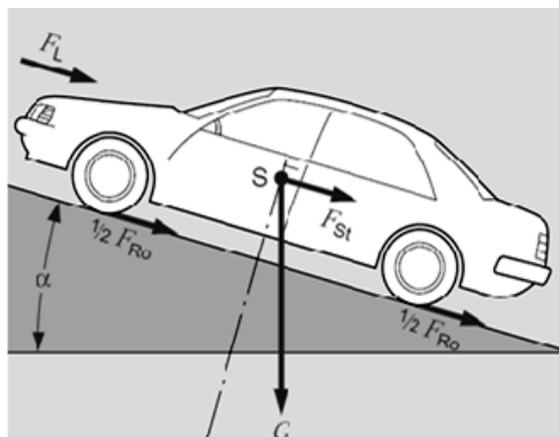


Figura 11. Fuerzas presentes en el vehículo. (Dietsche, 2005)

A continuación se detallan las fórmulas de las fuerzas que intervienen en el movimiento:

$$F_x = F_d + R_x + R_g + R_i \quad (\text{Ec.9})$$

Donde:

F_x = Fuerza en rueda (N)

F_d = Resistencia de arrastre (N)

R_x = Resistencia a la rodadura (N)

R_g = Resistencia a la pendiente (N)

R_i = Resistencia a la inercia (N)

$$F_d = \frac{1}{2} \times A_f \times \varphi \times C_d \times (V_{(m/s)})^2 \quad (\text{Ec.10})$$

Donde:

F_d = Resistencia de arrastre (N)

A_f = Área frontal (m^2)

φ = Densidad del aire (kg/m^3)

C_d = Coeficiente aerodinámico (-)

$V_{(m/s)}$ = Velocidad (m/s)

$$R_x = M \times g \times f_r \times \cos(\theta_n) \quad (\text{Ec.11})$$

Donde:

R_x = Resistencia a la rodadura (N)

M = Masa (Kg)

f_r = Coeficiente de resistencia a la rodadura (-)

θ_n = Pendiente (°)

$$R_g = M \times g \times \sin(\theta) \quad (\text{Ec.12})$$

Donde:

R_g = Resistencia a la pendiente (N)

M = Masa (Kg)

θ_n = Pendiente (°)

$$R_i = M \times a \quad (\text{Ec.13})$$

Donde:

R_i = Resistencia a la inercia (N)

M = Masa (Kg)

a = Aceleración (m/s^2)

3.2.5.2. Coeficiente aerodinámico o de arrastre.

El coeficiente de arrastre es una medida adimensional. Es la fuerza que se opone al avance de un cuerpo a través del aire. En especial la componente de dicha fuerza en dirección de la velocidad relativa del cuerpo respecto al medio.

El coeficiente de arrastre puede determinarse con una prueba de túnel de viento, con medios computacionales como el CFD (Dinámica de Fluidos Computacional), y con pruebas externas en pista. Sin embargo resulta conveniente determinar el C_d con una prueba en pista denominada desaceleración en punto muerto. (Vélez & Vera, 2016). Estas pruebas se realizan de acuerdo a las normas SAE J2263 y SAE J1263. En estas normas se establece un procedimiento para la determinación del coeficiente de arrastre. Las mediciones son tomadas con un equipo GPS que registra los valores de velocidad en cada instante de tiempo. Los parámetros a seguir son los siguientes: velocidad de medición, entre 115 km/h y 15 km/h. Una temperatura ambiente entre 20°C y 5°C, presión atmosférica de 98,21 KPa. Calzada plana con picos de velocidades inferiores a 20 km/h y una pendiente no mayor al 0,5%. El intervalo de velocidades debe incluir 80 km/h, vehículo debe tener al menos 500 km de recorrido y los neumáticos deben tener al menos el 75% de su labrado. La presión de inflado no debe exceder la del fabricante.

Es necesario conocer los valores que intervienen en el cálculo, área frontal, densidad del aire, masa, gravedad, pendiente y velocidad. Se realiza un ajuste de curvas para que los valores de C_d y f_r , sean capaces con el modelo de representar la curva experimental. Debe calcularse también los valores de intervalo de confianza. La técnica para ajustar la curva es la del Gradiente Reducido Generalizado (GRG). (Cordero, 2015). Aplicando la siguiente fórmula en una hoja de cálculo: (Ec. 14).

$$dV_c = \frac{-(F_d + R_x + R_g) * dt}{M} \quad (Ec. 14)$$

Donde:

dV_c = Diferencia de la velocidad calculada (m/s)

F_d = Resistencia de arrastre(N)

R_x = Resistencia a la rodadura (N)

R_g = Resistencia a la pendiente (N)

dt = Diferencia de tiempo (s)

M = Masa (kg)

3.2.5.3. Área frontal del vehículo.

Se calcula el área frontal del vehículo debido a que en las (Ecuaciones 10 y 14), es un parámetro necesario para obtener la resistencia aerodinámica y el coeficiente aerodinámico. Existen varios métodos para obtener el valor del área como: de dimensiones de ancho y alto de Manuel Cascajosa, el de masa del vehículo de (Wong, 2001). Sin embargo estos métodos no son tan precisos, por lo cual se sugiere utilizar el modelado de perfil frontal; en este método se utiliza una imagen frontal del vehículo de análisis y se modela en un programa de dibujo profesional. Es necesario escalar el dibujo con las medidas reales del automotor para obtener el dato preciso del área frontal. Los datos originales del vehículo presentan un coeficiente aerodinámico 0,33 y área frontal $1,89\text{m}^2$ (EcoModder, 2016).

En la siguiente figura se puede observar la imagen con su perfil definido para la medida del área frontal, se utiliza el ambiente de Inventor Autodesk® (Figura 12).

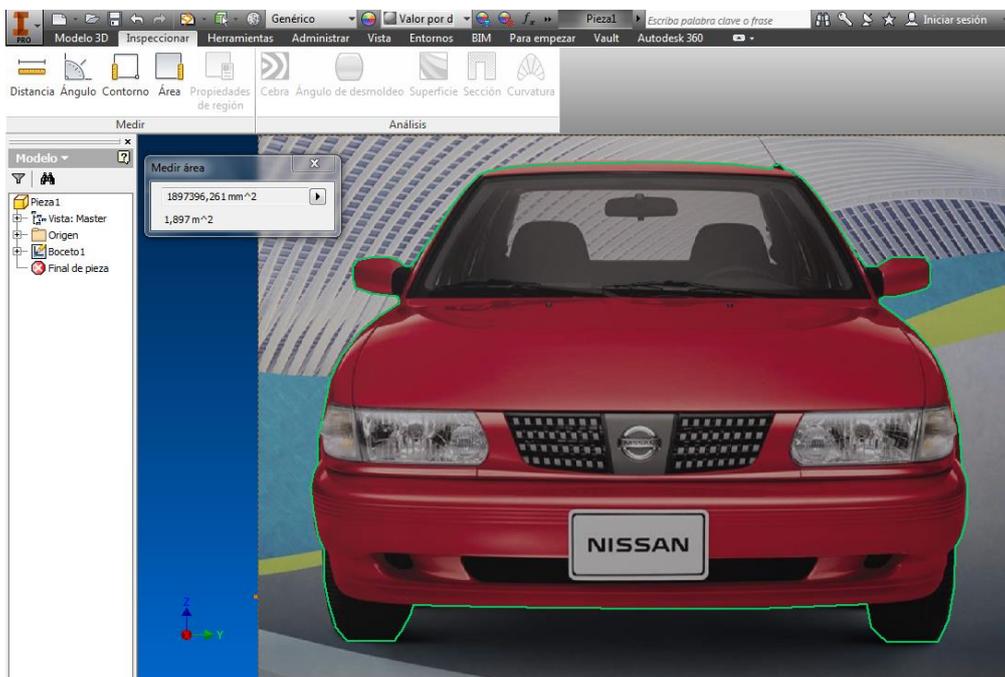


Figura 12. Obtención del área frontal del vehículo.

3.2.5.4. Coeficiente de resistencia a la rodadura.

Es otro de los elementos que se oponen al avance del vehículo. En el caso de la resistencia a la rodadura, el coeficiente adimensional influye en el avance del automóvil respecto de los neumáticos con el suelo, su abreviatura es fr. En la siguiente tabla se encuentran los valores comunes para los tipos de neumáticos y calzadas (Tabla 10).

Tabla 8. Cuadro de coeficientes de rodadura. (Gillespie, 1992)

fr	DESCRIPCIÓN
0,0025	Neumáticos especiales Michelin para automóvil <i>Shell/eco-marathon</i>
0,0055	Neumáticos de bicicleta para automóviles solares
0,010 A 0,015	Neumáticos ordinarios de automóvil sobre losas de piedra
0,020	Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hormigón
0,030 A 0,035	Neumáticos ordinarios de automóvil sobre alquitrán o asfalto
0,055 A 0,065	Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hierba, barro y arena

La cantidad de variables que intervienen en el cálculo del coeficiente de la resistencia a la rodadura, complica su determinación. Existe un método que toma en cuenta el tipo de neumático y la velocidad del vehículo (Gillespie, 1992). La Figura 13, muestra el coeficiente de resistencia a la rodadura a varias velocidades y según el tipo de neumático con presión de inflado nominal (Vélez Loaiza & Vera Vanegas, 2016).

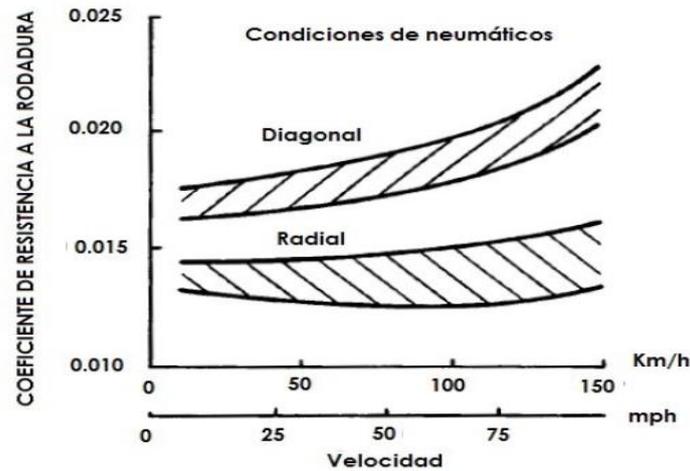


Figura 13. Coeficiente de resistencia a la rodadura para neumáticos de estructura radial y diagonal, presión de inflado nominal. (Gillespie, 1992)

Las siguientes ecuaciones son el resultado de datos experimentales que dan lugar a formas más simplificadas de cálculo para un vehículo de turismo. Para obtener los datos más precisos se utiliza, la (Ecuación 15) para neumático tipo diagonal y la (Ecuación 16) para neumáticos de tipo radial (Gillespie, 1992).

$$f_r = 0,0136 + 0.40 * 10^{-7} (V)^2 \quad (\text{Ec.15})$$

$$f_r = 0,0169 + 0.19 * 10^{-6} (V)^2 \quad (\text{Ec.16})$$

3.2.5.5. Densidad del aire

En condiciones atmosféricas la densidad del aire es una variable en la que intervienen factores ambientales como: presión, temperatura y humedad. Al conocer las condiciones de operación en sitio determinado es factible utilizar la (Ecuación 17), que proviene de la Ley de los Gases Ideales (CENGEL Y. A. & BOLES, 2009).

$$PV = mRT \quad (\text{Ec.17})$$

P = presión atmosférica (Pa)

V = volumen (m³)

m = masa (Kg)

R = constante universal de los gases 287,053 (J/Kg*°K)

T = temperatura (°K)

La densidad del aire se deriva, al simplificar la masa sobre el volumen para calcular la densidad en función de la presión y la constante universal de gases junto con la temperatura. (Ecuación 18).

$$\rho_a = \frac{P}{RT} \quad (\text{Ec.18})$$

ρ_a = densidad atmosférica (Kg/m³)

P = presión absoluta 68,510 (KPa)

R = constante universal de los gases 287,053 (J/Kg*°K)

T = temperatura 286,35 (°K)

CAPÍTULO IV

ADQUISICIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

El siguiente capítulo describe los equipos utilizados, los procesos para realizar las mediciones y la recolección de datos en conjunto con la subdivisión de los viajes realizados. También se analiza el área frontal del vehículo para obtener el coeficiente aerodinámico.

4.1. Instrumentación

➤ GPS

Previo a la obtención de datos, se instrumentó el vehículo con un GPS Garmin modelo GPSmap® 64St (Figura 14), con la finalidad de recolectar los datos de velocidad instantánea, tiempo y altitud. La frecuencia de datos que registra el navegador es de 1 Hz, lo que permite el registro de velocidad y posición cada segundo. El altímetro trabaja con un barómetro digital que registra la altitud de la zona en la que se encuentra el vehículo. En la (Tabla 11) se detallan las características físicas y de rendimiento del GPS.



Figura 14. Navegador Garmin *GPSmap*® 64St (Ltd., 2016)

Tabla 9. Características físicas y de rendimiento del GPS (Ltd., 2016), (Astudillo, 2016).

Características físicas y rendimiento GPSmap® 60CSx	
Dimensiones de la unidad (Ancho/Alto/Profundidad)	6.1 x 16 x 3.6 cm
Tamaño de la pantalla (Ancho/Alto)	3.6 x 5.5 cm
Resolución de pantalla (Ancho/Alto)	160 x 240 píxeles
Precisión de posición	3,65 metros
Sistema de navegación global (GNSS)	Sí (WAAS/EGNOS)
Número de Satélites utilizados	12 satélites
Frecuencia ganancia de datos	1 Hz
Peso	260,1 g con baterías.
Batería	2 baterías AA
Duración de la batería	16 horas
Clasificación de resistencia al agua	IPX7
Receptor de alta sensibilidad	Equipado
Interfaz del equipo	Serie y USB
Altímetro barométrico	Equipado
Brújula electrónica	Equipado

➤ **Taxímetro**

El registro de las carreras o viajes realizados con pasajeros, se lleva acabo con el recibo que genera el taxímetro. El registro permite ubicar el tiempo que transcurre en cada carrera y empatar posteriormente la información recolectada con el registro del GPS. El recibo detalla la fecha, hora, distancia, numero de viaje y tarifa. El taxímetro utiliza un software para calcular la tarifa según los kilómetros recorridos y el tiempo transcurrido entre paradas y avance del taxi (Figura 15).

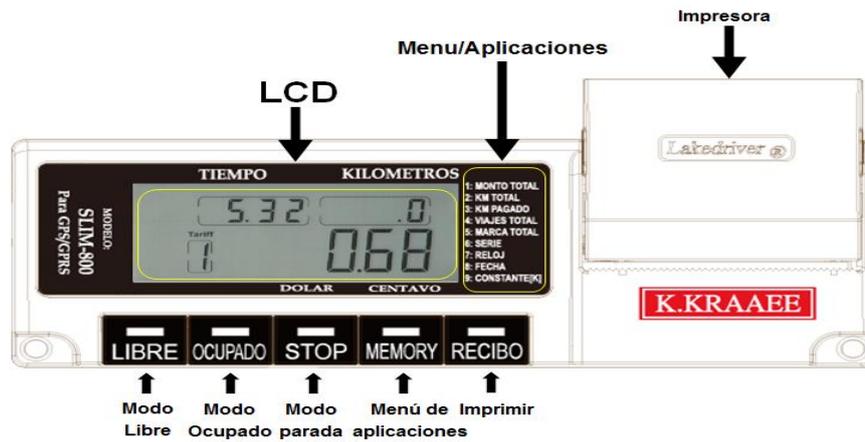


Figura 15. Taxímetro Lakedriver (ABM, 2016)

4.2. Obtención de datos

Como se describió en el capítulo II, se recolectaron los datos, colocando un GPS en un taxi equipado con taxímetro, durante un periodo de 30 días laborables de lunes a viernes. El taxi recorrió la ciudad de Cuenca en un horario de trabajo desde las 7 horas hasta las 20 horas. El dispositivo GPS se colocó de forma estacionaria en el interior del vehículo con una alimentación de corriente, que garantizó la operatividad del equipo durante las horas de trabajo. El tiempo de recolección de datos tuvo un periodo de duración de dos meses; para descargar la información se utilizó un software en línea que transforma el formato del archivo de .gpx (formato de intercambio GPS, pensado para transferir datos GPS entre aplicaciones) a .txt (archivo de texto), debido a que el formato que se utilizó para el análisis de datos es en forma de texto. La página utilizada es www.gpsvisualizer.com. (Figura 16).

Output format: Plain text GPX [Google Earth KML](#)

Upload your files here: (.zip/.gz is supported) 20150909_10.gpx
 No file chosen
 No file chosen [Show more file boxes](#)

Or paste your data here:

Force text data to be this type:

Or provide the URL of a file on the Web:

Plain text delimiter: Plain text output units:

Add estimated fields: speed heading slope (%) distance VMG pace

Add DEM elevation data:

Figura 16. Conversión de archivo .gpx a .txt (Schneider, 2003)

Un archivo GPX es aquel que guarda la información de los datos recolectados por un GPS. Sirve para registrar cada movimiento realizado por el GPS y se debe transformar a un formato de trabajo como el .txt que es compatible con varios software de programación.

4.2.1. Cronograma de registro y formato del almacenamiento.

Los registros iniciaron el 12 de mayo del 2015 y finalizaron el 3 de julio del 2015, obteniendo un total de 30 días de pruebas. El objetivo es registrar cada carrera o viaje con pasajeros, para seleccionar un ciclo de conducción de entre todos los viajes realizados. El cronograma de trabajo contempla los días entre semana (lunes a viernes) con el objetivo de poseer características similares de tráfico, demanda de pasajeros y frecuencia en los recorridos. Es de importancia recalcar que los recorridos no son de carácter repetitivos sino aleatorios, ya que un taxi recoge pasajeros en cualquier punto de la ciudad. En la (Tabla 12), se detallan los tiempos de registro y las distancias recorridas.

Tabla 10. Registros obtenidos de las pruebas en el taxi.

Registros obtenidos del taxi 0385 cooperativa Virgen de la Nube			
Fecha	Número de prueba	Distancia	Tiempo
12/05/2015	1	117,86 km	06hrs:20min:34seg
13/05/2015	2	490,64 km	18hrs:52min:40seg
14/05/2015	3	317,57 km	16hrs:57min:23seg
19/05/2015	4	357,54 km	20hrs:58min:41seg
20/05/2015	5	313,09 km	19hrs:36min:52seg
21/05/2015	6	404,44 km	19hrs:32min:47seg
22/05/2015	7	396,43 km	20hrs:15min:41seg
26/05/2015	8	204,08 km	13hrs:58min:37seg
27/05/2015	9	174,69 km	12hrs:44min:57seg
28/05/2015	10	326,72 km	20hrs:17min:41seg
29/05/2015	11	462,07 km	20hrs:28min:11seg
03/06/2015	12	393,28 km	18hrs:58min:32seg
04/06/2015	13	152,54 km	07hrs:31min:56seg
05/06/2015	14	381,26 km	21hrs:20min:39seg
09/06/2015	15	124,92 km	06hrs:49min:10seg
10/06/2015	16	322,32 km	17hrs:54min:49seg
11/06/2015	17	391,74 km	22hrs:35min:21seg
12/06/2015	18	310,02 km	17hrs:48min:24seg
16/06/2015	19	125,80 km	04hrs:28min:38seg
17/06/2015	20	432,07 km	20hrs:16min:30seg
18/06/2015	21	396,21 km	23hrs:14min:14seg
19/06/2015	22	384,40 km	18hrs:11min:48seg
22/06/2015	23	193,57 km	09hrs:29min:14seg
23/06/2015	24	290,07 km	14hrs:44min:24seg
24/06/2015	25	366,86 km	18hrs:12min:55seg
29/06/2015	26	346,14 km	16hrs:00min:50seg
30/06/2015	27	219,41 km	14hrs:36min:36seg
01/07/2015	28	185,57 km	15hrs:22min:31seg
02/07/2015	29	242,28 km	11hrs:40min:29seg
03/07/2015	30	362,50 km	16hrs:29min:42seg
Distancia total recorrida		9186,09 km	
Distancia promedio		306,203 km	
Tiempo promedio			15hrs:33min:35seg
Tiempo total registrado			486hrs:07min:18seg

4.2.2. Procesamiento de la información y recolección de datos.

El vehículo taxi, se equipó con el dispositivo de medición GPS y los datos de los viajes se recogieron diariamente al finalizar la jornada de trabajo. En el momento que se descargó la información el archivo generado, tiene el formato GPX y se debe procesar transformando los datos a .txt con ayuda del software conversor, de la página web *GPS Visualizer*. Figura 15.

Con el objetivo de tener un respaldo de los archivos originales se guardó con el formato año/mes/día, dentro del cual se encuentra la información de latitud, longitud, altura, tiempo y velocidad (Tabla 13). Se debe también transformar al formato .txt en una hoja de cálculo, para organizar los viajes cuando el taxi se encuentra con pasajeros. Esto sirve para trabajar únicamente con los datos de viajes o carreras realizadas en la jornada diaria del taxi.

Tabla 11. Datos de un archivo GPX del GPSmap® 64CS compilado en Excel

Tiempo	Latitud	Longitud	Altura (m)	Velocidad (km/h)
28/05/2015 9:00	-2.895.297.026	-79.027.187.023	2597,5	60,1
28/05/2015 9:01	-2.895.319.993	-79.027.335.970	2597,2	60,2
28/05/2015 9:02	-2.895.334.996	-79.027.489.023	2598,2	61,4
28/05/2015 9:03	-2.895.340.025	-79.027.631.013	2598,8	56,8
28/05/2015 9:04	-2.895.333.990	-79.027.770.991	2599,1	56
28/05/2015 9:05	-2.895.342.037	-79.027.926.978	2600	62,4

4.2.3. Separación de curvas experimentales.

Las curvas experimentales son las carreras o viajes realizados por el taxi, constan en detalle de tiempo, velocidad y altura en una hoja de cálculo que sirven de base para seleccionar el ciclo de conducción. La separación de las curvas experimentales comprende únicamente las carreras con pasajeros alrededor de la ciudad. Para saber en qué momento se realizó un viaje con pasajero, se recurrió a los recibos de carreras registradas por el taxímetro, incorporado en el taxi que detalla la fecha, hora, kilometraje recorrido, tiempo recorrido y tarifa. (Figura 17).

```

TAXI RECEIPT

YOUR 1 STOP TAXI SHOP
TAXI LICENCE NO:39747
REG/VIN NO: 10D2560
Service Date: 09/04/11
START TIME : 15:08
RECEIPT NO : 3035
Fare: 11.90
Extra's : 1.00
-----
TOTAL : 12.90

TIPS/TOLLS/DISCOUNT ETC
.....
TOTAL PAID

Km. Trip: 4.2 Km
End Time: 15:29

```

Figura 17. Recibo de una carrera.

Para identificar los viajes con pasajero dentro del archivo de medición diaria del GPS, se utilizó el recibo de cada viaje, como se puede observar en la (Figura 15); la fecha, tiempo y duración de la misma; de forma manual se busca la fecha y hora del viaje (Tabla 11) para delimitar el periodo de duración y así conformar la base de datos necesaria para el análisis. Dentro del

análisis de separación de curvas experimentales se deben detallar los motivos y el proceso de división realizados.

- Resolución de fijación de tarifas de taxis ANT (Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador). “La resolución 073 del Directorio de la Agencia Nacional de Regulación y Control de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, en el Artículo 2 de la metodología para la fijación de tarifas (taxi convencional), define como carrera al traslado de pasajeros en una unidad de taxi debidamente autorizada, de un punto a otro, pudiendo ser la misma: *corta, intermedia o larga.*”

- La división de carreras cortas, medias y largas de la ANT, no especifica la distancia y tiempo de los viajes con pasajeros, motivo por el cual se aplicó un criterio de separación de distancia y tiempo. (Tabla 14) posteriormente se realizó un análisis para determinar la mejor división de ciclos.

Tabla 12. Criterio de división de carreras.

Carreras	Div 1 distancia (km)	Div 2 distancia (km)	Div 3 distancia (km)	Div 4 tiempo (min)
Cortas	0-3	0-2.5	0-3.5	0-5
Medias	3-6	2.5-5	3.5-7	5-10
Largas	6-	5-	7-	10-

4.2.3.1. Análisis de coeficiente de variación.

“El análisis de coeficiente de variación, permite evaluar la dispersión de datos con respecto a la medida de tendencia central utilizada” (Astudillo, 2016). En el presente análisis se utilizó la media. Una vez separadas las carreras por distancia y tiempo, se procede a escoger la división que entregue los mejores resultados con el coeficiente de variación. Se programó mediante la aplicación de la Ec.19, los resultados se registran en la matriz llamada “RESULTADOS GPS”. Los resultados del análisis se pueden observar en la (Tabla 15), donde se aprecia que los datos con menor variación entre sus muestras están acomodados de mejor manera en la las siguientes divisiones: $[0 \leq 2.5 \text{ km}]$; $[>2.5 \leq 5 \text{ km}]$; $[>5 \text{ km}]$.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} * 100 \quad \text{Ec. 19}$$

Donde:

CV: Coeficiente de variación.

σ : Desviación estándar.

\bar{X} = media.

Tabla 13. Coeficientes de variación de las distancias totales de las carreras.

Número de carreras	Distancias	\bar{X}	σ	% CV
138	$[0 \leq 2.5 \text{ km}]$	1687,95	509,52	30,19
192	$[0 \leq 3 \text{ km}]$	2040,05	722,61	35,42
260	$[0 \leq 3.5 \text{ km}]$	2311,30	786,69	34,04
241	$[>2.5 \leq 5 \text{ km}]$	3592,87	693,67	19,31
228	$[>3 \leq 6 \text{ km}]$	4079,20	884,94	21,69
206	$[>3.5 \leq 7 \text{ km}]$	4880,31	947,45	19,41
133	$[>5 \text{ km}]$	6824,62	1755,19	23,11
92	$[>6 \text{ km}]$	5012,28	1564,19	31,21
46	$[>7 \text{ km}]$	8700,30	1730,78	19,89

4.3. Determinación de área frontal del vehículo.

Para determinar el área frontal del vehículo, como se detalló en el capítulo III, se dibuja el contorno del área frontal del automóvil en la plataforma de trabajo, y con la herramienta de “inspeccionar área”, se obtiene el valor más cercano al del fabricante. Se recomienda utilizar una fotografía de buena calidad para que no exista distorsión al escalar la figura en el programa. (Figura 18). El resultado del análisis es de 1,897m².

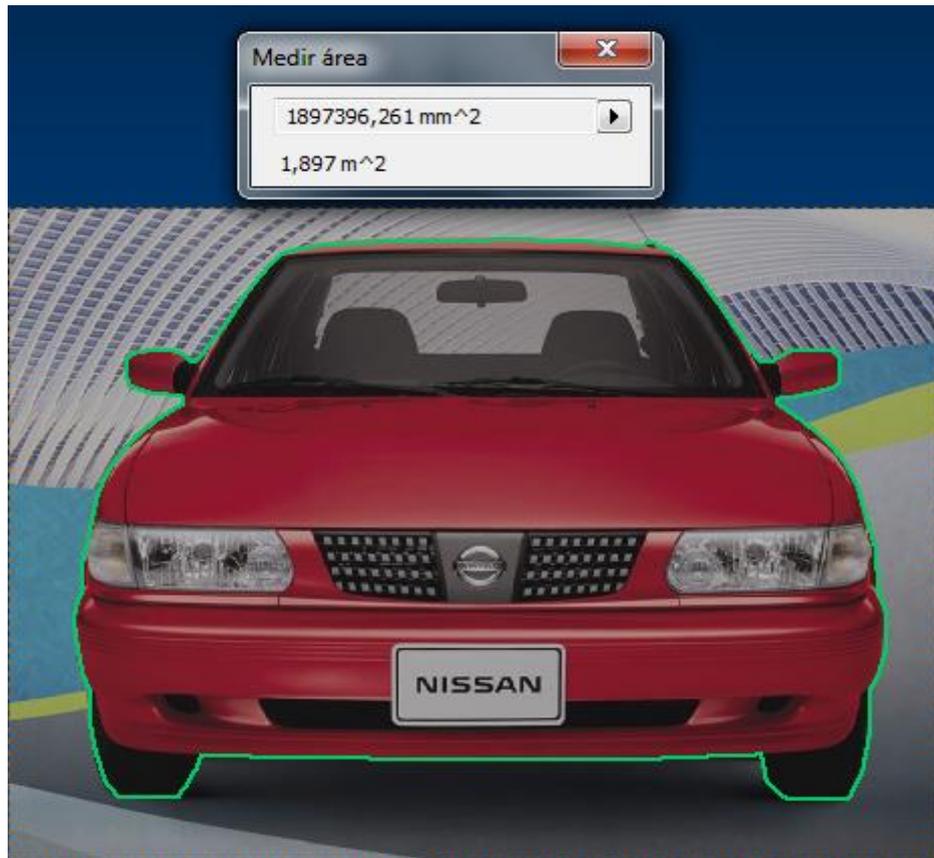


Figura 18. Área frontal del vehículo.

4.4. Determinación de coeficiente aerodinámico.

Para determinar el coeficiente aerodinámico C_d se utilizó el método de desaceleración en punto muerto, como se detalló en el capítulo III. Las variables para determinar el coeficiente se especifican en la (Tabla 16). La prueba se realizó en la autopista Cuenca – Azogues, con el vehículo de análisis Nissan Sentra. Se pesó el vehículo con el conductor y se midió la presión de los neumáticos. Las condiciones climáticas fueron ideales, con ausencia de lluvia y vientos fuertes. Se escogió un tramo de la autopista con un desnivel de pendiente inferior a 0,5%.

Tabla 14. Variables para la prueba de coeficiente aerodinámico.

Detalles	Valores
Peso del vehículo (una persona)	1070 (kg)
Presión en los neumáticos	30 (lb/pulg ²)
Nivel de combustible	(50 litros) tanque lleno
Área frontal	1,897 (m ²)
Neumático	185/65R14
Pista	Autopista Cuenca-Azogues
Velocidad de inicio	100 km/h
Temperatura ambiente	13° C
Velocidad máxima viento	16 km/h
Picos velocidad	> 20 km/h
Pendiente máxima	0,5%

Los resultados de la prueba pasaron por un intervalo de confianza del 98% y se obtuvieron los siguientes datos (Tabla 17):

Tabla 15. Coeficiente de arrastre y de fricción.

	Cd	Fr
Prueba 1	0,3214	0,019971
Prueba 2	0,3235	0,017311
Prueba 3	0,3450	0,016667
Promedio	0,3300	0,01798

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE DATOS Y OBTENCIÓN DEL CICLO DE CONDUCCIÓN.

5.1. Elaboración de los parámetros resumen para representar a cada viaje.

La elaboración de los parámetros resumen utilizan variables descriptoras para la selección del ciclo de conducción. La metodología propone que se asigne una ponderación a cada parámetro resumen para indicar la relevancia de cada uno. Para el análisis se cuenta con la información de las carreras previamente separadas en cortas, medias y largas. Cada grupo contiene un número de ciclos de conducción y el objetivo es analizar los ciclos que representen a cada grupo.

5.2. Determinación de las variables.

El análisis completo se desarrolló en Matlab®, el programa ocupa la base de datos de cada grupo que se encuentra en un archivo de Microsoft® Excel. Los registros de los viajes están divididos en tres columnas que son: tiempo, velocidad y altura, en segundos, kilómetros por hora y metros respectivamente. Los datos son los registros medidos por el GPS. (Tabla 18).

En Matlab® se crea una matriz a partir de las variables de ingreso (tiempo, velocidad y altura), en la Tabla 18 se detallan los datos principales que conforman un ciclo experimental de conducción, que se nombra como “Datos”; a la matriz se suman variables que se calculan a partir de las variables de ingreso que se las nombra como variables calculadas (Astudillo, 2016), éstas sirven para calcular los parámetros resumen del ciclo de conducción.

Tabla 16. Datos que conforman un ciclo experimental (Astudillo, 2016).

Tiempo [seg]	Velocidad [km/h]	Altitud GPS [m]
1	0	2514,9
2	1,8	2515,1
3	5,1	2515,2
4	12,5	2515,3
5	18,2	2515,6
6	20,2	2515,1
7	18,6	2514,5

Tabla 17. Variables descriptoras utilizadas para los parámetros resumen (Astudillo, 2016).

Posición	Variables descriptoras		
1	Tiempo	[s]	Variables de ingreso
2	Velocidad	[Km/h]	
3	Altitud	[m]	
4	Velocidad	[m/s]	Variables calculadas
5	Espacio	[m]	
6	Aceleración	[m/s ²]	
7	Pendiente	[rad]	
8	Energía arrastre	[Wh]	
9	Energía de rodadura	[Wh]	
10	Energía de pendiente	[Wh]	
11	Energía de inercia	[Wh]	
12	Energía total en rueda	[Wh]	

Las variables descriptoras indicadas en la Tabla 19, almacenan un dato por cada segundo y están posicionados en una casilla de la matriz “Datos”; utilizan las ecuaciones de la dinámica de vehículos que se indica en el capítulo III para construir los parámetros resumen. Las energías que demanda el vehículo se obtienen a partir de las fuerzas que se oponen al movimiento y que conforman la fuerza en rueda, se detalla desde la fórmula 24 en donde se indica la constante y la potencia para obtener las energías de cada fuerza. Los parámetros resumen son las

representaciones de promedios de las variables descriptoras y sirven en el proceso de obtención de los promedios ponderados (Astudillo, 2016). Las variables calculadas se representan con las siguientes ecuaciones:

$$V_{(m/s)n} = \frac{V_{(km/h)n}}{3.6} \quad (\text{Ec.10})$$

Donde:

$V_{(m/s)n}$ = Velocidad (m/s) en la posición n.

$V_{(km/h)n}$ = Velocidad (km/h) en la posición n.

$$x_n = V_{(m/s)n} \times (t_n - t_{n-1}) \quad (\text{Ec.21})$$

Donde:

x_n = Espacio (m) en la posición n.

$V_{(m/s)n}$ = Velocidad (m/s) en la posición n.

t_n = Tiempo (s) en la posición n.

t_{n-1} = Tiempo (s) en la posición n - 1.

$$a_n = \frac{V_{(m/s)n} - V_{(m/s)n-1}}{(t_n - t_{n-1})} \quad (\text{Ec.22})$$

Donde:

a_n = Aceleración (m/s^2) en la posición n.

$V_{(\text{m/s})n}$ = Velocidad (m/s) en la posición n.

$V_{(\text{m/s})n-1}$ = Velocidad (m/s) en la posición n – 1.

t_n = Tiempo (s) en la posición n.

t_{n-1} = Tiempo (s) en la posición n – 1.

$$\theta_n = \sin^{-1} \left(\frac{h_n - h_{n-1}}{x_n} \right) \quad (\text{Ec.23})$$

Donde:

θ_n = Pendiente (rad) en la posición n.

x_n = Espacio (m) en la posición n.

h_n = Altitud (m) en la posición n.

h_{n-1} = Altitud (m) en la posición n – 1.

Para obtener las ecuaciones de las energías presentes en la rueda se considera lo siguiente:

$$P = FV \left(\frac{Nm}{s} \right) \quad (Ec.24)$$

Donde:

P = Potencia

F = Fuerza

V = Velocidad

$$P = \frac{E}{t} (J) = \left(\frac{Nm}{s} \right) \quad (Ec.25)$$

Donde:

E = Energía

t = tiempo

$$E = P\Delta t (kws) \quad (Ec.26)$$

$$\Delta t = (t_1 - t_2) = 1 \text{ seg} \quad (Ec.27)$$

Δt = Variación tiempo

$$\therefore E = P/3600000 (Kwh) \quad (Ec.28)$$

Tomando en cuenta la Ecuación 28, se calcula la energía de cada variable de la fuerza en rueda por la velocidad, que se menciona en el capítulo III.

5.3. Determinación de los parámetros resumen.

Según la metodología descrita por (Cedillo, 2013), los parámetros resumen se obtienen calculando las variables descriptoras. En el ambiente de Matlab® se almacenan dichos parámetros en una matriz denominada “Resultados”. Los parámetros resumen son todas las curvas experimentales registradas previamente en la base de datos (Astudillo, 2016).

El valor de cada fila corresponde a cada una de las curvas experimentales muestreadas. Se detalla en la Tabla 18, la distribución de las variables contenidas en los parámetros resumen, para calcular cada parámetro se utilizó una lógica en Matlab® que tabula los datos de energía promedio inercia, energía promedio rodadura, energía promedio pendiente, energía promedio de arrastre y energía en rueda. Con ayuda de los promedios de cada energía se determinan el parámetro resumen para cada una de ellas.

Tabla 18. Parámetros resumen.

Energía en Rueda promedio [Kwh]	Posición en la matriz “Resultados”	5		
Energía debida a la resistencia de arrastre promedio[Kwh]		4		
Energía debida a la pendiente promedio [Kwh]		3		
Energía debida a la resistencia a la rodadura promedio [Kwh]		2		
Energía debida a la inercia promedio [Kwh]		1		
Número de Curva Experimental		1	2	

5.4. Cálculo de pesos relativos.

Los pesos relativos son las ponderaciones necesarias para comparar los promedios de cada una de las curvas experimentales, su cálculo se realizó con los datos de los parámetros resumen, cada parámetro resumen suma los valores positivos de energía de cada segundo en la curva experimental, luego los valores resultantes se suman entre parámetros y se obtiene el total de energía demandada por cada curva. El siguiente paso es calcular el porcentaje de energía que demanda cada parámetro resumen (Ec. 30, 31, 32, 33) y luego se promedia esos porcentajes para obtener los pesos relativos que sirven para el cálculo de los promedios ponderados. En la Tabla 19 se detalla el proceso para obtener los pesos relativos como ejemplo, en las Tablas 20,21 y 22 se detallan los resultados de cada grupo de carreras o curvas experimentales.

Tabla 19. Ejemplo de cálculo de pesos relativos

Curvas	RiV	RxV	RgV	FdV	E+	%RiV	%RxV	%RgV	%FdV
	[Kwh]	[Kwh]	[Kwh]	[Kwh]	[Kwh]	-	-	-	-
1	0,09	0,09	0,05	0,01	0,24	36,17	38,85	21,30	3,67
2	0,08	0,06	0,06	0,00	0,20	41,28	28,39	27,98	2,35
3	0,13	0,13	0,17	0,03	0,46	28,10	28,98	37,11	5,80
4	0,17	0,11	0,08	0,01	0,37	45,70	28,42	21,89	3,98
5	0,07	0,06	0,04	0,00	0,17	40,46	31,93	25,77	1,84
6	0,16	0,10	0,09	0,01	0,37	44,53	27,17	24,70	3,60

E+ = Energía positiva

RiV= Energía de inercia

RxV= Energía de rodadura

RgV= Energía de pendiente

FdV= Energía de arrastre

$$E+ = RiV + RxV + RgV + FdV \quad (\text{Ec. 29})$$

$$\%RiV = (RiV/E+)*100 \quad (\text{Ec.30})$$

$$\%RxV = (RxV/E+)*100 \quad (\text{Ec.31})$$

$$\%RgV = (RgV/E+)*100 \quad (\text{Ec.32})$$

$$\%FdV = (FdV/E+)*100 \quad (\text{Ec.33})$$

Tabla 20. Pesos relativos carreras cortas.

Pesos relativos ciclos cortos	
Parámetros	Porcentaje %
Energía inercia promedio	43,79
Energía rodadura promedio	29,03
Energía pendiente promedio	23,36
Energía arrastre promedio	3,82
TOTAL	100
R ²	0,98

Tabla 21. Pesos relativos carreras medias.

Pesos relativos ciclos medianos	
Parámetros	Porcentaje %
Energía inercia promedio	43,68
Energía rodadura promedio	29,69
Energía pendiente promedio	21,79
Energía arrastre promedio	4,84
TOTAL	100
R ²	0,95

Tabla 22. Pesos relativos carreras largas.

Pesos relativos ciclos largos	
Parámetros	Porcentaje %
Energía inercia promedio	42,23
Energía rodadura promedio	29,21
Energía pendiente promedio	21,89
Energía arrastre promedio	6,66
TOTAL	100
R ²	0,97

5.5. Cálculo de los promedios ponderados.

Las pesos relativos obtenidos de los parámetros resumen son las ponderaciones necesarias para determinar los ciclos de conducción típicos. Se los escribe en la última hoja de cálculo de Excel® de cada archivo de ciclos de conducción (cortos, medios o largos). En el ambiente de Matlab®, se importa cada archivo de ciclos de conducción y se guarda en una matriz denominada “Pesos” (Tabla 23). En cada fila se almacena la ponderación de un parámetro estadístico.

Tabla 23. Matriz Pesos, nomenclatura. (Astudillo, 2016)

Matriz Pesos		
Energías análisis	Filas	Nomenclatura
Energía de inercia promedio	1	eripGPS
Energía de rodadura promedio	2	errpGPS
Energía de pendiente promedio	3	erppGPS
Energía de arrastre promedio	4	erapGPS

El siguiente paso es obtener nuevas matrices “PonderaciónGPS” y “YGPS”. Ambas se construyen a partir de la Ec.2. La primera es el valor de cada dato de la sumatoria de las ponderaciones; la segunda matriz guarda los resultados de las sumatorias de las ponderaciones. Otros valores que se requieren para el cálculo se analizaron en las matrices “resultadosGPS” y “RESULTADOSGPS”. La primera guarda los parámetros estadísticos de todas las curvas experimentales; la segunda contiene los promedios de cada parámetro estadístico.

El análisis de cada curva se puede observar en la Tabla 24, donde se analizan los parámetros estadísticos del (ciclo 111 de carreras cortas). Los datos de ponderación se almacenan en la columna “W” que provienen de la matriz pesos; los valores resumen de la curva de análisis se ubican en la columna P_{ij} que provienen de la fila 111 de la matriz “resultadosGPS”; la columna \bar{P} contiene las medias o promedios de los parámetros resumen.

Mediante la Ec.34 se calculan los valores que se almacenarán en la fila 111 de la matriz “PonderaciónGPS”, y la sumatoria de estos datos entrega como resultado el valor de la variable “Y” que se guarda en la matriz “YGPS” (Astudillo, 2016). El ciclo de conducción se obtiene utilizando la Ec.2, donde se evalúa la mínima diferencia ponderada; en este caso se buscaría el valor mínimo de “Y” entre todas las curvas analizadas que se encuentra almacenado en la matriz “YGPS”; y, como resultado final, el ciclo representativo de cada grupo de análisis .

$$\left(\frac{W}{\sum W} \right) \times \frac{|P_{ij} - \bar{P}|}{\bar{P}} \quad \text{Ec.34}$$

Tabla 24. Análisis del ciclo de conducción 111 (Carreras Cortas). (Astudillo, 2016)

Análisis del ciclo N°111 de las Carreras Cortas					
Parámetros	Unidad	W	P_{i,j}	\bar{P}	$\left(\frac{W}{\sum W}\right) \times \frac{ P_{i,j} - \bar{P} }{\bar{P}}$
Energía inercia promedio	[Kwh]	43,79	0,14	0,15	0,0035
Energía rodadura promedio	[Kwh]	29,03	0,10	0,09	0,0169
Energía pendiente promedio	[Kwh]	23,36	0,08	0,08	0,007
Energía arrastre promedio	[Kwh]	3,82	0,01	0,01	0,0008
$\sum W$		100	y		0,029
<p>y = Valor de la sumatoria de parametros ponderados.</p> <p>W = Peso de la ponderación</p> <p>P_{ij} = Valor de parametro para el ciclo N°111 .</p> <p>\bar{P} = Media del parametro de los ciclos cortos registrados.</p>					

5.6. Resultados de los ciclos de conducción y energías presentes en el ciclo.

Inicialmente se plantearon tres divisiones en las curvas recolectadas, nombradas como: (viajes cortos, viajes medios y viajes largos). Los procesos descritos seleccionan un ciclo de cada grupo y se detallan las características de cada uno de ellos. Ciclos de conducción (Figuras: 19, 21 y 23), perfil topográfico (Figuras: 20, 22 y 24), parámetros característicos (Tablas: 25, 26 y 27).

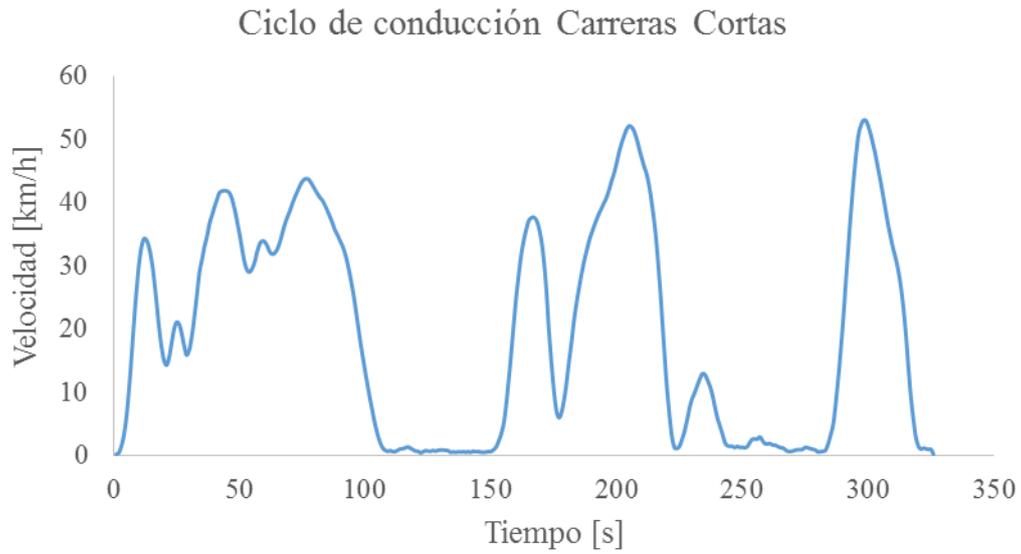


Figura 19. Ciclo típico de conducción N°111 carreras cortas.

Tabla 25. Parámetros estadísticos del ciclo de conducción típico de carreras cortas.

Ciclo de conducción carreras cortas	
Parámetros	
Número de Ciclo de conducción seleccionado	111
Velocidad promedio [km/h]	19,72
Velocidad máxima [km/h]	53
Tiempo total recorrido [s]	326
Distancia de recorrido[m]	1785,87
Aceleración positiva máxima [m/s ²]	1,58

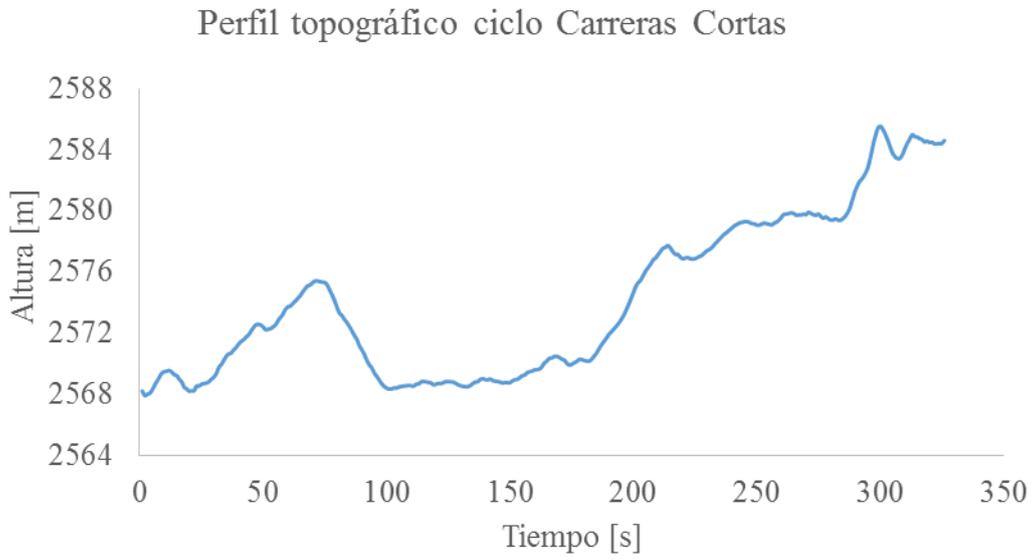


Figura 20. Perfil de altura y tiempo ciclo de conducción N°111 carreras cortas.

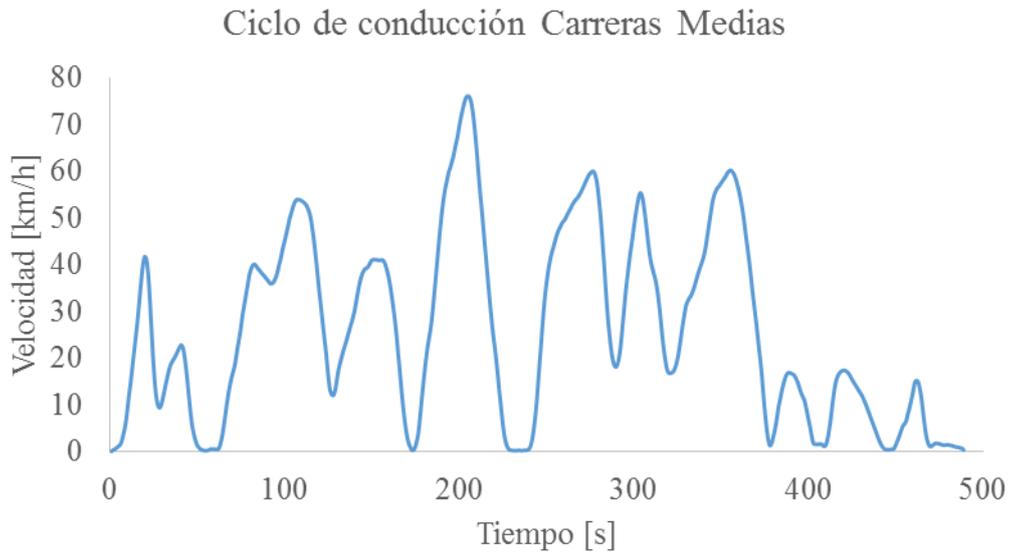


Figura 21. Ciclo típico de conducción N°197 carreras medias.

Tabla 26. Parámetros estadísticos del ciclo de conducción típico de carreras medias.

Ciclo de conducción carreras medias	
Parámetros	
Número de Ciclo de conducción seleccionado	197
Velocidad promedio [km/h]	26,04
Velocidad máxima [km/h]	76,14
Tiempo total recorrido [s]	489
Distancia de recorrido[m]	3536,98
Aceleración positiva máxima [m/s ²]	1,38

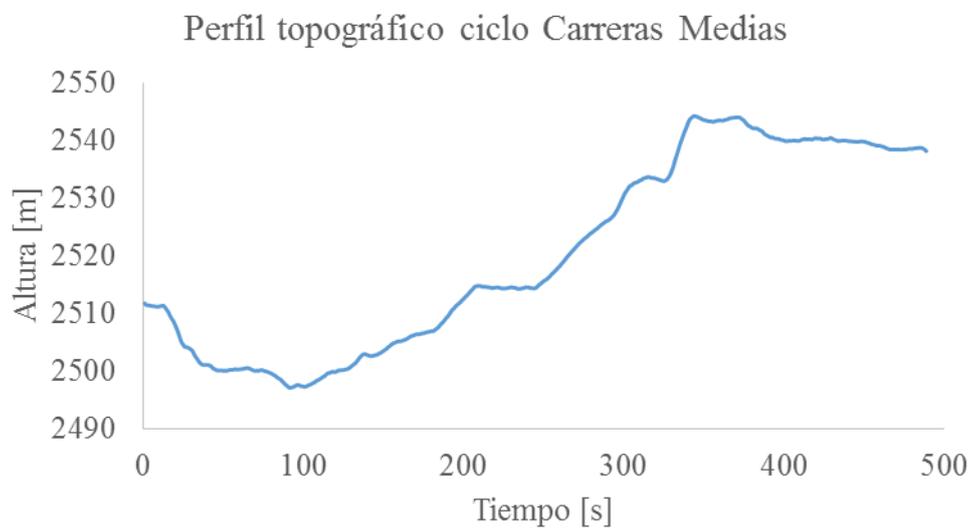


Figura 22. Perfil de altura y tiempo, ciclo de conducción N°197 carreras medias.

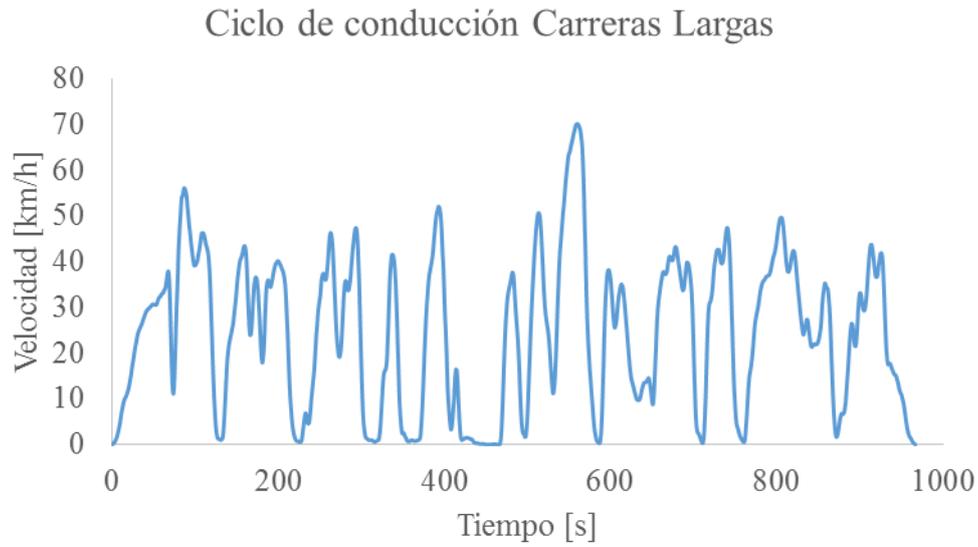


Figura 23. Ciclo típico de conducción N°100 carreras largas.

Tabla 27. Parámetros estadísticos del ciclo típico de conducción de carreras largas.

Ciclo de conducción carreras largas	
Parámetros	
Número de Ciclo de conducción seleccionado	100
Velocidad promedio [km/h]	24,56
Velocidad máxima [km/h]	70,16
Tiempo total recorrido [s]	967
Distancia de recorrido [Km]	6,60
Aceleración positiva máxima [m/s ²]	1,40

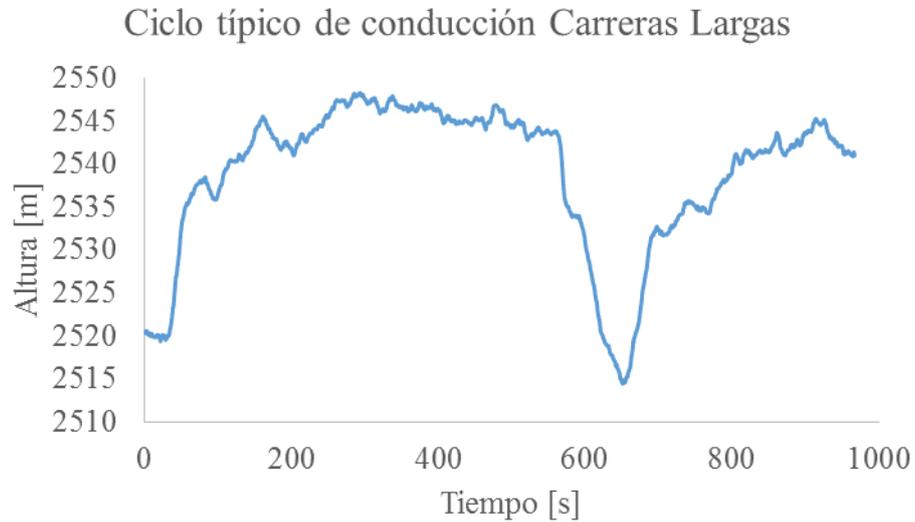


Figura 24. Perfil altura tiempo, ciclo de conducción N°100 carreras largas.

Las energías presentes en el ciclo se obtuvieron a partir de la Ec.28. El valor de la fuerza se transforma en potencia, la misma que se multiplica por el valor del tiempo que es cada segundo. Las unidades de la energía están en Kilowatt-hora y son tomados únicamente los valores positivos, para determinar la energía consumida. Se determina la energía consumida cada kilómetro con los valores de consumo y distancia de todos los ciclos; también se consiguen resultados similares con los valores de *carrera promedio* y *distancia promedio* (Tabla 28).

Tabla 28. Consumo energético de ciclos de conducción de un taxi en la ciudad de Cuenca.

Consumo energético taxi				
Grupos	Carrera promedio [Kwh]	Distancia promedio [Km]	Total [Kwh]	Distancia Total [Km]
Carreras cortas	0,34	1,69	46,36	232,95
Carreras medias	0,69	3,59	166,57	865,50
Carreras largas	1,33	6,82	176,93	905,82
Total	2,36	12,10	389,86	2004,27
E+/Km	0,195 [Kwh]-km		0,1945 [Kwh]- Km	

E+/km = Energía consumida cada km.

Se determinó la energía consumida por cada variable de fuerza en rueda. La energía consumida por la inercia es la más significativa, con 166 Kwh; debido a las aceleraciones que se producen en el manejo del automóvil. En segundo lugar la rodadura, que genera un consumo de 111 Kwh. En tercer lugar la pendiente, que consume un total de 89kwh; y, en último lugar el arrastre, que consume 22 Kwh . Los resultados se pueden observar en la Figura 26.

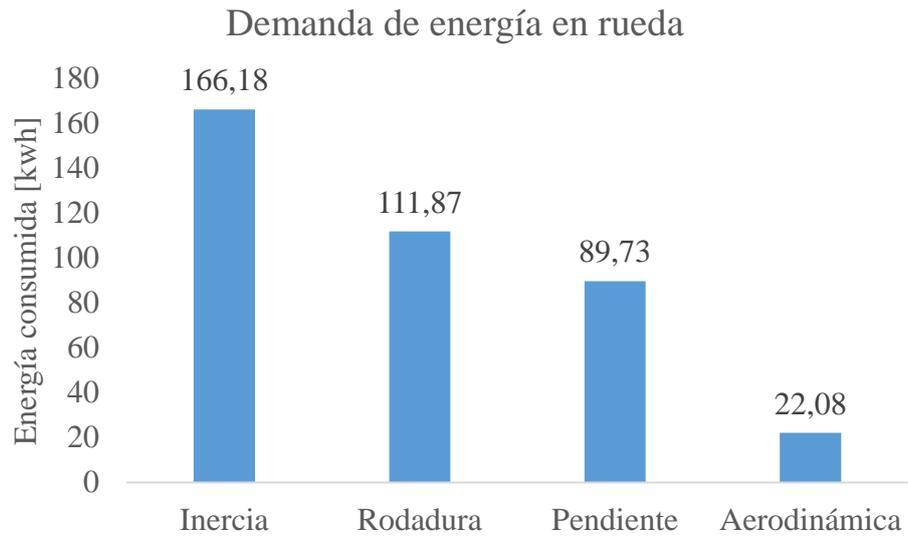


Figura 25. Demanda de energía en rueda por el taxi en la ciudad de Cuenca.

CAPITULO VI

Resultados y Conclusiones

6.1. Resultados.

Al concluir los análisis se obtuvieron tres ciclos de conducción que representan a cada uno de los grupos definidos como: carreras cortas, carreras medias y carreras largas. La metodología que se utilizó fue la de promedios ponderados, que consiste en realizar una ponderación con los parámetros estadísticos de cada viaje y los pesos relativos de cada parámetro. Se determina la diferencia en cada viaje y resalta el valor mínimo que representa a todos los demás viajes (Astudillo, 2016).

Los viajes fueron registrados por un equipo GPS y un taxímetro, permitieron el levantamiento de la información que contiene los datos de velocidad, tiempo y altura. El criterio para separar los viajes se realizó con ayuda estadística de coeficientes de variación, y así se pudo separar por distancias. En total se registraron 512 viajes efectivos realizados por el mismo conductor (Tabla 12).

En la determinación del ciclo de conducción se analizó los pesos relativos en la fuerza en rueda y que se aplicaron como energía para determinar la demanda energética de cada parámetro.

Concerniente a los ciclos obtenidos, el ciclo de carreras cortas número 111 (Figura 26) fue el viaje representativo de esta división, que consta de 138 ciclos experimentales. Se detalla también el perfil de altura y tiempo (Figura 27). Los parámetros característicos se detallan en la (Tabla 28).

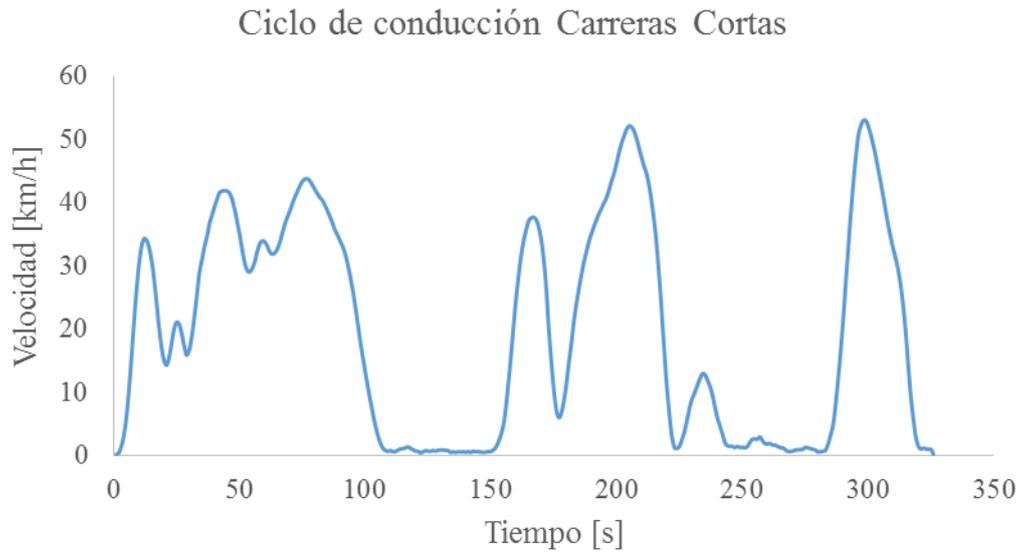


Figura 26. Ciclo típico de conducción N°197 carreras medias.

Tabla 29. Parámetros estadísticos del ciclo de conducción típico de carreras cortas.

Ciclo de conducción carreras cortas	
Parámetros	
Número de Ciclo de conducción seleccionado	111
Velocidad promedio [km/h]	19,72
Velocidad máxima [km/h]	53
Tiempo total recorrido [s]	326
Distancia de recorrido[m]	1785,87
Aceleración positiva máxima [m/s ²]	1,58

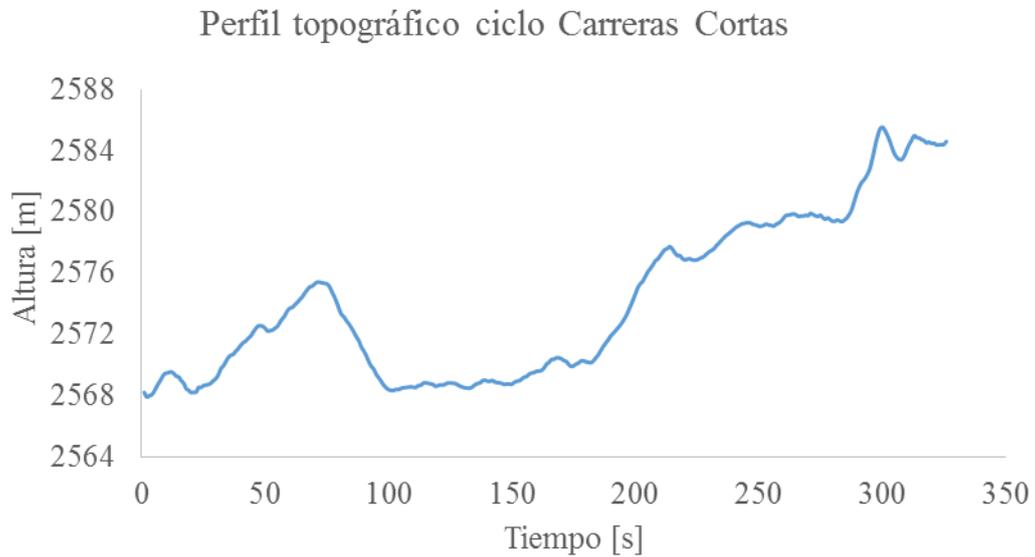


Figura 27. Perfil de altura y tiempo ciclo de conducción N°111 carreras cortas.

El ciclo de carreras medias número 197 (Figura 28) fue el viaje representativo de esta división, que consta de 241 ciclos experimentales. Se detalla también el perfil de altura y tiempo (Figura 29). Los parámetros característicos se detallan en la (Tabla 30).

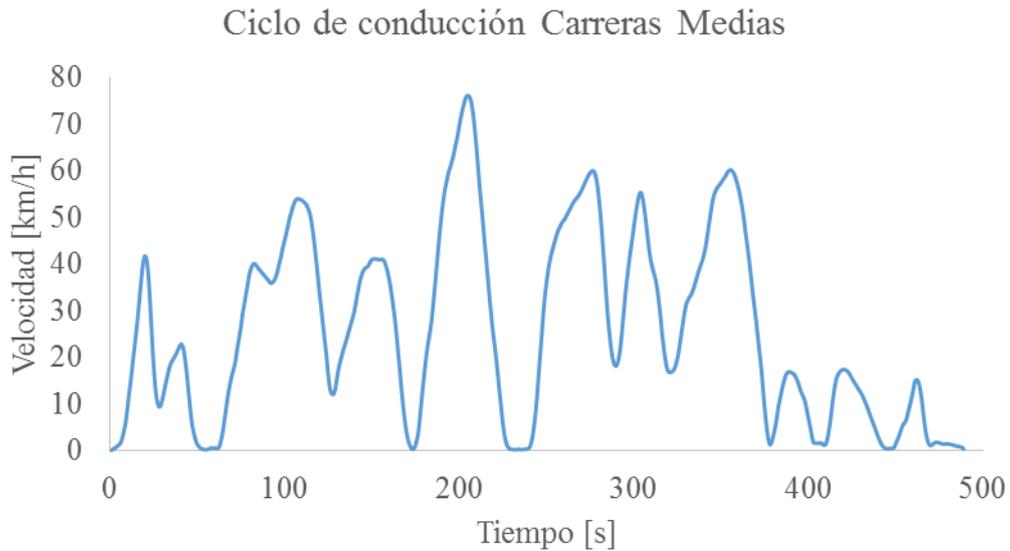


Figura 28. Ciclo típico de conducción N°197 carreras medias.

Tabla 30. Parámetros estadísticos del ciclo de conducción típico de carreras medias.

Ciclo de conducción carreras medias	
Parámetros	
Número de Ciclo de conducción seleccionado	197
Velocidad promedio [km/h]	26,04
Velocidad máxima [km/h]	76,14
Tiempo total recorrido [s]	489
Distancia de recorrido[m]	3536,98
Aceleración positiva máxima [m/s ²]	1,38

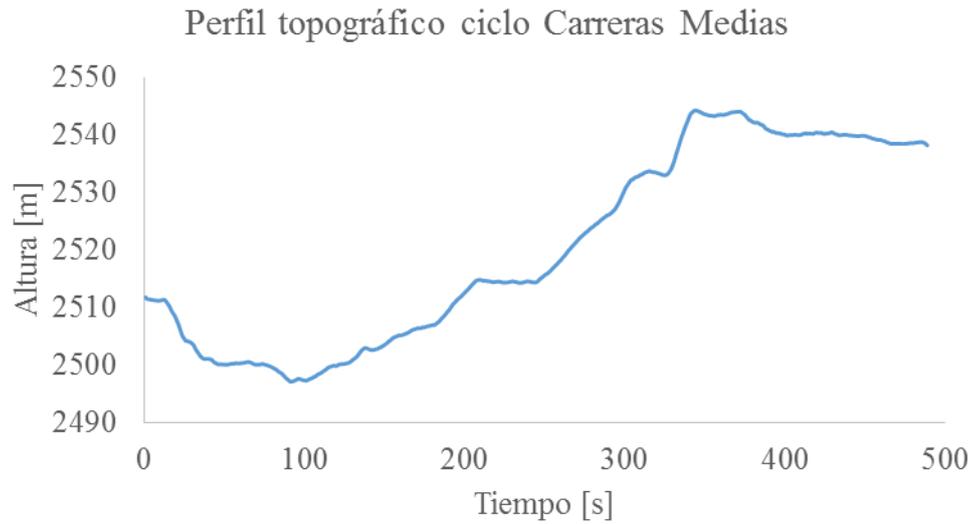


Figura 29. Perfil de altura y tiempo, ciclo de conducción N°197 carreras medias.

El ciclo de carreras largas número 100 (Figura 30) fue el viaje representativo de esta división, que consta de 133 ciclos experimentales. Se detalla también el perfil de altura y tiempo (Figura 31). Los parámetros característicos se detallan en la (Tabla 31).

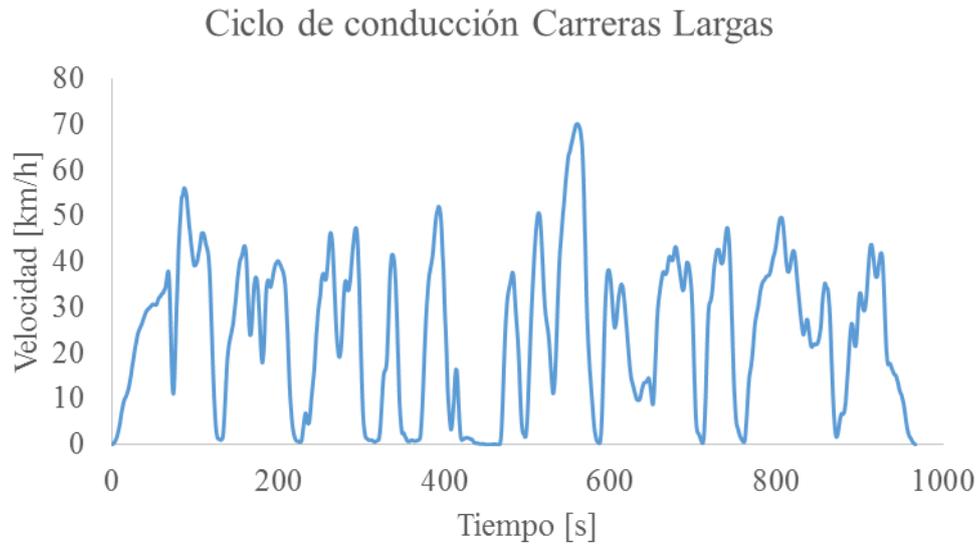


Figura 30. Ciclo típico de conducción N°100 carreras largas.

Tabla 31. Parámetros estadísticos del ciclo típico de conducción de carreras largas.

Ciclo de conducción carreras largas	
Parámetros	
Número de Ciclo de conducción seleccionado	100
Velocidad promedio [km/h]	24,56
Velocidad máxima [km/h]	70,16
Tiempo total recorrido [s]	967
Distancia de recorrido [Km]	6,60
Aceleración positiva máxima [m/s ²]	1,40

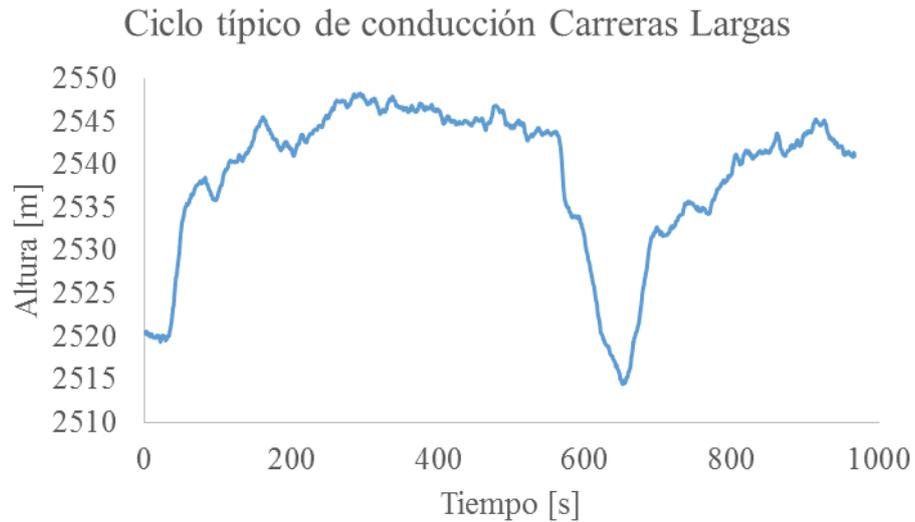


Figura 31. Perfil altura tiempo, ciclo de conducción N°100 carreras largas.

El análisis de consumo energético permite determinar el consumo por kilómetro que necesita el taxi para realizar un viaje. Los resultados se muestran (Tabla 28), con un consumo total de 389,86 Kwh y un consumo por kilómetro de 0,195 Kwh . La fuerza que más energía consume es la inercia seguida de la rodadura, pendiente y el arrastre.

6.2. Conclusiones.

La finalidad del presente trabajo fue seleccionar un ciclo de conducción típico de un taxi en el entorno de la ciudad de Cuenca y, con ello, aportar una base de datos estadísticos que sirvan para futuros proyectos. La contribución de los datos obtenidos puede ayudar a realizar análisis del consumo energético de los vehículos en rutas urbanas de la ciudad, en general.

Se resalta el método utilizado para obtener el ciclo de conducción, en donde destacan dos puntos importantes. El primero el tamaño de la muestra debe ser el adecuado para optimizar la cantidad de pruebas a realizar. En segundo lugar el método estadístico para el análisis de los datos debe resumir los parámetros necesarios tanto de dinámica de vehículos como los datos de velocidad y tiempo de los viajes.

Se recomienda utilizar datos del levantamiento topográfico de la ciudad, ya que los datos de la altura registrados por el GPS tienden a tener fallos de precisión y entregar valores exagerados que influyen en los cálculos posteriores. Con ello se evitaría los cambios bruscos en el valor de la pendiente. Los ciclos de conducción pueden utilizarse para realizar pruebas a nivel local en un banco de rodillos, para así estimar el consumo energético y las emisiones de un automóvil que siga el perfil del ciclo de conducción. Con ello determinar y analizar las mejoras optimizaciones en taxis y también en vehículos particulares, incluso eléctricos.

GLOSARIO

Parámetros Físicos		
Símbolo	Unidades	Término
a_n	m/s^2	Aceleración en la posición n.
a_{max}	m/s^2	Aceleración máxima
h_n	M	Altitud en la posición n.
h_{n-1}	M	Altitud en la posición n – 1.
A_f	m^2	Área frontal
C_d-C_x	–	Coefficiente de arrastre
f_r	–	Coefficiente de resistencia a la rodadura
φ	kg/m^3	Densidad del aire
x_n	M	Espacio en la posición n.
F_{xn}	N	Fuerza en rueda en la posición n.
F_{xprom}	N	Fuerza en rueda promedio
M	Kg	Masa
θ_n	rad	Pendiente en la posición n.
EF_{dn}	N	Energía Resistencia arrastre en la posición n.
EF_{dprom}	N	Energía Resistencia arrastre promedio
ER_{in}	N	Energía Resistencia a la inercia en la posición n.

ER_{iprom}	N	Energía Resistencia a la inercia promedio
ER_{gn}	N	Energía Resistencia a la pendiente en la posición n.
ER_{gprom}	N	Energía Resistencia a la pendiente promedio.
ER_{xn}	N	Energía Resistencia a la rodadura en la posición n.
ER_{xprom}	N	Energía Resistencia a la rodadura promedio
t_n	S	Tiempo en la posición n.
t_{n-1}	s	Tiempo en la posición n – 1.
t_{rec}	s	Tiempo de recorrido
$V_{(km/h)n}$	km/h	Velocidad en la posición n.
$V_{(m/s)n}$	m/s	
V_{prom}	km/h	Velocidad promedio.
V_{max}	km/h	Velocidad máxima

BIBLIOGRAFÍA

- ABM. (2016). *ABM*. Obtenido de sitio de compra de artículos tecnológicos:
<http://abmgroup.com.co/shop/accesorios-para-carros/taximetro-lakedriver/>
- Agencia Nacional de Tránsito. (6 de Mayo de 2010). *www.ant.gob.ec*. Recuperado el 1 de Enero de 2015, de sitio web de la Agencia Nacional de Tránsito:
<http://www.ant.gob.ec/index.php/transito-7/resoluciones-de-transporte/resoluciones-de-vida-util/file/84-resolucin-no-0139-dir-2010-cntttsv>
- Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador. (14 de Junio de 2013). *www.ant.gob.ec*. Obtenido de sitio web de la Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador:
<http://www.ant.gob.ec/index.php/transito-7/resoluciones-2011-cntttsv/file/459-resolucin-011-dir-2011-cntttsv>
- Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador. (25 de Mayo de 2016). *www.ant.gob.ec*. Recuperado el 17 de Febrero de 2015, de Portal Web de la Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador - ANT:
http://www.sbs.gob.ec/medios/PORTALDOCS/downloads/normativa/SOAT/Nueva_Ley_transporte_terrestre.pdf
- ANT. (25 de julio de 2016). *www.ant.gob.ec*. Obtenido de
<http://www.ant.gob.ec/index.php/servicios/plan-renova/requisitos-para-chatarrizacion#.WHex-FPhC1s>
- Astudillo, R. F. (2016). *Obtención de ciclos de conducción para la flota de buses urbanos del canton Cuenca*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Bosch, R. (2004). *Sistemas para la estabilización del vehículo (Primera edición)*. Alemania.
- Cedillo Sanchez, K. (2013). *Determinación de ciclos típicos de conducción*. Toluca: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Cedillo, K. (2013). *Determinación de ciclos típicos de conducción*. Toluca: Tecnológico de Monterrey.

- CENGEL Y. A. & BOLES, M. A. (2009). *Termodinámica*. México D. F.: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Chacón, G. G. (13 de noviembre de 2016). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE CICLOS DE CONDUCCIÓN EN BOGOTÁ Y MEDELLÍN: http://www.ing.unal.edu.co/grupos/calidad_aire/doc/eventos/casap3_Resumen%20Chacon%20et%20al.pdf
- Cordero, M. (2015). Toluca: México.
- Dietsche, K.-H. (2005). *Manual de la tecnica del automovil*. Reverte.
- Directorio de la agencia nacional de regulacion y control de transporte, t. y. (2014). *Metodologia para la fijación de tarifas (Taxi convencional)*. Ecuador.
- EcoModder. (14 de enero de 2016). *EcoModder*. Obtenido de http://ecomodder.com/wiki/index.php/Vehicle_Coefficient_of_Drag_List
- Gillespie. (1992). *Fundamentos de la dinámica vehicular*. Warrendale: Society of Automotive Engineers, Inc.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca. (2014). *Diagnostico integrado Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca 2014-2030*. Cuenca.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca. (s.f.). *www.cuenca.gov.ec*. Obtenido de sitio web de la Alcaldía de Cuenca: <http://www.cuenca.gov.ec/?q=node/616>
- Gómez de las Heras, B. P. (Septiembre de 2011). *Desarrollo de una metodología para generación de ciclos de conducción representativos del tráfico real urbano. Aplicación para medida de emisiones en banco de rodillos*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Recuperado el 14 de Enero de 2015, de Sitio web de Archivos digitales de la Universidad Politécnica de Madrid: http://oa.upm.es/9437/2/PFC_Borja_Pintos_Gomez_de_las_Heras.pdf
- INEN. (9 de marzo de 2002). *Instituto Ecuatoriano de Normalización* . Obtenido de ANT: <file:///C:/Users/Danilo/Downloads/Norma%20Tecnica%20Ecuatoriana%20NTE%20IEN%202%202004%20-%202002.pdf>

- Johnson, J. W. (2000). *A Heuristic Method for Estimating the Relative Weight of Predictor Variables in Multiple Regression*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Ltd., G. (03 de diciembre de 2016). *buygarmin.com*. Obtenido de sitio web de compra de equipos garmin: <https://buy.garmin.com/es-ES/ES/prod140024.html>
- Osses, M., & Rojas, D. (2003). *Determinación experimental de ciclos de conducción de vehículos livianos para la ciudad de Santiago*. Santiago: In. Universidad de Chile.
- Restrepo, A., Carranza, Y., & Tibaquirá, J. (25 de Octubre de 2007). *Diseño y aplicación de una metodología para determinar ciclos de conducción vehicular en la ciudad de Pereira*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de Sitio web del Octavo Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica: <http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/vehiculos.html>
- Sanabria Sandí, R. (2012). *Desarrollo y validación de un ciclo de conducción para la ciudad de San José de Costa Rica*. San José: Universidad de Costa Rica. Sistema de Estudios de Posgrado.
- Schneider, A. (enero de 2003). *GPS Visualizer*. Obtenido de GPS Visualizer: www.gpsvisualizer.com
- TRL Limited. (Junio de 2009). *www.gov.uk*. Obtenido de sitio web de libro de ciclos de conducción para el mejoramiento de las emisiones : https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/4247/pr-354.pdf
- United States Environmental Protection Agency . (s.f.). *www.epa.gov*. Obtenido de sitio web de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos: <http://www.epa.gov/nvfel/methods/eudcdds.gif>
- United States Environmental Protection Agency. (s.f.). *www.epa.gov*. Obtenido de sitio web de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos: <https://www.epa.gov/emission-standards-reference-guide/epa-federal-test-procedure-ftp>

United States Environmental Protection Agency. (s.f.). *www.epa.gov*. Obtenido de Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos:
<http://www.epa.gov/nvfel/methods/huddsdds.gif>

Vélez Loaiza , S. C., & Vera Vanegas, A. V. (2016). *Obtencion de los parámetros necesarios para el cálculo de fuerza en rueda en vehículos eléctricos*. Cuenca: Universidad del Azuay.

Wong, J. (2001). *Theory of ground vehicles*. Ottawa: John Wiley & Sons.