



FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTOMOTRIZ

**Obtención de los parámetros necesarios para el cálculo de
la fuerza en rueda de vehículos eléctricos**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

Autores:

SUSANA CARIDAD VÉLEZ LOAIZA

ANDRÉS VICENTE VERA VANEGAS

Director:

DANIEL GUILLERMO CORDERO MORENO

CUENCA, ECUADOR

2016

DEDICATORIA

A mi padre y amigo, Dr. Carlos Rodrigo Vélez Vásquez, por su apoyo generoso y oportuna conducción en mi paso por la existencia, convertido en el mejor de mis amigos; y, a mi madre, Prof. Martha Loaiza Campoverde de Vélez, por ese recado de optimismo y de aliento diario que ha hecho posible mi superación personal y profesional.

Susana.

Esta tesis se la dedico primeramente a Dios pilar fundamental en mi vida. A mis padres que son el mejor ejemplo de superación y los que me han guiado por el camino del bien con principios y valores muy importantes. Para mis dos hermanos Beto y José que siempre estuvieron pendientes de mí a pesar de la distancia. Y por último a mi novia Diana por ser parte de mi esfuerzo y ayudarme a convertirme en mejor persona.

Andrés.

AGRADECIMIENTOS

Dejo constancia de mi más profundo agradecimiento a todos quienes hacen posible esta tesis de graduación.

Al personal docente, administrativo y de servicio de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la ilustre Universidad del Azuay; y, de manera especial a su distinguido maestro, Dr. Daniel Cordero Moreno, por su acertada conducción intelectual en el trabajo que estoy presentando.

Susana.

Quiero agradecer a Dios por bendecirme con salud y sabiduría para completar esta meta en mi vida. A mis padres por la dedicación, por su amor y esfuerzo que hacen por mí día a día. También quiero agradecer a mis hermanos Beto y José por todo el apoyo y su buen ejemplo. De igual manera quiero agradecer a mi novia Diana Carolina Peralta por ser mi compañera incondicional durante este camino.

También deseo agradecer a todo el personal académico de la Universidad del Azuay en especial a mi director de tesis y amigo, Dr. Daniel Cordero Moreno por todo el tiempo brindado.

Andrés.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
GENERALIDADES	3
1.1. Problemática	3
1.2. Marco teórico	4
1.3. Selección de los VE para este caso de estudio	5
1.3.1. VE que ingresarán al país.....	6
1.4. Estado del Arte	8
1.5. Pregunta de Investigación	8
1.6. Objetivo General	8
1.7. Objetivos Específicos	9
1.8. Alcance	9
CAPÍTULO II	10
DINÁMICA DE LOS VEHÍCULOS	10

2.1.	Consumo energético	10
2.2.	Dinámica de los vehículos.....	12
2.2.1.	Ecuaciones para el cálculo de la fuerza en rueda	12
2.2.1.1.	Fuerza de arrastre	14
2.2.1.2.	Resistencia debido a la pendiente.....	14
2.2.1.3.	Resistencia a la rodadura	15
2.2.1.4.	Resistencia debido a la inercia	16
2.2.1.5.	Fuerza en rueda	17
2.3.	Parámetros del vehículo	18
2.3.1.	Coefficiente de arrastre.....	19
2.3.2.	Área frontal del vehículo.....	21
2.3.3.	Coefficiente de resistencia a la rodadura.....	28
2.3.4.	Masa del vehículo	35
2.4.	Parámetros ambientales	35
2.4.1.	Densidad del aire.....	35
2.4.2.	Gravedad	37
2.5.	Parámetros de operación del vehículo.....	37
2.5.1.	Ciclo de conducción.....	38
2.5.2.	Importancia de los ciclos de conducción	40
2.5.3.	Metodología para la selección de un ciclo representativo	41
CAPÍTULO III.....		51
ADQUISICIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL VEHÍCULO		51
3.1.	Recolección de datos y procesamiento de información	51
3.2.	Cálculo de mínimas diferencias ponderadas	59
3.3.	Análisis y corrección de datos	68
3.4.	Cálculo del ciclo representativo final.....	71
CAPÍTULO IV		83
ADQUISICIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS AMBIENTALES Y DEL VEHÍCULO		83

4.1. Adquisición de parámetros ambientales.....	83
4.1.1. Cálculo de densidad del aire y la gravedad.....	83
4.2. Adquisición de parámetros del vehículo.....	94
4.2.1. Coeficiente de resistencia a la rodadura (fr).....	94
4.2.2. Coeficiente de arrastre (Cd).....	96
4.2.3. Área frontal del vehículo (Af).....	96
4.2.4. Masa del vehículo (m).....	98
CAPÍTULO V.....	99
CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	99
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	106
BIBLIOGRAFÍA.....	108
GLOSARIO.....	112
ANEXOS.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Fuentes de energía del mundo y consumo por sector.	11
Figura 2.2. Resistencias y fuerzas que se oponen al avance del vehículo.	13
Figura 2.3. Datos de velocidad obtenidos de GPS y calculados.	20
Figura 2.4. Ajuste de curvas con método GRG.	20
Figura 2.5. Área frontal Renault Kangoo Z.E.	24
Figura 2.6. Opción de dibujo en Inventor 2016.	25
Figura 2.7. Opción Sketch Inventor 2016.	25
Figura 2.8. Importación de imagen.	26
Figura 2.9. Perfil dibujado del área frontal.	27
Figura 2.10. Área frontal Renault Kangoo Z.E.	28
Figura 2.11. Variación del coeficiente de resistencia a la rodadura de neumáticos para automóviles de pasajeros de estructura radial y diagonales, en una carretera lisa plana, bajo carga y la presión de inflado nominal.	30
Figura 2.12. Variación del coeficiente de resistencia a la rodadura de neumáticos para camiones de estructura radial y diagonales, en una carretera lisa plana, bajo carga y la presión de inflado nominal.	30
Figura 2.13. Variación del coeficiente de resistencia a la rodadura con la presión de inflado en varias superficies.	32
Figura 2.14. Efecto de la temperatura interna en el coeficiente de resistencia a la rodadura de un neumático de automóvil.	33
Figura 2.15. Coeficientes para la Ec. (14).	34
Figura 2.16. Ciclo de conducción UDDS.	38
Figura 2.17. Ciclo ECE-15.	39
Figura 2.18. Ciclo EUDC.	39
Figura 2.19. Ciclo FTP-75.	40
Figura 2.20. Austro Ecuatoriano.	42
Figura 2.21. Vía Cuenca – Loja.	42
Figura 2.22. Vía Cuenca – Machala.	43
Figura 3.1. Software Qtravel empleado en la adquisición de datos.	52
Figura 3.2. Archivo ITM donde muestra viajes completos e incompletos, Qtravel.	53
Figura 3.3. Información de las propiedades del viaje Cuenca - Loja 1, Qtravel.	54

Figura 3.4. Determinación de la pendiente.	57
Figura 3.5. Perfil de pendiente del ciclo Cuenca-Loja 1.....	69
Figura 3.6. Perfil de aceleración de ciclo Cuenca-Loja 1.	69
Figura 3.7. Interpolación por Splines.....	70
Figura 3.8. Ciclo representativo ruta Cuenca-Loja.	80
Figura 3.9. Ciclo representativo ruta Loja-Cuenca.	80
Figura 3.10. Ciclo representativo ruta Cuenca-Machala.....	81
Figura 3.11. Ciclo representativo ruta Machala-Cuenca.....	81
Figura 4.1. Coeficiente de determinación Cuenca-Loja-Cuenca.	89
Figura 4.2. Coeficiente de determinación Cuenca-Machala-Cuenca.....	89
Figura 4.3. Rango de densidad y gravedad según altura del ciclo representativo Cuenca-Loja.	90
Figura 4.4. Rango de densidad y gravedad según altura del ciclo representativo Loja- Cuenca.....	91
Figura 4.5. Rango de densidad y gravedad según altura del ciclo representativo Cuenca-Machala.....	92
Figura 4.6. Rango de densidad y gravedad según altura del ciclo representativo Machala-Cuenca.....	93
Figura 4.7. Área frontal Nissan Leaf.....	97
Figura 4.8. Área frontal BYD E6.	97
Figura 4.9. Área frontal Kia Soul E.V.	98
Figura 5.1. Fx total en ruta Cuenca-Loja.	100
Figura 5.2. Contribución de cada resistencia a Fx, Cuenca-Loja.....	100
Figura 5.3. Fx total en ruta Loja-Cuenca.	101
Figura 5.4. Contribución de cada resistencia a Fx, Loja-Cuenca.....	101
Figura 5.5. Fx total en ruta Cuenca-Machala.	102
Figura 5.6. Contribución de cada resistencia a Fx, Cuenca-Machala.	102
Figura 5.7. Fx total en ruta Machala-Cuenca.	103
Figura 5.8. Contribución de cada resistencia a Fx, Machala-Cuenca.	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Incentivos en Ecuador para compra de VE.	6
Tabla 1-2: Oferta de vehículos eléctricos en el Ecuador.....	7
Tabla 2-1. Categorización de parámetros.....	18
Tabla 2-2. Valores de coeficientes de arrastre y área frontal de vehículos de pasajeros.....	23
Tabla 2-3. Coeficientes de rodadura	29
Tabla 2-4. Ventajas y desventajas en la medición de las variables requeridas de un dispositivo GPS.....	44
Tabla 2-5. Especificaciones del Equipo GPS.....	44
Tabla 2-6. Parámetros característicos.	48
Tabla 3-1. Datos recopilados de GPS para resguardo en Excel.....	54
Tabla 3-2. Archivo Excel de respaldo final.	55
Tabla 3-3. Cálculos de las variables realizados en archivo Excel del viaje Cuenca-Loja 1.	56
Tabla 3-4. Valores de parámetros característicos del viaje Cuenca-Loja 1.	59
Tabla 3-5. Parámetros característicos ruta Cuenca-Loja.....	60
Tabla 3-6. Ponderación de parámetros característicos de los viajes Cuenca - Loja.	61
Tabla 3-7. Parámetros característicos ruta Loja-Cuenca.....	62
Tabla 3-8. Ponderación de parámetros característicos de los viajes Loja – Cuenca.....	63
Tabla 3-9. Parámetros característicos ruta Cuenca-Machala.	64
Tabla 3-10. Ponderación de parámetros característicos de los viajes Cuenca – Machala.....	65
Tabla 3-11. Parámetros característicos ruta Machala-Cuenca.	66
Tabla 3-12. Ponderación de parámetros característicos de los viajes Machala – Cuenca.....	67
Tabla 3-13. Ciclos representativos.....	68
Tabla 3-14. Ciclos representativos finales.	71
Tabla 3-15. Parámetros característicos corregidos ruta Cuenca-Loja.....	72
Tabla 3-16. Ponderación de parámetros característicos corregidos de los viajes Cuenca - Loja.	73
Tabla 3-17. Parámetros característicos corregidos ruta Loja-Cuenca.....	74

Tabla 3-18. Ponderación de parámetros característicos corregidos de los viajes Loja-Cuenca.....	75
Tabla 3-19. Parámetros característicos corregidos ruta Cuenca-Machala.	76
Tabla 3-20. Ponderación de parámetros característicos corregidos de los viajes Cuenca-Machala.....	77
Tabla 3-21. Parámetros característicos corregidos ruta Machala-Cuenca.	78
Tabla 3-22. Ponderación de parámetros característicos corregidos de los viajes Machala-Cuenca.....	79
Tabla 3-23. Características de ciclos representativos.	82
Tabla 4-1. Diferencias de altitud en las rutas Cuenca-Loja y Cuenca-Machala	84
Tabla 4-2. Datos meteorológicos de puntos referenciales con rangos de altitud en la ruta Cuenca–Loja.	85
Tabla 4-3. Datos meteorológicos de puntos referenciales con rangos de altitud en la ruta Loja-Cuenca.....	86
Tabla 4-4. Datos meteorológicos de puntos referenciales con rangos de altitud en la ruta Cuenca–Machala.....	87
Tabla 4-5. Datos meteorológicos de puntos referenciales con rangos de altitud en la ruta Machala-Cuenca.	88
Tabla 4-6. Resultado del coeficiente R^2	88
Tabla 4-7. Valores de densidad del aire y gravedad para cada punto referencial en la ruta Cuenca–Loja.	90
Tabla 4-8. Valores de densidad del aire y gravedad para cada punto referencial en la ruta Loja-Cuenca.....	91
Tabla 4-9. Valores de densidad del aire y gravedad para cada punto referencial en la ruta Cuenca–Machala.....	92
Tabla 4-10. Valores de densidad del aire y gravedad para cada punto referencial en la ruta Machala-Cuenca.	93
Tabla 4-11. Datos de la velocidad promedio de cada ciclo representativo.....	94
Tabla 4-12. Datos de presión nominal de neumáticos para cada marca de vehículos y los valores de los coeficientes f_0 y f_s	95
Tabla 4-13. Resultados del coeficiente a la rodadura (f_r).	95
Tabla 4-14. Valores del coeficiente C_d y fuente.....	96
Tabla 4-15. Valores del área frontal.....	96
Tabla 4-16. Masa del vehículo.	98

Tabla 5-1. Consumo de energía en la ruta Cuenca-Loja.....	105
Tabla 5-2. Consumo de energía en la ruta Loja-Cuenca.....	105
Tabla 5-3. Consumo de energía en la ruta Cuenca-Machala.	105
Tabla 5-4. Consumo de energía en la ruta Machala-Cuenca.	105

**OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DE
LA FUERZA EN RUEDA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

RESUMEN

La presente investigación, presenta la situación actual de los vehículos eléctricos (VE), en el Ecuador. Uno de las principales interrogantes acerca de los VE, es la autonomía de éstos. Se han realizado estudios del consumo energético en VE dentro de ciudades (rutas urbanas), existiendo poca información en rutas extraurbanas. Este trabajo, hace un análisis de las rutas extraurbanas. Para determinar la autonomía en un vehículo, es necesario considerar ciertos parámetros. Algunos de estos parámetros dependen del vehículo y otros, de la operación del vehículo (ciclo de trabajo). En esta tesis se realiza la obtención de los parámetros (que dependen del vehículo y de la operación del vehículo), a partir de mediciones, revisión de literatura y datos del fabricante.

Palabras Clave: ciclos de conducción, consumo energético, vehículos eléctricos, rutas extraurbanas.



.....
Daniel Guillermo Cordero Moreno
Director del Trabajo de Titulación



.....
Diego Francisco Torres Moscoso
Director de Escuela



.....
Susana Caridad Vélez Loaiza



.....
Andrés Vicente Vera Vanegas

Autores

**OBTAINING THE NECESSARY PARAMETERS FOR THE CALCULATION OF
WHEEL FORCE IN ELECTRIC VEHICLES**

ABSTRACT

This research paper discusses the current situation of electric vehicles (EV) in Ecuador. One of the main questions about EVs is their autonomy. Studies on VE energy consumption within cities (urban routes) have been conducted; however, there is little information on interurban routes. Therefore, this paper makes an analysis of the interurban routes. In order to determine autonomy in a vehicle, it is necessary to consider certain parameters. Some of these parameters depend on the vehicle and others on the vehicle operation (work cycle). Through this research, the calculation of parameters (which depend on the vehicle and on its operation) is performed from measurements, literature review and manufacturer information.

Keywords: Driving Cycles, Energy Consumption, Electric Vehicles, Interurban Routes



Daniel Guillermo Cordero Moreno
Thesis Director



Diego Francisco Torres Moscoso
School Director



Susana Caridad Velez Loaiza



Andres Vicente Vera Vanegas

Authors



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas


Translated by,

Lic. Lourdes Crespo

Vélez Loaiza Susana Caridad

Vera Vanegas Andrés Vicente

Trabajo de Titulación

Ing. Daniel Guillermo Cordero Moreno, PhD

Junio, 2016

OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DE FUERZA EN RUEDA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

INTRODUCCIÓN

El vehículo eléctrico (VE) es una alternativa para una movilidad sostenible. Este término ha surgido en los últimos años, por la necesidad de combatir problemas ambientales y sociales. La excesiva contaminación del aire, sus efectos sobre el medioambiente y la salud, genera una preocupación por buscar fuentes alternativas de movilización. Es por eso que, gobiernos, fabricantes de vehículos y organismos internacionales, promueven iniciativas para la inclusión del mismo, alrededor del mundo. De igual manera, se trabaja con la creación de fuentes de energía limpia. (European Green Vehicles Initiative, 2015). En el caso de Ecuador, el 12 de febrero de 2015, se firmó un convenio entre el Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad y cuatro representantes de marcas fabricantes del VE, para la inclusión de los mismos dentro del país. (Ministerio Coordinar de Producción, Empleo y Competitividad., 2015)

Con el ingreso del VE al país, surgen necesidades hasta ahora inexistentes; una de ellas, el análisis del consumo energético de los vehículos eléctricos, en condiciones reales de operación. Este análisis, junto con otros parámetros, posibilitará la predicción de la autonomía del VE en algunas vías del Ecuador. Con esta autonomía y otros datos de la red eléctrica ecuatoriana, se podrá sugerir la ubicación de electrolinerías, a lo largo y ancho del territorio nacional. Pero antes de realizar un análisis de consumo energético, se necesita obtener información de varios resultados de análisis. Uno de ellos es la determinación de la fuerza en rueda, necesaria para impulsar un automóvil. Dentro de este trabajo se plantea estudiar las fuerzas que se oponen al avance del vehículo y definir los parámetros que intervienen en el cálculo.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

En el trabajo se planea realizar un análisis de la realidad actual de los VE a nivel nacional, con el objeto de conocer qué vehículos eléctricos existen ya en el país y qué vehículos están próximos a incorporarse, para incluirlos en el presente estudio. Posteriormente, se repasa la dinámica de vehículos, con el fin de definir las ecuaciones necesarias para calcular la fuerza en rueda. Desde aquí, se detallan los parámetros necesarios para el cálculo de cada resistencia, seleccionando finalmente, los métodos empíricos o prácticos, para obtener los valores de los parámetros.

1.1. Problemática

La autonomía de los VE resulta baja en comparación con la de los de combustión interna. Por ejemplo, un Chevrolet Spark, con motor a combustión, tiene capacidad de almacenar 9,2 galones en su depósito de combustible. Con ellos puede recorrer 458 km. El mismo modelo, pero de motor eléctrico, con el total de la carga en la batería, sólo recorre 132 km. (Estas autonomías están analizadas con base en el ciclo de conducción Urbano EPA, (Car and Driver, 2015). Por ello, se vuelve difícil hacer recorridos de más de 200 km: un viaje interprovincial, Cuenca-Machala, por ejemplo. Esto hace que, se requiera determinar puntos de reabastecimiento de energía para los VE en lugares estratégicos. Todo esto vuelve necesario, entre otras cosas, un análisis del consumo energético del vehículo, bajo condiciones reales de manejo.

1.2. Marco teórico

Según el Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad (MCPEC), en un informe del 2015, en el Ecuador “se llevó a cabo, con representantes de marcas de Vehículos Eléctricos del país, la firma del ‘Convenio Marco para la Promoción, Comercialización, y Perspectivas de Fabricación de Baterías y Vehículos Eléctricos’. El objetivo de este convenio es que las marcas introduzcan el VE en el mercado local y aporten al desarrollo de la infraestructura, servicio post-venta y manejo de las baterías recargables”. (Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad, 2015).

En la introducción se habló sobre el cálculo de la fuerza en rueda. Esta fuerza es la que provoca el desplazamiento del automóvil, al vencer las resistencias que se oponen al avance del mismo. Para determinar esta fuerza, es necesario conocer las resistencias que se oponen al desplazamiento del vehículo. Estas resistencias se obtienen de la dinámica de vehículos, perteneciente al libro fundamentos de la dinámica vehicular de Thomas Gillespie. En términos generales, las fuerzas y resistencias que se oponen al avance del vehículo son: fuerza de arrastre, resistencia a la rodadura, resistencia debida a la pendiente y resistencia debida a la inercia. Estas fuerzas de oposición pueden ser calculadas mediante las ecuaciones que se presentan en el capítulo 2.

Cabe considerar que, por otra parte, las ecuaciones de las resistencias están en función de varios parámetros, que son: exclusivos del vehículo, ambientales o de operación del automóvil. De esta manera, se llega al tema central del presente estudio, que es, determinar la fuerza en rueda. Es indispensable, conocer los parámetros para el cálculo de cada resistencia.

Para determinar los valores de los parámetros, exclusivos del automóvil, se refieren datos del fabricante, siendo las variables por conocer: el coeficiente de arrastre (C_d),

el área frontal de vehículo (A_f), la masa del vehículo (m) y el coeficiente de resistencia a la rodadura (f_r). Por otra parte, los parámetros de operación del vehículo son: la velocidad (V), la pendiente (θ) y la aceleración (a). Estos se obtienen mediante un ciclo de conducción representativo de las vías en estudio. Este ciclo, se lo obtiene mediante un análisis estadístico de viajes que se realizan en dos rutas fijas del austro ecuatoriano: Cuenca-Loja y Cuenca-Machala; esto debido a que se ha contado con la colaboración de dos empresas de transporte interprovincial en dichas rutas: Ecuavan Tours, para la vía Cuenca – Loja, y, Tinamú Tours, para la vía Cuenca – Machala. En estos recorridos se utiliza un dispositivo: GPS (Global Positioning System por sus siglas en inglés), Sistema de Posicionamiento Global, en español. Este dispositivo almacena datos del recorrido. De ahí se obtienen los datos de tiempo, velocidad y altitud, que son necesarios para el análisis de las variables antes mencionadas. De los treinta viajes realizados, se selecciona un viaje que represente las condiciones típicas de manejo dentro de las rutas. La selección del ciclo representativo se especifica con más detalles en el capítulo 2. Por último, los parámetros ambientales, por su parte, dependen de la ubicación geográfica. De ellos es necesario conocer: la densidad del aire (ρ_a) y la gravedad (g). Las rutas fijas establecidas con anterioridad, además de algunos datos obtenidos del GPS, son de gran utilidad para el análisis de los parámetros mencionados.

1.3. Selección de los VE para este caso de estudio

El uso del VE está creciendo rápidamente alrededor del mundo. El excesivo consumo de combustibles fósiles, como fuentes de energía y la creciente demanda del mismo, causan varios problemas, que deben ser solucionados inmediatamente. Por ejemplo, la excesiva contaminación del aire y sus efectos al medioambiente, generan la necesidad de buscar fuentes alternativas de movilización. Los autos que utilizan energías renovables son la principal solución a dichos efectos. De esta manera, varios países y organizaciones fomentan la utilización de este medio de transporte mediante incentivos e iniciativas. (ROSALES ORTEGA, 2013).

Países europeos como Francia, España, Dinamarca, Alemania, Inglaterra, Italia, entre otros, han dado ya sus primeros pasos al impulsar el uso del VE como sistema inteligente y ecológico de transporte. Asimismo, organizaciones y marcas fabricantes, tienen planes de desarrollo, incentivos e iniciativas, que ayuden al crecimiento de la demanda de estos autos. De igual manera, se trabaja con el crecimiento de fuentes renovables de energía, que abastezcan la demanda de energía eléctrica. Los planes de desarrollo, incentivos e iniciativas que giran en torno al VE, tienen la intención de incrementar el uso de estos vehículos, de manera que se disminuyan los efectos negativos del uso de combustibles fósiles. (Vidasostenible.org, 2016).

1.3.1. VE que ingresarán al país

Con la firma del convenio mencionado anteriormente, se han generado varios incentivos para los compradores de los VE. Los incentivos que otorga el gobierno Ecuatoriano pueden ser vistos en la Tabla 1-1. En consecuencia, las marcas KIA, Renault, Nissan y BYD, introducirán sus primeros modelos al Ecuador aprovechando que el gobierno desea implantar, de forma masiva, el VE en el Ecuador. En la Tabla 1-2 se puede apreciar los autos que están previstos ingresar al país. Las autonomías de dichos automóviles están determinadas con el ciclo de conducción NEDC.

Tabla 1-1. Incentivos en Ecuador para compra de VE.

Incentivos
<ul style="list-style-type: none"> • 0% arancel con precio FOB hasta USD 40.000. • 0% IVA para vehículos híbridos o eléctricos, con base hasta USD 35.000. • 0% ICE para vehículos híbridos o eléctricos de transporte terrestre de hasta 3.5 toneladas de carga, cuyo precio de venta al público sea de hasta USD 35.000.

Fuente: (Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad, 2015).

Tabla 1-2. Ofertas de vehículos eléctricos en el Ecuador.

OFERTAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN EL ECUADOR			
Modelo	Autonomía eléctrica	Precio	Imagen
Renault Twizy Z.E	90 km	\$ 15.000	
Renault Kangoo Z.E	170 km	\$ 30.000	
Nissan Leaf	160 km	\$ 30.000	
Kia Soul EV	212 km	\$30.000-\$40.000	
BYD E6	280 km	\$40.000	

Fuente: (TORRES SARMIENTO, 2015).

Con base en la anterior tabla, se seleccionan los siguientes VE para el presente trabajo Renault Kangoo Z.E, Nissan Leaf, Kia Soul EV y BYD E6. Estos modelos han sido escogidos debido a que sus prestaciones son las más convenientes para realizar viajes largos. Por ejemplo: la autonomía que presentan, hace suponer que podría viajar en las rutas fijas especificadas sin realizar una carga adicional, pero debemos analizar las condiciones de manejo y de las rutas para comprobar si es cierto. De no ser así, analizar el consumo real y proponer puntos de reabastecimiento de energía según los datos obtenidos.

1.4. Estado del Arte

En la Universidad Pontificia de Comillas de Madrid se realizó un ciclo de conducción en sustitución al NEDC, con el fin de asemejar las condiciones reales de la ciudad de Madrid en carreteras urbanas, secundarias y autopistas. Se utilizó las herramientas de software Simulink y Matlab para obtener una estimación precisa del ciclo de conducción, dentro de las vías de Madrid. Por otra parte, se analizó las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo. El fin de esta investigación fue estimar el consumo energético, analizar emisiones contaminantes y recomendar los vehículos que consumen y contaminan menos en condiciones reales de manejo.

En otro trabajo del Instituto de Tecnología Automotriz de Múnich, se realizó una aplicación para teléfonos inteligentes, de manera que se pudo estimar la demanda de energía en tiempo real. La aplicación realizó el cálculo del consumo, en ese preciso instante, utilizando las fórmulas de dinámica de los vehículos. Los valores de velocidad, altitud y tiempo, se obtuvieron, de manera directa, de un celular con la función de navegador. Los demás parámetros del vehículo, que son constantes, estuvieron cargados en el software de la aplicación para el cálculo del consumo.

1.5. Pregunta de Investigación

¿Cuáles son los valores de los parámetros necesarios para calcular la fuerza en rueda de VE, en las rutas fijas definidas?

1.6. Objetivo General

Determinar el valor de los parámetros necesarios para calcular la fuerza en rueda de los vehículos eléctricos establecidos, en las vías Cuenca-Loja-Cuenca y Cuenca-Machala-Cuenca.

1.7. Objetivos Específicos

- Describir las ecuaciones de la dinámica de los vehículos y el uso de las mismas para calcular la fuerza en rueda.
- Obtener los valores de los parámetros en base a datos de fabricante, cálculos empíricos, trabajos antes realizados y los ciclos de conducción para las rutas Cuenca-Loja-Cuenca y Cuenca-Machala-Cuenca.
- Definir los parámetros para calcular la fuerza en rueda de los vehículos eléctricos en estudio, con base en los ciclos de conducción determinados.
- Realizar el cálculo de la fuerza en rueda y estimar la demanda energética, en función de los ciclos de conducción determinados para cada ruta.

1.8. Alcance

Este estudio abarca la obtención de valores de los parámetros necesarios para el cálculo de la fuerza en rueda. Al obtener los valores de las resistencias que se oponen al movimiento del vehículo, se analiza la influencia de cada una de ellas. También se realiza una estimación del consumo energético, en base a las fuerzas calculadas. Se aporta con valores de parámetros, que son una parte importante dentro de análisis del consumo energético.

CAPÍTULO II

DINÁMICA DE LOS VEHÍCULOS

En este capítulo se define la importancia de las fuerzas y resistencias que se oponen al movimiento del vehículo. Se indaga en la teoría de dinámica vehicular para conocer los parámetros necesarios para el cálculo de la fuerza en rueda. Se delimitan todas las resistencias derivadas de la dinámica vehicular. De esta manera, se puntualiza sobre las variables que utilizan dichas fórmulas y el método de obtención.

2.1. Consumo energético

El consumo energético es la cantidad de energía consumida en un proceso determinado. Las mayores fuentes de energía, hoy en día, son: el petróleo, el carbón, el gas natural, la energía nuclear y la hidráulica. Existen además, otras fuentes de energía renovable, como son: la biomasa, la energía solar, la eólica y la geotérmica.

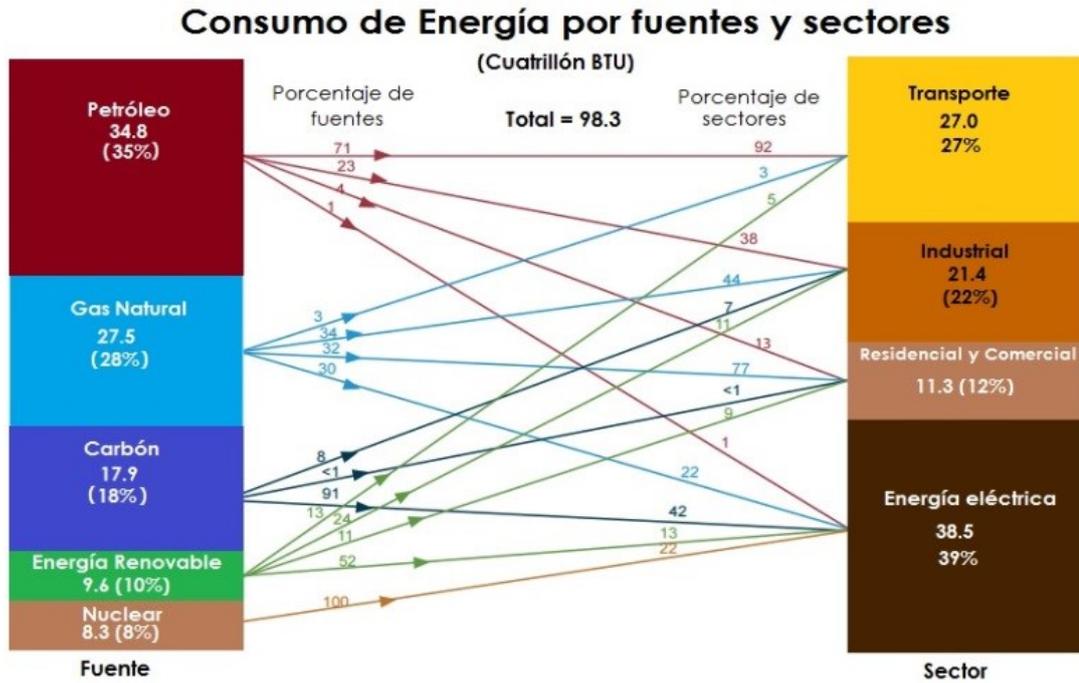


Figura 2.1. Fuentes de energía del mundo y consumo por sector.
Fuente: (U.S. Energy Information Administration, 2016).

Los sectores de mayor consumo energético son: el generador de electricidad, el industrial, el residencial y el del transporte. Este trabajo, se enfoca en el sector transporte y parte del mismo, servirá para análisis energéticos posteriores, independientemente de la fuente de energía que se utilice. Por el número de autos existentes en la actualidad y por el crecimiento anual del parque automotor, el sector de transporte es uno de los mayores consumidores de energía. De aquí parte el énfasis, por el estudio de reducción de emisiones contaminantes, ahorro de combustibles y utilización de nuevas tecnologías de movilización. La necesidad de determinar, en este trabajo, los parámetros para el cálculo de la fuerza en rueda, necesita definir los valores de los mismos. Para definir estos parámetros, es necesario estudiar las principales fuerzas que intervienen en el movimiento de un vehículo, mismos que se detallan en la dinámica vehicular.

2.2. Dinámica de los vehículos

La dinámica de los vehículos resulta importante para el cálculo del consumo energético. Desde ella, se determinan las principales fuerzas y resistencias, que intervienen en el movimiento de un vehículo. Las ecuaciones que se presentan a continuación, exponen los diferentes parámetros, necesarios para calcular la fuerza en rueda. Las siguientes fórmulas muestran cómo diferentes factores intervienen sobre el movimiento del vehículo.

2.2.1. Ecuaciones para el cálculo de la fuerza en rueda

La dinámica de los vehículos presenta el cálculo de resistencias que se oponen al avance del vehículo. Las resistencias son cuatro, que pueden o no coexistir al mismo tiempo. La sumatoria total de dichas resistencias da como resultado una fuerza conocida como fuerza en rueda. Las resistencias ayudan, en cierta parte, a calcular el consumo energético de un automóvil, independientemente del combustible que utilice. Desde el cálculo de la fuerza en rueda se puede estimar un consumo energético; una estimación que no es totalmente precisa y es que existen automóviles eléctricos que tienen sistemas regenerativos de energía y, otros, sistemas auxiliares que, a su vez, consumen energía. La ecuación de la fuerza en rueda es la siguiente:

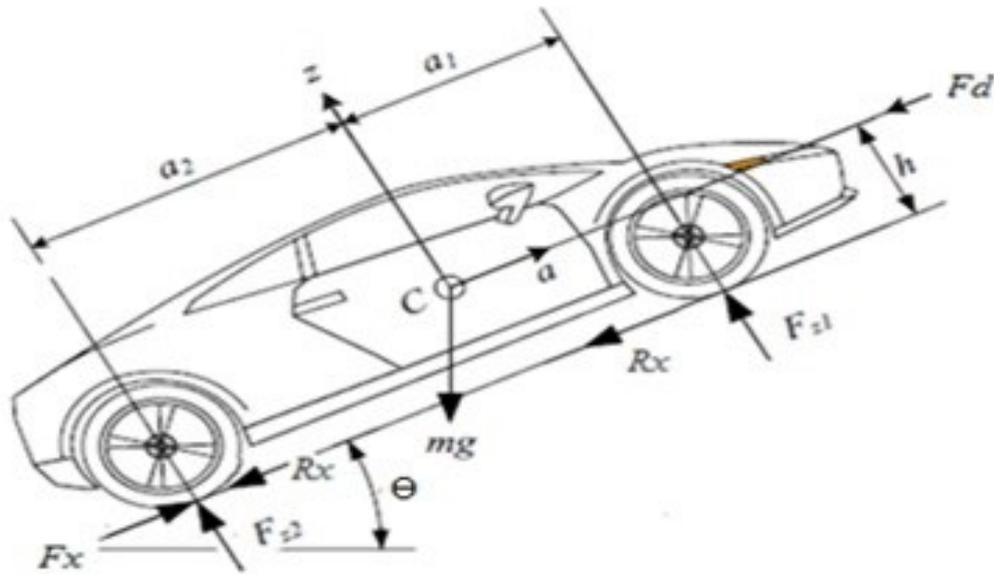


Figura 2.2. Resistencias y fuerzas que se oponen al avance del vehículo.
Fuente: (WONG, 2001).

$$F_x = F_d + R_g + R_x + R_i \quad \text{Ec. (1)}$$

En donde:

- F_x = Fuerza en rueda [N].
- F_d = Fuerza de arrastre [N].
- R_g = Resistencia debida a la pendiente [N].
- R_x = Resistencia a la rodadura [N].
- R_i = Resistencia debida a la inercia [N].

Estas fórmulas de dinámica tienen variables que dependen del tipo de auto, condiciones atmosféricas y tipo de carretera. A continuación su descripción.

2.2.1.1. Fuerza de arrastre

Esta resistencia en la actualidad, una de las fuerzas más estudiadas tiene una gran importancia dentro del cálculo de la fuerza en rueda del vehículo. Su relación con el diseño del vehículo, ha llevado a los diseñadores a elaborar modelos capaces de disminuir el impacto de esta resistencia sobre el auto. Las fuerzas aerodinámicas interactúan con el vehículo, causando: resistencia al avance, fuerzas de elevamiento, fuerzas laterales, momentos de inercia, rotaciones, tales como cabeceo, inclinación y vuelco. En consecuencia, el consumo de energía, el ruido, la vibración y la dureza de manejo se ven afectados por todas las reacciones aerodinámicas. (GILLESPIE, 1992). Debido a que el flujo de aire sobre un vehículo o cualquier objeto es tan complejo, se ha desarrollado una ecuación para representar el efecto partiendo de la ecuación de Bernoulli. Por lo tanto, la resistencia al aire se representa por la siguiente expresión:

$$F_d = \frac{1}{2} C_d * \rho_a * A_f * V^2 \quad \text{Ec. (2)}$$

En donde:

- F_d = Fuerza de arrastre [N].
- C_d = coeficiente de arrastre del vehículo [adimensional].
- ρ_a = densidad del aire [kg/m^3].
- A_f = área frontal del vehículo [m^2].
- V = velocidad lineal del vehículo [m/s].

2.2.1.2. Resistencia debido a la pendiente

Esta resistencia es la que se opone al avance del vehículo cuando está desplazándose en un tramo ascendente. Pero, si el automóvil está descendiendo esta sería impulsadora en lugar de resistente. Esta resistencia depende de la masa del vehículo

y el perfil de la calzada. Mientras mayor sea el ángulo de la pendiente, mayor será la resistencia que enfrente el vehículo para avanzar. Esta resistencia se ve compensada con una mayor potencia de motor. En la siguiente expresión se ve el cálculo de dicha resistencia:

$$Rg = m * g * \text{sen}(\theta) \qquad \text{Ec. (3)}$$

En donde:

- Rg = resistencia debida a la pendiente [N].
- m = masa del vehículo [kg].
- g = gravedad [m/s^2].
- θ = pendiente [rad].

2.2.1.3. Resistencia a la rodadura

La fuerza que resiste al movimiento, cuando un cuerpo se desliza sobre una superficie, se denomina resistencia a la rodadura. Básicamente esta resistencia depende de la deformación de las superficies de contacto. La fuerza es opuesta a la dirección de movimiento y es proporcional a la fuerza normal sobre la huella de la llanta.

A bajas velocidades, en pavimento duro, la resistencia a la rodadura es la mayor fuerza que se opone al movimiento. De hecho, la fuerza de arrastre se hace igual a la resistencia a la rodadura sólo a velocidades de 80 a 95 km/h. Por encima de este límite, la resistencia a la rodadura es menor a la fuerza de arrastre. Esta condición es una de las muchas en esta resistencia, ya que existen varios factores que influyen en esta fórmula y especialmente, en el coeficiente a la rodadura. (GILLESPIE, 1992).

Por lo tanto, una expresión final de la resistencia a la rodadura queda expresada de la siguiente manera, incluyendo el efecto de la pendiente sobre el peso:

$$R_x = f_r * m * g * \cos(\theta) \quad \text{Ec. (4)}$$

En donde:

- R_x = Resistencia a la rodadura [N].
- f_r = coeficiente de resistencia a la rodadura [adimensional].
- m = masa del vehículo [kg].
- g = gravedad [m/s^2].
- θ = pendiente [rad].

2.2.1.4. Resistencia debido a la inercia

Partiendo de la segunda ley de Newton, se establece que la aceleración de un objeto es proporcional a la fuerza (F), actuando sobre ella, e, inversamente proporcional a su masa (m). De aquí que esta resistencia aparezca debida a la masa del vehículo, y, a la aceleración del mismo, cuando se genera velocidad. (JÄGER & LIENKAMP, 2014).

$$R_i = m * a \quad \text{Ec. (5)}$$

En donde:

- R_i = resistencia debido a la inercia [N].
- m = masa del vehículo [kg].
- a = aceleración [m/s^2].

2.2.1.5. Fuerza en rueda

Como se ve anteriormente, la fuerza en rueda es la suma de todas las resistencias y fuerzas aerodinámicas que se oponen a la propulsión del automóvil. Esta fuerza debe satisfacer a todas las resistencias, para que el vehículo pueda avanzar. Al reemplazar los términos de las resistencias en la Ec. (1), tenemos la siguiente ecuación, expresada con todos los parámetros de los cuales depende el cálculo:

$$F_x = \left(\frac{1}{2} C_d \rho a A f V^2 \right) + (f r m g \cos(\theta)) + (m g \sin(\theta)) + (m a) \quad \text{Ec. (6)}$$

En esta ecuación, se observa que existen en total nueve variables o parámetros que se deben conocer para el cálculo de la fuerza en rueda. Estos nueve parámetros se pueden dividir en tres categorías: parámetros del vehículo, parámetros ambientales y parámetros de operación. Esta categorización se realiza para ordenamiento de ideas y diferenciación de los parámetros que se van a determinar. En la Tabla 2-1 se especifican los parámetros y la categoría a la que pertenecen:

Tabla 2-1. Categorización de parámetros.

Categoría	Parámetro
Vehículo	<ul style="list-style-type: none"> • Coeficiente de arrastre (Cd) • Área frontal del vehículo (Af) • Coeficiente de resistencia a la rodadura (fr) • Masa del vehículo (m)
Ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad del aire (ρ_a) • Gravedad (g)
Operación de vehículo	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad (V) • Pendiente (θ) • Aceleración (a)

A continuación se definen los parámetros en función de su categoría y se explica el método que se utiliza para determinar el valor de cada uno de ellos.

2.3. Parámetros del vehículo

Se sabe que cada automóvil tiene un diseño en particular. El tamaño, el peso, las medidas y la capacidad son diferentes en cada uno. En otras palabras, cada tipo de automóvil exhibe características propias, de las que derivan muchos tipos de parámetros vehiculares, diferentes según el diseño del automóvil. De estas características derivan estos parámetros: el coeficiente de arrastre (Cd), el área frontal del vehículo (Af), el coeficiente de resistencia a la rodadura (fr) y la masa total del vehículo (m). A continuación se detalla cada uno de estos parámetros, con sus técnicas de obtención y su metodología de aplicación.

2.3.1. Coeficiente de arrastre

El coeficiente de arrastre (C_d), se puede calcular mediante: túneles de viento, software CFD (Computational Fluid Dynamics, en español, Dinámica de Fluidos Computacional), o pruebas en pista. En los túneles de viento se presentan dos problemas: el fluido del campo y el modelado del plano de la carretera. Por otra parte, para obtener un C_d se puede obtener experimentalmente mediante una prueba de pista denominada, desaceleración en punto muerto. La forma de obtener los coeficientes de arrastre y de resistencia a la rodadura es mediante el ajuste de la curva experimental, obtenida mediante la prueba en desaceleración en punto muerto, y la curva calculada. En este método se recoge datos de velocidad por medio de un GPS. Las pruebas se ejecutan mediante la norma SAE J2263 y SAE J1263 realizando una prueba de desaceleración en punto muerto a partir de 120 km/h. Se debe tener en cuenta lo siguiente para realizar la prueba: la temperatura ambiente debe estar entre 5 y 35 °C; la velocidad del viento no deberá exceder los 16 km/h y los picos de velocidad no deberán ser mayores a 20 km/h. El promedio de la componente de la velocidad del viento paralela a la vía no deberá exceder los 8 km/h; la carretera debe estar seca, limpia, lisa y con una pendiente no superior al 0.5%; la superficie debe ser concreto o asfalto en buenas condiciones; la velocidad de donde se comienza la desaceleración libre dependerá del espacio plano de la carretera, pero el intervalo de velocidades deberá incluir 80 km/h. El vehículo de prueba debe tener como mínimo 500 km de recorrido; los neumáticos deben haber recorrido como mínimo 160 km y tener como mínimo 75% de su labrado; la presión de inflado de neumáticos debe ser la indicada por el fabricante. La velocidad del modelo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\frac{dV_{mi}}{dt} = \frac{-0.5C_d\rho_aAV_{e_{i-1}}^2 - frmg\cos\theta_{e_{i-1}} - mg\sin\theta_{e_{i-1}}}{M} \quad Ec. (7)$$

Para realizar los cálculos de ajuste de curvas es necesario conocer: área frontal (A), densidad del aire (ρ_a), gravedad (g), masa (m), pendiente experimental (θ_e) y

velocidad experimental (V_e). Para resolver la ecuación y obtener la velocidad del modelo se definen valores iniciales de C_d y f_r , estos valores deben ser cercanos a los valores esperados.

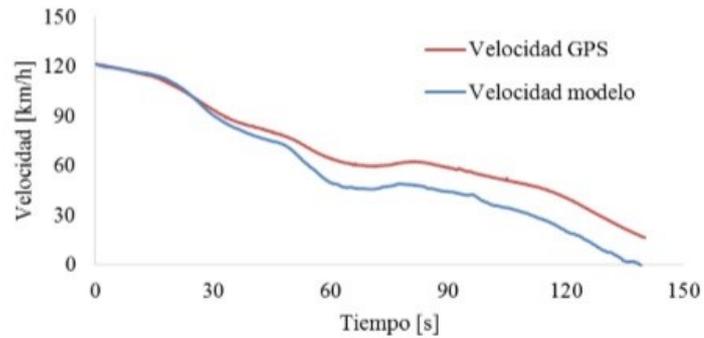


Figura 2.3. Datos de velocidad obtenidos de GPS y calculados.

Se procede a realizar el ajuste de las curvas utilizando la Ec. (7) modificando los valores de C_d y f_r . El ajuste de curvas se consigue iterando valores de C_d y f_r hasta que el modelo sea capaz de representar la curva experimental. Las técnicas para ajustar la curva pueden ser: mínimos cuadrados no lineales, Gauss Newton y Gradiente reducido Generalizado (GRG). Luego utilizando los valores iterados un intervalo de confianza, se obtienen los valores de C_d y f_r para los vehículos que se desea analizar. (CORDERO MORENO, 2015).

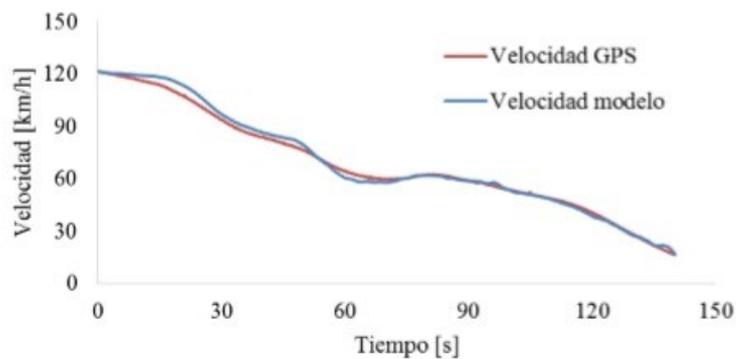


Figura 2.4. Ajuste de curvas con método GRG.

Dentro de esta tesis, estos cálculos no se realizan debido a problemas de presupuesto, de infraestructura, ausencia de programas y de automóviles que se deberían estudiar. Lo que en ella consta es el coeficiente de arrastre obtenido directamente del catálogo del fabricante. Existen algunos valores calculados que pueden servir como referencia. Estos valores se encuentran en la Tabla 2-2.

2.3.2. Área frontal del vehículo

Este parámetro, asimismo relacionado con el diseño del vehículo, puede ser obtenido directamente del catálogo del fabricante. Hay, sin embargo, otros métodos para la obtención aproximada de dicha área. Estos métodos son tomados de los libros: Ingeniería de Vehículos de Manuel Cascajosa y Teoría de Vehículos de carretera de Jo Yung Wong. A continuación se explica cada método, con referencia de sus autores.

✓ Método según Manuel Cascajosa

Este método utiliza las dimensiones de ancho y alto del vehículo para multiplicarlas por el factor 0,8 de aproximación. La fórmula para el área frontal, según este autor, es esta:

$$Af = a * h * 0,8 \quad Ec. (8)$$

En donde:

- a = ancho del vehículo [m].
- h = alto del vehículo [m].

✓ **Método según Jo Yung Wong**

Este método, por su parte, utiliza la masa del vehículo para su cálculo. Cabe recalcar que puede ser utilizada solamente en autos que pesen entre 800 y 2000 kg.

$$Af = 1,6 + 0,00056 (m - 765) \quad \text{Ec. (9)}$$

En donde:

- m = masa del vehículo [kg].

Tabla 2-2. Valores de coeficientes de arrastre y área frontal de vehículos de pasajeros.

Tipo de vehículo	Coeficiente de arrastre	Área frontal [m ²]
Autos pequeños		
Fiat Uno ES	0,33 - 0,34	1,83
Peugeot 205GL	0,35 - 0,37	1,74
VW Polo Coupe	0,39 - 0,40	1,72
Nissan Micra GL	0,40 - 0,41	1,78
Autos pequeño-mediano		
VW Golf GTI	0,35 - 0,36	1,91
VW Jetta GT	0,36 - 0,37	1,91
Mazda 323 1.5	0,41 - 0,43	1,78
Toyota Corolla 1300 DX	0,45 - 0,46	1,76
Autos medianos		
VW Passat CL	0,36 - 0,37	1,89
Honda Accord 1.8 EX	0,40 - 0,42	1,88
Nissan Stanza Notchback	0,41 - 0,43	1,88
Autos mediano-grande		
Audi 100 1.8	0,30 - 0,31	2,05
Mercedes 190E (1 90D)	0,33 - 0,35	1,9
BMW 51% (520i, 525e)	0,36 - 0,38	2,02
Saab 900 GLi	0,40 - 0,42	1,95
Volvo 740 GLE	0,40 - 0,42	2,16
Auto de lujo		
Saab 9000 Turbo 16	0,34 - 0,36	2,05
Peugeot 604 ST1	0,41 - 0,43	2,05
BMW 728i (73211735)	0,42 - 0,44	2,13
Autos deportivos		
Porsche 924	0,31 - 0,33	1,80
Renault Fuego GTX	0,34 - 0,37	1,82
VW Scirocco GTX	0,38 - 0,39	1,74
Toyota Celica Supra 2.8i	0,37 - 0,39	1,83

Fuente: (WONG, 2001).

Si bien estos dos métodos empíricos pueden servir para calcular un área frontal aproximada, lo mejor será obtener los valores directamente del fabricante o realizar la medición. Para obtener datos más exactos se utiliza el programa Autodesk Inventor Professional 2016. En él se modela el perfil de un automóvil, utilizando una imagen del mismo, y, referenciando las medidas que se pueden obtener del

fabricante. En la Figura 2.9 se muestra el perfil que se realiza del automóvil Renault Kangoo Z.E. Para hacer realidad este modelado se dan los siguientes pasos, dentro del programa de Inventor.

- 1) En el primer paso se obtiene una imagen del área frontal del vehículo. Es importante determinar sus longitudes referenciales, de manera que se logre un área frontal, con la mayor exactitud posible.



Figura 2.5. Área frontal Renault Kangoo Z.E.
Fuente: (The-blueprints.com, 2016).

2) Se abre un nuevo proyecto en la función de dibujar una parte nueva.

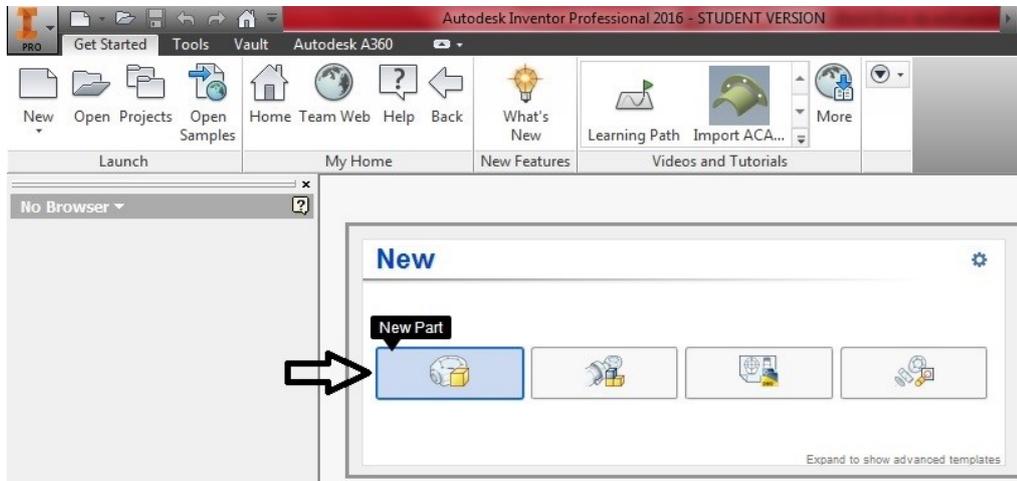


Figura 2.6. Opción de dibujo en Inventor 2016.

3) Una vez abierto el proyecto se comienza a trabajar en un sketch nuevo y se elige el plano donde se desea dibujar.



Figura 2.7. Opción Sketch Inventor 2016.

4) Cuando el programa está en la función sketch, aparecen varias opciones, entre ellas se elige la función de “Image” o “Imagen”, dependiendo del idioma en el que está configurado el programa. Al abrirse la pestaña, se dirige hacia la

ubicación donde está guardada la imagen del área frontal del vehículo y se la selecciona, para abrirla.

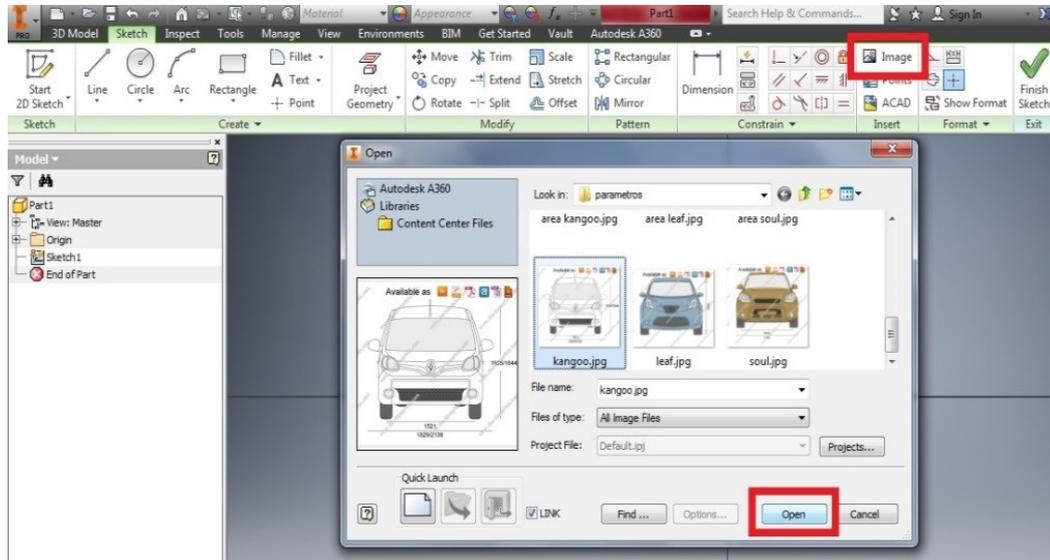


Figura 2.8. Importación de imagen.

- 5) Al insertar la imagen se ajusta el tamaño de la misma a las medidas referenciales que se tienen. Las longitudes de referencias se pueden dibujar para que sirvan de guía. Una vez ajustada la imagen se procede a modelar el perfil del automóvil.

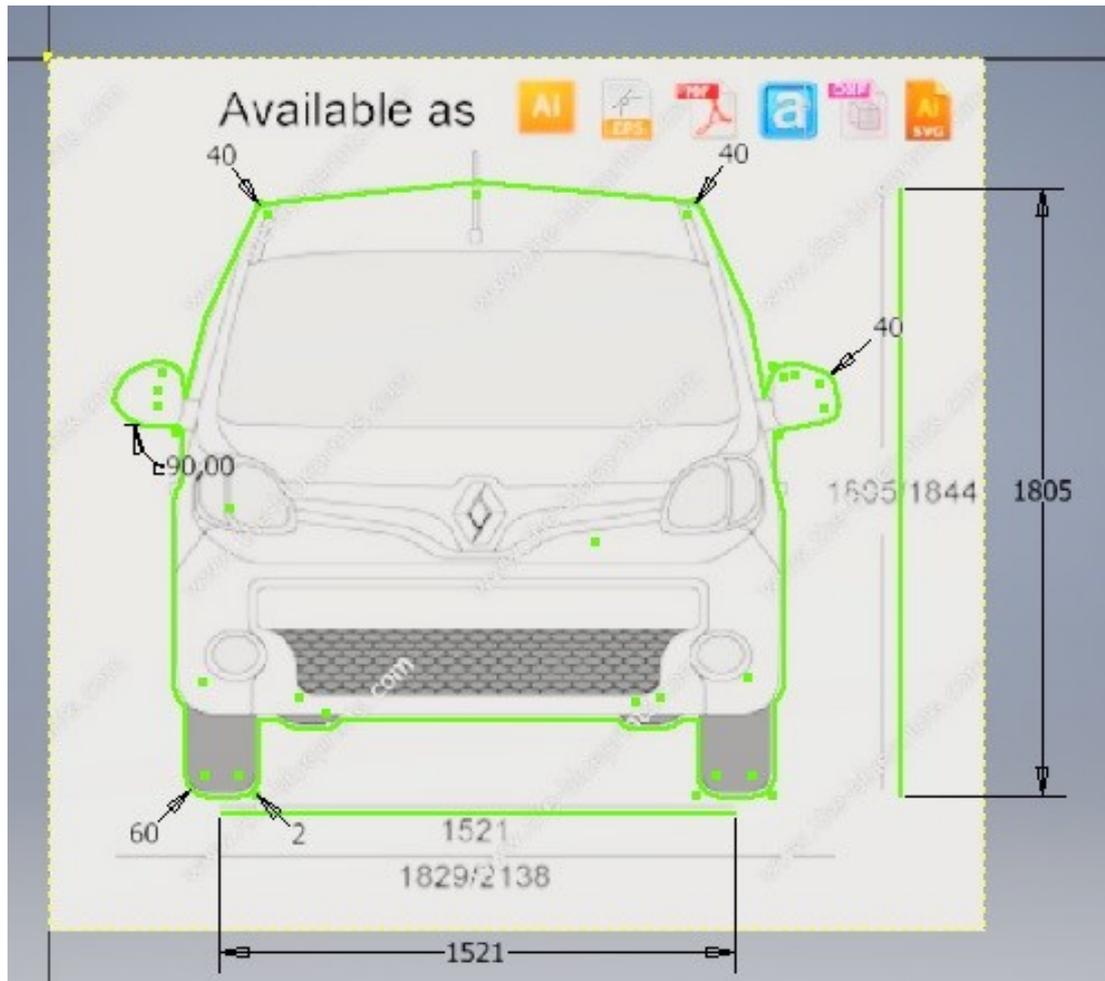


Figura 2.9. Perfil dibujado del área frontal.

- 6) Al terminar el dibujo del perfil del automóvil, en la barra de herramientas se coloca la opción “Inspect”. Cuando se abre esta opción, aparecen varias herramientas, entre ellas la de “Área”. Esta herramienta mide el área del perfil dibujado al seleccionarlo. En este caso se mide un área total de 2,8 m² del Renault Kangoo Z.E.

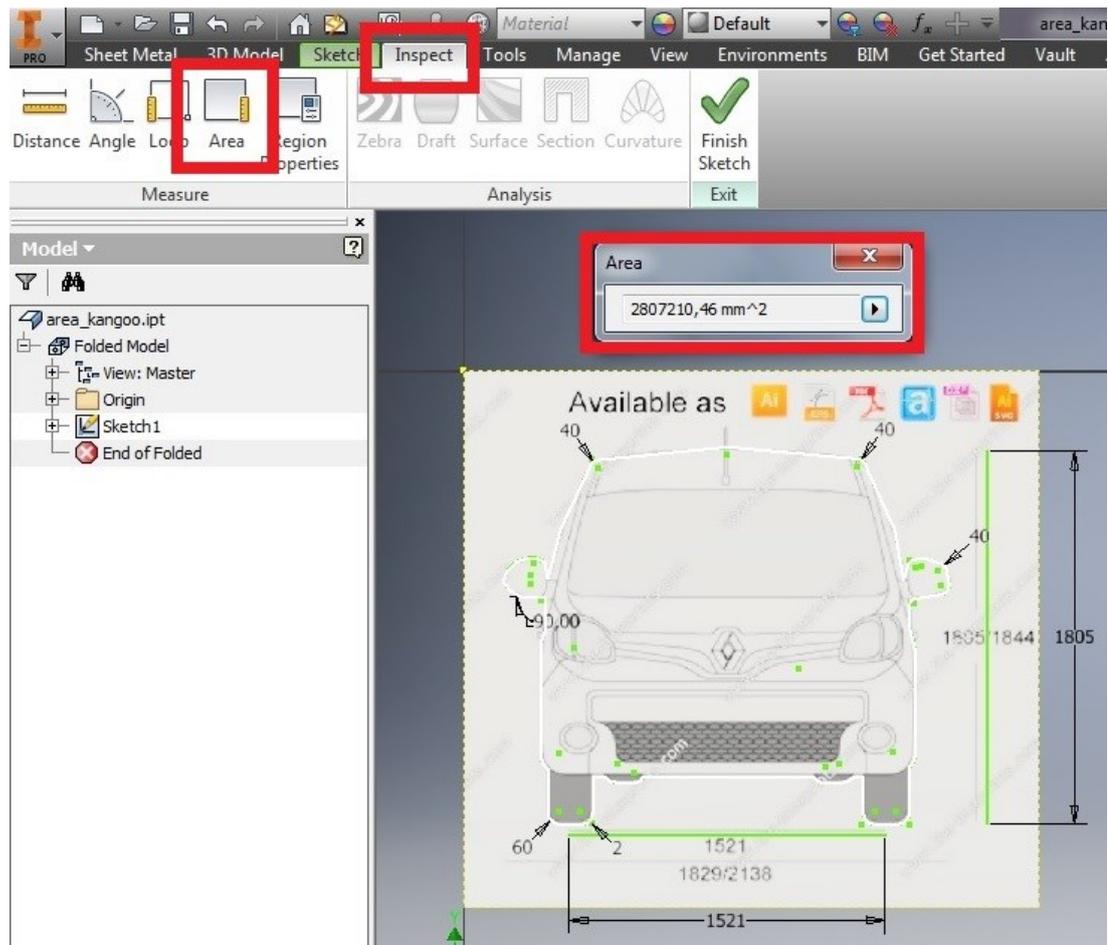


Figura 2.10. Área frontal Renault Kangoo Z.E.

2.3.3. Coeficiente de resistencia a la rodadura

El coeficiente de resistencia a la rodadura, es un factor adimensional que expresa los efectos de las propiedades físicas del neumático y el suelo. El valor de f_r no es constante, pues en él influyen varios factores tales como: la temperatura del neumático, el estado del suelo, el tipo de neumático, el radio del neumático y la presión de inflado, pudiéndose de forma empírica obtener un (f_r) en función de estas variables. Como se explicó en la sección del coeficiente de arrastre, el coeficiente de resistencia a la rodadura puede ser calculado mediante una prueba en pista. Los valores típicos de este coeficiente aparecen en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3. Coeficientes de rodadura.

Coeficientes de rodadura de acuerdo a tipo de calzada			
Tipo de Vehículo	Concreto	Tierra compacta	Tierra suelta
Turismo	0,015	0,08	0,30
Camiones pesados	0,012	0,06	0,25
Tractores	0,02	0,04	0,20

Fuente: (WONG, 2001).

Teniendo en cuenta que son múltiples los factores que afectan al coeficiente de resistencia a la rodadura, se hace prácticamente imposible pensar en una fórmula que toma en cuenta todas las variables. Antes de que un valor de coeficiente de resistencia a la rodadura pueda ser elegido para una aplicación particular, se debe establecer el grado de precisión que se requiere para los cálculos. Varias ecuaciones y gráficos se han generado para estimar la resistencia a la rodadura, a lo largo de los años. Con estos datos se puede calcular los valores del coeficiente en función de la presión de inflado, la velocidad, la temperatura, el material y el diseño.

✓ **Tablas y cálculo del coeficiente de resistencia a la rodadura en función del tipo de neumático y la velocidad**

La estructura del neumático tiene una influencia significativa en su resistencia a la rodadura. (GILLESPIE, 1992). La Figura 2.11 y Figura 2.12 muestran el coeficiente de resistencia a la rodadura a varias velocidades. También se muestra la gama de neumáticos para automóviles de turismo y camiones de estructura diagonal y radial, a presiones de inflado y carga nominales.

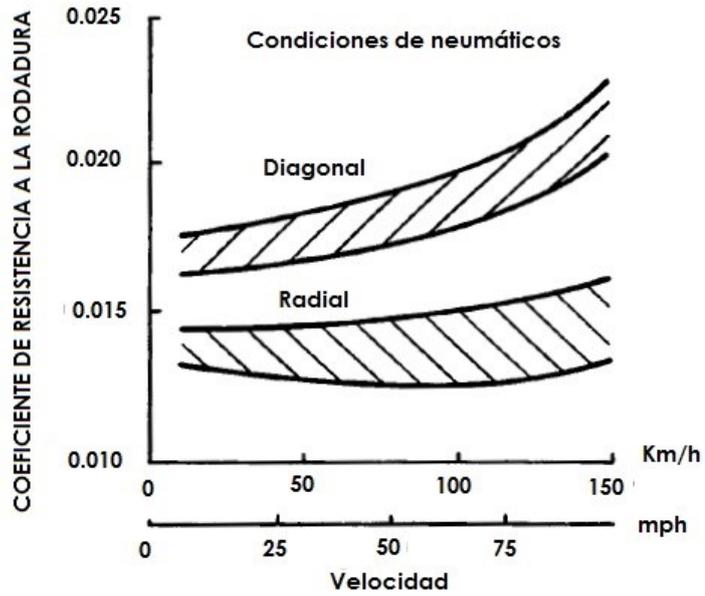


Figura 2.11. Variación del coeficiente de resistencia a la rodadura de neumáticos para automóviles de pasajeros de estructura radial y diagonales, en una carretera lisa plana, bajo carga y la presión de inflado nominal.
Fuente: (GILLESPIE, 1992).

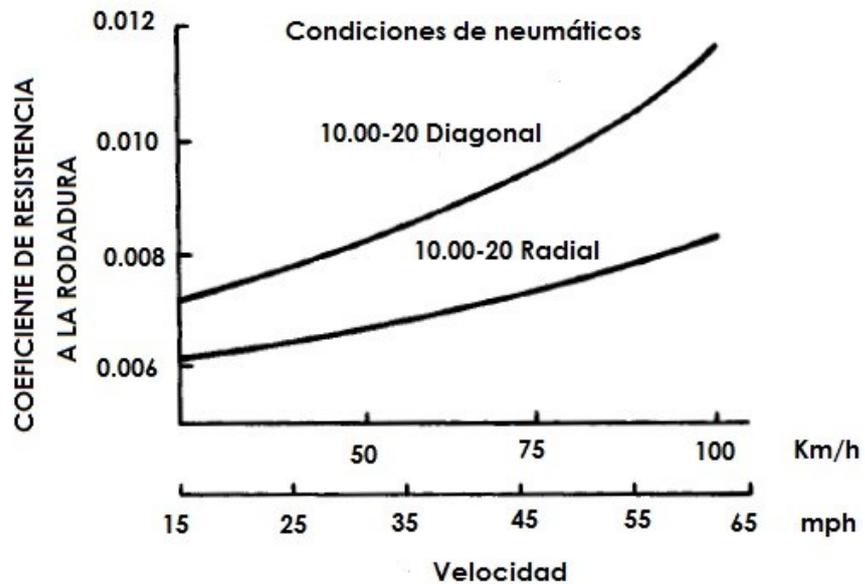


Figura 2.12. Variación del coeficiente de resistencia a la rodadura de neumáticos para camiones de estructura radial y diagonales, en una carretera lisa plana, bajo carga y la presión de inflado nominal.
Fuente: (GILLESPIE, 1992).

Para obtener datos más precisos se puede utilizar las siguientes ecuaciones que, según datos experimentales utilizando la Figura 2.11, dan lugar a las siguientes fórmulas para vehículos de pasajeros:

$$fr = 0,0136 + 0.40 * 10^{-7}(v)^2 \quad Ec. (10)$$

$$fr = 0,0169 + 0.19 * 10^{-6}(v)^2 \quad Ec. (11)$$

Por otro lado, para camiones, a partir de los resultados experimentales de la Figura 2.12, se obtienen las siguientes formulas:

$$fr = 0,006 + 0.23 * 10^{-6}(v)^2 \quad Ec. (12)$$

$$fr = 0,007 + 0.45 * 10^{-6}(v)^2 \quad Ec. (13)$$

- En todos los casos la velocidad se toma en km/h.

✓ **Coefficiente de resistencia a la rodadura en función de la presión de inflado y velocidad**

En superficies deformables, tales como arena, la presión alta de inflado aumenta el trabajo de penetración en el suelo y, por lo tanto, da lugar a un mayor coeficiente de resistencia a la rodadura. Por otro lado, menor presión de inflado, disminuye la penetración en el suelo, aumenta la deformación del neumático y disminuye el coeficiente. Todo lo contrario sucede cuando el auto se desliza por una superficie más dura. No existe la penetración del neumático en la calzada. Por lo tanto el fenómeno es inverso. A mayor presión de inflado, menor coeficiente de resistencia a la rodadura; y, a menor presión, mayor deformación de la rueda, mayor contacto con la superficie, y como consecuencia, mayor coeficiente de resistencia a la rodadura. La siguiente figura exhibe los comportamientos antes descritos.

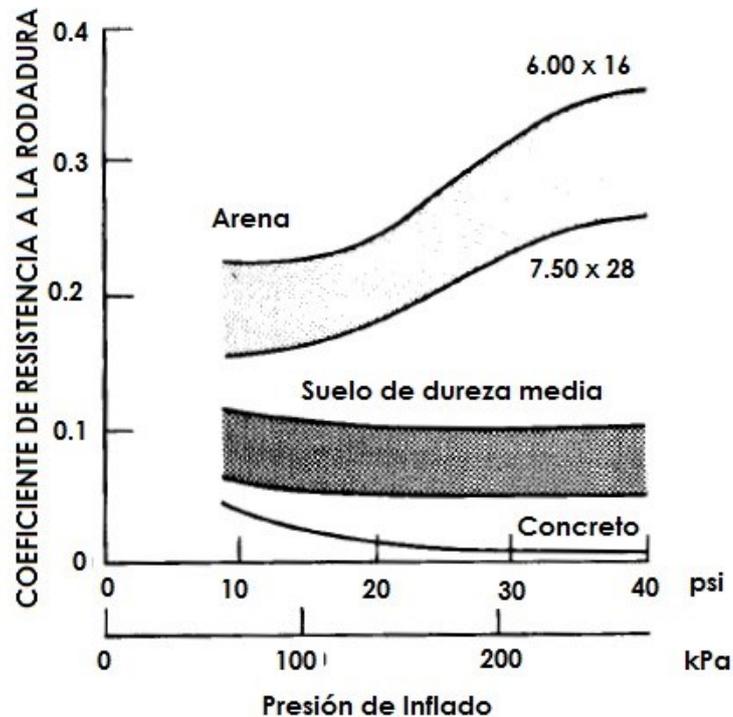


Figura 2.13. Variación del coeficiente de resistencia a la rodadura con la presión de inflado en varias superficies.

Fuente: (WONG, 2001).

✓ **Coefficiente de resistencia a la rodadura en función a la temperatura interna de la llanta y velocidad**

La temperatura del neumático afecta a la resistencia a la rodadura de dos maneras: una, cambiando la temperatura del aire del neumático, y, de este modo, cambiando la presión de inflado; y, la otra, cambiando la rigidez de los compuestos del caucho. La Figura 2.14 presenta la dependencia de la temperatura interna y la velocidad, en el coeficiente de resistencia a la rodadura.

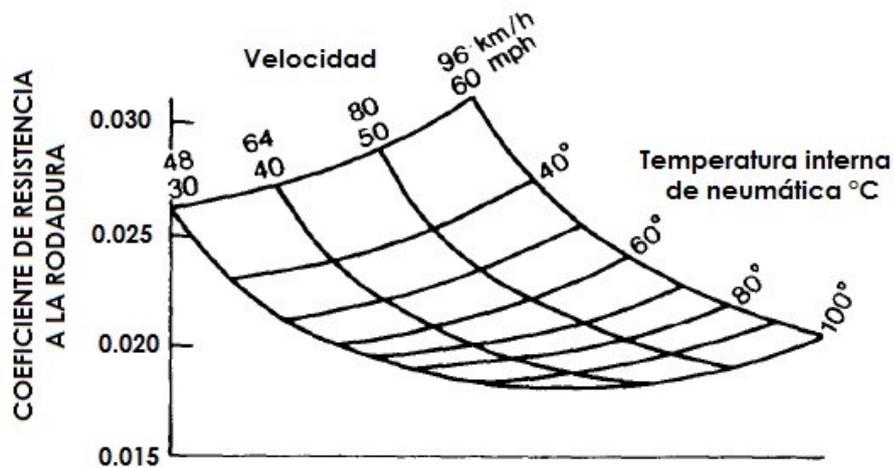


Figura 2.14. Efecto de la temperatura interna en el coeficiente de resistencia a la rodadura de un neumático de automóvil.
Fuente: (GILLESPIE, 1992).

✓ **Calculo de coeficiente de resistencia a la rodadura en función a la velocidad y a la presión de inflado**

El Instituto de Tecnología de Stuttgart ha desarrollado una ecuación para determinar el coeficiente de resistencia a la rodadura, a partir de la velocidad y la presión de inflado del neumático. Esta fórmula sólo se ocupa para calzada de concreto. (GILLESPIE, 1992).

$$f_r = f_o + 3,24 f_s \left(\frac{V}{100}\right)^{2.5} \quad \text{Ec. (14)}$$

Dónde:

- f_o = coeficiente básico.
- f_s = coeficiente del efecto de la velocidad.
- V = velocidad del auto en millas por hora.

Los coeficientes f_o y f_s se obtienen de la Figura 2.15.

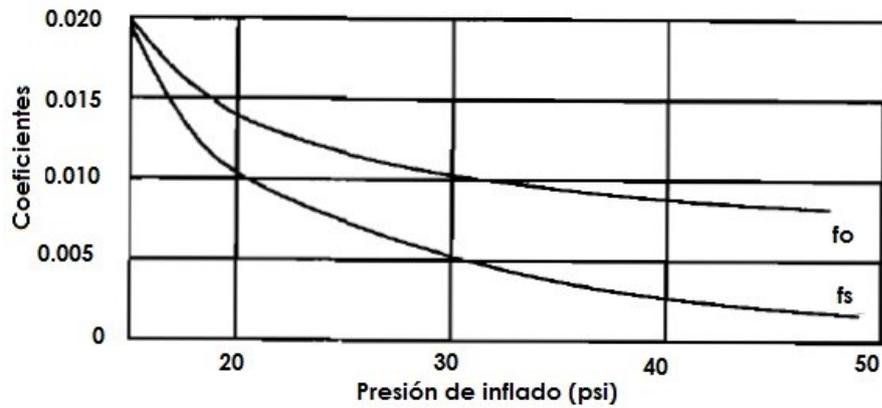


Figura 2.15. Coeficientes para la Ec. (14).
Fuente: (GILLESPIE, 1992).

En el presente estudio se utiliza este método para obtener un f_r , en función de la presión de inflado nominal de cada uno de los automóviles analizados.

2.3.4. Masa del vehículo

La masa del vehículo también depende del diseño, tamaño y componentes que este tenga. El método más efectivo para determinar esta variable es realizar un pesaje del automóvil con balanzas especiales. Pero, como se ha dicho anteriormente, no se cuenta con los automóviles; por lo tanto no se aplicará el método. En consecuencia, se obtienen las capacidades máximas de carga de cada vehículo, a partir de los datos de fabricante.

2.4. Parámetros ambientales

Los parámetros ambientales dependen de las características del entorno de la región en donde se realiza el estudio. Por ejemplo, un parámetro ambiental es la densidad del aire, densidad que se utiliza en el cálculo de la fuerza de arrastre; densidad que varía por la temperatura y presión atmosférica. De este modo, se busca valores de los parámetros ambientales que reflejen el entorno en el que se quiera realizar el estudio. Dentro de los parámetros ambientales para calcular la fuerza en rueda, están la gravedad y densidad del aire, mencionada en el párrafo anterior, como ejemplo. Como estas variables dependen de factores ambientales, se puede utilizar los siguientes métodos, para cálculo del valor aproximado de estas condiciones, en las rutas de análisis.

2.4.1. Densidad del aire

Debido a que la densidad es una variable que depende de las condiciones atmosféricas: temperatura, presión y humedad, conociendo estas condiciones del camino, se puede obtener una densidad más precisa utilizando la siguiente expresión derivada de la Ley de los gases ideales:

$$PV = mRT \qquad \text{Ec. (15)}$$

Fuente: (CENGEL & BOLES, 2009).

En donde:

- P = Presión atmosférica [Pa].
- V = volumen [m^3].
- m = masa [kg].
- R = constante universal de los gases ideales. En este caso aire 0,287 [KJ/Kg*°K].
- T = temperatura [°K].

Sabemos que la densidad se expresa en masa sobre volumen. Por lo tanto, desde la anterior ecuación se puede calcular la densidad del aire en función de la presión atmosférica, constante universal de los gases ideales y la temperatura, quedando así la expresión final:

$$P = \frac{m}{V}RT \quad \text{----->} \quad \rho_a = \frac{P}{RT} \quad \text{Ec. (16)}$$

De esta manera se calcula la densidad del aire para las rutas fijas establecidas. En donde:

- ρ_a = densidad del aire [kg/m^3].
- P = presión atmosférica [kPa].
- R = constante de gases ideales, en este caso 0,287 [kPa m^3/kg °K].
- T = temperatura de aire [°K].

2.4.2. Gravedad

La gravedad es considerada como una constante universal, constante que no varía con respecto a la posición global. Pero, en realidad la gravedad si tiene variación en función de la altitud en donde se está posicionado. En otras palabras, la gravedad a nivel del mar es diferente a la gravedad en el monte Everest que se encuentra a 8848 metros sobre el nivel del mar. Para calcular la diferencia de gravedad en función de la altitud, existe una ecuación que se ha obtenido del libro (SERWAY & Jewett Jr, 2014). Esta ecuación se deriva de la ley de gravitación universal de Newton, siendo su expresión la siguiente:

$$Fg = g = \frac{G * m}{(R + h)^2} \quad \text{Ec. (17)}$$

Fuente: (SERWAY & Jewett Jr, 2014).

En donde:

- G = Constante de gravitación universal, 6,673E-11 [N*m²/kg²].
- m = masa de la tierra, 5,972E+24 [kg].
- R = radio de la tierra, 6371000 [m].
- h = altitud [m].

2.5. Parámetros de operación del vehículo

Finalmente, dentro de esta categoría, los parámetros a los que se hace referencia son: la velocidad (v), la pendiente (θ) y la aceleración (a). Para poder obtener estas tres variables, se realiza un ciclo de conducción representativo de las rutas fijas

establecidas. A continuación se especifica lo que es un ciclo de conducción, y, su importancia para la obtención de los parámetros antes mencionados.

2.5.1. Ciclo de conducción

Un ciclo de conducción es el comportamiento de la velocidad del vehículo en función al tiempo. Esto implícitamente representa los patrones típicos de manejo en una ruta. En la Figura 2.16, podemos ver un ejemplo de la gráfica velocidad-tiempo.

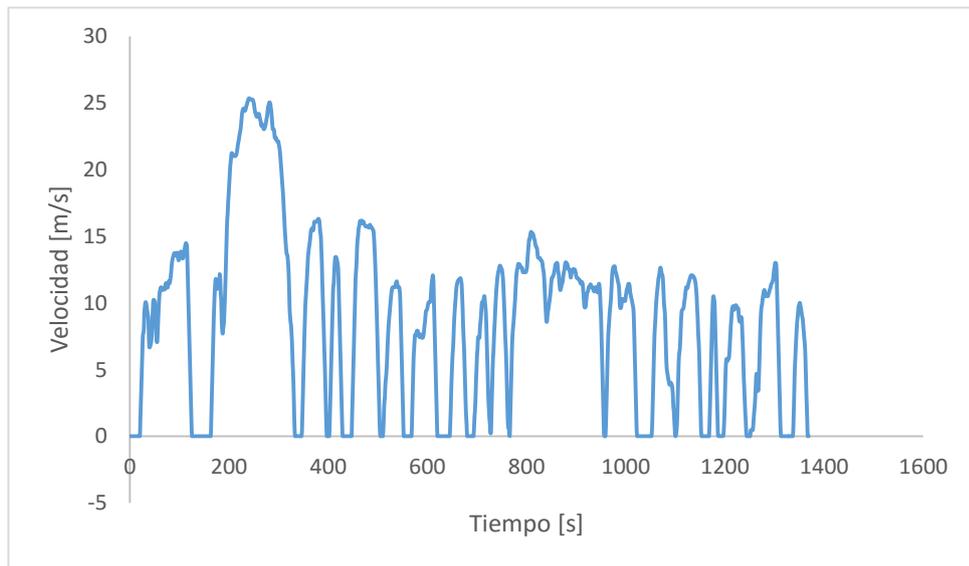


Figura 2.16. Ciclo de conducción UDDS.
Fuente: (EPA, 2016).

2.5.1.1. Tipos de ciclos de conducción

✓ Ciclos estacionarios

Estos ciclos son una compilación de los períodos de aceleración y velocidad constante, en una recta constante; no representan un comportamiento de conductores reales. Como ejemplos de este tipo de ciclo están la norma europea NEDC o el ciclo japonés 10-15. El ciclo NEDC se compone de dos tramos; ciclo urbano y extraurbano. El ciclo urbano, se representa con cuatro veces el ciclo ECE-15 Figura

2.17, con aceleraciones excesivamente suaves; y, el tramo extraurbano, con el ciclo EUDC Figura 2.18.

Características del ciclo NEDC:

- Tiempo: 1180 segundos
- Velocidad media: 33,6 km/h
- Distancia recorrida: 11 km

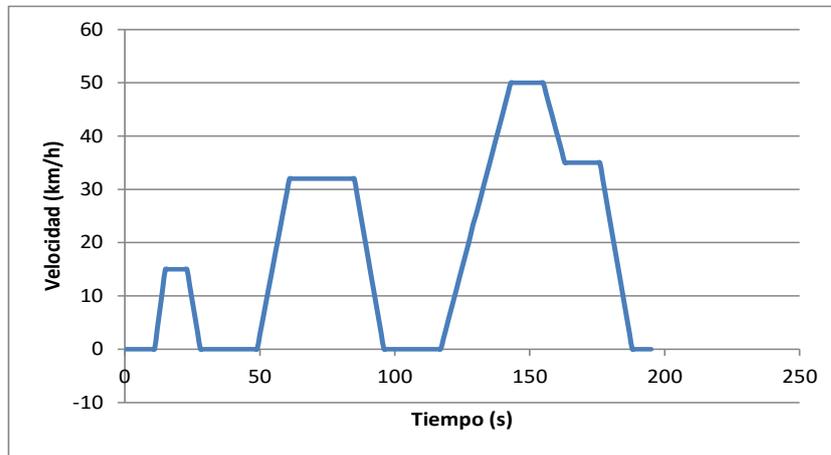


Figura 2.17. Ciclo ECE-15.
Fuente: (EPA, 2016).

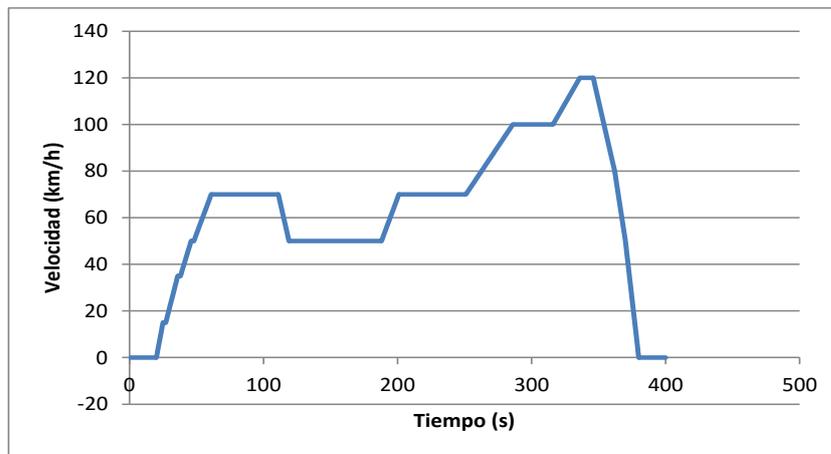


Figura 2.18. Ciclo EUDC.
Fuente: (EPA, 2016).

✓ Ciclos transitorios

Estos ciclos muestran una compilación de velocidades y aceleraciones variables. La ventaja de estos ciclos es que expresan el comportamiento real de los conductores en las vías. Un ejemplo de este tipo de ciclos es el FTP-75, expuesto en la Figura 2.19. Este ciclo fue creado en la ciudad de Los Ángeles, mostrando el comportamiento típico del conductor, únicamente dentro de esa ciudad. Este ciclo, sin embargo, es utilizado para la homologación vehicular dentro de los Estados Unidos. El ciclo en referencia, se divide en tres fases: arranque en frío, fase transitoria y arranque en caliente. La primera fase es idéntica a la última con la diferencia de que en la última fase, el motor está caliente. Su tercera fase inicia con el motor en caliente a lo largo de 776 segundos y con una velocidad máxima de 95 km/h.

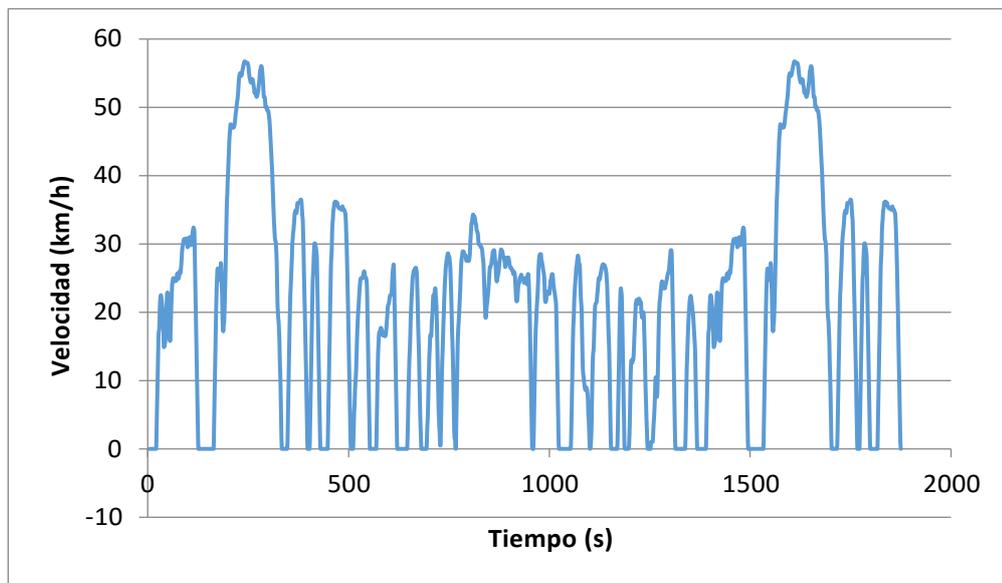


Figura 2.19. FTP-75.
Fuente: (EPA, 2016).

2.5.2. Importancia de los ciclos de conducción

En varios lugares del mundo el ciclo de conducción es utilizado, principalmente, para la homologación de vehículos que van a ser comercializados dentro del país. El ciclo

ayuda a analizar el consumo y las emisiones contaminantes, de manera que estas no superen las normas de cada país. Finalmente, y dentro del tema ciclos de conducción, para el cálculo de la fuerza en rueda deben ser referidas la velocidad, la pendiente y la aceleración. De esta manera también logramos representar las condiciones reales de manejo dentro de las rutas especificadas. Como podemos observar, en un ciclo de conducción, la velocidad es la variable que, de manera implícita, demuestra el comportamiento típico del conductor en la vía. Si se logra obtener el ciclo de conducción de las vías especificadas, se puede utilizar la velocidad para el cálculo de la fuerza en rueda en condiciones reales.

2.5.3. Metodología para la selección de un ciclo representativo

La metodología que se utiliza para obtener un ciclo de conducción representativo de las vías, estuvo basada en la tesis de maestría de la ingeniera Karem Cedillo, realizada en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Toluca. En ella se determina un ciclo de conducción representativo de la vía Toluca-México D.F, a partir de recolección de datos con GPS. Se utiliza este método debido a que, en el trabajo, se analiza el ciclo de conducción, en función del consumo de combustible en condiciones reales de manejo y además, toma en cuenta la variación de la pendiente en las vías de estudio. A continuación se especifican los pasos que Cedillo ejecutó y se asocian a nuestro trabajo.

1) Selección de vías

En el trabajo de Cedillo selecciona como vía de estudio, la ruta Toluca-México D.F. En este trabajo las vías de estudio son dos rutas interprovinciales del Austro ecuatoriano (Figura 2.20): Cuenca – Loja (Figura 2.21) y Cuenca – Machala (Figura 2.22). El análisis se realiza de la siguiente forma Cuenca – Loja, Loja – Cuenca, Cuenca – Machala y Machala – Cuenca.



Figura 2.20. Austro Ecuatoriano.
Fuente: (Gray Line, 2016).

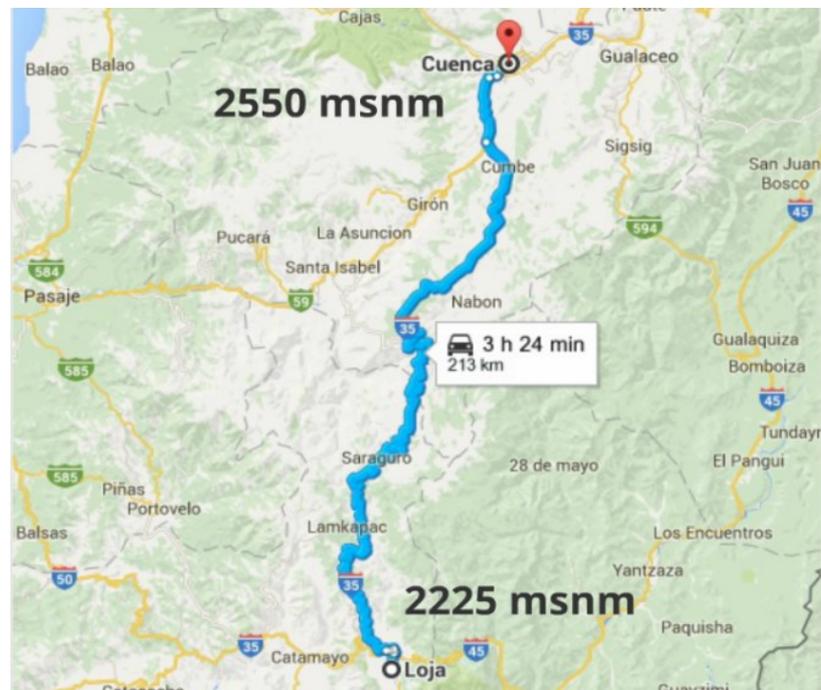


Figura 2.21. Vía Cuenca – Loja.
Fuente: (Google Maps, 2016).

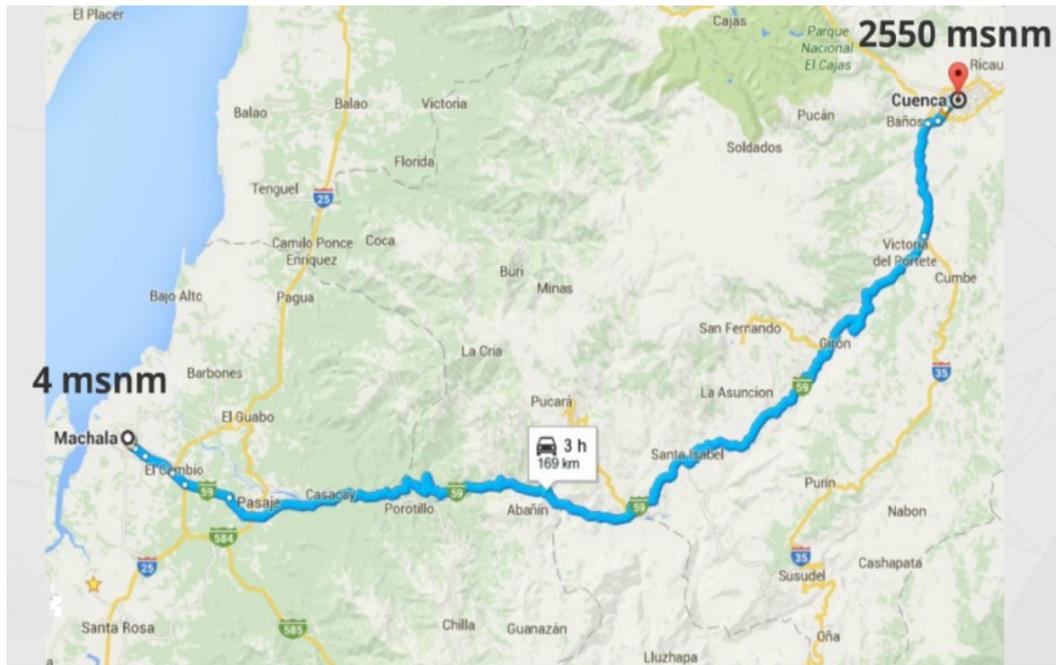


Figura 2.22. Vía Cuenca – Machala.
Fuente: (Google Maps, 2016).

2) Instrumentación del vehículo

La instrumentación es de suma importancia, ya que, a partir de ella, es posible obtener datos de dos variables principales, la velocidad y la altitud, que son parte de los parámetros necesarios para el desarrollo del presente trabajo. Los datos se toman de forma continua, es decir, en intervalos de tiempo de un segundo, con el fin de conocer el comportamiento del vehículo en las condiciones reales de funcionamiento. Con estos datos se desarrollan los perfiles de velocidad contra el tiempo o, en otras palabras, los ciclos de conducción. El instrumento seleccionado en este trabajo es el mismo utilizado por Karem Cedillo. El dispositivo GPS es de marca Qstarz y modelo BT-Q1000XT. En la Tabla 2-4 se describe las ventajas y desventajas que tiene el dispositivo GPS, en relación a la recolección de datos de altura y velocidad.

Tabla 2-4. Ventajas y desventajas en la medición de las variables requeridas de un dispositivo GPS.

Variable	Ventajas	Desventajas
Velocidad	Permite la medición instantánea de la variable.	Pérdidas de señal en pasos a desnivel y puentes.
Altitud	No requiere instrumentación complicada, se basa en la colocación del dispositivo.	Desventajas similares a la variable de velocidad. Además disminuye la exactitud en la medición de altitud al no contar con puntos de ajuste. El método para compensar errores de medición y disminuirlos es en base a latitud y longitud.

Fuente: (CEDILLO SÁNCHEZ, 2013).

Tabla 2-5. Especificaciones del Equipo GPS.

Equipo	Marca	Modelo	Características	Condiciones dinámicas
GPS	Qstarz	BT-Q1000XT	Posición: 3,0 m 2D-RMS Exactitud: < 3m CEP (50%) Error relativo Frecuencia: 1Hz	Altitud < 18000m Velocidad < 515 m/s Aceleración < 4g

Fuente: (CEDILLO SÁNCHEZ, 2013).

Para seleccionar este instrumento de medición, Cedillo realizó pruebas para obtener el error de los datos obtenidos del dispositivo. Las pruebas que se efectúan son las del error 2D-RMS (Root Mean Square) y CEP (Circular Error Probability) en el

plano horizontal-vertical, y, un error de datos de altitud. La notación 2D-RMS y CEP significa que el error aleatorio de medición se produce en dos dimensiones: latitud y longitud. Para calcular estos errores Cedillo recolecta datos con el GPS en una posición estática. Con esto ella concluye que existe una variación y dispersión de los datos recolectados. Incrementando el error de medición del GPS registrando su ubicación. Al realizar los cálculos del CEP y 2D-RMS obtuvo un error relativo próximo al 34% con respecto a la variable CEP, y, una mayor variación, con respecto a la variable 2D-RMS. Para el caso de los valores de altitud, se realiza una prueba con los datos obtenidos. En este caso, el error fue de mayor magnitud al tener un rango promedio de 56,47 metros. Este error se debe a la falta de ajuste en las mediciones de latitud y longitud, además de las pérdidas de señal que se generan. Y, por último, porque el dispositivo GPS no tiene un ajuste a la variable de altitud.

Su propuesta para recolectar datos precisos es evitar la obstrucción de la señal, de manera que tenga panorama libre hacia los satélites de referencia, evitando obstáculos como edificios, árboles, cables, cercas, vallas, etc. De ahí que instala el dispositivo en una zona despejada del automóvil en el que realizan los viajes experimentales. Otra modalidad de investigación que utiliza Cedillo, para compensar los errores generados por el GPS, es aplicar la técnica de “suavizamiento” de datos. Para realizar esta técnica, se ocupó la herramienta Cubicsplines del software Excel. Dicho “suavizado”, en el presente trabajo se logra mediante las técnicas: Cubicsplines de Excel y la función Smooth de Matlab. Esto se explica de forma más específica en el capítulo 3.

3) Recolección de datos

Este paso se define la logística para la recolección de datos, con el siguiente procedimiento: selección del conductor, colocación de instrumentos de medición, almacenamiento de la información obtenida del GPS y resguardo de la misma.

I. Selección del conductor

En la tesis de Cedillo, ella selecciona un conductor denominado “Usuario cotidiano”. En él se dan las condiciones de desempeño de un conductor común. Asimismo, en el presente trabajo, también se refiere un conductor de la misma categoría, con un objetivo: reproducir las condiciones de manejo que reflejen patrones de conducta, típicos de un chofer común y corriente, dentro de las rutas fijas establecidas.

a. Conductor para la ruta Cuenca-Loja y Loja-Cuenca

El conductor designado en esta ruta, es el señor Ramón Tenesaca de la empresa de transportes EcuVan Tours. Dentro de la empresa trabaja realizando viajes en las rutas especificadas, brindando servicio de transporte a personas.

b. Conductor para la ruta Cuenca-Machala y Machala-Cuenca

Para esta ruta el conductor designado es el señor Rigoberto Zalamea, de la empresa de transportes Tinamú Tours. Asimismo realiza viajes en las rutas especificadas brindando servicio de transporte de pasajeros.

II. Colocación de instrumentos de medición

Siguiendo la metodología, se coloca el dispositivo GPS en un lugar estático del vehículo y sin interferencias. La posición en donde se ha colocado el GPS, ha sido en la parte media del tablero. Entre el conducto del desempañador del parabrisas y el parabrisas.

III. Almacenamiento de información

Aunque en la metodología en la que se ha basado este procedimiento, se estableció una frecuencia de descarga de datos de GPS, con base en la capacidad de almacenamiento, duración de batería y software, sin detallar el tiempo de dicha descarga, para el presente trabajo se procede a la descarga de datos los días domingos. Esta recopilación de datos y su almacenamiento aparecen especificados, con más detalle, en el capítulo 3.

4) Selección del ciclo representativo con el método de mínimas diferencias ponderadas

Una vez obtenidos todos los valores de los ciclos de conducción realizados con el GPS, Cedillo desarrolla una metodología para seleccionar un ciclo que represente a todos los ciclos obtenidos, metodología que se utiliza en el presente trabajo. Para la selección de un ciclo representativo la metodología propuesta disminuye el número de datos obtenidos que, en su caso, son aproximadamente 6000 por ciclo, a ocho parámetros que caracterizan cada ciclo. Los ocho parámetros característicos resultantes, surgen de la dinámica de los vehículos y de un estudio estadístico, en el que realiza varias pruebas para obtener los parámetros que más contribuyen al consumo de combustible. En la Tabla 2-6 se especifican los parámetros característicos, obtenidos por Cedillo, con su respectivo valor de peso relativo. Los valores obtenidos fueron determinados mediante una regresión múltiple, de manera que representen la influencia de cada parámetro, en función a la variable independiente, que, en el caso de Cedillo, es el consumo de combustible.

Tabla 2-6. Parámetros característicos.

Parámetros característicos	Peso relativo
v _{senθ} promedio	0,372
Tiempo ralenti (s)	0,276
Pendiente promedio (°)	0,142
v ³ promedio	0,099
a+ v promedio	0,086
Aceleración máxima (m/s ²)	0,009
Número de paradas	0,009
Altura máxima (m)	0,007

Fuente: (CEDILLO SÁNCHEZ, 2013).

Una vez definidos los parámetros característicos y sus pesos relativos, se realiza la selección del ciclo representativo mediante el método de mínimas diferencias ponderadas. El método empleado consiste en escoger el ciclo cuyos parámetros característicos más, el valor de ponderación, haga de él el más próximo al promedio de los recorridos realizados. La ecuación que se utiliza es:

$$y = \arg \min_j \left(\sum_i W_i \operatorname{abs} \left(\frac{P_{i,j} - \bar{P}_i}{\sigma_i} \right) \right) \quad \text{Ec. (18)}$$

Fuente: (CEDILLO SÁNCHEZ, 2013)

En donde:

- $P_{i,j}$ es el valor del parámetro i para el ciclo j
- W_i = el peso relativo.
- σ_i = la desviación estándar de la muestra del parámetro i .

Dentro de esta ecuación, se utiliza la estandarización de datos, con el fin de que, la sumatoria de la multiplicación de los pesos relativos por el valor del parámetro, no tenga unidad. En otras palabras, esto se realiza para eliminar toda posible afectación con respecto a la importancia relativa de cada una de las variables independientes, al tener unidades de medida diferentes.

La razón por la que se utiliza la estandarización de datos, es debida a que los pesos relativos son obtenidos mediante una regresión múltiple. Al ajustar los modelos de regresión es recomendable codificar las variables independientes cuantitativas (parámetros característicos de cada viaje). Por ejemplo, si una de las variables en el análisis de regresión es el tiempo ralenti, y tenemos tres muestras, medidas en segundos con los valores: 50, 100 y 150 segundos, se logra codificar las mediciones del tiempo ralenti mediante la fórmula:

$$x = \frac{P_{i,j} - \bar{P}_i}{\sigma_i} \quad \text{Ec. (19)}$$

En donde:

- x = parámetro estandarizado
- $P_{i,j}$ = es el valor del parámetro i para el ciclo j
- σ_i = la desviación estándar de la población del parámetro i

Así los valores estandarizados quedan de la siguiente manera: -1.22; 0; 1.22, que corresponden a los niveles originales de las mediciones antes mencionadas.

CAPÍTULO III

ADQUISICIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL VEHÍCULO

En este capítulo se describe la obtención de los datos de operación, a partir de los ciclos de conducción, con la metodología descrita en el capítulo 2.

3.1. Recolección de datos y procesamiento de información

Como se detalla en la parte de instrumentación del capítulo 2, se equipa con dispositivos GPS a dos vehículos de las compañías de transporte ya mencionadas. Estos realizan recorridos a Loja y a Machala. El dispositivo GPS se coloca de forma estacionaria en la cavidad delantera del vehículo, para facilitar y evitar interferencias de señal. Cada semana se realiza la descarga de información del dispositivo GPS, de la siguiente manera: se retira el dispositivo de la compañía de transporte cada domingo a las seis de la tarde, y, se entrega, los lunes a las siete de la mañana. El tiempo de recolección de datos tuvo una duración aproximada de cuatro meses: desde el mes de noviembre del 2015 hasta el mes de marzo del 2016. Para descargar la información, se emplea el software propio del dispositivo GPS Qtravel; software que se muestra en la Figura 3.1.

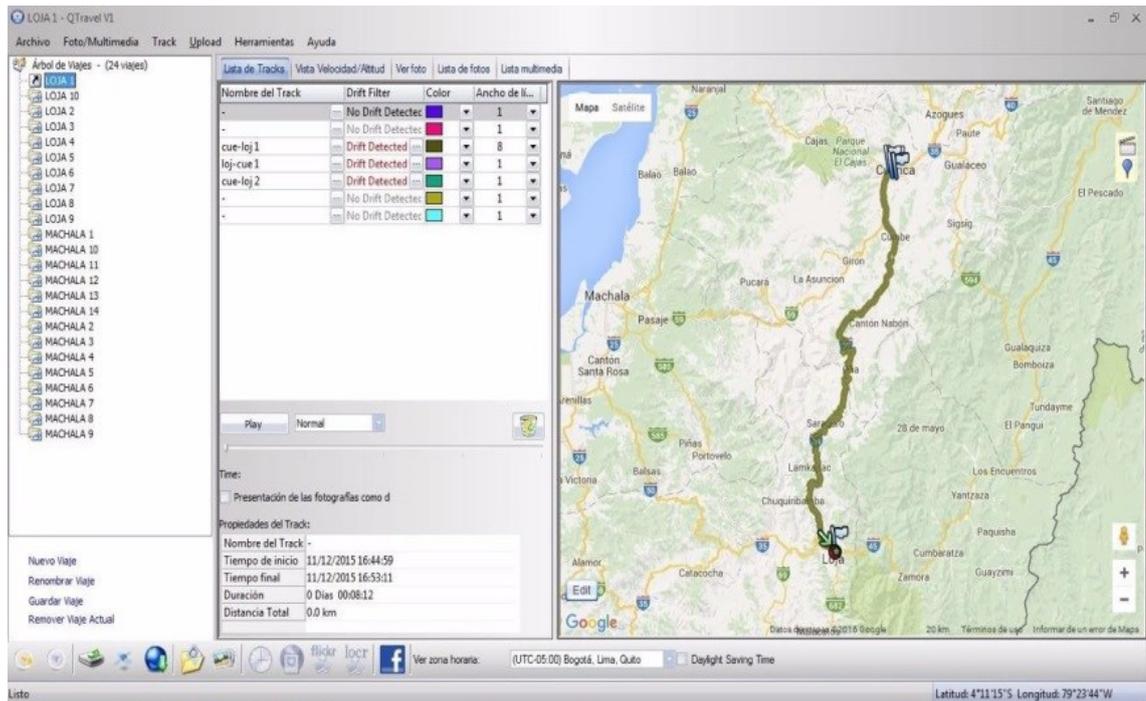


Figura 3.1. Software Qtravel empleado en la adquisición de datos.

Una vez descargada la información de los recorridos realizados, se genera un archivo en formato ITM con toda la información de los recorridos realizados en ese viaje. Un archivo ITM es aquel que guarda información de datos recolectados por un GPS, con el fin de que pueda servir de respaldo de información, además de que su información pueda ser visualizada por otros softwares de GPS. Cada archivo contiene un informe de los viajes realizados por semana, de los cuales se escogen los que están completos. Los viajes completos son aquellos que no tienen interferencias desde el punto de salida y el punto de llegada. Es decir, que todos los datos de las variables que registra el GPS estén completos cada segundo de recolección de datos. Esto se realiza con ayuda del mapa satelital, que muestra el propio software. Los viajes completos, referidos con las abreviaturas, son identificados punto por punto. Los viajes que se evidencian incompletos, son identificados con un guion, como se muestra en la Figura 3.2.

Nombre del Track	Drift Filter	Color	Ancho de lí...
-	No Drift Detected	Blue	1
-	No Drift Detected	Red	1
cue-loj 1	Drift Detected	Black	8
loj-cue 1	Drift Detected	Purple	1
cue-loj 2	Drift Detected	Green	1
-	No Drift Detected	Yellow	1
-	No Drift Detected	Cyan	1

Figura 3.2. Archivo ITM donde muestra viajes completos e incompletos, Qtravel.

Este software tiene una herramienta denominada “Raw Data Manager”, empleada para crear archivos en Excel, con la información contenida en cada archivo ITM. En estos archivos Excel se realiza la separación de datos, los cuales se encuentran delimitados por punto y coma. Esta separación se la realiza de la siguiente forma:

- Se reemplazan las “comas” por “punto y coma” y los “puntos” decimales por “comas” decimales.
- Una vez reemplazados los signos, se procede a dividir toda la información en columnas por medio de separación en columnas de “punto y coma”.

Realizado esto con todos los archivos Excel, se identifica, en cada uno de ellos, los viajes completos, sirviendo como guía de información la siguiente tabla de Propiedades del Track de cada viaje, como se observa en la Figura 3.3.

Propiedades del Track:	
Nombre del Track	cue-loj 1
Tiempo de inicio	12/12/2015 11:37:59
Tiempo final	12/12/2015 15:04:02
Duración	0 Días 03:26:03
Distancia Total	209.6 km

Figura 3.3. Información de las propiedades del viaje Cuenca - Loja 1, Qtravel.

Identificado cada viaje completo, se recorta toda la información a ellos referida y se guarda de manera individual en otros archivos Excel, cuyos nombres tienen un formato, que ayuda a su ubicación. Ejemplo CL1 (121215_1157). El primer dato, representa la primera letra de la ciudad de donde comenzó el viaje. El segundo dato, representa la primera letra de la ciudad donde finaliza el viaje. El tercer dato, representa el número de viaje realizado. Y por último, dentro del paréntesis se coloca la fecha en la que se realizó el viaje con el orden día-mes-año, separando con un guion bajo la hora y el minuto en los que comenzó el recorrido. Dentro de los archivos de resguardo de cada uno de los viajes se encuentra la siguiente información:

Tabla 3-1. Datos recopilados de GPS para resguardo en Excel.

Fecha (dd:mm:aa)	Hora (hh:mm:ss)	Tiempo (s)	Latitud (N/S)	Longitud (W/E)	Altitud (m)	Velocidad (km/h)
---------------------	--------------------	------------	------------------	-------------------	-------------	---------------------

A los datos de velocidad que tiene la unidad de km/h (kilómetros por hora) se cambia a m/s (metros por segundo), con el propósito de trabajar con estas unidades. De cada viaje, con los datos de altitud (m) y velocidad (m/s) se efectúan un “suavizamiento”, empleando la función Smooth que se encuentra en el software matemático Matlab, con el propósito de corregir posibles errores creados por el GPS y evitar picos excesivos de las variables de aceleración y pendiente. De esta función Smooth se obtiene datos de altitud (m) y velocidad (m/s) “suavizados”, los cuales son guardados en los archivos de los viajes, quedando la información final de la siguiente manera:

Tabla 3-2. Archivo Excel de respaldo final.

Fecha (dd:mm:aa)	Hora (hh:mm:ss)	Tiempo (s)	Latitud (N/S)	Longitud (W/E)	Altitud (m)	Velocidad (m/s)	Altitud Smooth (m)	Velocidad Smooth (m/s)
---------------------	--------------------	---------------	------------------	-------------------	----------------	--------------------	-----------------------	---------------------------

Con el propósito de facilitar la visualización de los datos adquiridos, se graba en un solo archivo Excel toda la información correspondiente a los treinta viajes identificados. Los archivos Excel resultantes son cuatro. El nombre de cada archivo está dado por el nombre de la ruta. Dentro de cada archivo se realiza el cálculo de las variables con la información de cada viaje, mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 3-3. Cálculos de las variables realizados en archivo Excel del viaje Cuenca-Loja 1.

Distancia Acumulada	Pendiente	Aceleración	$V \sin \theta$	v^3	$a+v$	Tiempo Ralentí
[m]	[rad]	[m/s ²]	[m/s]	[m/s] ³	[m ² /s ³]	[s]
0,0	0,000	0,00	0,00	2839,5	0,0	0
14,3	0,025	0,14	0,36	2922,5	2,0	0
28,6	0,035	0,04	0,50	2947,8	0,6	0
43,0	0,035	0,07	0,51	2992,6	1,0	0
57,6	0,026	0,19	0,38	3110,5	2,7	0
72,2	0,024	-0,04	0,35	3088,2	0,0	0
86,8	0,020	-0,02	0,30	3075,1	0,0	0
101,2	0,012	-0,06	0,17	3034,9	0,0	0
115,5	-0,010	-0,22	-0,15	2896,8	0,0	0
129,3	-0,015	-0,46	-0,20	2623,7	0,0	0
142,6	-0,028	-0,48	-0,37	2358,1	0,0	0

Los cálculos de $v \sin \theta$, v^3 , $a (+) v$, son realizados por medio de operaciones básicas empleadas en Excel. Los cálculos de la pendiente y la aceleración son logrados mediante Pitágoras y dinámica, respectivamente. A continuación se plantean las ecuaciones utilizadas.

La pendiente de una carretera se determina calculando la relación entre la altura de la elevación en el ascenso de una carretera, y, la longitud de la horizontal, de dicha elevación. En trigonometría, esta relación se establece a partir de la división de la longitud de la elevación (cateto opuesto) para la longitud de la horizontal (cateto adyacente), a partir de los datos obtenidos por el GPS. Las unidades utilizadas para el cálculo son metros, en las variables de elevación y desplazamiento.

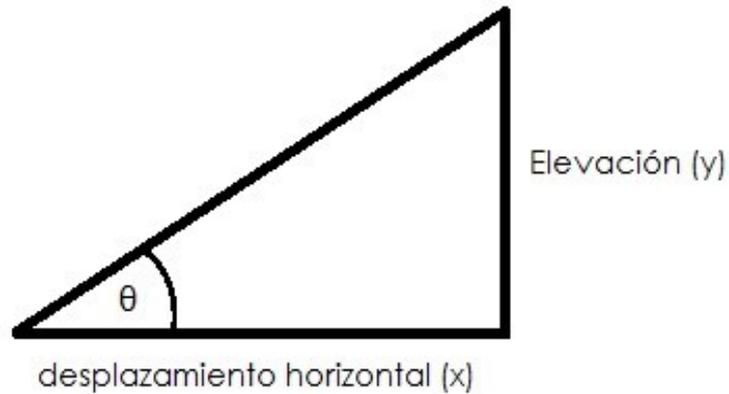


Figura 3.4. Determinación de la pendiente.

Fuente: (IBAÑEZ ASENSIO, GISPERT BLANQUER, & MORENO RAMÓN, s/n).

$$\text{sen}(\theta) = \frac{y}{x}, \text{ de aquí que el ángulo de la pendiente: } \alpha = \text{arcsen} \frac{y}{x} \quad \text{Ec. (20)}$$

Para representar el valor de la pendiente en porcentaje se realiza lo siguiente:

$$\text{pendiente } \% = \frac{y}{x} * 100\% \quad \text{Ec. (21)}$$

Por otra parte, para determinar la aceleración se sabe que: “El límite del cociente, el cual es por definición la derivada de v con respecto a t , mide la razón de cambio de la velocidad”, quedando la expresión:

$$a = \frac{dv}{dt} \quad \text{Ec. (22)}$$

En donde:

- dv = derivada de velocidad [m/s].
- dt = derivada de tiempo [s].

Fuente: (BEER, JOHNSTON, & CORNWELL, 2010).

Para obtener los datos correspondientes al tiempo ralenti aplicamos la siguiente función lógica condicional:

$$\textit{Tiempo ralenti} = \text{SI}(\text{velocidad} < 0,28; 1; 0) \quad \textit{Ec. (23)}$$

Esta función lógica determina que, cuando la velocidad es menor a 0,28 m/s que es 1 km/h, se considera al vehículo detenido (su expresión es 1). Cuando la velocidad es mayor a 0,28 m/s, el vehículo está en movimiento (su expresión es 0). De esta manera, se procede a sumar el número “1” de cada celda, obteniendo el tiempo ralenti en segundos. El valor referencial (0,28) de la velocidad utilizado en esta función es debido al error del GPS, ya que, cuando el vehículo está detenido, el dispositivo GPS obtiene valores de velocidad muy pequeños.

Por otra parte el número de paradas realizadas durante el trayecto, son contabilizadas por los conductores. Esta información también es recolectada, semana a semana, para evitar confusiones con las otras rutas. Realizados los cálculos de los treinta viajes, se procedió a obtener los datos de los parámetros característicos de los ciclos de conducción, como se indica en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4. Valores de parámetros característicos del viaje Cuenca-Loja 1.

Tiempo Ralentí	299,00	[s]
Aceleración Máxima	3,46	[m/s ²]
Altitud Máxima	3471,4	[m]
Pendiente Promedio	0,00	[rad]
$v \sin \theta$ Promedio	-0,05	[m/s]
v^3 Promedio	8026,06	[m/s] ³
$a + v$ Promedio	2,49	[m ² /s ³]
Número de Paradas	4,00	[-]

Los valores de los parámetros característicos de los treinta viajes realizados para cada ruta se recopilan en un solo archivo, como por ejemplo, en la Tabla 3-5. De esta manera se pueden ordenar los valores de cada parámetro, según su viaje. El objetivo de esta operación es realizar el cálculo de las mínimas diferencias ponderadas.

3.2. Cálculo de mínimas diferencias ponderadas

Con los datos de los parámetros característicos de cada viaje, más, los pesos relativos de cada parámetro, descritos en el capítulo 2, se realiza la ponderación de cada uno de estos valores, empleando la Ec. (18). Se determina así la diferencia en cada viaje y se resalta el valor mínimo, siendo este el que identifique al viaje que representa a todos los demás.

Tabla 3-5. Parámetros característicos ruta Cuenca-Loja.

Ciclo	Hora de Inicio [hh:mm:ss]	Tiempo Ralentí [s]	Aceleración Máxima [m/s ²]	Altura Máxima [m]	Pendiente Promedio [rad]	v _{senθ} Promedio [m/s]	v ³ Promedio [m/s] ³	a+v Promedio [m ² /s ³]	No. Paradas
1	11:57:59	299,00	3,46	3471,40	0,00	-0,05	8026,06	2,49	4,00
2	10:16:41	596,00	1,71	3480,74	0,00	-0,05	8910,85	2,76	6,00
3	11:31:26	223,00	2,09	3466,97	0,00	-0,05	7711,18	2,15	11,00
4	10:16:45	582,00	1,66	3462,05	0,00	-0,05	8907,77	2,77	9,00
5	7:38:15	1177,00	4,32	3475,93	-0,03	-0,04	8158,14	2,30	7,00
6	8:20:09	1676,00	1,40	3481,90	-0,03	-0,04	7231,86	1,98	6,00
7	17:51:45	683,00	1,14	3469,40	0,01	-0,04	6560,99	2,01	4,00
8	12:37:29	1166,00	1,85	3467,20	0,01	-0,04	7147,42	2,00	4,00
9	20:25:12	524,00	1,78	3466,94	0,02	-0,04	5992,63	2,07	5,00
10	9:37:14	842,00	3,10	3475,68	0,00	-0,04	5832,98	1,75	9,00
11	20:25:10	334,00	1,57	3465,23	0,01	-0,05	8475,13	2,89	5,00
12	9:52:48	2285,00	1,25	3473,10	0,05	-0,04	5513,32	1,60	5,00
13	6:28:48	701,00	1,72	3473,55	0,01	-0,04	6692,64	2,03	6,00
14	12:03:28	862,00	1,46	3469,31	0,01	-0,04	7853,43	2,16	6,00
15	13:37:22	284,00	1,59	3474,60	-0,01	-0,05	7084,07	2,05	9,00
16	21:30:06	483,00	1,72	3484,61	0,01	-0,04	6352,77	2,14	8,00
17	5:32:24	92,00	1,33	3478,43	0,01	-0,05	8534,31	2,33	3,00
18	14:13:29	2708,00	1,84	3479,36	0,03	-0,04	5117,41	1,42	12,00
19	5:25:09	768,00	1,60	3481,34	0,00	-0,04	8062,15	2,25	5,00
20	4:40:31	63,00	1,35	3476,36	0,01	-0,05	10768,93	2,63	2,00
21	6:01:55	1498,00	1,41	3477,26	0,00	-0,05	9223,70	2,24	6,00
22	13:27:52	658,00	1,62	3475,44	0,00	-0,04	6510,96	1,70	7,00
23	5:54:01	701,00	2,89	3479,68	0,02	-0,05	8628,41	2,24	4,00
24	18:28:57	103,00	1,67	3468,33	0,00	-0,05	6907,23	1,87	3,00
25	14:46:36	579,00	1,61	3468,76	0,00	-0,05	8553,05	2,23	8,00
26	6:27:35	315,00	1,68	3478,12	0,01	-0,05	10710,05	2,57	8,00
27	15:39:27	55,00	1,20	3468,82	0,00	-0,05	7431,64	2,19	3,00
28	18:43:06	1193,00	0,98	3471,35	-0,02	-0,04	4572,66	1,36	3,00
29	12:32:29	2611,00	1,54	3472,66	0,01	-0,04	7152,42	1,82	7,00
30	13:43:08	637,00	2,36	3479,88	0,00	-0,05	9259,27	2,51	7,00
Media		823,27	1,83	3473,81	0,00	-0,04	7596,11	2,15	6,07
Desviación Estándar		697,22	0,72	5,60	0,02	0,00	1463,65	0,37	2,42

Tabla 3-6. Ponderación de parámetros característicos de los viajes Cuenca - Loja.

Ciclo	Tiempo Ralentí	Aceleración Máxima	Altura Máxima	Pendiente Promedio	$v \cdot \sin \theta$ Promedio	v^3 Promedio	$a + v$ Promedio	No. Paradas	Mínima diferencia
Pesos relativo	0,276	0,009	0,007	0,142	0,372	0,099	0,086	0,009	-
1	0,208	0,021	0,003	0,081	0,288	0,029	0,079	0,008	0,716
2	0,090	0,001	0,009	0,023	0,399	0,089	0,142	0,000	0,754
3	0,238	0,003	0,009	0,005	0,334	0,008	0,000	0,018	0,615
4	0,096	0,002	0,015	0,000	0,511	0,089	0,143	0,011	0,866
5	0,140	0,031	0,003	0,338	0,051	0,038	0,036	0,003	0,640
6	0,338	0,005	0,010	0,350	0,309	0,025	0,039	0,000	1,076
7	0,056	0,009	0,006	0,059	0,105	0,070	0,033	0,008	0,344
8	0,136	0,000	0,008	0,016	0,161	0,030	0,036	0,008	0,395
9	0,118	0,001	0,009	0,107	0,299	0,108	0,019	0,004	0,666
10	0,007	0,016	0,002	0,018	0,227	0,119	0,093	0,011	0,494
11	0,194	0,003	0,011	0,025	0,191	0,059	0,171	0,004	0,657
12	0,579	0,007	0,001	0,407	0,638	0,141	0,127	0,004	1,904
13	0,048	0,001	0,000	0,017	0,156	0,061	0,027	0,000	0,312
14	0,015	0,005	0,006	0,089	0,047	0,017	0,002	0,000	0,181
15	0,213	0,003	0,001	0,096	0,134	0,035	0,022	0,011	0,515
16	0,135	0,001	0,013	0,022	0,239	0,084	0,002	0,007	0,504
17	0,289	0,006	0,006	0,035	0,343	0,063	0,041	0,011	0,795
18	0,746	0,000	0,007	0,248	0,809	0,168	0,168	0,022	2,168
19	0,022	0,003	0,009	0,046	0,025	0,032	0,023	0,004	0,164
20	0,301	0,006	0,003	0,028	0,736	0,215	0,110	0,015	1,415
21	0,267	0,005	0,004	0,037	0,086	0,110	0,020	0,000	0,530
22	0,065	0,003	0,002	0,034	0,164	0,073	0,103	0,003	0,448
23	0,048	0,013	0,007	0,149	0,157	0,070	0,022	0,008	0,474
24	0,285	0,002	0,007	0,005	0,143	0,047	0,065	0,011	0,566
25	0,097	0,003	0,006	0,005	0,151	0,065	0,017	0,007	0,351
26	0,201	0,002	0,005	0,054	0,632	0,211	0,097	0,007	1,209
27	0,304	0,008	0,006	0,004	0,146	0,011	0,010	0,011	0,501
28	0,146	0,011	0,003	0,258	0,742	0,205	0,182	0,011	1,558
29	0,708	0,004	0,001	0,046	0,518	0,030	0,077	0,003	1,388
30	0,074	0,007	0,008	0,002	0,240	0,112	0,083	0,003	0,529

En los viajes Cuenca – Loja, la ponderación de parámetros característicos, el viaje representativo es el 19, en razón de su mínima diferencia 0,164.

Tabla 3-7. Parámetros característicos ruta Loja-Cuenca.

Ciclo	Hora de Inicio [hh:mm:ss]	Tiempo Ralentí [s]	Aceleración Máxima [m/s ²]	Altura Máxima [m]	Pendiente Promedio [rad]	v _{senθ} Promedio [m/s]	v ³ Promedio [m/s] ³	a+ v Promedio [m ² /s ³]	No. Paradas
1	16:05:26	333,00	2,10	3465,00	0,01	0,05	7466,58	2,16	10,00
2	5:16:57	136,00	1,81	3479,33	0,01	0,05	10150,07	2,43	4,00
3	16:09:03	538,00	1,77	3469,57	0,02	0,05	8905,20	2,55	1,00
4	15:53:50	450,00	1,86	3470,57	0,01	0,04	6916,31	2,01	8,00
5	12:51:04	642,00	1,62	3473,02	0,00	0,04	7426,22	2,00	5,00
6	12:57:45	406,00	1,56	3475,03	0,01	0,04	6476,44	1,70	7,00
7	6:46:16	256,00	2,50	3476,77	0,01	0,05	6855,36	1,87	8,00
8	14:33:16	500,00	1,98	3473,67	0,02	0,04	7974,69	2,08	9,00
9	6:22:03	949,00	1,75	3483,66	0,05	0,04	7529,35	1,87	6,00
10	12:22:12	224,00	1,58	3475,40	0,01	0,05	7154,70	2,08	7,00
11	6:16:27	266,00	1,88	3482,11	0,00	0,05	7621,65	2,15	10,00
12	9:32:36	678,00	1,95	3468,06	0,00	0,04	6978,93	1,98	9,00
13	10:44:34	1184,00	1,64	3466,58	0,00	0,05	8615,73	2,10	10,00
14	11:52:22	841,00	2,08	3476,29	0,02	0,04	6662,53	1,93	10,00
15	12:02:39	548,00	1,21	3469,69	-0,01	0,05	7165,30	1,91	2,00
16	3:53:42	460,00	1,58	3473,79	0,01	0,05	8180,00	2,16	8,00
17	13:29:10	1172,00	1,56	3463,72	0,01	0,04	6884,95	1,91	16,00
18	13:59:07	1289,00	1,35	3475,49	0,00	0,04	4435,57	1,40	3,00
19	5:17:47	706,00	1,71	3467,88	0,01	0,05	7214,36	1,91	3,00
20	15:01:24	695,00	1,72	3475,97	0,00	0,04	6508,85	1,95	13,00
21	19:37:24	510,00	1,29	3483,89	0,00	0,05	6971,33	2,02	4,00
22	13:10:59	1006,00	1,53	3470,67	0,00	0,04	4714,88	1,47	10,00
23	13:05:35	21,00	1,81	3473,95	0,01	0,04	7026,58	1,77	3,00
24	11:58:54	542,00	1,51	3479,27	-0,01	0,05	8640,26	2,00	6,00
25	7:16:29	1259,00	1,67	3471,01	-0,01	0,04	7223,19	1,65	2,00
26	19:08:38	498,00	3,08	3471,02	0,01	0,05	8250,75	2,03	9,00
27	10:38:05	254,00	1,99	3481,03	0,01	0,05	8715,90	2,21	7,00
28	5:29:10	1702,00	2,07	3475,97	0,01	0,04	6347,69	1,82	7,00
29	12:09:31	214,00	1,66	3474,89	0,01	0,05	8332,72	2,34	7,00
30	18:12:08	352,00	1,43	3483,27	0,01	0,05	8766,87	2,28	4,00
Media		621,03	1,78	3474,22	0,01	0,04	7403,76	1,99	6,93
Desviación Estándar		391,27	0,36	5,38	0,01	0,00	1152,11	0,25	3,39

Tabla 3-8. Ponderación de parámetros característicos de los viajes Loja – Cuenca.

Ciclo	Tiempo Ralentí	Aceleración Máxima	Altura Máxima	Pendiente Promedio	vsenθ Promedio	v ³ Promedio	a+ v Promedio	No. Paradas	Mínima diferencia
Pesos relativo	0,276	0,009	0,007	0,142	0,372	0,099	0,086	0,009	-
1	0,203	0,008	0,012	0,048	0,094	0,005	0,060	0,008	0,439
2	0,342	0,001	0,007	0,028	0,808	0,236	0,154	0,008	1,584
3	0,059	0,000	0,006	0,208	0,377	0,129	0,193	0,016	0,988
4	0,121	0,002	0,005	0,067	0,121	0,042	0,007	0,003	0,367
5	0,015	0,004	0,002	0,122	0,087	0,002	0,003	0,005	0,239
6	0,152	0,005	0,001	0,009	0,042	0,080	0,101	0,000	0,391
7	0,257	0,018	0,003	0,016	0,109	0,047	0,043	0,003	0,497
8	0,085	0,005	0,001	0,152	0,005	0,049	0,031	0,005	0,334
9	0,231	0,001	0,012	0,533	0,012	0,011	0,042	0,002	0,844
10	0,280	0,005	0,002	0,061	0,071	0,021	0,030	0,000	0,471
11	0,250	0,003	0,010	0,072	0,191	0,019	0,057	0,008	0,610
12	0,040	0,004	0,008	0,033	0,026	0,037	0,004	0,005	0,157
13	0,397	0,003	0,010	0,075	0,187	0,104	0,038	0,008	0,822
14	0,155	0,008	0,003	0,122	0,121	0,064	0,021	0,008	0,501
15	0,052	0,014	0,006	0,251	0,042	0,020	0,027	0,013	0,426
16	0,114	0,005	0,001	0,024	0,217	0,067	0,059	0,003	0,488
17	0,389	0,005	0,014	0,025	0,157	0,045	0,027	0,024	0,685
18	0,471	0,011	0,002	0,034	0,982	0,255	0,207	0,010	1,972
19	0,060	0,002	0,008	0,027	0,049	0,016	0,029	0,010	0,201
20	0,052	0,001	0,002	0,093	0,315	0,077	0,016	0,016	0,572
21	0,078	0,012	0,013	0,102	0,126	0,037	0,009	0,008	0,386
22	0,272	0,006	0,005	0,110	0,776	0,231	0,182	0,008	1,590
23	0,423	0,001	0,000	0,063	0,264	0,032	0,077	0,010	0,872
24	0,056	0,007	0,007	0,196	0,242	0,106	0,002	0,002	0,617
25	0,450	0,003	0,004	0,236	0,503	0,016	0,117	0,013	1,342
26	0,087	0,033	0,004	0,019	0,162	0,073	0,013	0,005	0,395
27	0,259	0,005	0,009	0,006	0,530	0,113	0,076	0,000	0,999
28	0,763	0,007	0,002	0,039	0,634	0,091	0,060	0,000	1,595
29	0,287	0,003	0,001	0,032	0,315	0,080	0,120	0,000	0,837
30	0,190	0,009	0,012	0,057	0,524	0,117	0,102	0,008	1,018

En los viajes Loja - Cuenca, la ponderación de parámetros característicos, el viaje representativo es el 12, en razón de su mínima diferencia 0,157.

Tabla 3-9. Parámetros característicos ruta Cuenca-Machala.

Ciclo	Hora de Inicio [hh:mm:ss]	Tiempo Ralentí [s]	Aceleración Máxima [m/s ²]	Altura Máxima [m]	Pendiente Promedio [rad]	v _{senθ} Promedio [m/s]	v ³ Promedio [m/s ³]	a+ v Promedio [m ² /s ³]	No. Paradas
1	16:05:26	892,00	1,82	2788,64	0,01	-0,26	6764,24	2,93	10,00
2	5:16:57	362,00	1,73	2780,40	-0,02	-0,28	7172,90	2,92	4,00
3	16:09:03	278,00	1,91	2779,99	-0,02	-0,29	8019,95	3,11	5,00
4	15:53:50	437,00	1,70	2776,67	-0,01	-0,27	7047,74	2,89	9,00
5	12:51:04	251,00	1,78	2778,48	-0,01	-0,28	6980,10	2,95	3,00
6	12:57:45	361,00	1,56	2786,48	-0,02	-0,26	6124,57	2,57	5,00
7	6:46:16	312,00	1,77	2781,09	-0,02	-0,29	7873,73	3,18	8,00
8	14:33:16	255,00	1,66	2782,65	-0,01	-0,28	6993,03	3,20	3,00
9	6:22:03	447,00	1,66	2780,71	-0,01	-0,24	4597,48	2,15	12,00
10	12:22:12	322,00	1,69	2778,11	0,00	-0,28	7053,83	2,98	5,00
11	6:16:27	322,00	1,72	2770,53	-0,01	-0,28	6493,85	2,91	8,00
12	9:32:36	508,00	1,52	2787,64	0,00	-0,27	6529,80	2,74	6,00
13	10:44:34	292,00	1,84	2778,84	-0,01	-0,28	6588,43	3,06	3,00
14	11:52:22	1144,00	1,86	2783,31	-0,01	-0,23	4072,50	2,01	5,00
15	12:02:39	382,00	1,56	2786,44	-0,02	-0,26	5401,53	2,45	5,00
16	3:53:42	415,00	1,60	2785,26	-0,01	-0,27	6171,42	2,73	9,00
17	13:29:10	928,00	1,67	2773,68	0,00	-0,26	6265,94	2,82	12,00
18	13:59:07	653,00	3,18	2780,60	0,00	-0,25	5491,59	2,49	6,00
19	5:17:47	751,00	1,78	2779,18	-0,03	-0,27	6679,81	2,86	11,00
20	15:01:24	766,00	1,71	2780,60	0,00	-0,27	6682,15	2,89	12,00
21	19:37:24	479,00	2,00	2794,35	-0,01	-0,28	7342,25	3,10	5,00
22	13:10:59	940,00	1,70	2777,73	-0,03	-0,26	7100,26	3,08	8,00
23	13:05:35	526,00	1,72	2783,52	0,00	-0,27	7059,34	2,98	8,00
24	11:58:54	361,00	1,98	2781,29	-0,01	-0,29	7175,74	3,16	7,00
25	7:16:29	480,00	1,82	2771,23	-0,02	-0,28	7771,82	3,29	6,00
26	19:08:38	724,00	2,67	2779,35	0,03	-0,27	6493,95	2,73	6,00
27	10:38:05	377,00	1,74	2774,91	-0,01	-0,26	5866,45	2,55	5,00
28	5:29:10	85,00	1,71	2776,28	-0,01	-0,27	6483,87	2,89	2,00
29	12:09:31	469,00	2,42	2779,22	-0,01	-0,26	6255,78	2,94	6,00
30	18:12:08	415,00	1,50	2789,13	-0,02	-0,24	4760,99	2,10	10,00
Media		497,80	1,83	2780,88	-0,01	-0,27	6510,50	2,82	6,80
Desviación Estándar		241,41	0,34	5,22	0,01	0,02	910,18	0,32	2,80

Tabla 3-10. Ponderación de parámetros característicos de los viajes Cuenca – Machala.

Ciclo	Tiempo Ralentí	Aceleración Máxima	Altura Máxima	Pendiente Promedio	vsenθ Promedio	v ³ Promedio	a+ v Promedio	No. Paradas	Mínima diferencia
Pesos relativo	0,276	0,009	0,007	0,142	0,372	0,099	0,086	0,009	-
1	0,451	0,000	0,010	0,236	0,169	0,028	0,029	0,010	0,933
2	0,155	0,003	0,001	0,077	0,314	0,072	0,025	0,009	0,656
3	0,251	0,002	0,001	0,112	0,602	0,164	0,077	0,006	1,215
4	0,070	0,003	0,006	0,023	0,077	0,058	0,019	0,007	0,263
5	0,282	0,001	0,003	0,047	0,296	0,051	0,033	0,012	0,727
6	0,156	0,007	0,008	0,071	0,302	0,042	0,068	0,006	0,660
7	0,212	0,002	0,000	0,144	0,526	0,148	0,097	0,004	1,133
8	0,278	0,005	0,002	0,053	0,224	0,052	0,101	0,012	0,727
9	0,058	0,005	0,000	0,001	0,740	0,208	0,182	0,017	1,210
10	0,201	0,004	0,004	0,069	0,235	0,059	0,041	0,006	0,618
11	0,201	0,003	0,014	0,053	0,354	0,002	0,024	0,004	0,656
12	0,012	0,008	0,009	0,087	0,129	0,002	0,022	0,003	0,272
13	0,235	0,000	0,003	0,027	0,177	0,008	0,064	0,012	0,528
14	0,739	0,001	0,003	0,021	1,021	0,265	0,220	0,006	2,276
15	0,132	0,007	0,007	0,079	0,284	0,121	0,099	0,006	0,736
16	0,095	0,006	0,006	0,041	0,016	0,037	0,025	0,007	0,232
17	0,492	0,004	0,010	0,134	0,249	0,027	0,000	0,017	0,932
18	0,177	0,035	0,000	0,071	0,352	0,111	0,089	0,003	0,838
19	0,289	0,001	0,002	0,228	0,030	0,018	0,010	0,014	0,593
20	0,307	0,003	0,000	0,088	0,037	0,019	0,019	0,017	0,489
21	0,021	0,004	0,018	0,017	0,351	0,090	0,076	0,006	0,584
22	0,506	0,003	0,004	0,217	0,100	0,064	0,070	0,004	0,968
23	0,032	0,003	0,004	0,095	0,077	0,060	0,043	0,004	0,318
24	0,156	0,004	0,001	0,020	0,411	0,072	0,091	0,001	0,755
25	0,020	0,000	0,013	0,168	0,382	0,137	0,125	0,003	0,848
26	0,259	0,022	0,002	0,529	0,044	0,002	0,026	0,003	0,886
27	0,138	0,002	0,008	0,059	0,211	0,070	0,073	0,006	0,567
28	0,472	0,003	0,006	0,012	0,100	0,003	0,019	0,015	0,630
29	0,033	0,015	0,002	0,002	0,114	0,028	0,033	0,003	0,230
30	0,095	0,009	0,011	0,155	0,736	0,190	0,194	0,010	1,400

En los viajes Cuenca – Machala, la ponderación de parámetros característicos, el viaje representativo es el 29, en razón de su mínima diferencia 0,230.

Tabla 3-11. Parámetros característicos ruta Machala-Cuenca.

Ciclo	Hora de Inicio [hh:mm:ss]	Tiempo Ralentí [s]	Aceleración Máxima [m/s ²]	Altura Máxima [m]	Pendiente Promedio [rad]	v _{senθ} Promedio [m/s]	v ³ Promedio [m/s] ³	a+ v Promedio [m ² /s ³]	No. Paradas
1	16:05:26	421,00	1,63	2781,62	0,04	0,28	7261,23	2,76	5,00
2	5:16:57	180,00	1,68	2768,26	0,02	0,30	8447,02	2,69	1,00
3	16:09:03	234,00	1,90	2780,60	0,02	0,27	6551,85	2,60	9,00
4	15:53:50	167,00	1,45	2784,17	0,02	0,27	6182,00	2,49	5,00
5	12:51:04	1404,00	1,67	2772,20	0,03	0,25	5942,37	2,35	6,00
6	12:57:45	350,00	1,48	2770,92	0,02	0,26	5552,47	2,23	4,00
7	6:46:16	22,00	1,65	2771,34	0,02	0,27	6460,60	2,39	3,00
8	14:33:16	123,00	1,46	2772,72	0,02	0,27	5829,49	2,48	6,00
9	6:22:03	239,00	2,34	2773,47	0,02	0,26	5762,22	2,32	11,00
10	12:22:12	28,00	1,71	2770,76	0,02	0,29	7026,26	2,57	4,00
11	6:16:27	142,00	1,44	2785,78	0,02	0,28	6670,94	2,56	2,00
12	9:32:36	327,00	1,54	2779,46	0,02	0,27	6352,22	2,67	4,00
13	10:44:34	848,00	1,49	2785,05	0,01	0,24	4506,11	1,93	9,00
14	11:52:22	1254,00	1,44	2784,06	0,02	0,25	5969,62	2,42	6,00
15	12:02:39	1018,00	1,58	2776,43	0,00	0,25	5772,89	2,51	7,00
16	3:53:42	224,00	1,39	2782,12	0,02	0,24	4068,18	1,73	7,00
17	13:29:10	556,00	1,75	2770,95	0,01	0,26	5697,43	2,30	2,00
18	13:59:07	89,00	1,65	2782,00	0,02	0,28	6715,10	2,60	5,00
19	5:17:47	407,00	1,87	2774,96	0,02	0,28	7206,86	2,86	3,00
20	15:01:24	2530,00	1,53	2776,71	0,09	0,22	5446,89	2,16	6,00
21	19:37:24	420,00	1,59	2786,04	0,03	0,27	6659,03	2,64	6,00
22	13:10:59	5,00	1,64	2770,27	0,02	0,29	7438,27	2,82	2,00
23	13:05:35	416,00	1,49	2779,92	0,02	0,25	5197,51	2,16	7,00
24	11:58:54	65,00	1,66	2773,36	0,02	0,28	6358,26	2,58	1,00
25	7:16:29	872,00	1,71	2783,01	0,05	0,25	5573,68	2,33	5,00
26	19:08:38	169,00	2,31	2788,97	0,02	0,26	5376,35	2,27	4,00
27	10:38:05	649,00	1,63	2788,18	-0,01	0,25	5488,79	2,18	7,00
28	5:29:10	13,00	1,65	2780,73	0,02	0,29	6358,90	2,69	2,00
29	12:09:31	724,00	1,83	2788,69	0,05	0,26	5960,96	2,26	6,00
30	18:12:08	334,00	1,46	2787,04	0,03	0,28	6616,88	2,45	5,00
Media		474,33	1,65	2778,99	0,02	0,27	6148,35	2,43	5,00
Desviación Estándar		525,94	0,22	6,32	0,02	0,02	863,80	0,25	2,38

Tabla 3-12. Ponderación de parámetros característicos de los viajes Machala – Cuenca.

Ciclo	Tiempo Ralentí	Aceleración Máxima	Altura Máxima	Pendiente Promedio	$v \cdot \sin \theta$ Promedio	v^3 Promedio	$a + v$ Promedio	No. Paradas	Mínima diferencia
Pesos relativo	0,276	0,009	0,007	0,142	0,372	0,099	0,086	0,009	-
1	0,028	0,001	0,003	0,133	0,311	0,128	0,111	0,000	0,714
2	0,154	0,001	0,012	0,007	0,767	0,263	0,089	0,015	1,308
3	0,126	0,010	0,002	0,007	0,160	0,046	0,058	0,015	0,424
4	0,161	0,008	0,006	0,064	0,102	0,004	0,019	0,000	0,365
5	0,488	0,001	0,008	0,084	0,422	0,024	0,029	0,004	1,058
6	0,065	0,007	0,009	0,036	0,213	0,068	0,069	0,004	0,472
7	0,237	0,000	0,008	0,034	0,162	0,036	0,016	0,008	0,501
8	0,184	0,008	0,007	0,051	0,037	0,037	0,016	0,004	0,345
9	0,123	0,028	0,006	0,051	0,155	0,044	0,040	0,023	0,470
10	0,234	0,002	0,009	0,037	0,438	0,101	0,047	0,004	0,871
11	0,174	0,009	0,008	0,005	0,333	0,060	0,044	0,011	0,644
12	0,077	0,005	0,001	0,013	0,114	0,023	0,082	0,004	0,319
13	0,196	0,007	0,007	0,120	0,610	0,188	0,170	0,015	1,313
14	0,409	0,009	0,006	0,023	0,311	0,020	0,006	0,004	0,788
15	0,285	0,003	0,003	0,231	0,354	0,043	0,028	0,008	0,955
16	0,131	0,011	0,003	0,027	0,552	0,238	0,239	0,008	1,210
17	0,043	0,004	0,009	0,087	0,081	0,052	0,045	0,011	0,331
18	0,202	0,000	0,003	0,035	0,378	0,065	0,057	0,000	0,740
19	0,035	0,009	0,004	0,011	0,354	0,121	0,147	0,008	0,689
20	1,079	0,005	0,003	0,549	0,877	0,080	0,095	0,004	2,691
21	0,029	0,003	0,008	0,068	0,143	0,059	0,069	0,004	0,382
22	0,246	0,001	0,010	0,046	0,559	0,148	0,131	0,011	1,152
23	0,031	0,007	0,001	0,024	0,366	0,109	0,092	0,008	0,637
24	0,215	0,000	0,006	0,033	0,225	0,024	0,049	0,015	0,568
25	0,209	0,002	0,004	0,189	0,293	0,066	0,035	0,000	0,798
26	0,160	0,027	0,011	0,071	0,091	0,088	0,057	0,004	0,509
27	0,092	0,001	0,010	0,277	0,229	0,076	0,087	0,008	0,779
28	0,242	0,000	0,002	0,048	0,404	0,024	0,089	0,011	0,821
29	0,131	0,007	0,011	0,237	0,149	0,021	0,061	0,004	0,621
30	0,074	0,008	0,009	0,052	0,216	0,054	0,005	0,000	0,418

En los viajes Machala – Cuenca, la ponderación de parámetros característicos, el viaje representativo es el 12, en razón de su mínima diferencia 0,319.

Según el cálculo de mínimas diferencias ponderadas se ha obtenido los siguientes resultados, como viajes representativos de cada ruta:

Tabla 3-13. Ciclos representativos.

Ruta	Ciclo representativo
Cuenca – Loja	19
Loja – Cuenca	12
Cuenca – Machala	29
Machala – Cuenca	12

De este modo, se pueden apreciar los ciclos que representan, de mejor manera, los patrones típicos de manejo en cada ruta. Pero, en realidad, no son los ciclos los que se tomarán en cuenta para el cálculo de la fuerza en rueda. Esto debido a que, revisando los valores calculados de pendiente y aceleración, que en parte se muestra en la Tabla 3-3, existen oscilaciones excesivas de dichos valores; estos errores generados por el GPS en los datos de velocidad y altitud. A pesar de disminuir estos errores de medición con la técnica de Smooth, aplicada en Matlab, se siguen presentando algunos errores en ciertos puntos de los viajes realizados. En conclusión, se debe corregir los valores de pendiente y aceleración que producen una fuerza en rueda mayor a la capacidad del vehículo. De ahí que, afectados los valores de los parámetros característicos, terminan repercutiendo en la selección del ciclo representativo.

3.3. Análisis y corrección de datos

En los perfiles de aceleración y pendiente aparecen algunas irregularidades que deben ser corregidas. El propósito de la corrección es obtener los valores de los parámetros característicos de cada ciclo, lo más cercanos posible a la realidad. En la Figura 3.5 y Figura 3.6 se puede observar que algunos valores sobrepasan las capacidades del vehículo. Estas oscilaciones perjudican el cálculo de los parámetros

característicos. Los datos de aceleración, por corregir, son los mayores a 2 m/s^2 . Este valor se ha escogido debido a que, al realizar el cálculo de torque y potencia del vehículo, los valores mayores a 2 producen picos de las dos variables que exceden a la capacidad del automóvil. Por otra parte, los datos de pendiente tienen como valor máximo 0,2 radianes, valor máximo para el diseño de una carretera. Los dos valores se pueden tomar en forma positiva o negativa. (IBAÑEZ ASENSIO, GISPERT BLANQUER, & MORENO RAMÓN, s/n).

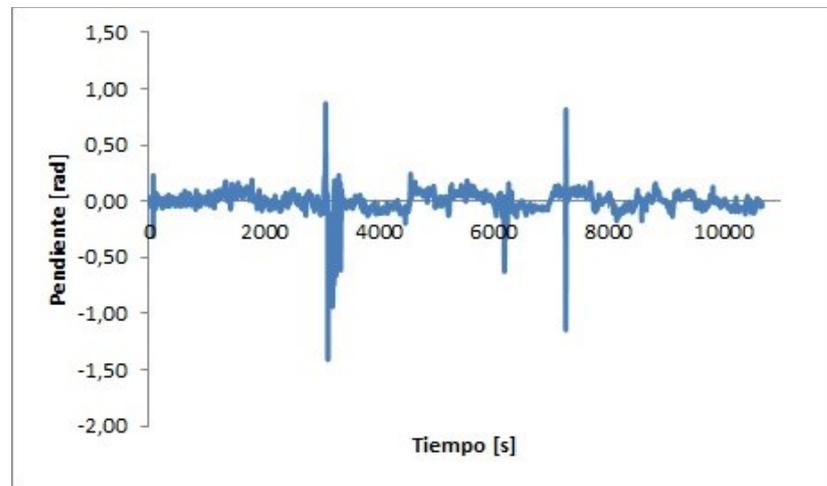


Figura 3.5. Perfil de pendiente del ciclo Cuenca-Loja 1.

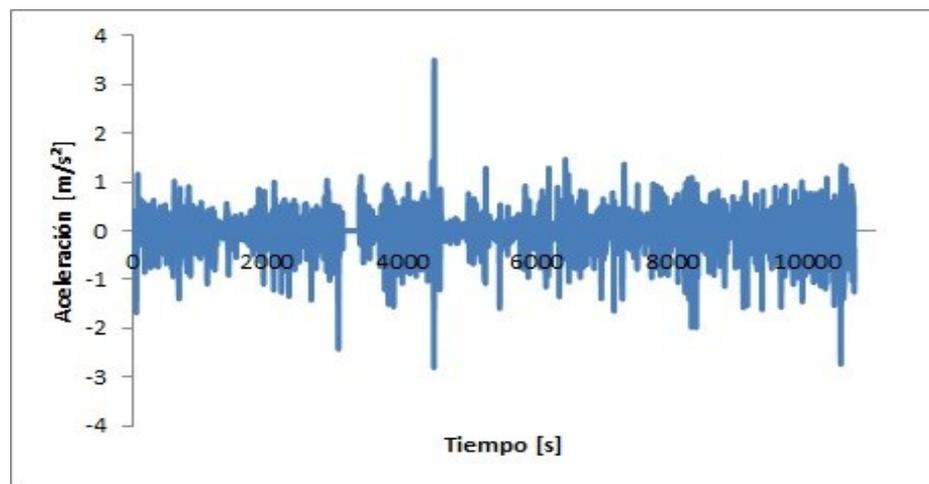


Figura 3.6. Perfil de aceleración de ciclo Cuenca-Loja 1.

Como se observa, las variaciones excesivas aparecen evidenciadas en los valores tanto positivos como negativos. Para corregir los valores con anomalías, se aplica la técnica de la “Interpolación de Splines” y, también una técnica manual, dependiendo de las condiciones de la velocidad. Si la velocidad es inferior a 0,28 m/s se coloca “0”, directamente, en las columnas de cálculo, Tabla 3-3, en los parámetros, pendiente y aceleración, indicando que el automóvil está detenido. El valor referencial (0,28 m/s) es considerado también en la Ec. (23), para el cálculo del tiempo ralenti, por la misma razón. Por otra parte, si la velocidad es mayor a 0,28 y existen valores excesivos de pendiente y velocidad, se utiliza la “Interpolación de Splines”. Esta técnica consiste en la interpolación y aproximación de funciones, para estimar valores funcionales a partir de cierto número de datos iniciales. Este método puede ser realizado en Excel, con la función “polyfit”, calculando directamente el polinomio interpolador que pasa por los puntos o datos iniciales. De esta manera, a los datos iniciales son tomados como valores reales, y, los valores que se desea estimar, se calculan mediante el polinomio creado. En la siguiente figura podemos observar cómo, a partir de los datos iniciales, podemos crear una función que pasa por dichos puntos, eliminando las excesivas fluctuaciones.

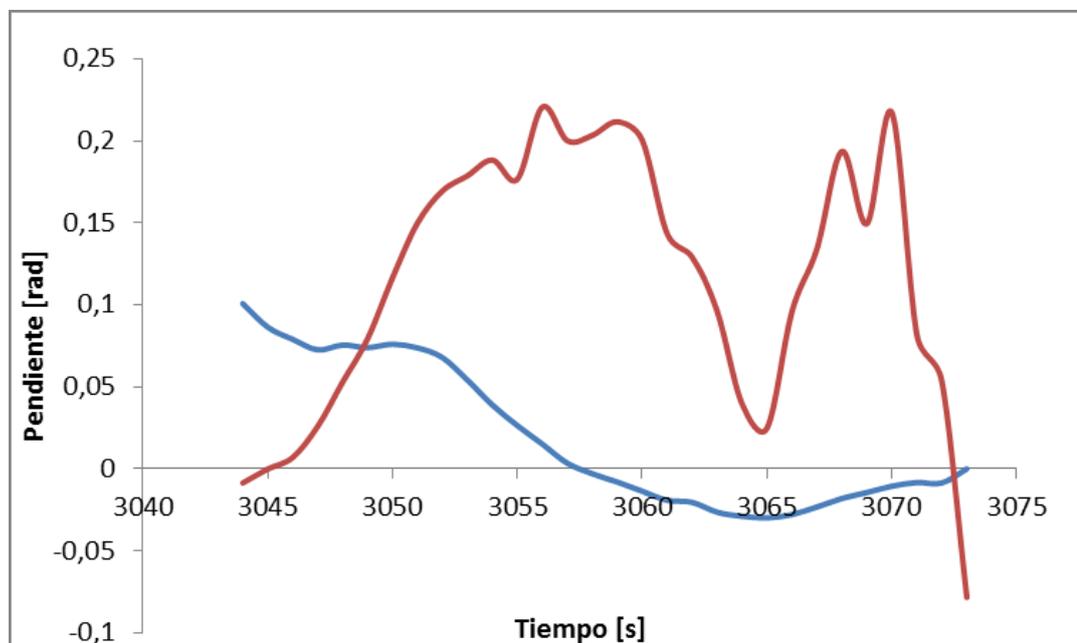


Figura 3.7. Interpolación por Splines.

En la Figura 3.7 se puede observar el perfil de pendiente en los valores, desde el punto 3044 a 3073 del ciclo Cuenca-Loja 1. Los datos iniciales son los que están marcados por la línea roja. Los valores calculados por polinomio de “polyfit” se encuentran en la línea azul. Cabe recalcar que esta función no calcula valores reales de pendiente o aceleración en dicho tramo, sólo los aproxima.

3.4. Cálculo del ciclo representativo final

Una vez corregidos los datos de aceleración y pendiente, se vuelve a realizar la operación con la Ec. (18). De ahí, se escoge los ciclos representativos finales, en los viajes que se consignan a continuación:

Tabla 3-14. Ciclos representativos finales.

Ruta	Ciclo representativo
Cuenca – Loja	19
Loja – Cuenca	5
Cuenca – Machala	23
Machala – Cuenca	17

Tabla 3-15. Parámetros característicos corregidos ruta Cuenca-Loja.

Ciclo	Hora de Inicio [hh:mm:ss]	Tiempo Ralentí [s]	Aceleración Máxima [m/s ²]	Altura Máxima [m]	Pendiente Promedio [rad]	v _{senθ} Promedio [m/s]	v ³ Promedio [m/s] ³	a+v Promedio [m ² /s ³]	No. Paradas
1	11:57:59	299,00	1,46	3471,40	0,00	-0,05	8026,06	2,48	4,00
2	10:16:41	596,00	1,71	3480,74	0,00	-0,05	8910,85	2,76	6,00
3	11:31:26	223,00	1,98	3466,97	0,00	-0,05	7711,18	2,15	11,00
4	10:16:45	582,00	1,66	3462,05	0,00	-0,06	8907,77	2,77	9,00
5	7:38:15	1177,00	1,68	3475,93	0,00	-0,04	8158,14	2,27	7,00
6	8:20:09	1676,00	1,40	3481,90	0,00	-0,04	7231,86	1,98	6,00
7	17:51:45	683,00	1,14	3469,40	0,00	-0,05	6560,99	2,01	4,00
8	12:37:29	1166,00	1,85	3467,20	0,00	-0,04	7147,42	2,00	4,00
9	20:25:12	524,00	1,78	3466,94	0,00	-0,05	5992,63	2,07	5,00
10	9:37:14	842,00	1,64	3475,68	0,01	-0,04	5832,98	1,74	9,00
11	20:25:10	334,00	1,57	3465,23	0,00	-0,05	8475,13	2,89	5,00
12	9:52:48	2285,00	1,25	3473,10	0,01	-0,04	5513,32	1,60	5,00
13	6:28:48	701,00	1,72	3473,55	0,01	-0,04	6692,64	2,03	6,00
14	12:03:28	862,00	1,46	3469,31	0,00	-0,04	7853,43	2,16	6,00
15	13:37:22	284,00	1,59	3474,60	0,00	-0,05	7084,07	2,05	9,00
16	21:30:06	483,00	1,72	3484,61	0,00	-0,04	6352,77	2,14	8,00
17	5:32:24	92,00	1,33	3478,43	0,01	-0,05	8534,31	2,33	3,00
18	14:13:29	2708,00	1,84	3479,36	0,00	-0,04	5117,41	1,42	12,00
19	5:25:09	768,00	1,60	3481,34	0,00	-0,05	8062,15	2,25	5,00
20	4:40:31	63,00	1,35	3476,36	0,00	-0,05	10768,93	2,63	2,00
21	6:01:55	1498,00	1,41	3477,26	0,00	-0,05	9223,70	2,24	6,00
22	13:27:52	658,00	1,62	3475,44	0,00	-0,04	6510,96	1,70	7,00
23	5:54:01	701,00	1,98	3479,68	0,00	-0,05	8628,41	2,22	4,00
24	18:28:57	103,00	1,67	3468,33	0,00	-0,05	6907,23	1,87	3,00
25	14:46:36	579,00	1,61	3468,76	0,00	-0,05	8553,05	2,23	8,00
26	6:27:35	315,00	1,68	3478,12	0,00	-0,05	10710,05	2,57	8,00
27	15:39:27	55,00	1,20	3468,82	0,00	-0,05	7431,64	2,19	3,00
28	18:43:06	1193,00	0,98	3471,35	0,00	-0,04	4572,66	1,36	3,00
29	12:32:29	2611,00	1,54	3472,66	0,00	-0,04	7152,42	1,82	7,00
30	13:43:08	637,00	1,97	3479,88	0,00	-0,05	9259,27	2,49	7,00
Media		823,27	1,58	3473,81	0,00	-0,05	7596,11	2,15	6,07
Desviación Estándar		697,22	0,24	5,60	0,00	0,00	1463,65	0,37	2,42

Tabla 3-16. Ponderación de parámetros característicos corregidos de los viajes Cuenca - Loja.

Ciclo	Tiempo Ralentí	Aceleración Máxima	Altura Máxima	Pendiente Promedio	$v \sin \theta$ Promedio	v^3 Promedio	$a + v$ Promedio	No. Paradas	Mínima diferencia
Pesos relativo	0,276	0,009	0,007	0,142	0,372	0,099	0,086	0,009	-
1	0,208	0,004	0,003	0,165	0,245	0,029	0,078	0,008	0,739
2	0,090	0,005	0,009	0,295	0,483	0,089	0,143	0,000	1,115
3	0,238	0,015	0,009	0,045	0,323	0,008	0,000	0,018	0,656
4	0,096	0,003	0,015	0,267	0,800	0,089	0,144	0,011	1,424
5	0,140	0,004	0,003	0,140	0,140	0,038	0,028	0,003	0,495
6	0,338	0,007	0,010	0,067	0,352	0,025	0,039	0,000	0,837
7	0,056	0,016	0,006	0,130	0,020	0,070	0,032	0,008	0,338
8	0,136	0,010	0,008	0,138	0,229	0,030	0,035	0,008	0,594
9	0,118	0,007	0,009	0,041	0,009	0,108	0,019	0,004	0,316
10	0,007	0,002	0,002	0,249	0,208	0,119	0,095	0,011	0,694
11	0,194	0,000	0,011	0,039	0,222	0,059	0,172	0,004	0,701
12	0,579	0,012	0,001	0,189	0,529	0,141	0,127	0,004	1,581
13	0,048	0,005	0,000	0,211	0,260	0,061	0,027	0,000	0,613
14	0,015	0,004	0,006	0,065	0,188	0,017	0,002	0,000	0,299
15	0,213	0,000	0,001	0,093	0,116	0,035	0,021	0,011	0,491
16	0,135	0,005	0,013	0,094	0,214	0,084	0,001	0,007	0,553
17	0,289	0,009	0,006	0,231	0,179	0,063	0,042	0,011	0,831
18	0,746	0,010	0,007	0,164	0,877	0,168	0,168	0,022	2,162
19	0,022	0,001	0,009	0,099	0,054	0,032	0,024	0,004	0,245
20	0,301	0,009	0,003	0,071	0,606	0,215	0,111	0,015	1,331
21	0,267	0,006	0,004	0,092	0,321	0,110	0,021	0,000	0,821
22	0,065	0,001	0,002	0,056	0,351	0,073	0,103	0,003	0,655
23	0,048	0,015	0,007	0,082	0,092	0,070	0,018	0,008	0,339
24	0,285	0,003	0,007	0,079	0,269	0,047	0,065	0,011	0,767
25	0,097	0,001	0,006	0,195	0,204	0,065	0,018	0,007	0,593
26	0,201	0,004	0,005	0,009	0,531	0,211	0,098	0,007	1,066
27	0,304	0,014	0,006	0,094	0,006	0,011	0,011	0,011	0,458
28	0,146	0,022	0,003	0,039	0,621	0,205	0,182	0,011	1,229
29	0,708	0,001	0,001	0,004	0,441	0,030	0,077	0,003	1,265
30	0,074	0,015	0,008	0,147	0,038	0,112	0,081	0,003	0,478

En los viajes Cuenca – Loja, la ponderación de parámetros característicos, el viaje representativo es el 19, en razón de su mínima diferencia 0,245.

Tabla 3-17. Parámetros característicos corregidos ruta Loja-Cuenca.

Ciclo	Hora de Inicio [hh:mm:ss]	Tiempo Ralentí [s]	Aceleración Máxima [m/s ²]	Altura Máxima [m]	Pendiente Promedio [rad]	v _{senθ} Promedio [m/s]	v ³ Promedio [m/s] ³	a+ v Promedio [m ² /s ³]	No. Paradas
1	16:05:26	333,00	1,94	3465,00	0,01	0,05	7466,58	2,16	10,00
2	5:16:57	136,00	1,81	3479,33	0,01	0,05	10150,07	2,43	4,00
3	16:09:03	538,00	1,77	3469,57	0,00	0,05	8905,20	2,55	1,00
4	15:53:50	450,00	1,86	3470,57	0,01	0,04	6916,31	2,01	8,00
5	12:51:04	642,00	1,62	3473,02	0,01	0,04	7426,22	2,00	5,00
6	12:57:45	406,00	1,56	3475,03	0,00	0,04	6476,44	1,70	7,00
7	6:46:16	256,00	1,79	3476,77	0,01	0,05	6855,36	1,86	8,00
8	14:33:16	500,00	1,98	3473,67	0,01	0,04	7974,69	2,08	9,00
9	6:22:03	949,00	1,75	3483,66	0,01	0,04	7529,35	1,87	6,00
10	12:22:12	224,00	1,58	3475,40	0,01	0,05	7154,70	2,08	7,00
11	6:16:27	266,00	1,88	3482,11	0,01	0,05	7621,65	2,15	10,00
12	9:32:36	678,00	1,95	3468,06	0,01	0,04	6978,93	1,98	9,00
13	10:44:34	1184,00	1,64	3466,58	0,00	0,05	8615,73	2,10	10,00
14	11:52:22	841,00	1,85	3476,29	0,01	0,04	6662,53	1,93	10,00
15	12:02:39	548,00	1,21	3469,69	0,01	0,05	7165,30	1,91	2,00
16	3:53:42	460,00	1,58	3473,79	0,01	0,05	8180,00	2,16	8,00
17	13:29:10	1172,00	1,56	3463,72	0,01	0,04	6884,95	1,91	16,00
18	13:59:07	1289,00	1,35	3475,49	0,01	0,04	4435,57	1,40	3,00
19	5:17:47	706,00	1,71	3467,88	0,01	0,05	7214,36	1,91	3,00
20	15:01:24	695,00	1,72	3475,97	0,01	0,04	6508,85	1,95	13,00
21	19:37:24	510,00	1,29	3483,89	0,01	0,05	6971,33	2,02	4,00
22	13:10:59	1006,00	1,53	3470,67	0,01	0,04	4714,88	1,47	10,00
23	13:05:35	21,00	1,81	3473,95	0,00	0,04	7026,58	1,77	3,00
24	11:58:54	542,00	1,51	3479,27	0,01	0,05	8640,26	2,00	6,00
25	7:16:29	1259,00	1,67	3471,01	0,00	0,04	7223,19	1,65	2,00
26	19:08:38	498,00	1,85	3471,02	0,00	0,05	8250,75	2,02	9,00
27	10:38:05	254,00	1,99	3481,03	0,01	0,05	8715,90	2,21	7,00
28	5:29:10	1702,00	1,89	3475,97	0,01	0,04	6347,69	1,82	7,00
29	12:09:31	214,00	1,66	3474,89	0,01	0,05	8332,72	2,34	7,00
30	18:12:08	352,00	1,43	3483,27	0,01	0,05	8766,87	2,28	4,00
Media		621,03	1,69	3474,22	0,01	0,04	7403,76	1,99	6,93
Desviación Estándar		391,27	0,20	5,38	0,00	0,00	1152,11	0,25	3,39

Tabla 3-18. Ponderación de parámetros característicos corregidos de los viajes Loja-Cuenca.

Ciclo	Tiempo Ralentí	Aceleración Máxima	Altura Máxima	Pendiente Promedio	vsenθ Promedio	v ³ Promedio	a+ v Promedio	No. Paradas	Mínima diferencia
Pesos relativo	0,276	0,009	0,007	0,142	0,372	0,099	0,086	0,009	-
1	0,203	0,011	0,012	0,078	0,166	0,005	0,060	0,008	0,544
2	0,342	0,005	0,007	0,016	0,734	0,236	0,155	0,008	1,503
3	0,059	0,004	0,006	0,464	0,351	0,129	0,193	0,016	1,221
4	0,121	0,008	0,005	0,045	0,146	0,042	0,008	0,003	0,376
5	0,015	0,003	0,002	0,074	0,044	0,002	0,003	0,005	0,148
6	0,152	0,006	0,001	0,146	0,018	0,080	0,101	0,000	0,504
7	0,257	0,004	0,003	0,185	0,106	0,047	0,044	0,003	0,651
8	0,085	0,013	0,001	0,011	0,097	0,049	0,031	0,005	0,293
9	0,231	0,003	0,012	0,023	0,064	0,011	0,042	0,002	0,389
10	0,280	0,005	0,002	0,147	0,091	0,021	0,030	0,000	0,577
11	0,250	0,009	0,010	0,022	0,242	0,019	0,057	0,008	0,617
12	0,040	0,012	0,008	0,179	0,064	0,037	0,004	0,005	0,348
13	0,397	0,002	0,010	0,166	0,260	0,104	0,038	0,008	0,985
14	0,155	0,007	0,003	0,113	0,166	0,064	0,022	0,008	0,538
15	0,052	0,022	0,006	0,066	0,078	0,020	0,027	0,013	0,283
16	0,114	0,005	0,001	0,095	0,188	0,067	0,059	0,003	0,531
17	0,389	0,006	0,014	0,014	0,118	0,045	0,027	0,024	0,635
18	0,471	0,015	0,002	0,187	0,920	0,255	0,207	0,010	2,067
19	0,060	0,001	0,008	0,085	0,069	0,016	0,029	0,010	0,279
20	0,052	0,001	0,002	0,095	0,266	0,077	0,015	0,016	0,526
21	0,078	0,018	0,013	0,137	0,207	0,037	0,009	0,008	0,508
22	0,272	0,007	0,005	0,065	0,753	0,231	0,182	0,008	1,524
23	0,423	0,005	0,000	0,182	0,267	0,032	0,077	0,010	0,998
24	0,056	0,008	0,007	0,066	0,096	0,106	0,002	0,002	0,344
25	0,450	0,001	0,004	0,191	0,420	0,016	0,117	0,013	1,212
26	0,087	0,007	0,004	0,159	0,164	0,073	0,011	0,005	0,510
27	0,259	0,013	0,009	0,101	0,491	0,113	0,076	0,000	1,062
28	0,763	0,009	0,002	0,103	0,821	0,091	0,060	0,000	1,848
29	0,287	0,001	0,001	0,106	0,326	0,080	0,120	0,000	0,921
30	0,190	0,012	0,012	0,078	0,595	0,117	0,102	0,008	1,112

En los viajes Loja - Cuenca, la ponderación de parámetros característicos, el viaje representativo es el 5, en razón de su mínima diferencia 0,148.

Tabla 3-19. Parámetros característicos corregidos ruta Cuenca-Machala.

Ciclo	Hora de Inicio [hh:mm:ss]	Tiempo Ralentí [s]	Aceleración Máxima [m/s ²]	Altura Máxima [m]	Pendiente Promedio [rad]	v _{senθ} Promedio [m/s]	v ³ Promedio [m/s] ³	a+ v Promedio [m ² /s ³]	No. Paradas
1	16:05:26	892,00	1,82	2788,64	-0,01	-0,26	6764,24	2,93	10,00
2	5:16:57	362,00	1,73	2780,40	-0,02	-0,28	7172,90	2,92	4,00
3	16:09:03	278,00	1,91	2779,99	-0,02	-0,29	8019,95	3,11	5,00
4	15:53:50	437,00	1,70	2776,67	-0,01	-0,27	7047,74	2,89	9,00
5	12:51:04	251,00	1,78	2778,48	-0,01	-0,28	6980,10	2,95	3,00
6	12:57:45	361,00	1,56	2786,48	-0,01	-0,26	6124,57	2,57	5,00
7	6:46:16	312,00	1,77	2781,09	-0,01	-0,29	7873,73	3,18	8,00
8	14:33:16	255,00	1,66	2782,65	-0,01	-0,28	6993,03	3,20	3,00
9	6:22:03	447,00	1,66	2780,71	-0,01	-0,24	4597,48	2,15	12,00
10	12:22:12	322,00	1,69	2778,11	-0,01	-0,28	7053,83	2,98	5,00
11	6:16:27	322,00	1,72	2770,53	-0,01	-0,28	6493,85	2,91	8,00
12	9:32:36	508,00	1,52	2787,64	-0,02	-0,27	6529,80	2,74	6,00
13	10:44:34	292,00	1,84	2778,84	-0,01	-0,28	6588,43	3,06	3,00
14	11:52:22	1144,00	1,86	2783,31	-0,01	-0,23	4072,50	2,01	5,00
15	12:02:39	382,00	1,56	2786,44	-0,02	-0,26	5401,53	2,45	5,00
16	3:53:42	415,00	1,60	2785,26	-0,02	-0,27	6171,42	2,73	9,00
17	13:29:10	928,00	1,67	2773,68	-0,01	-0,26	6265,94	2,82	12,00
18	13:59:07	653,00	1,69	2780,60	-0,02	-0,25	5491,59	2,49	6,00
19	5:17:47	751,00	1,78	2779,18	-0,01	-0,27	6679,81	2,86	11,00
20	15:01:24	766,00	1,71	2780,60	-0,01	-0,27	6682,15	2,89	12,00
21	19:37:24	479,00	1,92	2794,35	-0,01	-0,28	7342,25	3,10	5,00
22	13:10:59	940,00	1,70	2777,73	-0,02	-0,26	7100,26	3,08	8,00
23	13:05:35	526,00	1,72	2783,52	-0,01	-0,27	7059,34	2,98	8,00
24	11:58:54	361,00	1,98	2781,29	-0,01	-0,29	7175,74	3,16	7,00
25	7:16:29	480,00	1,82	2771,23	-0,01	-0,28	7771,82	3,29	6,00
26	19:08:38	724,00	1,80	2779,35	-0,02	-0,27	6493,95	2,73	6,00
27	10:38:05	377,00	1,74	2774,91	-0,02	-0,26	5866,45	2,55	5,00
28	5:29:10	85,00	1,71	2776,28	-0,02	-0,27	6483,87	2,89	2,00
29	12:09:31	469,00	1,81	2779,22	-0,02	-0,26	6255,78	2,94	6,00
30	18:12:08	415,00	1,50	2789,13	-0,02	-0,24	4760,99	2,10	10,00
Media		497,80	1,73	2780,88	-0,01	-0,27	6510,50	2,82	6,80
Desviación Estándar		241,41	0,11	5,22	0,00	0,02	910,18	0,32	2,80

Tabla 3-20. Ponderación de parámetros característicos corregidos de los viajes Cuenca-Machala.

Ciclo	Tiempo Ralentí	Aceleración Máxima	Altura Máxima	Pendiente Promedio	$v \sin \theta$ Promedio	v^3 Promedio	$a + v$ Promedio	No. Paradas	Mínima diferencia
Pesos relativo	0,276	0,009	0,007	0,142	0,372	0,099	0,086	0,009	
1	0,451	0,007	0,010	0,152	0,169	0,028	0,029	0,010	0,856
2	0,155	0,000	0,001	0,133	0,313	0,072	0,025	0,009	0,708
3	0,251	0,014	0,001	0,281	0,602	0,164	0,077	0,006	1,397
4	0,070	0,003	0,006	0,139	0,076	0,058	0,019	0,007	0,378
5	0,282	0,004	0,003	0,135	0,296	0,051	0,033	0,012	0,818
6	0,156	0,013	0,008	0,184	0,303	0,042	0,068	0,006	0,780
7	0,212	0,003	0,000	0,009	0,526	0,148	0,097	0,004	1,000
8	0,278	0,006	0,002	0,004	0,224	0,052	0,101	0,012	0,679
9	0,058	0,006	0,000	0,048	0,741	0,208	0,182	0,017	1,260
10	0,201	0,003	0,004	0,143	0,234	0,059	0,041	0,006	0,691
11	0,201	0,001	0,014	0,086	0,354	0,002	0,024	0,004	0,686
12	0,012	0,017	0,009	0,187	0,129	0,002	0,022	0,003	0,380
13	0,235	0,009	0,003	0,151	0,177	0,008	0,064	0,012	0,660
14	0,739	0,010	0,003	0,078	1,022	0,265	0,220	0,006	2,343
15	0,132	0,014	0,007	0,068	0,284	0,121	0,099	0,006	0,731
16	0,095	0,010	0,006	0,061	0,016	0,037	0,025	0,007	0,257
17	0,492	0,005	0,010	0,064	0,236	0,027	0,000	0,017	0,849
18	0,177	0,003	0,000	0,124	0,352	0,111	0,089	0,003	0,860
19	0,289	0,004	0,002	0,313	0,029	0,018	0,010	0,014	0,679
20	0,307	0,002	0,000	0,083	0,037	0,019	0,019	0,017	0,484
21	0,021	0,015	0,018	0,034	0,351	0,090	0,076	0,006	0,612
22	0,506	0,002	0,004	0,230	0,101	0,064	0,070	0,004	0,980
23	0,032	0,001	0,004	0,018	0,077	0,060	0,043	0,004	0,239
24	0,156	0,020	0,001	0,001	0,411	0,072	0,091	0,001	0,751
25	0,020	0,007	0,013	0,154	0,381	0,137	0,125	0,003	0,841
26	0,259	0,006	0,002	0,097	0,044	0,002	0,026	0,003	0,437
27	0,138	0,001	0,008	0,096	0,211	0,070	0,073	0,006	0,602
28	0,472	0,002	0,006	0,123	0,099	0,003	0,019	0,015	0,740
29	0,033	0,006	0,002	0,201	0,115	0,028	0,033	0,003	0,420
30	0,095	0,018	0,011	0,186	0,737	0,190	0,194	0,010	1,442

En los viajes Cuenca – Machala, la ponderación de parámetros característicos, el viaje representativo es el 23, en razón de su mínima diferencia 0,239.

Tabla 3-21. Parámetros característicos corregidos ruta Machala-Cuenca.

Ciclo	Hora de Inicio [hh:mm:ss]	Tiempo Ralentí [s]	Aceleración Máxima [m/s ²]	Altura Máxima [m]	Pendiente Promedio [rad]	v _{senθ} Promedio [m/s]	v ³ Promedio [m/s] ³	a+ v Promedio [m ² /s ³]	No. Paradas
1	16:05:26	421,00	1,63	2781,62	0,02	0,28	7261,23	2,76	5,00
2	5:16:57	180,00	1,68	2768,26	0,02	0,30	8447,02	2,69	1,00
3	16:09:03	234,00	1,90	2780,60	0,02	0,27	6551,85	2,60	9,00
4	15:53:50	167,00	1,45	2784,17	0,02	0,27	6182,00	2,49	5,00
5	12:51:04	1404,00	1,67	2772,20	0,02	0,25	5942,37	2,35	6,00
6	12:57:45	350,00	1,48	2770,92	0,02	0,26	5552,47	2,23	4,00
7	6:46:16	22,00	1,65	2771,34	0,02	0,27	6460,60	2,39	3,00
8	14:33:16	123,00	1,46	2772,72	0,02	0,27	5829,49	2,48	6,00
9	6:22:03	239,00	1,98	2773,47	0,02	0,26	5762,22	2,32	11,00
10	12:22:12	28,00	1,71	2770,76	0,02	0,29	7026,26	2,57	4,00
11	6:16:27	142,00	1,44	2785,78	0,02	0,28	6670,94	2,56	2,00
12	9:32:36	327,00	1,54	2779,46	0,02	0,27	6352,22	2,67	4,00
13	10:44:34	848,00	1,49	2785,05	0,02	0,24	4506,11	1,93	9,00
14	11:52:22	1254,00	1,44	2784,06	0,02	0,25	5969,62	2,42	6,00
15	12:02:39	1018,00	1,58	2776,43	0,02	0,25	5772,89	2,51	7,00
16	3:53:42	224,00	1,39	2782,12	0,02	0,24	4068,18	1,73	7,00
17	13:29:10	556,00	1,75	2770,95	0,02	0,26	5697,43	2,30	2,00
18	13:59:07	89,00	1,65	2782,00	0,02	0,28	6715,10	2,60	5,00
19	5:17:47	407,00	1,87	2774,96	0,02	0,28	7206,86	2,86	3,00
20	15:01:24	2530,00	1,53	2776,71	0,01	0,22	5446,89	2,16	6,00
21	19:37:24	420,00	1,59	2786,04	0,02	0,27	6659,03	2,64	6,00
22	13:10:59	5,00	1,64	2770,27	0,02	0,29	7438,27	2,82	2,00
23	13:05:35	416,00	1,49	2779,92	0,02	0,25	5197,51	2,16	7,00
24	11:58:54	65,00	1,66	2773,36	0,02	0,28	6358,26	2,58	1,00
25	7:16:29	872,00	1,71	2783,01	0,02	0,25	5573,68	2,33	5,00
26	19:08:38	169,00	1,88	2788,97	0,02	0,26	5376,35	2,27	4,00
27	10:38:05	649,00	1,63	2788,18	0,02	0,25	5488,79	2,18	7,00
28	5:29:10	13,00	1,65	2780,73	0,02	0,29	6358,90	2,69	2,00
29	12:09:31	724,00	1,83	2788,69	0,02	0,26	5960,96	2,26	6,00
30	18:12:08	334,00	1,46	2787,04	0,02	0,28	6616,88	2,45	5,00
Media		474,33	1,63	2778,99	0,02	0,27	6148,35	2,43	5,00
Desviación Estándar		525,94	0,15	6,32	0,00	0,02	863,80	0,25	2,38

Tabla 3-22. Ponderación de parámetros característicos corregidos de los viajes Machala-Cuenca.

Ciclo	Tiempo Ralentí	Aceleración Máxima	Altura Máxima	Pendiente Promedio	vsen θ Promedio	v ³ Promedio	a+ v Promedio	No. Paradas	Mínima diferencia
Pesos relativo	0,276	0,009	0,007	0,142	0,372	0,099	0,086	0,009	
1	0,028	0,000	0,003	0,044	0,311	0,128	0,111	0,000	0,624
2	0,154	0,003	0,012	0,042	0,767	0,263	0,089	0,015	1,346
3	0,126	0,016	0,002	0,081	0,160	0,046	0,058	0,015	0,503
4	0,161	0,011	0,006	0,041	0,102	0,004	0,019	0,000	0,344
5	0,488	0,002	0,008	0,236	0,422	0,024	0,029	0,004	1,212
6	0,065	0,009	0,009	0,018	0,213	0,068	0,069	0,004	0,456
7	0,237	0,001	0,008	0,317	0,162	0,036	0,016	0,008	0,785
8	0,184	0,010	0,007	0,011	0,037	0,037	0,016	0,004	0,306
9	0,123	0,021	0,006	0,133	0,155	0,044	0,040	0,023	0,545
10	0,234	0,005	0,009	0,015	0,438	0,101	0,047	0,004	0,852
11	0,174	0,011	0,008	0,030	0,333	0,060	0,044	0,011	0,672
12	0,077	0,005	0,001	0,061	0,114	0,023	0,082	0,004	0,367
13	0,196	0,008	0,007	0,207	0,610	0,188	0,170	0,015	1,403
14	0,409	0,011	0,006	0,095	0,311	0,020	0,006	0,004	0,862
15	0,285	0,003	0,003	0,136	0,354	0,043	0,028	0,008	0,859
16	0,131	0,014	0,003	0,040	0,553	0,238	0,239	0,008	1,227
17	0,043	0,007	0,009	0,043	0,080	0,052	0,045	0,011	0,289
18	0,202	0,001	0,003	0,107	0,378	0,065	0,057	0,000	0,813
19	0,035	0,014	0,004	0,039	0,354	0,121	0,147	0,008	0,722
20	1,079	0,005	0,003	0,402	0,877	0,080	0,095	0,004	2,545
21	0,029	0,002	0,008	0,158	0,143	0,059	0,069	0,004	0,471
22	0,246	0,001	0,010	0,156	0,559	0,148	0,131	0,011	1,262
23	0,031	0,008	0,001	0,245	0,366	0,109	0,092	0,008	0,860
24	0,215	0,002	0,006	0,012	0,225	0,024	0,049	0,015	0,549
25	0,209	0,005	0,004	0,026	0,293	0,066	0,035	0,000	0,638
26	0,160	0,015	0,011	0,145	0,091	0,088	0,057	0,004	0,571
27	0,092	0,000	0,010	0,070	0,229	0,076	0,087	0,008	0,571
28	0,242	0,001	0,002	0,070	0,404	0,024	0,089	0,011	0,844
29	0,131	0,012	0,011	0,023	0,150	0,021	0,061	0,004	0,413
30	0,074	0,010	0,009	0,155	0,216	0,054	0,005	0,000	0,522

En los viajes Machala - Cuenca, la ponderación de parámetros característicos, el viaje representativo es el 17, en razón de su mínima diferencia 0,289.

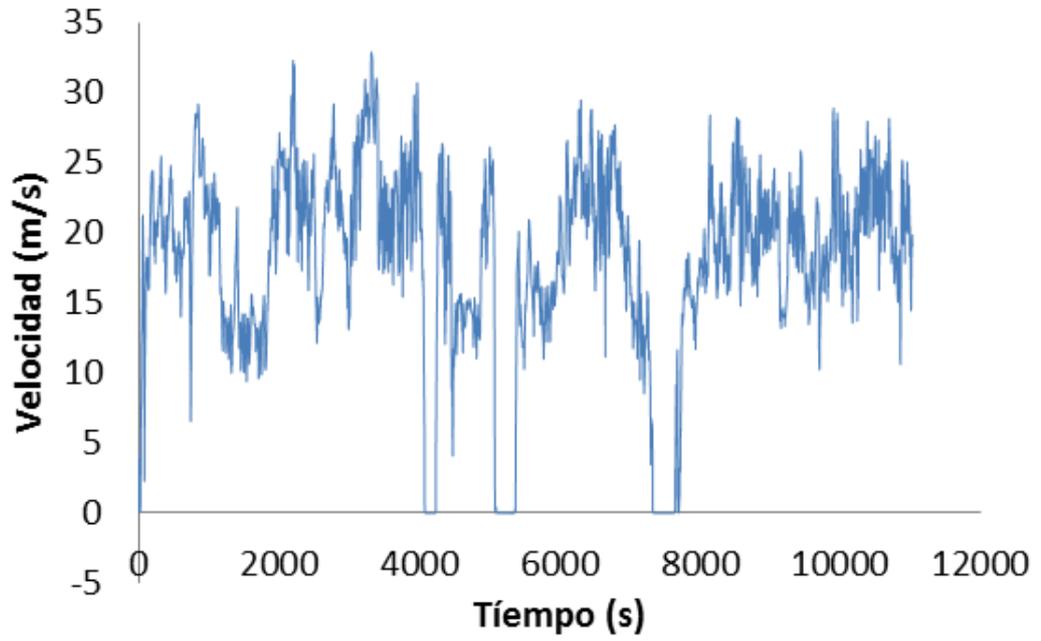


Figura 3.8. Ciclo representativo ruta Cuenca-Loja.

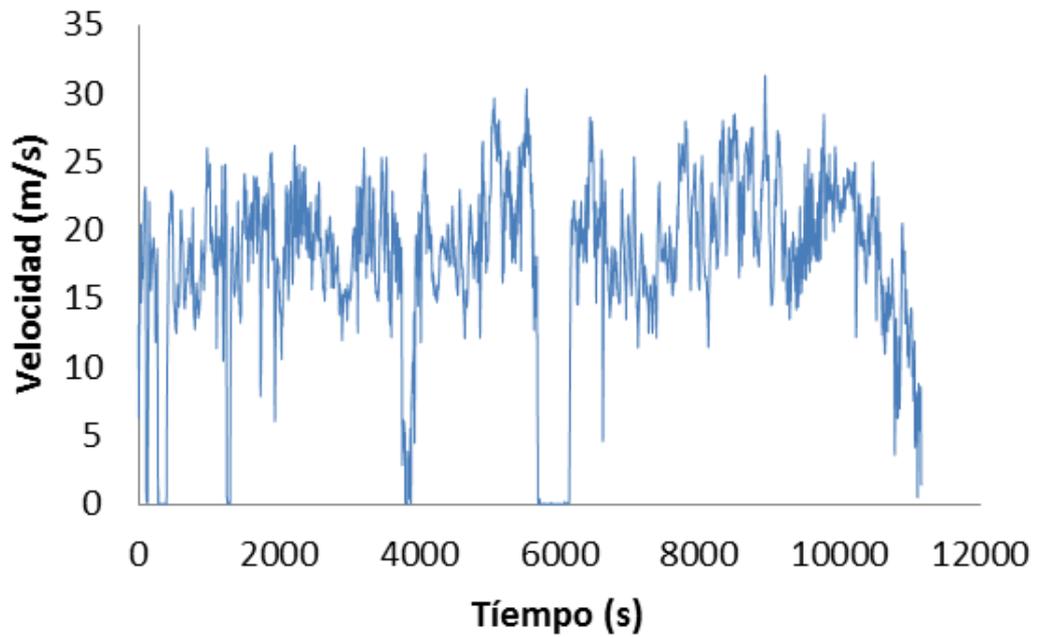


Figura 3.9. Ciclo representativo ruta Loja-Cuenca.

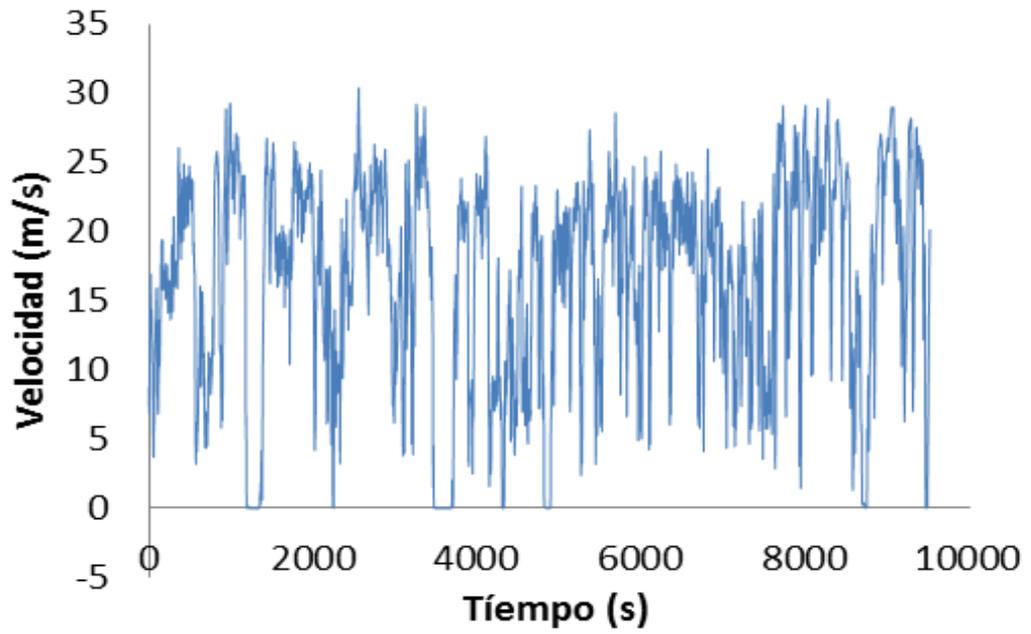


Figura 3.10. Ciclo representativo ruta Cuenca-Machala.

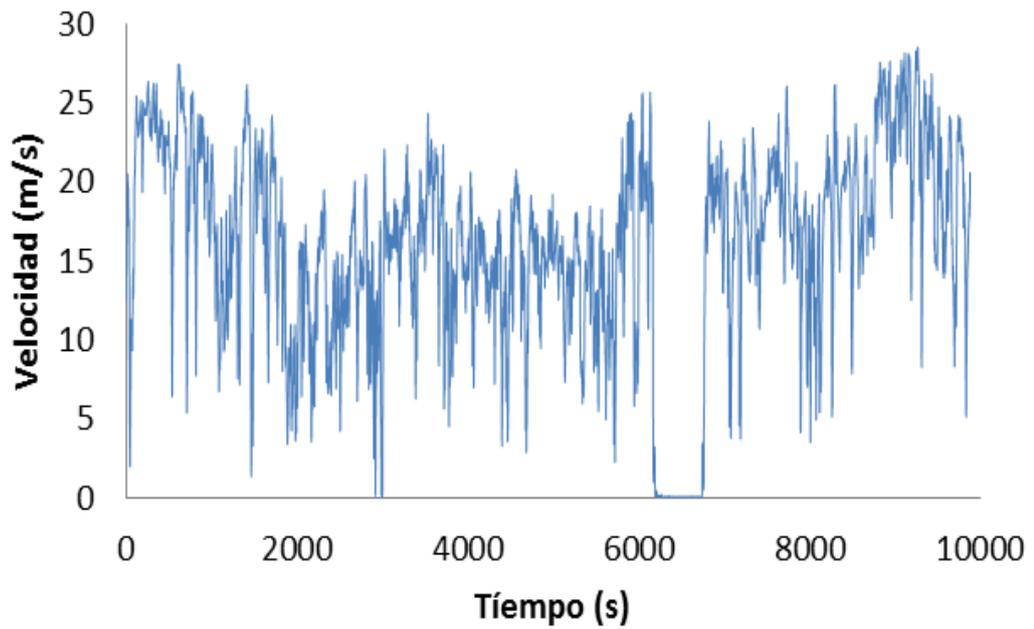


Figura 3.11. Ciclo representativo ruta Machala-Cuenca.

Tabla 3-23. Características de ciclos representativos.

Ruta	Cuenca-Loja	Loja-Cuenca	Cuenca-Machala	Machala-Cuenca
Tiempo Ralentí [s]	768,00	642,00	526,00	556,00
Aceleración Máxima [m/s ²]	1,60	1,62	1,72	1,75
Altitud Máxima [m]	3481,34	3473,02	2783,52	2770,95
Pendiente Promedio [rad]	0,004	0,018	-0,015	0,018
Vsenθ Promedio [m/s]	-0,05	0,04	-0,272	0,262
v ³ Promedio [m/s] ³	8062,15	7426,22	7059,34	5697,43
a + v Promedio [m ² /s ³]	2,25	2,00	2,98	2,30
Número de Paradas	5	5	8	2
Pendiente Máxima [rad]	0,158	0,200	0,197	0,197
Velocidad Máxima [m/s]	32,750	31,23	30,008	28,284
Velocidad Promedio [m/s]	18,031	17,83	16,567	15,803
Distancia Total [km]	198,9	198,9	157,7	156,3
Duración [s] [h]	11028 [3:03:48]	11157 [3:05:57]	9521 [2:38:41]	9886 [2:44:46]

CAPÍTULO IV

ADQUISICIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS AMBIENTALES Y DEL VEHÍCULO

En este capítulo se describe el proceso con el que se obtuvo los datos de los parámetros ambientales, a partir de los métodos expuestos en el capítulo 2. También se detallan los valores de los parámetros del vehículo y se especifican las fuentes de recopilación.

4.1. Adquisición de parámetros ambientales

Estos parámetros han sido calculados desde los ciclos representativos, obtenidos de cada ruta. A continuación se detalla el procedimiento.

4.1.1. Cálculo de densidad del aire y la gravedad

Con el análisis de los ciclos de conducción, de cada una de las rutas especificadas con anterioridad. Se determinan puntos de referencia dentro de la ruta con base en su variación de altitud. Estos puntos sirven para realizar los cálculos de la densidad del aire y gravedad.

Tabla 4-1. Diferencias de altitud en las rutas Cuenca-Loja y Cuenca-Machala

Puntos de referencia	Diferencia de altitud
Cuenca – Loja	3400m – 1800m
Cuenca – Machala	2800m – 0m

Por medio del Google Earth se determinan puntos, con un rango de altitud de alrededor de 200-400 metros entre sí, en cada una de las rutas. Con esto podemos obtener valores de densidad y gravedad con mayor precisión para el cálculo de la demanda energética.

Para la ruta Cuenca – Loja se fijaron diecisiete puntos y para la ruta Cuenca – Machala, trece. Establecidos estos puntos y en base a la información de los anuarios del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), se obtuvieron datos de temperatura y presión para cada punto. Sin embargo, como no se obtuvieron datos de presión en algunos puntos desde el (Inahmi, 2014) y (Inamhi, 2015), dichos datos fueron obtenidos por medio de la tabla de propiedades atmosféricas a gran altitud, perteneciente al libro Termodinámica (CENGEL & BOLES, 2009). Esta información se puede observar en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2. Datos meteorológicos de puntos referenciales con rangos de altitud en la ruta Cuenca-Loja.

Puntos de referencia	Altitud	Rango de altitud	Temperatura	Presión Inamhi	Presión Cengel
	[m]	[m]	[°K]	[KPa]	[KPa]
Cuenca	2550	2600-3000	287,7	73,24	74,23
Tocadel	3048	3000-3200	282,0	70,21	69,70
Pucalpa	3305	3200-3400-3200	283,3	-	67,45
Purín	3079	3000-3200	286,5	-	69,42
Cuchudel	2863	2800-3000	280,3	-	71,35
Susudel	2475	2100-2800	288,3	76,02	74,93
Río León	1880	2100-1800-2100	288,0	-	80,69
Oña	2298	2100-2300	288,1	76,92	76,61
Zhila	2545	2300-2600	285,0	-	74,27
San Antonio	2697	2600-3000-2600	287,0	-	72,87
Urdaneta	2520	2600-2300	287,2	-	74,51
Saraguro	2525	2300-2600	287,1	74,2	74,46
Pichig	2653	2600-3000-2600	292,1	-	73,27
San Lucas	2423	2600-2400-2600	287,4	76,84	75,41
Zenén	2765	2600-2800-2600	288,0	72,51	72,24
Naranjito	2507	2600-2400	296,3	-	74,63
Loja	2110	2400-2100	289,6	81,22	78,43

Tabla 4-3. Datos meteorológicos de puntos referenciales con rangos de altitud en la ruta Loja-Cuenca.

Puntos de referencia	Altitud	Rango de altitud	Temperatura	Presión Inamhi	Presión Cengel
	[m]	[m]	[°K]	[KPa]	[KPa]
Loja	2110	2100-2400	289,6	81,22	78,43
Naranjito	2507	2400-2600	296,3	-	74,63
Zenén	2765	2600-2800-2600	288,0	72,51	72,24
San Lucas	2423	2600-2400-2600	287,4	76,84	75,41
Pichig	2653	2600-3000-2600	292,1	-	73,27
Saraguro	2525	2600-2300	287,1	74,2	74,46
Urdaneta	2520	2300-2600	287,2	-	74,51
San Antonio	2697	2600-3000-2600	287,0	-	72,87
Zhila	2545	2600-2300	285,0	-	74,27
Oña	2298	2300-2100	288,1	76,92	76,61
Río León	1880	2100-1800-2100	288,0	-	80,69
Susudel	2475	2100-2800	288,3	76,02	74,93
Cuchudel	2863	2800-3000	280,3	-	71,35
Purín	3079	3000-3200	286,5	-	69,42
Pucalpa	3305	3200-3400-3200	283,3	-	67,45
Tocadel	3048	3200-3000	282,0	70,21	69,70
Cuenca	2550	3000-2600	287,7	73,24	74,23

Tabla 4-4. Datos meteorológicos de puntos referenciales con rangos de altitud en la ruta Cuenca–Machala.

Puntos de referencia	Altitud	Rango de altitud	Temperatura	Presión Inamhi	Presión Cengel
	[m]	[m]	[°K]	[KPa]	[KPa]
Cuenca	2550	(2600-2800)	287,7	73,24	74,23
Cofradía	2350	(2200-2600)	289,3	-	76,11
Girón	2130	(2000-2200)	290,2	81,52	78,23
Paltas	1808	(1800-2000)	291,8	-	81,49
Lentag	1601	(1600-1800)	293,6	83,45	83,52
Sta. Isabel	1450	(1300-1600)	293,5	86,43	85,08
La Tarabita	1208	(1100-1300)	296,1	-	87,64
San Sebastián	955	(900-1100)	296,7	-	90,38
Tendales	802	(800-900)	298,2	-	92,06
Pinto	657	(600-800)	295,8	-	93,68
Uzhcurrumi	407	(400-600)	294,2	-	96,53
Porotillo	292	(200-400)	296,9	99,01	97,87
Machala	4	(0-200)	298,2	99,95	101,28

Tabla 4-5. Datos meteorológicos de puntos referenciales con rangos de altitud en la ruta Machala-Cuenca.

Puntos de referencia	Altitud	Rango de altitud	Temperatura	Presión Inamhi	Presión Cengel
	[m]	[m]	[°K]	[KPa]	[KPa]
Machala	4	0-200	298,2	99,95	101,28
Porotillo	292	200-400	296,9	99,01	97,87
Uzhcurrumi	407	400-600	294,2	-	96,53
Pindo	657	600-800	295,8	-	93,68
Tendales	802	800-900	298,2	-	92,06
San Sebastián	955	900-1100	296,7	-	90,38
La Tarabita	1208	1100-1300	296,1	-	87,64
Sta. Isabel	1450	1300-1600	293,5	86,43	85,08
Lentag	1601	1600-1800	293,6	83,45	83,52
Paltas	1808	1800-2000	291,8	-	81,49
Girón	2130	2000-2200	290,2	81,52	78,23
Cofradía	2350	2200-2600	289,3	-	76,11
Cuenca	2550	2600-2800	287,7	73,24	74,23

Se realizó una comparación entre los datos de presión obtenidos en la tabla de Cengel y los datos del INAMHI; se verificó que tan parecidos son estos valores y se determinó un coeficiente de determinación R^2 con el objetivo de validar los datos obtenidos de Cengel. Los coeficientes de determinación para cada una de las rutas son:

Tabla 4-6. Resultado del coeficiente R^2 .

Ruta	R^2
Cuenca – Loja - Cuenca	0,913
Cuenca – Machala - Cuenca	0,975

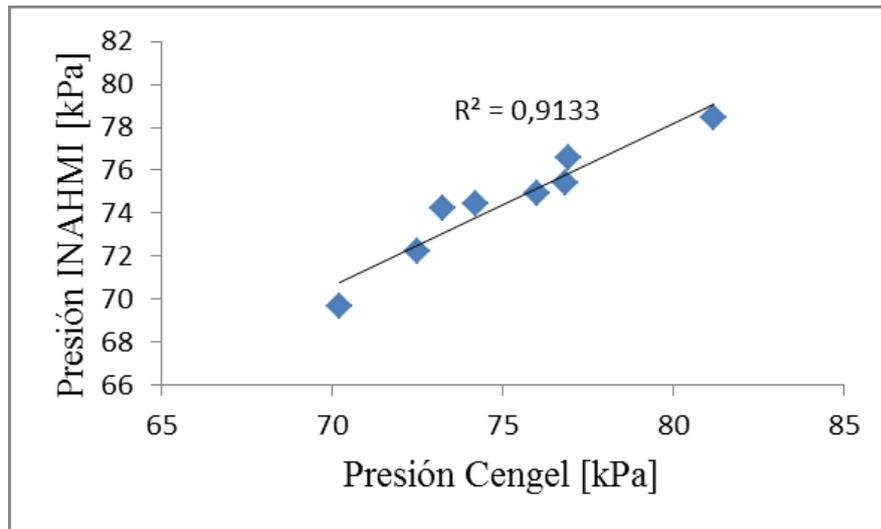


Figura 4.1. Coeficiente de determinación Cuenca-Loja-Cuenca.

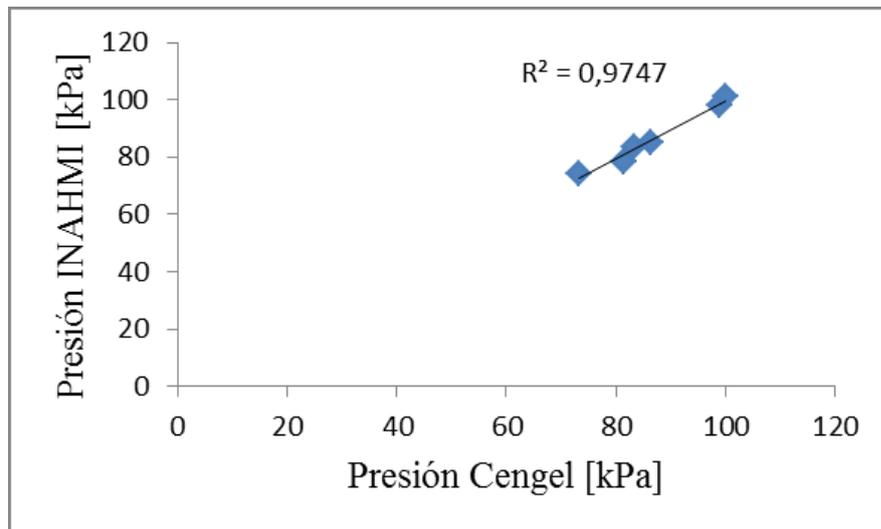


Figura 4.2. Coeficiente de determinación Cuenca-Machala-Cuenca.

Una vez validados los datos de presión obtenidos de Cengel y Boles, se obtienen los valores de densidad y gravedad. Los datos de densidad, aplicando la Ec. (16), y, los de gravedad, con la Ec. (17). En la siguiente tabla, se observa los datos de densidad y gravedad para la ruta Cuenca – Loja.

Tabla 4-7. Valores de densidad del aire y gravedad para cada punto referencial en la ruta Cuenca-Loja.

Puntos de referencial	Rango de tiempo	Densidad	Gravedad
	[s]	[Kg/m ³]	[m/s ²]
Cuenca	0-1352	0,90	9,810
Tocadel	1353-1599	0,86	9,809
Pucalpa	1600-3112	0,83	9,808
Purín	3113-3487	0,84	9,809
Cuchudel	3488-3641	0,89	9,809
Susudel	3642-4307	0,91	9,810
Río León	4308-4675	0,98	9,812
Oña	4676-5486	0,93	9,811
Zhila	5487-5752	0,91	9,810
San Antonio de Cumbe	5753-6732	0,88	9,810
Urdaneta	6733-7021	0,90	9,810
Saraguro	7022-7774	0,90	9,810
Pichig	7775-8687	0,87	9,810
San Lucas	8688-9648	0,91	9,811
Zenén	9649-10444	0,87	9,810
Naranjito	10445-10630	0,88	9,810
Loja	10631-11028	0,94	9,812

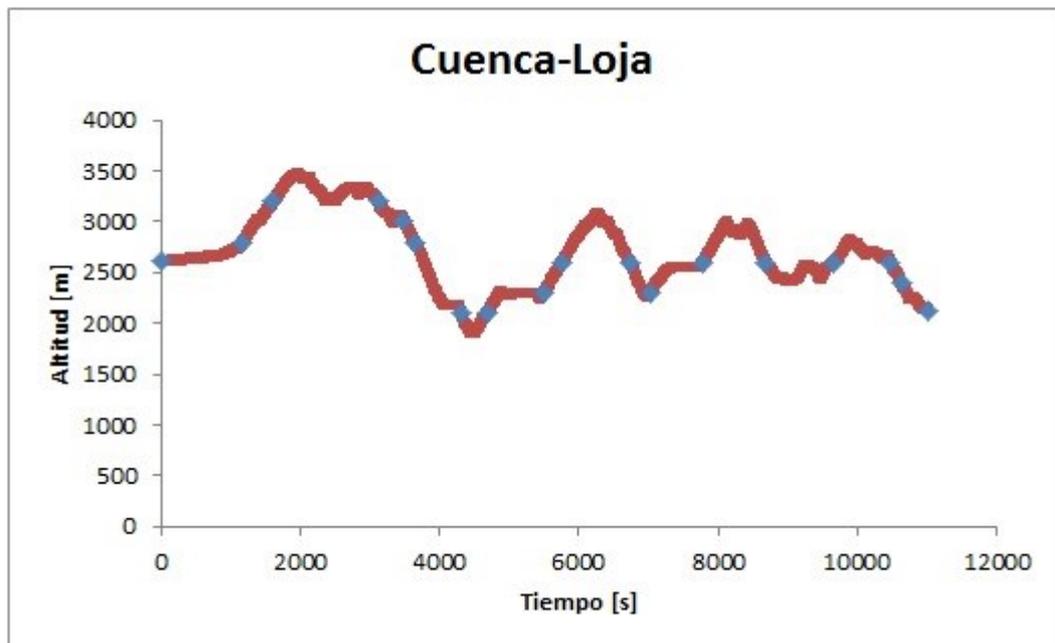


Figura 4.3. Rango de densidad y gravedad según altura del ciclo representativo Cuenca-Loja.

Tabla 4-8. Valores de densidad del aire y gravedad para cada punto referencial en la ruta Loja-Cuenca.

Puntos de referencia	Rango de tiempo	Densidad	Gravedad
	[s]	[Kg/m ³]	[m/s ²]
Loja	0-646	0,94	9,812
Naranjito	647-870	0,88	9,810
Zenén	871-1781	0,87	9,810
San Lucas	1782-2765	0,91	9,811
Pichig	2766-3712	0,87	9,810
Saraguro	3713-4214	0,90	9,810
Urdaneta	4215-4436	0,90	9,810
San Antonio de Cumbe	4437-5429	0,88	9,810
Zhila	5430-5599	0,91	9,810
Oña	5600-6486	0,93	9,811
Río León	6487-6812	0,98	9,812
Susudel	6813-7453	0,91	9,810
Cuchudel	7454-7614	0,89	9,809
Purín	7615-8091	0,84	9,809
Pucalpa	8092-9526	0,83	9,808
Tocadel	9527-9701	0,86	9,809
Cuenca	9702-11157	0,90	9,810

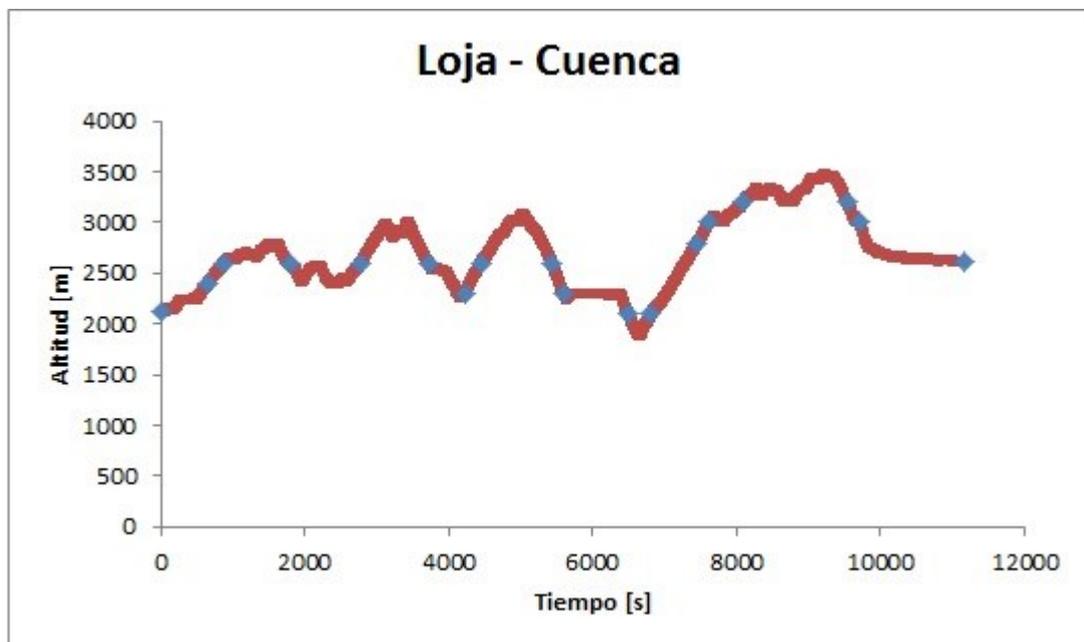


Figura 4.4. Rango de densidad y gravedad según altura del ciclo representativo Loja-Cuenca.

Tabla 4-9. de densidad del aire y gravedad para cada punto referencial en la ruta Cuenca–Machala.

Puntos de referencia	Rango de tiempo	Densidad	Gravedad
	[s]	[Kg/m ³]	[m/s ²]
Cuenca	0-1787	0,90	9,810
Cofradía	1788-2152	0,92	9,811
Girón	2153-2689	0,94	9,811
Paltas	2690-2851	0,97	9,812
Lentag	2852-3185	0,99	9,813
Sta. Isabel	3186-4793	1,01	9,814
La Tarabita	4794-5119	1,03	9,814
San Sebastián de Yuluc	5120-5670	1,06	9,815
Tendales	5671-6077	1,08	9,816
Pinto	6078-6718	1,10	9,816
Uzhcurrumi	6719-7471	1,14	9,817
Porotillo	7472-7738	1,15	9,817
Machala	7739-9521	1,18	9,818

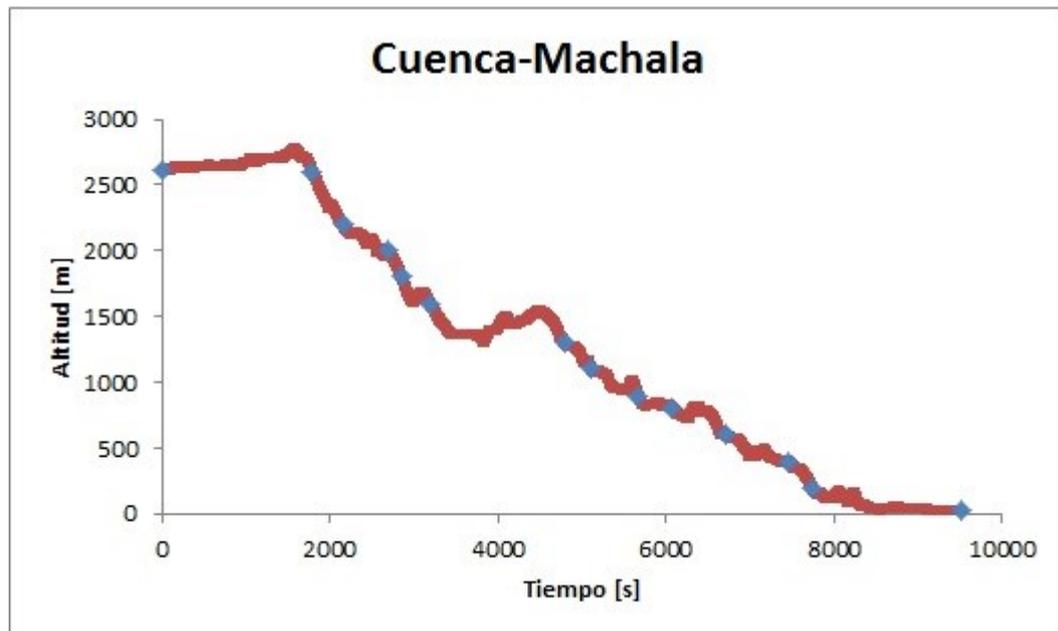


Figura 4.5. Rango de densidad y gravedad según altura del ciclo representativo Cuenca-Machala.

Tabla 4-10. Valores de densidad del aire y gravedad para cada punto referencial en la ruta Machala-Cuenca.

Puntos de referencia	Rango de tiempo	Densidad	Gravedad
	[s]	[Kg/m ³]	[m/s ²]
Machala	0-1728	1,18	9,818
Porotillo	1729-2216	1,15	9,817
Uzhcurrumi	2217-3045	1,14	9,817
Pindo	3046-3743	1,10	9,816
Tendales	3744-4205	1,08	9,816
San Sebastián de Yuluc	4206-4894	1,06	9,815
La Tarabita	4895-5140	1,03	9,814
Sta. Isabel	5141-7116	1,01	9,814
Lentag	1717-7432	0,99	9,813
Paltas	7433-7764	0,97	9,812
Girón	7765-8162	0,94	9,811
Cofradía	8163-8565	0,92	9,811
Cuenca	8566-9886	0,90	9,810

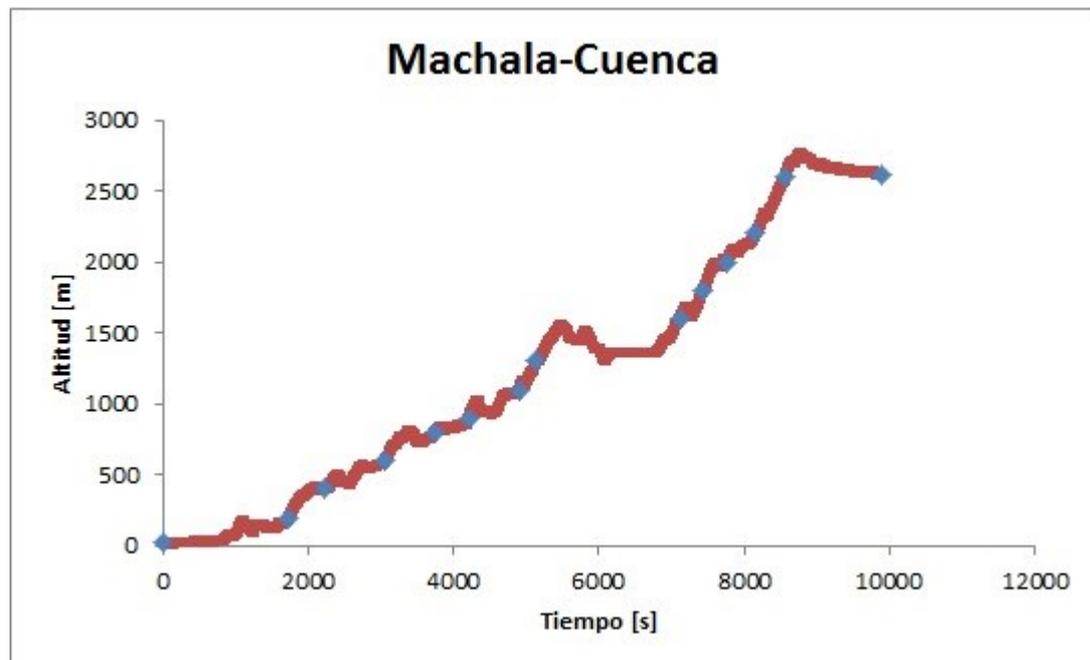


Figura 4.6. Rango de densidad y gravedad según altura del ciclo representativo Machala-Cuenca.

4.2. Adquisición de parámetros del vehículo

4.2.1. Coeficiente de resistencia a la rodadura (fr)

Ya identificados los viajes representativos en cada recorrido realizado, se utiliza el parámetro de velocidad promedio, de manera que sea empleado en la Ec. (14), para obtener el coeficiente de resistencia a la rodadura (fr).

Tabla 4-11. Datos de la velocidad promedio de cada ciclo representativo.

Rutas	Viaje representativo	Velocidad promedio [mph]
Cuenca – Loja	19	40,33
Loja – Cuenca	5	39,89
Cuenca - Machala	23	36,84
Machala - Cuenca	17	33,73

Por medio de manuales de fabricación se determina la presión de inflado nominal de los neumáticos, en cada una de las marcas de los vehículos en estudio. Desde la Figura 2.15 se obtiene los valores del coeficiente básico (fo) y del coeficiente de efecto de la velocidad (fs), para cada una de las diferentes presiones.

En la Tabla 4-12 se muestra los datos de presión nominal de neumáticos para cada marca de vehículos, el valor del coeficiente básico (fo) y del coeficiente de efecto de la velocidad (fs). En la posición de la llanta se coloca “D” en su significado de delantera y “P” posterior. Por último, la presión, es la nominal declarada por el fabricante.

Tabla 4-12. Datos de presión nominal de neumáticos para cada marca de vehículos y los valores de los coeficientes f_0 y f_s .

Vehículo	Nissan Leaf		Renault Kangoo Z.E		BYD E6		Kia Soul EV	
Tamaño de llanta	205/55 R16		195/65 R15		235/65 R17		205/60 R16	
Posición de llanta	D	P	D	P	D	P	D	P
Presión [psi]	36	36	36	42	44	44	33,5	33,5
Coefficiente (f_0)	0,009	0,009	0,009	0,0085	0,008	0,008	0,0095	0,0095
Coefficiente (f_s)	0,004	0,004	0,004	0,0025	0,003	0,003	0,0045	0,0045

Fuente: (Byd-auto.net, 2016)
(Nissan USA, 2016)
(www.automobile-catalog.com, 2016)
(Renault España, 2016)
(GILLESPIE, 1992).

Aplicando la Ec. (14) y se obtiene los resultados del coeficiente de f_r .

Tabla 4-13. Resultados del coeficiente a la rodadura (f_r).

Vehículo	Nissan Leaf	Renault Kangoo Z.E		BYD E6	Kia Soul EV
(fr) Cuenca-Loja	0,01034	0,01034	0,00934	0,00900	0,01101
(fr) Loja-Cuenca	0,01030	0,01030	0,00931	0,00898	0,01097
(fr) Cuenca-Machala	0,01007	0,01007	0,00917	0,00880	0,01070
(fr) Machala-Cuenca	0,00986	0,00986	0,00904	0,00864	0,01046

4.2.2. Coeficiente de arrastre (Cd)

Obtenidos del catálogo de fabricante y de trabajos referenciales.

Tabla 4-14. Valores del coeficiente Cd y fuente.

Modelo	Cd	Referencia
Nissan Leaf	0,28	(Nissan USA, 2016)
Renault Kangoo EV	0,33	(JÄGER & LIENKAMP, 2014)
BYD E6	0,30	(Byd-auto.net, 2016)
KIA Soul EV	0,34	(www.automobile-catalog.com, 2016)

4.2.3. Área frontal del vehículo (Af)

Mediante el modelado del perfil especificado en el capítulo 2, se calcula los siguientes datos del área frontal. Todos los dibujos están realizados en Inventor Professional 2016. De la Figura 2.10, se tiene el área del Renault Kangoo Z.E. A continuación las imágenes y valores del área frontal de los demás automóviles.

Tabla 4-15. Valores del área frontal.

Modelo	Área frontal [m²]
Nissan Leaf	2,30
Renault Kangoo EV	2,80
BYD E6	2,45
KIA Soul EV	2,48

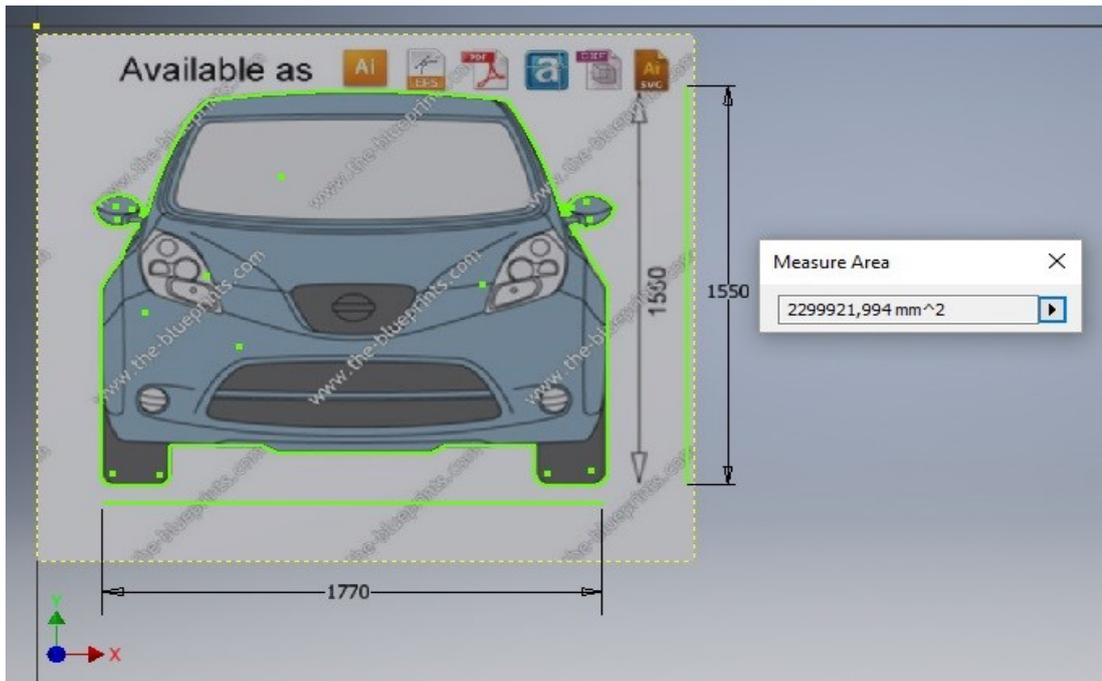


Figura 4.7. Área frontal Nissan Leaf.

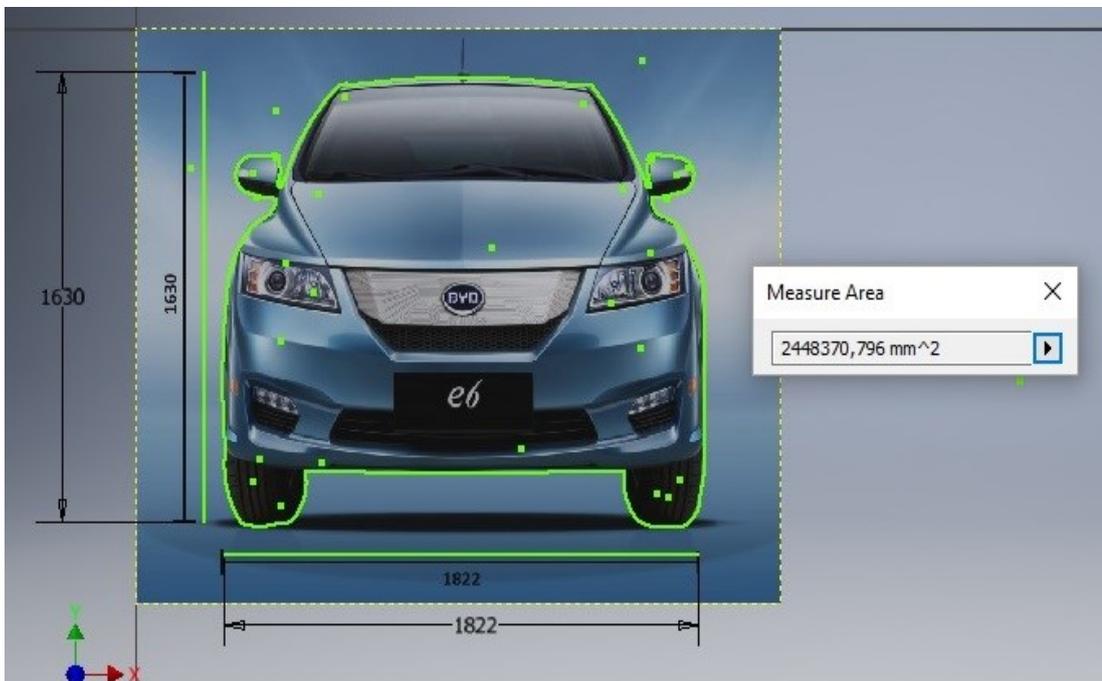


Figura 4.8. Área frontal BYD E6.

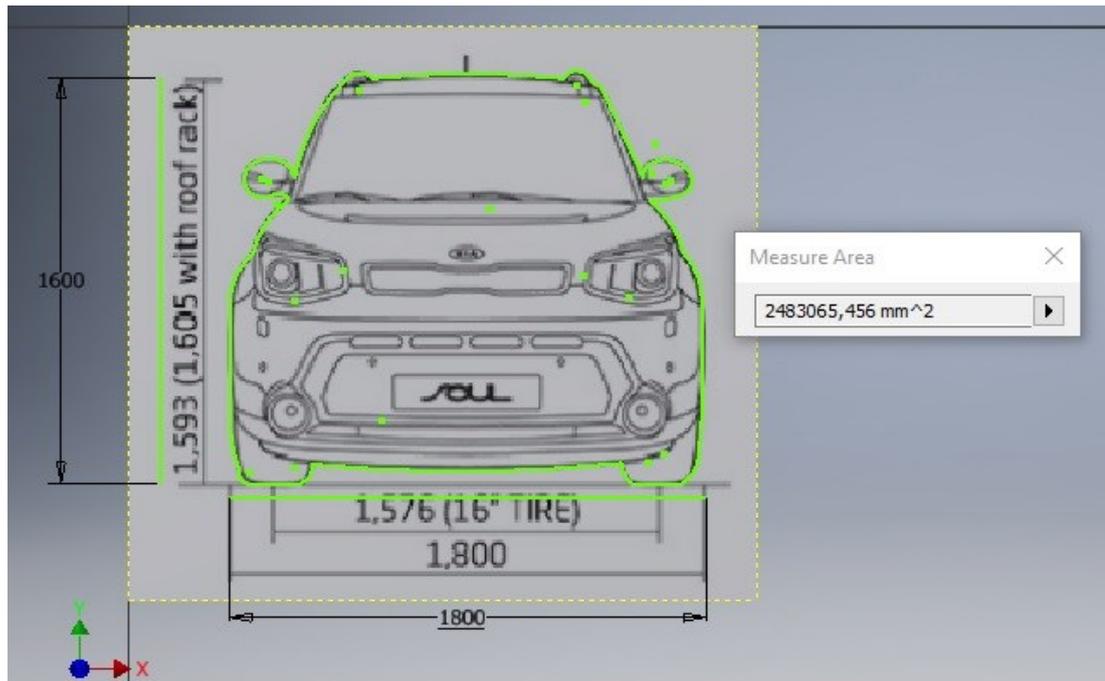


Figura 4.9. Área frontal Kia Soul E.V.

4.2.4. Masa del vehículo (m)

De los catálogos del fabricante se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 4-16. Masa del vehículo.

Modelo	Masa del vehículo [kg]	Referencia
Nissan Leaf	1520	(Nissan USA, 2016)
Renault Kangoo EV	1628	(JÄGER & LIENKAMP, 2014)
BYD E6	2295	(Byd-auto.net, 2016)
KIA Soul EV	1492	(www.automobile-catalog.com, 2016)

CAPÍTULO V

CÁLCULOS Y RESULTADOS

Finalmente, se ha calculado la fuerza en rueda total, necesaria para impulsar cada vehículo en las rutas fijas establecidas, y, se ha realizado un análisis de demanda energética, obteniendo los siguientes resultados:

- El auto que necesita más fuerza para su desplazamiento en las cuatro rutas, es el BYD E6 debido a su elevada masa. En cambio el Nissan Leaf, siendo el más ligero, necesita de menor fuerza para su desplazamiento.
- Debido a la gran masa del BYD E6, las resistencias que son directamente proporcionales a este parámetro, aumentan su porcentaje de contribución. De esta manera, provoca que, la fuerza de arrastre, sea la menos influyente.
- En las rutas Cuenca-Loja, Loja-Cuenca y Machala-Cuenca, la fuerza que más se opone al movimiento del automóvil es la resistencia debida a la pendiente. No obstante en la ruta Cuenca-Machala, la fuerza que más se opone al movimiento es la resistencia debida a la inercia. En esta ruta, al ser la pendiente en su mayoría negativa, provoca que la resistencia, debida a la pendiente, sea propulsora y no de oposición.

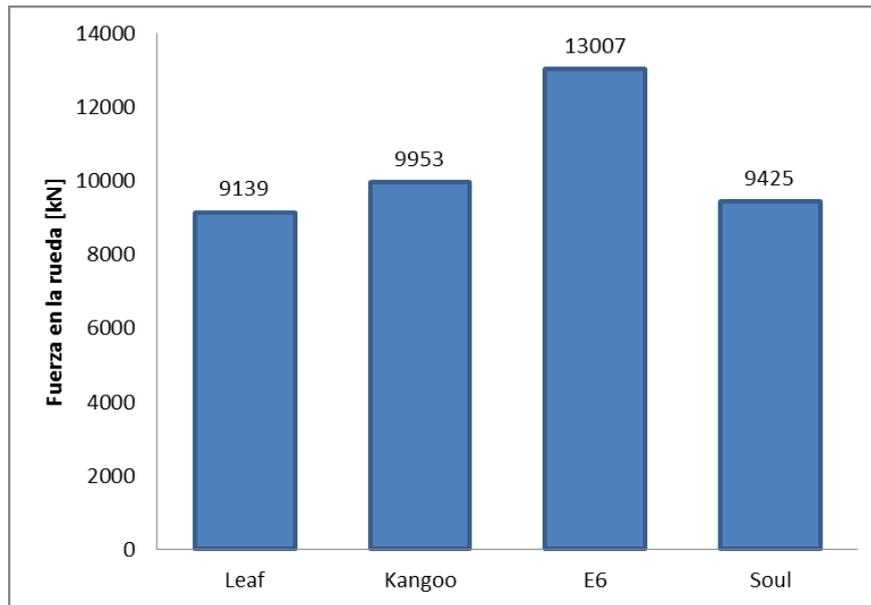


Figura 5.1. Fx total en ruta Cuenca-Loja.

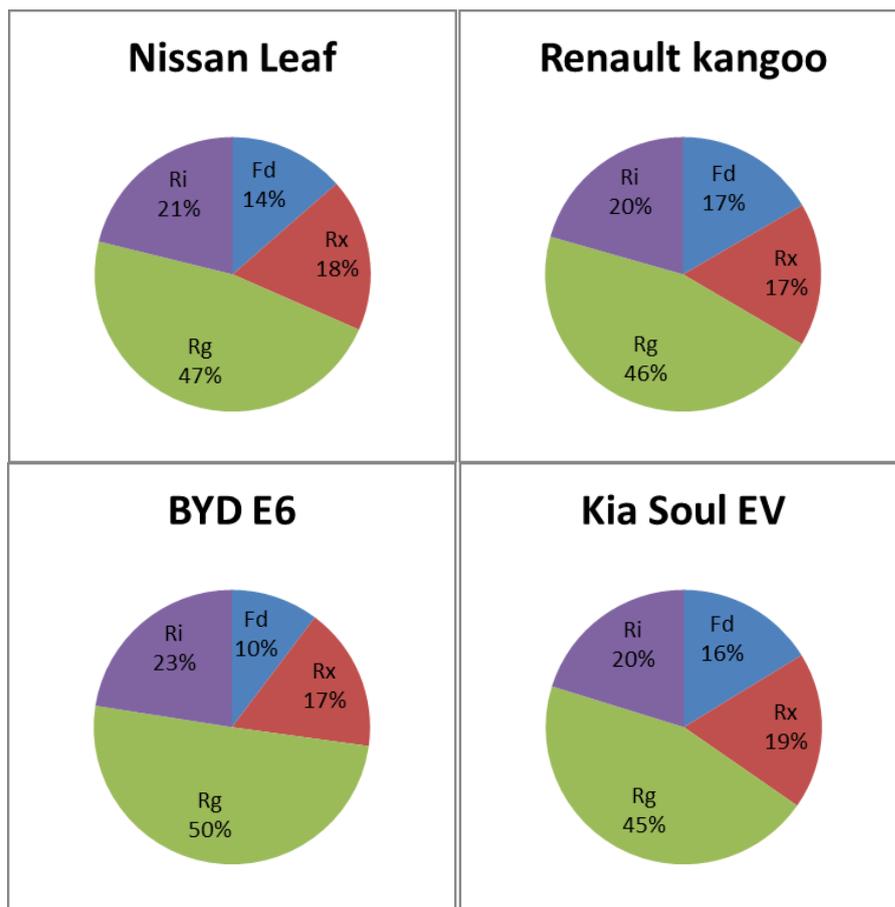


Figura 5.2. Contribución de cada resistencia a Fx, Cuenca-Loja.

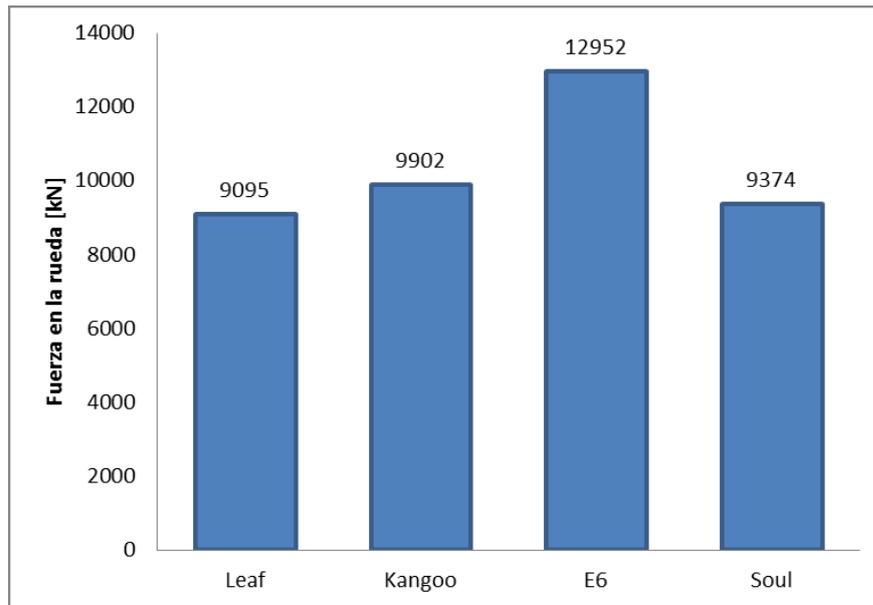


Figura 5.3. Fx total en ruta Loja-Cuenca.

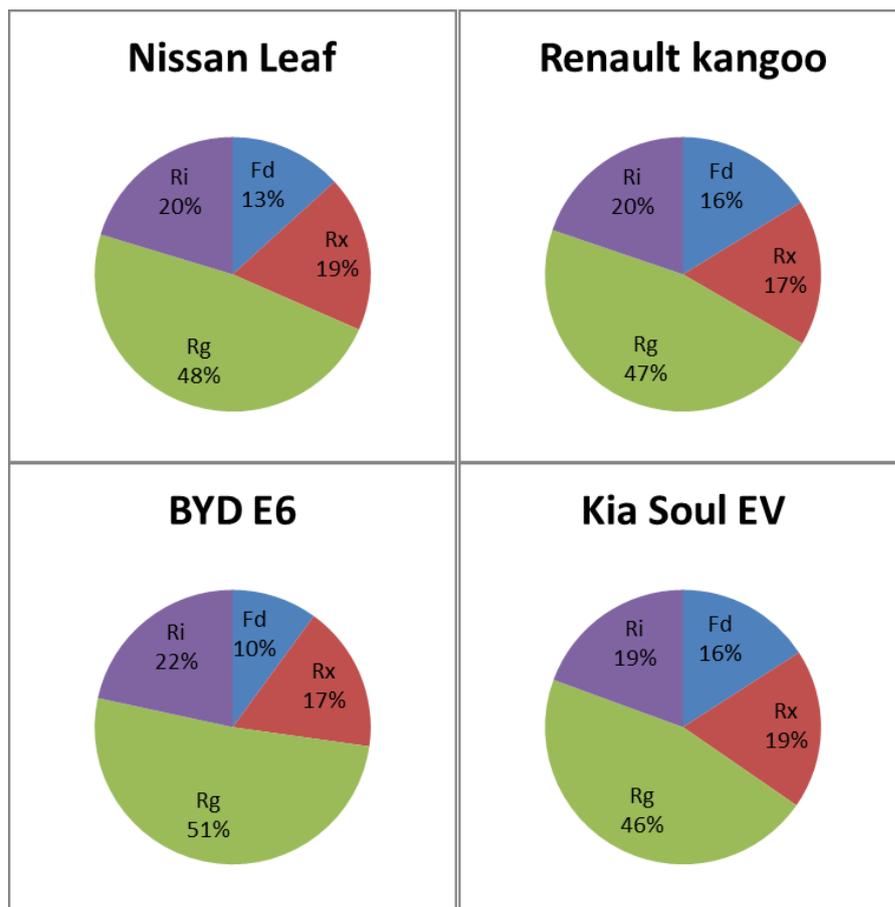


Figura 5.4. Contribución de cada resistencia a Fx, Loja-Cuenca.

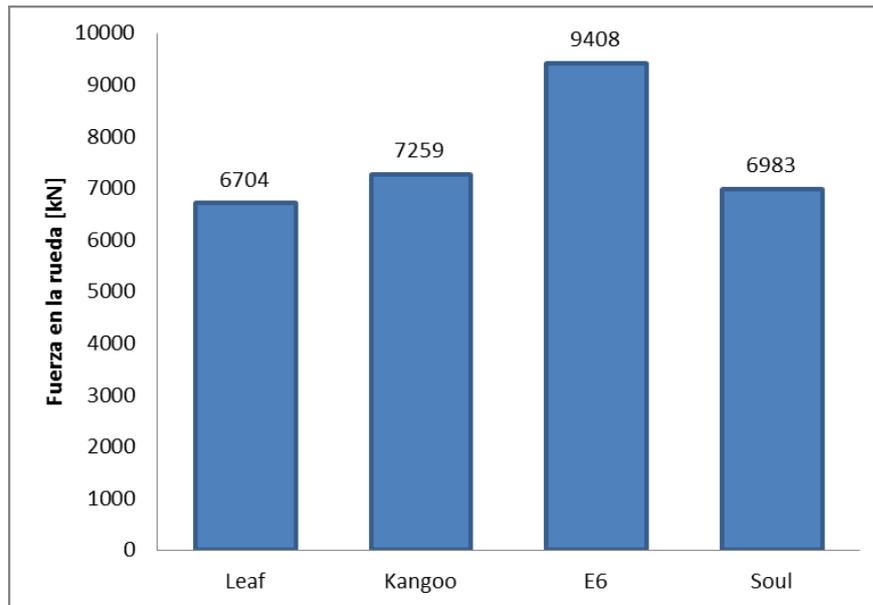


Figura 5.5. Fx total en ruta Cuenca-Machala.

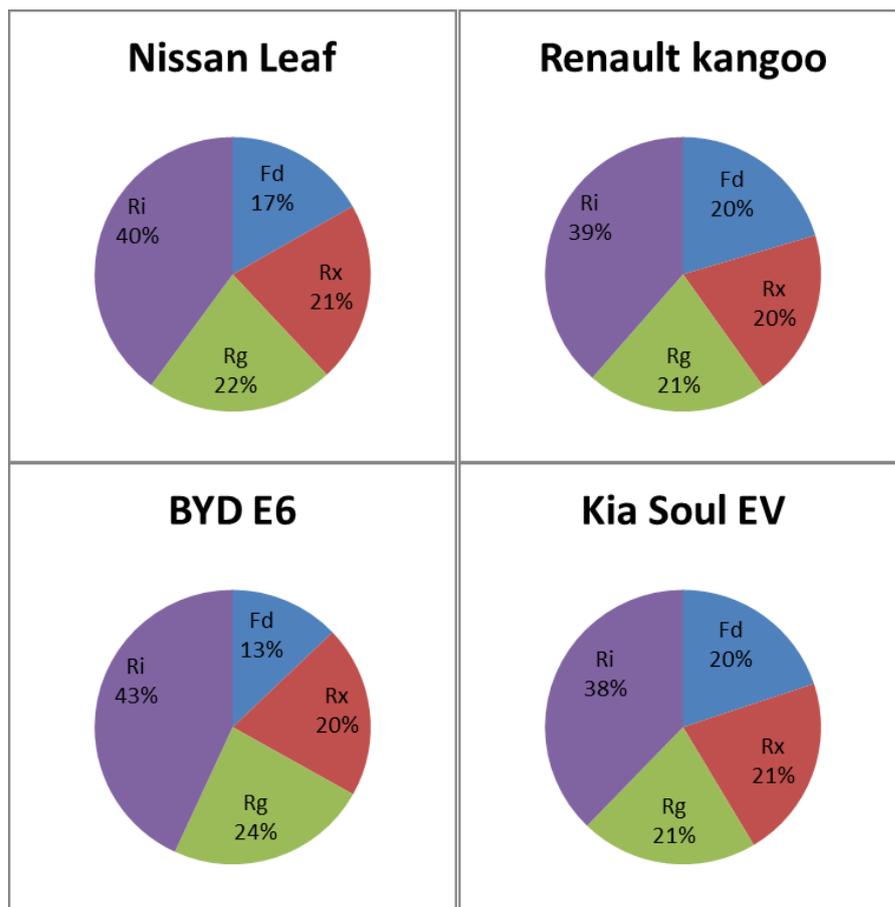


Figura 5.6. Contribución de cada resistencia a Fx, Cuenca-Machala.

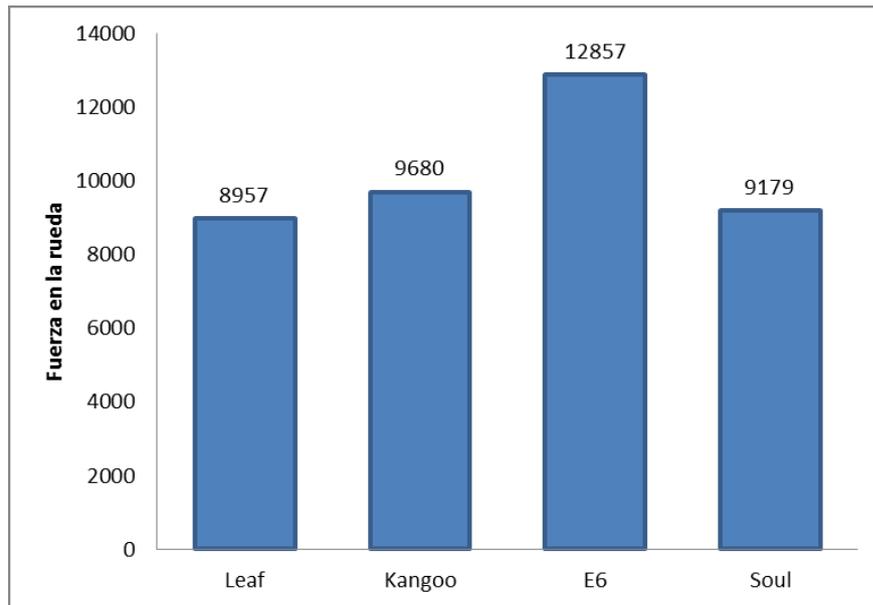


Figura 5.7. Fx total en ruta Machala-Cuenca.

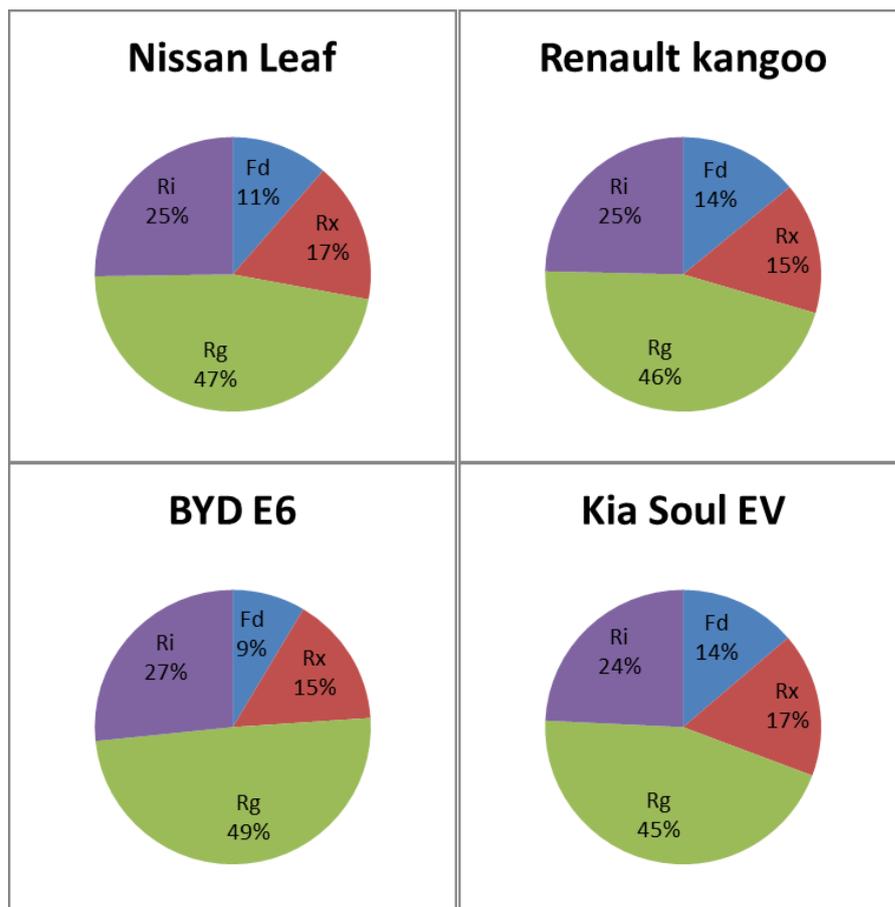


Figura 5.8. Contribución de cada resistencia a Fx, Machala-Cuenca.

Por otra parte para deducir la demanda energética, se calcula en primer lugar la potencia. Utilizando la siguiente expresión calculamos la potencia instantánea requerida por el automóvil.

$$P_x = F_x * v \quad \text{Ec. (24)}$$

En donde:

- P_x = potencia mecánica [W].
- F_x = fuerza en rueda [N].
- v = velocidad del automóvil [m/s].

Cabe recalcar que los datos de potencia son calculados segundo a segundo con los parámetros determinados. De esta manera, se puede calcular la energía instantánea utilizando la siguiente expresión:

$$\mathcal{E} = \frac{P_x * \Delta t}{3600000} \quad \text{Ec. (25)}$$

En donde:

- \mathcal{E} = energía [kwh].
- P_x = potencia mecánica [W].
- Δt = diferencia de tiempo [s].

Fuente: (GILLESPIE, 1992).

La energía instantánea en cada segundo se la divide por el factor de conversión de 3600000. Esto transforma las unidades de Joules a kilo Watt hora. Al calcular la energía utilizada cada segundo, se suman los valores positivos, debido a que es la energía que demanda el automóvil. Los valores negativos pueden ser energía regenerativa, pero esto depende de sistemas del automóvil que pueden recargar la batería y utilizarla para el desplazamiento. En este caso sólo se analiza la energía positiva como medio de consumo. De esta manera los valores de energía demandada obtenidos son:

Tabla 5-1. Consumo de energía en la ruta Cuenca-Loja.

Consumo de energía en kWh			
Leaf	Kangoo Z.E	BYD E6	Soul EV
29,15	32,33	41,37	30,18

Tabla 5-2. Consumo de energía en la ruta Loja-Cuenca.

Consumo de energía en kWh			
Leaf	Kangoo Z.E	BYD E6	Soul EV
31,15	34,43	44,44	32,12

Tabla 5-3. Consumo de energía en la ruta Cuenca-Machala.

Consumo de energía en kWh			
Leaf	Kangoo Z.E	BYD E6	Soul EV
18,69	21,04	26,00	19,67

Tabla 5-4. Consumo de energía en la ruta Machala-Cuenca.

Consumo de energía en kWh			
Leaf	Kangoo Z.E	BYD E6	Soul EV
29,97	33,23	42,65	30,98

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- La finalidad del presente trabajo es aportar elementos de juicio para una futura investigación sobre el consumo energético en las rutas fijas definidas. Debido a que los valores obtenidos en este trabajo pueden ayudar a realizar un análisis estimativo del consumo de energía eléctrica en el ámbito automotriz, se aspira a que el mismo contribuya al correcto establecimiento de puntos de abastecimiento (electrolineras) dentro de las vías, posibilitando así que, en el futuro, los autos eléctricos puedan ser utilizados para viajes entre ciudades, separadas por largas distancias. Con esto se desea apoyar y fomentar el uso de vehículos eléctricos, con el conocimiento real de su autonomía fuera de la ciudad.
- Si bien es cierto que esta investigación se refiere solamente a vehículos eléctricos, el trabajo podría servir para valorar el consumo energético de vehículos con cualquier fuente de energía motriz, y es que desde los ciclos referidos en él, es posible evaluar el consumo, autonomía y contaminación vehicular. De esta manera, se podría comparar los valores de consumo, expuestos por los fabricantes, con los obtenidos mediante los ensayos en los ciclos representativos determinados en este trabajo, pudiéndose con ello generar información a los usuarios sobre las unidades de transporte más convenientes, en razón del ahorro de combustibles y de una menor contaminación.
- Por otra parte, con los resultados alcanzados en este trabajo, desde la selección de los ciclos representativos con el método de Cedillo, se puede posibilitar datos altamente valiosos para una comparación de resultados, de métodos y de verificación de procesos, desde otras metodologías, en futuros trabajos de investigación.

Recomendaciones:

- En el presente trabajo se ha recopilado una serie de datos necesarios para el cálculo de la fuerza en rueda. Para dicho cálculo, los parámetros son clasificados en tres tipos, según su orden de investigación. En primer lugar, cabe recalcar que, dentro de los parámetros del vehículo, el coeficiente de arrastre y su masa son claramente valores teóricos, recopilados de trabajos investigativos y de manuales de los fabricantes. Por otra parte, el área frontal del vehículo es medida mediante el modelado del perfil, en el programa Inventor. Por último, el coeficiente de resistencia a la rodadura es evaluado mediante un método empírico, derivado de un estudio realizado en el Instituto de Tecnología Automotriz de Stuttgart. Con ello, los valores obtenidos se aproximan al real. En consecuencia, se recomienda que dichos valores sean obtenidos mediante mediciones reales, con pruebas realizadas con los propios vehículos. De esta manera, logramos estimar con más precisión la demanda y consumo energético en las rutas fijas.
- Al realizar la recolección de datos en el GPS, el dispositivo utilizado en esta investigación, sólo tiene la capacidad de calibración en las variables de latitud y longitud, es decir, solo en plano 2D. Por lo que se recomienda utilizar un GPS que además que posea la calibración en las dos variables antes mencionadas, también se pueda calibrar en la variable de altitud. Esto nos ayudaría a evitar el suavizamiento de curvas en las variables de aceleración y pendiente especificadas en el capítulo 3, sección 3.3.
- Por último, sería conveniente realizar un análisis de regresión múltiple para obtener los valores de los pesos relativos en las vías del Ecuador. Con estos se podría validar los ciclos obtenidos en esta investigación. Además de validar el método utilizado para la selección de ciclos representativos.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramérica. (3 de Enero de 2015). *Vehículos eléctricos en Ecuador empezarán a funcionar en el segundo semestre de 2015*. Obtenido de <http://www.andes.info.ec/es/noticias/vehiculos-electricos-ecuador-empezaran-funcionar-segundo-semestre-2015.html>
- BEER, F., JOHNSTON, R., & CORNWELL, P. (2010). *Mecánica Vectorial para Ingenieros: Dinámica*. Mexico, D.F.: Mc Graw Hill.
- BOSCH, R. (1986). *Automotive Handbook*. Stuttgart: Robert Bosch GmbH.
- Byd-auto.net. (22 de Enero de 2016). *BYD Auto, Build Your Dreams!* Obtenido de <http://www.byd-auto.net/vehicles/e6/index.php>
- Car and Driver. (25 de Septiembre de 2015). *Car and Driver*. Obtenido de Car and Driver: <http://www.caranddriver.com/chevrolet/spark-ev>
- CASCAJOSA, M. (2005). *Ingeniería de Vehículos*. México D.F.: Alfaomega Grupo Editor.
- CEDILLO SÁNCHEZ, 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.
- COCHANCELA ARAUJO, J. R., & ASTUDILLO SALINAS, P. A. (2012). *Análisis energético de centrales eólicas*. Cuenca, Azuay, Ecuador: Univerisdad de Cuenca.
- CORDERO MORENO, D. G. (2015). *Metodología para minimizar el consumo de combustible en autobuses, que sirven rutas fijas, mediante la reconfiguración del tren motriz*. Atizapán de Zaragoza: INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY .
- Diario Motor Tecmovia. (14 de Marzo de 2012). *Diario Motor Tecmovia*. Obtenido de <http://www.diarimotor.com/tecmovia/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/>

El Comercio. (04 de Mayo de 2014). *El Comercio*. Obtenido de El Comercio: <http://elcomercio.pe/ciencias/planeta/limenos-vivimos-riesgo-excesiva-contaminacion-aire-noticia-1728258>

El Universo. (23 de 02 de 2015). El plan es vender quince mil vehículos eléctricos por año. *El Universo*. Obtenido de El plan es vender quince mil vehículos eléctricos por año.

Endesa Educa. (2014). Obtenido de Endesa S.A.: http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/coche-electrico

Endesa S.A. (2013). Obtenido de <http://www.endesavehiculoelectrico.com/vehiculo-electrico/el-vehiculo/historia>

EPA. (24 de Marzo de 2016). *United States Enviromental Protection Agency*. Obtenido de United States Enviromental Protection Agency: <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>

European Green Vehicles Initiative. (2 de Octubre de 2015). *EGVI - Objectives and scope*. Obtenido de Egvi.eu: <http://www.egvi.eu/about-the-egvi-ppp/objectives-and-scope>

GILLESPIE, T. D. (1992). *Fundamentos de la dinámica vehicular*. Warrendale: Society of Automotive Engineers, Inc.

Google maps. (08 de Enero de 2016). *Google maps*. Obtenido de Google maps: <https://www.google.com.ec/maps/dir/Machala/Cuenca/@-3.1212685,-79.7614239,10z/data=!3m1!4b1!4m13!4m12!1m5!1m1!1s0x90330e252f104ed1:0xea4e189f2b2da97e!2m2!1d-79.9553924!2d-3.2581112!1m5!1m1!1s0x91cd18095fc7e881:0xafd08fd090de6ff7!2m2!1d-79.0058965!2d-2.900>

Google Maps. (08 de Enero de 2016). *Google Maps*. Obtenido de Gogle Maps: <https://www.google.com.ec/maps/dir/Loja/Cuenca/@-3.4526007,-79.7116841,9z/data=!3m1!4b1!4m13!4m12!1m5!1m1!1s0x91cb480661b91d2d:0x8e12137cdc1eee09!2m2!1d-79.2112769!2d-4.0078909!1m5!1m1!1s0x91cd18095fc7e881:0xafd08fd090de6ff7!2m2!1d-79.0058965!2d-2.9001285>

Gray Line. (05 de Febrero de 2016). *Gray Line, Truly The Local Expert*. Obtenido de <https://www.graylineecuador.travel/contenido/contenido.aspx?id=96>

IBAÑEZ ASENSIO, S., GISPERT BLANQUER, J. M., & MORENO RAMÓN, H. (s/n). *LA PENDIENTE DEL TERRENO*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Inahmi. (2014). *Anuario Meteorológico*. Quito: Instituto Nacional Meteorología e Hidrología.

Inamhi. (2015). *Anuario Meteorológico*. Quito: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

JÄGER, B., & LIENKAMP, M. (2014). *Smartphone-based Energy Consumption Simulation for Electric Vehicles*. Munich: COFAT 2014.

JARAMILLO, A. (23 de Febrero de 2015). *elcomercio.com*. Obtenido de elcomercio.com: <http://www.elcomercio.com/tendencias/autoelectrico-ecuador-costos-tecnologia-electrolineras.html>

Jaramillo, A. (23 de 02 de 2015). *USD 35 000 costará un auto eléctrico*. Obtenido de El Comercio.com: <http://www.elcomercio.com/tendencias/autoelectrico-ecuador-costos-tecnologia-electrolineras.html>

JAZAR, R. N. (2008). *Dinamica de vehículos: Teoría y aplicación*. New york: Springer.

Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad. (01 de Septiembre de 2015). Obtenido de <http://www.produccion.gob.ec/7047-2/>

Ministerio Coordinar de Producción, Empleo y Competitividad. (01 de Septiembre de 2015). Obtenido de <http://www.produccion.gob.ec/7047-2/>

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (12 de 01 de 2012). *MAPA TECNOLÓGICO*. Madrid. Obtenido de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Movilidad_Electrica_A_C603f868.pdf

Nissan Paraguay. (2011). *Nissan*. Obtenido de Nissan: <http://m.nissan.com.py/sp/smartphone/models/QASHQAI/100006316/100006874/100006874.htm>

Nissan USA. (22 de Febrero de 2016). *2016 Nissan LEAF® Electric Car Specs*. Obtenido de <http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/versions-specs/>

- Renault España. (12 de Enero de 2016). *Precios y ficha técnica - Kangoo Z.E.* Obtenido de Renault.es: <http://www.renault.es/gama-renault/gama-vehiculos-electricos/kangoo-furgon-ze/kangoo-furgon-ze-new/precios-y-especificaciones/>
- ROSALES ORTEGA, C. F. (2013). *Campaña de Mercadeo Social "Nuestra Calle" por una movilidad.* Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- SERWAY, R. A., & Jewett Jr, J. W. (2014). *Física para científicos e Ingenieros con física moderna.* Boston: Brooks/Cole.
- The-blueprints.com. (10 de Enero de 2016). *The-Blueprints.com.* Obtenido de The-Blueprints.com: http://www.the-blueprints.com/es/vectordrawings/show/3018/nissan_leaf/
- TORRES SARMIENTO, J. D. (2015). *Estudio de la viabilidad en los implemantación de vehículos electricos en la ciudad de Cuenca.* Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8050/1/UPS-CT004893.pdf>
- U.S. Energy Information Administration. (2015). *Annual Energy Review.* Washington D.C.: Office of Integrated and International Energy Analysis.
- U.S. Energy Information Administration. (2016). *Monthly Energy Review.* Washington D.C.: U.S. Energy Information Administration (EIA), the statistical and mm;l,l;
- Vidasostenible.org. (12 de Enero de 2016). *Aumento de la venta de coches eléctricos | Fundación Vida Sostenible.* Obtenido de <http://www.vidasostenible.org/informes/aumento-de-la-venta-de-coches-electricos/>
- WONG, J. Y. (2001). *Teoría de vehículos terrestres.* Ottawa: John Wiley & Sons, Inc.
- www.automobile-catalog.com. (22 de Febrero de 2016). *Detailed specs review of 2016 Kia Soul EV model for North America U.S.* Obtenido de http://www.automobile-catalog.com/car/2016/2079440/kia_soul_ev.html

GLOSARIO

VE:	Vehículo Eléctrico.
Fx:	Fuerza en rueda.
Fd:	Fuerza de arrastre.
Rg:	Resistencia debida a la pendiente.
Rx:	Resistencia a la rodadura.
Ri:	Resistencia debida a la inercia.
Cd:	Coefficiente de arrastre.
Af:	Área frontal del vehículo.
m:	Masa del vehículo.
pa:	Densidad del aire.
fr:	Coefficiente de resistencia a la rodadura.
V:	Velocidad lineal del vehículo.
θ:	Ángulo de la pendiente de carretera.
a:	Aceleración del vehículo.
g:	Gravedad.
ITM:	Archivo de información de GPS
Px:	Potencia mecánica
ε:	Energía

ANEXOS

Anexo 1: Proceso de selección de ciclos representativo.

1 Selección de vías

- Establecer las vías de análisis según el propósito de estudio. Ubicar puntos de inicio y final del recorrido dentro de las vías de estudio para la recolección de datos posteriores.

2 Instrumentación

- Escoger un dispositivo GPS que pueda almacenar todas las variables de velocidad, altitud y tiempo con mayor precisión posible. Tener en cuenta que el dispositivo debe ser capaz de recolectar datos segundo a segundo.

3 Recolección y procesamiento de datos

- Selección de conductor: establecer un chofer que represente las conductas típicas de manejo (usuario cotidiano).
- Colocación de Instrumentación: en un lugar estático del vehículo y sin interferencias.
- Almacenamiento de información: establecer un tiempo aproximado de descarga de datos. Respalda información en archivos ITM.
- Procesamiento de información: realizar el suavizamiento de las variables altitud y velocidad mediante las técnicas de "Smooth" y "Cubicsplines". Con los datos obtenidos reducir a los ocho parámetros característicos que representen cada viaje como se observa en la Tabla 3-15.

4 Aplicar método de mínimas diferencias ponderadas

- Una vez obtenidos los parámetros característicos de todos los viajes realizados. Se procede a aplicar la Ec. 18 de mínimas diferencias ponderadas.
- El viaje que represente a todos los demás será cuyos parámetros característicos por un valor de ponderación, sea el de menor valor al sumarse entre ellos como se observa en la Tabla 3-16.