



**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**AUTOMOTRIZ**

**Evaluación de una bicicleta eléctrica como alternativa de  
movilidad en la ciudad de Cuenca**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

**Autor:**

**SANTIAGO JAVIER ORDÓÑEZ LUNA**

**Director:**

**GUSTAVO ANDRÉS ÁLVAREZ COELLO**

**CUENCA, ECUADOR**

**2016**

## DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios por haberme guiado por buen camino, darme las fuerzas necesarias para avanzar y no decaer en los momentos difíciles y ser una iluminación para lograr cumplir con mis sueños y metas.

A mis padres, Vinicio y Janneth, por ser los pilares fundamentales para convertirme en una persona de bien, ser un gran ejemplo de constancia, esfuerzo, perseverancia y lucha, por no abandonarme en los momentos más difíciles y siempre estar a mi lado apoyándome y demostrando su amor incondicional. Espero no defraudarlos y poder devolverles de una u otra forma todo el sacrificio puesto en mí.

A mi hermano Gustavo por ser la persona que siempre ha estado a mi lado dándome consejos y apoyo para impulsarme a culminar con esta etapa de mi vida

A dos personas muy especiales, mi esposa Rubí y mi hijo Eduardo, por ser la motivación para continuar adelante, la razón para enfrentar cualquier obstáculo e inspiración para seguir superándome y luchar por nuevos retos.

A mis tías, por brindarme su apoyo, darme consejos y mostrarme su afecto y cariño desde que era un niño. Nunca me abandonaron y siguen estando presentes hasta ahora que he logrado culminar mi vida universitaria.

Santiago.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Universidad del Azuay por haberme dado la oportunidad de alcanzar mi sueño y meta, al personal docente y administrativo, de manera especial a mi director de tesis y amigo Ing. Gustavo Álvarez Coello, por apoyarme con sus conocimientos, tiempo y dedicación, guiándome por buen camino para la realización de este trabajo.

Agradezco de manera especial a Comercial Salvador Pacheco Mora y su gerente general Ing. Bolívar Muñoz por facilitar la bicicleta eléctrica y al Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Automotriz ERGON por dejarme ser parte del proyecto.

A mis compañeros de “Movilidad e impacto del automóvil” paralelos G y F del periodo marzo – julio 2016, sin su ayuda me habría sido muy difícil culminar mi trabajo de investigación.

Santiago

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	vii
INDICE DE TABLAS .....	x
INDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPITULO I: ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>4</b>
1.1 La bicicleta eléctrica.....	4
1.1.1 Partes de una bicicleta eléctrica .....	4
1.2 La bicicleta como transporte sostenible .....	7
1.3 Bicicletas convencionales y eléctricas en el mundo.....	9
1.3.1 América del Norte .....	9
1.3.2 Asia .....	13
1.3.3 Europa .....	15
1.3.4 América Latina y el Caribe .....	18
1.4 Situación de las bicicletas convencionales y eléctricas en Ecuador.....	19
1.4.1 Iniciativas Gubernamentales .....	20
1.4.2 Iniciativas Municipales .....	20
1.4.3 Iniciativas de la Sociedad Civil.....	22
1.4.4 Participación de Ecuador en la red de ciclovías recreativas de las Américas .....	23
1.4.5 Derechos de los ciclistas en Ecuador .....	23
1.4.6 Cuenca: Factores condicionantes para la movilidad en bicicleta.....	24
1.5 Beneficios de las bicicletas convencionales y eléctricas.....	31

1.5.1	Beneficios en el transporte .....	32
1.5.2	Beneficios económicos.....	32
1.5.3	Beneficios en la salud.....	33
1.5.4	Beneficios para la imagen de la ciudad.....	34
1.5.5	Beneficios ambientales.....	35
1.6	Inconvenientes de las bicicletas convencionales y eléctricas.....	36
1.7	Políticas de promoción para uso de bicicletas convencionales y eléctricas	39
1.8	Desincentivar el uso del automóvil .....	41
1.8.1	Vecindario sin autos .....	41
1.8.2	Cargos por congestiónamiento .....	41
1.8.3	Reducción viaria para vehículos .....	42
1.8.4	Pacificación del tráfico.....	42
1.8.5	Impuestos por kilómetros-vehículos recorridos .....	42
1.8.6	Parquímetros .....	42
1.8.7	Impuesto al combustible basado en parámetros ambientales.....	43
1.8.8	Quito: Pico y Placa.....	43
1.9	Sistemas de bicicletas compartidas en el mundo.....	43
1.9.1	Principales sistemas de bicicletas compartidas en el mundo .....	43
1.10	Generación de energía eléctrica en Ecuador .....	45
1.11	Rendimiento del motor .....	46
1.12	Análisis Estadístico .....	46
<b>CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>		<b>51</b>
2.1	Materiales .....	51
2.1.1	Instrumentación de la bicicleta .....	51
2.1.2	GPS VBOX Sport .....	53
2.1.3	Medidor de potencia eléctrica .....	53
2.1.4	HEM Data .....	54
2.1.5	Vehículos .....	54
2.2	Metodología.....	54

2.2.1	Determinación de rutas de pruebas .....	54
2.2.2	Tamaño de muestra para recorridos .....	58
2.2.3	Levantamiento de información .....	59
2.2.4	Preparación de datos .....	60
2.2.5	Análisis de datos .....	61
2.2.6	Dinámica Vehicular .....	67
2.2.7	Selección de parámetros para ecuaciones .....	73
2.2.8	Parámetros para determinación de consumo energético, contaminación y costos .....	83
<b>CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>92</b>
3.1	Resultados .....	92
3.1.1	Consumo energético.....	92
3.1.2	Contaminación ambiental .....	96
3.1.3	Costo .....	99
3.1.4	Tiempo .....	104
3.2	Discusión .....	106
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>108</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>		<b>111</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>119</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Partes bicicleta eléctrica .....	6
Figura 1.2 Tiempo de traslado en diferentes medios de transporte.....	8
Figura 1.3 Pilares fundamentales para movilidad sostenible .....	9
Figura 1.4 Izq. Estación de bicicletas eléctricas en Spokane. Der. Proceso para alquilar bicicleta eléctrica.....	10
Figura 1.5 Usuarios de bicicleta eléctrica según edad [años] .....	11
Figura 1.6 Usuarios de bicicleta eléctrica por nivel de estudios .....	12
Figura 1.7 Usuarios de bicicletas eléctricas por ingresos .....	12
Figura 1.8 Motivaciones para usar e-bike .....	13
Figura 1.9 Venta de bicicletas eléctricas en Alemania .....	16
Figura 1.10 Emociones al utilizar un medio de transporte.....	17
Figura 1.11 Número de bicicletas por habitante .....	17
Figura 1.12 Razones para no usar sistema de bicicletas públicas .....	23
Figura 1.13 Terrazas en la zona urbana del cantón Cuenca.....	26
Figura 1.14 Pendientes en Cuenca .....	27
Figura 1.15 Capacidad del viario .....	28
Figura 1.16 Congestión en el centro histórico .....	29
Figura 1.17 Ciclovías en Cuenca .....	31
Figura 1.18 Beneficios para la salud según tiempo de actividad .....	34
Figura 1.19 Número de fallecidos en vías urbanas e interurbanas.....	38
Figura 1.20 Producción de energía e importaciones .....	45
Figura 1.21 Transformación de energía en el motor. ....	46
Figura 2.1 Instrumentación de la bicicleta eléctrica.....	53

Figura 2.2 Determinación de rutas de pruebas.....	56
Figura 2.3 Levantamiento de información.....	60
Figura 2.4 Pendiente del terreno.....	62
Figura 2.5 Filtrado de la velocidad.....	65
Figura 2.6 Filtrado de la aceleración.....	66
Figura 2.7 Altura original.....	66
Figura 2.8 Altura filtrada.....	67
Figura 2.9 Fuerzas que actúan en el vehículo.....	68
Figura 2.10 Potencia para vencer resistencias.....	69
Figura 2.11 Resistencia de arrastre vs resistencia a la rodadura en relación a la velocidad.....	70
Figura 2.12 Fuerzas de oposición en pendiente.....	71
Figura 2.13 Perfil aveo.....	75
Figura 2.14 Iniciar dibujo en AutoCAD.....	76
Figura 2.15 Insertar imagen de vehículo.....	76
Figura 2.16 Ajuste de dimensiones.....	77
Figura 2.17 Perfil del vehículo.....	77
Figura 2.18 Área frontal del vehículo.....	78
Figura 2.19 (a) Coeficiente de resistencia a la rodadura vs presión de inflado, (b) Coeficiente de resistencia a la rodadura vs velocidad.....	79
Figura 2.20 Pesaje de vehículo.....	80
Figura 2.21 Pesaje de bicicletas.....	80
Figura 2.22 Rendimiento en transmisión automática.....	89
Figura 2.23 Rendimiento del cuerpo humano máximo 25%.....	91
Figura 3.1 Consumo energético con mínimo rendimiento [kWh].....	93

Figura 3.2 Consumo energético con máximo rendimiento [kWh].....	93
Figura 3.3 Promedio de consumo energético [kWh] .....	94
Figura 3.4 Consumo energético [kWh/100km].....	95
Figura 3.5 Autonomía de la batería [km] .....	95
Figura 3.6 Emisión de CO <sub>2</sub> y CO.....	96
Figura 3.7 Emisiones contaminantes de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> y N <sub>2</sub> O .....	97
Figura 3.8 Emisión de NO <sub>x</sub> y CH <sub>4</sub> .....	97
Figura 3.9 Emisión de CO <sub>2</sub> y CO anuales.....	98
Figura 3.10 Emisiones de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> y N <sub>2</sub> O anuales .....	99
Figura 3.11 Emisión de NO <sub>x</sub> y CH <sub>4</sub> anuales .....	99
Figura 3.12 Costo de la ruta en vehículo [USD/recorrido] .....	100
Figura 3.13 Costo desplazamiento en vehículo [USD/km].....	100
Figura 3.14 Costo del recorrido en bicicleta eléctrica [USD/recorrido] .....	101
Figura 3.15 Costo desplazamiento en bicicleta eléctrica [USD/km] .....	101
Figura 3.16 Costos mensual y anual de transportarse en vehículo [USD].....	102
Figura 3.17 Izq. costo mensual en bicicleta eléctrica. Der. costo anual en bicicleta eléctrica [USD].....	103
Figura 3.18 Costos de mantenimiento [USD].....	104
Figura 3.19 Tiempo por rutas [min].....	105
Figura 3.20 Tiempo promedio por rutas [min].....	105

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Factores de emisión para bicicletas eléctricas por regiones en China .....	14
Tabla 1.2 Desplazamientos en bicicleta en Europa.....	15
Tabla 1.3 Ciclopaseos en Ecuador .....	19
Tabla 1.4 Ciclovías planteadas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas....	20
Tabla 1.5 Reducción de CO <sub>2</sub> e [Ton] por implementación de sistema ECOBICI.....	36
Tabla 2.1 Características técnicas de la batería.....	51
Tabla 2.2 Características técnicas del motor.....	52
Tabla 2.3 Especificaciones técnicas del medidor de potencia eléctrica.....	53
Tabla 2.4 Precios de energía eléctrica.....	84
Tabla 2.5 Precios gasolina.....	85
Tabla 2.6 Factores de emisión vehículos a gasolina .....	86
Tabla 2.7 Factores de emisión termoelectrica de Fuel Oil.....	87
Tabla 2.8 Rendimiento elementos de transmisión .....	89
Tabla 3.1 Resultados de consumo energético por rutas [kWh].....	92
Tabla 3.2 Promedio de consumo energético [kWh].....	93
Tabla 3.3 Consumo energético [kWh/100km] .....	94
Tabla 3.4 Emisiones contaminantes por recorrido [g/ruta] .....	96
Tabla 3.5 Emisiones contaminantes mensuales y anuales [g/año excepto CO <sub>2</sub> kg/año] .....	98
Tabla 3.6 Costo de la ruta en vehículo [USD] .....	100
Tabla 3.7 Costos de la ruta en bicicleta eléctrica [USD] .....	101
Tabla 3.8 Costo de transportarse en vehículo [USD].....	102
Tabla 3.9 Costos mensual y anual de transportarse en bicicleta eléctrica [USD]....	102

Tabla 3.10 Costos de mantenimiento [USD] .....	103
Tabla 3.11 Tiempo por rutas [min] .....	104
Tabla 3.12 Tiempo promedio de rutas [min] .....	105
Tabla 3.13 Comparación energética vehículo-bicicleta eléctrica .....	106
Tabla 3.14 Relación de contaminación vehículo-bicicleta eléctrica .....	106
Tabla 3.15 Ahorro anual en consumo energético al cambiar vehículo por bicicleta eléctrica [USD].....	107
Tabla 3.16 Ahorro total anual al cambiar vehículo por bicicleta eléctrica [USD]...	107

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Características técnicas de vehículos utilizados en levantamiento de datos. .....	119
Anexo 2: Perfiles de elevación y rutas en Google Earth.....	126
Anexo 3: Modelos de plantillas.....	129
Anexo 4: Valor energético de alimentos por cada 100 gramos de porción. ....	131

## EVALUACIÓN DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA DE MOVILIDAD EN LA CIUDAD DE CUENCA

### RESUMEN

Este estudio presenta un panorama de la bicicleta eléctrica a nivel mundial, en donde cada una de las ciudades presenta alternativas en busca de la disminución de los contaminantes atmosféricos. Esta investigación compara la bicicleta convencional, bicicleta eléctrica y vehículo liviano en términos de consumo energético, emisiones, costo y tiempo. Para determinar cada uno de estos parámetros se instrumentaron los vehículos con GPS, en rutas representativas alrededor de Cuenca bajo condiciones de prueba aleatorias. Se analizan escenarios cotidianos de movilidad cuantificados por día, mes y año. Finalmente, se concluye que la bicicleta eléctrica es una alternativa de movilidad para la ciudad al presentar mejores resultados en la mayoría de parámetros en relación al vehículo.

**Palabras clave:** bicicleta eléctrica, consumo energético, emisiones, dinámica vehicular, bicicletas compartidas, factores de emisión.



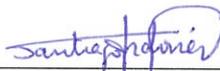
---

Gustavo Andrés Álvarez Coello  
**Director del Trabajo de Titulación**



---

Diego Francisco Torres Moscoso  
**Director de Escuela**



---

Santiago Javier Ordóñez Luna  
**Autor**

**EVALUATION OF AN ELECTRIC BICYCLE AS A TRANSPORTATION  
ALTERNATIVE IN THE CITY OF CUENCA.**

**ABSTRACT**

This study presents an overview of the electric bicycle at world level, and the alternatives in search of reducing air pollutants presented by each of the cities. This research compares the conventional bicycle, electric bicycle and light vehicle in terms of energy consumption, emissions, cost and time. In order to determine each of these parameters, the vehicles were instrumented with GPS under randomized testing conditions in representative routes around Cuenca. The everyday mobility scenarios quantified by day, month and year are analyzed. Finally, it is concluded that the electric bike is a mobility alternative for the city as it presents better results in most parameters in relation to the vehicle.

**Keywords:** Electric Bike, Energy Consumption, Emissions, Vehicle Dynamics, Shared Bicycles, Emission Factors.



Gustavo Andrés Álvarez Coello  
**Thesis Director**



Diego Francisco Torres Moscoso  
**School Director**



Santiago Javier Ordóñez Luna  
**Author**



UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY  
Dpto. Idiomas



Translated by,  
Lic. Lourdes Crespo

Ordóñez Luna Santiago Javier

Trabajo de Titulación

Ing. Gustavo Andrés Álvarez Coello. MSc

Noviembre, 2016

## **EVALUACIÓN DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA DE MOVILIDAD EN LA CIUDAD DE CUENCA**

### **INTRODUCCIÓN**

La congestión vehicular y la contaminación ambiental producida por el parque automotor son problemas que en la ciudad de Cuenca están llegando a niveles alarmantes, donde las principales calles y avenidas presentan un grado de saturación mayor al 100% (Municipalidad de Cuenca, 2015b). Pero más preocupante es que según la OMS la calidad de aire está llegando al límite permisible, contrastando con estudios locales donde constatan que algunos contaminantes están excediendo valores recomendados en normas internacionales, siendo el 80% provocado por el transporte motorizado (Cáceres, 2016).

Se trata de un problema extendido a nivel mundial, por ello investigadores de diferentes países realizan estudios y buscan nuevas tecnologías que permitan mitigar los efectos de los medios de transporte de baja sostenibilidad. De lo antes mencionado la bicicleta eléctrica surge como una opción de transporte alternativo debido a los buenos resultados que ha obtenido su implementación alrededor del mundo, disminuyendo la congestión vehicular, amigable con el medio ambiente y mejora en la salud de los usuarios que utilizan este medio de transporte (Jakovcevic, Franco, Visona Dalla Pozza, & Ledesma, 2015).

La demanda que ha tenido la bicicleta eléctrica ha superado toda expectativa presentando crecimientos mayores a los que cualquier otro medio de transporte, pronosticando que para este año circulen cerca de 466 millones a nivel mundial. (Du et al., 2013).

China es el país con mayor número de bicicletas eléctricas, teniendo un crecimiento anual de aproximadamente 29 millones de unidades y donde se ha estimado factores de emisión exclusivamente para e-bikes debido a que el carbón es la materia prima más utilizada para generación de energía (Cherry, Weinert, & Xinmiao, 2009; Du et al., 2013).

Estudios en Estados Unidos llevan la e-bike a otro concepto, estudiando la manera más óptima y eficiente de lograr implementar un sistema de bicicletas eléctricas compartidas totalmente automatizado (Ji, Cherry, Han, & Jordan, 2014).

Los ciudadanos europeos tienen la mayor cultura ciclista, llegando a realizar 31,2% de desplazamientos en bicicletas, aunque también hay países donde el nivel de desplazamientos es bajo como el caso de España y Portugal con 1,6%. Sin embargo, el crecimiento de las ventas de e-bikes ha superado el 100% en 3 años, como el caso de Alemania (Junta de Andalucía, 2014; Paul & Bogenberger, 2014).

En América Latina y el Caribe todas las ciudades tienen políticas públicas que fomentan el uso de la bicicleta, existiendo casos como Ciudad de México, Buenos Aires, Bogotá, La Paz, Montevideo donde ya hay regulaciones para transitar en el área urbana. (Baumann, Claire; Bojacá, Mariana; Rambeau, 2013).

Algunas ciudades han optado por implementar medidas que permitan mitigar los efectos del crecimiento vehicular como el conocido “Pico y Placa” en la ciudad de Quito o la limitación “Hoy No Circula” en la ciudad de México, todas ellas restringen la circulación de vehículos en función del último dígito de la placa, pero estas estrategias no son una opción sustentable, pues ha sido demostrado que las personas compran más automóviles para evitar esta medida, aumentando los niveles de contaminación y número de vehículos. Otras medidas para reemplazar el automóvil por bicicletas es limitar el número de registro de vehículos, impuestos por congestión

y contaminación ambiental para promover el uso de transporte sostenible (Baumann, Claire; Bojacá, Mariana; Rambeau, 2013).

El número de vehículos en la ciudad de Cuenca en base a datos de la Empresa Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte (EMOV) en el año 2015 está estimado en 114.408 vehículos matriculados (Municipalidad de Cuenca, 2015a), experimentando un crecimiento anual de 8.000 unidades correspondientes aproximadamente al 7% (Minchala, 2015). El número de vehículos puede llegar a ascender porque no están considerados los que no están matriculados o visitan la ciudad (Cáceres, 2014).

Por lo tanto, es preciso para la ciudad buscar alternativas que permitan un desarrollo sostenible en donde se pueda aprovechar la infraestructura existente y reducir gastos en recursos trayendo consigo beneficios para la urbe, siempre dando prioridad al peatón, por ser los primeros en la escala de movilidad (Movere, 2014).

El uso masivo de las bicicletas eléctricas como modo alternativo de movilidad permite disminuir problemas sociales favoreciendo a la creación de políticas de movilidad, inclusión de personas con capacidades especiales, ser un medio de transporte apto para todas las edades y condiciones sociales. Además permite reducir problemas ambientales relacionados con la salud de la población, los congestionamientos, la vitalidad de los entornos urbanos, el cambio climático y la dependencia del petróleo” (Ferrando, Martín, Molinero, López, & García, 2011; Jakovcevic et al., 2015).

## CAPITULO I

### ESTADO DEL ARTE

#### 1.1 La bicicleta eléctrica

La bicicleta es considerada como un vehículo con una huella mínima de carbón, ideal para la puesta en marcha de sistemas de transporte sostenible. Pero como cualquier otro medio de transporte tiene sus inconvenientes, como no poderla utilizar si el clima no es favorable, zonas peligrosas e inadecuadas para circular con seguridad, incómodo para personas en baja forma, manejo difícil en pendientes y de difícil acceso para personas con discapacidad (Mostafavi & Doherty, 2014).

La bicicleta eléctrica o e-bike es un vehículo muy ligero de dos ruedas accionado por pedales y que dispone de un motor eléctrico que complementa la energía ejercida directamente sobre los pedales por el propio ciclista (VAIC, 2016).

Este medio de transporte surge como solución a algunos de los inconvenientes de la bicicleta convencional, aunque se la debe utilizar cuando el tiempo lo permita, pues no será un sustituto a los vehículos convencionales, sino un complemento para tener un ecosistema de vehículos energéticamente eficientes (Mostafavi & Doherty, 2014).

Las bicicletas eléctricas se pueden clasificar en:

- Bicicleta eléctrica pura o ciclomotores eléctricos, la cual integra un motor eléctrico dentro del cuadro de la bicicleta o ruedas y es impulsada por la fuerza del motor solo con un acelerador en el manillar (Abagnale et al., 2015).
- Bicicleta de accionamiento mecánico o pedelec, que es una bicicleta eléctrica híbrido-humano que apoya al piloto con energía eléctrica solamente cuando el ciclista pedalea (Abagnale et al., 2015).

##### 1.1.1 Partes de una bicicleta eléctrica

**Parte ciclo:** es la estructura principal de la bicicleta, en definitiva la estructura de la bicicleta convencional (Medio Ambiente y Naturaleza, 2016).

**La batería:** es la encargada de almacenar la energía que se liberará en forma de movimiento. Otra función adicional es la de dar arranque al motor.

Las principales baterías se describen a continuación:

- **Batería de plomo:** actualmente ya no están en uso debido a su excesivo peso y elevada contaminación, aunque son las más económicas del mercado.
- **Batería de níquel e hidruro de metálico (Ni-Mh):** se tratan de baterías muy delicadas cuyo mantenimiento debía ser controlado, es decir, tenía que realizarse ciclos de carga-descarga completamente e ininterrumpida debido a su efecto memoria que disminuía la autonomía.
- **Batería de litio:** son las baterías menos contaminantes en comparación a las dos anteriores, de tamaño más reducido, bajo peso y sin efecto memoria haciéndolas ideales para las bicicletas eléctricas (Híbridos y eléctricos, 2013; Medio Ambiente y Naturaleza, 2016).

**Controlador de potencia:** elemento encargado de enviar la energía necesaria de la batería al motor controlado mediante pulsos. Los controladores actuales cuentan con sistemas de freno regenerativo que permite aprovechar la inercia para recargar la batería y sistema anti derrape que evita que la rueda gire bruscamente al avanzar de marcha (Híbridos y eléctricos, 2013; Medio Ambiente y Naturaleza, 2016).

**Motor eléctrico:** es el encargado de convertir la energía eléctrica en movimiento a través del controlador de potencia. Las normativas de algunos países europeos permiten motores de potencia máxima de 250W (Vlakveld et al., 2014).

Los motores eléctricos pueden ser de tipo brush, los cuales cuentan con escobillas para alimentar las bobinas y tipo brushless, estos no tienen piezas de contacto llegando a ser más eficientes.

Por la ubicación del motor tenemos dos divisiones:

- **Motor en el buje de la rueda:** es el más utilizado en la actualidad, ofrece los beneficios de ser de fácil montaje, bajos costos de mantenimiento y fabricación (Híbridos y eléctricos, 2013). La fuerza del motor se ejerce sobre la rueda que gira

a ciertas revoluciones en función de la velocidad de la bicicleta, la fuerza de fricción es mínima permitiendo al ciclista utilizar el velocípedo de manera libre (VAIC, 2016).

- Motor instalado en el eje del pedalier: la fuerza ejercida del motor actúa sobre el plato o la cadena a partir del piñón de ataque. El correcto funcionamiento del motor viene dado por los cambios en la relación de transmisión por parte del ciclista, pues esto determinará que el motor sea más eficiente, consuma menos y no haya riesgos de sobrecalentamiento (VAIC, 2016). Las principales ventajas que ofrece este sistema es la alta fiabilidad probada por marcas como Yamaha o Panasonic, asiste desde el primer impulso del pedalier y el motor hace de cambio por encontrarse en los pedales.

Los inconvenientes destacados de este sistema es la complejidad del mismo, haciendo que los costos de mantenimiento aumenten (Medio Ambiente y Naturaleza, 2016).

**Sensor de pedaleo:** son sensores de tipo “hall” alimentados con 5V de corriente continua que detectan campos magnéticos cuando un imán pasa cerca de ellos, emitiendo una señal comprendida entre 0V y 4V indicando la cantidad de potencia que debe administrar el motor (Medio Ambiente y Naturaleza, 2016).

**Sistema de control:** es un sistema con una pantalla LCD que permite seleccionar a voluntad la asistencia que el motor brindará al pedalear (Híbridos y eléctricos, 2013).



Figura 1.1 Partes bicicleta eléctrica.  
Fuente: (Medio Ambiente y Naturaleza, 2016).

## 1.2 La bicicleta como transporte sostenible

La bicicleta es un medio de transporte amigable con el medio ambiente, económico y de gran sostenibilidad social, reconocido oficialmente por países de Europa Occidental, Estados Unidos y Australia al tratarse de un práctico modo de movilización urbana (Pucher & Buehler, 2012).

No produce contaminación acústica o del aire puesto que la energía para moverse es proporcionada por el ciclista, logrando así consumir menos recursos no renovables en comparación a otros medios motorizados. Además es una manera de realizar actividad física favorable para la salud cardiovascular, previniendo enfermedades como la diabetes, obesidad u otras enfermedades.

En ámbito de tránsito, favorece en la descongestión de las calles y carreteras ya que el espacio que ocupa es reducido en comparación a los vehículos, además que la superficie de aparcamientos también se ve disminuida (Pucher & Buehler, 2012). Un coche convencional ocupa aproximadamente 18 m<sup>2</sup> y pasa aparcado el 80% del tiempo haciendo que el espacio utilizado no sea empleado para otras actividades (Mostafavi & Doherty, 2014).

Cuando se trata de recorrer distancias más largas, en lugares montañosos o con pendientes surge la bicicleta eléctrica para mitigar estos inconvenientes. Desde el punto de vista normativo está clasificado como un vehículo no motorizado y administrado de la misma forma que las bicicletas convencionales (Wei, Xin, An, & Ye, 2013). Tiene acceso a las ciclovías, no requiere licencia de conducir, no necesita registro del vehículo y se debe utilizar el casco como medida de seguridad (Campbell, Cherry, Ryerson, & Yang, 2016).

Las bicicletas eléctricas van ganando popularidad en muchas regiones del mundo, lo que conlleva a introducir sistemas de bicicletas compartidas con la finalidad de proporcionar un nivel aún más alto de servicio en comparación a los sistemas de bicicletas públicas existentes, manteniendo al mismo tiempo bajo impacto ambiental. El beneficio como la capacidad de viajar largas distancias sobre colinas con menos fatiga y sudor ayuda a superar barreras de montar en bicicleta. Encuestas realizadas a ciclistas revelan la preferencia que se le da a la bicicleta eléctrica en comparación a las

tradicionales u otros vehículos motorizados convencionales, el 70% de las personas encuestadas eligieron la bicicleta eléctrica en lugar de la convencional motivados por la velocidad que puede alcanzar y el 30% restante lo atribuyeron a menor esfuerzo, menor costo que un vehículo y por exceso de pasajeros en transporte público. (Dill & Rose, 2012; Ji et al., 2014).

El porcentaje de personas que se desplazan en automóviles es comparable al que se traslada a pie, en bicicleta o en transporte público. Se estimó que en una calle de 3,5 metros de ancho se pueden desplazar en una hora aproximadamente 2000 autos, mientras que en la bicicleta se pueden movilizar 14000, además que el espacio para aparcar es solamente la séptima parte.

Como indica la figura 1.2, la bicicleta es el medio de transporte urbano más rápido en trayectos que están dentro del rango de distancias mayores a 500 metros e inferiores a 4-5 Km. Se puede recorrer 4 kilómetros en solamente 15 minutos, además de ser un desplazamiento de puerta a puerta.

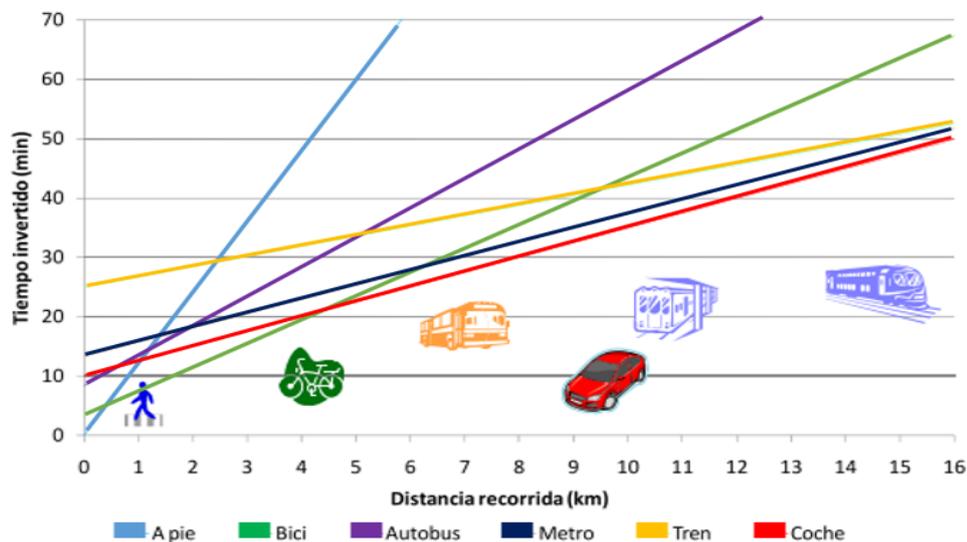


Figura 1.2 Tiempo de traslado en diferentes medios de transporte.  
Fuente:(Junta de Andalucía, 2014).

Otro factor que hace de la bicicleta un sistema de transporte alternativo viable es su fácil adaptación de infraestructura a áreas con protección cultural o ambiental, posibilitando la combinación con otros medios de transporte (Junta de Andalucía, 2014).

La movilidad sostenible se apoya en tres pilares fundamentales mostrados en la figura 1.3, dentro de los cuales la bicicleta es considerada como una base para realizar las estrategias globales de movilidad sostenible. Estos tres pilares son: 1) mejorar la densidad y diversidad de los usos del suelo urbano, 2) aumentar los viajes a pie, en transporte público y en bicicleta y 3) reducir la velocidad, intensidad y plazas de aparcamiento para automóviles (Monzón, Rondinella, & Equipo Investigador PROBICI, 2010).



Figura 1.3 Pilares fundamentales para movilidad sostenible.  
Fuente: (Monzón et al., 2010).

### 1.3 Bicicletas convencionales y eléctricas en el mundo

Se espera que la demanda creciente de bicicletas eléctricas en el mundo haga que para el 2016 circulen alrededor de 466 millones (Du et al., 2013). Por este motivo se presentan estudios relacionados a la implementación de sistemas de bicicletas eléctricas compartidas, análisis de mercado, cultura ciclista, etc., en América del Norte (Estados Unidos, Canadá) y Europa. Además se incluye resultados de contaminación ambiental realizados en China y la situación actual de las bicicletas eléctricas y convencionales en América Latina dando especial atención a Ecuador.

#### 1.3.1 América del Norte

El sistema de bicicletas compartidas es un modo de transporte público/privado que va en crecimiento. Al año 2012 ya existían 15 programas en los EE.UU con un total de 5238 bicicletas eléctricas y 172070 usuarios (Ji et al., 2014).

En Estados Unidos la Universidad de Tennessee, Knoxville (UTK) realizó un estudio describiendo conceptos operativos y requisitos para implementar un sistema de bicicletas eléctricas totalmente automatizado, tomando en consideración tres parámetros críticos – distribución de las tasas de viaje, distancias de viajes y duración de los viajes – junto a otros parámetros como – número de bicicletas eléctricas, número de baterías intercambiables y puntos de recarga de las mismas. El estudio indica que las estaciones tienen tres funciones fundamentales: seguridad física, expendedora y carga de baterías (Ji et al., 2014).

La tasa de consumo de energía eléctrica fue calculada mediante la multiplicación de la distancia de viaje por la velocidad de descarga de la batería, de esta manera se tuvo un intervalo de 10-22 Wh por milla. La recomendación es no cargar las baterías completamente que puede tomar el mismo tiempo cargar de 0-80% que de 80-100% (Ji et al., 2014).

En América del Norte, Montreal, Denver, Minneapolis, Boston, Washington DC han implementado el sistema de bicicleta pública de tercera generación con éxito y hay una docena de ciudades que están en planificación para aplicar este sistema de transporte (Ji et al., 2014).



Figura 1.4 Izq. Estación de bicicletas eléctricas en Spokane. Der. Proceso para alquilar bicicleta eléctrica Fuente: (Spark Mobility, 2014).

El caso de Nueva York ilustra como una ciudad extremadamente densa y dominada puede implementar un sistema de intercambio de bicicletas para complementar el sistema de transporte público y ofrecer una opción de movilidad rápida para viajes cortos dentro de la ciudad (Paul & Bogenberger, 2014).

Un estudio realizado en la Universidad de Monash determinó datos estadísticos de algunos parámetros de los usuarios de bicicletas eléctricas que serán descritos a continuación.

Del total de personas encuestadas que son usuarios de e-bikes el 81% son hombres y 19% mujeres. En cuanto a la edad de los usuarios la figura 1.5 indica que el 14% tienen 65 años o más, el grupo más numeroso es el que comprende personas de edades de 55-64 años. El grupo de usuarios que menos utiliza las bicicletas eléctricas son los de edades comprendidas entre 18-24 años.

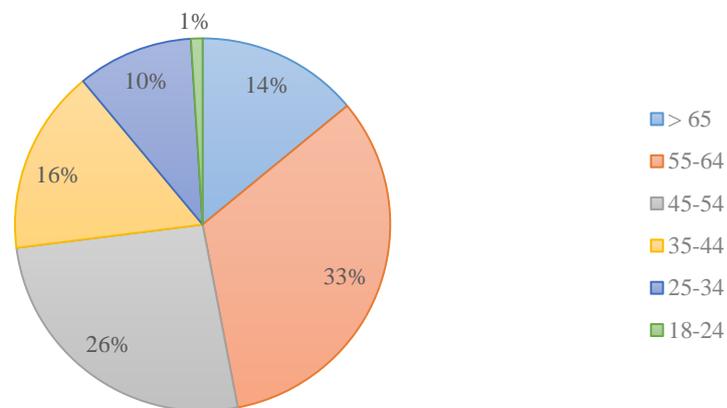


Figura 1.5 Usuarios de bicicleta eléctrica según edad [años].  
Fuente: (MacArthur, Dill, & Person, 2014).

La figura 1.6 muestra el porcentaje de usuarios de e-bikes en función del nivel de estudios de las personas encuestadas, destacando que los estudiantes de secundaria son el grupo que tienen menor participación con un 5%, mientras que un 35% representa el mayor número de usuarios los cuales son graduados de la universidad o tienen maestría.

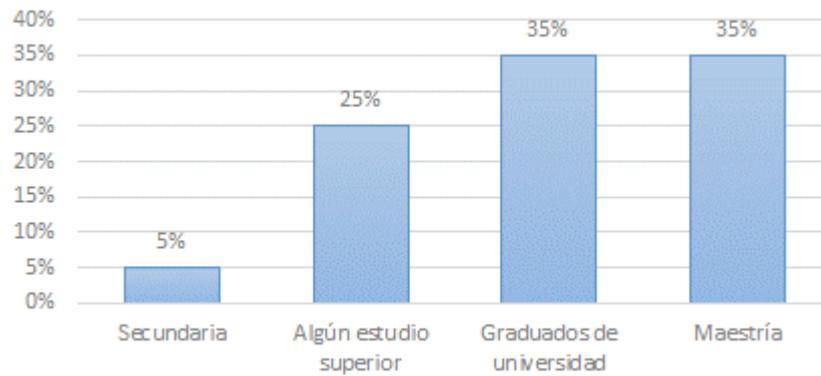


Figura 1.6 Usuarios de bicicleta eléctrica por nivel de estudios.  
Fuente:(MacArthur et al., 2014).

En la figura 1.7 se observa que los ingresos también influyen sobre los usuarios de bicicletas eléctricas, el 5% tienen salarios por debajo de los \$15.000 anuales, los que mayor uso dan a éste medio de transporte son los que ganan entre \$100.000-\$150.000 y de \$50.000-\$75.000.

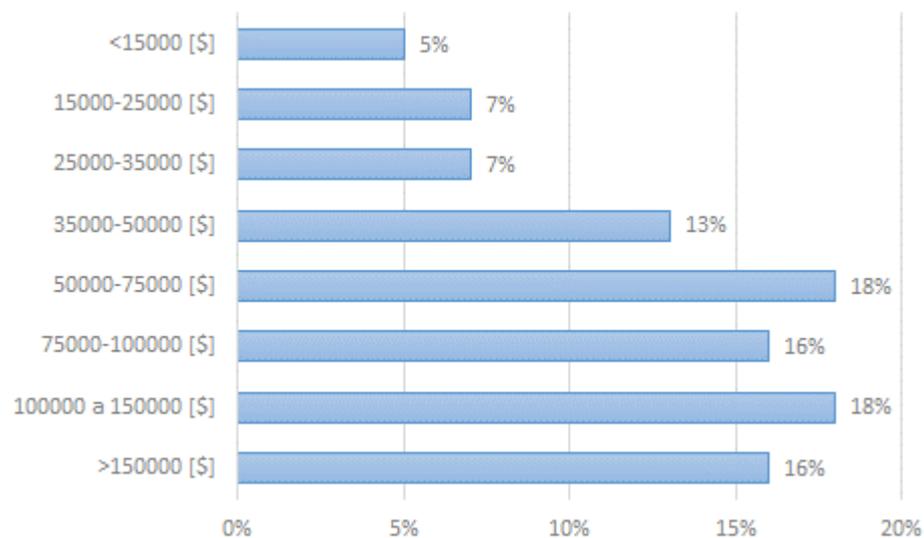


Figura 1.7 Usuarios de bicicletas eléctricas por ingresos.  
Fuente: (MacArthur et al., 2014).

Según los resultados de las encuestas la mayoría de personas compró su bicicleta eléctrica, el 56% de usuarios, o su kit de conversión en el año 2012, representando un 34% de ventas, siendo el peor año el 2007 con solamente el 2% de ventas (MacArthur et al., 2014).

En la figura 1.8 se aprecia que las principales motivaciones que tienen los ciudadanos estadounidenses para comprar una bicicleta eléctrica o modificar su bicicleta estándar fueron en primera instancia reemplazar el vehículo para ciertos viajes con un porcentaje de 63%, menor esfuerzo al montar la bicicleta 53% y en último lugar mantenerse comunicado con familiares y amigos con el 13% (MacArthur et al., 2014).

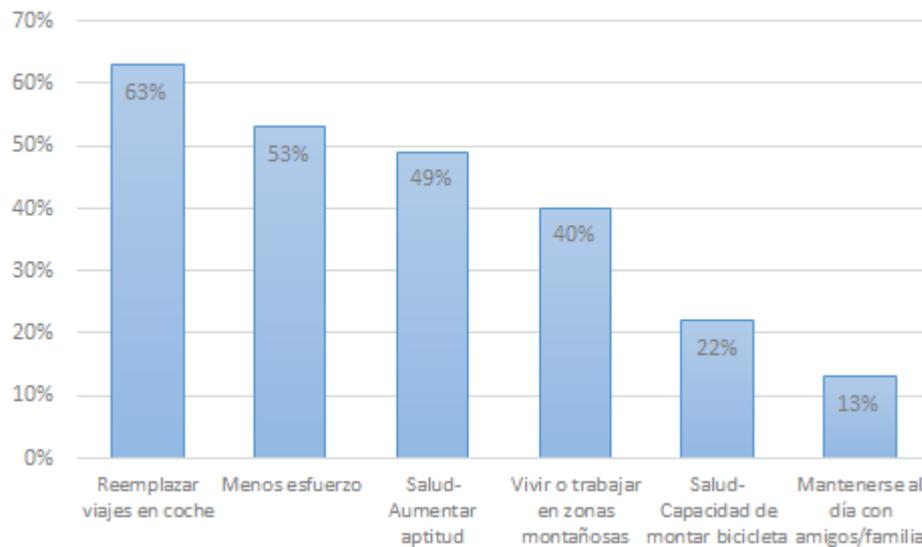


Figura 1.8 Motivaciones para usar e-bike.  
Fuente:(MacArthur et al., 2014).

### 1.3.2 Asia

En China el crecimiento vehicular es del 30-40% anual, aparte de éstos hay que incluir los autobuses, motocicletas, bicicletas y recientemente las bicicletas eléctricas que formando un conjunto han llenado la capacidad vial urbana. Las ventas de las bicicletas eléctricas han crecido mucho más rápido que cualquier otro medio de transporte en toda la historia de China, empezando con 150.000 unidades en el año 1999 hasta las 21 millones de unidades aproximadamente en el año 2007. Se estima que por las calles y carreteras de China circulan alrededor de 40-50 millones llegando al punto de desarrollar políticas nacionales para regular el uso de las e-bikes (Cherry et al., 2009).

El número de bicicletas eléctricas a finales del 2010 se estimó en 120 millones de unidades (Campbell et al., 2016). En ese mismo año se produjeron aproximadamente 29 millones de velocípedos eléctricos representando un incremento de 24,7% con respecto al año 2009.

Las mayores redes de sistemas de intercambio de bicicletas están en China, en ciudades como Hangzhou (40.000 bicicletas y 1700 estaciones) y Wuhan (13.000 bicicletas y 516 estaciones) (Ji et al., 2014).

No existen muchos estudios centrados en las emisiones de las bicicletas eléctricas, por lo que se las ha llegado a comercializar como vehículos de emisiones cero. Los ciudadanos chinos consideraron cuantificar las emisiones de estos vehículos que requieren alrededor de 2.1 kWh/100 km, pues se dieron cuenta que la contaminación no solo se produce durante el uso de la misma, sino que la mayor contaminación es durante la fase de producción de energía siendo el 75% carbón, 15% hidroeléctrica, 8% gas y 2% nuclear. (Cherry et al., 2009).

La tabla 1.1 muestra las tasas de emisión de las bicicletas eléctricas que operan en una región correspondiente (Cherry et al., 2009).

Tabla 1.1 Factores de emisión para bicicletas eléctricas por regiones en China.

Network name	CO	NO <sub>x</sub>	PM 10	PM 2.5	SO <sub>2</sub>	VOC	CO <sub>2</sub> (g/km)
<i>(g/100 km except CO<sub>2</sub>)</i>							
Hainan grid	0.87	3.43	0.56	0.31	7.41	0.35	22.7
Guangdong grid	0.70	2.53	0.72	0.43	4.25	0.28	18.9
Fujian grid	1.14	3.83	1.25	0.75	5.15	0.46	19.1
Xinjiang grid	1.34	6.21	1.32	0.76	7.32	0.53	27.3
Yunnan grid	1.53	5.81	1.34	0.76	14.05	0.62	18.1
East network	1.50	5.59	1.37	0.81	9.26	0.61	21.8
Guangxi grid	0.86	3.53	1.37	0.85	12.38	0.35	19.7
Shandong grid	1.64	6.42	1.46	0.87	16.75	0.66	25.6
Sichuan grid	1.56	6.41	1.77	1.05	23.24	0.63	15.8
North network	1.84	7.18	1.78	1.06	15.27	0.74	24.8
Chongqing grid	1.54	6.41	1.82	1.08	20.36	0.62	26.7
Guizhou grid	2.10	8.02	2.02	1.19	39.37	0.85	18.9
Central network	2.18	8.55	2.20	1.32	17.13	0.88	18.3
Northwest network	1.84	6.76	2.29	1.33	15.79	0.74	21.3
Northeast network	2.28	9.35	3.07	1.86	10.23	0.92	23.0
Weighted average	1.65	6.38	1.72	1.02	13.03	0.67	21.5

Fuente: (Cherry et al., 2009).

El estudio estima la eficiencia de las motocicletas en 3L/100 km y el de los autobuses en 45L/100 km y contrasta el consumo energético y la contaminación con la bicicleta eléctrica (Cherry et al., 2009).

### 1.3.3 Europa

La mayoría de los habitantes de países Europeos consideran que cuando haya conflicto de intereses entre usuarios de vehículos motorizados y ciclistas, éstos últimos deben ser los que deben beneficiarse de un trato preferencial (Dekoster & Schollaert, 2002).

La cantidad de desplazamientos en bicicletas es bastante diferenciado entre los países que conforman la Unión Europea como muestra la tabla 1.2, destacando a los Países Bajos con un 31,2% de desplazamientos en bicicletas, aunque se exceptúa Ámsterdam que es la ciudad que tiene un 45%. El lado opuesto es España y Portugal que solo tienen un 1.6% de desplazamientos en bicicleta, llegando a cifras tan bajas en algunas ciudades como Lisboa y Braga, con 0,8% y 0,4% respectivamente (Junta de Andalucía, 2014).

Tabla 1.2 Desplazamientos en bicicleta en Europa.

País	Desplazamientos en bicicleta (%)	Observaciones
Países Bajos	31,2	Ámsterdam: 45%, Róterdam: 25%
Dinamarca	19	Aalborg: 36,9%
Alemania	13.1	Berlín: 17,2%, Hamburgo: 13,5%, Múnich: 16,7%
Austria	8	Graz 27%, Viena: 3,7%
Bélgica	13,4	Amberes: 28,5%, Bruselas: 3,9%.
Suecia	17,1	Malmö 37%, Estocolmo: 18,7%.
Italia	4,7	Ferrara 30%, Verona: 9,1%, Roma: 1%
Francia	2,6	Estrasburgo 28%, París: 5,3%
Irlanda	3,2	Dublín llega al 5%
República Checa	7,7	Praga: 0,5%, Ostrava: 2 %
Gran Bretaña	2,2	Londres: 3,1%, Belfast: 1,6%
Portugal	1,6	Lisboa: 0,8%, Braga: 0,4%.
España	1,6	
UE27	7,4	

Fuente:(Junta de Andalucía, 2014).

Las ventas de vehículos eléctricos son bajas, con aproximadamente 12.000 vendidos en Alemania, esto no es aplicable a las ventas de pedelecs, puesto que éste país muestra un crecimiento significativo de e-bikes como se observa en la figura 1.9, llegando a incrementar en más del 100% las ventas con respecto a los años 2010 y 2013. Solamente en Alemania hasta el año 2012 existía un total de 71 millones de bicicletas convencionales y eléctricas circulando en sus calles y carreteras.

Actualmente hay un millón de bicicletas eléctricas circulando por Alemania (Paul & Bogenberger, 2014).

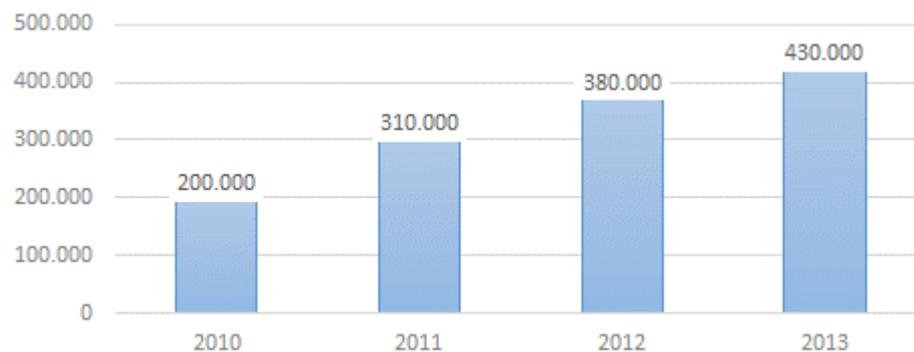


Figura 1.9 Venta de bicicletas eléctricas en Alemania.  
Fuente:(Paul & Bogenberger, 2014).

El impacto de las bicicletas eléctricas en el mercado se debe al buen consumo de energía de las mismas, pues una pedelec en promedio consume alrededor de 1kWh/100 km, mientras que un vehículo motorizado consume 5 litros de combustible en 100 km que representa 50 kWh/100 km. Esto da a entender que la circulación de 50 personas en una e-bike es igual que una sola persona en un automóvil. La autonomía de la bicicleta eléctrica está alrededor de 25-30 km, dependiendo de pequeñas variables como el peso del ciclista, topografía de la zona, la temperatura, el estilo de conducción, entre otras (Paul & Bogenberger, 2014).

En los Países Bajos el éxito de las bicicletas está determinado por ser un terreno plano, además de que en Holanda las ciudades son compactas por lo que las distancias de desplazamiento son las más idóneas para este tipo de transporte y un factor muy importante es la cultura de los ciudadanos que desde pequeños ya les enseñan a utilizar las bicicletas (Ministerie Van Verkeer en Waterstaat, 2009).

Los ciudadanos holandeses no solamente utilizan las bicicletas por los beneficios como ser un transporte sostenible, sano, libre de emisiones, silencioso, limpio y barato, sino por la simple razón de que les relaja y disfrutan al utilizarla, siendo cuantificadas las emociones más importantes en la figura 1.10 y se comparan con el vehículo y transporte público. Además de ser un medio de transporte flexible y cómodo dentro las urbes.

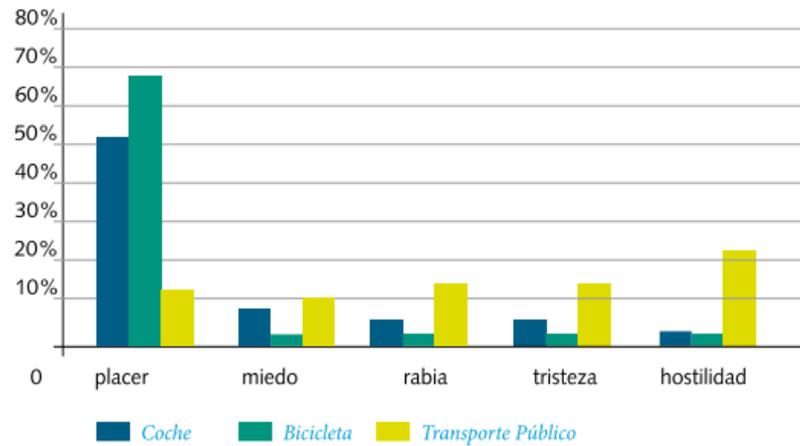


Figura 1.10 Emociones al utilizar un medio de transporte.  
Fuente:(Ministerie Van Verkeer en Waterstaat, 2009).

Resultados de algunas investigaciones muestran la tendencia de que a mayor número de ciclistas la seguridad también aumenta. En los Países Bajos se cumple gracias al gran número de desplazamientos en bicicleta y se debe a que al haber gran cantidad de ciclistas en las vías las personas se hacen una imagen de este tipo de tráfico y los conductores de vehículos se adaptan. Otro factor muy importante en Holanda es que casi todos los conductores son ciclistas por lo que conocen el comportamiento en las calles (60% ocupan 3 veces a la semana y 80% al menos 1 vez a la semana) (Ministerie Van Verkeer en Waterstaat, 2009).

Un dato muy interesante mostrado en la figura 1.11 referente al ciclismo en los Países Bajos es que es el único país del mundo en donde hay más bicicletas que habitantes, donde los ciudadanos tienen una media de 1,11 bicicletas/persona.



Figura 1.11 Número de bicicletas por habitante.  
Fuente:(Ministerie Van Verkeer en Waterstaat, 2009).

Dinamarca también se destaca por su gran movilidad en bicicletas, siendo Copenhague la mejor ciudad para ciclistas por dos años consecutivos atribuido por expertos estadounidenses de sostenibilidad (VisitDenmark, 2016).

En Copenhague es posible ver ciudadanos de todas las clases sociales desplazándose por las calles de la ciudad, desde una madre haciendo la compra hasta un director de banco. Ahora el 50% de ciudadanos se trasladan a sus trabajos en bicicleta cada día, y la mayoría lo hace durante todo el año independientemente de las condiciones climatológicas (Denmark.dk, 2016).

#### **1.3.4 América Latina y el Caribe**

América Latina y el Caribe es la segunda región más urbanizada y sus ciudades están experimentando un continuo crecimiento. Las ciudades que presentan una economía que crece rápidamente y están en un rango poblacional de 100.000 a 2.000.000 de habitantes se las considera “emergentes”. Por este motivo el BID creó la Plataforma Ciudades Emergentes y Sostenibles en el año 2011. La finalidad es permitir a estas ciudades realizar una planificación en base a una buena información, aprendiendo de las experiencias de las urbes más grandes y evitar los problemas que éstas han tenido (Baumann, Bojacá, Rambeau, & Wanner, 2013).

Todas las ciudades tienen políticas públicas que permiten promocionar a la bicicleta como un medio alternativo de movilidad, tienen implementadas ciclovías permanentes y recreativas, y ciudades grandes como Ciudad de México, Buenos Aires, Bogotá, La Paz, Montevideo ya tienen regulaciones del uso de bicicletas en el área urbana. Las ciudades ya han destinado recursos para infraestructura para bicicletas considerando fundamental la conectividad, estacionamiento y el financiamiento (Baumann et al., 2013).

Los resultados del estudio “Biciudades 2014” reflejan que el 23% de las ciudades cuentan con un sistema de bicicletas públicas, 63% tiene ciclovías permanentes, 33% proporcionan estacionamiento para las bicicletas, 15% permiten ingresar con el velocípedo al transporte público, 23% tiene regulación sobre el uso del casco y el 40% han promocionado el ciclismo (BID, 2014).

#### 1.4 Situación de las bicicletas convencionales y eléctricas en Ecuador

En Ecuador no es reciente la cultura ciclista, pero en las últimas décadas ha tomado fuerza por problemas medioambientales y medidas firmadas en los protocolos de Kioto y Rio de Janeiro. Se propuso el uso de la bicicleta como transporte para reducir las emisiones contaminantes, a bajo costo y amigable con el medio ambiente (Pinto Alvaro, Fuentes, & Alcivar, 2015).

En la actualidad, las principales ciudades del país están estudiando nuevas formas de movilizarse con menor impacto ambiental y dándole la importancia que requiere tomar estas medidas.

La reconversión de lugares de forma temporal o permanente en beneficio de peatones y de movilidad no motorizada es tema de discusión en las ciudades de todo el mundo. De ahí nace el concepto de ciclopaseos que buscan recuperar espacios públicos con objetivo de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos a través del ejercicio físico, estar rodeado de un aire más puro y la posibilidad de contar con lugares de encuentro y recreación (Pinto Alvaro et al., 2015).

En la tabla 1.3 se observa las principales ciudades que están poniendo en marcha el programa de ciclopaseos: Loja, Quito, Cuenca, y Ambato. Otras ciudades que tienen por el momento suspendido la actividad son: Ibarra, Guayaquil y Santo Domingo.

Tabla 1.3 Ciclopaseos en Ecuador.

Ciudades con Ciclopaseo			
Ciudad	Frecuencia	Estado	Distancia (Km)
Quito	Todos los domingos del mes	Activo	30
Loja	Todos los domingos del mes	Activo	10
Cuenca	Cada 15 días	Activo	5-oct
Ambato	Dos domingos del mes	Activo	6
Santo Domingo	Todos los domingos del mes	Suspendido	6
Guayaquil	Ocasional	Suspendida	1.76-6.95
Ibarra	Ocasional	Suspendida	5

Fuente:(Pinto Alvaro et al., 2015).

La infraestructura en el Ecuador está a cargo del Gobierno Nacional mediante el Ministerio de Transporte y Obras Públicas y los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales y Cantonales.

#### 1.4.1 Iniciativas Gubernamentales

En el año 2012, el Gobierno Nacional mediante el Ministerio de Transporte y Obras Públicas anunció la construcción de 270 Km de ciclovías en diferentes regiones del Ecuador como muestra la tabla 1.4, buscando un sistema de transporte alternativo no motorizado y contando con seguridad deportiva. Se trata de ciclovías separadas del tráfico o separadas por barreras que garanticen la seguridad del ciclista (Embajada del Ecuador en los Países Bajos, 2013).

Tabla 1.4 Ciclovías planteadas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Costa	Sierra	Oriente
San Vicente - Canoa	Loja - Vilcabamba	Baños - Puyo (Sierra/Selva)
San Pablo - San Vicente (Santa Elena)	Vilcabamba - Yangana	
Guayaquil - Chongón	Puente Guayambal - Puente Trapichillo (Loja)	
Coaque - Pedernales	Nono - Mindo	
Río Verde (acceso centro de AR)	Otavalo - Ibarra	
Paso Lateral Tosagua - Parque Lago	Ibarra - Yahuarcocha	
Chongón - Cerecita	Cumbayá - Puenbo	
	Tulcán - Tufiño	

Fuente: (Embajada del Ecuador en los Países Bajos, 2013).

#### 1.4.2 Iniciativas Municipales

##### 1.4.2.1 Quito

La Municipalidad de Quito tiene como programas la Semana de la Movilidad y Día Mundial sin Auto, medidas adoptadas como alternativas de movilidad sustentable. En el año 2010 se realizaron eventos como “Muévete en Bici”, programa orientado a los funcionarios públicos para trasladarse al trabajo en bicicleta los días martes y miércoles. Como complemento a esta campaña se promocionó una guía de seguridad ciclista y apertura de cuatro estacionamientos en el centro histórico de Quito (Embajada del Ecuador en los Países Bajos, 2013).

La ciudad de Quito tiene aproximadamente 72,99 Km de ciclovías siendo 23 Km, correspondientes al 32%, exclusivas para los ciclistas, el resto es de uso compartido (Pinto Alvaro et al., 2015).

### **BiciQuito**

La Municipalidad de Quito pone a la disposición de todos los ciudadanos locales y turistas el préstamo de bicicletas convencionales y eléctricas sin costo alguno denominado como bicicletas públicas, con el fin de promover el uso de la bicicleta. (BiciQuito Bicicleta Pública, 2016).

El sistema tiene una flota de 658 unidades ubicadas estratégicamente alrededor de 25 estaciones en la que se sitúan las principales zonas comerciales, de mayor afluencia, centros estudiantiles, instituciones bancarias y de turismo. En la actualidad se tiene un registro de aproximadamente 843 movimientos diarios (BiciQuito Bicicleta Pública, 2016).

Al sistema de bicicletas públicas se le sumarán 300 nuevas bicicletas eléctricas que contarán con asistencia al pedaleo para evitar inconvenientes en las pendientes, tienen sistema de iluminación LED, sistema GPS para el rastreo. La batería tiene una autonomía de 12 horas dependiendo del uso y serán recargadas en las noches. (Alarcón, 2016).

La Municipalidad está contratando un sistema de automatización para tener una tarjeta inteligente como medio de uso del sistema de bicicleta público (Rodas, 2016).

#### **1.4.2.2 Cuenca**

En el año 2012 la Alcaldía llevó a cabo la iniciativa “Vía Viva” que buscaba mediante actividades de pedaleo, caminata y trote *“habilitar espacios urbanos que integren y desde otra perspectiva permitan experimentar a los habitantes de Cuenca formas saludables y equilibradas de cuidar su salud”* (Embajada del Ecuador en los Países Bajos, 2013). Otro programa era “Barrio Activo” en el que se pretendía llegar a barrios periféricos de la ciudad para brindar a la ciudadanía actividades deportivas y reducir el sedentarismo.

#### **1.4.2.3 Guayaquil**

El municipio de Guayaquil está promoviendo el uso de la bicicleta con la construcción de un intercambiador con área recreativa y en colaboración con organizaciones ajenas organizan el “Desafío 50K”. Se tiene prevista la inversión de medio millón de dólares

para una ruta de un total de 10 ciclovías, programas educativos y capacitación. La señalética para la seguridad del ciclista, iluminación y pintura están siendo trabajadas con consultoría de ONG's (Embajada del Ecuador en los Países Bajos, 2013).

#### **1.4.2.4 Carchi**

Los planes que se tiene para la ciudad de Tulcán es la construcción de la escuela de ciclismo. Se busca promocionar la reactivación del ciclismo y junto con la Federación Deportiva de Carchi se quiere que el número de mujeres que realizan esta actividad crezca (Embajada del Ecuador en los Países Bajos, 2013).

### **1.4.3 Iniciativas de la Sociedad Civil**

#### **1.4.3.1 Biciacción**

Se trata de una organización no gubernamental cuya finalidad es “*promover nuevas formas y espacios de movilidad, mediante el uso de bicicleta como modo de transporte, deporte y recreación*” (Embajada del Ecuador en los Países Bajos, 2013).

#### **1.4.3.2 Ciclópolis**

Ciclópolis junto al Grupo Faro llevaron a cabo un estudio sobre los usuarios de las bicicletas en el año 2010 para conocer cuál es el potencial que tiene este medio de transporte en la ciudad de Quito.

Los resultados del estudio mostrados en la figura 1.12 indican que los usuarios del ciclopaseo con un porcentaje de 41,7% utilizan el bus como medio de transporte y el 39,7% el automóvil, el resto utiliza un medio diferente. Las principales razones por las que los usuarios no utilizan el sistema de bicicletas públicas de manera frecuente se muestran en el siguiente cuadro (Pinto Alvaro et al., 2015).

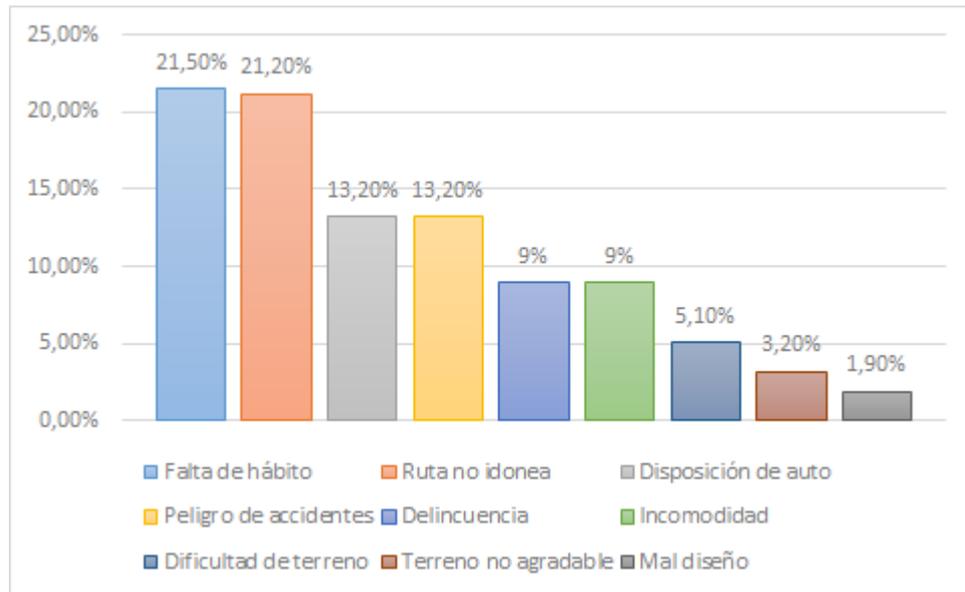


Figura 1.12 Razones para no usar sistema de bicicletas públicas.  
Fuente: (Pinto Alvaro et al., 2015).

#### 1.4.4 Participación de Ecuador en la red de ciclovías recreativas de las Américas

Ecuador es miembro de la red de Ciclovías Recreativas de las Américas (Red CRA). El objetivo de esta organización es desarrollar programas de ciclovías recreativas, difundir información, dar apoyo técnico y compartir todas las experiencias que se producen al poner en práctica estos proyectos en los diferentes países. De las iniciativas internacionales que tiene Ecuador en la red antes mencionada destacamos: Al trabajo en bici, jueves de pedal y cicleadas de masa crítica (Pinto Alvaro et al., 2015).

#### 1.4.5 Derechos de los ciclistas en Ecuador

La Ley de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial pone en conocimiento de los ciudadanos ecuatorianos los derechos que se tiene en calidad de ciclistas, y se recoge en el artículo 204 de la Ley previamente mencionada (Agencia Nacional de Tránsito, 2014).

Los ciclistas tienen los siguientes derechos:

- Transitar por todas las vías públicas del país, con respeto y seguridad, excepto en aquellos en la que la infraestructura actual ponga en riesgo su seguridad, como túneles y pasos de desnivel sin carril para ciclistas, en los que deberá adecuarse espacios para hacerlo.

- Disponer de vías de circulación privilegiada dentro de las ciudades y en las carreteras, como ciclovías y espacios similares
- Disponer de espacios gratuitos y libres de obstáculos, con las adecuaciones correspondiente, para el parqueo de las bicicletas en los terminales terrestres, estaciones de trolebús, metrovía y similares
- Derecho preferente de vía o circulación en los desvíos de avenidas y carreteras, cruce de caminos, intersecciones no señalizadas y ciclovías
- A transportar sus bicicletas en los vehículos de transporte público cantonal e interprovincial, sin ningún costo adicional. Para facilitar este derecho, y sin perjuicio de su cumplimiento incondicional, los transportistas dotarán a sus unidades de estructuras portabicicletas en sus partes anterior y superior
- Derecho a tener días de circulación preferente de las bicicletas en el área urbana, con determinación de recorridos, favoreciéndose e impulsándose el desarrollo de ciclopaseos ciudadanos.

#### **1.4.6 Cuenca: Factores condicionantes para la movilidad en bicicleta**

La ciudad de Cuenca es considerada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) como una ciudad emergente, es decir, ha tenido un crecimiento poblacional y económico positivo en relación al promedio nacional, y su población está dentro del rango de los 200.000 a 2.000.000 de habitantes (Martínez Moscoso, 2015).

La Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES) es un programa que da apoyo a los gobiernos locales para desarrollar y ejecutar planes de sostenibilidad urbana para evitar los problemas que impiden el crecimiento sostenible de la ciudad basándose en 3 pilares fundamentales: (i) sostenibilidad medioambiental, (ii) sostenibilidad urbana y (iii) sostenibilidad fiscal y gobernabilidad. Cuenca forma parte de la iniciativa desde el año 2013 (BID, 2015).

La necesidad de un desarrollo sostenible da la iniciativa de buscar alternativas de movilidad en Cuenca, para mejorar el flujo vehicular y reducir la contaminación ambiental, aprovechando la infraestructura existente para ahorrar recursos y generar beneficios para la urbe. “Los peatones son los primeros en la escala de movilidad y deben ser los principales actores sobre los cuales encaminar políticas de sostenibilidad

tanto ambiental, social como técnica. En este sentido, el 90% de las ciclovías propuestas no invaden aceras, salvo en casos donde realmente la dimensión de la sección vial, la velocidad de flujo vehicular y la poca presencia de peatones, así lo determinan.” (Movere, 2014).

Por el momento la bicicleta no es reconocida como un medio de transporte alternativo, aunque al estar bien posicionada como actividad de deporte y recreación es la base para partir hacia el fortalecimiento y facilitar el uso de la bicicleta y atraer nuevos ciclistas.

Se debe empezar por ver a la bicicleta como parte del entorno urbano para ser tomada en cuenta por los usuarios de las vías y del personal administrativo. La construcción de infraestructura es necesaria pero no lo más importante, pues están limitando la circulación de los ciclistas solo por lugares determinados.

La administración debe considerar a los vehículos no motorizados al momento de trazar nuevas redes viales porque son el medio de transporte más rápido y eficiente para distancias de hasta 5 Km. A su vez debe poner en marcha un proyecto de pacificación del tráfico, como se hace en otros países, como estrategia de incursión de la bicicleta al transporte público.

Otra forma de incentivar el uso de la bicicleta es la integración de los medios de transporte motorizados con los no motorizados para cambiar el modelo de movilidad urbana. La estrategia más contundente es la de desmotivar el uso del automóvil.

La bicicleta permite circular por la urbe a una velocidad de entre 15-20 Km/h siendo a la vez eficiente en gasto energético, durabilidad y fácil en mantenimiento. (Municipalidad de Cuenca, 2015).

#### **1.4.6.1 Factores climáticos**

Cuenca tiene un clima templado en una región bioclimática sub húmeda temperada debido a que se localiza dentro en un extenso valle. El clima está condicionado por la altitud de la ciudad que está dentro de un rango de 2400-2600 m.s.n.m. Las

temperaturas durante el día están entre 20°C – 27°C y en las noches puede llegar a los 5°C.

La temporada soleada y de lluvias están bien definidas, comprendiendo la temporada de sol en los meses de junio a diciembre y la lluvia el resto del año, teniendo una precipitación media de 500 y 1000 mm, condiciones idóneas para utilizar la bicicleta como medio de transporte (Municipalidad de Cuenca, 2015).

#### 1.4.6.2 Altimetría

La altimetría es definida como la altura desde un punto de referencia como es el nivel del mar. El cantón Cuenca tiene una altimetría que oscila desde los 20 m.s.n.m hasta los 4000 m.s.n.m. El área urbana y periurbana tiene una altura que está en el rango de los 2400 – 2600 m.s.n.m que no afectan en ninguna circunstancia a los ciclistas (Municipalidad de Cuenca, 2015).

#### 1.4.6.3 Geomorfología

El cantón Cuenca tiene un relieve montañoso que abarca el 33.35% de su superficie, seguida de relieves escarpados y colinas medianas, presentando pendientes de hasta 70%. Dentro de la zona urbana las pendientes pueden estar en el rango de 0%- 15% debido a los contornos escalonados, precipicios y declives escarpados. En la figura 1.13 se observa la presencia de tres terrazas, factor importante para el estudio del uso de las bicicletas en la zona urbana.



Figura 1.13 Terrazas en la zona urbana del cantón Cuenca.  
Fuente:(Municipalidad de Cuenca, 2015).

#### 1.4.6.4 Pendientes

Se define como pendiente al grado de inclinación que presenta el terreno, siendo medido en grados o de manera porcentual. Este factor es un condicionante para determinar si las vías son aptas para el desarrollo de la actividad ciclista y en la figura 1.14 se muestra la distribución de las pendientes alrededor de la zona urbana.

En la ciudad de Cuenca encontramos 3 grupos de pendiente:

- Rango de 0-5%: apto para cualquier actividad ciclista porque son pendientes suaves.
- Rango de 5-12%. las pendientes, aunque regulares, son más pronunciadas siendo accesibles para ciclistas con cierta experiencia profesional, limitando el uso a personas amateur.
- Rango de 12% en adelante: pendientes no aptas para el ciclismo.



Figura 1.14 Pendientes en Cuenca.  
Fuente:(Municipalidad de Cuenca, 2015).

#### 1.4.6.5 Tráfico en la ciudad de Cuenca

La intensidad media diaria (IMD) es el número total de vehículos que circulan en una determinada sección de vía en el transcurso del día, bajo la unidad de “vehículos equivalentes” aplicando factores de corrección dependiendo del tipo de vehículo.

El 50% del tráfico de Cuenca esta entre 5.000 y 20.000 veh/día, el 30% del viario comprende entre 20.000 y 50.000 vehículos. En el centro histórico circulan entre 1300-3500 veh/día, mientras que en el anillo formado por la Av. De las Américas y la vía Cuenca-Azogues es el tramo donde más vehículos se registran oscilando entre 35.000-50.000 veh/día. Otras arterias principales para la circulación de vehículos son las avenidas Huayna Cápac, 12 de Abril, Fray Vicente Solano, España, González Suarez que pueden abarcar un tráfico de 40.000 veh/día.

La capacidad de viario es el número máximo de vehículos que pueden circular por una vía en un tiempo determinado (Municipalidad de Cuenca, 2015).

El grado de saturación sirve para evaluar el funcionamiento de las vías y se lo realiza asignando un tráfico que las mismas soportan y la cantidad de vehículos que son capaces de absorber. Mediante el grado de saturación podemos saber si se trata de una vía sobredimensionada o son demasiado pequeñas para albergar toda la cantidad de vehículos que circulan.

En función de la capacidad del viario mostrado en la figura 1.15 podemos determinar cuál es el grado de saturación que hay en las vías cuencanas. La capacidad viaria de la ciudad que no supera los 4.000 veh/día corresponde al 78%. El 22% se trata de vías que son capaces de absorber un flujo vehicular de 5.000 veh/día.



Figura 1.15 Capacidad del viario.  
Fuente: (Municipalidad de Cuenca, 2015).

Teniendo la capacidad del viario y la intensidad media diaria se puede saber dónde se presenta aglomeración de vehículos. Según el estudio realizado por La Municipalidad de Cuenca en 2015 concluyen que el 61% del viario esta entre 20-60% de saturación, 8% de las vías están bajo el 20%. El 13% excedido de capacidad del viario se encuentra en el centro histórico lo que motiva a que la bicicleta sea la alternativa de movilidad ideal para la ciudad. En la figura 1.16 se observa la congestión existente en el centro histórico.

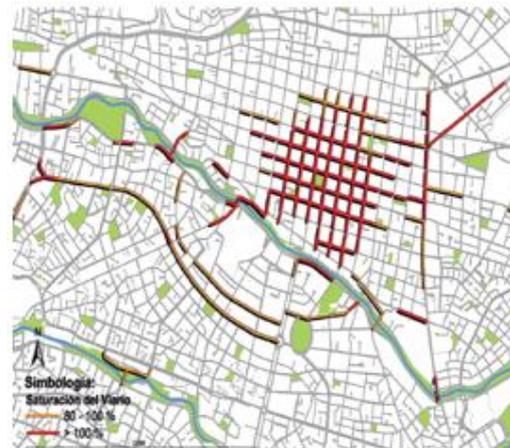


Figura 1.16 Congestión en el centro histórico.  
Fuente: (Municipalidad de Cuenca, 2015).

En el centro histórico el 62% corresponde a vehículos livianos, vehículos de carga corresponde al 15%, taxis 10%, motos 4% y buses un 4%.

Personas que realizaron un viaje independientemente del destino en una bicicleta apenas llegó al 0,32% lo que quiere decir que prácticamente no se está utilizando la bicicleta (Municipalidad de Cuenca, 2015).

#### 1.4.6.6 Ciclovías en Cuenca

Las ciclovías en la ciudad de Cuenca surgen en el año 1996 en la calle Quito que hasta en la actualidad se la usa para actividades de recreación. Fue en 2005 cuando nace la propuesta para el Desarrollo de una Movilidad Alternativa y Sustentable “Cuenca, se mueve contigo”, iniciativa con el fin de favorecer la movilidad urbana, reduciendo la contaminación y permitiendo ver a la bicicleta como una alternativa para la movilidad dentro de la urbe.

En el año 2012 se ejecutó la primera etapa mediante la construcción de baterías sanitaria, sendas de uso compartido, que permite ver a los ciclistas de una manera dinámica (Municipalidad de Cuenca, 2015).

La infraestructura existente en la actualidad en la ciudad recopilado por la Municipalidad de Cuenca en 2015 son:

- Ciclovía Av. Loja

Tiene una longitud de 603 metros con un ancho de 1.70 metros con estado bueno. Exclusivo para bicicletas y bidireccional.

- Ciclovía Av. Solano

Con longitud de 1.45 Km y 3 metros de ancho es un carril exclusivo para bicicletas, bidireccional ubicado al lado derecho de la avenida. Su estado es bueno.

- Paseo Tres de Noviembre.

La longitud es de 903 metros x 2.20 de ancho, exclusivo para bicicletas bidireccional. Su estado es bueno.

- Parque de la Madre

Tiene una longitud de solamente 216 metros x 2 metros de ancho, bidireccional y exclusivo de bicicletas. Su estado es bueno.

- Calle Quito

Longitud de 3.1 Km x 2.0 metros de ancho, es exclusivo para bicicletas pero el estado es regular.

- Ciclovereda Av. Remigio Crespo

Tiene una extensión de 1.13 Km x 1,3 metros de ancho. Su estado es bueno y es unidireccional uniforme a la circulación del tráfico vehicular.

- Ciclo carril Av. 10 de agosto

Su estado actual es malo, tiene una extensión de 2.02 Km x 1.25 metros de ancho. Es delimitado por pintura y tachas aunque está proyectado implementar un carril segregación con dispositivos de intervención urbana.

- Senda de uso compartido Tomebamba

Tiene una longitud de 4.05 Km x 3 metros de ancho. Se trata de una senda compartida con una pendiente máxima de 2% con capa de rodadura de material de mejoramiento compactado. Su estado es regular.

La figura 1.17 muestra las ciclovías existentes y las proyecciones de infraestructura para los próximos años, además se puede apreciar cuales son exclusivas para ciclista y las que son compartidas con peatones.

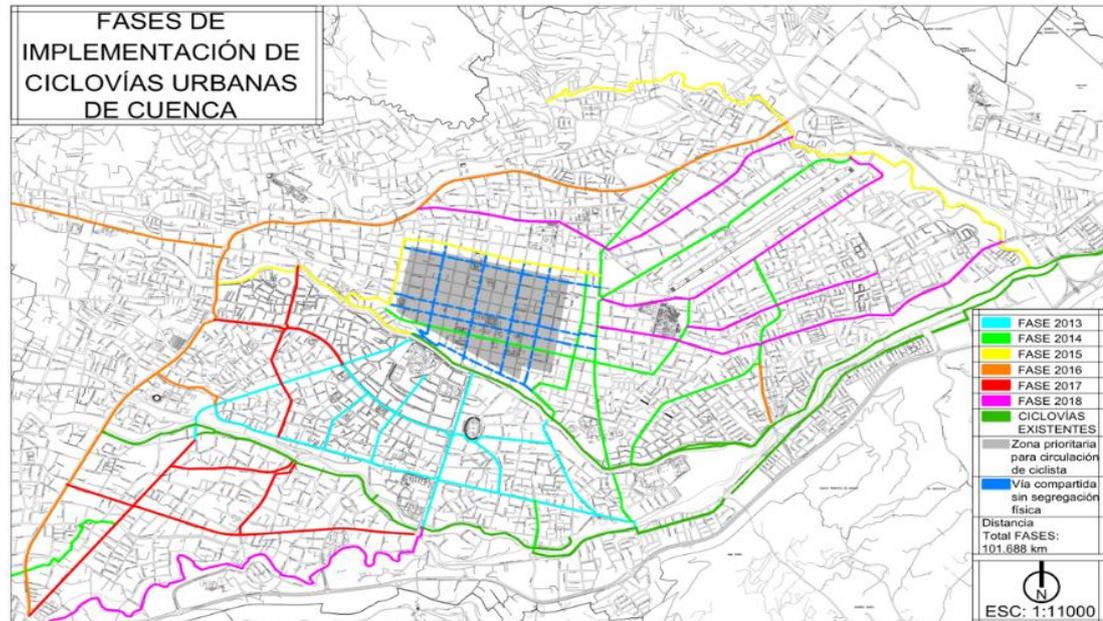


Figura 1.17 Ciclovías en Cuenca.  
Fuente: (Municipalidad de Cuenca, 2015).

### 1.5 Beneficios de las bicicletas convencionales y eléctricas

En los años 60 el fomento del uso del automóvil ha hecho que el uso en la actualidad sea indiscriminado, llegando a considerarlo una herramienta indispensable de nuestra vida y de los sistemas de transporte urbano. El problema surge cuando las ciudades se tornan demasiado densas y las distancias relativamente cortas provocando que los automóviles no sean ni eficientes ni sostenibles (Junta de Andalucía, 2014).

Para mitigar estos efectos negativos de otros medios de transporte la bicicleta aporta sus beneficios para ser un transporte sostenible. Su uso masivo reduce problemas sociales y ambientales, pues existe un respeto por el medio ambiente mejorando la calidad de vida de las personas, se nota vitalidad en el entorno urbano, disminuye el cambio climático y la dependencia del petróleo (Jakovcevic et al., 2015).

Los beneficios del uso de las bicicletas tanto de manera particular como en sistemas compartidos, según el Instituto Americano para el Transporte y Desarrollo de políticas (ITDP) se los puede clasificar en 4 aspectos según Paul & Bogenberger, aunque se tomará en cuenta un quinto aspecto importante relacionado a los beneficios ambientales que se pueden obtener por utilizar este medio de transporte.

### **1.5.1 Beneficios en el transporte**

El beneficio más importante en cuanto a tráfico es la reducción de los embotellamientos, descongestionando las carreteras y mejorando el flujo vehicular y alivia el transporte público al prestar un servicio complementario (Abagnale et al., 2015; Paul & Bogenberger, 2014). De una manera directa se produce debido a la reducción del número de vehículos en circulación y de forma indirecta se da por aumentar el atractivo del uso de transporte público al combinar la bicicleta y el transporte público (Dekoster & Schollaert, 2002).

Las bicicletas y los sistemas de bicicletas compartidas ofrecen una importante contribución a la promoción del uso de la misma como una forma innovadora, respetuosa con el medio ambiente y energéticamente eficiente de movilidad. En algunas ciudades, las bicicletas se las considera el punto de partida para cambios radicales en la planificación urbana y transporte (Paul & Bogenberger, 2014).

En cuanto a su autonomía, con este medio es posible desplazarse a cualquier destino a la hora que se considera necesario, llegando a ser tan cómodo como el automóvil y menos rígido en cuanto a horarios con respecto al transporte público. Además en relación al transporte publico las velocidades pueden ser muy similares en distancias cortas, incluso en trayectos de hasta 5 Km la bicicleta puede ser más rápida (Junta de Andalucía, 2014).

### **1.5.2 Beneficios económicos**

La utilización de una bicicleta eléctrica tiene menor costo energético por distancia recorrida por el ciclista en comparación a un transporte motorizado, ahorro en seguros, licencias, registros, estacionamiento (Abagnale et al., 2015). En cuanto a mantenimiento también es más económico, pues el automóvil tiene costos 30-40 veces más elevados (Monzón et al., 2010).

Otro factor importante en el ámbito económico es la creación de puestos de trabajo en el caso de bicicletas compartidas, se necesitaría personal para mantener y redistribuir las bicicletas. En París se da empleo a 400 personas en tiempo completo y en diferentes campos de trabajo (Paul & Bogenberger, 2014).

Se puede atraer a inversionistas de la industria local para vender productos y servicios relacionados con hardware y software para operar el sistema de bicicletas compartidas (Paul & Bogenberger, 2014).

Los costos económicos como vías, aparcamientos, gastos en policía, etc., son más reducidos en comparación a los vehículos motorizados. La inversión para una buena infraestructura es de 10 a 20 veces menor que para automóviles, y 15 veces menor en cuanto a espacio de aparcamientos. Sin considerar los gastos externos ahorrados que supone para toda la colectividad (Monzón et al., 2010).

Otros beneficios económicos se dan al ahorrar en combustible de los vehículos, pérdidas en los atascos y ahorro en salud previniendo muchas enfermedades (Dekoster & Schollaert, 2002).

Las inversiones en vías se ven reducidas y da la posibilidad de reinvertir en atractivos turísticos para la ciudad. Reducción en costes de las empresas de aparcamientos, ya no se debe dar mantenimiento, ni crear nuevas infraestructuras (Dekoster & Schollaert, 2002).

### **1.5.3 Beneficios en la salud**

Los beneficios del uso de la bicicleta pueden ser de manera directa e indirecta. El beneficio directo se basa en la mejora de salud del ciclista, mientras que la indirecta se fundamenta en los beneficios derivados por la disminución de la contaminación y ruido (Monzón et al., 2010).

Según Jakovcevic los beneficios a corto plazo son mejora en la salud de los ciclistas, entretenimiento, ahorro de dinero y de tiempo al viajar, a la vez que rompemos las barreras de la fatiga al manejar una e-bike. Montar una bicicleta eléctrica no reduce los beneficios en la salud porque realiza el mismo esfuerzo biomecánico que si se tratara de una convencional. (Vlakveld et al., 2014).

Se determinó que la actividad regular es más beneficiosa que practicarla pocos días aunque sea de manera intensiva, llegando a concluir que las personas que la practican constantemente pueden llegar a reducir su índice de mortalidad en un 40%.

En función de lo expuesto anteriormente se puede recopilar los beneficios más favorables para la salud según la Junta de Andalucía:

- Mejora el funcionamiento del sistema circulatorio, reduciendo el riesgo de infarto en un 50% y bajando los niveles de colesterol negativo.
- Prevención de dolor de espalda: se fortalece la musculatura de la espalda permitiendo tener una protección más fuerte de la columna vertebral y el constante pedaleo fortalece las piernas ayudando a la zona lumbar y evitando hernias discales.
- Protege las articulaciones: las articulaciones y cartílagos no están sometidos a sobrecargas debido a que el 70-80% del peso corporal es soportado por el sillín de la bicicleta.
- Mejora el sistema inmunológico al estimular las defensas del cuerpo.
- Reduce la aparición de la diabetes y ayuda a mantener un peso óptimo.

Duración del ejercicio	Efecto conseguido
10 minutos	Mejora articular
20 minutos	Refuerzo del sistema inmunitario
30 minutos	Mejoras a nivel cardiovascular
40 minutos	Aumento de la capacidad respiratoria
50 minutos	Aceleración del metabolismo
60 minutos	Control de peso, anti estrés y bienestar general.

Figura 1.18 Beneficios para la salud según tiempo de actividad.  
Fuente:(Junta de Andalucía, 2014).

#### 1.5.4 Beneficios para la imagen de la ciudad

Las ciudades con demasiados vehículos motorizados se vuelven menos atractivas por factores tanto ambientales como sociales y sobre la calidad de los espacios públicos.

El vehículo ya no es una opción eficaz porque las calles se colapsan, se pierde bastante tiempo en buscar aparcamiento. El uso del automóvil fomenta a realizar viajes más largos y dispersos aumentando la dependencia del mismo, por lo tanto, es necesario romper este círculo vicioso (Monzón et al., 2010).

La prioridad de una ciudad es atraer a nuevos ciclistas mediante la mejora de la infraestructura y sistemas de bicicletas compartidas. El efecto positivo que tiene la urbe es reforzar la imagen de ciudad sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Paul & Bogenberger, 2014).

### **1.5.5 Beneficios ambientales**

En una encuesta realizada por *Eurobarómetro* se estimó que el 82% de los ciudadanos europeos declaran que un problema prioritario son las cuestiones medioambientales, a su vez, el 72% opina que deben ir de la mano el desarrollo económico y la protección del medio ambiente (Dekoster & Schollaert, 2002).

Las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuyeron en todos los sectores excepto en transporte debido a la utilización del automóvil, en donde aumentaron un 9%. Los esfuerzos de la Unión Europea y fabricantes de vehículos por reducir los niveles de contaminación solo pueden llegar a reducir en un 15%, sin tener en cuenta el consumo que se produce en las ciudades por motivo de los atascos donde el consumo medio puede llegar a ser el doble en estas situaciones (Dekoster & Schollaert, 2002).

Los vehículos motorizados son los principales culpables del incremento de niveles de gases contaminantes como partículas en suspensión, dióxido de nitrógeno, hidrocarburos, CO Y CO<sub>2</sub>, afectando a la calidad del aire como a la salud de las personas (Junta de Andalucía, 2014).

Estudios realizados permiten determinar que el uso de las bicicletas convencionales y eléctricas si favorecen en la reducción de contaminantes criterio y de efecto invernadero, llamados así por ser perjudiciales para la salud humana o por favorecer al calentamiento global. Un ejemplo mostrado en la tabla 1.5 es el sistema ECOBICI donde han podido evitar 232 toneladas de CO<sub>2</sub>e en 3 años al sustituir el vehículo por la bicicleta (De Almeida, Herrera, Martínez, & Ferreíra, 2013).

Tabla 1.5 Reducción de CO<sub>2</sub>e [Ton] por implementación de sistema ECOBICI.

Modo de transporte	Año	Distancia de recorrido de los vehículos evitada (miles de Km)	Emisiones evitadas por el sistema ECOBICI (TonCO <sub>2</sub> e)
Automóvil	2010	704	22
	2011	2623.5	83
	2012	4037.1	127
<b>Total</b>		<b>7364.6</b>	<b>232</b>

Fuente: (De Almeida et al., 2013).

El 85% de la energía utilizada en el transporte proviene de una fuente de petróleo poniendo en evidencia la fuerte dependencia al petróleo. Si se cambiara el modo de transportarse (de auto a bicicleta) en distancias cortas aproximadas a 3 Km el consumo de energético equivale a un 60% menos (Junta de Andalucía, 2014).

### 1.6 Inconvenientes de las bicicletas convencionales y eléctricas

Los principales inconvenientes que se presentan al momento de dar uso a las bicicletas surgen de temas derivados a condiciones climáticas, pendientes en el terreno, incomodidad para transportar alguna mercancía o niños o incluso el peligro de ser víctimas de un robo (Monzón et al., 2010).

En cuanto a las condiciones climáticas varios estudios han explorado el impacto que tiene el clima en el uso de la bicicleta convencional o eléctrica y la demanda de la misma bajo estas circunstancias. Estudios realizados en Australia y Suecia se centran en las bicicletas sujeta a variaciones estacionales y el clima, incluyendo categorías de temperatura, viento y precipitaciones, donde se demostró la disminución del ciclismo a temperaturas bajas. Para ello utilizaron un sistema psicológico equivalente en donde se tomaron factores como esfuerzo físico, humedad de la ropa y velocidad del viento y basándose en una escala numérica de 9 puntos que va desde “muy frío” (<4°C) a “muy caliente” (>41°C). Esto mostró que los ciclistas son más sensibles a la temperatura y precipitación donde se evidencia que hay reducciones marcadas de los grupos de ciclistas en climas fríos (Campbell et al., 2016).

Son pocas las desventajas que presenta este tipo de transporte aunque cuando se trata de sistemas de bicicletas compartidas surgen algunos inconvenientes. Al requerir de energía eléctrica para su funcionamiento la gestión de la batería es imprescindible para asegurar altos niveles de disponibilidad (Ji et al., 2014).

Otro estudio realizado en Washington DC en sistemas de bicicletas compartidas revela la relación de la demanda en función del clima. La demanda es positiva cuando las temperaturas son moderadas (15-32 °C), los datos son negativos cuando la temperatura esta fuera de ese rango o cuando hay presencia de precipitación.

Después del análisis de estos estudios se llegó a la conclusión que el volumen de usuarios de bicicletas eléctricas es de 76-81% más bajos en días de lluvia en relación a los días soleados o nublados (Campbell et al., 2016).

Pero no se pueden considerar como inconvenientes sin solución debido que para cada uno de los problemas existe alguna forma de mitigar sus efectos. Es el caso de las pronunciadas pendientes, el cual es un problema solamente para las bicicletas convencionales, pues la asistencia eléctrica de las e-bikes permite dar solución a este inconveniente.

Por un costo extra razonable se puede adquirir accesorios que permitan dar solución a los problemas antes mencionados, como la inclusión de cestas, remolques, ropa impermeable, cambio de velocidades, etc., y para el caso de los robos dotar de aparcamientos seguros (Monzón et al., 2010).

Otros factores condicionantes son los índices de accidentabilidad. En la figura 1.19 se puede apreciar el número de fallecidos en España en los últimos años (Junta de Andalucía, 2014).

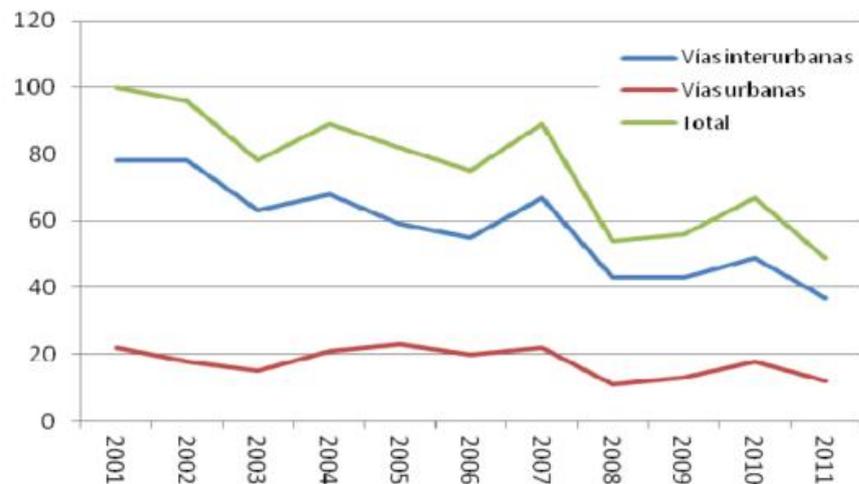


Figura 1.19 Número de fallecidos en vías urbanas e interurbanas.  
Fuente:(Junta de Andalucía, 2014).

En Suiza durante los años 2011-2012 la policía registro un total de 504 accidentes de ciclistas con bicicletas eléctricas y 871 accidentes de ciclistas de bicicletas convencionales, de los cuales la mayoría de accidentes se producían en personas con edades comprendidas entre 40-65 años (Weber, Scaramuzza, & Schmitt, 2014).

Personas con heridas provocadas en accidentes fueron numerosos, en el año 2011 se registró un total de 3246 ciclistas, para el 2012 esta cifra se redujo de forma mínima llegándose a registrar 3061 ciclistas heridos (Weber et al., 2014).

Otros de los factores que aumentan la peligrosidad de la bicicleta son:

- Velocidades elevadas de los vehículos motorizados
- Compartir las mismas vías con vehículos motorizados
- Impedimento de uso de vías en determinadas zonas
- Gran exposición por carencia de chasis
- Comportamiento hostil de los conductores hacia ciclistas.

Para bicicletas eléctricas un factor importante como inconveniente es el costo. Las e-bike son sustancialmente más caras que las convencionales de características similares, de modo que el mercado de este tipo de transporte en algunos lugares no ha llegado a crecer muy rápido. La única manera de combatir este problema es mediante la

inclusión de sistemas de bicicletas eléctricas compartidas para romper la barrera del precio (Ji et al., 2014).

### **1.7 Políticas de promoción para uso de bicicletas convencionales y eléctricas**

El día Mundial de la bicicleta tiene la finalidad que promover el uso de este medio de transporte, destacando los beneficios para la salud, movilidad sostenible y exigir respetar los derechos de los ciclistas (Carmona, 2016).

La Unión Europea ofrece su ayuda a los municipios locales para que promuevan el desarrollo de una cultura de movilidad urbana, donde el transporte sea asequible a la par de sostenible y convertir las ciudades en entornos dinámicos y vigorosos (Dirección General de Políticas Interiores de la Unión, 2010).

Algunos países de la Unión Europea ya han empezado a desarrollar planes nacionales relacionados a las bicicletas. El caso de Finlandia busca fomentar la inversión de los gobiernos locales en vías cicloturistas, fomentar el uso de la bicicleta en conjunto con el transporte público y aumentar las normas de calidad en las vías para ciclistas. Por su parte Suecia, en su estrategia nacional, pretende aumentar la seguridad de los ciclistas y aumentar la cuota modal de la bicicleta. Dinamarca se basa en la bicicleta del siglo XXI, estrategias para fomentar un uso más seguro y realizar un catálogo de conceptos cicloviales (Dirección General de Políticas Interiores de la Unión, 2010).

Francia tiene un plan que no es totalmente nacional, se lo considera parcial, pero es el que más objetivos busca alcanzar entre los que se destaca fomentar el transporte en bicicleta, promover la intermodalidad del tren con la bicicleta, aumentar la seguridad de los ciclistas, prevenir el robo de bicicletas, impartir información a los escolares, fomentar el uso de la bicicleta como medio de transporte saludable y ecológico, apoyar a las empresas de servicios cicloviales y fomentar el uso de la bicicleta en actividades turísticas, recreativas y deportivas (Dirección General de Políticas Interiores de la Unión, 2010).

Por su parte Alemania impulsa nuevos métodos y estrategias de aplicación para fomentar el transporte en bicicleta, contribuye a crear un entorno amigable con el uso de los velocípedos y formula recomendaciones de actuación. Reino Unido en su plan

nacional busca aumentar el uso de la bicicleta, comodidad de acceso en bicicleta a los principales destinos, mejorar la seguridad ciclovial, establecer sistemas de gestión de tráfico y aparcamientos en los principales destinos y reducir el robo de bicicletas. Por ultimo Noruega quiere fomentar un transporte sostenible y aumentar la cuota modal de la bicicleta y asegurar un desarrollo urbano equilibrado (Dirección General de Políticas Interiores de la Unión, 2010).

En la actualidad Francia está pagando alrededor de 40 euros mensuales si se moviliza al trabajo en bicicleta. El ministerio francés de Ecología, Desarrollo Sostenible y Energía ha puesto en marcha una prueba piloto en el que se pagará 25 céntimos de euro por kilómetro pedaleado. Las empresas voluntarias que se apunten a la iniciativa harán que se beneficien de este incentivo alrededor de 10.000 trabajadores (Elcacho, 2014).

La mayoría de las ciudades de Latino América y el Caribe fomentan el uso de la bicicleta mediante instituciones como departamentos de deportes, policía y seguridad pública, salud pública, transporte y calles, recreación y educación con apoyo esporádico de hospitales que centran sus actividades en fomentar el uso de la bicicleta como modo de vida saludable (Baumann et al., 2013).

Para fomentar el cambio del automóvil por las bicicletas algunas ciudades han optado por implementar políticas que obliguen a los ciudadanos a cambiar su modo de transporte. Santiago y Sao Paulo, por ejemplo, no permiten que los vehículos circulen por la urbe ciertos días en función del último dígito de la placa. Este plan también fue implementado en Ciudad de México bajo el nombre de “Hoy No Circula”, pero estudios han demostrado que ha aumentado la contaminación ambiental debido a que los ciudadanos compran más vehículos motorizados para evadir esta ley.

Otras ciudades han optado por poner un límite de vehículos a su nombre, controles de estacionamiento y cargo por congestión y contaminación del aire, de esta manera buscan que los usuarios utilicen medios de transporte que sean sostenibles (Baumann et al., 2013).

## **1.8 Desincentivar el uso del automóvil**

El propósito es generar estrategias que dificulten o imposibiliten el uso del automóvil que generalmente siempre tienen beneficios ya que no se pueden eludir (González, 2007). Los beneficios que ofrece este tipo de estrategias es que son autofinanciables, generando recursos para los departamentos administrativos y se pueden reinvertir en alternativas para transporte público y no motorizado (a pie, bicicletas), espacios públicos y descuentos para personas vulnerables en el transporte (Medina Ramirez & Veloz Rosas, 2012).

### **1.8.1 Vecindario sin autos**

Los barrios sin vehículos apuestan por reducir la necesidad económica y social de transportarse en este automóvil. Esto facilita la libre movilidad de las personas que no están en capacidad de comprar un coche pero que están favoreciendo en la mejora de la calidad de vida de todos los habitantes (González, 2007).

Esta estrategia se ha desarrollado en varias ciudades europeas destacando: Bremen, Tubingen, Berlín, Colonia, Hamburgo, Freiburg, Halle, Múnich, Viena, Edimburgo y Ámsterdam.

### **1.8.2 Cargos por congestión**

Consiste en aplicar tarifas a los vehículos que circulan en ciertos sectores de la urbe, días y horarios, excepto para aquellos ciudadanos con capacidades especiales, taxis o servicios de emergencia. Se puede exonerar del pago a vehículos eléctricos (si se quiere fomentar su uso) y cualquier tipo de transporte sostenible.

Los beneficios de este sistema son: reduce uso del vehículo, menor contaminación, promueve el uso de transporte sustentable, reduce congestión, mejora seguridad vial (Medina Ramirez & Veloz Rosas, 2012).

Londres implementó este sistema en el año 2003 logrando reducir en un 20% el tráfico en las zonas, aumento el uso compartido del automóvil y fomento el uso del sistema de transporte público. Esto además consiguió que el promedio de velocidad en esas áreas aumente en un 37%.

### **1.8.3 Reducción viaria para vehículos**

Sistema radical conocido como evaporador de tráfico, se basa en reducir el viario de los automóviles dificultando el flujo vehicular o eliminando el tráfico si la reducción es total. El espacio restringido a los coches se puede utilizar para otros medios de transporte como bicicletas.

El mejor ejemplo es Cambridge, donde el crecimiento vehicular para el año 2016 fue pronosticada como insostenible, motivo por el cual se restringió el paso vehicular por el centro de la ciudad, se subió el precio de los parqueaderos, se mejoró las condiciones para el uso de la bicicleta, el transporte público y a pie (González, 2007).

### **1.8.4 Pacificación del tráfico**

Se restringe la velocidad de los vehículos para hacer que la convivencia con peatones y ciclistas sea más seguro, a la vez que se disuade el uso de los automotores (González, 2007).

### **1.8.5 Impuestos por kilómetros-vehículos recorridos**

Consiste en aplicar un impuesto por cada kilómetro recorrido de los vehículos.

Holanda implemento el sistema mediante GPS para cobrar el impuesto. Se estimó que se reduciría en un 10%-15% los viajes, 40%-60% los tiempos de viaje y 10% de reducción de CO<sub>2</sub> para el año 2020.

Alemania en cambio solo cobra el impuesto a los vehículos pesados de más de 12 toneladas, variando la tarifa de 10 a 17 céntimos de euro por kilómetro, dependiendo de la categoría y número de ejes del camión (Medina Ramirez & Veloz Rosas, 2012).

### **1.8.6 Parquímetros**

Dispositivos en la vía pública con objetivo de regular mediante el cobro de una tarifa por un tiempo limitado el uso de espacios establecidos en la calle para el estacionamiento (Medina Ramirez & Veloz Rosas, 2012).

Para reducir el uso del vehículo hay que limitar las posibilidades de aparcamiento, cobrar por el servicio, de esta manera los conductores optaran por desplazarse en otros medios de transporte (González, 2007).

### **1.8.7 Impuesto al combustible basado en parámetros ambientales**

Impuesto en función de algún parámetro ambiental que se aplica a la compra de combustible, específicamente al combustible utilizado en el transporte (Medina Ramirez & Veloz Rosas, 2012).

### **1.8.8 Quito: Pico y Placa**

La Municipalidad de Quito, con objetivo de descongestionar el tráfico, creo la ordenanza reformativa 001 de la Ordenanza Metropolitana No. 305 Art. I. 473 (4) Implementación de pico y placa que dice: *“Los propietarios de los vehículos que se encontraren circulando contraviniendo los planes de restricción y de regulación serán sancionados a través del órgano competente del Distrito Metropolitano, por la comisión de la infracción administrativa, con una multa equivalente al 15% de una remuneración básica unificada; en caso de reincidencia, por segunda ocasión, con una multa equivalente al 25% de una remuneración básica unificada y en caso de reincidencia, por tercera ocasión o más, con una multa equivalente al 50% de una remuneración básica unificada”* (QUITO Agencia Metropolitana de Tránsito, 2015).

## **1.9 Sistemas de bicicletas compartidas en el mundo**

La palabra share-economy se está extendiendo con mucha rapidez y describe una tendencia para compartir bienes y las cosas que necesariamente no debemos poseer pero que se puede utilizar. Un número cada vez mayor de grandes ciudades, especialmente en Europa, América del Norte y Asia, ofrecen sistemas de bicicleta pública, promocionándola como un medio de transporte amigable con el medio ambiente. El número de ciudades con sistemas de bicicletas públicas aumentó de 68 en 2007 a más de 675 a finales de 2013 (Paul & Bogenberger, 2014).

### **1.9.1 Principales sistemas de bicicletas compartidas en el mundo**

Un sistema de bicicletas compartidas es un servicio de préstamo gratuito o de bajo costo, en donde se pone a disposición de los usuarios bicicletas para viajes de distancias cortas dentro del área urbana (Baumann et al., 2013).

#### **1.9.1.1 Montreal: BIXI**

BIXI-Montreal es una organización sin ánimo de lucro creada en el año 2014 por la ciudad de Montreal para administrar su sistema de bicicletas compartidas. La red BIXI

cuenta con 5200 bicicletas y 460 estaciones distribuidas a través de las áreas de Montreal, Longueuil y Westmount. Originalmente lanzado en Montreal en mayo de 2009, BIXI fue creado íntegramente en Quebec para responder a las necesidades y retos específicos que plantea Montreal y sus cuatro estaciones (Manulife, 2016).

#### **1.9.1.2 Nueva York: Citibike**

Citi Bike es el sistema de bicicletas compartidas de la ciudad de Nueva York, que pone a su disposición miles de bicicletas 24 horas al día, 7 días a la semana. Las bicicletas de Citi Bike se encuentran en cientos de estaciones de autoservicio en Manhattan y Brooklyn y son perfectas para recorridos cortos dentro de la ciudad (Citibike, 2016).

#### **1.9.1.3 Barcelona: Bicing**

Bicing es el transporte urbano que basa su funcionamiento en el uso compartido de bicicletas. Barcelona pone a la disposición de los usuarios un servicio sencillo, práctico y sostenible ideal para trayectos cortos dentro de la urbe, a la vez que se contribuye en la conservación del medio ambiente al no generar ni humos ni ruidos.

Bicing eléctrico es la alternativa propuesta por el sistema para recorridos más largos y donde haya pendientes. Esta red se distribuye en 41 estaciones en aparcamientos y 5 estaciones en la superficie (Ajuntament de Barcelona, 2016).

#### **1.9.1.4 Lyon: Cyclocity**

Cyclocity es una forma de transporte responsable con el medio ambiente, rápido y práctico de usar, a la vez que mejora la calidad de vida de los usuarios.

El servicio es intermodal permitiendo acoplar este servicio con los medios de transporte existentes en la ciudad, sistema que ya se está empezando a replicar en varios puntos del mundo (JCDecaux, 2016).

#### **1.9.1.5 Paris: Velib**

Velib ofrece un servicio de bicicletas compartidas con alrededor de 23.600 unidades repartidas por toda la ciudad, disponibilidad de 24 horas diarias en 1800 estaciones situadas cada 300 metros (Ayuntamiento de Paris, 2010).

### 1.9.1.6 Ciudad de México: ECOBICI

Sistema de bicicletas compartidas implementado en el año 2010 con el objetivo de promover la intermodalidad y fomentar la cultura vial ciclista. ECOBICI es el primer sistema de bicicletas compartidas de tercera generación en toda Latino América.

El sistema cuenta con 1200 bicicletas distribuidas estratégicamente en 90 cicloestaciones. La extensión al centro histórico logro un incremento del 73% en usuarios y 63% en viajes. Se reporta que la cantidad de viajes en bicicletas particulares aumento en un 40% y el 75% de los ciclistas lo hacen de forma frecuente. Por esta razón el sistema seguirá expandiéndose en función de la demanda de usuarios y sus necesidades (Carreón, Areli; Martínez, Agustín; Treviño, 2011).

### 1.10 Generación de energía eléctrica en Ecuador

Ecuador busca el cambio de la matriz energética, de modo que el Gobierno Nacional puso en marcha obras que buscan reemplazar la generación de energía eléctrica derivados de la quema de combustibles fósiles por energía renovable. En función de estadísticas de la Arconel en 2015 se estima que el 51,78% de la producción es energía renovable (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2016).

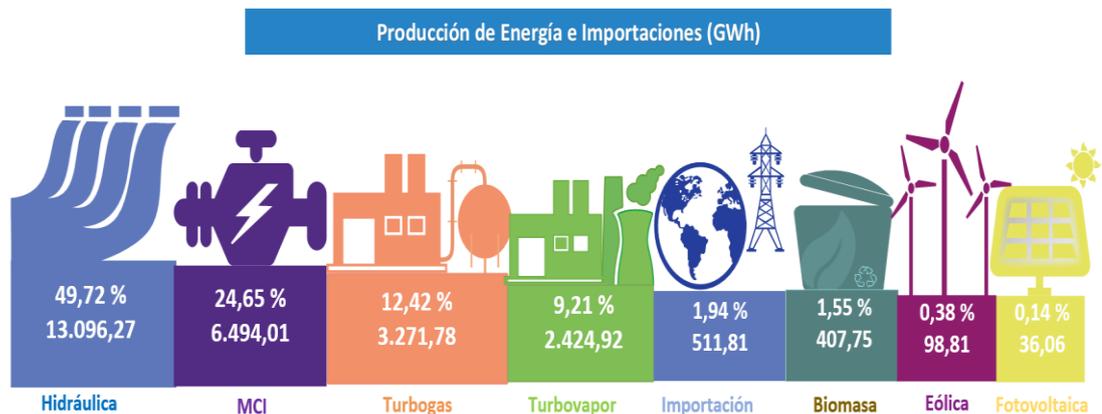


Figura 1.20 Producción de energía e importaciones.

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2016).

La energía hidroeléctrica es una fuente limpia por no quemar combustibles fósiles, es decir, es renovable y no provoca directamente gases de efecto invernadero. Aunque de manera indirecta aporta con emisiones al ambiente principalmente durante la construcción e inundación de los reservorios. Generalmente esta contaminación es

producto de la descomposición de una fracción de bosques inundados (Pew Center on Global Climate Change, 2009).

### 1.11 Rendimiento del motor

El motor de combustión interna transforma la energía de origen química contenida en el combustible a energía térmica mediante la combustión. Al aumentar la presión en la combustión se logra desplazar el pistón obteniendo energía mecánica (Sanz, 2003).

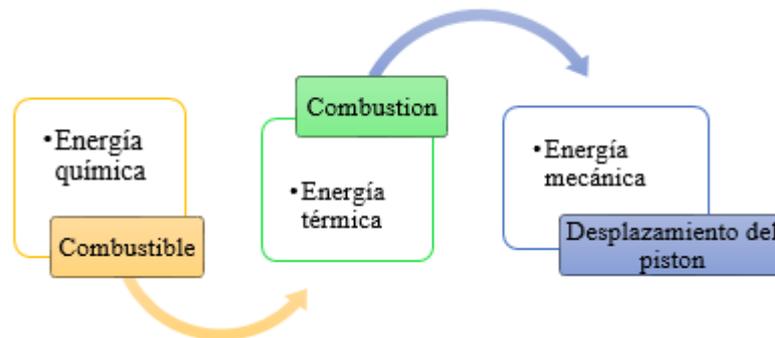


Figura 1.21 Transformación de energía en el motor.  
Fuente: (Sanz, 2003).

Sin embargo, toda la energía del combustible no es aprovechada debido a las pérdidas existentes, por ello el balance resultante entre la energía aportada y la obtenida en una máquina se denomina rendimiento. El rendimiento del motor será mayor cuanto menos pérdidas se den durante la transformación.

Las pérdidas de energía se pueden dar por:

- Pérdidas de calor: producidas por la radiación de calor al exterior, evacuadas principalmente por el sistema de escape o sistema de refrigeración.
- Pérdidas mecánicas: provocadas por el rozamiento entre componentes móviles del motor y accionamiento de sistemas auxiliares.
- Pérdidas químicas: por combustión incompleta.

### 1.12 Análisis Estadístico

Las medidas de dispersión es la mejor manera para analizar los datos obtenidos de las rutas de prueba porque permiten conocer la separación existente entre los diversos

valores que toma la variable. Se considera medidas de dispersión absolutas que toman como referencia a un promedio para conocer la representatividad del mismo y medidas de dispersión relativas que no considera unidades y permite comparar variabilidades (Sarabia Alegría & Pascual Sáez, 2007).

**Media aritmética:** también conocida como promedio es un variable estadística de tipo cuantitativo que se explica como la suma de todos los valores entre el número total de observaciones.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad \text{Ec. ( 1 )}$$

Donde:

$\bar{x}$  = media aritmética

N = número de datos

$x_i$  = conjunto de variantes x

La media aritmética es el dato descriptivo más utilizado pero no da una información completa de los datos, para eso se utilizan las medidas de dispersión, indicando el grado de homogeneidad de los valores.

**Desviación típica o estándar:** es una medida de dispersión que indica el grado de dispersión o de heterogeneidad de las puntuaciones individuales. (Morales Vallejo, 2009).

La ecuación que describe la desviación estándar de una muestra viene dada por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{x})^2}{N}} \quad \text{Ec. ( 2 )}$$

Donde:

$\sigma$  = desviación típica de la muestra

$X$  = valor de puntuación individual

$\bar{x}$  = media aritmética

$N$  = número de datos

Cuando se intenta estimar la desviación estándar de una población representada por una muestra, como el caso del estudio, la ecuación difiere y se expresa como:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad \text{Ec. ( 3 )}$$

La desviación típica es la medida de variabilidad más utilizada y de mayor importancia. Un valor pequeño indica que los datos están cerca de la media, un valor alto por el contrario indica que los datos están muy dispersos en relación a la media aritmética.

#### 1.12.1.1 Coeficiente de variación

Generalmente el coeficiente de variación es utilizado para comparar la dispersión cuando no se han utilizado las mismas unidades o instrumentos, o los grupos de valores comparados son muy desiguales.

La variabilidad relativa o coeficiente de variación viene determinada como el cociente entre la desviación estándar y la media aritmética y es de forma habitual multiplicar el resultado por 100 (Morales Vallejo, 2009).

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100 \quad \text{Ec. ( 4 )}$$

Donde:

$C_v$  = coeficiente de variación

$\sigma$  = desviación estándar

$\bar{x}$  = media aritmética

### 1.12.1.2 Intervalo de confianza

El intervalo de confianza es un conjunto de posibles valores del parámetro donde la probabilidad de que se encuentre el deseado es todo lo alta que se desee. Un intervalo de confianza puede ser considerada como una región donde se puede aceptar o rechazar una hipótesis (Mode, 1990).

Al tratarse de un resumen en donde la cantidad de datos es inferior a 30, se debe utilizar el intervalo de confianza con la T de Student. Se trata de una distribución de probabilidad que surge como inconveniente de estimar la media de una población distribuida y cuyo tamaño de muestra es pequeño (García Pérez, 2014).

Cuando se tiene la desviación estándar y la media es posible determinar el intervalo de confianza con la T de Student de la siguiente manera:

$$\left[ \bar{x} \pm t_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right] \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

$\bar{x}$  = media aritmética

$t_{\alpha/2}$  = valor obtenido de la tabla T de Student

$\sigma$  = desviación estándar

n = número de datos

En base a la tabla de la distribución T de Student el valor de  $t_{\alpha/2}$  con nivel de confianza del 95% elegido para el estudio corresponde a 4,3027 cuando el grado de libertad es 2 (ida o vuelta) y 2,5706 con grado de libertad 5 (ida y vuelta). El grado de libertad equivale a n-1.

Por lo tanto, el límite inferior queda determinado como:

$$\bar{x} - t_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Ec. (6)}$$

Y el límite superior es:

$$\bar{x} + t_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Ec. (7)}$$

## Conclusiones

- La bicicleta eléctrica como alternativa de movilidad permite reducir el congestionamiento vehicular, contaminación ambiental y gastos para el usuario y ciudad, además mejora la salud tanto del ciclista como de los ciudadanos a la vez que da una mejor imagen a la urbe.
- En algunos países el crecimiento en ventas de este medio de transporte ha sido mayor a cualquier otro medio motorizado, siendo necesario desarrollar políticas de regulación.
- Es considerado un medio de transporte energéticamente eficiente llegando a tener un rendimiento de 1kWh/100km - 2,1kWh/100km y autonomía entre 25 – 30 km.
- Latinoamérica ya tiene políticas públicas que fomentan el uso de bicicletas, brindando a ciudades emergentes las bases para una planificación en función de experiencias ocurridas en ciudades más grandes.
- Las principales ciudades de Ecuador también buscan nuevos modos de transporte amigables con el medio ambiente y brindar la infraestructura adecuada para los ciclistas, para ello se han desarrollado iniciativas gubernamentales, municipales y de acción civil que permitan fomentar el uso de bicicleta y conocer las necesidades que tienen los usuarios.

## CAPITULO II

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1 Materiales

##### 2.1.1 Instrumentación de la bicicleta

Para la realización del estudio se dispone de una bicicleta Specialized equipada con un kit eléctrico Heinzmann que consta de: batería, controlador, motor, sensores y un display.

##### 2.1.1.1 Batería

Se trata de una batería de ion-litio encargada de suministrar la energía necesaria al motor para generar la asistencia al ciclista.

La batería se encuentra ubicada en el tubo inferior del cuadro de la bicicleta de modo que el centro de gravedad sea bajo y tener una mejor estabilidad. Se ajusta con firmeza mediante una riel metálica y gracias a su conexión magnética con el controlador absorbe grandes vibraciones o sacudidas durante el viaje (Heinzmann, 2013).

Tabla 2.1 Características técnicas de la batería.

Voltaje	36 V DC
Capacidad	14,25 Ah
Energía	515 Wh
Peso	Aproximadamente 3,5 Kg
Grado de protección	IP54
Tiempo de carga a 2 amperios	Aproximadamente 8 horas
Tiempo de carga a 4 amperios	Aproximadamente 4 horas
Temperatura normal de operación	-10 a 45°C
Temperatura cargando	10 a 35°C

Fuente:(Heinzmann, 2013).

### 2.1.1.2 Controlador

El controlador electrónico está integrado en la caja de la batería de modo que permite incorporar el motor y demás componentes como un solo sistema.

Permite configurar varios parámetros como los niveles de asistencia, velocidad máxima de asistencia, monitorear el sistema eléctrico y actualizar el software de la interfaz (Heinzmann, 2016).

### 2.1.1.3 Motor

El motor tiene una potencia de 500 W capaz de generar hasta 60 Nm de torque para el impulso, con la posibilidad de ser instalado en cualquier bicicleta estándar. La potencia nominal no se ve afectada por el calentamiento de los componentes ya que la electrónica de potencia es independiente e integrada en la caja de la batería (Heinzmann, 2015).

Tabla 2.2 Características técnicas del motor.

Voltaje de alimentación DC	36 VDC
Voltaje de motor	25 VAC
Potencia nominal	500 W
Velocidad típica con aro 26"	35 km/h
Velocidad típica con aro 28"	38 km/h
Peso	5,2 Kg
Torque nominal	22,7 Nm
Relación de corriente AC	16,1 A
Torque de impulso	60 Nm
Sistema de protección	IP54

Fuente: (Heinzmann, 2015).

### 2.1.1.4 Sensores

El kit electrónico Heinzmann trae un sensor de torque testado y previamente programado. Además de una manera alternativa se tiene un sensor de velocidad de pedaleo que puede ser instalado en cualquier lado de los pedales (Heinzmann, 2016).

### 2.1.1.5 Display

El display LCD permite visualizar información relacionada con el nivel de asistencia, velocidad, carga de la batería, kilometraje, etc. Toda la información puede ser operada desde una unidad independiente instalada en el manillar (Heinzmann, 2016).

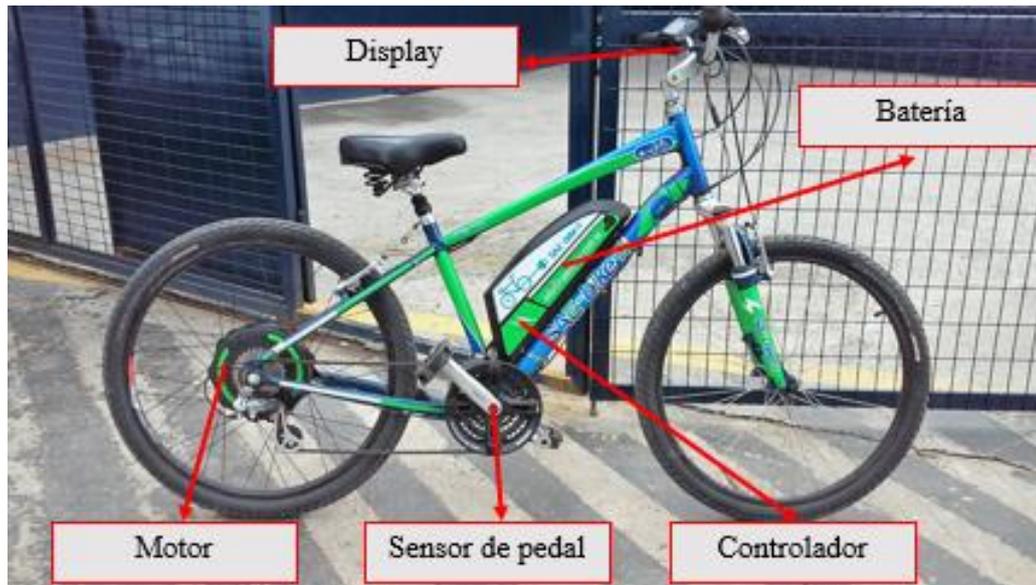


Figura 2.1 Instrumentación de la bicicleta eléctrica.

### 2.1.2 GPS VBOX Sport

Este dispositivo permite obtener datos de velocidad, posición, desplazamiento, etc., y registrarlos en una memoria SD para el posterior análisis de información.

Es un GPS capaz de adquirir datos a una frecuencia de 20 Hz, con autonomía de 6 horas, resistente al agua, con antena interna y de manera complementaria una antena externa, conexión con dispositivos Apple para el monitoreo en tiempo real, tarjeta SD para registro de datos, cargador mediante USB y software gratuito para el análisis de información (Racelogic, 2014).

### 2.1.3 Medidor de potencia eléctrica

Este dispositivo permite medir la cantidad de energía que se requiere para cargar la batería de la bicicleta.

Tabla 2.3 Especificaciones técnicas del medidor de potencia eléctrica.

Voltaje de operación	120 V, 60 Hz
Corriente de operación	Max. 15A
Voltaje de alimentación	110V – 130V
Rango de tiempo	0 sec- 9999 days
Rango de vatios	0W – 9999W
Rango de voltaje	0V – 9999V
Rango de corriente	0A – 15 A
Rango de precios	0.00 \$/kWh – 99,99 \$7kWh

Fuente: (Intertek, s.f.).

#### **2.1.4 HEM Data**

El HEM Data OBD mini Logger es un dispositivo capaz de adquirir datos del bus CAN del automóvil bajo los protocolos ISO 15765-4 (CAN, 11-/29-bit, 250/500 kbps), SAE J1850 PWM & VPW, ISO 9141-2, ISO 14230-4 (KWP). Viene con una base de datos de casi 100 parámetros de acuerdo a la norma SAE J1979 y 40 están disponibles para automóviles livianos (HEM Data, 2016).

Es muy compacto y de instalación sencilla ya que se conecta directamente en el conector OBDII del automóvil o el J1962 para camiones.

#### **2.1.5 Vehículos**

Para el estudio se utilizó un total de 11 vehículos a gasolina, elegidos de manera aleatoria para que abarque la mayor cantidad de características técnicas de automóviles más comunes y comerciales que circulan por la ciudad y cuya información se encuentra en los anexos.

- Hyundai: Accent (1), Sonata (1), Tucson IX (1).
- Chevrolet: Captiva (1), Gran Vitara (1), Aveo activo (1), Corsa (1), Aveo emotion (1), Aveo family (1).
- Toyota: Yaris (2)

### **2.2 Metodología**

#### **2.2.1 Determinación de rutas de pruebas**

Para la determinación de rutas se consideró algunos parámetros e información como: distancia, estaciones de tranvía y el Plan de Movilidad y Espacios Públicos de la ciudad de Cuenca del 2015.

En cuanto a distancia estudios indican que la bicicleta es el medio de transporte urbano que permite cubrir de manera eficiente distancias de hasta 15 Km cuando se trata de velocípedos con asistencia (Monzón et al., 2010). Por otra parte mediante el trazo de una circunferencia de 5 km en el centro de la ciudad comprobamos que se abarca toda la zona urbana de Cuenca.

Considerar que las estaciones de tranvía dan la posibilidad de integrar el transporte público con el uso de la bicicleta, de tal manera que un desplazamiento puede ser en bicicleta eléctrica y complementarlo con el tranvía o viceversa.

El Plan de Movilidad y Espacios Públicos de la ciudad de Cuenca es información primordial para el trazado de rutas ya que proporciona datos de la composición vehicular, capacidad del viario, grado de saturación, pendientes, motivo de viaje.

La composición vehicular refleja que los automóviles livianos son los principales elementos que circulan por las vías cuencanas representando un 90.08% del total, 2.70% buses, 3.57% carga, 2,94% motos y tan solo un 0,71% se desplaza en bicicletas (Municipalidad de Cuenca, 2015).

La capacidad del viario y el grado de saturación advierte que el centro histórico está totalmente colapsado como se observó en la figura 1.15, lo que permite trazar las rutas por zonas donde la congestión es alta y favorecer a la disminución de automóviles para dar paso a la inclusión de bicicletas.

Con todos estos antecedentes se plantea rutas con punto de referencia la Universidad del Azuay por tratarse de la Institución en la que se realizó el trabajo y ser un punto central para abrir un abanico de recorridos que cubran todas las macrozonas de Cuenca: Yanuncay, El Ejido, Centro Histórico, Aeropuerto, Miraflores y Parque Industrial.

Las rutas oscilan entre los 5 y 7 Km aproximadamente por tratarse de una distancia recomendada en el informe de la Junta de Andalucía del 2014, además de que en la mayoría de los casos se encuentra dentro de los límites para llegar al lugar de destino.



Figura 2.2 Determinación de rutas de pruebas.  
Fuente: (Google Earth, 2016).

### 2.2.1.1 Ruta UDA-Colegio Borja, Colegio Borja UDA

Esta ruta de aproximadamente 6.32 Km empieza en la Universidad del Azuay tomando la calle Hernán Malo hasta la autopista, por donde se cruza y continua hasta la intersección con la Av. de las Américas recorriendo unos 100m para conectar con la Av. Ricardo Durán y llegar al colegio Borja. El retorno tiene el mismo trazado.

### 2.2.1.2 Ruta UDA-Pasos, Pasos-UDA

Se empieza en la Universidad del Azuay por la Av. 24 de Mayo en dirección oeste hasta los tres puentes, después en el redondel se sale por la Av. Don Bosco hasta la calle Carlos Quinto, posteriormente se empata con la Av. Isabel la Católica donde se subirá hasta la Av. de las Américas. En este instante se toma la calle Luis Moscoso para finalizar la ruta en el redondel que se une con la Av. Primero de Mayo. Para el retorno se tomó la misma ruta, a excepción del trayecto en bicicleta convencional puesto que se regresó por la Av. Primero de Mayo por estar habilitada al tránsito, recorriendo una distancia de aproximadamente 6.76 Km.

### 2.2.1.3 Ruta UDA-Supermaxi, Supermaxi- UDA

Se empieza por el redondel de la Universidad del Azuay tomando la salida a la calle Francisco Moscoso hasta la intersección con la Av. 10 de Agosto, luego se sube esta

avenida hasta empatar con la Av. Pichincha que lleva a unirse con la Unidad Nacional. Se avanza hasta la Av. Gran Colombia y se gira a la izquierda para poder llegar al redondel que se une con la Av. de las Américas. El retorno es exactamente por la misma ruta desplazándose cerca de 5.25 Km.

#### **2.2.1.4 Ruta UDA-U. Católica, U. Católica-UDA**

Parte de la Universidad del Azuay avanzando al oeste por la Av. 24 de Mayo hasta los tres puentes, después en el redondel se sale por la Av. Solano que lleva a unirse con la Av. Remigio Crespo donde se gira a la izquierda y se sube hasta la Av. Loja. En la Av. Loja se sigue hasta la Av. 12 de abril y se gira a la izquierda para llegar al redondel que une con la calle Simón Bolívar. Posteriormente se avanza por la calle Simón Bolívar hasta la calle Mariscal Sucre y se gira a la izquierda para tomar la calle Miguel Vélez que recorrerá todo el centro hasta la intercepción con la Av. de las Américas para seguidamente subir a la altura de la Basílica de la U. Católica. El retorno empieza en la Av. de las Américas y se baja en la calle Nicanor Merchán, la que lleva a unirse con la calle Juan Montalvo, avanzando por la misma hasta llegar a la calle Antonio Vega Muñoz, se cruza a la derecha para dirigirse hasta la calle Miguel Heredia recorriendo parte del centro para llegar a la Simón Bolívar. Se toma el redondel y se sale por la Av. 12 de abril, donde solo se avanza unos 100m para girar en la calle El Oro hasta la Av. Remigio Crespo y a partir de este punto se retoma la ruta descrita en la ruta de ida, requiriendo aproximadamente 6.67 Km.

#### **2.2.1.5 Ruta UDA-Graiman, Graiman-UDA**

Empezando en la Universidad del Azuay se avanza al este por la Av. 24 de mayo hasta el redondel de Gapal, después se sale por el puente para poder bajar la Av. 10 de Agosto hasta el redondel del parque El Paraíso. Se avanza por el hospital hasta llegar al redondel que permite llegar al Vergel. Se gira a la derecha para subir la Av. Huayna Cápac hasta el redondel de la Chola Cuencana, se sale por la Av. Hurtado de Mendoza cruzando todo el aeropuerto y llegar al redondel de Milchichig. El retorno es por la misma ruta y esta tiene una longitud de aproximadamente 6.91 Km

#### **2.2.1.6 Ruta UDA-Redondel de las Cholas, Redondel de las Cholas-UDA**

Partiendo de la Universidad del Azuay se avanza por la Av. 24 de Mayo en dirección este hasta el sector de Monay, en el redondel se sale por la calle Rayoloma hasta la

intercepción con la Av. González Suárez en la que se recorrerá en dirección este hasta llegar al redondel de las Cholas, retornando por el mismo trayecto una longitud de aproximadamente 6.69 Km.

Las rutas al cruzar toda la ciudad permite obtener datos en tramos intermedios y realizar análisis en cualquier sector de la urbe. En algunas rutas se consideraron calles inusuales para dichos recorridos debido al cierre de vías por obras civiles que se realizan en la ciudad.

### 2.2.2 Tamaño de muestra para recorridos

Según el Plan de Movilidad y Espacios Públicos de Cuenca indica que se realizan aproximadamente 600.000 viajes origen-destino al interior de la ciudad, de los cuales el 69% son viajes motorizados y 31% pertenecen a peatones y ciclistas (Municipalidad de Cuenca, 2015). Estadísticamente cuando el tamaño de la población es mayor a 10.000 se considera una población infinita (Aguilar-Barojas, 2005).

Por lo tanto, se utilizará la fórmula para calcular el tamaño de la muestra para población infinita (Aguilar-Barojas, 2005).

$$n = \frac{Z^2 \cdot S^2}{d^2} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde:

n= tamaño de la muestra

Z= nivel de confianza

S= desviación estándar

d= nivel de precisión absoluta, oscila entre 1% - 10%

Para el cálculo del tamaño de muestra se considera un nivel de confianza del 95% equivalente a 1,96 por ser el más usual. Cuando no se tiene el valor de la desviación estándar se toma el valor de 0,5 (Suárez & Tapia, 2012). Del mismo modo se utiliza un nivel de precisión del 10% porque al tener que realizar el mismo número de viajes en vehículo como bicicleta tomaría demasiado tiempo en recolectar la muestra.

$$n = \frac{Z^2 \cdot S^2}{d^2}$$
$$n = \frac{1.96^2 \cdot 0.5^2}{0.1^2}$$
$$n = 96 \text{ viajes}$$

### 2.2.3 Levantamiento de información

Al tratarse de un estudio en el que se requiere comparar varios medios de transporte se obtendrá la misma cantidad de datos tanto para los vehículos como para la bicicleta eléctrica y de manera complementaria se levantará información con bicicleta convencional. La e-bike tuvo un recorrido de aproximadamente 2000 km entre pruebas y recolección de datos, requiriendo un económico mantenimiento que no supera los 5 dólares.

Al ser 6 rutas se necesitan realizar al menos 16 viajes (8 de ida y 8 de regreso) por cada uno de los trayectos. El mismo número de viajes se realizará en automóvil y en e-bike. Para la bicicleta convencional se realiza 2 viajes por ruta (1 ida y 1 de regreso).

Para la obtención de información de velocidad, latitud, longitud, altura, inclinación del timón, distancia y tiempo se utiliza el GPS Vbox Sport que se implementará en todos los vehículos de pruebas. El consumo de combustible se mide con el HEM Data que se instala en el conector OBDII del Hyundai Tucson IX al ser el único vehículo compatible con el dispositivo para los demás vehículos se toma la información brindada por la US-EPA. La cantidad de energía requerida por la batería de la bicicleta eléctrica será controlada por el medidor de potencia eléctrica conectado a la red eléctrica al momento de recargar la batería que se encontrará en su nivel más bajo de carga.

La figura 2.3 muestra los diferentes vehículos de prueba e instrumentos utilizados para la recolección de información en las diferentes rutas.

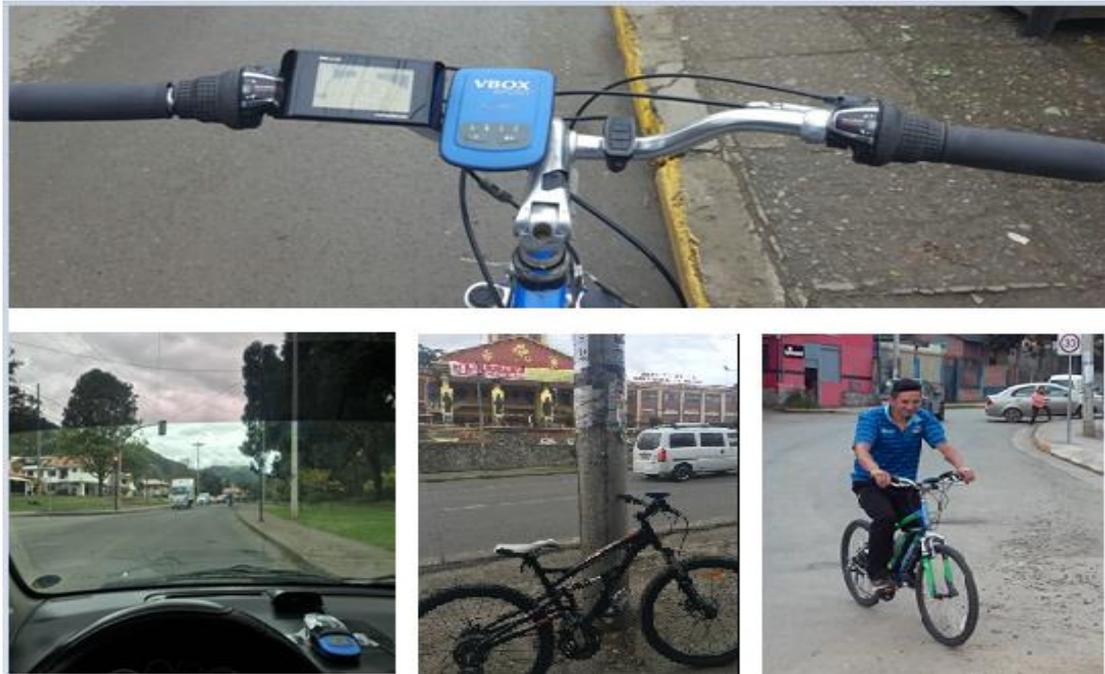


Figura 2.3 Levantamiento de información.

### 2.2.3.1 Horarios

Cuando el usuario de bicicleta eléctrica o automóvil necesita desplazarse puede hacerlo a la hora que considere necesario por ser un medio personal y no estar regido a horarios establecidos como en el transporte público, por lo tanto, el levantamiento de información puede realizarse en horas de la mañana, tarde o noche de forma aleatoria.

### 2.2.3.2 Condiciones de pruebas

Las condiciones bajo las que se realizará el levantamiento de información también serán de manera aleatoria desde la contextura del conductor, forma de manejo, climatología, tráfico, días hábiles y feriados.

### 2.2.4 Preparación de datos

Los archivos generados por el GPS Vbox Sport vienen con la extensión “.VBO” formato compatible con el software oficial “PerformanceBox”. Los archivos del dispositivo HEM data vienen en extensión “.IOS” que se abrirán con la aplicación “DawnEdit”. Se puede acceder a los manuales de usuario del software en las páginas oficiales de los dispositivos.

### 2.2.5 Análisis de datos

Para el análisis de datos se procede a elaborar plantillas en hojas de cálculo para agilizar el proceso debido a la gran cantidad de archivos. En estas plantillas se insertan las formulas necesarias para que la ejecución sea de manera automática en la medida de lo posible, importando la información necesaria a partir de los archivos CSV generados previamente. A su vez son ingresados los parámetros necesarios para determinar el consumo energético, contaminación ambiental, costo y tiempo.

Aunque el GPS sea de alta precisión existen momentos en los que se pueden generar datos erróneos como atravesar túneles, interferencias o ruidos electrónicos del receptor o reloj del mismo, errores atmosféricos propagación de la señal, etc (Kollner Labraña & Cia. Ltda, n.d.), siendo necesario el filtrado de los valores atípicos.

Las fórmulas utilizadas en las hojas de cálculo son descritas a continuación.

La distancia recorrida por el vehículo o bicicleta es una magnitud escalar de la longitud recorrida por el móvil a través de la trayectoria seguida sin tomar en consideración la dirección (Pérez Montiel, 2015).

$$d = v \cdot t \quad \text{Ec. ( 9 )}$$

Donde:

d = distancia [m]

v = velocidad [m/s]

t = tiempo [s]

La aceleración es el cambio en la magnitud de la velocidad con respecto al tiempo, pudiendo ser positivo cuando la velocidad final es mayor a la inicial, o negativa cuando la velocidad final es menor a la inicial, o cuando cambia de su dirección (Pérez Montiel, 2015).

$$a = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \quad \text{Ec. ( 10 )}$$

Donde:

$a$  = magnitud de aceleración [ $m/s^2$ ]

$v_f$  = magnitud de la velocidad final [ $m/s$ ]

$v_i$  = magnitud de la velocidad inicial [ $m/s$ ]

$t_f$  = tiempo final [s]

$t_i$  = tiempo inicial [s]

La pendiente del terreno es calculado por trigonometría mediante la función seno del ángulo de elevación que se define como la razón entre la variación de la altura (cateto opuesto) y la distancia recorrida (hipotenusa).

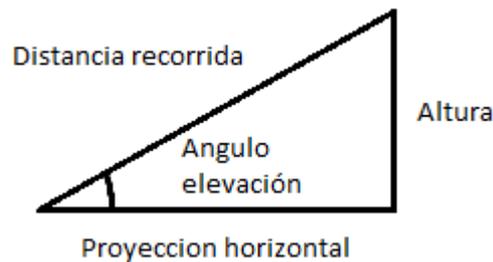


Figura 2.4 Pendiente del terreno.

Por lo tanto, el ángulo de la pendiente [rad] se obtiene por la ecuación:

$$pendiente = \arcseno \frac{\Delta h}{d} \quad \text{Ec. ( 11 )}$$

Donde:

$\Delta h$  = incremento de altura [m]

$d$  = distancia recorrida en el intervalo de tiempo [m]

Se utiliza esta ecuación siempre y cuando la distancia sea mayor al incremento de altura, en caso contrario la pendiente se considera 0. En el caso de que la distancia sea 0 la pendiente también tiene el mismo valor.

La corrección de valores atípicos se realiza mediante la técnica de la suavización exponencial simple, la cual es la herramienta adecuada cuando los datos no tienen una tendencia ni estacionalidad y solo utiliza los valores previos para predecir los resultados futuros. La predicción en un tiempo cualquiera es la media ponderada de todos los valores que se conocen y a medida que se retrocede en el tiempo los pesos van disminuyendo de forma geométrica. El peso más reciente se obtienen multiplicando el valor observado por  $\alpha$ , la próxima observación será  $(1-\alpha)\alpha$  y la siguiente  $(1-\alpha)^2$  y así sucesivamente (Marcano & Rodríguez, 2009).

Cuando se quiere dar mayor relevancia a los valores recientes de la serie cronológica la constante de suavización debe ser lo más cercano a 1 y si se pretende dar un peso comparable a los valores pasados con los recientes la constante de suavización debe ser próxima a 0 (Marcano & Rodríguez, 2009).

$$F_{t+1} = \alpha X_t + (1-\alpha)F_t \quad \text{Ec. ( 12 )}$$

Donde:

$F_{t+1}$  = valor de previsión para el periodo t+1

$\alpha$  = constante de suavización ( $0 < \alpha < 1$ )

$X_t$  = valor real (en el periodo t)

$F_t$  = valor de previsión o valor suavizado en el periodo t

Para determinar el valor más óptimo para la constante de suavización se puede emplear la raíz del error cuadrático medio (RECM), cuando el valor de la RECM se reduce al mínimo podemos asegurar que es el factor de suavización ideal.

$$RECM = \sqrt{\frac{\sum_{t=2}^T e_{t/t-1}^2}{T-1}} \quad \text{Ec. ( 13 )}$$

Donde:

T= observaciones

t= instantes

Es necesario definir cuáles son los datos atípicos, para ello se realiza una prueba lógica para determinar si están dentro de los rangos normales.

Para la velocidad se pone como límite inferior cero por presentarse momentos en el que el vehículo se encuentra detenido y como límite superior la velocidad máxima percibida por el conductor o ciclista.

Para la aceleración se considera como límites los bigotes obtenidos por la gráfica de caja y bigotes elaborada en el software Minitab 17. La gráfica de caja y bigotes es una manera de resumir datos como desviación estándar, simetría, mediana, etc., siendo una herramienta útil cuando se trabaja con un conjunto de datos donde pueden existir valores inusualmente grandes o pequeños. Se considera valor atípico a aquel que se encuentra distante de la mayoría de datos. Los valores atípicos pueden ser valores reales que simplemente son inusualmente altos o bajos y que se debe informar de su existencia o son errores de medición, técnicas de experimentación o introducción errónea de datos (Milton & Arnold, 2004).

La gráfica de cajas, es por tanto, una técnica analítica y gráfica de identificar los valores que son inusuales. Su construcción se fundamenta en el rango intercuartil (RI), una medida de variabilidad que no se ve afectada por la presencia de datos atípicos. El rango intercuartil muestral representa la longitud en la que se encuentran el 50% de los datos. Cuando la longitud es amplia indica que los valores están más dispersos con respecto al centro, mientras cuando es bajo refleja que los datos están cerca del centro de la distribución (Milton & Arnold, 2004).

La prueba lógica para los datos de velocidad debe cumplir tres condiciones:

$$Vel_o \geq Lim_{inf} ; Vel_o \leq Lim_{sup} ; Alt > 0 \quad \text{Ec. ( 14 )}$$

Donde:

$Vel_o$  = velocidad original

$Lim_{inf}$  = límite de velocidad inferior

$Lim_{sup}$  = límite de velocidad superior

$Alt$  = altura (cuando la altura va a 0 hay una interferencia en la recepción de datos)

Para la aceleración se debe cumplir dos condiciones:

$$Ac_o \geq big_{inf} ; Ac_o \leq big_{sup} \quad \text{Ec. ( 15 )}$$

Donde:

$Ac_o$  = aceleración original

$big_{inf}$  = bigote inferior

$big_{sup}$  = bigote superior

Para el filtrado final se considera la prueba lógica, en donde el resultado “VERDADERO” mantiene el valor original del GPS, mientras que un valor “FALSO” significa que se trata de un dato atípico, por lo tanto, se coloca el dato suavizado.

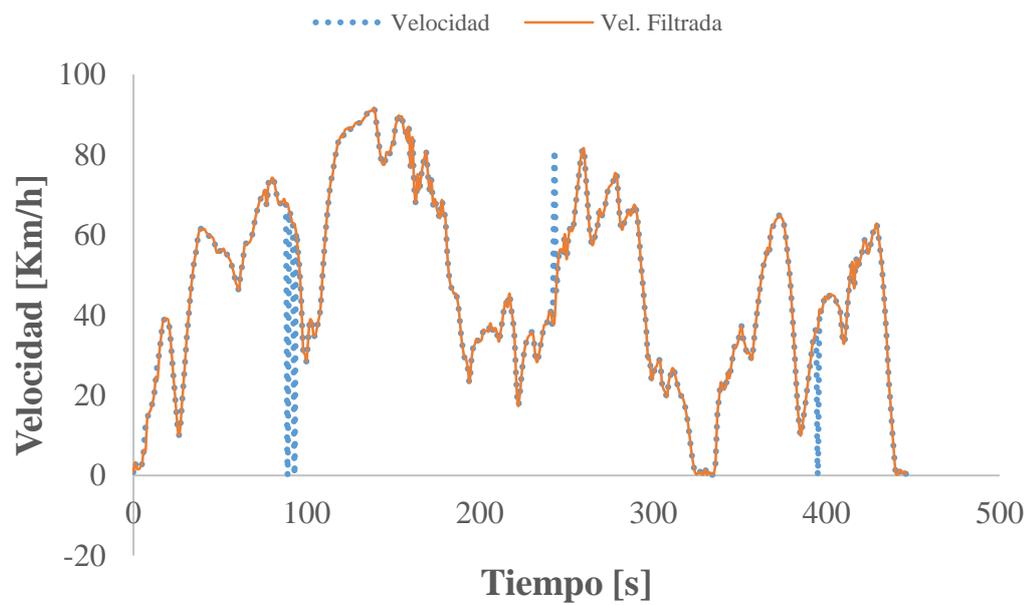


Figura 2.5 Filtrado de la velocidad.

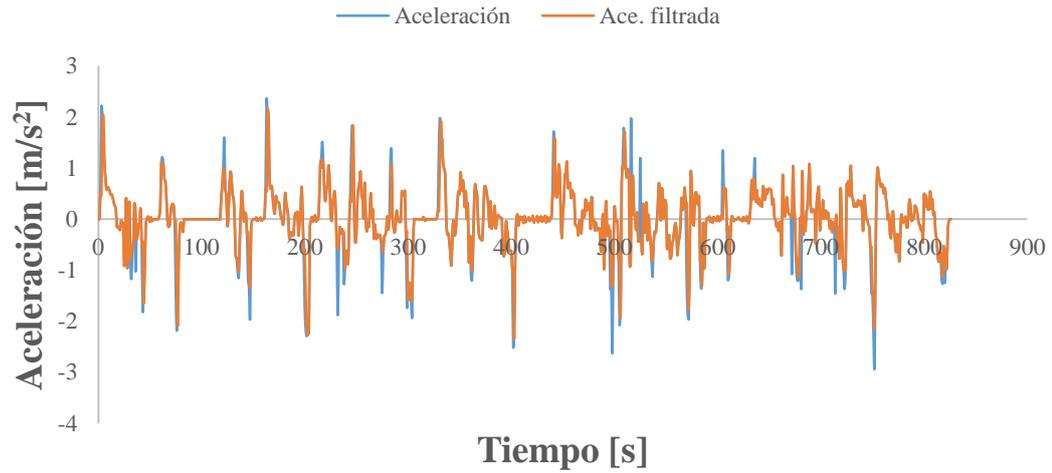


Figura 2.6 Filtrado de la aceleración.

En algunos casos de la altura, el filtrado con la ayuda de la suavización exponencial no es suficiente por existir cambios de altura ilógicos para el intervalo de tiempo (cambios de aproximadamente 40 m en 1 segundo), por lo que se corrige los valores atípicos a criterio del investigador. Este criterio es justificado con la herramienta “mostrar perfil de elevación” de Google Earth, en donde se puede saber la altura real en el momento del fallo del GPS y corregir en la plantilla.

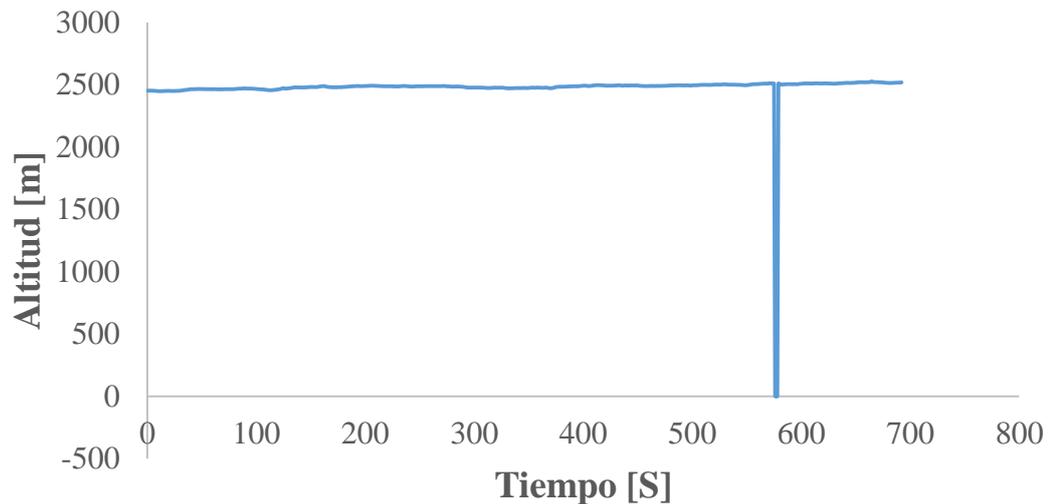


Figura 2.7 Altura original.

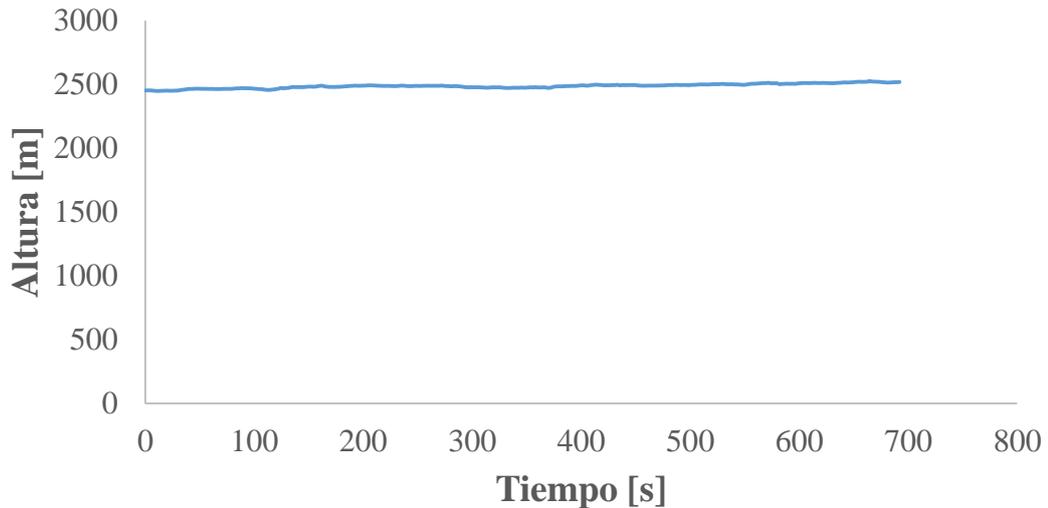


Figura 2.8 Altura filtrada.

### 2.2.6 Dinámica Vehicular

La dinámica vehicular es parte esencial del estudio, pues permite determinar las fuerzas o resistencias que están actuando sobre el automóvil o bicicleta y se oponen a su movimiento de tal manera poder calcular el consumo energético que se requiere para movilizar cualquier medio de transporte. Todas las ecuaciones están programadas en la hoja de cálculo.

Durante el desplazamiento de un vehículo se producen 4 resistencias en oposición al movimiento que pueden o no actuar en el mismo tiempo dependiendo de la situación del vehículo (Casajosa, 2005).

- Resistencia al aire o fuerza de arrastre
- Resistencia a la rodadura
- Resistencia a la inercia
- Resistencia a la pendiente

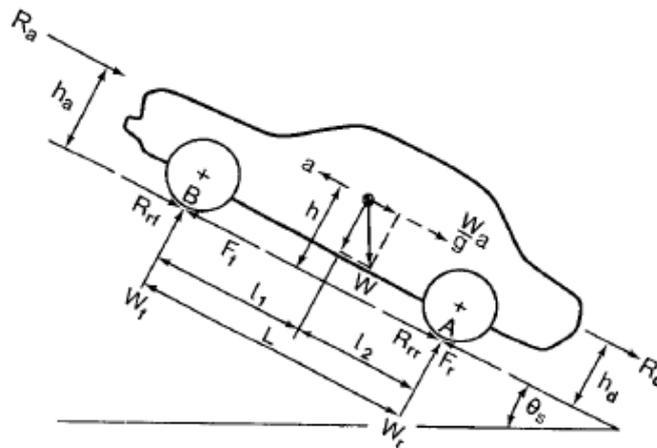


Figura 2.9 Fuerzas que actúan en el vehículo.  
Fuente: (Wong, 2001).

Es necesario vencer la sumatoria de todas las resistencias anteriores para poder movilizar al vehículo y la fuerza requerida es proporcionada por las ruedas motrices, por lo tanto, esa fuerza viene determinada por la ecuación:

$$F_x = F_d + R_x + R_i + R_g \quad \text{Ec. ( 16 )}$$

Donde:

$F_x$  = fuerza en las ruedas [N]

$F_d$  = fuerza de arrastre o resistencia al aire [N]

$R_x$  = resistencia a la rodadura [N]

$R_i$  = resistencia a la inercia [N]

$R_g$  = resistencia a la pendiente [N]

Actualmente los estudios van enfocados al ahorro de combustible y reducción de los gases contaminantes, para ello se están optimizando los requerimientos de potencia mediante la reducción de la resistencia aerodinámica, resistencia a la rodadura, resistencia a la inercia y resistencia a la pendiente que son proporcionales al peso del vehículo (Wong, 2001).

### 2.2.6.1 Fuerza de arrastre o resistencia al aire

La fuerza de arrastre es aquella que se produce por el movimiento de un objeto a través de un fluido, en este caso el aire, ejerciendo una fuerza de resistencia que provoca la

reducción de velocidad del objeto. Esta fuerza aumenta con la velocidad del objeto, siendo casi proporcional a velocidades bajas y proporcional al cuadrado de la velocidad cuando la velocidad va aumentando (Tipler & Mosca, 2006).

La fuerza aerodinámica es expresada en función de la presión dinámica y de la superficie del objeto, a través de un coeficiente de proporcionalidad adimensional y se expresa por la ecuación: (Nigro, Filippini, & Junco, 2005).

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho_a \cdot A_f \cdot v^2 \quad \text{Ec. ( 17 )}$$

Donde:

$F_d$  = Fuerza de arrastre o resistencia al aire [N]

$C_d$  = coeficiente de arrastre o drag [-]

$\rho_a$  = densidad del aire [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$A_f$  = área frontal del vehículo [ $\text{m}^2$ ]

$v$  = velocidad de avance del vehículo con relación al aire [m/s]

Sin duda el mayor esfuerzo es empleado en la reducción de la fuerza de arrastre ya que la potencia requerida para vencer a la resistencia aerodinámica es mucho mayor que la resistencia a la rodadura y resistencia en la transmisión y más aun a altas velocidades.

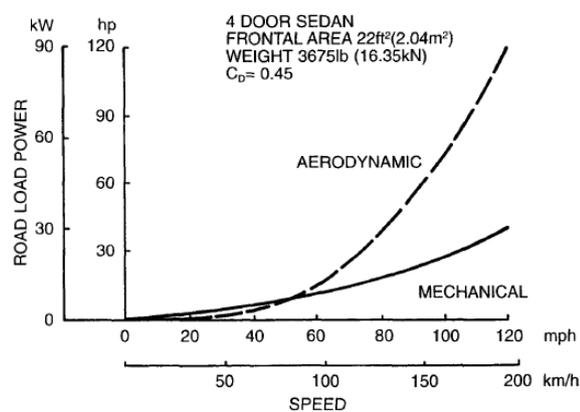


Figura 2.10 Potencia para vencer resistencias.

Fuente: (Wong, 2001).

### 2.2.6.2 Resistencia a la rodadura

La resistencia a la rodadura se opone al movimiento del objeto y se produce por la deformación del neumático contra la calzada. Se obtiene por la multiplicación del peso del vehículo por un coeficiente tanto mayor cuanto menor es el radio del neumático y cuanto mayor la deformación de la rueda. Puede aumentar por la carga, velocidad y calidad de la superficie de deslizamiento (Bosch, 2003).

La resistencia a la rodadura es la única fuerza que está presente desde que el neumático empieza a rodar y llega a ser equiparable con la fuerza de arrastre a velocidades comprendida entre 80 – 95 km/h. En terrenos llanos es la única fuerza de oposición significativa (Guillespie, 1992).

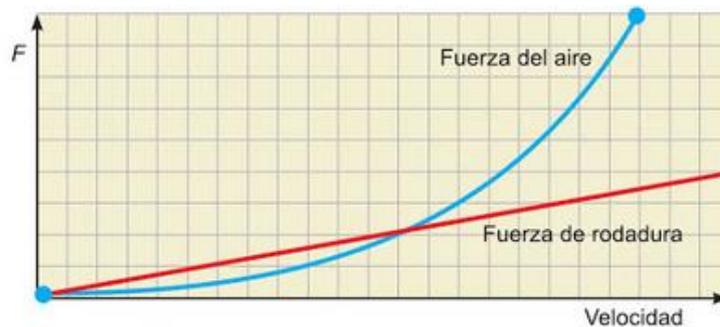


Figura 2.11 Resistencia de arrastre vs resistencia a la rodadura en relación a la velocidad.  
Fuente: (Águeda, Navarro, & Gómez, 2012).

De este modo, la fórmula para calcular la resistencia a la rodadura es:

$$R_x = f_r \cdot m \cdot g \cdot \cos \theta \quad \text{Ec. ( 18 )}$$

Donde:

$R_x$  = resistencia a la rodadura [N]

$f_r$  = coeficiente de resistencia a la rodadura [-]

$m$  = masa del vehículo o bicicleta [kg]

$g$  = gravedad [9.81 m/s<sup>2</sup>]

$\theta$  = pendiente [rad]

### 2.2.6.3 Resistencia a la inercia

La resistencia a la inercia se produce por la propiedad que tienen los cuerpos de resistirse al cambio de estado en el que se encuentra, es decir, es una fuerza que se opone al paso de reposo a movimiento o viceversa, manteniendo su estado si no actúa una fuerza sobre el vehículo (Águeda et al., 2012).

Se fundamenta en la segunda ley de Newton que dice que la fuerza es la multiplicación de la masa del vehículo por la aceleración.

$$R_i = m \cdot a \quad \text{Ec. ( 19 )}$$

Donde:

$R_i$  = resistencia a la inercia [N]

$m$  = masa del vehículo o bicicleta [kg]

$a$  = aceleración del objeto [ $m/s^2$ ]

### 2.2.6.4 Resistencia a la pendiente

Es la fuerza que se opone al movimiento del vehículo cuando se sube por una pendiente, producida por peso del automóvil o bicicleta que empujan en sentido contrario al avance (Águeda et al., 2012). Mientras mayor sea el ángulo de la pendiente mayor será la fuerza requerida para avanzar por la subida.

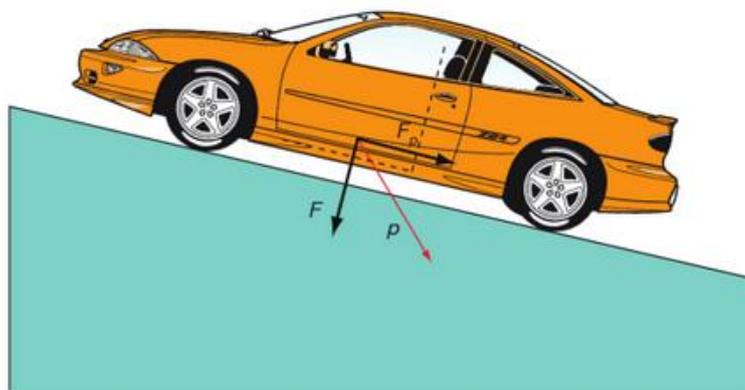


Figura 2.12 Fuerzas de oposición en pendiente.  
Fuente: (Águeda et al., 2012).

Por lo tanto, la ecuación que describe la fuerza de resistencia a la pendiente es:

$$R_g = m \cdot g \cdot \text{sen } \theta \quad \text{Ec. ( 20 )}$$

Donde:

$R_g$  = resistencia a la pendiente [N]

$m$  = masa del vehículo o bicicleta [kg]

$g$  = gravedad [9.81 m/s<sup>2</sup>]

$\theta$  = pendiente [rad]

#### 2.2.6.5 Torque o momento de fuerza

Para realizar un movimiento rotacional en la rueda es necesario ejercer una fuerza. La razón de cambio del movimiento no es determinado únicamente por la fuerza, sino también por la distancia perpendicular existente entre la línea de acción y la fuerza (Wilson & Buffa, 2003).

El producto de la fuerza y el brazo de palanca es denominado torque y para el caso del neumático es expresado como:

$$T_x = F_x * r_d \quad \text{Ec. ( 21 )}$$

Donde:

$T_x$  = Torque en las ruedas [N \* m]

$F_x$  = Fuerza en las ruedas [N]

$r_d$  = radio dinámico del neumático [m]

#### 2.2.6.6 Potencia de la resistencia a la marcha

La magnitud física que se encarga de determinar el trabajo realizado en la unidad de tiempo se denomina potencia.

La potencia de accionamiento que se debe consumir en las ruedas motrices necesaria para vencer las resistencias de oposición a la marcha viene determinado por: (Bosch, 1999).

$$P_w = F_x \cdot v \quad \text{Ec. ( 22 )}$$

Donde:

$P_w$  = potencia de resistencia a la marcha [W]

$F_x$  = fuerza en las ruedas [N]

$v$  = velocidad [m/s]

### 2.2.6.7 Energía

La energía viene expresada como la relación existente por la multiplicación de potencia medida en watts [J \* s] y el tiempo [s]. El watt-segundo se trata de una unidad demasiado pequeña para fines prácticos por lo que se ha establecido como unidad el watt-hora o el kilowatt-hora. Por lo tanto, un kWh es el trabajo realizado en 1 hora cuando la potencia es 1 kW (Giancoli, 2006).

$$E = P_w \cdot \Delta t \quad \text{Ec. ( 23 )}$$

Donde:

$E$  = energía

$P_w$  = potencia de resistencia a la marcha [W]

$\Delta t$  = incremento de tiempo [s]

### 2.2.7 Selección de parámetros para ecuaciones

Como se puede observar, en algunas ecuaciones existen coeficientes o parámetros que varían en función de las características propias del vehículo como masa, área frontal, neumáticos y otros están determinados por las condiciones ambientales características de la zona como la densidad del aire. Por este motivo, es necesario determinar estos parámetros en función de los vehículos de prueba y bicicleta bajo las condiciones que ofrece la ciudad de Cuenca.

#### 2.2.7.1 Coeficiente de arrastre o drag

El coeficiente de arrastre o drag es calculado de manera experimental por medio de ensayos en túneles de viento y varía en un amplio rango dependiendo de la forma del objeto (Guillespie, 1992). Este coeficiente es dependiente de un número adimensional denominado el número de Reynold, que a su vez es dependiente de la velocidad,

temperatura y forma del objeto. La relación existente entre el coeficiente drag y el número de Reynold presenta discontinuidad por ser no lineal, presentando efectos sobre el rendimiento (Shephard & Astrand, 2000).

De manera experimental se puede aproximar el cálculo del coeficiente de arrastre mediante ensayos. El proceso consiste en determinar la desaceleración media de dos pruebas a baja velocidad y alta velocidad (velocidades menores a 100 km/h) en una condición de viento en calma, terreno llano y punto muerto (Bosch, 1999).

La velocidad media de los dos ensayos es determinada por:

$$v_1 = \frac{v_{a1} + v_{b1}}{2} \qquad v_2 = \frac{v_{a2} + v_{b2}}{2} \qquad \text{Ec. ( 24 )}$$

La desaceleración media es calculada mediante la ecuación:

$$a_1 = \frac{v_{a1} - v_{b1}}{t_1} \qquad a_2 = \frac{v_{a2} - v_{b2}}{t_2} \qquad \text{Ec. ( 25 )}$$

Donde:

$v_1$  = velocidad media a alta velocidad [km/h]

$v_2$  = velocidad media a baja velocidad [km/h]

$v_{a1}$  = velocidad inicial a alta velocidad [km/h]

$v_{a2}$  = velocidad inicial a baja velocidad [km/h]

$v_{b1}$  = velocidad final a alta velocidad [km/h]

$v_{b2}$  = velocidad final a baja velocidad [km/h]

$t$  = tiempo entre  $v_a$  y  $v_b$  [s]

$a_1$  = desaceleración media a alta velocidad [(km/h)/s]

$a_2$  = desaceleración media a baja velocidad [(km/h)/s]

Quedando el coeficiente de arrastre como:

$$C_d = \frac{6 \cdot m \cdot (a_1 - a_2)}{Af \cdot (v_1^2 - v_2^2)} \qquad \text{Ec. ( 26 )}$$

Donde:

$m$  = masa del vehículo

$A_f$  = área frontal del vehículo.

Para el estudio se considera el  $C_d$  ofrecido por el fabricante (anexo 1), para los vehículos en que el fabricante no facilite la información se toma en consideración el  $C_d = 0.32$  para vehículos modernos según el autor Gillespie.

Para la bicicleta se toma la más común para ciclistas erguidos en una bicicleta común representando un valor  $C_d = 1.15$  (Gordon Wilson, 2004).

### 2.2.7.2 Área frontal

El área frontal es un parámetro muy importante porque está dentro de la fuerza que más oposición ejerce al movimiento, por lo tanto, es significativo tener un dato preciso.

La manera más fiable es mediante las dimensiones y gráficos que pone a disposición el fabricante y perfilar el área del vehículo en un software. El programa escogido para graficar el perfil de los vehículos es AutoCAD 2016 y se describe el proceso a continuación.

El primer paso es obtener la imagen con las medidas que ofrece el fabricante pues será la base para realizar el perfil del vehículo, además copiar la imagen para tener disponible en el portapapeles.

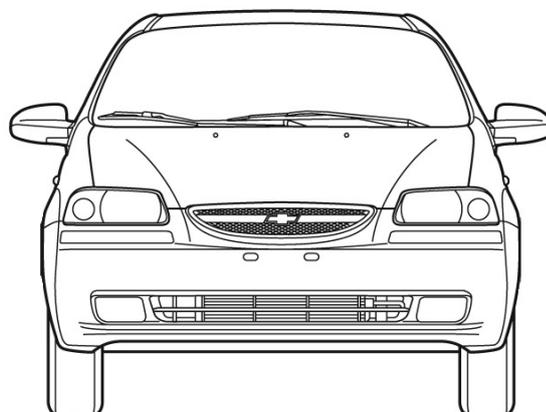


Figura 2.13 Perfil aveo.

Fuente: (The-Blueprints.com, 2016).

Procedemos a abrir el software y dar click en “iniciar dibujo”

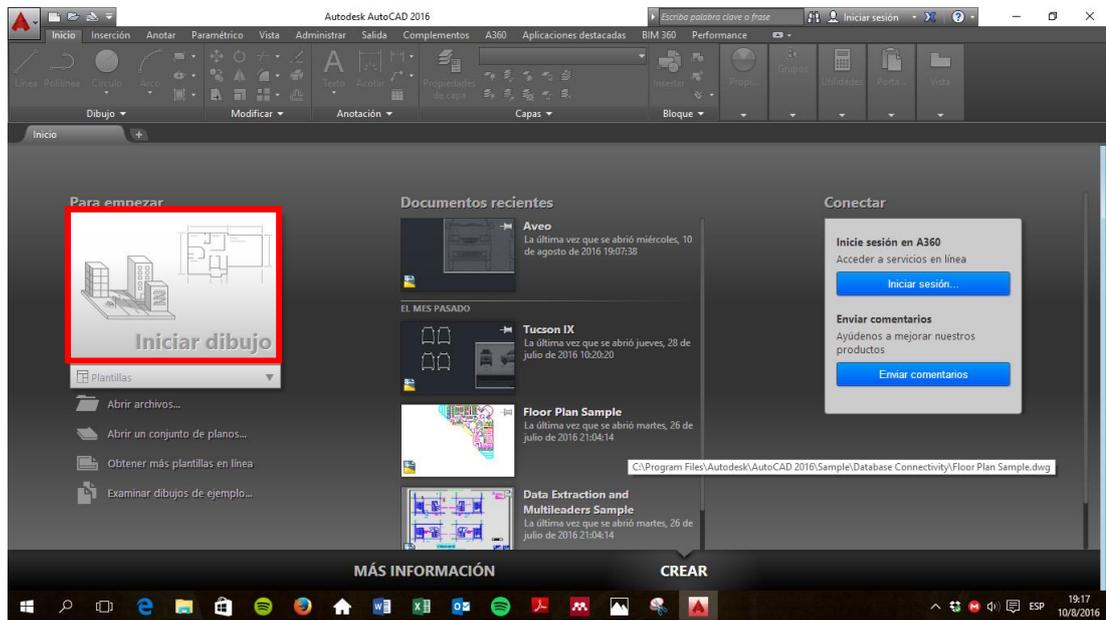


Figura 2.14 Iniciar dibujo en AutoCAD

Cuando tenemos abierto la pantalla de dibujo, con el click derecho seleccionamos portapapeles-pegar para insertar la imagen o el comando “ctrl + v”.

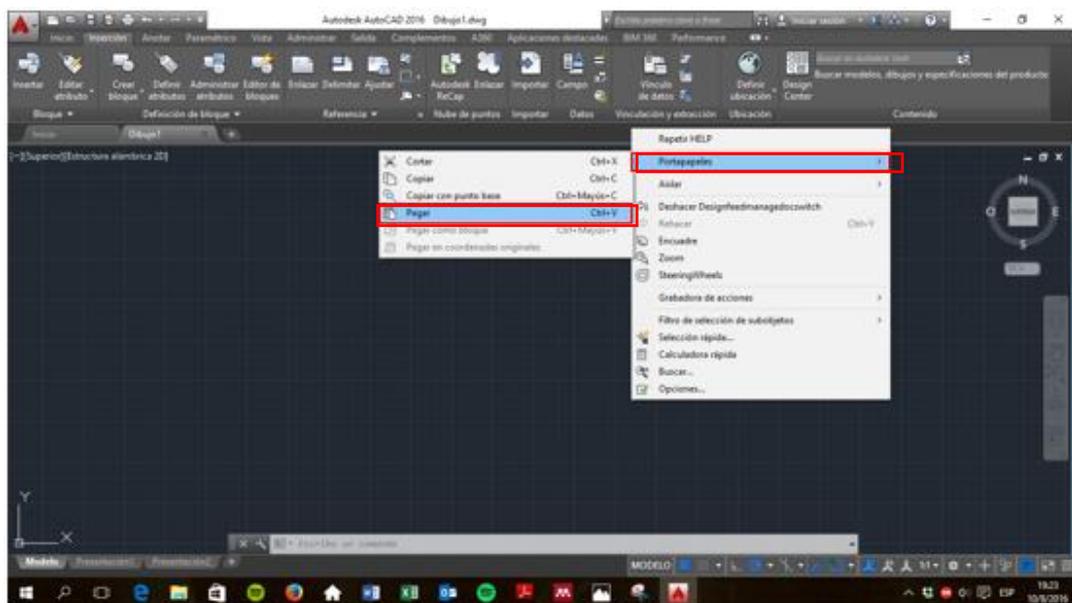


Figura 2.15 Insertar imagen de vehículo

El siguiente paso es muy importante porque de ello depende que todas las medidas de la imagen sean equiparables a las medidas originales del vehículo. En el caso del

Chevrolet Aveo, el fabricante da como distancia entre centros de las ruedas 1450 mm, de tal manera que trazamos una línea con esas dimensiones y ajustamos el tamaño de la imagen de forma que la distancia entre centros de la rueda coincida exactamente con la imagen.

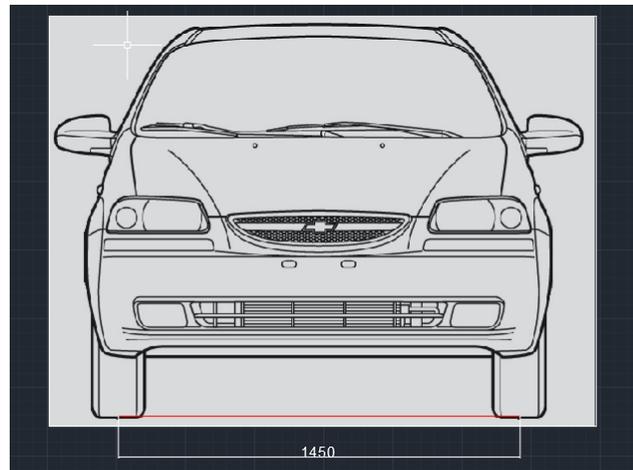


Figura 2.16 Ajuste de dimensiones.

Con la línea de referencia ya se puede proceder trazar el perfil del vehículo.

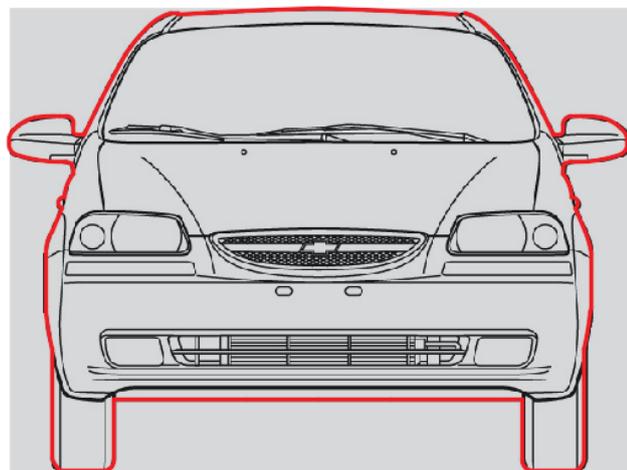


Figura 2.17 Perfil del vehículo.

Aislamos solo el perfil, en la barra de herramientas se selecciona “utilidades-medir-área” y se obtendrá el área frontal del vehículo.

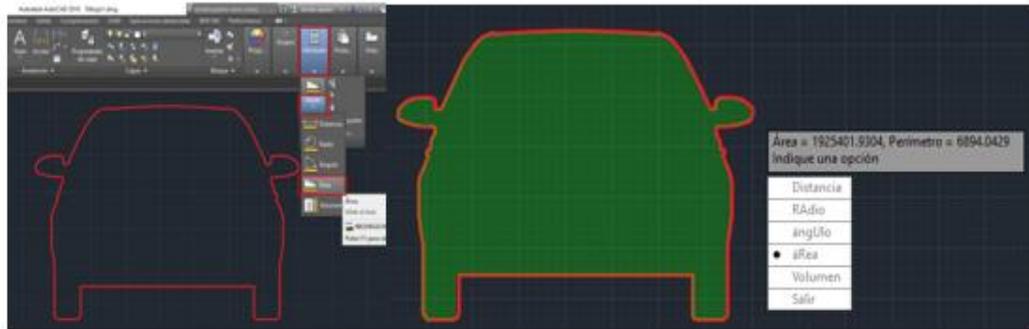


Figura 2.18 Área frontal del vehículo.

Hay vehículos de los que no se dispone el gráfico y el fabricante solo da dimensiones, para ello existen dos métodos de aproximación del área frontal.

Según Wong, en base a la recolección de datos de vehículos livianos con masa en el rango de los 800-2000 kg, la relación que existe entre el área frontal y la masa del vehículo es aproximadamente:

$$A_f = 1.6 + 0.00056 (m_v + 765) \quad \text{Ec. ( 27 )}$$

Donde:

$A_f$  = área frontal del vehículo [m<sup>2</sup>]

$m_v$  = masa del vehículo [kg]

Otra aproximación es en base a la afirmación de que el área frontal de un vehículo liviano varía aproximadamente en el rango del 79 – 84% del área obtenida por multiplicar el ancho y alto del vehículo (Wong, 2001). Cascajosa determina el área frontal del vehículo como la multiplicación del ancho, alto y un coeficiente como muestra la siguiente ecuación:

$$A_f = 0.8 \cdot a \cdot h \quad \text{Ec. ( 28 )}$$

Donde:

$A_f$  = área frontal [m<sup>2</sup>]

$a$  = ancho [m]

$h$  = alto [m]

El estudio considera la aproximación de Cascajosa.

Para la bicicleta eléctrica y convencional, además de considerar el área frontal del velocípedo, es necesario tomar en consideración el área que ocupa el ciclista, para ello y por el número de ciclistas que levantaron información, se toma el área típica de un ciclista en posición vertical en bicicleta común, correspondiente a  $0.55 \text{ m}^2$  (Gordon Wilson, 2004).

### 2.2.7.3 Coeficiente de resistencia a la rodadura

El coeficiente de resistencia a la rodadura es un factor adimensional que muestra los efectos que producen las propiedades físicas del neumático y su interacción con la calzada (Guillespie, 1992).

El coeficiente puede variar dependiendo de algunos factores destacando los más importantes la temperatura del neumático, presión de inflado, velocidad, diseño y material.

La siguiente figura muestra como el coeficiente de resistencia a la rodadura va disminuyendo cuando la presión aumenta. En cambio, al aumentar la velocidad también aumenta este coeficiente.

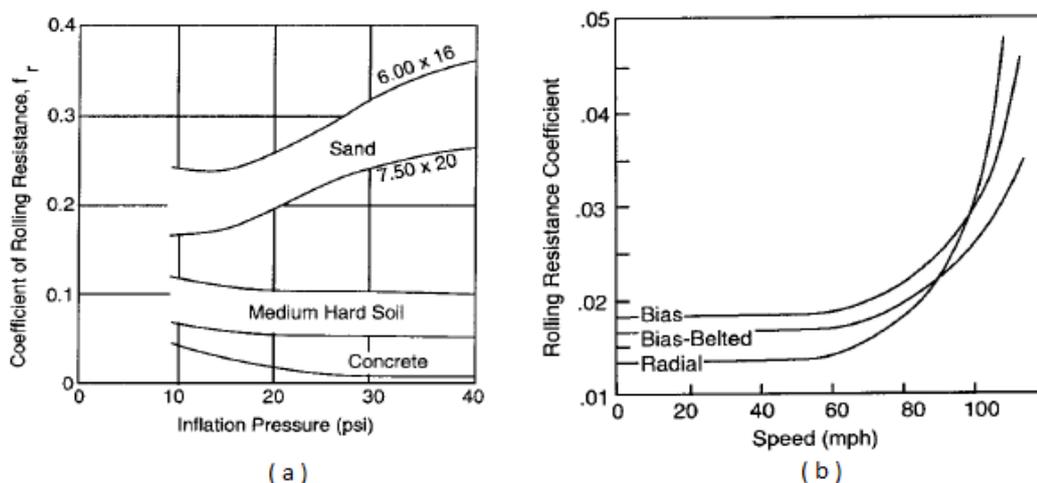


Figura 2.19 (a) Coeficiente de resistencia a la rodadura vs presión de inflado, (b) Coeficiente de resistencia a la rodadura vs velocidad.

Fuente:(Guillespie, 1992).

En los vehículos de turismo este valor se encuentra en 0,013 cuando se trata del neumático sobre hormigón/asfalto como el caso de Cuenca (Bosch, 1999; Mukherjee, 2014).

Para la bicicleta eléctrica y convencional consideramos el rango típico del coeficiente de resistencia a la rodadura que oscila entre 0.003 a 0.008, seleccionando para fines de cálculos el valor intermedio de 0,006 (Gordon Wilson, 2004).

#### 2.2.7.4 Masa de vehículos y bicicleta

La manera ideal de obtener la masa de los vehículos es mediante una báscula para vehículos, para los automóviles que no hubo disponibilidad para el pesaje se toma el valor dado por el fabricante, los cuales están disponibles en el anexo 1.

La masa de la bicicleta eléctrica y convencional son de 24 kg y 18 kg respectivamente, a lo que hay que sumar la masa del ciclista.



Figura 2.20 Pesaje de vehículo.

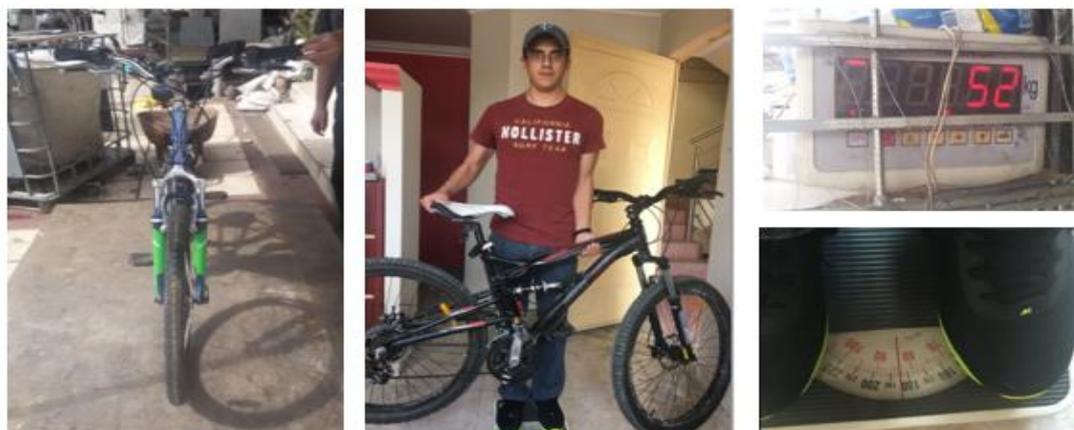


Figura 2.21 Pesaje de bicicletas.

### 2.2.7.5 Densidad del aire

La presión atmosférica a 2500 m.s.n.m donde se sitúa la ciudad de Cuenca está aproximadamente a 75 kPa (Orellana & Padilla, 2012). La temperatura promedio anual en la ciudad de Cuenca ronda los 15,667 ° Celsius (Pesántes, 2012).

La densidad del aire es una variable dependiente de la temperatura, presión y condiciones de humedad. La densidad, según Gillespie, puede ser estimada teniendo presión y temperatura por la siguiente ecuación.

$$\rho = 1.225 \frac{P}{101.325} \cdot \frac{288.16}{273.16 + T} \quad \text{Ec. ( 29 )}$$

Donde:

$\rho$  = densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>]

P = presión atmosférica [kPa]

T = temperatura del aire [°C]

$$\rho = 1.225 \frac{75}{101.325} \cdot \frac{288.16}{273.16 + 15.667}$$

$$\rho = 0.904 \text{ kg/m}^3$$

Cengel y Boles proponen otra manera de calcular la densidad del aire por medio de la Ley de los gases ideales que determina: (Cengel & Boles, 2009).

$$\rho_a = \frac{P}{R \cdot T} \quad \text{Ec. ( 30 )}$$

Donde:

$\rho_a$  = densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>]

P = presión atmosférica [kPa]

R = constante de los gases ideales [0.287 kPa \* m<sup>3</sup> / kg \* °K]

T = temperatura [°K]

$$\rho_a = \frac{75}{0.287 \cdot 288.81}$$

$$\rho_a = 0.904 \text{ kg/m}^3$$

### 2.2.7.6 Radio dinámico

El radio dinámico se refiere a la condición del neumático de deformarse cuando está bajo carga y operación, esta situación se da por ser fabricado de un material elasto-plástico y se calcula mediante la siguiente ecuación: (Di Rado, Presta, & Devincenzi, 2013).

Para llanta radial

$$r_d = r_g \cdot 0.98 \quad \text{Ec. ( 31 )}$$

Para llanta diagonal

$$r_d = r_g \cdot 0.96 \quad \text{Ec. ( 32 )}$$

Donde:

$r_d$  = radio dinámico

$r_g$  = radio efectivo

El radio efectivo es calculado por la ecuación

$$r_g = \frac{An \cdot \frac{Pa}{100} \cdot 2 + Dc \cdot 25.4}{2} \quad \text{Ec. ( 33 )}$$

Donde:

$r_g$  = radio efectivo [mm]

$An$  = ancho de la cubierta descargada de flanco a flanco [mm]

$Pa$  = Altura del flanco correspondiente al porcentaje del ancho [%]

$Dc$  = Diámetro de la llanta [pulg]

Para la llanta de la bicicleta de 26" corresponde un radio de 0,33 metros.

## **2.2.8 Parámetros para determinación de consumo energético, contaminación y costos**

Para los cálculos se requiere de diversos parámetros como factores de emisión para la determinación de contaminación, costos de energía y combustible de la zona de estudio, entre otros y se describen a continuación.

### **2.2.8.1 Precio de energía eléctrica y combustible**

En Ecuador existe un Pliego Tarifario emitido por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) que determina los valores que deben aplicarse a los consumidores finales de energía eléctrica.

Las tarifas al consumidor final están destinadas a la persona natural o jurídica que se beneficie del servicio de energía eléctrica, siendo propietario del inmueble o receptor del servicio, y cuya aplicación estará a cargo del distribuidor en su zona de concesión. (ARCONEL, 2016).

El servicio eléctrico esta categorizado en dos grupos:

- Categoría residencial: corresponde al servicio brindado al uso doméstico de los consumidores, es decir, a la unidad familiar sin tomar en consideración la carga instalada.
- Categoría general: servicio eléctrico destinado a los consumidores con actividades distintas a la residencial como comercio, industria y prestación de servicios públicos y privados.

En base a estas categorías se aplican diferentes tarifas, de las cuales se describirán las principales para este estudio:

- Tarifa residencial: se aplica a los consumidores de la Categoría Residencial independientemente de la carga conectada.
- Tarifa general con demanda: se aplica a los consumidores de la Categoría General de Baja Tensión, con potencia contratada superior a 10kW.

A través de Decreto Ejecutivo No. 451 SRO No. 125 se dispone aplicar un subsidio denominado Tarifa Dignidad para consumidores del Sector Residencial, cuyos consumos mensuales de energía sean menores a 110 kWh- mes para la Región Sierra y 130 kWh-mes para la Región Costa/Oriente/Insular. El valor del kWh subsidiado equivale a \$ 0.04 (Araujo, n.d.; ARCONEL, 2007)

La distribuidora encargada de suministrar energía eléctrica a la ciudad de Cuenca es la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A, cuyos precios establecidos por la ARCONEL son los siguientes:

Tabla 2.4 Precios de energía eléctrica.

Residencial			General comercial	
Rango de consumo [kWh- mes]	Energía [USD/kWh]	Subsidio	Rango de consumo [kWh- mes]	Energía [USD/kWh]
0-50	0,091	0,04	0-300	0,092
51- 100	0,093	0,04	Superior	0,103
101-150	0,095	No		
151-200	0,097	No		
201-250	0,099	No		
251-300	0,101	No		
301-350	0,103	No		
351-500	0,105	No		
501-700	0,1285	No		
701-1000	0,1450	No		
1001-1500	0,1709	No		
1501-2500	0,2752	No		
2501-3500	0,4360	No		
Superior	0,6812	No		

Fuente: (ARCONEL, 2016).

Para fines del estudio se consideran los valores de la tarifa residencial con subsidio, la tarifa del rango de 301-350 kWh/mes y superior a 3500 kWh/mes por ser las tarifas baja, media y alta respectivamente. Para el caso de la tarifa general comercial se utiliza las dos tarifas.

En Ecuador se expende dos tipos de gasolina para el sector automotriz, súper con un mínimo de 90 octanos y extra con mínimo 85 octanos, las cuales son subsidiadas por el Estado.

Bajo Decreto Ejecutivo No. 799 y por motivo de la nueva Ley de Solidaridad y Corresponsabilidad Ciudadana el incremento del 14% del IVA también aplica a los combustibles por lo que el costo oficial de venta a nivel de terminal para comercializadoras calificadas y autorizadas a nivel nacional están establecidos en 1,3061 USD/gal para gasolina extra automotriz y 1,67 USD/gal para súper automotriz (EP Petroecuador, 2016).

La comercialización y distribución incrementa el valor al consumidor final quedando fija la tarifa para gasolina extra a nivel nacional. No es el caso para la gasolina súper, pues su precio fluctúa de acuerdo con la oferta demanda del mercado, aunque las gasolineras Petroecuador fijará su precio (Araujo, 2016).

Tabla 2.5 Precios gasolina.

Extra [USD/gal]	Extra [USD/l]	Súper [USD/gal]	Súper [USD/l]
1.48	0.39	2.32	0.61

Fuente: (EP Petroecuador, 2016).

### 2.2.8.2 Factores de emisión

El factor de emisión es la relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad, y se expresan en unidades de masa de contaminante por distancia recorrida (Sánchez, Green, Orjuela, & Klakamp, 2013).

Los métodos de estimación de factores de emisión se pueden realizar por medios directos, o indirectos. Los medios directos o conocidos también como basados en procesos estiman la emisión de fuentes puntuales, mientras que los indirectos se basan en censos para estimar las emisiones de fuentes de área.

Los medios directos tienen un costo elevado por lo que no resulta factible para países con bajo presupuesto, de modo que no pueden realizar todas las pruebas. Los principales métodos: sensor remoto, medición a bordo y mediante dinamómetro (Sánchez et al., 2013).

Los métodos indirectos son eficientes cuando se estima emisiones contaminantes de fuentes de área que no se puede obtener a través de datos de actividad o consumo de combustible. Los principales son MOBILE 6, Motor Vehicle Emission Simulator

(MOVES), International Vehicle Emissions Mode (IVE) y Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport (COPERT).

Para el estudio se toma los factores de emisión que proporciona la EPA en su reporte “promedio anual de emisiones y consumo de combustible para vehículos de pasajeros y camiones ligeros” obtenidos por el método indirecto MOBILE 6.2 e “Inventory of U.S Greenhouse Gas Emissions and Sinks” (US-EPA, 2008, 2014).

Tabla 2.6 Factores de emisión vehículos a gasolina.

Contaminante	Factor de emisión [g/milla]		Factor de emisión [g/km]	
CO	9.400		5.840	
NO <sub>x</sub>	0.693		0.430	
CO <sub>2</sub>	368.4		228.9	
PM <sub>10</sub>	0.0044		0.0027	
PM <sub>2.5</sub>	0.0041		0.0025	
CH <sub>4</sub>	1991	0.0704	1991	0.0437
	2002	0.0107	2002	0.0066
	2004	0.0145	2004	0.0090
	2005	0.0147	2005	0.0091
	2007	0.0170	2007	0.0105
	2009-act.	0.0173	2009-act.	0.0107
N <sub>2</sub> O	1991	0.0647	1991	0.0402
	2002	0.0153	2002	0.0095
	2004	0.0083	2004	0.0051
	2005	0.0079	2005	0.0049
	2007	0.0041	2007	0.0025
	2009-act.	0.0036	2009-act.	0.0022

Fuente: (US-EPA, 2008, 2014).

En el Austro Ecuatoriano la generación de energía es casi en su totalidad hidroeléctrica, donde se encuentra la principal hidroeléctrica del país Hidropaute, además están las centrales de la empresa ELECAUSTRO S.A como la Central Hidroeléctrica Ocaña 1, Complejo Hidroeléctrico Machángara, Central Hidroeléctrica Ing. Fernando Malo Cordero y Central Hidroeléctrica Sr. Arturo Salazar Orrego

La única central termoeléctrica de la zona es la Central Termoeléctrica El Descanso, perteneciente a la empresa ELECAUSTRO S.A, se encuentra a 15 Km al nororiente de la ciudad de Cuenca y trabaja con cuatro unidades de 4800 kW cada una. Funciona principalmente con fuel oil, aunque solamente para arranques y paradas utiliza Diésel 2 (ELECAUSTRO, n.d.).

Según el Pew Center las emisiones de una hidroeléctrica son cercanas a cero, por lo que para el estudio se considera las emisiones generadas por los motores de la central termoeléctrica El Descanso por ser más considerables.

Tabla 2.7 Factores de emisión termoeléctrica de Fuel Oil.

Contaminante	Factor de emisión [g/GJ]	Factor de emisión [g/kWh]
CO	100	0.36
NO <sub>x</sub>	1150	4.14
CO <sub>2</sub>	76000	273.60
PM <sub>10</sub>	3	0.108
PM <sub>2.5</sub>	3	0.108
N <sub>2</sub> O	1.75	0.0063
CH <sub>4</sub>	3	0.108

Fuente: (MAGRAMA, 2012).

### 2.2.8.3 Estimación de contaminantes

Para estimar los contaminantes que se produce al desplazar un vehículo una longitud de un kilómetro, y los contaminantes que produce la generación de un kWh en una central termoeléctrica con motor estacionario de fuel oil vienen determinados en las siguientes ecuaciones respectivamente.

$$E = FE \cdot d_r \quad \text{Ec. ( 34 )}$$

Donde:

E= cantidad de contaminante emitido [g]

FE = factor de emisión [g/km]

d<sub>r</sub> = distancia recorrida [km]

$$E = FE \cdot E_r \quad \text{Ec. ( 35 )}$$

Donde:

E = cantidad de contaminante emitido [g]

FE = factor de emisión [g/kWh]

E<sub>r</sub> = energía requerida [kWh]

#### 2.2.8.4 Rendimiento

El balance resultante entre la cantidad de energía aportada y la energía obtenida en una máquina es conocido como rendimiento ( $\eta$ ) y puede ser expresado en porcentaje (Sanz, 2003).

$$\eta = \frac{\text{energía obtenida}}{\text{Energía aportada}} \cdot 100 \quad \text{Ec. ( 36 )}$$

En la hoja de cálculo se establece la cantidad de energía necesaria para movilizar el vehículo o bicicleta, pero no toma en cuenta las pérdidas ocurridas para obtener esa energía, por ello el rendimiento permite conocer la energía que se debe aportar para desplazar los distintos medios de transporte.

#### 2.2.8.5 Rendimiento del motor

El rendimiento efectivo del motor realiza un balance de pérdidas y la cantidad de energía existente en el combustible, relacionando la potencia efectiva empleada y la potencia del combustible y se puede expresar con la ecuación:

$$n_e = \frac{N_e}{m_f \cdot H_c} \quad \text{Ec. ( 37 )}$$

Donde:

n<sub>e</sub> = rendimiento efectivo [adimensional]

N<sub>e</sub> = potencia efectiva del motor [kW]

m<sub>f</sub> = masa de combustible consumida por unidad de tiempo [kg/s]

H<sub>c</sub> = poder calorífico del combustible [kJ/kg]

El rendimiento efectivo máximo normalmente oscila entre 25% - 35% en los motores a gasolina y entre 30% - 50% en motores diésel. (González Calleja, 2015).

### 2.2.8.6 Rendimiento en el tren de transmisión

El par motor hasta llegar a las ruedas debe pasar por una cadena de elementos, los cuales tienen rozamientos entre sí provocando una pérdida de potencia y cuyos rendimientos para transmisiones manuales podemos ver en la siguiente tabla.

Tabla 2.8 Rendimiento elementos de transmisión.

Elementos de transmisión	Rendimiento
Caja de cambios	95% - 99%
Articulaciones	98% - 99%
Grupo cónico-diferencial	97% - 99%
<b>Total</b>	<b>90% - 97%</b>

Fuente: (Calvo Martín, 1997).

Para las transmisiones automáticas el rendimiento es entre 5% -15% menor por las pérdidas que se producen en el convertidor de par. La mayor parte de las pérdidas se producen cuando  $\left[ \left( SR = N_t / N_p \right) \neq 1 \right]$ , es decir, el número de giros del cigüeñal  $[N_p]$  no es igual al del eje de salida  $[N_t]$ , generalmente este suceso se da en las aceleraciones y cambios de marcha. El rendimiento en ciudad es del 66% y autopista del 75% (Sovran & Blaser, 2003).

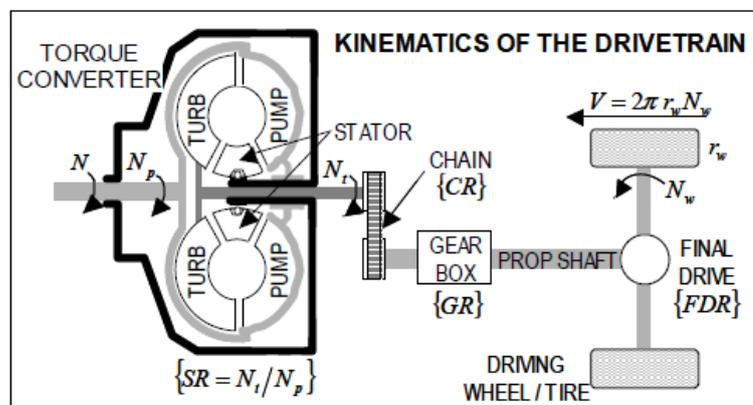


Figura 2.22 Rendimiento en transmisión automática.

Fuente: (Sovran & Blaser, 2003).

### **2.2.8.7 Energía de accesorios**

Esta energía es representada por una banda en la bomba de la dirección asistida y una carga de 10 amperios en el alternador, representando un 10% y 6% de la energía requerida para movilizar el vehículo (Fx) en ciudad y autopista respectivamente (Sovran & Blaser, 2003).

### **2.2.8.8 Rendimiento del kit eléctrico**

Para calcular la energía real que consume la bicicleta eléctrica es necesaria analizar la eficiencia del cargador de la batería, por lo general se utiliza una eficiencia del 85% (Asian Development Bank, 2009).

Otro factor importante que marca una gran diferencia entre la bicicleta eléctrica y los vehículos es el rendimiento del motor, siendo el motor eléctrico más eficiente oscilando el rendimiento entre 75% - 95% (Elias Castells & Jurado de Gracia, 2012), (Lemire-Elmore, 2004).

### **2.2.8.9 Rendimiento transmisión de la bicicleta**

La bicicleta es un medio de transporte de propulsión humana, la transferencia de movimiento de los pedales a las ruedas se realiza mediante transmisión por cadena, motivo por el cual la energía proporcionada por el ciclista no será la misma que se entreguen en las ruedas por los efectos del rozamiento entre la cadena y los dientes del plato y piñón. El rendimiento de este sistema es alto rondando el 98% de eficiencia (Pérez, Rodríguez, Sancho, & Sánchez, 2007).

### **2.2.8.10 Rendimiento del cuerpo humano**

La eficiencia del cuerpo humano es muy parecido al de un motor de combustión interna, ya que convierte la energía química de los alimentos en energía mecánica, además su valor es muy cercano al del motor.

El cuerpo es capaz de obtener un 25% de energía útil a partir de los alimentos, pues aproximadamente el 70% de la energía la pierde en forma de calor (Vargas, 2007).

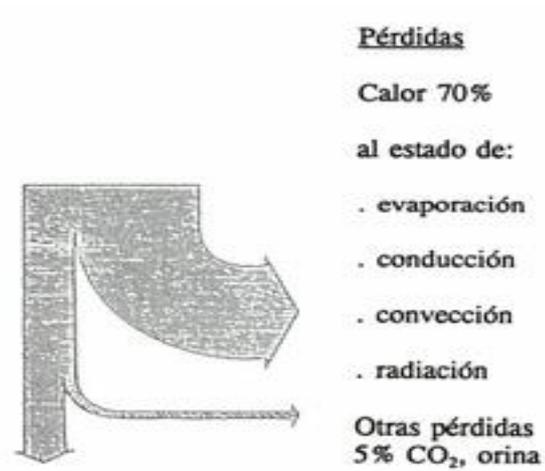


Figura 2.23 Rendimiento del cuerpo humano máximo 25%.  
Fuente: (ONU, 1993).

Por lo tanto, la determinación de la cantidad de calorías que debe consumir una persona para generar la energía necesaria e impulsar la bicicleta convencional se realiza mediante la relación  $1\text{kWh} = 859,84 \text{ Kcal}$ .

## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Resultados

Tras el análisis de información es posible comparar los medios de transporte y determinar la factibilidad de la bicicleta eléctrica como medio de transporte alternativo, para ello los resultados se presentarán en cuatro categorías: consumo energético, contaminación, costo y tiempo.

##### 3.1.1 Consumo energético

La energía requerida para movilizar el vehículo o bicicleta eléctrica está analizada entre dos rangos de rendimiento para estimar la variación de energía, en el caso de la bicicleta convencional solo se considera un rendimiento. Para el vehículo, el rango de rendimiento total (motor, accesorios, tren de transmisión) está comprendido entre 23% - 29%. La bicicleta eléctrica tiene un rendimiento total (transmisión por cadena, kit eléctrico, cargador) que oscila entre 62% - 79%. La bicicleta convencional muestra un rendimiento total (transmisión por cadena, cuerpo humano) de 25%.

Tabla 3.1 Resultados de consumo energético por rutas [kWh].

Energía por rutas [kWh]					
Rutas	Vehículo		B. Eléctrica		B. Convencional
	R. 23%	R. 29%	R. 62%	R. 79%	R. 25%
<b>Pasos</b>	5,134±0,647	3,950±0,498	0,121±0,015	0,096±0,012	0,493±0,102
<b>Colegio Borja</b>	5,267±0,813	4,052±0,625	0,130±0,014	0,103±0,011	0,445±0,084
<b>Redondel Cholas</b>	4,058±0,537	3,122±0,413	0,127±0,011	0,100±0,009	0,324±0,228
<b>Graiman</b>	5,756±0,676	4,428±0,520	0,140±0,006	0,110±0,005	0,361±0,047
<b>Supermaxi</b>	4,861±0,868	3,740±0,668	0,104±0,010	0,082±0,008	0,315±0,146
<b>U. Católica</b>	5,799±0,806	4,462±0,620	0,136±0,012	0,107±0,010	0,440±0,075

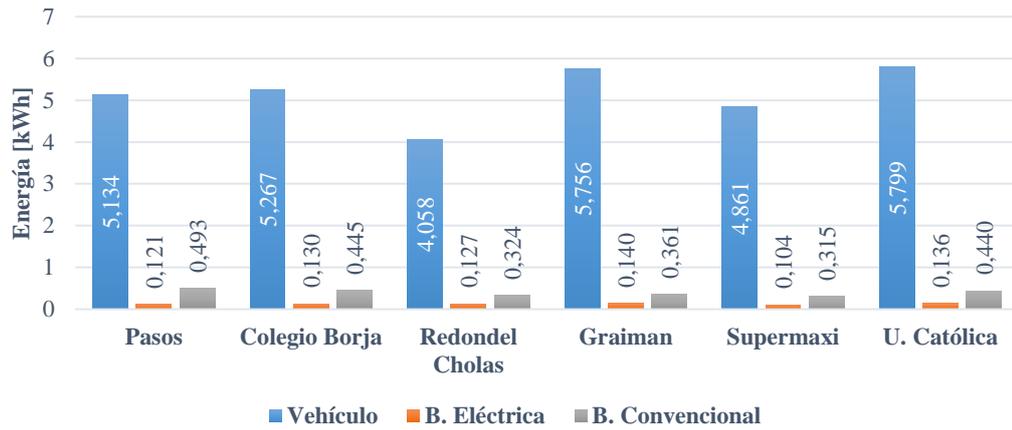


Figura 3.1 Consumo energético con mínimo rendimiento [kWh].

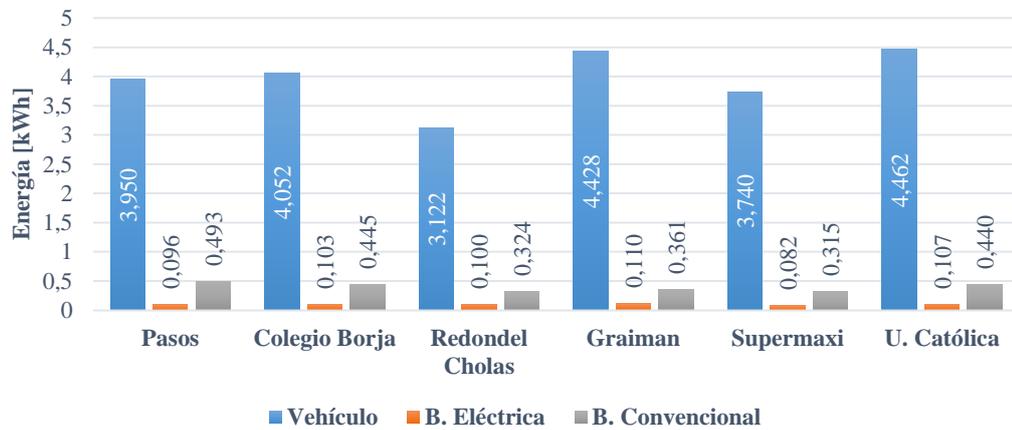


Figura 3.2 Consumo energético con máximo rendimiento [kWh].

Sacando un resultado global de todas las rutas se obtiene los siguientes resultados.

Tabla 3.2 Promedio de consumo energético [kWh].

Energía promedio de rutas [kWh]					
Ruta	Vehículo		B. Eléctrica		B. Convencional
	R. 23%	R. 29%	R. 74%	R. 93%	R. 25%
<b>General</b>	5,134±0,294	3,950±0,227	0,126±0,005	0,099±0,004	0,396±0,06

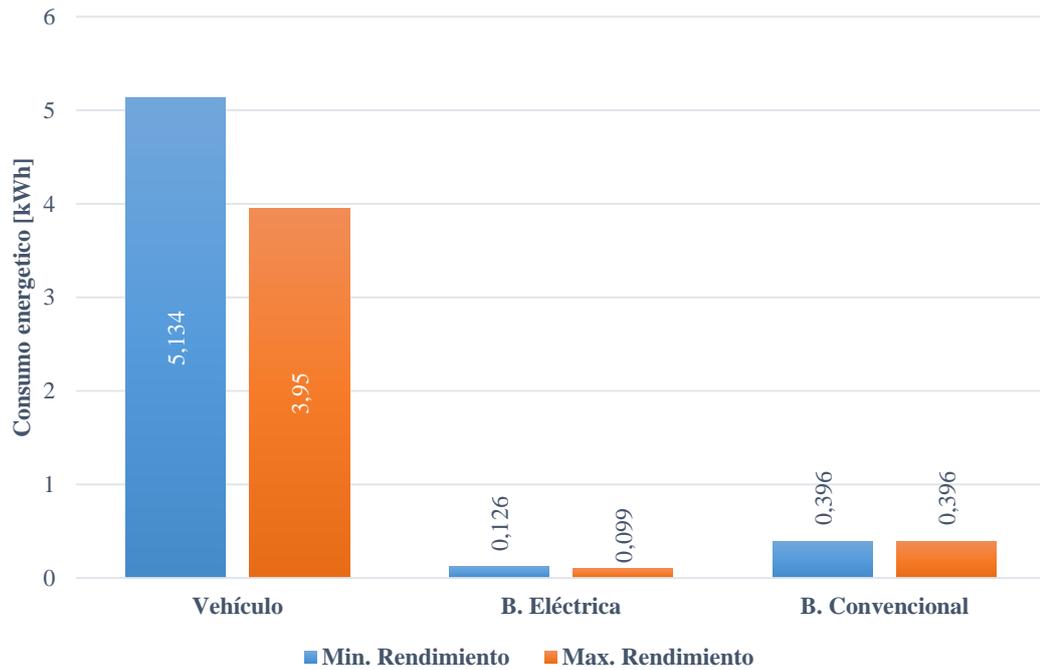


Figura 3.3 Promedio de consumo energético [kWh].

Una persona para movilizar la bicicleta convencional debe generar la energía a partir de los alimentos, por lo que para desplazarse en una ruta que requiere 0,396 kWh necesita consumir aproximadamente 340,49 Kcal. En el anexo 4 se indica el valor energético de diferentes alimentos.

En promedio, en vehículo se recorrió una distancia de  $6,57 \pm 0,117$  km, en bicicleta eléctrica  $6,54 \pm 0,124$  km y en bicicleta convencional  $6,39 \pm 0,46$  km. En base a la energía requerida en los trayectos se puede estimar el consumo energético de los tres medios de transporte.

Tabla 3.3 Consumo energético [kWh/100km].

	Vehículo [kWh/100km]	B. Eléctrica [kWh/100km]	B. Convencional [kWh/100km]
<b>Min. Rendimiento</b>	78,14	1,93	6,20
<b>Max. Rendimiento</b>	60,12	1,51	6,20

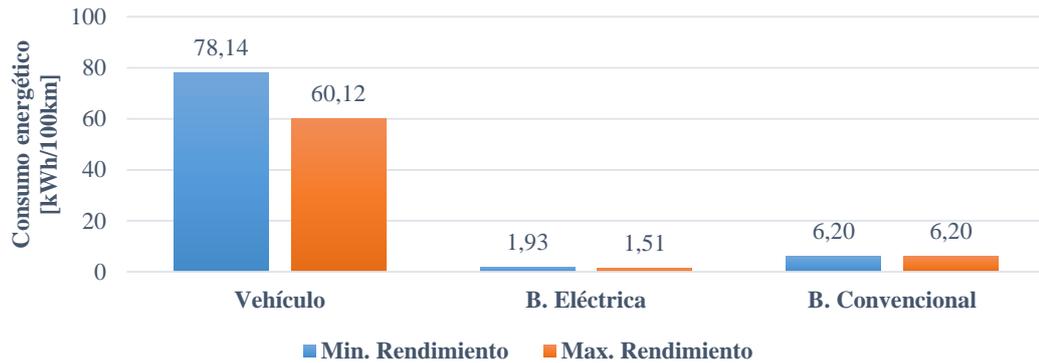


Figura 3.4 Consumo energético [kWh/100km].

Aunque teóricamente la capacidad de la batería de la bicicleta eléctrica es de 500W, mediante el medidor de potencia eléctrica se comprobó que para cargar la batería cuando se encuentra totalmente descargada hace falta aproximadamente 471 W. De este modo es posible calcular la autonomía de la bicicleta eléctrica, en función de la energía calculada en ruta.

Por lo tanto, es posible desplazarse entre 24,44 km – 31,11 km entre un ciclo de carga completa a descarga total. Aprovechando la energía de las pendientes negativas con el freno regenerativo se puede recuperar entre  $0,04 \pm 0,005$  kWh aumentando la autonomía entre 35,81 km – 52,20 km, siempre y cuando se recupere el 100% de la energía mencionada, algo que en la práctica no es posible.

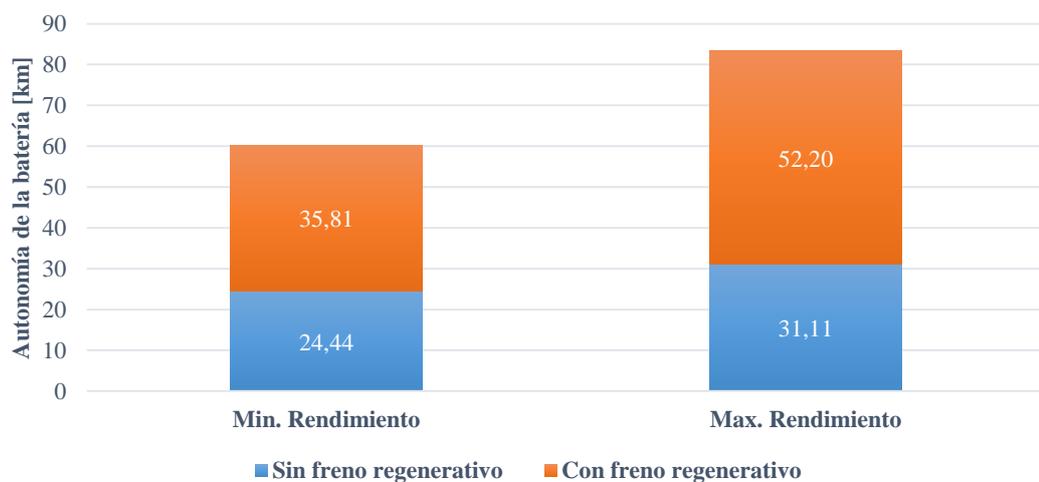


Figura 3.5 Autonomía de la batería [km].

### 3.1.2 Contaminación ambiental

Los principales contaminantes criterio que afectan la salud de las personas y los gases de efecto invernadero que contribuyen con el calentamiento global son emitidos por el vehículo al momento de su uso, mientras que la bicicleta eléctrica contamina durante la generación de la energía requerida para su movilización. En cuanto a la bicicleta convencional su contaminación es nula. Por este motivo se presentan los resultados solamente del vehículo y de la bicicleta eléctrica.

Tabla 3.4 Emisiones contaminantes por recorrido [g/ruta].

Contaminante [g/ruta]	Vehículo	Bicicleta Eléctrica	
		Min. Rendimiento	Max. Rendimiento
CO	38,34±0,685	0,045±0,002	0,036±0,001
NOx	2,82±0,050	0,522±0,021	0,412±0,017
CO <sub>2</sub>	1502,92±26,85	34,47±1,396	27,21±1,102
PM <sub>10</sub>	0,0177±0,0003	0,014±0,0006	0,011±0,0004
PM <sub>2,5</sub>	0,0164±0,0003	0,014±0,0006	0,011±0,0004
N <sub>2</sub> O	0,0144±0,0003	0,001±0,00003	0,0006±0,00003
CH <sub>4</sub>	0,0703±0,001	0,014±0,0006	0,011±0,0004

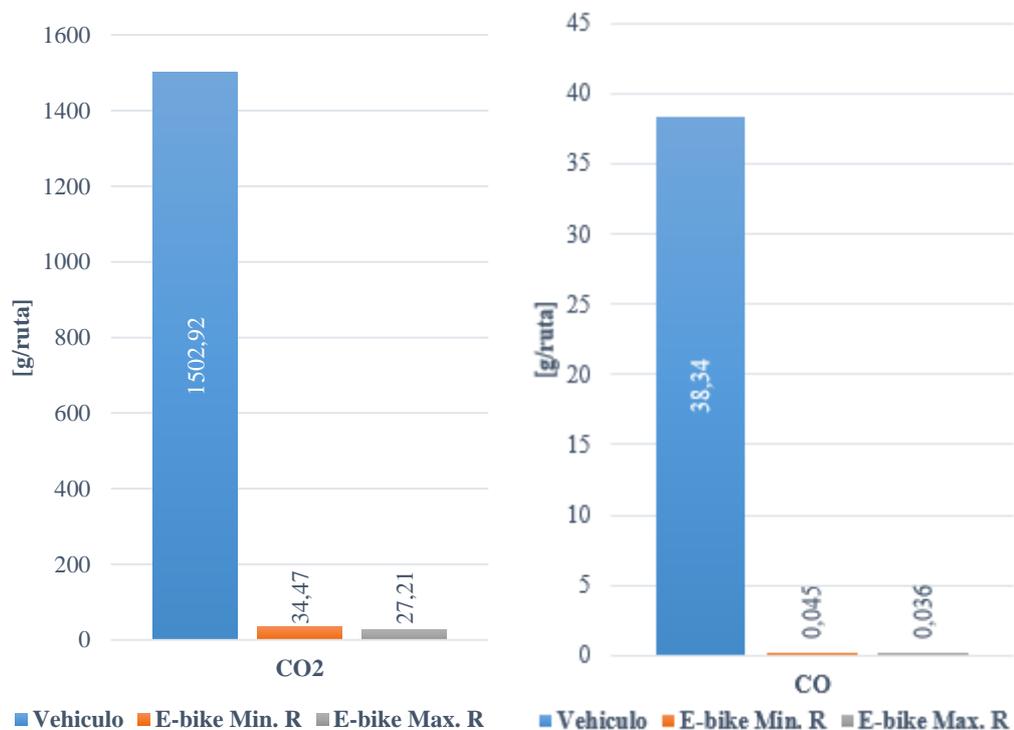


Figura 3.6 Emisión de CO<sub>2</sub> y CO.

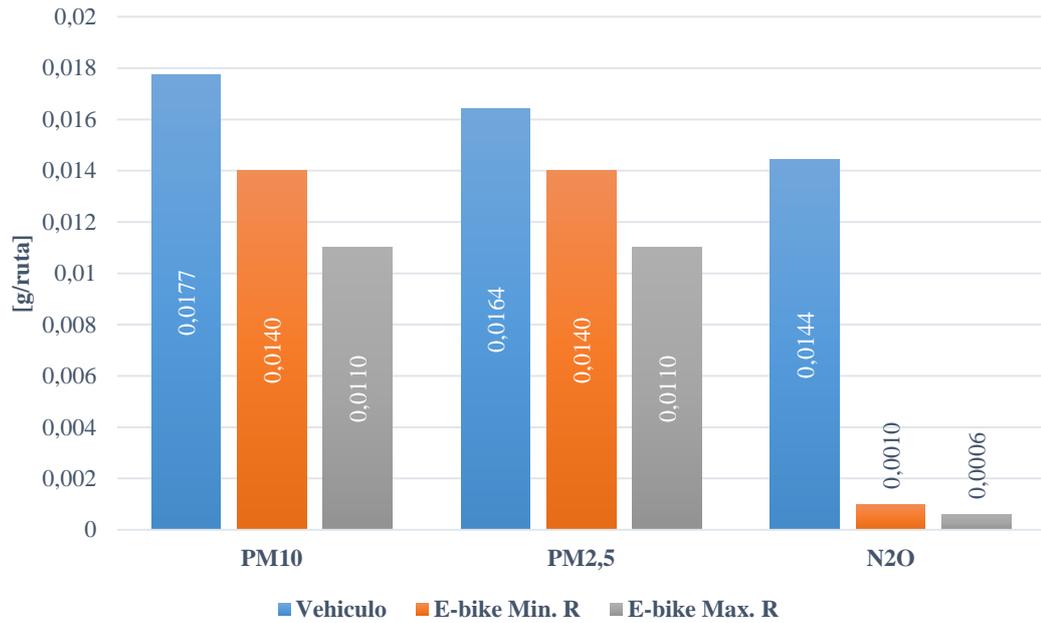


Figura 3.7 Emisiones contaminantes de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> y N<sub>2</sub>O.

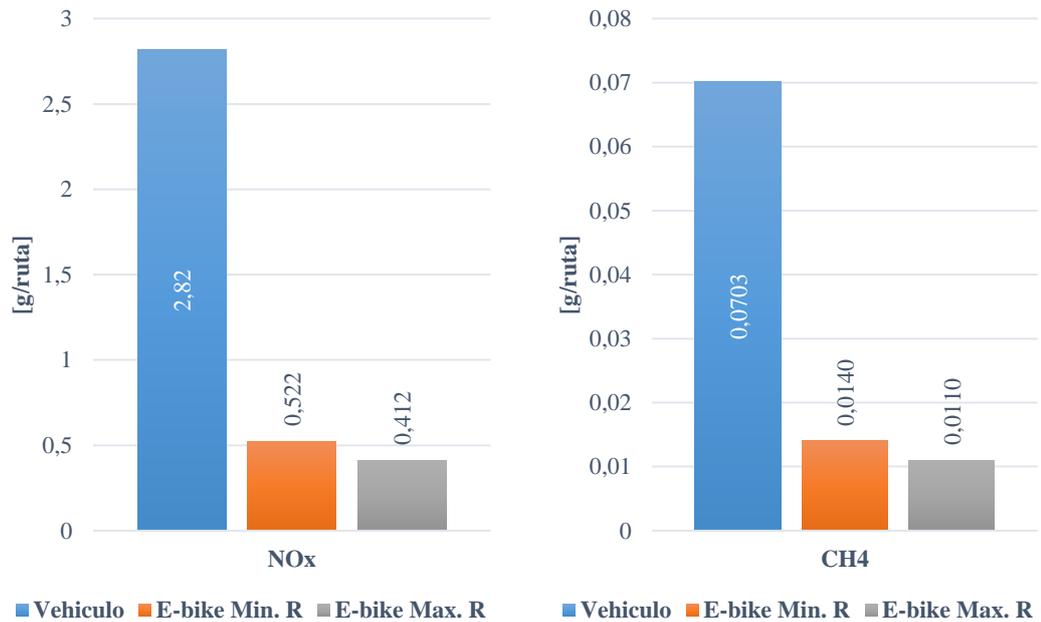


Figura 3.8 Emisión de NOx y CH<sub>4</sub>.

Asumiendo un escenario en el que una persona se transporta de su hogar a su lugar de trabajo o estudio 4 veces al día, se puede estimar la contaminación que genera moverse en el lapso de un mes o año.

Tabla 3.5 Emisiones contaminantes mensuales y anuales [g/año excepto CO<sub>2</sub> kg/año].

Contaminante	Vehículo		Bicicleta Eléctrica			
	Mensual	Anual	Min. Rendimiento		Max. Rendimiento	
			Mensual	Anual	Mensual	Anual
CO [g/año]	3067,56	36811	3,60	43,20	2,88	34,56
NOx [g/año]	225,86	2710,38	41,76	501,12	33	396
CO <sub>2</sub> [kg/año]	120	1443	2,76	33	2,18	26
PM <sub>10</sub> [g/año]	1,42	17,02	1,12	13,44	0,88	10,56
PM <sub>2,5</sub> [g/año]	1,31	15,76	1,12	13,44	0,88	10,56
N <sub>2</sub> O [g/año]	1,16	13,87	0,08	0,96	0,048	0,576
CH <sub>4</sub> [g/año]	5,62	67,44	1,12	13,44	0,88	10,56

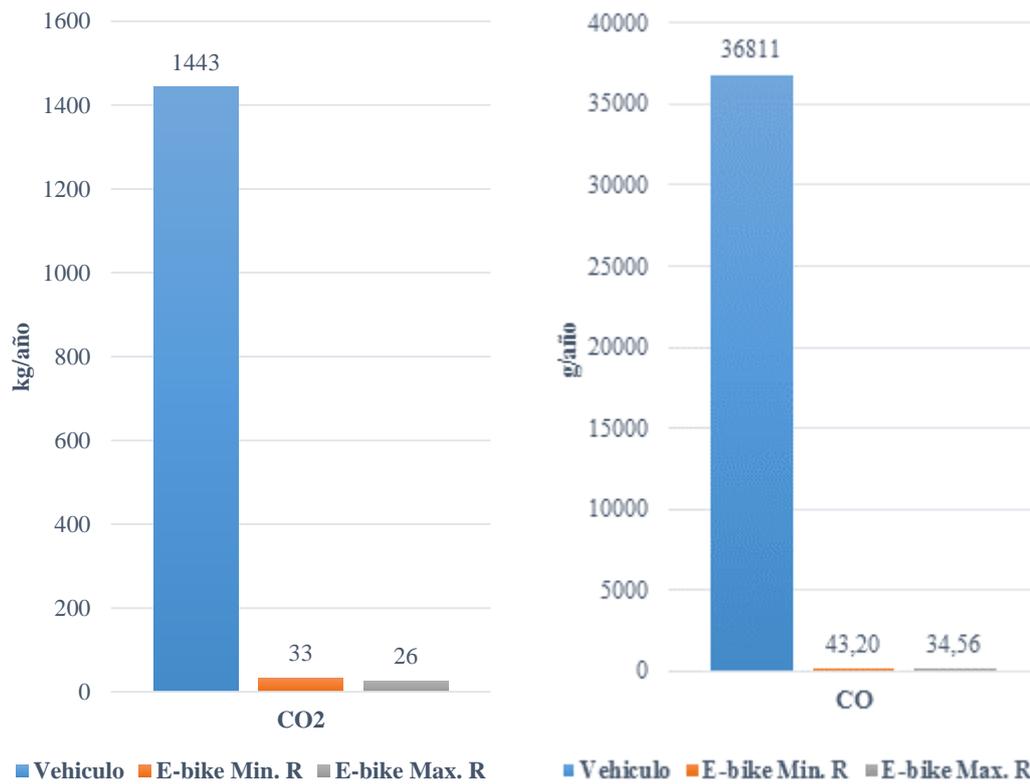


Figura 3.9 Emisión de CO<sub>2</sub> y CO anuales.

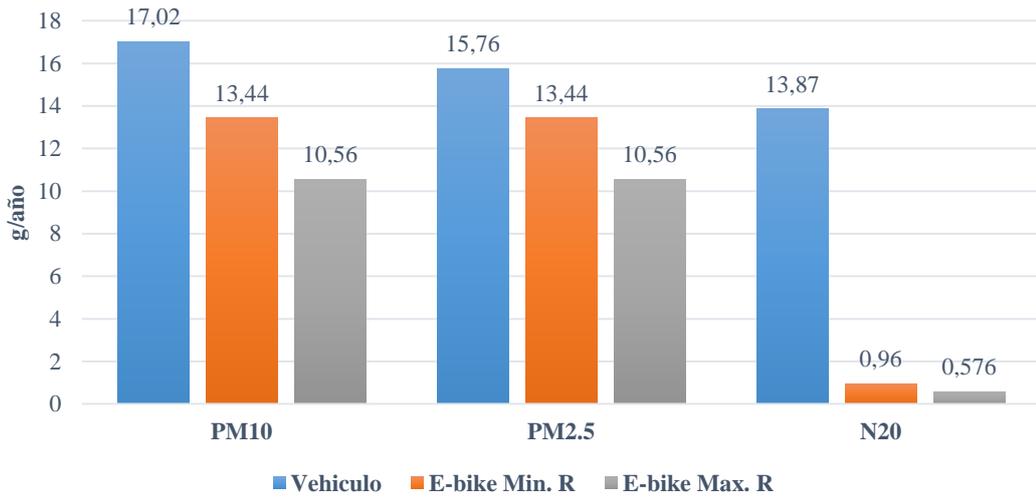


Figura 3.10 Emisiones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> y N<sub>2</sub>O anuales.

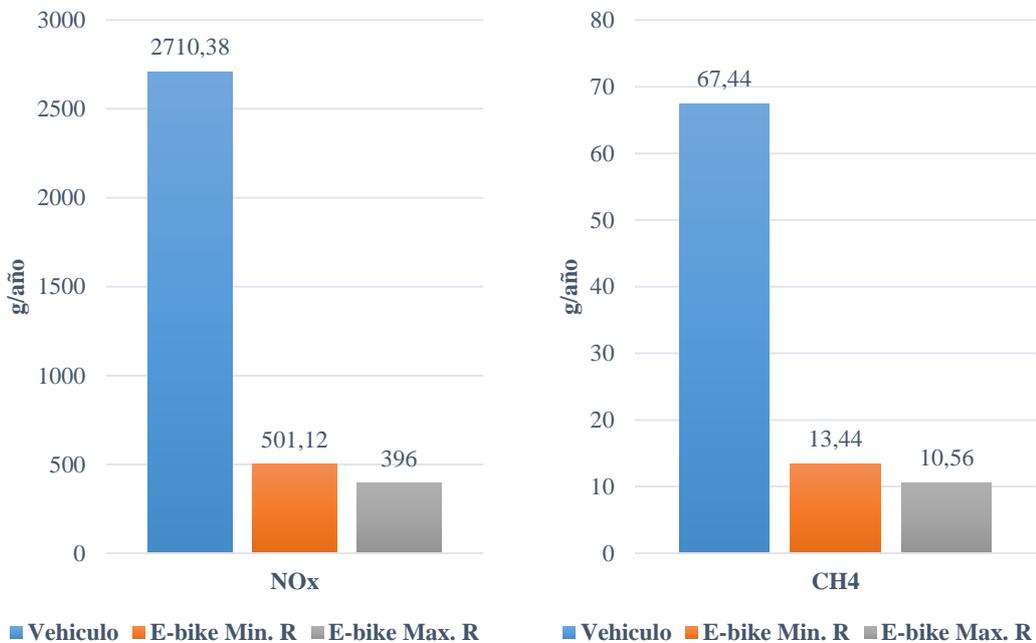


Figura 3.11 Emisión de NOx y CH<sub>4</sub> anuales.

### 3.1.3 Costo

Para el vehículo se obtuvo un promedio del consumo de combustible de automóviles livianos utilizados en el levantamiento de datos dando como resultado  $9,54 \pm 1,028$  lit/100 km, esto servirá para determinar el costo de desplazarse por las rutas planteadas según el tipo de combustible utilizado (súper o extra). Para la bicicleta eléctrica también se muestra el costo de movilizarse en función del precio del kWh en diferentes

tarifas. Por último, la bicicleta convencional tendrá un costo cero debido a que a energía proviene exclusivamente del ciclista.

Tabla 3.6 Costo de la ruta en vehículo [USD].

Ruta	Vehículo			
	Consumo Combustible	Distancia	Extra	Súper
General	9,54±1,028 [lit/100km]	6,57±0,117 [km]	0,24	0,38

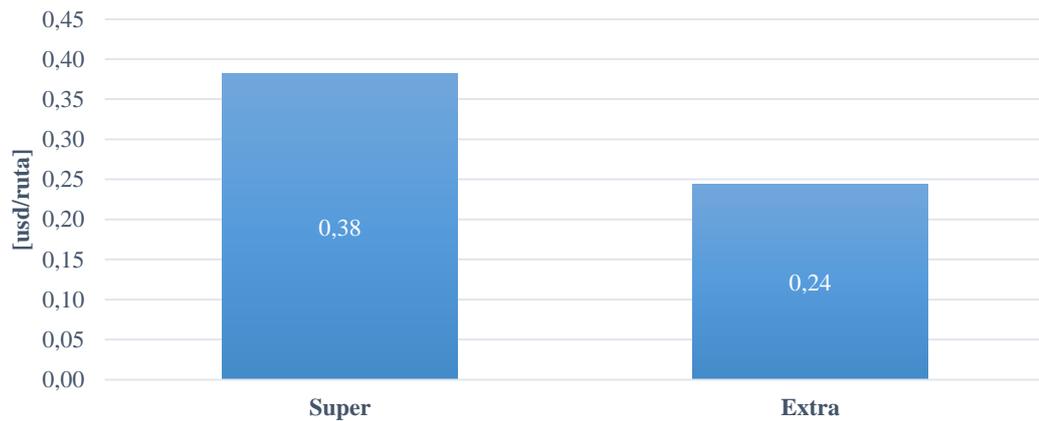


Figura 3.12 Costo de la ruta en vehículo [USD/recorrido].

Sacando el costo por cada km recorrido en vehículo se obtiene:

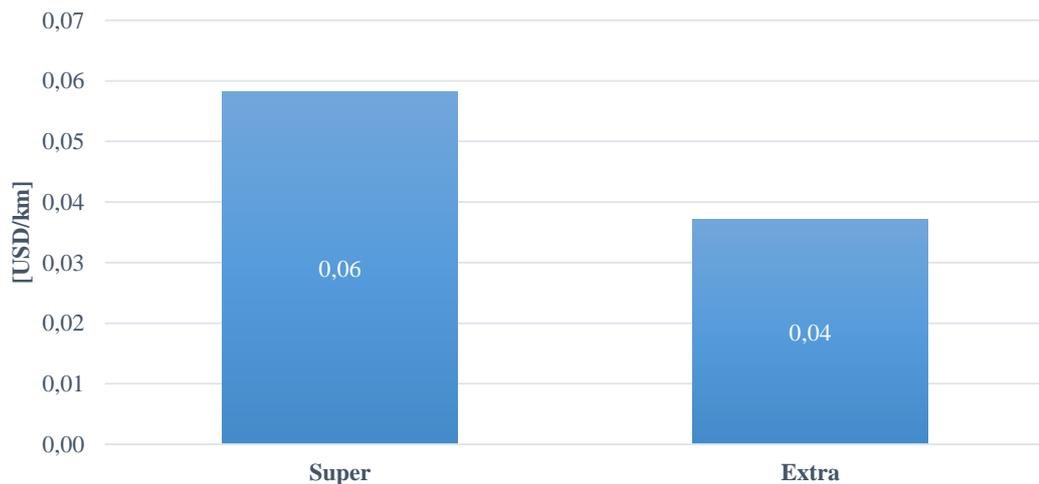


Figura 3.13 Costo desplazamiento en vehículo [USD/km].

Tabla 3.7 Costos de la ruta en bicicleta eléctrica [USD].

Rendimiento	Bicicleta Eléctrica				
	Energía	Subsidio	Residencial 301-350 kWh y comercial superior a 300 kWh	R. >3500 kWh	Comercial 0-300 kWh
Mínimo	0,126±0,004	0,005	0,013	0,086	0,012
Máximo	0,099±0,003	0,004	0,010	0,067	0,009

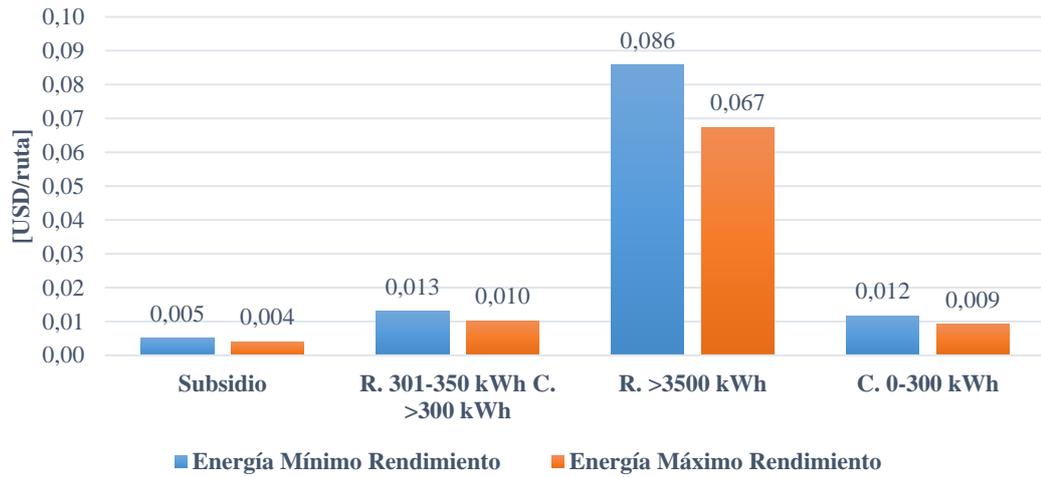


Figura 3.14 Costo del recorrido en bicicleta eléctrica [USD/recorrido].

Del mismo modo como se realizó con el vehículo se procede a obtener el costo del km al desplazarse en bicicleta eléctrica como indica la figura 3.15.

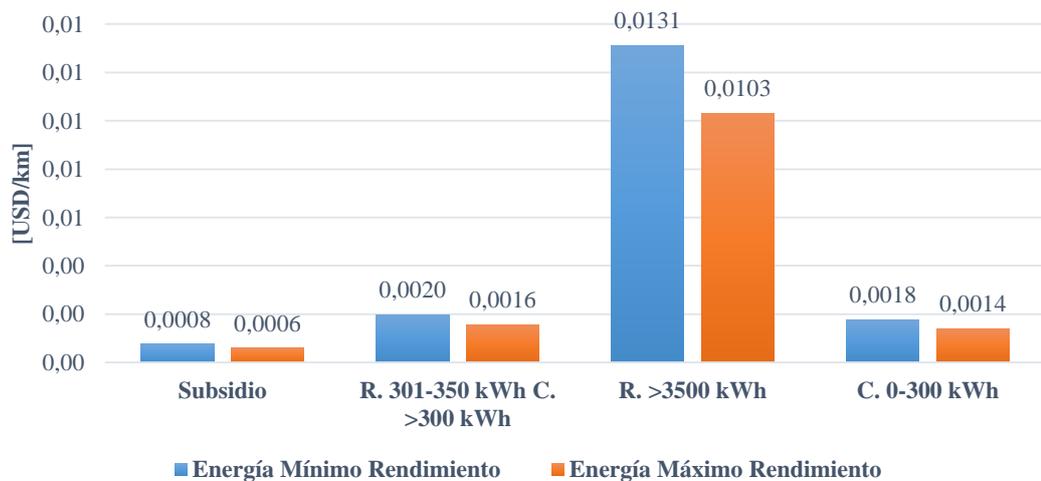


Figura 3.15 Costo desplazamiento en bicicleta eléctrica [USD/km].

Bajo el escenario planteado en la sección 3.1.2 se puede calcular el costo mensual y anual de transportarse por la ciudad de Cuenca.

Tabla 3.8 Costo de transportarse en vehículo [USD].

Ruta	Vehículo			
	Mensual		Anual	
General	19,56	234,67	30,59	367,04

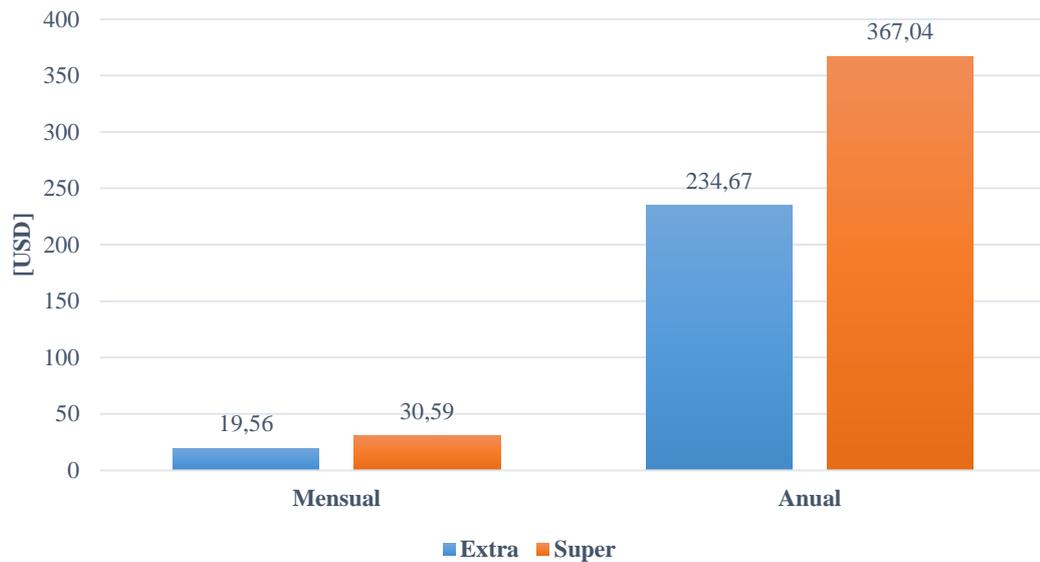


Figura 3.16 Costos mensual y anual de transportarse en vehículo [USD].

Tabla 3.9 Costos mensual y anual de transportarse en bicicleta eléctrica [USD].

	Subsidio [USD]		Residencial 301-350 kWh y comercial superior a 300 kWh [USD]		R. >3500 kWh [USD]		Comercial 0-300 kWh [USD]	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Min. Rendimiento	0,40	4,80	1,04	12,48	6,88	82,56	0,96	11,52
Max. Rendimiento	0,32	3,84	0,80	9,60	5,36	64,32	0,72	8,64

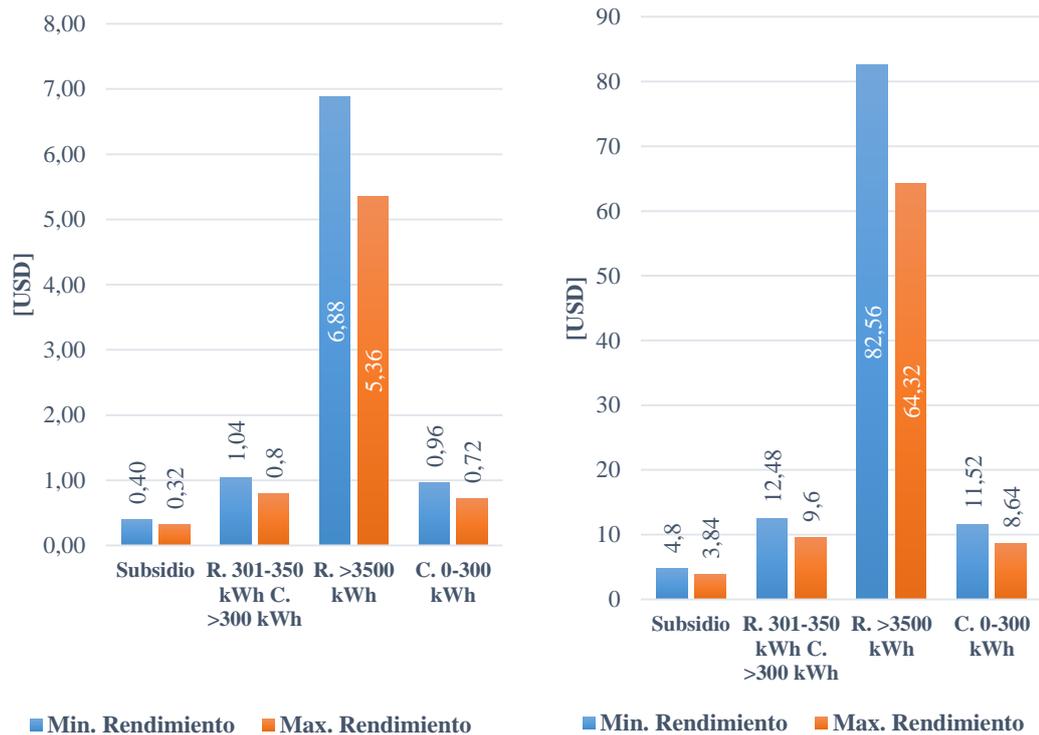


Figura 3.17 Izq. costo mensual en bicicleta eléctrica. Der. costo anual en bicicleta eléctrica [USD].

La distancia recorrida durante el año es de aproximadamente 6000 km, en base a esta distancia se obtiene los costos de mantenimiento. El mantenimiento establecido en concesionarios para los vehículos livianos es cada 5000 km, dependiendo del kilometraje en el que se encuentre el automóvil puede tener diferente costo, por lo tanto, se tomara el costo menor y mayor. El mantenimiento de la bicicleta eléctrica es prácticamente el mismo a una bicicleta convencional, los elementos electrónicos al ser sellados herméticamente no se les realiza mantenimiento por lo que se basa únicamente en las partes mecánicas de la bicicleta (Brown, 2013). La e-bike del estudio se le realizó mantenimiento a los 2000 km, por lo que al año requerirá 3 mantenimientos.

Tabla 3.10 Costos de mantenimiento [USD].

	Vehículo		Bicicleta eléctrica
<b>Costo mantenimiento [USD]</b>	71,47	435,38	41,45*

Fuente: (IOMotors, 2016; El comercio, 2010).

\*Incluye los 3 mantenimientos anuales.

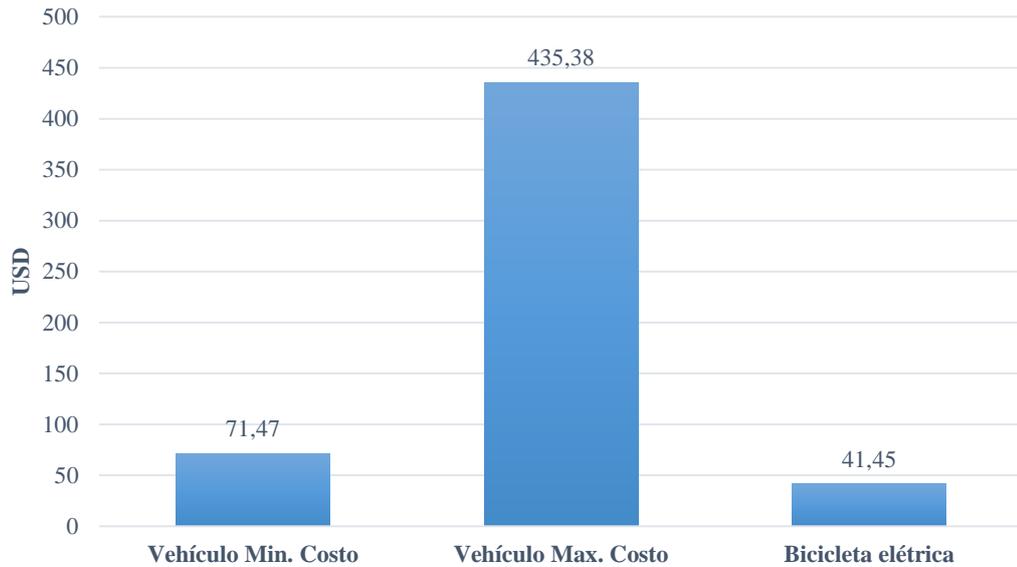


Figura 3.18 Costos de mantenimiento [USD].

### 3.1.4 Tiempo

El tiempo es un parámetro fundamental para determinar la factibilidad de la bicicleta eléctrica, pues un tiempo demasiado prolongado para desplazarse al lugar de destino hará que las personas se decidan por el uso del vehículo.

Los resultados serán presentados por rutas debido a las características de las mismas y poder determinar cuáles son las más favorables para desplazarse en bicicleta eléctrica, del mismo modo se muestra un resultado global de las rutas.

Tabla 3.11 Tiempo por rutas [min].

	Vehículo [min]	B. Eléctrica [min]	B. Convencional [min]
Pasos	15,93±1,17	17,90±0,91	38,89±19,62
Colegio Borja	10,47±0,76	16,21±1,84	42,89±0,097
Redondel Cholas	12,31±0,67	22,26±1,11	31,97±10,09
Graiman	16,79±1,36	21,11±0,99	37,88±3,95
Supermaxi	15,79±1,38	17,43±2,02	29,47±9,34
U. Católica	19,99±1,93	19,43±1,18	39,77±7,32

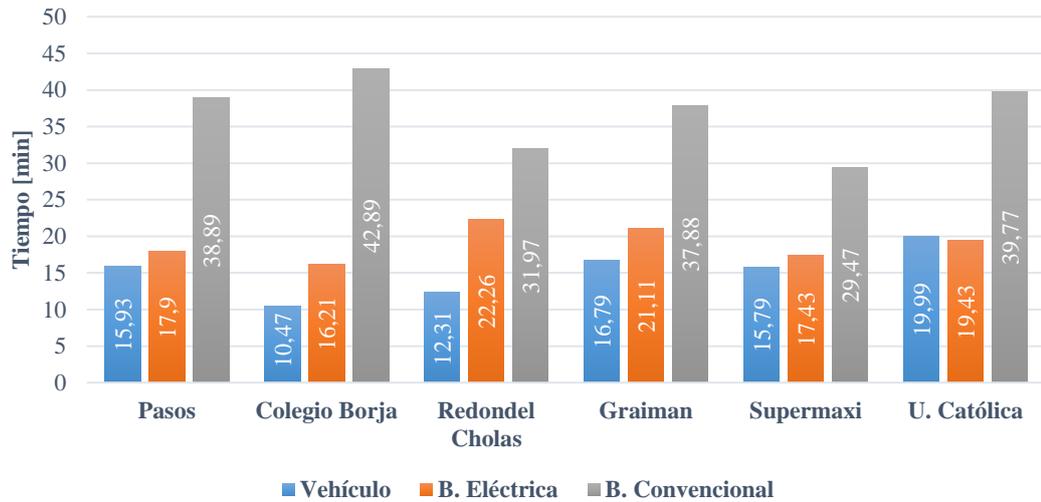


Figura 3.19 Tiempo por rutas [min].

Como se puede evidenciar el tiempo entre el vehículo y la bicicleta eléctrica no son muy diferentes, incluso puede llegar a ser más rápida que el automóvil en rutas céntricas como el caso de la ruta U. Católica. En cambio la bicicleta convencional requiere demasiado tiempo para los trayectos llegando a ser un medio de transporte no recomendable para este tipo de desplazamiento.

Tabla 3.12 Tiempo promedio de rutas [min].

	Vehículo	B. Eléctrica	B. Convencional
General	15,18±0,76	18,75±0,682	36,81±4,73

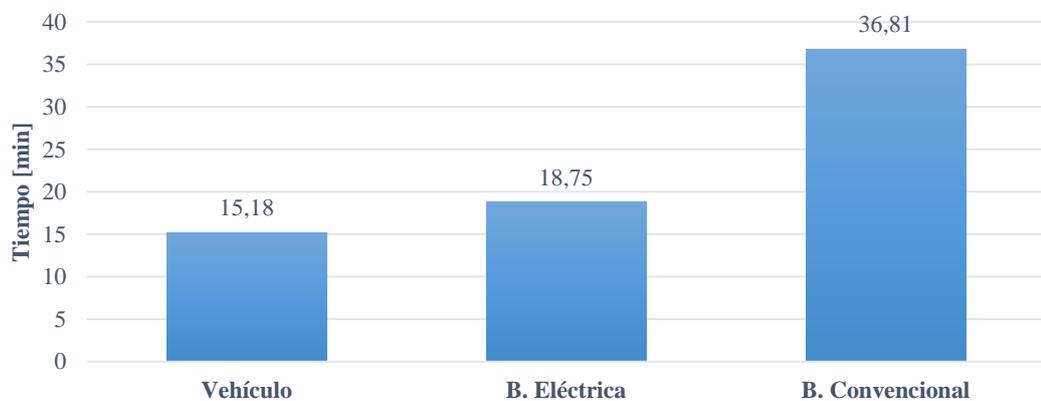


Figura 3.20 Tiempo promedio por rutas [min].

### 3.2 Discusión

Del levantamiento de información y análisis de datos se puede observar en la figura 3.3 que en términos de consumo energético el vehículo puede requerir hasta 52 veces más energía que la bicicleta eléctrica y hasta cerca de 13 veces más que la bicicleta convencional, convirtiendo a la e-bike en un medio de transporte energéticamente eficiente con relación al vehículo.

Los resultados para la ciudad de Cuenca son cercanos a los rangos obtenidos en estudios de Cherry en 2009 para China y Paul & Bogenberger en 2014 para la ciudad de Munich, la tabla 3.12 realiza una comparación entre los estudios mencionados y los obtenidos en Cuenca.

Tabla 3.13 Comparación energética vehículo-bicicleta eléctrica.

	China y Múnich	Cuenca
<b>Rendimiento bicicleta eléctrica</b>	1 kWh/100km – 2,1 kWh/100km	1,51 kWh/100km – 1,93 kWh/100km
<b>Rendimiento vehículo</b>	50 kWh/100km	60,12 kWh/100km – 78,14 kWh/100km
<b>Autonomía de batería</b>	25km – 30 km	24,44km – 31,11km

Por otra parte también se puede apreciar la diferencia de contaminación emitida por el vehículo en comparación al promedio entre la contaminación producida en máximo y mínimo rendimiento durante la generación de energía como se observa en la tabla 3.13.

Tabla 3.14 Relación de contaminación vehículo-bicicleta eléctrica.

Contaminante	Relación vehículo : bicicleta eléctrica
<b>CO</b>	946,7 : 1
<b>CO<sub>2</sub></b>	48,73 : 1
<b>PM<sub>10</sub></b>	1,42 : 1
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	1,31 : 1
<b>N<sub>2</sub>O</b>	18 : 1
<b>NO<sub>x</sub></b>	6,03 : 1
<b>CH<sub>4</sub></b>	5,62 : 1

El uso de bicicleta eléctrica también beneficia económicamente al usuario, permitiendo ahorrar diferentes cantidades de dinero en función de la tarifa a ser comparada. La tabla 3.14 muestra la comparación y el ahorro obtenido por el usuario anualmente en base a las diferentes tarifas eléctricas considerando solamente el consumo energético.

Tabla 3.15 Ahorro anual en consumo energético al cambiar vehículo por bicicleta eléctrica [USD].

	Subsidio [USD]	R. 301 – 350 kWh C. >350 kWh [USD]	R. >3500 kWh [USD]	C. 0-300 kWh [USD]
<b>Extra</b>	230,35	223,63	161,23	224,59
<b>Súper</b>	362,72	356	293,6	356,96

A los valores anteriores se le debe incluir el ahorro obtenido en gastos de mantenimiento, la tabla 3.16 muestra el ahorro total considerando el consumo energético y costos de mantenimiento.

Tabla 3.16 Ahorro total anual al cambiar vehículo por bicicleta eléctrica [USD].

	Subsidio [USD]	R. 301 – 350 kWh C. >350 kWh [USD]	R. >3500 kWh [USD]	C. 0-300 kWh [USD]
<b>Extra</b>	260,37 – 624,28	253,65 – 617,56	191,25 – 555,16	254,61 – 618,52
<b>Súper</b>	392,74 – 756,65	386,02 – 749,93	323,62 – 687,53	386,98 – 750,89

Por último, el tiempo es un factor que beneficia a la bicicleta eléctrica porque en promedio requiere solamente 3,57 minutos más que el vehículo para recorrer la misma distancia, y la bicicleta convencional necesita 18,06 minutos más. Por lo tanto, el tiempo requerido por la bicicleta eléctrica es 23,5% mayor con relación al vehículo y 49 % menor con relación a la bicicleta convencional.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones:

- En base a información investigada acerca de bicicletas eléctricas se puede concluir que el mercado de bicicletas eléctricas está creciendo más rápido que cualquier otro medio de transporte, presentando crecimientos de más del 50% anual. Este aumento contribuye a fortalecer un pilar fundamental para la movilidad sostenible, trayendo consigo beneficios no solamente para la ciudad como descongestión vehicular, reducción de emisiones contaminantes, ahorro en infraestructura, sino que también ayuda a los usuarios a reducir gastos y principalmente mejorar su salud.
- De los datos obtenidos en la ciudad de Cuenca se aprecia que la cantidad de energía requerida para movilizar un vehículo permitiría desplazar aproximadamente 52 personas en bicicleta eléctrica. Por lo tanto, aparte de que se reduce el consumo energético, esto favorece a los espacios públicos debido a que el automóvil requiere 15 veces más área que una bicicleta, considerando la relación 1:52 se ahorra aproximadamente 780 veces el área que se ocuparía con 52 vehículos.
- En el ámbito ambiental, la bicicleta eléctrica favorece considerablemente a la reducción de gases contaminantes, reduciendo aproximadamente el 98% de CO<sub>2</sub> y 99% de CO, 23% - 29% en material particulado, 94% de N<sub>2</sub>O y cerca de 83% para NO<sub>x</sub> y CH<sub>4</sub>. Todas las diferencias porcentuales están en función de la contaminación del vehículo. La bicicleta convencional reduce el 100% de la contaminación comparando con el vehículo o bicicleta eléctrica.
- El ahorro económico considerando solo consumo energético es favorable a la bicicleta eléctrica, promediando los valores se puede reducir cerca del 98% con relación a la tarifa de la dignidad. Para empresas de mensajería, reparto o actividad económica relacionada que están sujetas a tarifas comerciales les permite obtener un ahorro de hasta 96%. Por último, los usuarios con la tarifa residencial de alta demanda energética pueden ahorrar un 75%. Haciendo un contraste bicicleta eléctrica con bicicleta convencional no existe ahorro, más bien genera un gasto que oscila desde los 0,36 USD/mes en tarifa subsidiada, 0,84 - 0,92 USD/mes en tarifas comerciales y 6,12 USD/mes en tarifa residencial mayor a 3500 kWh la cual no es

muy común ya que el promedio de consumo energético en la ciudad de Cuenca es de 151 kWh/mes.

- Considerando el consumo energético y costos de mantenimiento, al sustituir el vehículo por una bicicleta eléctrica permite tener ahorros de hasta 750,89 USD anuales, asumiendo el escenario menos favorable es posible ahorrar 253,65 USD anuales. Comparando bicicleta eléctrica con convencional se concluye que en cuanto a mantenimiento no hay un ahorro.
- El tiempo de desplazamiento es un factor que dependiendo de la ruta del usuario puede traer beneficios o inconvenientes para la bicicleta eléctrica, es decir, rutas de autopista o vías rápidas son lugares en donde la e-bike se vería perjudicada por la diferencia de velocidad que obtiene el automóvil, sin embargo se ve beneficiada en rutas congestionadas ya que puede movilizarse sin inconvenientes en los embotellamientos. Aun así, en promedio se requiere solo de 3,57 minutos más para recorrer la misma distancia, siendo en términos de tiempo un medio de transporte equiparable al vehículo.
- Considerando que solamente el 1% de los usuarios de vehículos cambien a una bicicleta eléctrica se podría reducir en toneladas anuales 1611,39 de CO<sub>2</sub>, 41,92 de CO y 2,57 de NO<sub>x</sub>. En kg anuales podemos disminuir 5,72 de PM<sub>10</sub>, 4,28 de PM<sub>2,5</sub>, 14,93 de N<sub>2</sub>O y 63,20 de CH<sub>4</sub>.
- La ciudad de Cuenca presenta condiciones climáticas, geomorfológicas y pendientes idóneas para el ciclismo, además en función de los resultados de consumo energético, contaminación ambiental, tiempo y costo se puede concluir que la bicicleta eléctrica es una alternativa de movilidad factible para la ciudad de Cuenca.

**Recomendaciones:**

- Las velocidades alcanzadas en bicicleta eléctrica durante el estudio llegaron hasta un máximo de  $38,15 \pm 1,09$  km/h y en promedio se alcanzó los  $21,45 \pm 0,72$  km/h, a diferencia de la bicicleta convencional donde máximo se alcanzó  $25,32 \pm 2,04$  km/h obteniendo una velocidad media de  $10,70 \pm 1,22$  km/h. Por ello es recomendable utilizar los equipos de protección porque un accidente a estas velocidades puede ocasionar graves daños al ciclista.
- En función de las velocidades mencionadas anteriormente también se recomienda tener las precauciones del caso al momento de circular por calles y avenidas debido a que los conductores no están familiarizados con este tipo de medio de transporte generando conflictos en intersecciones y redondeles. En ciclovías compartidas es preferible hacerlo a velocidades moderadas por riesgo de arrollamiento a los peatones.
- El sistema de frenos equipado en la bicicleta eléctrica no es el más óptimo por tratarse de una tecnología antigua y por las velocidades que puede llegar a alcanzar la e-bike, requiriendo de mayor distancia de frenado en comparación a un sistema de frenos de disco.
- El mantenimiento mecánico de la bicicleta eléctrica debe ser con mayor frecuencia, ya que al tratarse de un kit electrónico adaptado a una bicicleta convencional genera esfuerzos extra sobre los componentes llegando a producir torcedura de los aros, aflojamiento de tuercas, desgaste prematuro de frenos, etc., aumentando el riesgo de un accidente con consecuencias para el ciclista o kit electrónico.
- Se recomienda hacer un estudio en el que se pueda determinar la mejor relación de transmisión para este tipo de bicicletas ya que hay situaciones en que los cambios disponibles no se adaptan a las condiciones y velocidades que lleva la e-bike.

## BIBLIOGRAFIA

- Abagnale, C., Cardone, M., Iodice, P., Strano, S., Terzo, M., & Vorraro, G. (2015). A Dynamic Model for the Performance and Environmental Analysis of an Innovative e-bike. *Energy Procedia*, 81, 618–627. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.046>
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2016). Ecuador posee un 51,78% de energía renovable. Retrieved from <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/ecuador-posee-un-5155-de-energia-renovable/>
- Agencia Nacional de Tránsito. (2014). Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, 1–79. Retrieved from [http://www.ant.gob.ec/index.php/noticias/estadisticas#.U1nC\\_aLLL1E](http://www.ant.gob.ec/index.php/noticias/estadisticas#.U1nC_aLLL1E)
- Águeda, E., Navarro, J., & Gómez, T. (2012). *Sistemas de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje*. Paraninfo.
- Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud En Tabasco*, 11(1–2), 333–38. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48711206>
- Ajuntament de Barcelona. (2016). ¿Qué es bicin y bicin eléctrico? Retrieved from <https://www.bicing.cat/es/informacion/que-es-bicing-y-bicing-electrico>
- Alarcón, I. (2016). Los usuarios podrán usar las 300 bicicletas eléctricas desde el 17 de abril. Retrieved from <http://www.elcomercio.com/actualidad/usuarios-bicicletas-electricas-quito-biciquito.html>
- Araujo, A. (n.d.). Alza de tarifas eléctricas busca bajar el subsidio. Retrieved from <http://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/alza-de-tarifas-electricas-busca.html>
- Araujo, A. (2016). La gasolina súper se encareció en algunas estaciones de servicio. Retrieved from <http://www.elcomercio.com/actualidad/gasolina-super-economia-combustible-ecuador.html>
- ARCONEL. (2007). Tarifa Dignidad. Retrieved from <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/tarifa-dignidad/>
- ARCONEL. (2016). *Pliego tarifario para las empresas eléctricas*. Retrieved from <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/Pliego-y-Cargos-Tarifarios-2016-01-02-2016.pdf>
- Arpem. (2016). Arpem. Retrieved from <http://www.arpem.com>
- Asian Development Bank. (2009). *Electric Bikes in the People's Republic of China*.
- Ayuntamiento de Paris. (2010). Velib. Retrieved from <http://es.velib.paris.fr/Como-funciona>
- Baumann, Claire; Bojacá, Mariana; Rambeau, M. W. Z. (2013). *Biciudades 2013*.

- Baumann, C., Bojacá, M., Rambeau, M., & Wanner, Z. (2013). Biciudades: Un estudio regional acerca del uso de la bicicleta como medio de transporte en América Latina y el Caribe. *Bid, I*, 50. Retrieved from <http://www.iadb.org/es/temas/ciudades-emergentes-y-sostenibles/biciudades,8509.html#.Ujylc8aLKe1>
- BiciQuito Bicicleta Pública. (2016). ¿Que es BiciQuito? Retrieved from <http://www.biciquito.gob.ec/index.php/info/que-es.html>
- BID. (2014). Biciudades 2014, 12.
- BID. (2015). Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles. Retrieved from <http://www.iadb.org/es/temas/ciudades-emergentes-y-sostenibles/dando-respuesta-a-los-desafios-de-desarrollo-urbano-de-las-ciudades-emergentes,6690.html>
- Bosch. (1999). *Manual de la técnica del automovil* (Tercera). Editorial Reverté S.A.
- Bosch. (2003). *Sistemas de freno convencionales y electrónicos*.
- Cáceres, D. (2014, October 9). 54148 vehículos matriculados. *El Tiempo*. Cuenca. Retrieved from <http://www.eltiempo.com.ec/noticias-cuenca/150787-54-148-veha-culos-matriculados/>
- Cáceres, D. (2016). El aire de Cuenca en el limite de lo permisible. Retrieved from <http://www.eltiempo.com.ec/noticias-cuenca/185190-el-aire-de-cuenca-en-el-lamite-de-lo-permisible/>
- Calvo Martín, J. (1997). *Mecánica del automóvil actual*. Reverté.
- Campbell, A. A., Cherry, C. R., Ryerson, M. S., & Yang, X. (2016). Factors influencing the choice of shared bicycles and shared electric bikes in Beijing. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 67, 399–414. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2016.03.004>
- Carmona, L. (2016). Dia Mundial de la Bicicleta: Iniciativas para viajar a “pedales.” Retrieved from <http://www.20minutos.es/noticia/2724544/0/bicicleta-electrica/movilidad-sostenible/dia-de-la-bicicleta/>
- Carreón, Areli; Martínez, Agustín; Treviño, X. (2011). MANUAL DEL CICLISTA URBANO de la Ciudad de México.
- Cascajosa, M. (2005). *Ingeniería de vehículos. Sistemas y cálculos* (Segunda). Alfaomega.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2009). *Termodinámica*. México: Mc Graw Hill.
- Cherry, C. R., Weinert, J. X., & Xinmiao, Y. (2009). Comparative environmental impacts of electric bikes in China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(5), 281–290. <http://doi.org/10.1016/j.trd.2008.11.003>
- Chevrolet. (2007). GRAND VITARA 5P. Retrieved from [http://www.esplural.com/ecuaauto/informacion/GRAND VITARA 5P.pdf](http://www.esplural.com/ecuaauto/informacion/GRAND_VITARA_5P.pdf)
- Chevrolet. (2009). Ficha técnica D-max. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015, I*. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Chevrolet. (2011). Manual propietario Aveo.
- Chevrolet. (2013). Manual propietario Aveo. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Chevrolet. (2016). Captiva Sport. Retrieved from <http://www.chevrolet.com.ec/captiva-todo-terreno/especificaciones.html>
- Citibike. (2016). Citibike. Retrieved from [http://www.citibikenyc.com/assets/pdf/about\\_citi\\_bike\\_-es.09\\_.01\\_.pdf](http://www.citibikenyc.com/assets/pdf/about_citi_bike_-es.09_.01_.pdf)
- De Almeida, A., Herrera, S., Martínez, H., & Ferreira, L. (2013). Estudios de la Reducción de Emisiones y los Co-Beneficios Generados por la Implementación del Programa ECOBICI (2010,2011,2012). Retrieved from [https://www.ecobici.df.gob.mx/sites/default/files/pdf/reduccion\\_gei\\_y\\_co-beneficios\\_generados\\_por\\_la\\_implementacion\\_del\\_programa\\_ecobici\\_20102012012.pdf](https://www.ecobici.df.gob.mx/sites/default/files/pdf/reduccion_gei_y_co-beneficios_generados_por_la_implementacion_del_programa_ecobici_20102012012.pdf)
- Dekoster, J., & Schollaert, U. (2002). *En bici, hacia ciudades sin malos humos*. Retrieved from [http://www.sevilla.org/sevillaenbici/contenidos/5-documentacion/entidades/en\\_bici\\_hacia\\_ciudades\\_sin\\_malos\\_humos.pdf](http://www.sevilla.org/sevillaenbici/contenidos/5-documentacion/entidades/en_bici_hacia_ciudades_sin_malos_humos.pdf)
- Denmark.dk. (2016). Copenhague: ciudad de la bicicleta hace mas de un siglo. Retrieved from <http://denmark.dk/es/vida-ecologica/cultura-ciclistadanesa/copenhague-ciudad-de-la-bicicleta-desde-hace-mas-de-un-siglo>
- Di Rado, G., Presta, D., & Devincenzi, G. (2013). Análisis de las fuerzas que actúan en la interface neumático – carretera. Modelos de simulación de aceleración., *XXXII*, 2333–2362.
- Dill, J., & Rose, G. (2012). Electric Bikes and Transportation Policy. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2314(15 mi), 1–6. <http://doi.org/10.3141/2314-01>
- Dirección General de Políticas Interiores de la Unión. (2010). Fomento del Transporte en Bicicleta. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Du, W., Yang, J., Powis, B., Zheng, X., Ozanne-Smith, J., Bilston, L., & Wu, M. (2013). Understanding on-road practices of electric bike riders: An observational study in a developed city of China. *Accident Analysis and Prevention*, 59, 319–326. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2013.06.011>
- Ecomodder. (2016). Vehicle Coefficient of Drag List. Retrieved from [http://ecomodder.com/wiki/index.php/Vehicle\\_Coefficient\\_of\\_Drag\\_List](http://ecomodder.com/wiki/index.php/Vehicle_Coefficient_of_Drag_List)
- El comercio. (2010). Una guía de talleres para el abc de su bicicleta. Retrieved from <http://www.elcomercio.com/actualidad/quito/guia-talleres-abc-bicicleta.html>
- Elcacho, J. (2014). El gobierno francés paga hasta 40 euros al mes por ir al trabajo en bicicleta. Retrieved from <http://www.lavanguardia.com/natural/20140603/54409572606/francia-paga-transporte-trabajo-bicicleta.html>
- ELECAUSTRO. (n.d.). Central Termoelectrica El Descanso. Retrieved from [http://www.elecaustro.com.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&i](http://www.elecaustro.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&i)

d=63&Itemid=77

- Elias Castells, X., & Jurado de Gracia, L. (2012). *El hidrogeno y las pilas de combustible*.
- Embajada del Ecuador en los Países Bajos. (2013). El Uso Masivo de la Bicicleta para el Buen Vivir, 1–107. Retrieved from <http://www.embassyecuador.eu/site/images/descargas/uso-masivo-bicicleta-buen-vivir.pdf>
- EP Petroecuador. (2016). Precios de venta a nivel de terminal para las comercializadoras calificadas y autorizadas a nivel nacional.
- Ferrando, H., Martín, M., Molinero, P., López, J., & García, O. (2011). Estudio sobre las estrategias de promoción de la bicicleta en las ciudades españolas. Retrieved from <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/investigacion/estudios-e-informes/INFORME-ESTUDIO-SOBRE-LAS-ESTRATEGIAS-DE-PROMOCION-DE-LA-BICICLETA-9.pdf>
- García Pérez, A. (2014). *La interpretación de los datos: una introducción a la estadística aplicada*. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Giancoli, D. (2006). *Física. Principios y Aplicaciones* (Sexta). Pearson Education Inc.
- González, M. (2007). *Ideas y buenas prácticas para la movilidad sostenible*.
- González Calleja, D. (2015). *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares*. Ediciones Paraninfo S.A.
- Gordon Wilson, D. (2004). *Bicycling science* (Tercera). Londres.
- Guillespie, T. (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*.
- Heinzmann. (2013). Downtube battery. Retrieved from [http://www.ebike.heinzmann.com/images/ebikesystems/phocadownload/E-Bike-Downtube-Battery\\_DataSheet.pdf](http://www.ebike.heinzmann.com/images/ebikesystems/phocadownload/E-Bike-Downtube-Battery_DataSheet.pdf)
- Heinzmann. (2015). DirectPower PRA 180-30. Retrieved from <http://www.ebike.heinzmann.com/en/systems/directpower/motor>
- Heinzmann. (2016). E-bike systems. Retrieved from <http://www.ebike.heinzmann.com/en/systems/directpower/motor>
- HEM Data. (2016). OBD mini Logger. Retrieved from <http://www.hemdata.com/products/dawn/obd-mini-logger>
- Híbridos y eléctricos. (2013). La bicicleta eléctrica. Retrieved from <http://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/la-bicicleta-electrica/20130403132157005368.html>
- Hyundai Motor Company. (2004). 2004 Owner's Manual Accent. *2004 Owner's Manual Accent*. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hyundai Motor Company. (2016). Sonata hybrid. Retrieved from <http://www.hyundai.com.pe/sonata-hibrido-de-hyundai.php?Cars=50&type=one>
- Jakovcevic, A., Franco, P., Visona Dalla Pozza, M., & Ledesma, R. (2015). Percepción de los beneficios individuales del uso de la bicicleta compartida como modo de

- transporte. *Suma Psicológica*, 1–9. <http://doi.org/10.1016/j.sumpsi.2015.11.001>
- JCDecaux. (2016). Cyclocity. Retrieved from <http://en.cyclocity.com/index.php/Cyclocity-Scheme>
- Ji, S., Cherry, C. R., Han, L. D., & Jordan, D. A. (2014). Electric bike sharing: Simulation of user demand and system availability. *Journal of Cleaner Production*, 85, 250–257. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.024>
- Junta de Andalucía. (2014). Plan andaluz de la bicicleta. PAB 2014-2020. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Kollner Labraña & Cia. Ltda. (n.d.). Errores de gps. Santiago. Retrieved from [www.kollnerlabrana.cl](http://www.kollnerlabrana.cl)
- Le Gourmett. (2016). Cálculo de kcal. Principales Alimentos que Componen Nuestra Dieta y Sus Calorías Asociadas. Retrieved from <http://www.legourmett.cl/tabla-de-calorias-de-alimentos.html>
- Lemire-Elmore, J. (2004). The Energy Cost of Electric and Human-Powered Bicycles. *Lithium*.
- MacArthur, J., Dill, J., & Person, M. (2014). E-Bikes in the North America: Results from an online survey. *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting*, 20. <http://doi.org/10.3141/2468-14>
- MAGRAMA. (2012). Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera 1990-2012, 2, 1–110. Retrieved from [http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/01\\_Combustión\\_en\\_la\\_producción\\_y\\_transformación\\_de\\_energía\\_-\\_VNC\\_tcm7-219781.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/01_Combustión_en_la_producción_y_transformación_de_energía_-_VNC_tcm7-219781.pdf)
- Manulife. (2016). BIXI. Retrieved from <https://montreal.bixi.com/en/who-we-are>
- Marcano, M., & Rodríguez, C. (2009). Metodología para la elaboración de estudios de planificación a mediano plazo de la red de distribución, 1–8.
- Martínez Moscoso, A. (2015, February 3). Cuenca ciudad sostenible. *El Mercurio*. Cuenca. Retrieved from <http://www.elmercurio.com.ec/466341-cuenca-ciudad-sostenible/#.Vv3fPuZUVX8>
- Medina Ramirez, S., & Veloz Rosas, J. (2012). *Guía de estrategias para la reducción del uso del auto en ciudades mexicanas*.
- Medio Ambiente y Naturaleza. (2016). Todo sobre las bicicletas eléctricas: tipos, motores, piezas, recomendaciones, etc. Retrieved from [http://medioambienteynaturaleza.com/consideraciones-y-tipos-de-bicicletas-electricas/#Que\\_son\\_las\\_bicicletas\\_electricas](http://medioambienteynaturaleza.com/consideraciones-y-tipos-de-bicicletas-electricas/#Que_son_las_bicicletas_electricas)
- Milton, J. S., & Arnold, J. C. (2004). *Probabilidad y estadística con aplicaciones para ingeniería y ciencias computacionales*. México: Mc Graw Hill.
- Minchala, F. (2015, December 30). Matriculación vehicular se incrementa en Cuenca. Retrieved from <http://www.eltiempo.com.ec/noticias-cuenca/174723-matriculacion-vehicular-se-incrementa-en-cuenca/>

- Ministerie Van Verkeer en Waterstaat. (2009). La bicicleta en los Países Bajos. Retrieved from <http://www.fietsberaad.nl/library/repository/bestanden/Labicicletaenpaiseshijos2009.pdf>
- Mode, E. (1990). *Elementos de probabilidad y estadística*. Reverté.
- Monzón, A., Rondinella, G., & Equipo Investigador PROBICI. (2010). *PROBICI. Guía de la Movilidad Ciclista. Métodos y técnicas para el fomento de la bicicleta en áreas urbanas*. Retrieved from [www.idae.es/nhttp://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_LibroProBici-GuiaBici-web1\\_1\\_f17cebb2.pdf](http://www.idae.es/nhttp://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_LibroProBici-GuiaBici-web1_1_f17cebb2.pdf)
- Morales Vallejo, P. (2009). *Estadística aplicada a las ciencias sociales*. Editorial Pontificia Comillas.
- Mostafavi, M., & Doherty, G. (2014). *Urbanismo ecológico. Volumen 8. Movilizar. Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 8). Gustavo Gili. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Movere. (2014). Red de ciclovías urbanas de Cuenca. Retrieved from <http://movere.ec/soluciones-de-movilidad/41-dic/83-ciclovias-cuenca.html>
- Mukherjee, D. (2014). Effect of Pavement Conditions on Rolling Resistance. *American Journal of Engineering Research*, 3(7), 141–148. Retrieved from [http://www.ucprc.ucdavis.edu/P-LCA/pdf/08\\_rollingresistance\\_web.pdf](http://www.ucprc.ucdavis.edu/P-LCA/pdf/08_rollingresistance_web.pdf)
- Municipalidad de Cuenca. (2015). Informe de calidad de aire Cuenca-2015, I. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Municipalidad de Cuenca. (2015). Plan de Movilidad y Espacios Públicos.
- Municipalidad de Cuenca. (2015). Plan de Movilidad y Espacios Públicos: Plan Operativo de Bicicletas.
- Nigro, N., Filippini, G., & Junco, S. (2005). Estudio del comportamiento dinámico de vehículos terrestres utilizando la técnica de bond graphs, XXIV, 1559–1582.
- One Car. (2016). Car One. Retrieved from <http://chevrolet.carone.com.ar/captiva/2-4-n-ls-mt/ficha-tecnica/>
- ONU. (1993). *Introducción a la ergonomía forestal para países en desarrollo*.
- Orellana, F., & Padilla, F. (2012). *Implementación de un supercargador de aire en el motor del vehículo Chevrolet modelo Corsa 1.8 l*. Universidad del Azuay. Retrieved from <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/1422/1/09590.pdf>
- Paul, F., & Bogenberger, K. (2014). Evaluation-method for a Station Based Urban-pedelec Sharing System. *Transportation Research Procedia*, 4, 482–493. <http://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.11.037>
- Pérez, A., Rodríguez, P., Sancho, J., & Sánchez, F. (2007). *Mantenimiento mecánico de máquinas*. Universitat Jaume.
- Pérez Montiel, H. (2015). *Física general*. México: Grupo Editorial Patria.
- Pesántes, M. (2012). *Confort Térmico en el área social de una vivienda unifamiliar en*

- Cuenca-Ecuador*. Universidad de Cuenca. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/393/1/tesis.pdf>
- Pew Center on Global Climate Change. (2009). Hydropower. Retrieved from [http://www.circleofblue.org/wp-content/uploads/2010/10/Hydropower10-09\\_FINAL\\_cleanPDF.pdf](http://www.circleofblue.org/wp-content/uploads/2010/10/Hydropower10-09_FINAL_cleanPDF.pdf)
- Pinto Alvaro, N., Fuentes, F., & Alcivar, D. (2015). La situación de la bicicleta en Ecuador : avances , retos y perspectivas.
- Placervial.com. (2016). Chevrolet Luv Dmax 4x4 - Prueba de manejo en Placervial.com. Retrieved from <http://www.placervial.com/2/chevrolet/232-chevrolet-dmax-4x4-prueba-de-manejo-en-placervialcom>
- Pucher, J., & Buehler, R. (2012). *City Cycling*. MIT Press. Retrieved from <http://site.ebrary.com/lib/uazuay/detail.action?docID=10614103>
- QUITO Agencia Metropolitana de Tránsito. (2015). Pico y Placa. Retrieved from <http://www.amt.gob.ec/index.php/pico-placa-homepage.html>
- Racelogic. (2014). VBOX SPORT, (10).
- Rodas, M. (2016). El porcentaje principal del presupuesto municipal es para transporte público.
- Sánchez, S., Green, J., Orjuela, J. P., & Klakamp, J. (2013). Metodologías para la estimación de emisiones de transporte urbano de carga y guías para la recopilación y organización de datos. *Clean Air Institute*.
- Sanz, S. (2003). *Motores*. Madrid: Editorial Editex S.A.
- Sarabia Alegría, J., & Pascual Sáez, M. (2007). *Curso básico de estadística para economía y administración de empresas*. Editorial Universidad de Cantabria.
- Segovia Albarracín, D. B. (2007). *Diseño ,construcción e instalación de un sistema de control de alineación al paso para vehículos livianos*. Retrieved from <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3461/1/T-ESPEL-0229.pdf>
- Shephard, R. ., & Astrand, P. . (2000). *La resistencia en el deporte*. Editorial Paidotribo.
- Sovran, G., & Blaser, D. (2003). A Contribution to Understanding Automotive Fuel Economy and Its Limits. *SAE International*, (724), 26.
- Spark Mobility. (2014). E-bike sharing: making mobility easy. Retrieved from <http://www.sparkmobility.eu/solutions/e-bike-sharing>
- Suárez, M., & Tapia, F. (2012). *Interaprendizaje de estadística básica*. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- The-Blueprints.com. (2016). The-Blueprints.com. Retrieved from [www.the-blueprints.com](http://www.the-blueprints.com)
- Tipler, P., & Mosca, G. (2006). *Física para la ciencia y la tecnología*. Editorial Reverté S.A.
- TopSpeed. (2014). 2014 Chevrolet Captiva Sport. Retrieved from

<http://www.topspeed.com/cars/chevrolet/2014-chevrolet-captiva-sport-ar159712.html>

Toyota. (2009). Yaris Sedan. *Group*.

US-EPA. (2008). Average Annual Emissions and Fuel Consumption for Gasoline-Fueled Passenger Cars and Light Trucks. *Epa420, F-08(024)*, 1–6. <http://doi.org/EPA420-F-08-024>

US-EPA. (2014). Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories, (April), 1–5.

US-EPA. (2016). [www.ahorremosgasolina.org](http://www.ahorremosgasolina.org). Retrieved from <http://www.fueleconomy.gov/feg/esIndex.shtml>

VAIC. (2016). ¿Que es una bicicleta eléctrica? Retrieved from <http://www.vaic.com/es/que-es-una-bicicleta-electrica>

Vargas, R. (2007). *Diccionario de Teoría del Entrenamiento Deportivo*. Universidad Nacional Autónoma de México.

VisitDenmark. (2016). Copenhagen sobre dos ruedas. Retrieved from <http://www.visitdenmark.es/es/copenhague/naturaleza/copenhague-sobre-dos-ruedas>

Vlakveld, W. P., Twisk, D., Christoph, M., Boele, M., Sikkema, R., Remy, R., & Schwab, A. L. (2014). Speed choice and mental workload of elderly cyclists on e-bikes in simple and complex traffic situations: A field experiment. *Accident Analysis and Prevention, 74*, 97–106. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2014.10.018>

Weber, T., Scaramuzza, G., & Schmitt, K. U. (2014). Evaluation of e-bike accidents in Switzerland. *Accident Analysis and Prevention, 73*, 47–52. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2014.07.020>

Wei, L., Xin, F., An, K., & Ye, Y. (2013). Comparison Study on Travel Characteristics between Two Kinds of Electric Bike. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 96*(Cictp), 1603–1610. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.182>

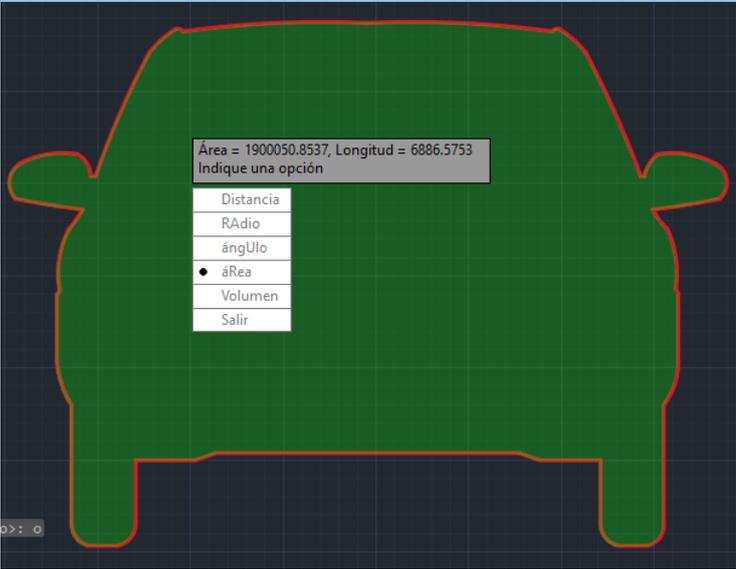
Wilson, J., & Buffa, A. (2003). *Física* (Quinta). Pearson Education Inc.

Wong, J. Y. (2001). *Theory of ground Vehicles. Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

## ANEXOS

Anexo 1: Características técnicas de vehículos utilizados en levantamiento de datos.

Anexo 1a: Características técnicas Hyundai Accent.

Detalle	Especificación
<b>Motor</b>	
Cilindrada [cc]	1600
Potencia [hp@rpm]	105@5800
Torque [Nm@rpm]	143@4500
Tipo de motor	4 cilindros en línea DOHC
Diámetro x Carrera [mm]	76,5 x 87
Orden de encendido	1-3-4-2
<b>Dimensiones</b>	
Longitud total [mm]	4260
Anchura total [mm]	1680
Altura [mm]	1395
Peso [Kg]	1039
Neumáticos	P185/60 R14
<b>Consumo de combustible</b>	
MPG	[lit/100 km]
25	9.41
<b>Coefficiente de arrastre</b>	
Área frontal	1.90 m <sup>2</sup>
	
Fuente: Ecomodder, 2016; Hyundai Motor Company, 2004; US-EPA, 2016	

Anexo 1b: Características técnicas Hyundai Sonata.

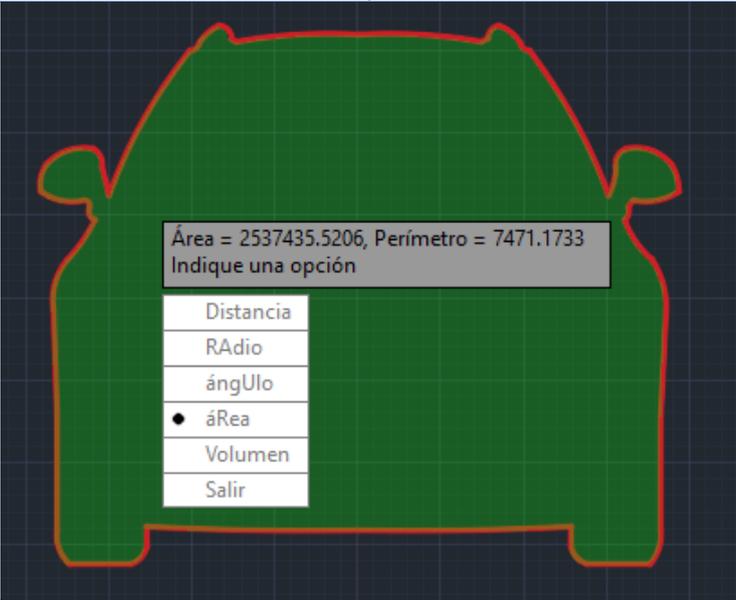
Detalle	Especificación
<b>Motor</b>	
Cilindrada [cc]	2400
Potencia [hp@rpm]	159/5800
Torque máximo [Nm@rpm]	219/4250
Tipo de motor	4 cilindros en línea
Diámetro x Carrera [mm]	88 x 97
Orden de encendido	1-3-4-2
<b>Dimensiones</b>	
Longitud total [mm]	4820
Anchura total [mm]	1835
Altura [mm]	1465
Peso [Kg]	1463
Neumáticos	P235/40 R18
<b>Consumo de combustible</b>	
MPG	[lit/100 km]
25	9.41
<b>Coefficiente de arrastre</b>	0.32
<b>Área frontal</b>	2.15 m <sup>2</sup>
Fuente: Arpem, 2016; Ecomodder, 2016; Hyundai Motor Company, 2016; US-EPA, 2016	

Anexo 1c: Características técnicas Toyota Yaris.

Detalle	Especificación
<b>Motor</b>	
Cilindrada [cc]	1300
Potencia [hp@rpm]	99.5/6000
Torque máximo [Nm@rpm]	132/3800
Tipo de motor	4 cilindros en línea
Diámetro x Carrera [mm]	72.4 x 80.5
Orden de encendido	1-3-4-2
<b>Dimensiones</b>	
Longitud total [mm]	4300
Anchura total [mm]	1690
Altura [mm]	1460
Peso [Kg]	1040
Neumáticos	P185/60 R15
<b>Consumo de combustible</b>	
MPG	[lit/100 km]
29	8.11
<b>Coefficiente de arrastre</b>	0.29
<b>Área frontal</b>	1.97 m <sup>2</sup>
Fuente: Arpem, 2016; Ecomodder, 2016; Toyota, 2009; US-EPA, 2016	

## Anexo 1d: Características técnicas Chevrolet Captiva.

Detalle	Especificación
<b>Motor</b>	
Cilindrada [cc]	2400
Potencia [hp@rpm]	182@6700
Torque [Nm@rpm]	232@4900
Tipo de motor	4 cilindros en línea DOHC
<b>Dimensiones</b>	
Longitud total [mm]	4673
Anchura total [mm]	1849
Altura [mm]	1727
Peso [Kg]	1720
Neumáticos	P225/60 R17
<b>Consumo de combustible</b>	
MPG	[lit/100 km]
23	10.23
<b>Coefficiente de arrastre</b>	
Área frontal	2.53 m <sup>2</sup>

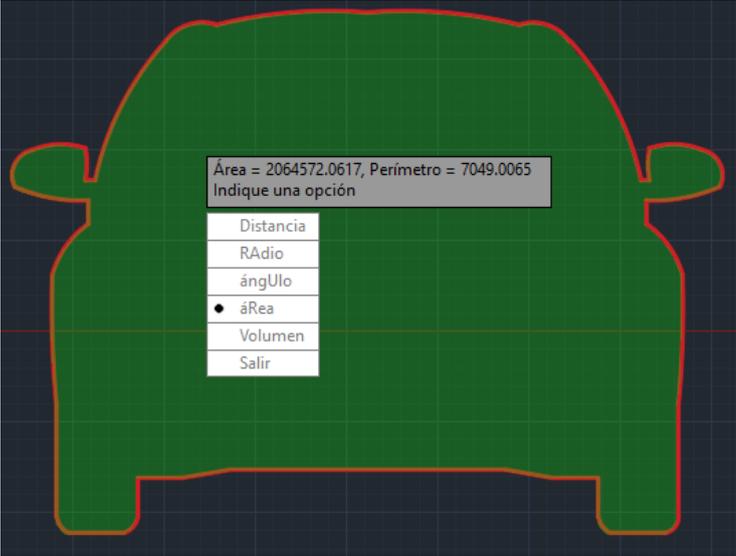
  


Área = 2537435.5206, Perímetro = 7471.1733  
Indique una opción

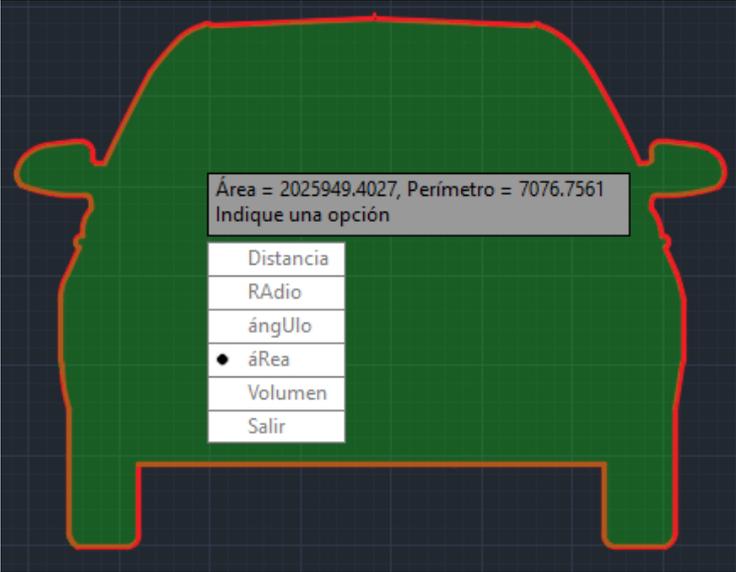
- Distancia
- RAdio
- ángUlo
- áRea
- Volumen
- Salir

Fuente: Chevrolet, 2016; One Car, 2016; TopSpeed, 2014; US-EPA, 2016

## Anexo 1e: Características técnicas Aveo Emotion.

Detalle	Especificación
<b>Motor</b>	
Cilindrada [cc]	1600
Potencia [hp@rpm]	103/6000
Torque máximo [Nm@rpm]	144.1/3600
Tipo de motor	4 cilindros en línea
Diámetro x Carrera [mm]	79 x 81.5
Orden de encendido	1-3-4-2
<b>Dimensiones</b>	
Longitud total [mm]	4310
Anchura total [mm]	1710
Altura [mm]	1495
Peso [Kg]	1190 (Pesado en bascula)
Neumáticos	P185/60 R14
<b>Consumo de combustible</b>	
MPG	[lit/100 km]
27	8.718
<b>Coefficiente de arrastre</b>	0.32
<b>Área frontal</b>	2.06 m <sup>2</sup>
	
Fuente: Chevrolet, 2013; Ecomodder, 2016; US-EPA, 2016	

## Anexo 1f: Características técnicas Aveo Activo.

Detalle	Especificación	
<b>Motor</b>		
Cilindrada [cc]	1600	
Potencia [hp@rpm]	103/6000	
Torque máximo [Nm@rpm]	144.1/3600	
Tipo de motor	4 cilindros en línea	
Diámetro x Carrera [mm]	79 x 81.5	
Orden de encendido	1-3-4-2	
<b>Dimensiones</b>	<b>Sedan</b>	<b>Hatchbach</b>
Longitud total [mm]	4235	3880
Anchura total [mm]	1670	1670
Altura [mm]	1495	1495
Peso [Kg]	1190 (Peso báscula)	1170 (Peso báscula)
Neumáticos	P185/60 R14	P185/60 R14
<b>Consumo de combustible</b>		
MPG	[lit/100 km]	
27	8.71	
<b>Coefficiente de arrastre</b>	0.32	
<b>Área frontal</b>	2.02 m <sup>2</sup>	
		
Fuente: Autor, 2016; Chevrolet, 2011; US-EPA, 2016		

Anexo 1g: Características técnicas Tucson IX.

Detalle	Especificación
<b>Motor</b>	
Cilindrada [cc]	2000
Potencia [hp@rpm]	156/6200
Torque máximo [Nm@rpm]	192.2/4000
Tipo de motor	4 cilindros en línea
Diámetro x Carrera [mm]	81 x 97
Orden de encendido	1-3-4-2
<b>Dimensiones</b>	
Longitud total [mm]	4410
Anchura total [mm]	1820
Altura [mm]	1655
Peso [Kg]	1550 (Pesado en bascula)
Neumáticos	P225/60 R17
<b>Consumo de combustible</b>	
MPG	[lit/100 km]
26,14	9,75
<b>Coefficiente de arrastre</b>	0.33
<b>Área frontal</b>	2.45 m <sup>2</sup>



Fuente: Chevrolet, 2009b; Placervial.com, 2016; Autor

Anexo 1h: Características técnicas Corsa Evolution.

Detalle	Especificación
<b>Motor</b>	
Cilindrada [cc]	1800
Potencia [hp@rpm]	100.5/5200
Torque máximo [Nm@rpm]	164.4/2800
Tipo de motor	4 cilindros en línea
Orden de encendido	1-3-4-2
<b>Dimensiones</b>	
Longitud total [mm]	3822
Anchura total [mm]	1646
Altura [mm]	1432
Peso [Kg]	1225
Neumáticos	P185/60 R14
<b>Consumo de combustible</b>	
MPG	[lit/100 km]
25.7	9.14
<b>Coefficiente de arrastre</b>	0.32
<b>Área frontal</b>	1.88 m <sup>2</sup>
Fuente: Segovia Albarracín, 2007; Orellana & Padilla, 2012	

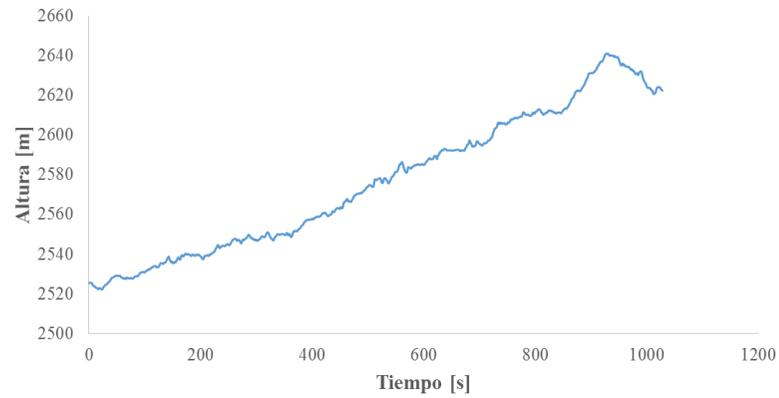
Anexo 1i: Características técnicas Gran Vitara.

Detalle	Especificación
<b>Motor</b>	
Cilindrada [cc]	2000
Potencia [hp@rpm]	126/6000
Torque máximo [Nm@rpm]	173.5/4300
Tipo de motor	4 cilindros en línea
Orden de encendido	1-3-4-2
<b>Dimensiones</b>	
Longitud total [mm]	4215
Anchura total [mm]	1780
Altura [mm]	1740
Peso [Kg]	1300
Neumáticos	P235/60 R16
<b>Consumo de combustible</b>	
MPG	[lit/100 km]
17	13.85
<b>Coefficiente de arrastre</b>	0.32
<b>Área frontal</b>	2.47 m <sup>2</sup>
Fuente: Chevrolet, 2007; US-EPA, 2016	

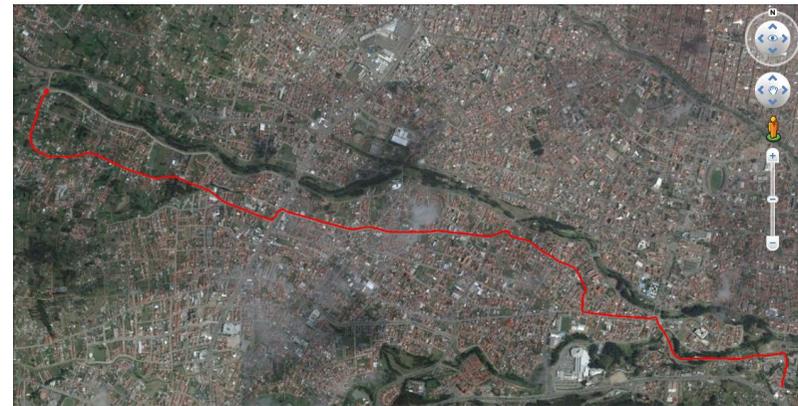
Anexo 2: Perfiles de elevación y rutas en Google Earth.

Anexo 2a: Perfil de elevación y ruta en Google Earth UDA-Pasos.

**Perfil de elevación**

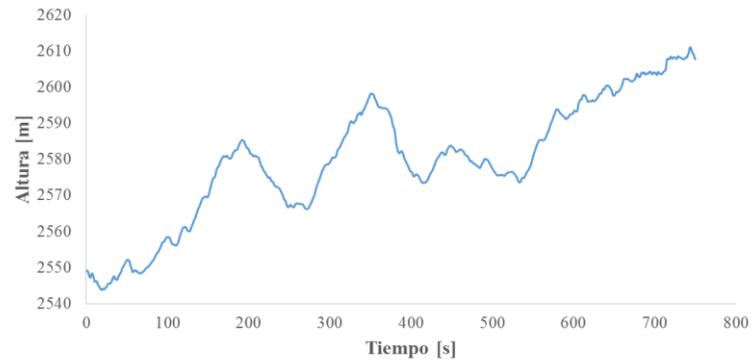


**Ruta Google Earth**



Anexo 2b: Perfil de elevación y ruta en Google Earth UDA- Colegio Borja.

**Perfil de elevación**

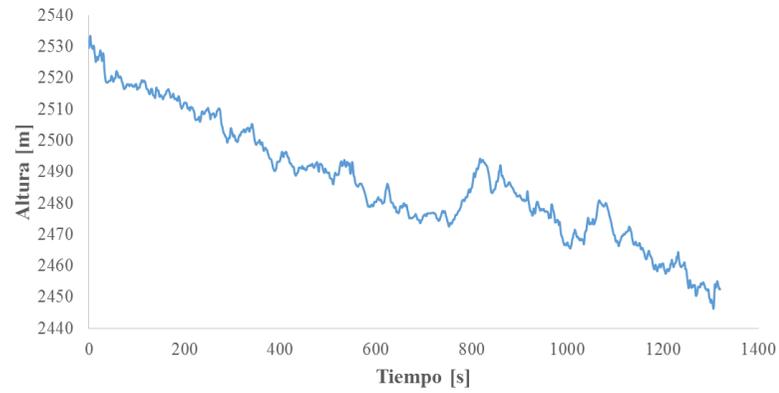


**Ruta Google Earth**



Anexo 2c: Perfil de elevación y ruta en Google Earth UDA-Redondel Cholas.

**Perfil de elevación**

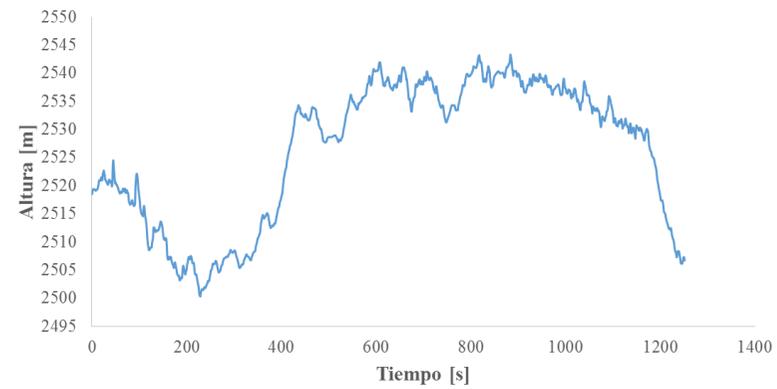


**Ruta Google Earth**



Anexo 2d: Perfil de elevación y ruta en Google Earth UDA-Graiman.

**Perfil de elevación**

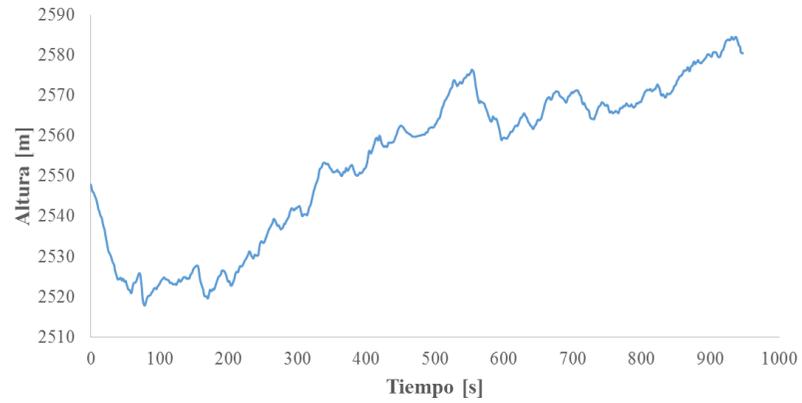


**Ruta Google Earth**



Anexo 2e: Perfil de elevación y ruta en Google Earth UDA-Supermaxi.

**Perfil de elevación**

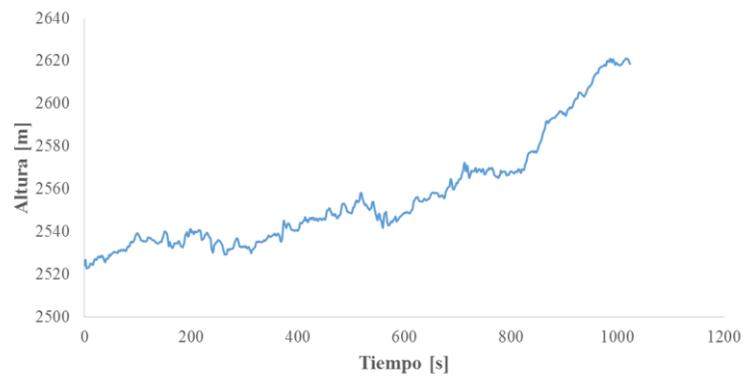


**Ruta Google Earth**



Anexo 2f: Perfil de elevación y ruta en Google Earth UDA-U. Católica.

**Perfil de elevación**



**Ruta Google Earth**



Anexo 3: Modelos de plantillas.

Anexo 3a: Modelo de plantilla resumen.

Vehículo													
Ruta:	UDA- Supermaxi						Fecha:	sábado, 4 de Junio de 2016					
# viaje	Tiempo	Distancia	Altura	Energía + [1]	Energía + [2]	Emisión CO	Emisión NOx	Emisión CO <sub>2</sub>	Emisión PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	
[-]	[min]	[km]	[m]	[kWh]	[kWh]	[gr/recomido]	[gr/recomido]	[gr/recomido]	[gr/recomido]	[gr/recomido]	[gr/recomido]	[gr/recomido]	
1	13,05	5,48	68,09	3,80	2,92	32,01	2,36	1254,70	0,01	0,01	0,012	0,06	
2	15,67	5,53	63,96	4,60	3,54	32,32	2,38	1266,74	0,01	0,01	0,012	0,06	
3	20,78	5,51	68,16	4,22	3,25	32,18	2,37	1261,43	0,01	0,01	0,012	0,06	
4	13,77	5,31	58,69	3,09	2,38	30,99	2,28	1214,57	0,01	0,01	0,012	0,06	
5	11,90	5,29	62,74	3,63	2,79	30,91	2,28	1211,36	0,01	0,01	0,012	0,06	
6	12,90	5,33	63,63	3,32	2,56	31,12	2,29	1219,92	0,01	0,01	0,012	0,06	
7	16,18	6,50	91,12	7,39	5,69	37,94	2,79	1486,92	0,02	0,02	0,014	0,07	
8	19,18	6,47	83,02	5,78	4,44	37,77	2,78	1480,55	0,02	0,02	0,014	0,07	
9	18,97	6,45	83,45	6,42	4,94	37,67	2,77	1476,44	0,02	0,02	0,014	0,07	
10	19,87	6,29	91,91	6,03	4,64	36,74	2,70	1439,93	0,02	0,02	0,014	0,07	
11	17,75	6,24	99,17	5,59	4,30	36,44	2,68	1428,47	0,02	0,02	0,014	0,07	
12	18,27	6,31	99,96	5,42	4,17	36,86	2,71	1444,71	0,02	0,02	0,014	0,07	
13	14,55	5,35	74,65	2,39	1,84	31,23	2,30	1224,09	0,01	0,01	0,012	0,06	
14	13,42	5,35	69,74	3,06	2,36	31,23	2,30	1224,16	0,01	0,01	0,012	0,06	
15	13,87	5,35	61,97	3,04	2,34	31,22	2,30	1223,55	0,01	0,01	0,012	0,06	
16	16,25	5,36	67,44	2,58	1,98	31,28	2,30	1225,99	0,01	0,01	0,012	0,06	
17	12,42	5,31	59,04	2,26	1,74	31,02	2,28	1215,81	0,01	0,01	0,012	0,06	
18	15,42	5,10	61,97	2,07	1,59	29,76	2,19	1166,27	0,01	0,01	0,011	0,05	
<b>Promedio</b>	15,79	5,70	73,82	4,15	3,19	33,26	2,45	1303,64	0,02	0,01	0,01	0,06	
<b>Desviación estándar</b>	2,78	0,51	13,94	1,61	1,23	2,96	0,22	116,18	0,00	0,00	0,00	0,01	
<b>Intervalo de confianza inferior</b>	1,38	0,25	6,93	0,80	0,61	1,47	0,11	57,78	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>superior</b>	17,17	5,95	80,75	4,95	3,81	34,73	2,56	1361,42	0,02	0,01	0,01	0,06	
<b>Coficiente de variación</b>	0,18	0,09	0,19	0,39	0,39	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
<b>Resultados generales</b>	15,79 ± 1,38	5,70 ± 0,25	73,82 ± 6,93	4,149 ± 0,798	3,192 ± 0,614	33,26 ± 1,47	2,45 ± 0,11	1303,64 ± 57,78	0,02 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,06 ± 0,00	

Anexo 3b: Modelo de plantilla de comparación.

	Tiempo	Distancia	Altura	Energía + [1]	Energía + [2]	Emisión CO	Emisión NOx	Emisión CO <sub>2</sub>	Emisión PM <sub>10</sub>	Emisión PM <sub>2,5</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	Costo					
	[min]	[km]	[m]	[kWh]	[kWh]	[gr/recorrido]	[gr/recorrido]	[gr/recorrido]	[gr/recorrido]	[gr/recorrido]	[gr/recorrido]	[gr/recorrido]	Extra	0,2055				
Vehículo	15,79	5,70	73,82	4,149	3,192	33,26	2,45	1303,64	0,0154	0,0142	0,0125	0,0609	Super	0,3214				
E-bike	17,43	5,80	73,98	0,088	0,070	0,03	0,03	0,37	0,29	24,21	19,11	0,0096	0,0075	0,0096	0,0075	Subsidio	0,0035	0,0028
Bicicleta	29,47	5,21	69,50	0,315		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	301-350	0,0091	0,0072
																>3500	0,0603	0,0476

Anexo 3c: Modelo de plantilla individual para vehículo, bicicleta eléctrica o bicicleta convencional.

**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

<b>Responsables</b> Santiago Ordoñez <b>Fecha:</b> 27/6/2016	<b>Vehículo</b> Marca: Specialized Modelo: Heinzmann Año: 2016 Potencia: 500 W Placa: [-]	<b>Ruta</b> Inicio: UDA Fin: U.Católica <b>GPS</b> VBOX Sport	<b>Parámetros de vehículo</b> <b>M</b> 81,00 [kg] <b>A</b> 0,55 [m²] <b>Cd</b> 1,15 [-] <b>Po</b> 75,00 [kPa] <b>To</b> 288,15 [K] <b>Ra</b> 0,23 [-] <b>paire</b> 0,30 [kgm²] <b>g</b> 9,81 [m/s²] <b>fr</b> 0,0060 [-] <b>rd</b> 0,33 [m]	<b>Totales</b> <b>E</b> 0,069 [kWh] <b>E+</b> 0,102 [kWh] <b>E-</b> -0,033 [kWh] <b>Tz</b> 11,74 [Nm = kJ] <b>Pz</b> 247,78 [kWh]
---	--	--	---	--

<b>Datos para pruebas lógicas</b>	<b>Limites velocidad</b> Lim. Superior 35 Lim. Inferior 0	<b>Limites aceleración</b> Bigote sup. 0,844 Bigote inf. -0,777	<b>Distancia</b> 6,85 [km] <b>Tiempo total</b> 17,07 [min] <b>Vmáx</b> 34,39 [km/h] <b>Vprom</b> 24,05 [km/h] <b>hmáx</b> 2621,11 [m.s.n.m] <b>hmín</b> 2522,78 [m.s.n.m] Δh 98,33 [m.s.n.m]	RECM <b>0,2160</b> suma² <b>442,01</b>
-----------------------------------	---	---	--	--

Tiempo	Velocidad	Velocidad vel. suavizada	Vel. Prueba vel. Filtrad.	Altura	Alt. suavizada	Alt. Filtrad.	Alt. criterio	Latitud	Longitud	Heading	Distancia	Aceleración	Ace. suavizada	Ace. prueba	Ace. filtrada	Pendiente	Pendiente
[seg]	[km/h]	[m/s]	[lógica]	[m]	[m]	[m]	[m]			[°]	[m]	[m/s²]	[m/s²]	[m/s²]	[rad]	[°]	
0	0	0,00	0,00 VERDADERO	0	2524	2524,18	2524,18	-175,063	4740,078	0	0	0	0,00	0,00 VERDADERO	0,00	0	0
1	0,06	0,02	0,00 VERDADERO	0,06	2526	2524,18	2526,45	-175,062	4740,078	0	0,02	0,02	0,00	0,00 VERDADERO	0,02	0,000	0,00
2	0,35	0,10	0,01 VERDADERO	0,35	2527	2524,41	2526,72	-175,062	4740,077	0	0,10	0,08	0,01	0,01 VERDADERO	0,08	0,000	0,00
3	1,46	0,41	0,04 VERDADERO	1,46	2524	2524,64	2524,10	-175,062	4740,075	0	0,41	0,31	0,03	0,03 VERDADERO	0,31	0,000	0,00
4	6,56	1,82	0,18 VERDADERO	6,56	2523	2524,58	2522,78	-175,062	4740,077	252,83	1,82	1,42	0,11	0,11 FALSO	0,11	-0,810	-46,42
5	10,14	2,82	0,82 VERDADERO	10,14	2523	2524,40	2522,83	-175,063	4740,079	251,13	2,82	0,99	0,50	0,50 FALSO	0,50	0,018	1,02
6	12,31	3,42	1,75 VERDADERO	12,31	2523	2524,25	2522,93	-175,063	4740,08	246,98	3,42	0,60	0,65	0,65 VERDADERO	0,60	0,029	1,68
7	14,28	3,97	2,81 VERDADERO	14,28	2523	2524,11	2523,03	-175,064	4740,082	243,58	3,97	0,55	0,64	0,64 VERDADERO	0,55	0,025	1,44
8	16,23	4,51	3,96 VERDADERO	16,23	2523	2524,01	2523,28	-175,065	4740,084	239,65	4,51	0,54	0,61	0,61 VERDADERO	0,54	0,055	3,18
9	18,6	5,17	5,18 VERDADERO	18,60	2524	2523,93	2523,62	-175,067	4740,087	236,39	5,17	0,66	0,59	0,59 VERDADERO	0,66	0,066	3,77
10	18,98	5,27	6,52 VERDADERO	18,98	2524	2523,90	2524,22	-175,069	4740,089	234,26	5,27	0,11	0,61	0,61 VERDADERO	0,11	0,114	6,53
11	20,06	5,57	7,77 VERDADERO	20,06	2525	2523,93	2524,96	-175,07	4740,092	232,23	5,57	0,30	0,46	0,46 VERDADERO	0,30	0,133	7,63
12	20,12	5,59	9,00 VERDADERO	20,12	2525	2524,04	2525,05	-175,072	4740,094	231,14	5,59	0,02	0,41	0,41 VERDADERO	0,02	0,016	0,92
13	20,91	5,81	10,11 VERDADERO	20,91	2525	2524,14	2524,91	-175,074	4740,097	235,12	5,81	0,22	0,29	0,29 VERDADERO	0,22	-0,024	-1,38
14	19,72	5,48	11,19 VERDADERO	19,72	2525	2524,22	2524,64	-175,076	4740,099	243,22	5,48	-0,33	0,27	0,27 VERDADERO	-0,33	-0,049	-2,83
15	19,63	5,47	12,04 VERDADERO	19,63	2524	2524,26	2524,39	-175,077	4740,102	248,54	5,47	-0,01	0,09	0,09 VERDADERO	-0,01	-0,046	-2,62
16	19,43	5,40	12,81 VERDADERO	19,43	2524	2524,27	2524,44	-175,078	4740,105	254,58	5,40	-0,07	0,06	0,06 VERDADERO	-0,07	0,009	0,53
17	19,47	5,41	13,47 VERDADERO	19,47	2526	2524,29	2525,52	-175,078	4740,108	259,47	5,41	0,01	0,02	0,02 VERDADERO	0,01	0,201	11,52
18	20,25	5,63	14,07 VERDADERO	20,25	2526	2524,41	2526,46	-175,079	4740,111	261,54	5,63	0,22	0,02	0,02 VERDADERO	0,22	0,168	9,62

Anexo 4: Valor energético de alimentos por cada 100 gramos de porción.

Cereales y derivados	Valor energético [kcal]	Legumbres	Valor energético [kcal]
Arroz blanco	354	Arvejas secas	340
Arroz integral	350	Garbanzos	361
Avena	367	Habas secas	343
Cebada	373	Lentejas	336
Centeno	350	Poroto	316
Cereales con chocolate	358	Soja en grano	422
Cereales desayuno, con miel	386	<b>Huevos</b>	<b>Valor energético [kcal]</b>
Copos de maíz	350	Clara	48
Harina de maíz	349	Huevo duro	147
Harina de trigo integral	340	Huevo entero	162
Harina de trigo refinada	353	Yema	368
Pan de centeno	241	Bizcocho	456
Pan de trigo blanco	255	Croissant chocolate	469
Pan de trigo integral	239	Croissant, donut	456
Pan de trigo molde blanco	233	Galletas de chocolate	524
Pan de trigo molde integral	216	Galletas de mantequilla tipo "Danesas"	397
Pasta al huevo	368	Galletas saladas	464
Pasta de sémola	361	Magdalenas	469
Polenta	358	Pasta de hojaldre cocida	565
Sémola de trigo	368	Pastel de manzana	311
Yuca	338	Pastel de manzana, masa hojaldre	456
<b>Azúcares y dulces</b>	<b>Valor energético (kcal.)</b>	Pastel de queso	414
Azúcar	380	<b>Verduras y hortalizas</b>	<b>Valor energético (kcal.)</b>
Cacao en polvo con azúcar instantáneo	366	Aceitunas negras	349
Caramelos	378	Aceitunas verdes	132
Chocolate con leche	550	Acelgas	33
Chocolate sin leche	530	Ajos	169
Crema chocolate con avellanas	549	Alcachofas	64
Dulce de membrillo	215	Apio	20
Gomas de fruta	172	Arvejas	78
Helados de agua	139	Arvejas congeladas	71
Mermeladas con azúcar	280	Berenjena	29
Mermeladas sin azúcar	145	Berros	21
Miel	300	Brócoli	31
<b>Frutas</b>	<b>Valor energético (kcal.)</b>	Calabacín	31
Arándanos	41	Calabaza	24
Caqui	64	Cebolla	47
Cereza	47	Cebolla tierna	39
Chirimoya	78	Champiñón y otras cetas	28
Ciruela	44	Choclo	96
Ciruela seca	290	Cochayuyo	50
Coco	646	Col	28
Damasco	44	Col de Bruselas	54
Dátil	279	Coliflor	30
Dátil seco	306	Endibia	22
Durazno	52	Escarola	37
Durazno en almíbar	84	Espárragos	26
Frambuesa	40	Espárragos en lata	24
Fresas	36	Espinaca	32
Granada	65	Espinacas congeladas	25
Grosella	37	Habas tiernas	64
Higos	80	Hinojo	16
Higos secos	275	Lechuga	18
Kiwi	51	Maíz dulce en conserva	50
Limón	39	Nabos	29

Mandarina	40	Papas cocidas	86
Mango	57	Pepino	12
Manzana	52	Perejil	55
Melón	31	Pimiento	22
Mora	37	Porotos verdes	21
Naranja	44	Puerros	42
Nectarina	64	Puré de papas	357
Nísperos	97	Rábanos	20
Palta	167	Remolacha	40
Papaya	45	Repollo	19
Pera	61	Rúcula	37
Piña	51	Soja, Brotes de	50
Piña en almíbar	84	Tomate triturado en conserva	39
Plátano	90	Tomates	22
Pomelo	30	Trufa	92
Sandía	30	Zanahoria	42
Uva	81	Zumo de tomate	21
Uva pasa	324	<b>Frutos Secos</b>	<b>Valor energético (kcal.)</b>
Zumo de fruta	45	Almendras	620
Zumo de Naranja	42	Avellanas	675
<b>Lácteos y derivados</b>	<b>Valor energético (kcal.)</b>	Castañas	199
Cuajada	92	Maní	560
Flan de huevo	126	Nueces	660
Flan de vainilla	102	Piñones	660
Helados lácteos	167	Pistacho	581
Leche condensada c/azúcar	350	<b>Carnes, caza y embutidos</b>	<b>Valor energético (kcal.)</b>
Leche condensada s/azúcar	160	Bacon (Panceta ahumada)	665
Leche de cabra	72	Butifarra cocida	390
Leche de oveja	96	Butifarra, salchicha fresca	326
Leche descremada	36	Cabrito	127
Leche en polvo descremada	373	Cerdo, chuleta	330
Leche en polvo entera	500	Cerdo, hígado	153
Leche entera	68	Cerdo, lomo	208
Leche semi descremada	49	Charqui	110
Mousse	177	Chicharrón	601
Nata o crema de leche	298	Chorizo	468
Queso blanco desnatado	70	Ciervo	120
Queso Brie	263	Codorniz y perdiz	114
Queso camembert	312	Conejo, liebre	162
Queso cheddar	381	Cordero lechón	105
Queso crema	245	Cordero pierna	98
Queso de bola	349	Cordero, costillas	215
Queso de Burgos	174	Cordero, hígado	132
Queso de oveja	245	Faisán	144
Queso edam	306	Foie-Gras	518
Queso emmental	415	Gallina	369
Queso fundido untable	285	Hamburguesa	230
Queso gruyere	391	Jabalí	107
Queso manchego	376	Jamón	380
Queso mozzarella	245	Jamón cocido	126
Queso parmesano	393	Jamón crudo	296
Queso ricota	400	Jamón York	289
Queso roquefort	405	Lengua de vaca	191
Requesón	96	Lomo embuchado	380
Yogur desnatado	45	Mortadela	265
Yogur desnatado con frutas	82	Pato	200
Yogur enriquecido con nata	65	Pavo, Muslo	186

Yogur natural	62	Pavo, Pechuga	134
Yogur natural con fruta	100	Perdiz	120
<b>Pescados, mariscos y crustáceos</b>	<b>Valor energético (kcal.)</b>	Pies de cerdo	290
Almejas	50	Pollo, Hígado	129
Anchoas	175	Pollo, Muslo	186
Anguilas	200	Pollo, Pechuga	134
Arenque ahumado	209	Salamín	325
Arenque seco	122	Salchicha Frankfurt	315
Atún en lata con aceite vegetal	280	Salchichón	294
Atún en lata con agua	127	Ternera, bistec	181
Atún fresco	225	Ternera, chuleta	168
Bacalao fresco	74	Ternera, hígado	140
Bacalao salado remojado	108	Ternera, lengua	207
Bacalao seco	322	Ternera, riñón	86
Besugo	118	Ternera, sesos	125
Caballa	153	Ternera, solomillo	290
Calamar	82	Tira de asado	401
Cangrejo	85	Tripas	100
Caviar	233	Vacuno, Hígado	129
Congrio	112	<b>Bebidas</b>	<b>Valor energético (kcal.)</b>
Dorada	80	Agua ardiente	280
Gallo	73	Agua tónica	34
Gambas	96	Anís	312
Kani-Kama	80	Batido lácteo de cacao	100
Langosta	67	Cacao en polvo sin azúcar a la taza	439
Langostino	96	Café	1
Lenguado	73	Cerveza negra	37
Lubina	118	Cerveza rubia	45
Lucio	81	Champaña demi-sec	90
Mejillón	74	Champaña dulce	118
Merluza	86	Champaña seca	85
Mero	118	Coñac, brandy	243
Ostras	80	Crema de cacao	260
Pejerrey	87	Daiquiri	122
Pez espada	109	Gin & Tónica	76
Pulpo	57	Ginebra	244
Rodaballo	81	Leche de almendras	335
Salmón	172	Licor de caña	273
Salmón ahumado	154	Piña colada	194
Salmonete	97	Pisco	210
Sardina en lata con aceite vegetal	192	Refrescos carbonatados	48
Sardinas	151	Ron	244
Trucha	94	Sidra dulce	33
<b>Snacks</b>	<b>Valor energético (kcal.)</b>	Sidra seca	35
Barra de chocolate	441	Té	1
Maíz, palomitas	592	Vermouth amargo	112
Maíz, tiras fritas	459	Vermouth dulce	160
Papas fritas	544	Vino de mesa	70
<b>Aceites y grasas</b>	<b>Valor energético (kcal.)</b>	Vino dulce, jerez	160
Aceite de girasol	900	Vino oporto	160
Aceite de maíz	900	Vodka	315
Aceite de maní	900	Whisky	244
Aceite de oliva	900	<b>Salsas y condimentos</b>	<b>Valor energético (kcal.)</b>
Aceite de soja	900	Kétchup	98
Manteca	670	Mayonesa	718
Mantequilla	752	Mostaza	15
Margarina vegetal	752	Vinagres	8

Fuente: (Le Gourmet, 2016)