

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE MATRIZ CUENCA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero
Mecánico Automotriz**

ANÁLISIS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LOS VEHÍCULOS
DE CATEGORÍA M1 QUE CIRCULAN EN EL CENTRO HISTÓRICO
DE LA CIUDAD DE CUENCA EN HORAS DE MÁXIMA DEMANDA EN
FUNCIÓN DE CICLOS DE CONDUCCIÓN

AUTORES:

BRYAN ALEXANDER LIMA OYOLA

EDINSON JOSUÉ GÁLVEZ SANDOVAL

DIRECTOR:

ING. FREDY TACURI MOSCOSO

CUENCA, MAYO 2016

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Bryan Alexander Lima Oyola y Edinson Josué Gálvez Sandoval, declaramos bajo juramento que el trabajo descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Firma:



Bryan Alexander Lima Oyola



Edinson Josué Gálvez Sandoval

CERTIFICACIÓN

Que el siguiente trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LOS VEHÍCULOS DE CATEGORÍA M1 QUE CIRCULAN EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE CUENCA EN HORAS DE MÁXIMA DEMANDA EN FUNCIÓN DE CICLOS DE CONDUCCIÓN”**, Para la Línea de Planificación del Transporte, Seguridad y Gestión de la Movilidad del Grupo de Investigación de Ingeniería del Transporte de carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, realizado por los estudiantes Bryan Alexander Lima Oyola y Edinson Josué Gálvez Sandoval, fue dirigido por mi persona.



Ing. Fredy Tacuri Moscoso

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios quien supo guiarme y darme fuerzas para seguir adelante, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres Tania y Patricio por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos

A mi novia Adriana y a mi hijo Josué André, por ser una razón más para superarme día a día y poder alcanzar todas las metas que tengo en mente.

Josué Gálvez Sandoval

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado primeramente a Dios quien supo guiarme por buen camino y llenarme cada día de fortaleza para cumplir mi objetivo.

A mis padres Tito y Anita por brindarme su apoyo y confianza en todo momento, A mis hermanos Ingrid, Jair e Isaac quienes me apoyaron moralmente para culminar mis estudios.

A mi esposa Martha que me ha sabido tener paciencia durante todo este trayecto y vida universitaria y me ha dado su apoyo incondicional, a mi hijo Snyder que ha sido mi impulso de superación cada día.

Bryan Alexander Lima Oyola

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis primeramente nos gustaría agradecer a Dios por permitirme llegar hasta donde hemos llegado, por hacer realidad este sueño anhelado.

A nuestro director de tesis, Ing. Fredy Tacuri por su esfuerzo y dedicación, quien sus conocimientos, su experiencia y su paciencia ha logrado que terminemos este proyecto con éxito.

De igual manera agradecer al profesor de la línea de investigación, Ing. Javier Vásquez, por su visión crítica de muchos aspectos del proyecto, por sus consejos que ayudaron a la culminación de este trabajo.

También nos gustaría agradecer a los profesores y al personal que labora en los laboratorios de Mecánica Automotriz que durante toda la carrera profesional han aportado con un granito de arena a nuestra formación como profesionales.

Josué Gálvez Sandoval, Bryan Lima Oyola

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD	ii
CERTIFICACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
1. Introducción	1
2. Problema	2
2.1 Antecedentes.....	2
2.2 Importancia y alcances	2
2.3 Delimitación	4
3. Objetivos	4
3.1 Objetivo general.....	4
3.2 Objetivos específicos	4
4. Fundamentos Teóricos	4
4.1 Combustibles	5
4.1.1 Tipos de combustibles	5
4.1.1.1 La Gasolina	5
4.1.1.2 El Diésel.....	8
4.1.1.3 GLP (gas licuado de petróleo).....	8
4.2 Combustibles en el Ecuador	9

5.2.6.1 Equipos y herramientas utilizados para la obtención del consumo de combustible	34
5.2.7 Obtención de los ciclos de conducción.....	35
5.2.7.1 Equipos y herramientas utilizados para la obtención de los ciclos de conducción	39
5.2.8 Procedimiento para la adquisición de datos.....	39
5.2.9 Utilización del banco dinamométrico para la simulación de los ciclos de conducción obtenidos.....	40
5.3 Método Analítico y Objetivo	42
5.3.1 Validación de los consumos de combustibles obtenidos en los movimientos realizados en el Centro Histórico según las pruebas establecidas	42
5.3.2 Validación de los consumos de combustibles obtenidos en los movimientos realizados en el Centro Histórico según el vehículo utilizado	42
6. Análisis de resultados	43
6.1 Consumos de combustibles obtenidos dentro del Centro Histórico	43
6.2 Resultados de la validación de los consumos obtenidos mediante análisis de varianza ANOVA	45
6.3 Consumos obtenidos en el banco dinamométrico en función de los ciclos de conducción	45
6.4 Tiempos promedios obtenidos en el Centro Histórico en función de los movimientos realizados.	47
6.5 Consumo de combustibles obtenidos en el Centro Histórico en función de los movimientos realizados	47
6.6 Consumo de combustibles obtenidos en el banco dinamométrico en función de los ciclos de conducción.	49
6.7 Comparación de los consumos de combustibles obtenidos en Centro Histórico y el banco dinamométrico en función de los vehículos utilizados.	50
6.8 Costo generado al transitar por el Centro Histórico en función de los vehículos utilizados	51

6.9 Ciclos de conducción urbano.....	52
7. Conclusiones	53
8. Recomendaciones	54
9. Referencias bibliográficas.....	55
10. Anexos	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Vehículos matriculados en 2012, clasificados por uso y tipo de combustible	11
Tabla 2. Cantidad de combustibles despachados a estaciones de servicio en el año 2012.....	12
Tabla 3. Datos del Vehículo Suzuki Forza 1.0L.....	21
Tabla 4. Datos del vehículo Peugeot 206 1.6L.....	22
Tabla 5. Datos del vehículo Chevrolet Optra 1.8L.....	22
Tabla 6. Datos del vehículo Mitsubishi Montero 3.0L	23
Tabla 7. Descripción detallada de los movimientos establecidos	32
Tabla 8. Consumos obtenidos en el Centro Histórico. Vehículo<1000cc	43
Tabla 9. Selección de los consumos de las pruebas.....	43
Tabla 10. Consumos seleccionados del Centro Histórico	44
Tabla 11. Validación de consumos. Prueba ANOVA.....	45
Tabla 12. Consumos obtenidos en el Banco Dinamométrico	46
Tabla 13. Consumos en el Centro histórico	48
Tabla 14. Consumos promedios en el Centro Histórico	49
Tabla 15. Consumos en el Banco Dinamométrico	50
Tabla 16. Costos generados al transitar dentro del Centro Histórico de la ciudad de Cuenca.....	51
Tabla 17. Costos Finales	51
Tabla 18. Operaciones del ciclo de conducción urbano.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Combustión Teórica.....	7
Figura 2. Evolución histórica del consumo energético en el Ecuador en millones de BEP.....	10
Figura 3. Ciclo de manejo del proyecto ARTEMIS en vía urbana (superior) y rural (inferior).....	15
Figura 4. Ciclo de conducción FTP.....	16
Figura 5. Ciclo de conducción FTP.....	16
Figura 6. Ciclo de conducción JC08.....	17
Figura 7. Ciclo de conducción CUEDC.....	17
Figura 8. Ciclo de conducción para vehículos ligeros de la ciudad de Santiago de Chile.....	18
Figura 9. Ciclo de conducción europeos.....	19
Figura 10. Ciclo de conducción Japonés10-15.....	19
Figura 11. Suzuki Forsa 1.0L.....	21
Figura 12. Peugeot 206 1.6L.....	21
Figura 13. Chevrolet Optra 1.8L.....	22
Figura 14. Mitsubishi Montero 3.0L.....	23
Figura 15. Puntos críticos dentro del Centro Histórico.....	24
Figura 16. Movimiento 1.....	26
Figura 17. Movimiento 2.....	26
Figura 18. Movimiento 3.....	27
Figura 19. Movimiento 4.....	27
Figura 20. Movimiento 5.....	28
Figura 21. Movimiento 6.....	28
Figura 22. Movimiento 7.....	29
Figura 23. Movimiento 8.....	29
Figura 24. Movimiento 9.....	30
Figura 25. Movimiento 10.....	30
Figura 26. Movimiento 11.....	31
Figura 27. Movimiento 12.....	31
Figura 28. Tanque de combustible portátil.....	34
Figura 29. Balanza digital.....	35

Figura 30. Sensores disponibles en Matlab Mobile	35
Figura 31. Soporte de sensores en Matlab	36
Figura 32. Programación en Matlab	36
Figura 33. Activación del sensor de posición.....	37
Figura 34. Finalizar envío de datos.....	37
Figura 35. Programación en Matlab	38
Figura 36. Ciclo de conducción.....	38
Figura 37. Procedimiento para la obtención de datos.....	40
Figura 38. Tiempos promedios en el Centro Historio en función de los movimientos realizados.....	47
Figura 39. Consumo de combustible en litros/ minuto obtenidos en el Centro Histórico en función de los movimientos realizados	48
Figura 40. Consumos en el Banco Dinamométrico.	49
Figura 41. Comparación de los consumos de combustibles obtenidos en el Centro Histórico y el Banco Dinamométrico en función de los vehículos utilizado	50
Figura 42. Ciclo de conducción urbano	52

Resumen

La ciudad de Cuenca posee en la actualidad un gran problema con el tráfico vehicular que sigue aumentando año tras año y más aún dentro de la urbe, específicamente en el Centro Histórico de la Ciudad provocando altos congestionamiento y problemas de circulación tanto para los vehículos como para los peatones.

Unos de los factores que ha provocado un caos al circular dentro del Centro Histórico, es el continuo crecimiento que ha tenido el parque automotor, además de la creación del proyecto del “Tranvía de los Cuatro Ríos de Cuenca” que ha multiplicado este problema.

El proyecto de investigación plantea realizar un análisis de consumo de combustible en los vehículos de categoría M1 al circular dentro del Centro Histórico en horas de máxima demanda en función de los ciclos de conducción y obtener los costos generados al transitar dentro de la urbe.

Para el correcto desarrollo del proyecto la metodología se basa en una investigación documental, la misma que facilite la recopilación de datos e información encontrados en artículos, tesis, revistas, sitios web, publicaciones que permitan obtener un fundamento teórico los cuales agilicen el desarrollo del proyecto.

Se utiliza un método descriptivo y científico con la finalidad de determinar los equipos y herramientas de medición que se utiliza en el proyecto, donde se establecerá los vehículos utilizados para la adquisición de datos, la zona de análisis, las horas de máxima demanda y la metodología de adquisición de datos tanto para la medición del consumo de combustible como también la obtención de los ciclos de conducción además se hará uso de un banco dinamométrico con el fin de obtener nuevos valores de consumo y realizar una comparación entre ambas pruebas.

Por último se utiliza un método analítico y objetivo con la finalidad de realizar una correcta clasificación ordenada de los resultados obtenidos así como también la validación de los mismos.

Abstract

The city of Cuenca now has a big problem with vehicular traffic that continues to increase year after year and even more in the city, specifically in the historic city center leading to high congestion and traffic problems for both vehicles and pedestrians.

Some of the factors that has caused chaos to circulate within the Historic Center, is the continuous growth that has taken the fleet, and the creation of the project of “Tranvia de los Cuatro Rios de Cuenca” has multiplied this problem.

The research project presents an analysis of fuel consumption in vehicles of category M1 to circulate within the Historic Center in peak hours depending on drive cycle and get the costs incurred to move within the city.

For the correct development of the project methodology it is based on documentary research, the same to facilitate data collection and information found in articles, theses, magazines, websites, publications to obtain a theoretical foundation which speed up the development of the project .

A descriptive and scientific method is used in order to determine the methodology, equipment and measuring tools used in the project, where the vehicles used for data acquisition will be established, the test area, the hours of peak demand and the methodology of data acquisition for both the measurement of fuel consumption as well as obtaining driving cycles also will use a chassis dynamometer in order to obtain new consumption values and a comparison between the two tests.

Finally is used an analytical method and purpose in order to make a correct ordered ranking of the results obtained as well as validation of the same

1. Introducción

El presente trabajo de investigación se basa en el análisis de consumo de combustible de los vehículos de categoría M1 que circulan dentro del Centro Histórico de la ciudad de Cuenca en horas de máxima demanda en función de los ciclos de conducción, lo cual se realizará usando vehículos de diferente cilindrada que pertenezcan a la categoría mencionada, además se establecerá diferentes recorridos dentro del Centro Histórico con el fin de representar la circulación vehicular que este posee.

La medición de consumo de combustible se efectuará por cada recorrido o movimiento, realizando 3 pruebas por cada uno de estos, obteniendo un consumo promedio, el mismo que se conseguirá a través de la masa de combustible consumida.

Los ciclos de conducción se desarrollarán por cada recorrido y prueba, lo cual se obtendrán mediante software y aplicaciones informáticas.

Se utilizará el banco dinamométrico donde se montarán los vehículos utilizados en las pruebas anteriores, con el objetivo de tener nuevos consumos mediante la simulación de los ciclos de conducción, donde se tratará de ejecutar el comportamiento de los mismos.

Se desarrollará una comparación y análisis de los consumos obtenidos tanto en los recorridos o movimiento dentro del Centro Histórico como en el banco dinamométrico.

Finalmente, con los valores de consumos obtenidos en el Centro Histórico se establece un consumo promedio y el costo generado al circular dentro de la urbe en función de los rangos de cilindraje, obteniendo para los vehículos ≤ 1000 cc, un consumo de 0,12 L/km con un costo de 4,8 ctvs/km; para los vehículos entre 1000 cc y 1600 cc, un consumo de 0,15 L/km con un costo de 6 ctvs/km; para los vehículos entre 1600 cc y 2000 cc, un consumo de 0,18 L/km con un costo de 7,3 ctvs/km; y para los vehículos > 2000 cc, un consumo de 0,34 L/km con un costo de 13,2 ctvs/km. Estos son los consumos y costos obtenidos al circular con vehículos de diferente cilindrada en horas de máxima demanda en el Centro Histórico.

2. Problema

2.1 Antecedentes

La ciudad de Cuenca ha sufrido año tras año un incremento del parque automotor ascendiendo a 100.000 vehículos con una tasa de crecimiento del 10 al 11 % anual, es decir que cada año se presentará un crecimiento aproximado de 10.000 vehículos, provocando diferentes molestias tanto en los conductores que circulan día a día dentro de la ciudad de Cuenca, como también a los peatones que utilizan estas vías para desplazarse a diferentes lugares. (El Mercurio, 2014).

El incremento anteriormente establecido genera congestión vehicular, principalmente en el Centro Histórico, puesto que la mayoría de las calles en el mismo son las más transitadas, teniendo un registro de 15 calles conflictivas por el ingreso aproximado de 90.000 vehículos entre transporte público y privado que circulan diariamente en la urbe. (El Mercurio, 2014).

Además existe otro factor que es la subocupación de vehículos por familia, en cada hogar se registran de dos a tres vehículos, y todos son utilizados a diario, esto por la facilidad que prestan las concesionarias para la obtención de un automotor, acompañado también de la posibilidad económica de los ciudadanos. (La Tarde, 2014).

Actualmente la Ciudad se encuentra con el proyecto de implementación de un transporte masivo de personas denominado “Tranvía de los Cuatro Ríos de Cuenca”, lo cual ha generado la reducción de algunas vías. Esto ha provocado un mayor congestionamiento y tráfico vehicular, ocasionando a los conductores demoras más significativas dentro de estas calles produciendo una variación en el consumo de combustible.

2.2 Importancia y alcances

El Centro Histórico es la zona visitada con mayor frecuencia, debido a que en esta se encuentra equipamientos de carácter administrativos y legislativos, que no pueden encontrarse en otras áreas de la Ciudad, por lo que la ciudadanía se ve obligada a trasladarse al Centro Histórico para realizar sus diferentes gestiones, esto se plasma sin dudas dentro de las calles ,tanto por el uso del vehículo privado como también con el transporte público; y además porque es un área de características especiales y de singular valor patrimonial. El principal motivo por el cual la ciudadanía visita el Centro Histórico

es por trabajo con un 49%; seguido por motivo de gestiones con 17 %; compras con un 15%; estudios con un 12% y finalmente por ocio con un 7%. (Plan de Movilidad y Espacios Públicos, 2015).

Es durante días laborables que se registran el mayor número de vehículos privados circulando por las calles del centro histórico, sobre todo en horarios de entrada y salida del trabajo y de centros educativos, por lo cual el tráfico al medio día se intensifica por que el horario de almuerzos coincide con la salida de escuelas y colegios, lo que generará una movilización masiva de gente que desea llegar a su destino. (Plan de Movilidad y Espacios Públicos, 2015).

Además se analiza el modo de transporte al Centro Histórico, donde el transporte público tanto convencional como integrado, es el empleado con mayor frecuencia con un 40 %; en segundo y tercer lugar con porcentajes similares al 27% está el vehículo privado y a pie; en cuarto lugar es ocupado por el vehículo público (taxis) con un 4% y por último el 2% restante representa a otros medios. (Plan de Movilidad y Espacios Públicos, 2015).

Puesto que el vehículo privado toma el segundo lugar como medio de transporte hacia el Centro Histórico, resulta importante y necesario medir los niveles de consumo de combustible de los vehículos de categoría M1, que representa a los vehículos de 8 asientos o menos, sin contar con el asiento del conductor, según la Norma Técnica Ecuatoriana 2656, Clasificación Vehicular; que circulan en el centro histórico de la ciudad de Cuenca y además hacerlo en las horas de máxima demanda donde ocurre un mayor congestionamiento vehicular y así realizar un análisis de consumo de combustible por tiempo y recorrido, para obtener el costo de circular dentro de la urbe de la ciudad así como también permitirá diseñar un ciclo de conducción que servirá para desarrollar las pruebas en un banco dinamométrico, además de realizar un análisis y comparación de ambas pruebas.

Toda la información y análisis realizado servirá de base fundamental para la Línea de Investigación de Planificación del Transporte, Seguridad y gestión de la Movilidad del Grupo de Investigación de Ingeniería y Transporte de la Universidad Politécnica Salesiana.

2.3 Delimitación

El trabajo propuesto se realizará dentro del Centro Histórico de la Ciudad de Cuenca, tomando los puntos más críticos o conflictivos de congestión vehicular, para esto se establecerá un recorrido a través de estos y se realizará en horas de máxima demanda. Además se realizarán pruebas en el banco dinamométrico que posee la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca y se utilizará en horarios con mayor flexibilidad.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

- Analizar el consumo de combustible de los vehículos de categoría M1 que circulan en el Centro Histórico de la Ciudad de Cuenca en horas de máxima demanda en función de los ciclos de conducción.

3.2 Objetivos Específicos

- Obtener el consumo de combustible de los vehículos de categoría M1 circulando dentro del Centro Histórico.
- Obtener los ciclos de conducción de los vehículos de categoría M1 circulando dentro de la urbe de la Ciudad.
- Realizar las pruebas en el banco dinamométrico de los vehículos a estudiar
- Validar y analizar los resultados.

4. Fundamentos Teóricos

En esta sección se desarrollará la sustentación teórica del presente trabajo, se realizará la definición de combustibles y sus tipos además de sus propiedades, los diferentes tipos de combustión a las que está expuesto un motor de combustión interna en función de algunos parámetros ambientales a los que está sometido un vehículo automotor durante su funcionamiento.

También se abordará la situación actual de los diferentes combustibles más utilizados en el parque automotor ecuatoriano analizando el octanaje en caso de la gasolina y cetanaje en diésel.

Otro punto importante será el consumo de combustible que posee el Ecuador analizando los distribuidores y comercializadoras de este agente, donde se relaciona este consumo con el crecimiento vehicular que ha sufrido el País.

Se establecerá metodologías que permitan extraer información sobre el consumo de combustible de un vehículo circulando sobre una área determinada, además se propone algunos ciclos de conducción utilizados a nivel mundial, los cuales permitirán establecer una metodología adecuada para el consumo de combustible en función de un ciclo de conducción.

4.1 Combustibles

Se llama combustible a toda sustancia natural o artificial, que se puede presentar en estado sólido, líquido o gaseosa que, combinada con el oxígeno produzca una reacción con desprendimiento de calor. (Camarillo, 2011).

4.1.1 Tipos de combustibles

Los combustibles más utilizados en la industria automotriz son:

- Gasolina.
- Diésel.
- GLP.

4.1.1.1 La Gasolina

La gasolina es una sustancia líquida la cual se obtiene por la combinación de varios hidrocarburos, es un producto derivado del petróleo que se utiliza como combustible para vehículos automotores de ciclo Otto.

Principales propiedades de la gasolina

- Número de Octano u Octanaje.
- Poder Calorífico.
- Densidad.
- Viscosidad.

Tipos de Combustión

Durante el funcionamiento de un motor de encendido provocado se pueden generar diversos tipos de combustión que va a depender de la calidad de la mezcla entre aire y combustible, donde según (Cantos & Toledo, 2015) se obtiene los siguientes tipos:

- **Combustión completa**

El combustible se combustiona completamente, es decir no existe presencia alguna de combustible en los gases de escape.

- **Combustión incompleta**

Se produce cuando existe una combustión incompleta del combustible, los gases de escape pueden tener presencia de partículas de CO.

- **Combustión estequiometrica**

Se da cuando existe una proporción adecuada teórica entre combustible y comburente para la combustión.

- **Combustión con exceso de aire**

Se produce una combustión donde la proporción del comburente es mayor a la de una mezcla estequiometrica.

- **Combustión con defecto de aire**

Se produce una combustión donde la proporción del comburente es menor a la de una mezcla estequiometrica.

- **Combustión teórica**

Durante la combustión, el hidrógeno reacciona con el oxígeno (ver figura 1), obteniendo al final agua, el carbono y el oxígeno también reaccionan formando dióxido de carbono y finalmente el nitrógeno no interviene en la reacción química.

Por cada kilo de combustible se requiere 14.7 de aire.

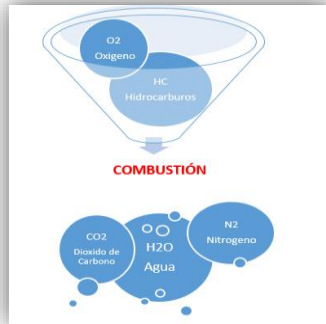


Figura 1 Combustión Teórica
Fuente: (Cantos & Toledo, 2015)

- **Combustión Real**

El combustible que se utiliza durante este tipo de combustión es afectado con componentes que alteran la relación estequiométrica, teniendo bencina, plomo y azufre en combustibles súper, extra y diésel respectivamente.

Parámetros Ambientales que Influyen en la Combustión

Para el correcto funcionamiento de un motor según (Cantos & Toledo, 2015) se debe tener en cuenta algunos parámetros ambientales lo cuales influyen directamente en su comportamiento, algunos de estos son:

Densidad del Aire

La densidad del aire depende de la cantidad de oxígeno que este posea, este valor va ser alterado por la temperatura, altitud y otras condiciones atmosféricas.

A mayor altitud menor presencia de oxígeno en el aire, es decir la densidad es baja, lo que provoca que un motor de combustión interna funcione con una mezcla aire – combustible rica.

Cuando el motor se encuentra a nivel del mar va a generar mayor potencia, debido a que el aire en esta superficie posee una mayor concentración de oxígeno obteniendo una estequiometría en la mezcla.

Temperatura

La densidad del aire depende de la temperatura ambiente, a mayor temperatura menor densidad y viceversa.

Humedad

La humedad del ambiente se relaciona de manera inversa con el octanaje necesario para el óptimo funcionamiento del motor, puesto que a mayor humedad el octanaje disminuye.

Altitud – Presión atmosférica

La altura afecta la densidad del aire, debido a que la concentración de oxígeno es mayor a nivel del mar, es decir a mayor altura la densidad del aire será menor, así mismo la presión de combustión disminuye.

4.1.1.2 Diésel

El diésel, también llamado gasóleo o gasoil, es una sustancia blanquizca o verdosa la cual posee una densidad de 850 kg/m^3 ($0,850 \text{ g/cm}^3$), el cual se utiliza dentro de la industria automotriz para el funcionamiento de motores de encendido por compresión. (Ortiz, 2014).

Principales propiedades del Diésel

- Cetanaje.
- Volatilidad.
- Densidad.
- Viscosidad.

4.1.1.3 GLP (gas licuado de petróleo)

El gas licuado de petróleo forma parte de los combustibles utilizados en los automotores, convirtiéndose como una alternativa frente a la gasolina y el diésel, alcanzando un octanaje entre 95 y 110 RON. (Carranza, 2012).

La utilización del GLP se convierte en una buena alternativa en casos de ciudades donde la contaminación ambiental es un problema debido a sus muy reducidas características contaminantes en comparación a la gasolina y el diésel, a continuación se mencionan algunas ventajas e inconvenientes que este posee. (Carranza, 2012).

Ventajas e inconvenientes del GLP

Ventajas del GLP

Como ventajas se pueden enumerar las siguientes:

- Alto poder calorífico.
- Fácil transportación.
- Combustión más eficiente.
- No es tóxico.
- No es corrosivo.
- Se puede almacenar en espacios reducidos.

Desventajas del GLP

La principal desventaja es el almacenamiento debido a que se requiere tanques y cilindros muy resistentes.

4.2 Combustibles en el Ecuador

4.2.1 La Gasolina en el Ecuador

Según Petroecuador en el 2011 el Ecuador importó gasolina con 95 octanos utilizándola en todas las refinerías del país para mezclarla y procesarla con la que se tenía anteriormente, esto produjo el incremento del octanaje teniendo gasolinas de 81 a 87 octanos en la extra y de 90 a 92 octanos en la súper.

A pesar del incremento del octanaje de la gasolina comercializada en el Ecuador, esta no deja de ser una fuente de contaminación, sin embargo los porcentajes de emisiones se redujeron.

Debido a esto el Gobierno implementará medidas con objetivo de tener combustibles de alta calidad, con lo cual se quiere cumplir con las normas de calidad EURO 5, vigentes en Europa. (El Comercio, 2012)

En junio del 2014 Petroecuador anunció una baja del número de octanos tanto en la extra como en la súper, teniendo de 87 a 85 octanos y 92 a 90 octanos respectivamente. Esta medida entraría en vigencia desde el 1 de junio, lo cual se solicitaba una duración de 18 meses debido a la rehabilitación de la refinería de Esmeraldas. (hcjb Noticias, 2014)

4.2.2 Diésel en el Ecuador

El parque automotor ecuatoriano es abastecido de diésel Premium desde enero del 2015, comenzando con abastecimiento del 16 %, en la actualidad lo recibe todo el país, cumpliendo con el plan de mejoramiento de calidad de los combustibles.

Petroecuador, para implementar este plan realizó un proceso de adecuación de la unidad hidrodesulfuradora de diésel de la refinería de Esmeraldas. Además importó diésel Premium con el fin de mezclarlo con el diésel producido dentro del país contribuyendo al cambio del derivado. (Ecuadorinmediato, 2012).

Desde septiembre del 2015 el Gobierno dispuso que el diésel premium utilizado en el sector automotriz posea una mezcla de biodiésel del 5% y este se incremente hasta tener una concentración del 10 %. (El Telegrafo, 2012).

4.3 Consumo de Combustible en el Transporte Terrestre en el Ecuador

4.3.1 Evolución histórica del consumo de combustible en el Ecuador

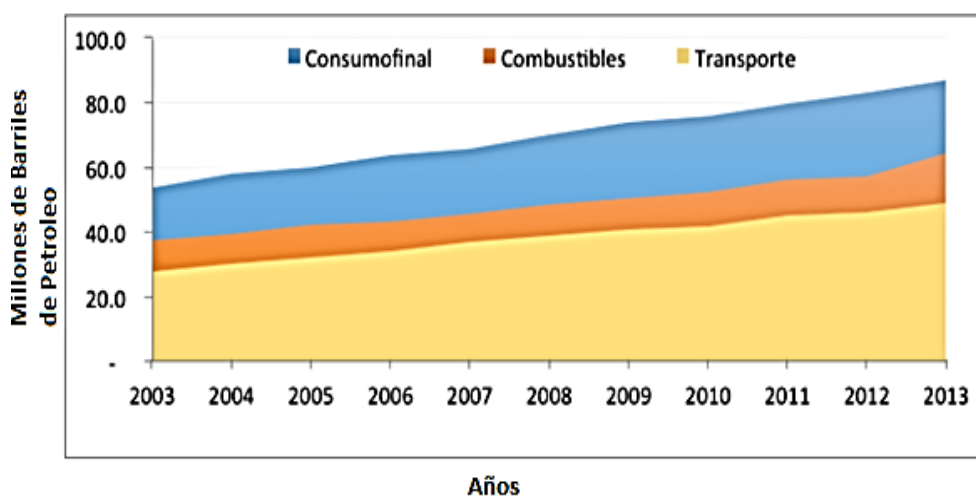


Figura 2 Evolución histórica del consumo energético en el Ecuador en millones de BEP
Fuente: (Cevallos, 2015)

El sector de transporte es uno de los mayores consumidores de combustible (ver figura 2), puesto que datos existentes durante el 2012 refleja que la demanda de combustible fue de 57 millones de barriles equivalentes de petróleo (BEP), donde este sector consumió un 77 % de esta demanda. (Cevallos, 2015).

4.3.2 Evolución Histórica del Parque Automotor en el Ecuador

El parque automotor se ha convertido en un punto de interés debido a su rápido crecimiento en los últimos años, por ello resulta importante mencionar como ha ido creciendo, esta evolución según (Cevallos, 2015) se detalla a continuación:

- Entre los años 2003 y 2013, el parque automotor presentó un índice de crecimiento anual del 7.8%, alcanzando un valor total de 1.7 millones de vehículos matriculados.
- La mayor cantidad de vehículos se ubican en las provincias de Pichincha y Guayas con un 60%.
- Los vehículos con motores de combustión interna representan un 99.75 % del total, donde el 0.25 % lo ocupan los vehículos híbridos y eléctricos.

4.3.2.1 Parque automotor al año 2012, clasificado por uso y tipo de combustible

En la tabla 1, se muestra la clasificación de vehículos por uso particular, de alquiler, de gobierno y por tipo de combustible que utilizan los vehículos matriculados en 2012.

Tabla 1. Vehículos matriculados en 2012, clasificados por uso y tipo de combustible

TIPO	PARTICULAR			ALQUILER			GOBIERNO			TOTAL
	DIESEL	OTTO	GLP	DIESEL	OTTO	GLP	DIESEL	OTTO	GLP	
AUTOMOVIL	1.864	474.826	167	87	24.089	7	278	887	-	502.205
JEEP	6.395	226.481	66	5	151	-	58	4.288	4	237.448
CAMIONETA	38.653	223.433	87	758	2.857	-	4.153	5.276	6	275.22
MOTOCICLETA	76	292.319	104	-	11	-	2	3.572	-	296.084
BUS	840	33	1	8.584	108	-	422	18	-	10.006
COLECTIVO	450	179	-	1.001	13	-	88	8	-	1.694
FURGONETA P	9.14	16.870	4	2.827	333	-	304	128	-	29.606
FURGONETA C	542	13.021	-	8	8	-	4	20	-	13.603
CAMION	61.665	53.469	3	4.012	839	2	1.390	225	-	121.605
TRAILER	5.552	253	-	2.475	15	-	123	5	-	8.429
VOLQUETE	7.508	446	-	1.488	22	-	1.453	38	-	10.937
TANQUERO	1.743	127	-	293	3	-	398	21	-	2.585
TOTAL	134.383	1.301.457	432	21.538	28.449	9	8.661	14.486	10	1.509.425

Fuente: (Cevallos, 2015)

- En el año 2012 el 95% de los vehículos fueron de uso particular, en su gran mayoría vehículos livianos como: automóviles, jeeps, camionetas y motocicletas.
- Los vehículos destinados al transporte de pasajeros y taxis ocupan un mayor porcentaje en automóviles.

- Los vehículos con motores ciclo Otto representan un 89 % mientras el 11 % lo ocupan los vehículos diésel. Los vehículos que utilizan GLP como combustible representan un porcentaje mínimo.

4.3.3 Despacho de Combustibles en el Ecuador

Debido al rápido crecimiento del parque automotor anteriormente mencionado, conlleva a un mayor consumo de combustible, por ello es importante mencionar algunos valores que corresponden a la comercialización de los combustibles utilizados para el transporte terrestre, donde según (Cevallos, 2015) menciona que:

- El Ecuador en el año 2012 contaba con 1082 estaciones de servicio de las cuales 221 pertenecen a Petroecuador. Durante este mismo año se tuvo una distribución de 41.5 millones de barriles equivalentes de petróleo a todas las estaciones de servicio.
- En la tabla 2 se muestra los porcentajes de la cantidad de combustibles despachados a las estaciones de servicio durante el año 2012.

Tabla 2. Cantidad de combustibles despachados a estaciones de servicio en el año 2012

COMBUSTIBLE	GALONES	KBEP	%
DIESEL	753.068.015	17.930	42,24%
GASOLINA EXTRA	761.906.621	18.141	43,75%
GASOLINA SUPER	221.590.085	5.276	12,72%
GLP	5.129.541	122	0,29%
TOTAL	1.741.694.262	41.469	

Fuente: (Cevallos, 2015)

Es necesario mencionar que la producción de combustibles en el Ecuador no satisface la demanda que posee el país para su consumo interno, esto conlleva a que se importe combustibles del exterior, lo cual causa un aumento en el precio del mismo, donde por política de comercialización de hidrocarburos este se encuentra subsidiado. En el año 2012, se importó en total 31 millones de barriles de combustible diésel y nafta, lo que representó para el país un costo de USD \$ 4.366 millones. (Cevallos, 2015).

4.4 Método para la Determinación del Consumo de Combustible para Vehículos de Transporte Terrestre

Todos los puntos mencionados anteriormente sobre crecimiento vehicular y elevación del índice de despacho de combustible conlleva a realizar un estudio para determinar el consumo específico de combustible que tienen los vehículos automotores que circulan dentro de un área determinada para esto según (NormaSAEJ1321:2012, 2012) estable una metodología donde se requiere de algunos requisitos, métodos y procedimiento a seguir lo cual se describe a continuación:

4.4.1 Requisitos generales para la prueba

- Una prueba está compuesta por un segmento inicial y un segmento de prueba.
- Todos los resultados obtenidos en las pruebas, se deben presentar en un formato definido, con su análisis estadístico, con la descripción de configuración del vehículo y con la información ambiental solicitada.
- Los resultados de la prueba serán válidos, solo para la configuración del vehículo, la condición de prueba y el ciclo de trabajo, de acuerdo a la forma en que se realizó esa prueba. (NormaSAEJ1321:2012, 2012).

Los cuatro requisitos siguientes, deben ser aplicados a este procedimiento, para asegurar la validez del resultado de la prueba:

- Los recorridos utilizados en cada prueba, así como también la carga utilizada deben reflejar una operación real.
- Al realizar una sola prueba no indica un valor concluyente, independiente de los resultados. Realizar una sola prueba sirve como un valor de estimación, se deben realizar varias pruebas con el fin de tener un resultado con mayor validez.
- Todos los procedimientos de prueba son precisos dentro de los límites establecidos. (NormaSAEJ1321:2012, 2012).

4.4.2 Medición del consumo de combustible

El tanque de combustible debe tener la capacidad adecuada, aproximadamente dos veces el combustible necesario para finalizar un movimiento. Además el mismo debe ser fácil de remover, también tiene que poseer una línea de suministro y otra línea para el retorno de combustible. (NormaSAEJ1321:2012, 2012).

La balanza que será utilizada para adquirir los valores del peso del combustible tiene que ser digital, además debe poseer la capacidad necesaria para que en todos los movimientos pueda pesar con exactitud el tanque de combustible. (NormaSAEJ1321:2012, 2012).

4.4.3 Control de Velocidad del Vehículo

La velocidad de los vehículos debe ser registrada por medio del GPS, el mismo que permitirá medir y registrar la velocidad del vehículo durante todos los movimientos con una exactitud de 0.1 km/h. Esto se realiza para garantizar que la recolección de datos sea aceptable y que las pruebas de cada movimiento se puedan repetir. (NormaSAEJ1321:2012, 2012).

4.4.4 Ejecución del Procedimiento de Prueba

Las pruebas consisten en tres trayectos que se deben realizar con los vehículos de prueba y de control. Cada trayecto consta de un circuito completo de una prueba establecida. Todos vehículos deben evitar la interferencia aerodinámica, para lograrlo deben recorrer cada trayecto con suficiente espacio uno del otro, se recomienda un tiempo de 6 minutos. Los trayectos deben ser completados sin errores en los equipos o en la conducción y además siempre tienen que empezar y terminar en el mismo punto. (NormaSAEJ1321:2012, 2012).

Segmento Inicial

Un segmento inicial se compone de tres trayectos, cada trayecto se debe realizar con distancia suficiente para reducir la interferencia aerodinámica entre vehículos. El tiempo desde el comienzo hasta el término de la operación del motor se lo conoce como el tiempo de trayecto para cada vehículo. Todos los datos del trayecto de segmento inicial deben ser registrados. (NormaSAEJ1321:2012, 2012).

Término del Trayecto

Después de completar el trayecto, el motor continúa en ralentí durante 1 min y luego se apaga, el vehículo siempre se debe detener en el punto de partida para registrar el tiempo de duración de la prueba y el tiempo de detención el motor, además se debe registrar el odómetro del vehículo en el que se realizó las pruebas. (NormaSAEJ1321:2012, 2012).

4.5 Ciclos de Conducción

Las pruebas para obtener el ciclo de conducción toman en cuenta las condiciones climáticas, longitud, altitud y latitud, además las características de manejo propias del conductor y las características del tráfico y las carreteras. Esto da como resultado el desplazamiento normal del vehículo y un ciclo de manejo con perfiles de velocidades trazado en un plano de velocidad tiempo. (Hernandez, Sanchez, & Sandoval, 2014).

4.5.1 Ciclos De Conducción en el Mundo

Ciclos de Conducción Representativos a Nivel Mundial

- **Proyecto ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory System) de Michel André, 2005**

Este proyecto se fundamenta en los patrones de conducción en Francia, Suiza e Italia, la recolección de datos se realizó con el modem-Hyzem, que toman en cuenta la velocidad, aceleración, tiempo de permanencia con el vehículo detenido, además la vía rural, urbana y datos de ciclos de conducción anteriores. Al final se obtienen tres ciclos de manejo (ver figura 3): urbana, rural y autopista. (Hernandez, Sanchez, & Sandoval, 2014).

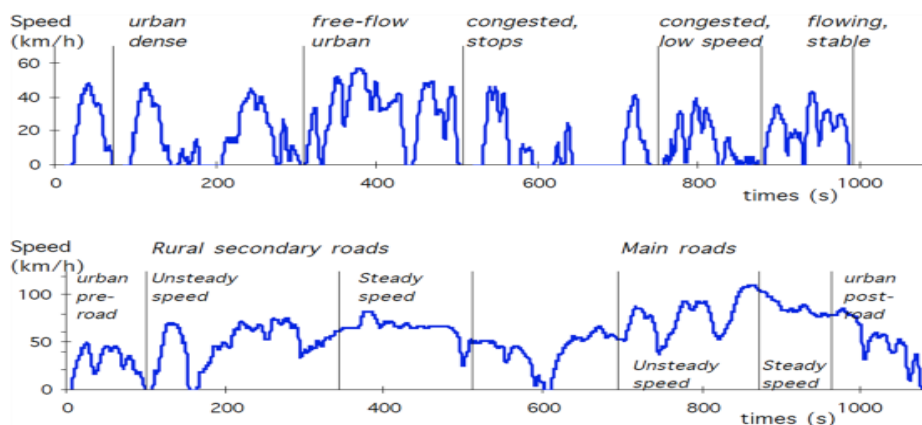


Figura 3 Ciclo de manejo del proyecto ARTEMIS en vía urbana (superior) y rural (inferior)

Fuente: (Hernandez, Sanchez, & Sandoval, 2014)

- **FTP-72 y FTP-75 (Federal Test Procedure)**

El ciclo FTP-72 se obtiene simulando una vía urbana en los Estados Unidos por medio de un dinamómetro de chasis (ver figura 4). Este ciclo considera una distancia de 7.5 millas con paradas frecuentes, una velocidad máxima de 56.7 mph. Además consiste

en una fase en frío y otra fase después de un tiempo de 10 minutos donde el motor ha estado detenido. (Hernandez, Sanchez, & Sandoval, 2014).

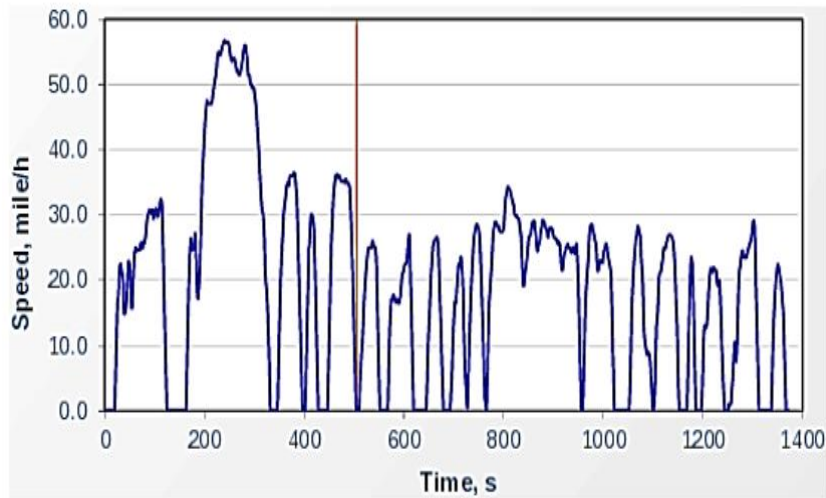


Figura 4 Ciclo de conducción FTP

Fuente: (Hernandez, Sanchez, & Sandoval, 2014)

El FTP-75 se agrega una fase más, que inicia después de 10 minutos que el motor se encuentre detenido, y se lo conoce como fase en “caliente” (ver figura 5). Además cambia la distancia a 11.04 millas. (Hernandez, Sanchez, & Sandoval, 2014).

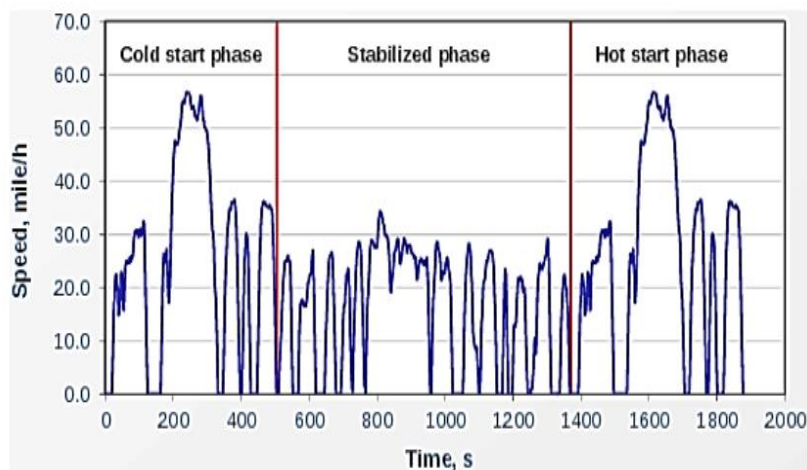


Figura 5 Ciclo de conducción FTP

Fuente: (Hernandez, Sanchez, & Sandoval, 2014)

- **Ciclo de Conducción JC08**

Es un ciclo desarrollado en Japón en un dinamómetro de chasis (ver figura 6). El ciclo de conducción JC08 tiene una duración de 1204 segundos, una velocidad máxima de 81.6 km/h y una distancia de 8.171 km. (Hernandez, Sanchez, & Sandoval, 2014).

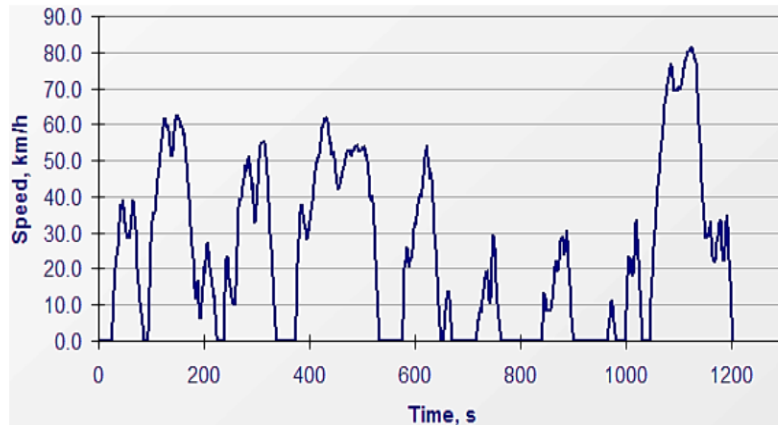


Figura 6 Ciclo de conducción JC08

Fuente: (Hernandez, Sanchez, & Sandoval, 2014)

- **Ciclo CUEDC (Composite Urban Emissions Drive Cycles)**

Estos ciclos se desarrollaron en un dinamómetro de chasis para la regulación de los vehículos diésel en Australia (ver figura 7). Está compuesto de cuatro segmentos que son: congestionado, vías principales, secundarias y autopistas. El tiempo de duración es de alrededor de 30 minutos los cuatro segmentos. (Hernandez, Sanchez, & Sandoval, 2014).

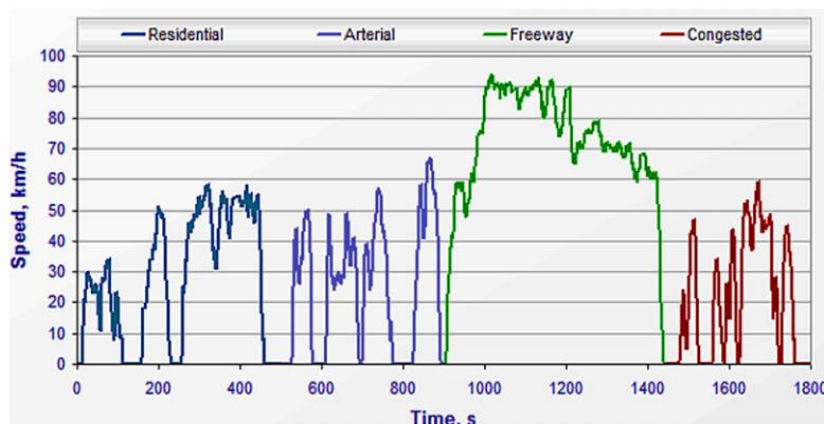


Figura 7 Ciclo de conducción CUEDC

Fuente: (Hernandez, Sanchez, & Sandoval, 2014)

- **Ciclos de conducción de vehículos livianos para la ciudad de Santiago de Chile**

Este ciclo se desarrolló con la intención de obtener ciclos de manejos que dependieran de la velocidad media del recorrido en la ciudad de Santiago de Chile. Se obtuvieron 10 ciclos en la ciudad, teniendo una velocidad promedio de 26.60 Km/h, los mismos que constan de tres etapas que son: la selección de arcos viales, medición de velocidad-tiempo y procesamiento (ver figura 8). (Hernandez, Sanchez, & Sandoval, 2014).

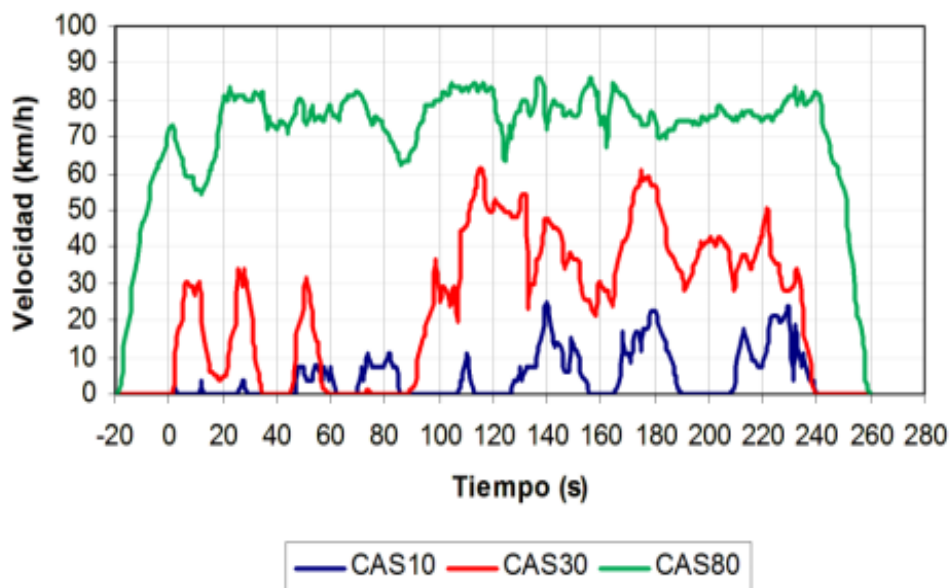


Figura 8 Ciclo de conducción para vehículos livianos de la ciudad de Santiago de Chile

Fuente: (Hernandez, Sanchez, & Sandoval, 2014)

- **Ciclos de Conducción Europeos (NEDC)**

El NEDC consiste en 4 repeticiones del ciclo de conducción ECE-15 y un ciclo EUDC, que reproduce condiciones de tráfico extra-urbano.

Los ciclos de conducción NEDC (ver figura 9) se utiliza para evaluar las emisiones contaminantes de los vehículos europeos, pero las emisiones evaluadas con estos ciclos homologados varían significativamente con las emisiones obtenidas en conducción real, lo que justifica la necesidad de ciclos de conducción de ciudades concretas. (Heras, 2011).

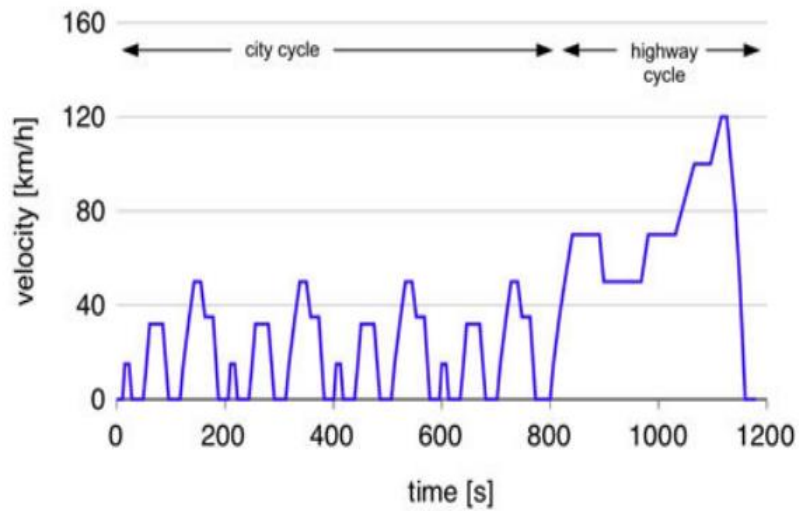


Figura 9 Ciclo de conducción europeos

Fuente: (Heras, 2011)

- **Ciclos de Conducción Japoneses(10-15 MODE)**

El ciclo de la figura 10, es el que se utiliza actualmente en Japón para evaluar las emisiones contaminantes de los vehículos y homologarlos. (Heras, 2011).

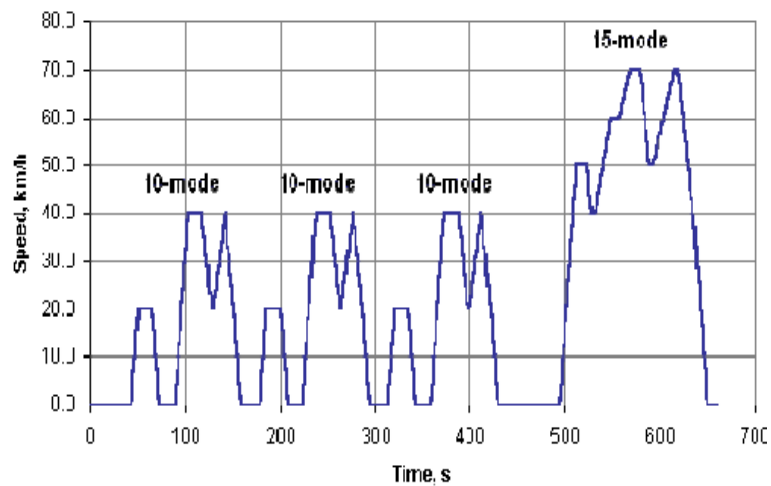


Figura 10 Ciclo de conducción Japonés10-15

Fuente: (Heras, 2011)

5. Marco Metodológico

Para el desarrollo ordenado del proyecto se basa en la siguiente metodología descrita a continuación.

5.1 Investigación Documental

Este tipo de investigación sirvió para obtener la recopilación de datos e información encontrada en artículos, tesis, revistas que permitieron construir una base o fundamento teórico basado en el consumo de combustible de un motor de combustión interna, además se recopiló información de los diferentes ciclos de conducción existentes así como también la metodología aplicada para su obtención.

5.2 Método Descriptivo y Científico

Este segundo método es utilizado para determinar la metodología, equipos y herramientas de medición que se utilizó en el proyecto, donde se analizará el consumo de combustible de los vehículos de categoría M1 que circulan en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca en hora de máxima demanda en función de los ciclos de conducción, lo cual se realizará de la siguiente manera:

5.2.1 Vehículos utilizados para la adquisición de datos

Para el proceso de adquisición de datos se estable 4 rangos de cilindrada con el fin de tener un mejor análisis entre vehículos que cumplan o están dentro de la categoría M1, es decir, los vehículos de 8 asientos o menos, sin contar con el asiento del conductor, según la Norma Técnica Ecuatoriana 2656, Clasificación Vehicular. Los rangos de cilindraje son:

- **Vehículo** ≤ 1000 cc.
- 1000 cc < **Vehículo** ≤ 1600 cc.
- 1600 cc < **Vehículo** ≤ 2000 cc.
- **Vehículo** > 2000 cc.

Las pruebas se realizarán utilizando 4 vehículos descritos a continuación.

- **Vehículo** \leq 1000 cc.



Figura 11 Suzuki Forza 1.0L
Fuente: Gálvez. & Lima; 2016

Tabla 3. Datos del Vehículo Suzuki Forza 1.0L

DATOS DEL VEHÍCULO			
Marca	SUZUKI	Cilindraje	1000 CC.
Modelo	FORSA 1.0L T/M	Peso en Vacío	700 KG
Año	1993	Motor	GASOLINA
Placa	TBX0545	Transmisión	MANUAL

Fuente: Gálvez. & Lima; 2016

- 1000 cc < **Vehículo** \leq 1600 cc.



Figura 12 Peugeot 206 1.6L
Fuente: Gálvez. & Lima; 2016

Tabla 4. Datos del vehículo Peugeot 206 1.6L

DATOS DEL VEHÍCULO			
Marca	PEUGEOT	Cilindraje	1600 CC.
Modelo	BERLINA 206 XT 5P 1.6	Peso en Vacío	1124 KG
Año	2008	Motor	GASOLINA
Placa	PDB4543	Transmisión	MANUAL

Fuente: Gálvez & Lima; 2016

- $1600 \text{ cc} < \text{Vehículo} \leq 2000 \text{ cc.}$



Figura 13 Chevrolet Optra 1.8L

Fuente: Gálvez & Lima; 2016

Tabla 5. Datos del vehículo Chevrolet Optra 1.8L

DATOS DEL VEHÍCULO			
Marca	CHEVROLET	Cilindraje	1800 CC.
Modelo	OPTRA DESIGN 4P 1.8	Peso en Vacío	1330 KG
Año	2007	Motor	GASOLINA
Placa	PXO940	Transmisión	MANUAL

Fuente: Gálvez & Lima; 2016

- **Vehículo** > 2000 cc.



Figura 14 Mitsubishi Montero 3.0L

Fuente: Gálvez & Lima; 2016

Tabla 6. Datos del vehículo Mitsubishi Montero 3.0L

DATOS DEL VEHÍCULO			
Marca	MITSUBISHI	Cilindraje	3000 CC.
Modelo	MONTERO 5P 3.0 LTM	Peso en Vacío	1970 KG
Año	1993	Motor	GASOLINA
Placa	PLY0266	Transmisión	MANUAL

Fuente: Gálvez & Lima; 2016

5.2.2 Zona de análisis

Cuenca está situada entre los 2.350 y 2.550 metros sobre el nivel del mar, en el sector sur de la cordillera Andina Ecuatoriana. Posee una población de alrededor de 505.585 habitantes es la tercera más grande e importante ciudad del Ecuador, y también la más atractiva y tranquila. Su Centro Histórico está constituido por una ciudad de aires coloniales, pero que es, en verdad, republicana, pues la mayoría de sus atractivas construcciones proceden del siglo XIX. El área urbana de la ciudad de Cuenca es de 72 kilómetros cuadrados aproximadamente. (Cantos & Toledo, 2015).

5.2.3 Puntos críticos en el Centro Histórico de Cuenca

Según (Cantos & Toledo, 2015) el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca posee 20 intersecciones donde se produce una mayor congestión vehicular dentro de las horas de máxima demanda.

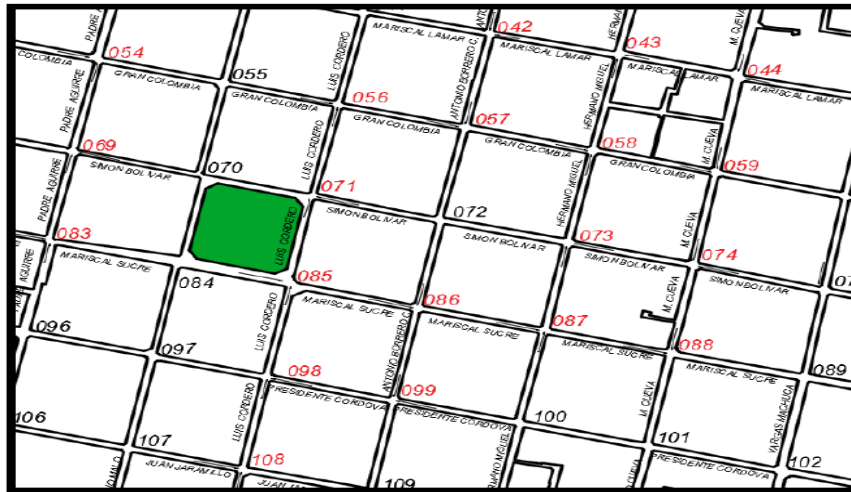


Figura 15. Puntos críticos dentro del Centro Histórico

Fuente: (Cantos & Toledo, 2015)

En la figura 15 se puede observar las intersecciones donde existe mayor problema de circulación vehicular, compuesta por 6 calles principales y 5 calles secundarias.

Intersecciones

- Calle Mariscal Lamar y Antonio Borrero (**Intersección 42**).
- Calle Mariscal Lamar y Hermano Miguel (**Intersección 43**).
- Calle Mariscal Lamar y Mariano Cueva (**Intersección 44**).
- Calle Gran Colombia y Padre Aguirre (**Intersección 54**).
- Calle Gran Colombia y Luis Cordero (**Intersección 56**).
- Calle Gran Colombia y Antonio Borrero (**Intersección 57**).
- Calle Gran Colombia y Hermano Miguel (**Intersección 58**).
- Calle Gran Colombia y Mariano Cueva (**Intersección 59**).
- Calle Simón Bolívar y Padre Aguirre (**Intersección 69**).
- Calle Simón Bolívar y Luis Cordero (**Intersección 71**).
- Calle Simón Bolívar y Hermano Miguel (**Intersección 73**).
- Calle Simón Bolívar y Mariano Cueva (**Intersección 74**).

- Calle Mariscal Sucre y Padre Aguirre (**Intersección 83**).
- Calle Mariscal Sucre y Luis Cordero (**Intersección 85**).
- Calle Mariscal Sucre y Antonio Borrero (**Intersección 86**).
- Calle Mariscal Sucre y Hermano Miguel (**Intersección 87**).
- Calle Mariscal Sucre y Mariano Cueva (**Intersección 88**).
- Calle Presidente Córdova y Luis Cordero (**Intersección 98**).
- Calle Presidente Córdova y Antonio Borrero (**Intersección 99**).
- Calle Juan Jaramillo y Luis Cordero (**Intersección 108**).

5.2.4 Determinación de las rutas para la realización de las pruebas

Una vez teniendo como base los 20 puntos críticos donde existe mayor congestión vehicular y conociendo que no todos los vehículos que circulan dentro del Centro Histórico se dirigen a una misma dirección, se establece diferentes movimientos de circulación:

- Movimiento 1: sentido norte-sur.
- Movimiento 2: sentido sur-norte.
- Movimiento 3: sentido este-oeste.
- Movimiento 4: sentido oeste-este.
- Movimiento 5: sentido oeste-norte.
- Movimiento 6: sentido oeste-sur.
- Movimiento 7 sentido este-norte.
- Movimiento 8: sentido este-sur.
- Movimiento 9: sentido norte-oeste.
- Movimiento 10: sentido norte-este.
- Movimiento 11: sentido sur-oeste.
- Movimiento 12: sentido sur-este.

Se obtienen 12 movimientos teniendo en cuenta que cada uno de ellos atraviese por puntos conflictivos donde se produce congestión vehicular, todo esto con el fin de obtener datos con mayor confiabilidad y cubriendo todas las intersecciones antes mencionadas.

A continuación se realiza un análisis de cada movimiento:

Movimiento 1

La figura 16 muestra la distancia recorrida en el Centro Histórico, el número de puntos críticos y las intersecciones recorridas en el movimiento 1.

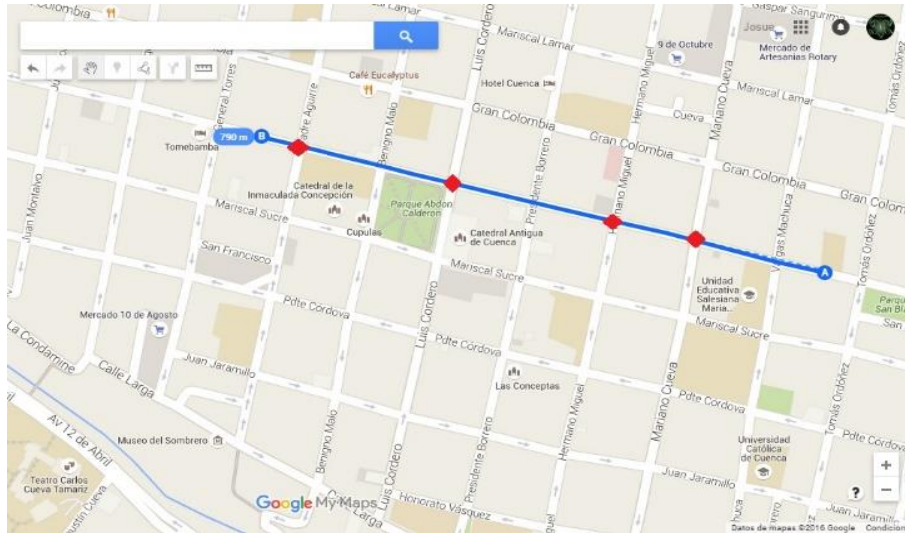


Figura 16. Movimiento 1

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

Movimiento 2

La figura 17 muestra la distancia recorrida en el Centro Histórico, el número de puntos críticos y las intersecciones recorridas en el movimiento 2.

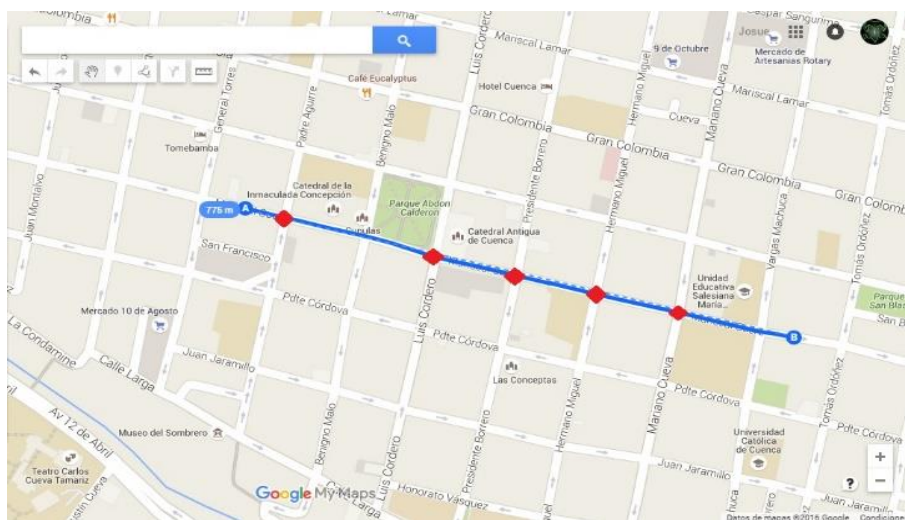


Figura 17. Movimiento 2

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

Movimiento 3

La figura 18 muestra la distancia recorrida en el Centro Histórico, el número de puntos críticos y las intersecciones recorridas en el movimiento 3.

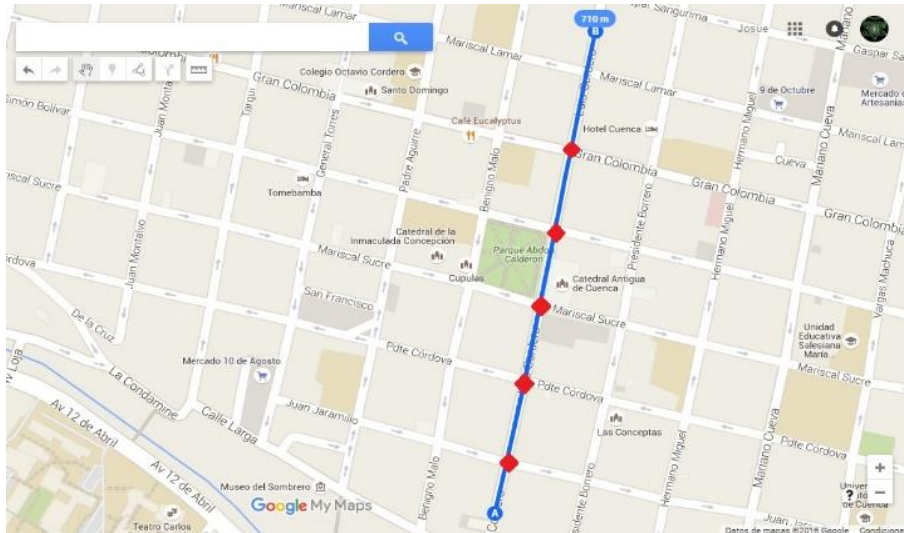


Figura 18. Movimiento 3

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

Movimiento 4

La figura 19 muestra la distancia recorrida en el Centro Histórico, el número de puntos críticos y las intersecciones recorridas en el movimiento 4.

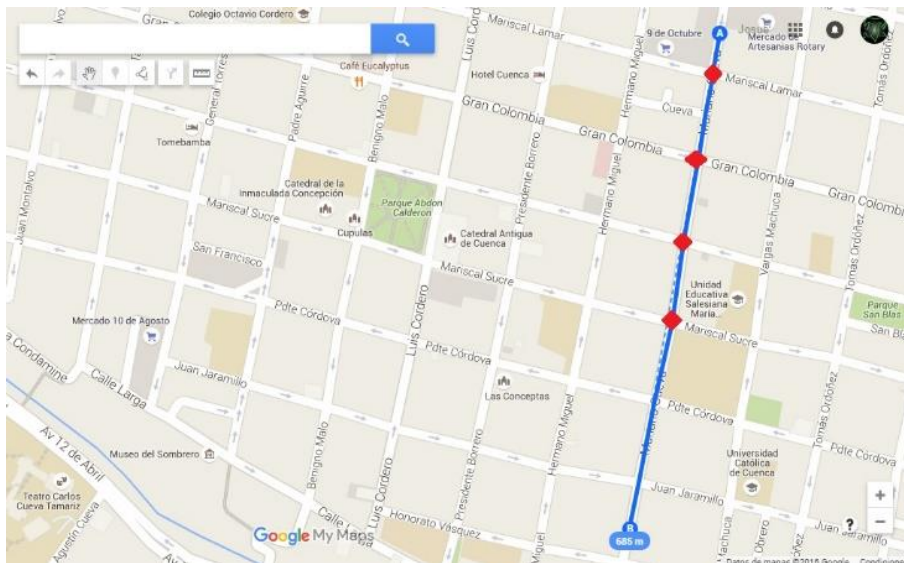


Figura 19. Movimiento 4

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

Movimiento 5

La figura 20 muestra la distancia recorrida en el Centro Histórico, el número de puntos críticos y las intersecciones recorridas en el movimiento 5.

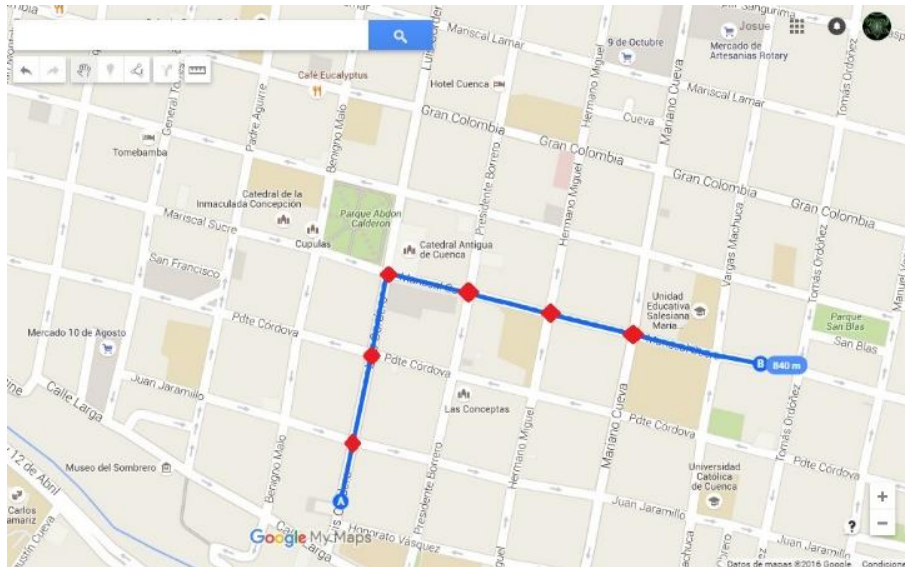


Figura 20. Movimiento 5

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

Movimiento 6

La figura 21 muestra la distancia recorrida en el Centro Histórico, el número de puntos críticos y las intersecciones recorridas en el movimiento 6.

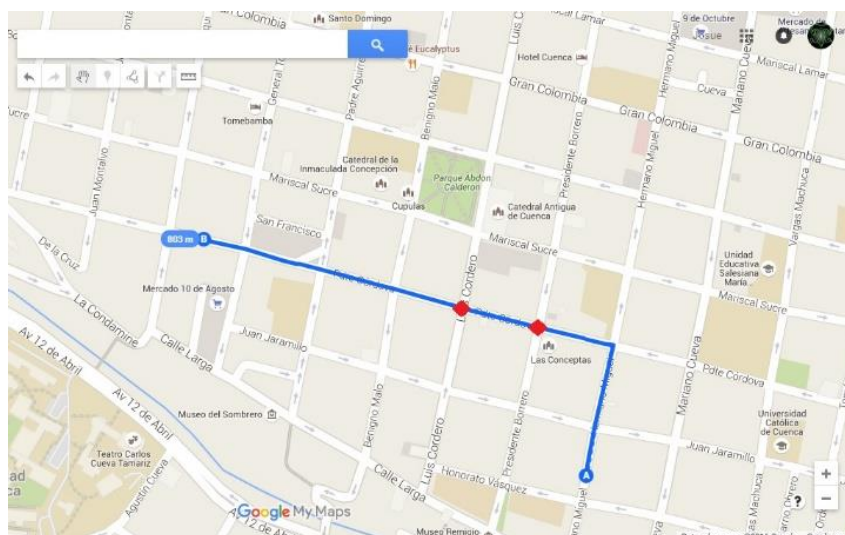


Figura 21. Movimiento 6

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

Movimiento 7

La figura 22 muestra la distancia recorrida en el Centro Histórico, el número de puntos críticos y las intersecciones recorridas en el movimiento 7.

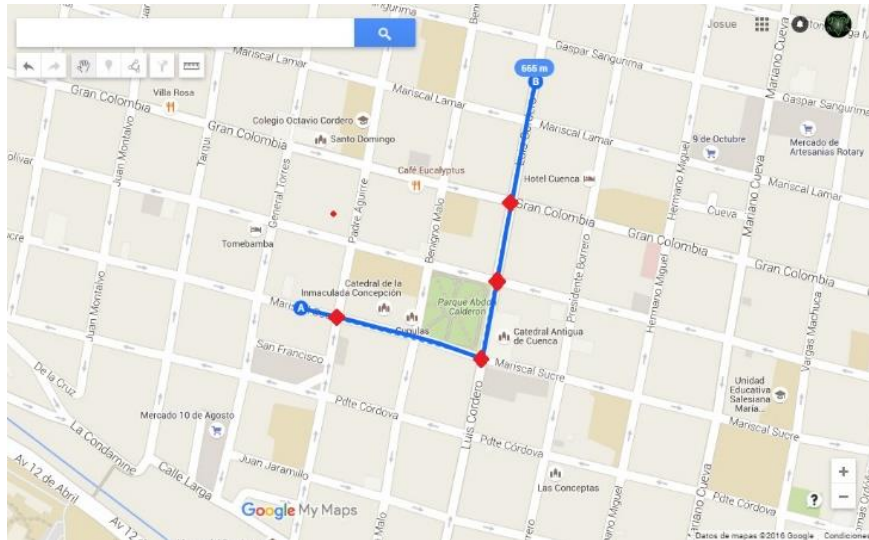


Figura 22. Movimiento 7

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

Movimiento 8

La figura 23 muestra la distancia recorrida en el Centro Histórico, el número de puntos críticos y las intersecciones recorridas en el movimiento 8.

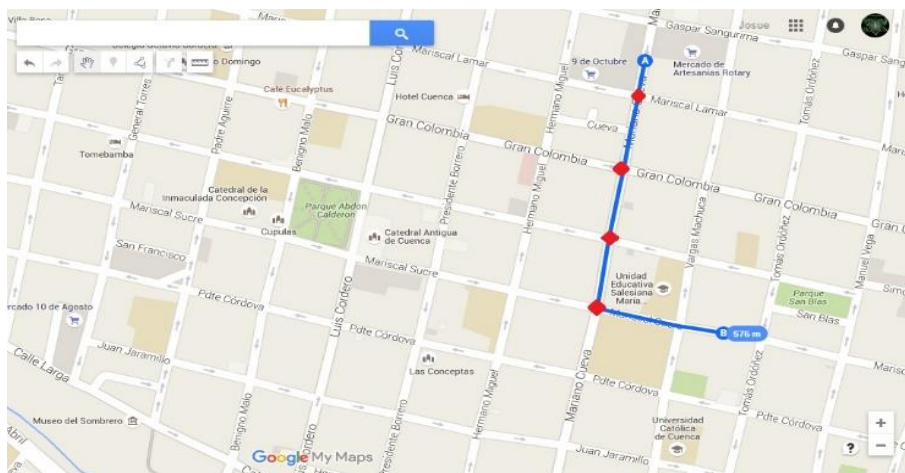


Figura 23. Movimiento 8

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

Movimiento 9

La figura 24 muestra la distancia recorrida en el Centro Histórico, el número de puntos críticos y las intersecciones recorridas en el movimiento 9.

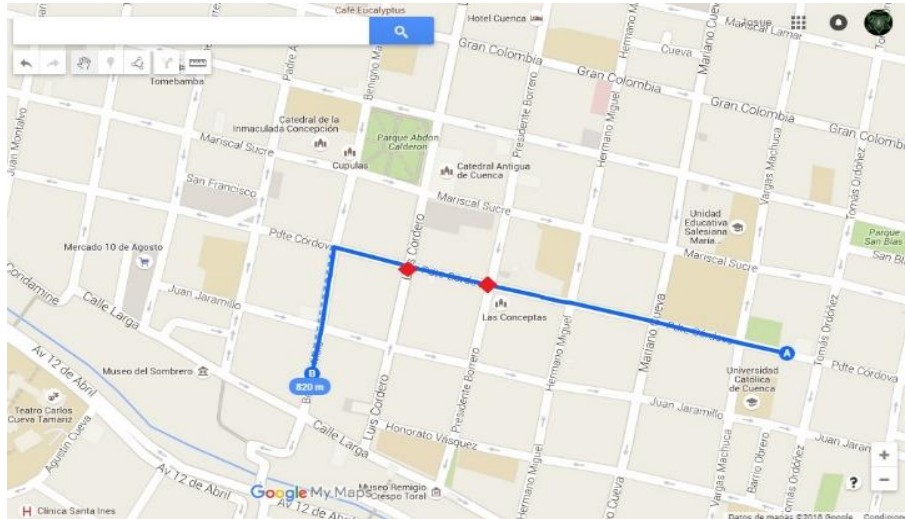


Figura 24. Movimiento 9

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

Movimiento 10

La figura 25 muestra la distancia recorrida en el Centro Histórico, el número de puntos críticos y las intersecciones recorridas en el movimiento 10.

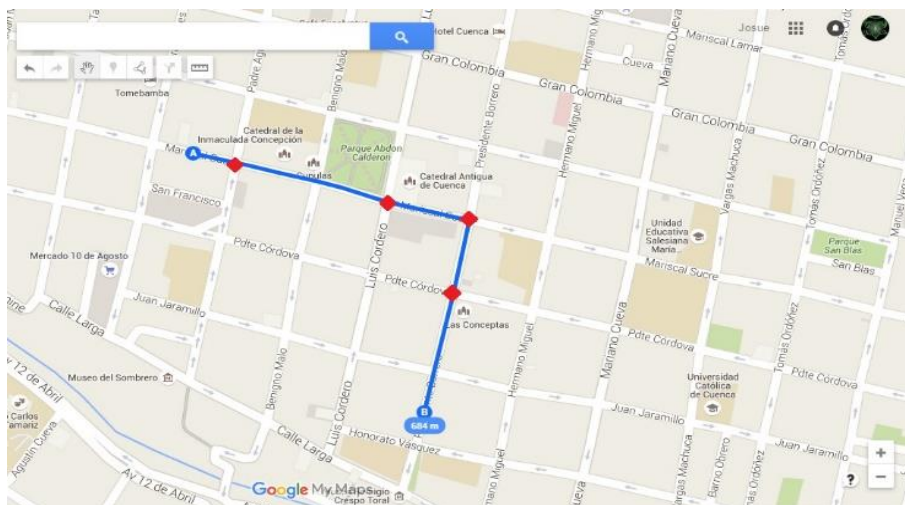


Figura 25. Movimiento 10

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

Movimiento 11

La figura 26 muestra la distancia recorrida en el Centro Histórico, el número de puntos críticos y las intersecciones recorridas en el movimiento 11.

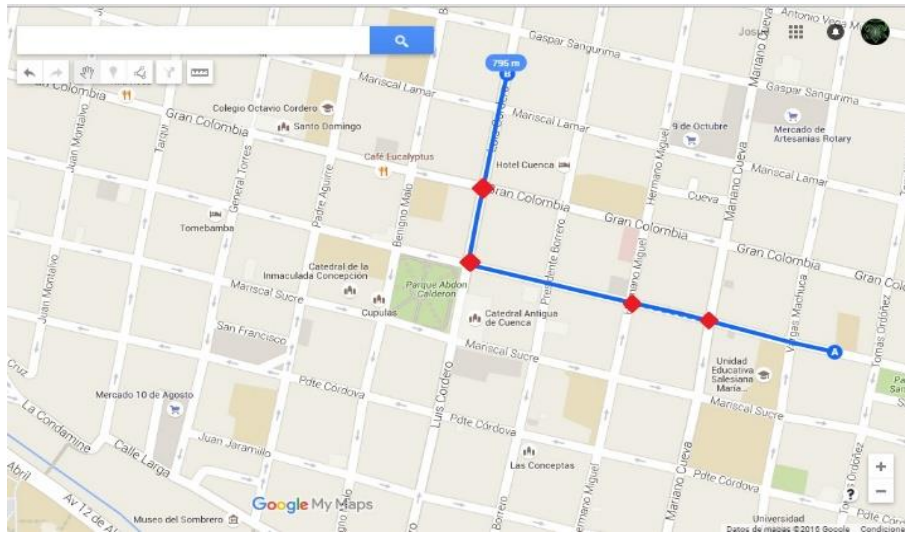


Figura 26. Movimiento 11

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

Movimiento 12

La figura 27 muestra la distancia recorrida en el Centro Histórico, el número de puntos críticos y las intersecciones recorridas en el movimiento 12.

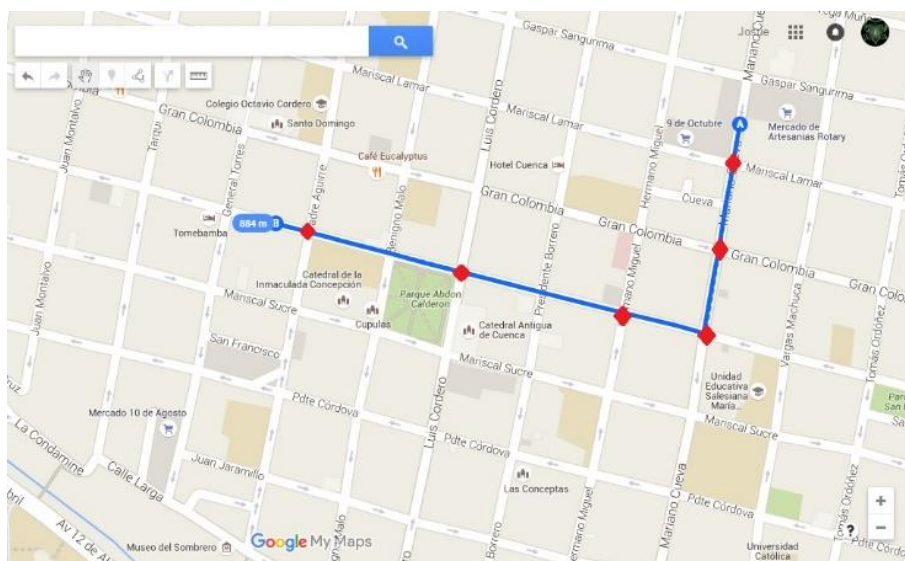


Figura 27. Movimiento 12

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

En la tabla 7, se detalla cada uno de los movimientos o recorridos que se estableció para realizar las pruebas; es decir en esta tabla se muestran la distancia en metros, los puntos críticos recorridos al realizar el movimiento y el número de intersecciones de los mismos.

Tabla 7. Descripción detallada de los movimientos establecidos

Movimientos	Distancia (metros)	Puntos Críticos	Intersecciones
Movimiento 1	790	4	7
Movimiento 2	775	5	7
Movimiento 3	710	5	6
Movimiento 4	685	4	6
Movimiento 5	840	6	7
Movimiento 6	803	2	7
Movimiento 7	665	4	6
Movimiento 8	576	4	5
Movimiento 9	820	2	7
Movimiento 10	634	4	6
Movimiento 11	795	4	7
Movimiento 12	884	6	8

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

5.2.5 Determinación de las horas de máxima demanda para la realización de las Pruebas

Según (El Comercio, 2015) mediante una encuesta realizada en tres ciudades que poseen un alto tráfico vehicular como son Quito, Guayaquil y Cuenca acerca de cuál es el horario donde se da una mayor congestión vehicular se obtuvo una mayor opinión durante la mañana de 7:00 a 9:00 y en la noche de 18:00 a 20:00.

Otros horarios donde se produce un mayor problema con el tránsito vehicular según (Carchipulla & Quizhpi, 2015) son: 8:00 a 9:00; 12:00 a 13:00; 17:30 a 18:30.

En base a estos horarios donde se produce una mayor congestión vehicular, se obtendrán las horas de máxima demanda que se utilizarán para la realización de nuestro análisis y adquisición de datos.

- 7:00 a 9:00.
- 12:00 a 14:00.
- 18:00 a 20:00.

Se establecen 6 horas, teniendo 2 horas tanto en la mañana, en la tarde y en la noche.

5.2.6 Medición del consumo de combustible

La medición de consumo de combustible se realiza tomando como base la norma “*Norma SAE J1321:2012 Fuel Consumption Test Procedure.*” donde se utiliza un tanque portátil de combustible para medir el consumo en función de la masa, este se conecta al sistema de alimentación de combustible del vehículo.

La toma de este consumo se realiza por medio de una balanza digital donde se asentará el tanque portátil de combustible el cual permita tener información del peso del combustible inicial, el progreso de disminución del mismo al ser consumido y el peso final de combustible al término de cada movimiento.

Una prueba consiste en recorrer los 12 movimientos establecidos anteriormente donde se mide el consumo de combustible y el tiempo transcurrido en cada uno de estos.

Esta prueba se repite por 3 ocasiones, con el fin de conseguir 3 datos que nos permitan obtener un valor de consumo promedio.

Las pruebas se realizan en cualquiera de los horarios establecido con mayor tráfico vehicular. Todo este procedimiento se repite para los 4 vehículos ya mencionados.

5.2.6.1 Equipos y herramientas utilizados para la obtención del consumo de combustibles

Los equipos utilizados para la obtención de consumo de combustible son:

- Tanque portátil de combustible.
- Balanza digital.

Tanque portátil de combustible

Se utiliza un tanque portátil de combustible con el fin de facilitar la conexión al sistema de alimentación de combustible del vehículo, además de facilitar el monitoreo de consumo al circular dentro de la urbe de la Ciudad.

El tanque se encuentra provisto de una bomba de combustible sumergible, que suministra una presión aproximada de 3 bares, además el tanque posee un control de nivel, una cañería de retorno de combustible y una capacidad de 3.5 galones.



Figura 28. Tanque de combustible portátil

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

Balanza digital

La utilización de este equipo proporcionará información de la masa de combustible existente en el tanque, lo que servirá para conocer en todo momento el combustible consumido. El equipo posee una capacidad máxima de carga de 15 Kg, además posee una precisión de 2 gramos.



Figura 29. Balanza digital

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

5.2.7 Obtención de los ciclos de conducción

Para obtener el ciclo de conducción de cada movimiento y de los distintos vehículos en los que se realizará las pruebas, es necesario utilizar la herramienta de Matlab Mobile, la misma que servirá para la obtención de los datos necesarios de velocidad y tiempo de una manera muy sencilla y práctica.

Adquisición de Datos

Para realizar la adquisición de datos del smartphone se necesita cumplir con ciertos requisitos, es necesario la instalación del paquete de compatibilidad con Matlab para Sensores Android. Matlab Mobile es una aplicación que puede adquirir datos de sensores incorporados en el dispositivo Android. Estos incluyen sensores de movimiento como el acelerómetro y sensores de posición como el GPS. Estas medidas, tales como la aceleración, campo magnético, latitud, longitud altitud y velocidad se pueden ver en el dispositivo Android, como se muestra en la figura 30.



Figura 30. Sensores disponibles en Matlab Mobile

Fuente: MathWorks.

Los datos obtenidos de estos sensores se enviarán a una sesión de Matlab en el ordenador, para su posterior análisis y visualización. Se puede adquirir los siguientes datos de los sensores del dispositivo (ver figura 31), desde Matlab Mobile:

- La aceleración en 3 ejes.
- Velocidad angular en 3 ejes.
- Campo magnético en 3 ejes.
- Orientación (cabeceo y balanceo).
- Posición (latitud, longitud, altitud, precisión horizontal, velocidad y rumbo).

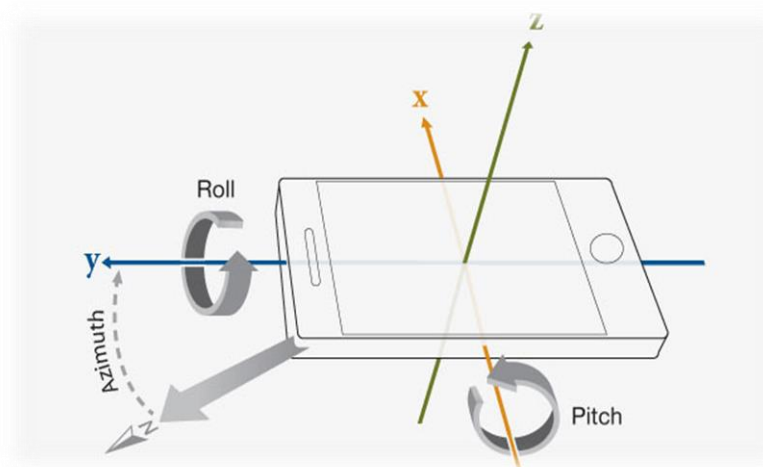


Figura 31. Soporte de sensores en Matlab

Fuente: MathWorks. Hardware

Para establecer la comunicación entre el dispositivo y Matlab se crea una línea de código en el Command Window, como se muestra en el figura 32.

```
Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Examples, or read Getting Started.

>> m=mobiledev

m =

mobiledev with properties:

    Connected: 1
    Logging: 0
    InitialTimestamp: ''

    AccelerationSensorEnabled: 0
    AngularVelocitySensorEnabled: 0
    MagneticSensorEnabled: 0
    OrientationSensorEnabled: 0
    PositionSensorEnabled: 1

fx Supported functions
```

Figura 32. Programación en Matlab

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

El objeto mobiledev facilita la comunicación entre los sensores en el dispositivo Android y la sesión de Matlab que se ejecuta en el ordenador. En el dispositivo Android se debe activar el GPS y en la aplicación de Matlab Mobile se debe encender el Sensor Position.

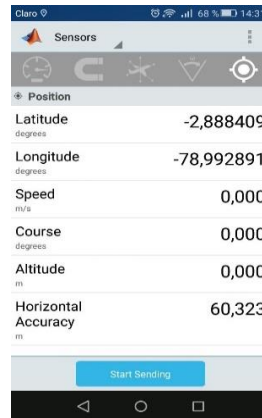


Figura 33. Activación del sensor de posición

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

Para empezar a enviar los datos del GPS, se presiona en la pantalla del smartphone sobre Start Sending y de manera inmediata se procede a realizar el recorrido. Una vez finalizado el recorrido es necesario dejar de enviar los datos del GPS, se presiona en Stop Sending y todos los datos obtenidos en la sesión se guardaran en el objeto mobiledev.

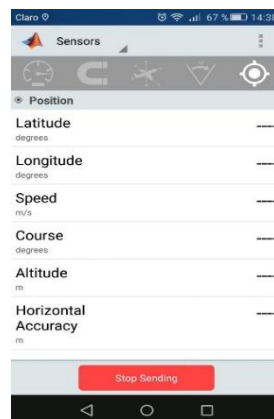


Figura 34. Finalizar envío de datos

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

Para recuperar los datos obtenidos en el recorrido, se utiliza la variable *poslog*. Como el sensor position guarda valores de velocidad en m/s se procede a multiplicar $speed*3,6$

para obtener velocidad en km/h. con el comando *plot* procedemos a graficar el ciclo de conducción obtenido, como se muestra en la figura 35.

```
Editor - C:\Users\Usuario\Documents\MATLAB\TESIS\ciclosdeconduccion.m
contadordepasos.m x ciclosdeconduccion.m x +
1 - [lat, lon, t, speed, course, alt, horizacc] = poslog(m);
2 - v=speed*3.6
3 - plot(t,v);
4 - xlabel('Tiempo(s)');
5 - ylabel('Velocidad (Km/h)');
```

Figura 35. Programación en Matlab

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

Una vez finalizado el movimiento es necesario ejecutar el Script del ciclo de conducción correspondiente para obtener la gráfica del mismo, además los datos de velocidad que se obtuvieron en este ciclo se muestran en el Command Window de Matlab.

Este ciclo de conducción (ver figura 35) corresponde a la prueba 1, del movimiento 1 realizado en el vehículo ≤ 1000 cc.

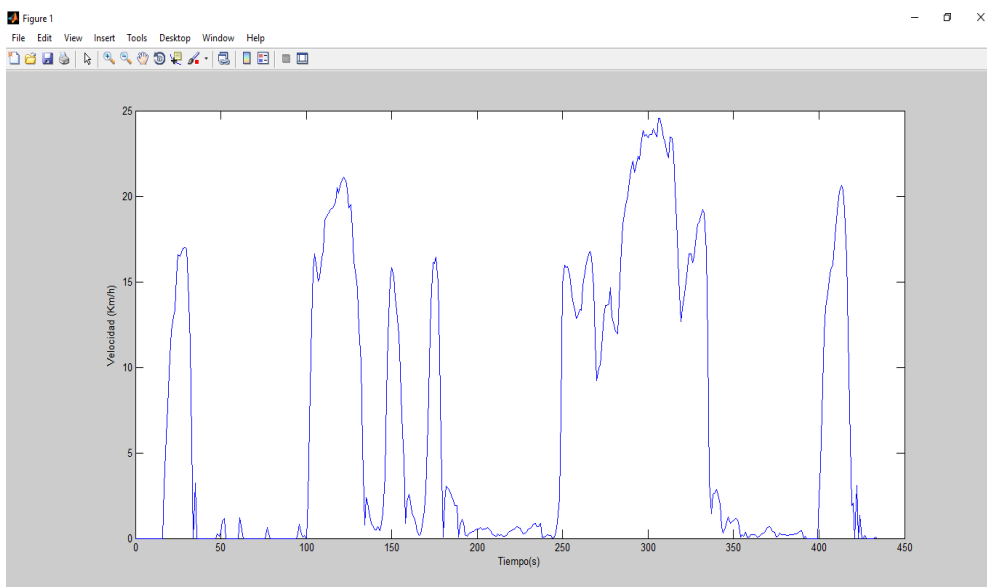


Figura 36. Ciclo de conducción

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

5.2.7.1 Equipos y herramientas utilizados para la obtención de los ciclos de conducción

Software Matlab R2014a

Esta herramienta permite la recolección de las velocidades y tiempos enviados por la aplicación Matlab Mobile mediante uso de una conexión inalámbrica portátil (WI-FI móvil), estos datos servirán luego para la obtención de los ciclos de conducción.

Matlab Mobile

El uso de esta aplicación instalada en el dispositivo móvil permite adquirir los datos de tiempo y velocidad a través del GPS para luego ser enviados al ordenador.

5.2.8 Procedimiento para la adquisición de datos

1. Ubicar el vehículo en el punto de inicio del movimiento.
2. Esperar aproximadamente 10 segundos para que se estabilice la balanza y el sensor de posición del smartphone indique una velocidad de 0 m/s.
3. Crear el objeto mobiledev en Matlab, empezar a enviar los datos desde la aplicación de Matlab Mobile y registrar el peso inicial del tanque. Comenzar el movimiento establecido.
4. Una vez finalizado el movimiento es necesario esperar aproximadamente 20 segundos para que se estabilice el valor de la balanza y el sensor de posición indique una velocidad de 0 m/s.
5. Registrar el peso final del tanque y finalizar el envío de datos.
6. Ejecutar en Matlab el ciclo de conducción correspondiente para obtener la gráfica y guardar los valores de velocidad y tiempo del movimiento.

En la figura 37, se muestra el diagrama de flujo del procedimiento que se debe seguir para la adquisición de datos.

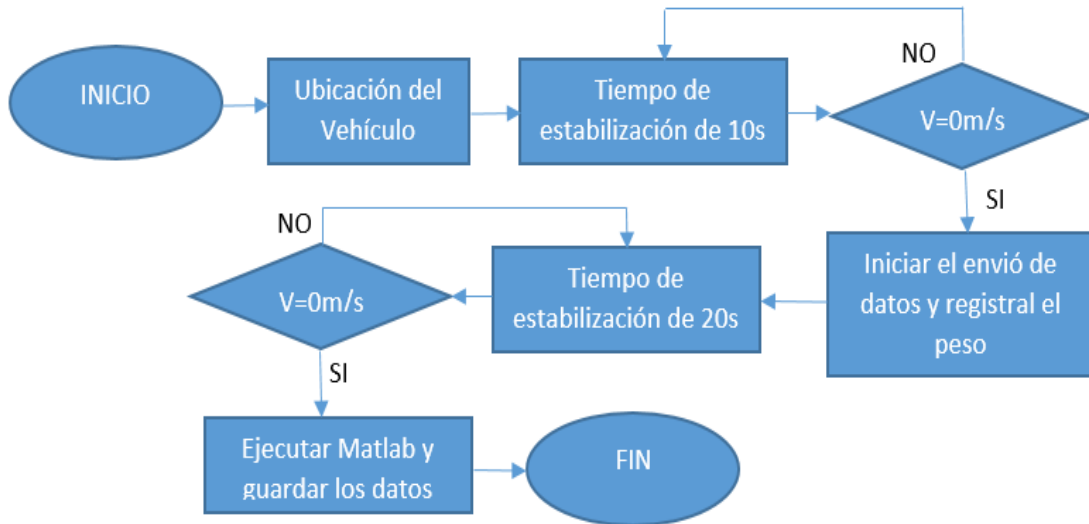


Figura 37. Procedimiento para la obtención de datos

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

5.2.9 Utilización del banco dinamométrico para la simulación de los ciclos de conducción obtenidos

La utilización del banco dinamométrico servirá para obtener otros datos de consumo, los mismos que servirán para realizar una comparación entre un consumo real en carretera y uno en banco de rodillos, para lo cual los ciclos de conducción obtenidos servirán para intentar simular los movimientos que se realizaron con los diferentes vehículos dentro del Centro Histórico.

Además el banco de rodillos proporciona la función de simular la fuerza tractora a la que está sometido el vehículo en circulación. La cual será calcula de la siguiente forma:

El vehículo en desplazamiento está sometido a fuerzas resistentes que se oponen a su movimiento la sumatoria de estas, se le denomina fuerza tractora, estas fuerzas son:

Fuerza aerodinámica:

$$F_a = 0.5 * C_x * S * V^2 * \delta$$

Ecuación 1

Fuerza por pendiente:

$$Fp = W * \text{sen}(\alpha)$$

Ecuación 2

Fuerza a la rodadura:

$$Fp = W * \text{cos}(\alpha) * ur$$

Ecuación 3

En este estudio la fuerza aerodinámica se elimina debido a que al circular en el Centro Histórico no se debe sobrepasar los 30km/h.

La fuerza por pendiente también se desprecia, debido a que el ángulo de inclinación al circular dentro del centro histórico es mínimo.

En definitiva solo se considerara la fuerza por rodadura, por lo tanto la fuerza tractora será:

$$Ft = Fr = W * \text{cos}(\alpha) * Ur$$

Ecuación 4

Donde:

W = Peso del vehículo.

α = ángulo de inclinación.

Ur = coeficiente de resistencia de rodadura.

Simulación de fuerza tractora en el banco de rodillos

Para el cálculo de la fuerza tractora del vehículo, se necesita obtener el peso del vehículo (W), el cual se calcula sumando el peso del vehículo en vacío más el peso de los ocupantes, luego se procede a ingresar el valor al banco de rodillos para simular las pruebas con una fuerza tractora constante.

Simulación de los ciclos de conducción

Debido a que se necesita conocer los valores de consumo de combustibles en el banco dinamométrico de los diferentes vehículos, es necesario la simulación de los ciclos de conducción obtenidos, esto se desarrolló a través de la utilización de un cronómetro y el velocímetro del vehículo.

5.3 Método Analítico y Objetivo

Mediante el uso de este método se realiza una clasificación ordenada por vehículo analizado que permita obtener una correcta justificación de los diferentes fenómenos que se presentan en el experimento.

Con el uso del método objetivo, se realizará la validación de los resultados o datos de consumo, obtenidos tanto en los diferentes recorridos o movimientos dentro del Centro Histórico como también los del banco dinamométrico.

5.3.1 Validación de los Consumos de combustible obtenidos en los movimientos realizados en el Centro Histórico según las pruebas establecidas

Debido a que el experimento consiste en realizar 3 pruebas por cada movimiento en el Centro Histórico con la finalidad de obtener tres datos de consumo de los vehículos establecidos y así obtener un valor promedio, resulta indispensable validar estos resultados lo cual lo realizaremos a través de la varianza de la muestra y la desviación estándar la misma que permitirá obtener un valor de fluctuación respecto al valor promedio de los datos de consumo y descartar el valor con mayor grado de dispersión en caso de ser necesario.

5.3.2 Validación de los consumos de combustible obtenidos en los movimientos realizados en el Centro Histórico según el vehículo utilizado

Una vez seleccionados los valores de consumo por movimiento, estos servirán para realizar una validación por vehículo y se realizará mediante un análisis de varianza o prueba ANOVA.

La prueba ANOVA servirá para conocer si todos los movimientos poseen medias iguales con respecto al consumo, es decir se selecciona una hipótesis nula. Para esto se obtendrá un valor de F que servirá para validar la hipótesis por medio de una tabla de distribución con un margen de error del 5%.

6. Análisis de resultados

6.1 Consumos de combustible obtenidos en el Centro Histórico

Para obtener los consumos de combustible se realizan tres pruebas por cada movimiento establecido con los vehículos de diferente cilindrada.

Vehículos \leq 1000 cc

Los consumos obtenidos por cada movimiento, se validan mediante el método descrito en el apartado 5.3.1, los resultados se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Consumos obtenidos en el Centro Histórico. Vehículo < 1000cc

Consumos (gramos)												
Movimiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Prueba 1	72	46	68	54	90	64	44	94	52	64	54	130
Prueba 2	90	42	88	116	98	62	32	58	52	32	118	102
Prueba 3	68	68	66	56	78	50	52	50	34	58	62	152

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

La tabla 9, muestra la desviación estándar para cada movimiento, el cual será el valor de fluctuación con respecto a media aritmética de los datos de consumo de las pruebas realizadas, donde se seleccionan los valores que estén dentro de este rango, obteniendo dos pruebas por cada movimiento.

Tabla 9. Selección de los consumos de las pruebas

Movimiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Media	76,6	52,0	74,0	75,3	88,6	58,6	42,6	67,3	46,0	51,3	78,0	128,0
Desviación estándar	11,7	14,0	12,1	35,2	10,0	7,5	10,0	23,4	10,3	17,0	34,8	25,0
Pruebas seleccionadas	(1-3)	(1-2)	(1-3)	(1-3)	(1-2)	(1-2)	(1-3)	(2-3)	(1-2)	(1-3)	(1-3)	(1-3)

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016
 Tabla 10. Consumos seleccionados del Centro Histórico

CONSUMOS EN EL CENTRO HISTORICO													
MOVIMIENTOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Vehículo ≤1000cc	PRUEBA 1												
	Consumo (gr)	72	46	68	54	90	64	44	58	52	64	54	130
	Consumo (L)	0,095	0,061	0,089	0,071	0,118	0,084	0,058	0,076	0,068	0,084	0,071	0,171
	Tiempo (min)	7,25	6,23	7,1	7,25	9,85	4,28	5,76	10,43	5,06	6,67	4,17	12,02
	Consumo (L/min)	0,013	0,010	0,013	0,010	0,012	0,020	0,010	0,007	0,014	0,013	0,017	0,014
	PRUEBA 2												
	Consumo (gr)	68	42	66	56	98	62	52	50	52	58	62	152
	Consumo (L)	0,089	0,055	0,087	0,074	0,129	0,082	0,068	0,066	0,068	0,076	0,082	0,200
	Tiempo (min)	8,01	6,67	7,58	11,93	11,7	3,73	3,78	6,75	4,72	3,3	9,08	8,03
	Consumo (L/min)	0,011	0,008	0,011	0,006	0,011	0,022	0,018	0,010	0,014	0,023	0,009	0,025
1000cc< Vehículo ≤1600cc	PRUEBA 1												
	Consumo (gr)	156	54	112	50	106	106	38	42	52	52	98	188
	Consumo (L)	0,205	0,071	0,147	0,066	0,139	0,139	0,050	0,055	0,068	0,068	0,129	0,247
	Tiempo (min)	9,78	3,6	7,58	5,06	8,41	7,08	3,21	4,15	5,06	3,48	10,15	16,91
	Consumo (L/min)	0,021	0,019	0,019	0,013	0,016	0,019	0,015	0,013	0,013	0,019	0,012	0,014
	PRUEBA 2												
	Consumo (gr)	130	58	98	76	104	108	54	58	40	46	96	190
	Consumo (L)	0,171	0,076	0,129	0,100	0,137	0,142	0,071	0,076	0,053	0,061	0,126	0,250
	Tiempo (min)	6,25	4,9	9,75	5,03	8,26	6,8	5,08	7,05	4,66	3,58	6,33	9,78
	Consumo (L/min)	0,027	0,015	0,013	0,019	0,016	0,0209	0,014	0,010	0,011	0,016	0,020	0,025
1600cc< Vehículo ≤2000cc	PRUEBA 1												
	Consumo (gr)	172	76	86	140	94	54	84	134	88	44	126	166
	Consumo (L)	0,226	0,100	0,113	0,184	0,124	0,071	0,111	0,176	0,116	0,058	0,166	0,218
	Tiempo (min)	11,13	6,35	6,27	10,3	6,62	4,03	7,35	10,95	4,95	2,81	10,13	10,71
	Consumo (L/min)	0,020	0,015	0,018	0,017	0,018	0,017	0,015	0,016	0,023	0,020	0,016	0,020
	PRUEBA 2												
	Consumo (gr)	176	80	100	162	96	50	94	104	88	54	120	132
	Consumo (L)	0,232	0,105	0,132	0,213	0,126	0,066	0,124	0,137	0,116	0,071	0,158	0,174
	Tiempo (min)	10,07	5,85	6,95	13,03	9,05	4,32	6,01	9,67	5,48	4,067	5,32	8,75
	Consumo (L/min)	0,023	0,018	0,018	0,016	0,014	0,015	0,020	0,014	0,021	0,017	0,029	0,019
Vehículo >2000cc	PRUEBA 1												
	Consumo (gr)	392	210	246	142	222	174	168	218	212	134	112	126
	Consumo (L)	0,516	0,276	0,324	0,187	0,292	0,229	0,221	0,287	0,279	0,176	0,147	0,166
	Tiempo (min)	10,08	7,73	9,8	5,45	8,68	6,67	4,98	6,8	6,48	4,73	4,57	4,45
	Consumo (L/min)	0,051	0,036	0,033	0,034	0,034	0,034	0,044	0,042	0,043	0,037	0,032	0,037
	PRUEBA 2												
	Consumo (gr)	380	208	216	134	202	194	174	209	194	106	126	130
	Consumo (L)	0,500	0,274	0,284	0,176	0,266	0,255	0,229	0,275	0,255	0,139	0,166	0,171
	Tiempo (min)	10,3	9,98	6,5	5,1	8,8	8,07	6,63	6,2	5,58	4,37	3,52	4,18
	Consumo (L/min)	0,049	0,027	0,044	0,035	0,030	0,032	0,035	0,044	0,046	0,032	0,047	0,041

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

En la tabla 10, se observan los valores de consumo de las dos pruebas seleccionadas, además se muestra el tiempo transcurrido en la ejecución de cada movimiento, permitiendo obtener un valor de consumo en litros/minuto, el cual se utiliza para realizar la validación de los datos explicado en el apartado 5.3.2.

Las pruebas seleccionadas servirán para ejecutar la simulación de los ciclos de conducción correspondientes en el banco dinamométrico, con el objetivo de obtener nuevos valores de consumo.

6.2 Resultados de la validación de los consumos obtenidos mediante análisis de varianza ANOVA

Tabla 11. Validación de consumos. Prueba ANOVA

Vehículos	Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F
Vehículos ≤ 1000cc	Factor	0,000253	11	2,3007E-05	1,802
	Error	0,000153	12	1,2767E-05	
1000cc < Vehículos ≤ 1600 cc	Factor	0,000251	11	2,2834E-05	1,617
	Error	0,000169	12	1,4118E-05	
1600cc < Vehículos ≤ 2000cc	Factor	0,000145	11	1,3195E-05	1,171
	Error	0,000135	12	1,1266E-05	
Vehículos > 2000cc	Factor	0,00068	11	6,2184E-05	2,566
	Error	0,00029	12	2,4237E-05	

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

La tabla 11, muestra el factor F de los vehículos seleccionados, el cual se verifica que no supere el valor crítico de varianza que según la tabla de distribución de Fisher es de 2.717. Por lo tanto se cumple la hipótesis nula, es decir que la diferencia de medias de todos los movimientos no es significativa con respecto al consumo.

6.3 Consumos obtenidos en el banco dinamométrico en función de los ciclos de conducción

Se utilizan los ciclos de conducción obtenidos por cada movimiento realizado en el Centro histórico de las 2 pruebas seleccionadas.

La simulación de los ciclos de conducción en el banco dinamométrico permite obtener los consumos que se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Consumos obtenidos en el Banco Dinamométrico

CONSUMOS EN EL BANCO DINAMOMETRICO													
Ciclo de Conducción	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Vehículo ≤1000cc	PRUEBA 1												
	Consumo (gr)	70	64	64	56	78	40	52	56	52	58	52	106
	Consumo (L)	0,092	0,084	0,084	0,074	0,103	0,053	0,068	0,074	0,068	0,076	0,068	0,139
	Consumo (L/min)	0,013	0,014	0,012	0,010	0,010	0,012	0,012	0,011	0,014	0,011	0,016	0,012
	PRUEBA 2												
	Consumo (gr)	38	56	50	52	94	40	48	48	54	78	72	100
Consumo (L)	0,050	0,074	0,066	0,068	0,124	0,053	0,063	0,063	0,071	0,103	0,095	0,132	
Consumo (L/min)	0,014	0,011	0,012	0,012	0,010	0,014	0,016	0,011	0,015	0,010	0,011	0,010	
1000cc< Vehículo ≤1600cc	PRUEBA 1												
	Consumo (gr)	122	60	94	70	144	88	46	64	66	48	124	162
	Consumo (L)	0,161	0,079	0,124	0,092	0,189	0,116	0,061	0,084	0,087	0,063	0,163	0,213
	Consumo (L/min)	0,016	0,022	0,016	0,018	0,023	0,016	0,019	0,020	0,017	0,018	0,016	0,013
	PRUEBA 2												
	Consumo (gr)	78	68	102	70	100	76	62	72	62	50	82	120
Consumo (L)	0,103	0,089	0,134	0,092	0,132	0,100	0,082	0,095	0,082	0,066	0,108	0,158	
Consumo (L/min)	0,016	0,018	0,014	0,018	0,016	0,015	0,016	0,013	0,018	0,018	0,017	0,016	
1600cc< Vehículo ≤2000cc	PRUEBA 1												
	Consumo (gr)	152	104	100	136	92	68	108	146	80	42	126	130
	Consumo (L)	0,200	0,137	0,132	0,179	0,121	0,089	0,142	0,192	0,105	0,055	0,166	0,171
	Consumo (L/min)	0,018	0,022	0,021	0,017	0,018	0,022	0,019	0,018	0,021	0,020	0,016	0,016
	PRUEBA 2												
	Consumo (gr)	118	92	92	164	126	58	88	118	70	44	70	128
Consumo (L)	0,155	0,121	0,121	0,216	0,166	0,076	0,116	0,155	0,092	0,058	0,092	0,168	
Consumo (L/min)	0,015	0,021	0,017	0,017	0,018	0,018	0,019	0,016	0,017	0,014	0,017	0,019	
Vehículo >2000cc	PRUEBA 1												
	Consumo (gr)	218	166	196	158	188	138	112	116	116	106	70	88
	Consumo (L)	0,287	0,218	0,258	0,208	0,247	0,182	0,147	0,153	0,153	0,139	0,092	0,116
	Consumo (L/min)	0,028	0,028	0,026	0,038	0,028	0,027	0,030	0,022	0,024	0,029	0,020	0,026
	PRUEBA 2												
	Consumo (gr)	196	152	124	114	162	144	152	82	114	100	108	104
Consumo (L)	0,258	0,200	0,163	0,150	0,213	0,189	0,200	0,108	0,150	0,132	0,142	0,137	
Consumo (L/min)	0,025	0,020	0,025	0,029	0,024	0,023	0,030	0,017	0,027	0,030	0,040	0,033	

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

En la tabla 12, se observan los valores de consumo de las dos pruebas simuladas, el tiempo transcurrido es el mismo que las pruebas seleccionadas en el Centro Histórico, permitiendo obtener un valor de consumo en litros/minuto, el cual se utiliza para obtener

un consumo promedio y realizar una comparación con los obtenidos en el Centro Histórico.

6.4 Tiempos promedios obtenidos en el Centro Histórico en función de los movimientos realizados

En la figura 38, se muestra los tiempos promedios que cada vehículo necesita para cumplir con los movimientos establecidos, los tiempos son directamente proporcionales al flujo de tráfico presente al momento de realizar el recorrido. Todos los movimientos y las pruebas fueron realizados en horario de máxima demanda vehicular, pero esto no quiere decir que el flujo vehicular se mantendría constante a lo largo de estos lapsos de tiempos, el flujo vehicular cambiaba con facilidad debido a la imprudencia de los conductores.

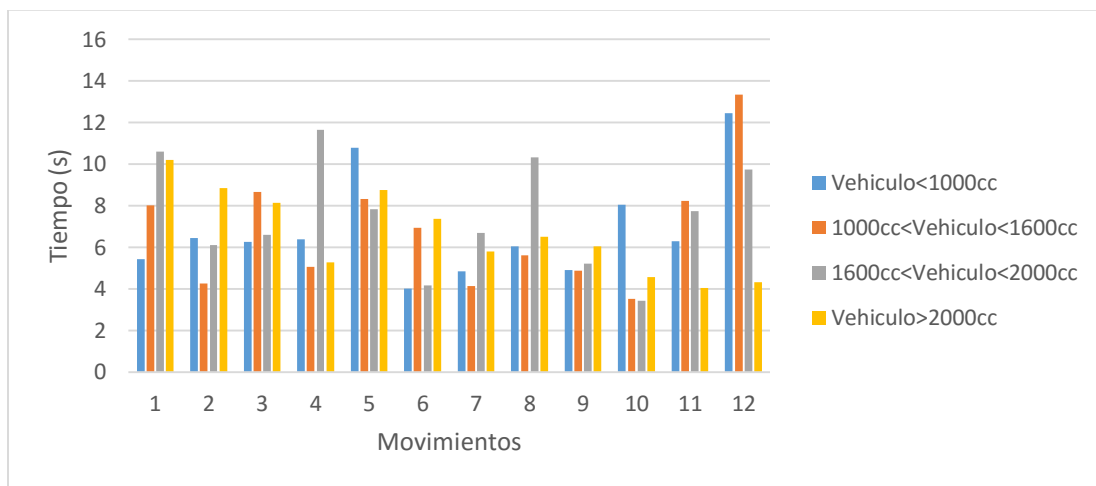


Figura 38. Tiempos promedios en el Centro Histórico en función de los movimientos realizados
Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

6.5 Consumo de combustible obtenidos en el Centro Histórico en función de los movimientos realizados

En la figura 39, se correlaciona el consumo de combustible con los movimientos realizados, es decir si el consumo de combustible está en función del tiempo se aprecia como en la mayoría de los movimientos el consumo con respecto al tiempo es proporcional a la cilindrada del vehículo, sin embargo los valores que no corresponden a la cilindrada se debe a que los ciclos de conducción correspondientes son muy diferentes al de los otros vehículos.

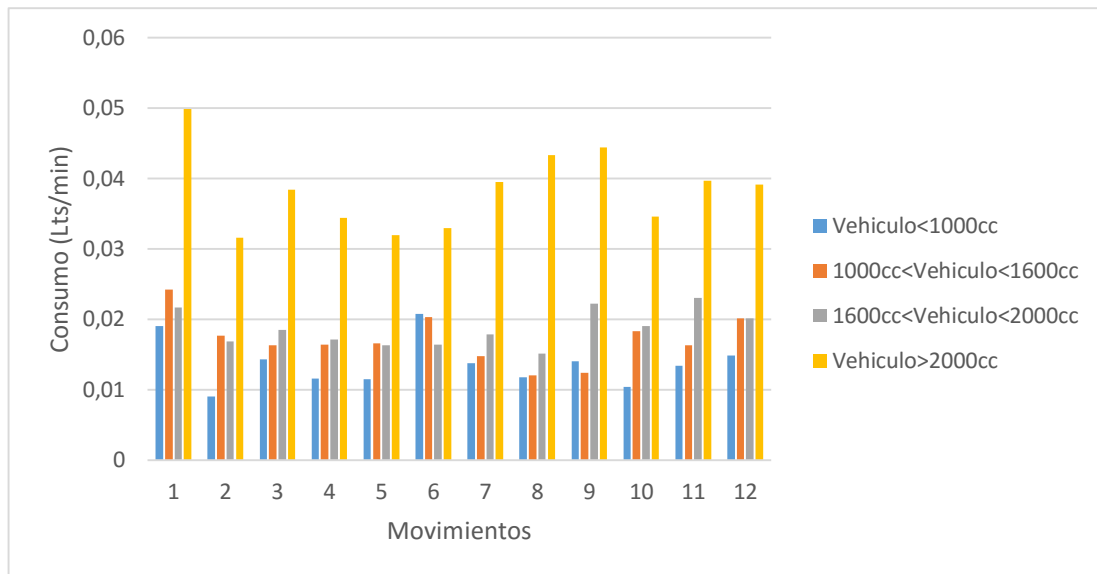


Figura 39. Consumo de combustible en litros/ minuto obtenidos en el Centro Histórico en función de los movimientos realizados

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

En la tabla 13, se muestra el consumo de todos los movimientos realizados, de cada vehículo en el que se realizó las pruebas.

Tabla 13. Consumos en el Centro histórico

CONSUMOS EN EL CENTRO HISTORICO								
MOVIMIENTOS	Vehículo ≤ 1000cc		1000cc < Vehículo ≤ 1600cc		1600cc < Vehículo ≤ 2000cc		Vehículo > 2000cc	
	L/min	L/km	L/min	L/km	L/min	L/km	L/min	L/km
MOVIMIENTO 1	0,019	0,13	0,024	0,25	0,022	0,29	0,050	0,64
MOVIMIENTO 2	0,009	0,07	0,018	0,10	0,017	0,13	0,032	0,36
MOVIMIENTO 3	0,014	0,13	0,016	0,20	0,018	0,17	0,038	0,44
MOVIMIENTO 4	0,012	0,11	0,016	0,12	0,017	0,29	0,034	0,27
MOVIMIENTO 5	0,012	0,15	0,017	0,16	0,016	0,15	0,032	0,33
MOVIMIENTO 6	0,021	0,10	0,020	0,18	0,016	0,09	0,033	0,30
MOVIMIENTO 7	0,014	0,10	0,015	0,09	0,018	0,18	0,039	0,34
MOVIMIENTO 8	0,012	0,12	0,012	0,12	0,015	0,27	0,043	0,49
MOVIMIENTO 9	0,014	0,08	0,012	0,07	0,022	0,14	0,044	0,33
MOVIMIENTO 10	0,010	0,13	0,018	0,10	0,019	0,10	0,035	0,25
MOVIMIENTO 11	0,013	0,11	0,016	0,17	0,023	0,22	0,040	0,20
MOVIMIENTO 12	0,015	0,21	0,020	0,30	0,020	0,22	0,039	0,19

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

En la tabla 14, se muestra el consumo promedio en Litros/min y en Litros/km de cada vehículo de diferente cilindrada.

Tabla 14. Consumos promedios en el Centro Histórico

CONSUMOS PROMEDIOS				
PROMEDIOS	Vehículo ≤ 1000cc	1000cc < Vehículo ≤ 1600cc	1600cc < Vehículo ≤ 2000cc	Vehículo > 2000cc
L/min	0,0137003	0,0171210	0,0186899	0,0383029
L/km	0,1204282	0,1549922	0,1887089	0,3453869

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

6.6 Consumo de combustible obtenidos en el banco dinamométrico en función de los ciclos de conducción

En la figura 40, se muestra el consumo de combustible en función del tiempo en el banco dinamométrico, este consumo varía en función de los ciclos de conducción y debido a que resulta muy difícil simular los ciclos obtenidos los valores de estos consumos no son proporcionales a la cilindrada del motor dependen directamente del ciclo que se realizó en el banco dinamométrico.

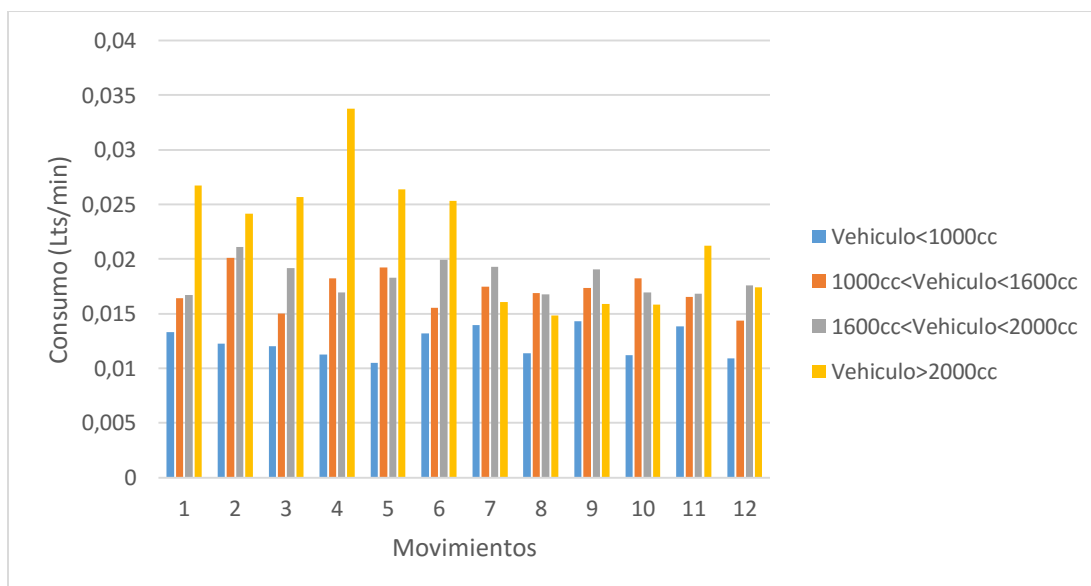


Figura 40. Consumos en el Banco Dinamométrico.

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

En la tabla 15, se muestra los valores de consumos promedios obtenidos en el Banco Dinamométrico de los ciclos obtenidos en el Centro Histórico.

Tabla 15. Consumos en el Banco Dinamométrico

CONSUMO BANCO DINAMOMETRICO (L/min)				
MOVIMIENTOS	Vehículo ≤ 1000cc	1000cc < Vehículo ≤ 1600cc	1600cc < Vehículo ≤ 2000cc	Vehículo > 2000cc
MOVIMIENTO 1	0,0133	0,0164	0,0167	0,0267
MOVIMIENTO 2	0,0123	0,0201	0,0211	0,0241
MOVIMIENTO 3	0,0120	0,0150	0,0192	0,0257
MOVIMIENTO 4	0,0113	0,0183	0,0170	0,0338
MOVIMIENTO 5	0,0105	0,0192	0,0183	0,0264
MOVIMIENTO 6	0,0132	0,0155	0,0199	0,0254
MOVIMIENTO 7	0,0140	0,0175	0,0193	0,0161
MOVIMIENTO 8	0,0114	0,0169	0,0168	0,0149
MOVIMIENTO 9	0,0143	0,0173	0,0190	0,0159
MOVIMIENTO 10	0,0112	0,0183	0,0170	0,0158
MOVIMIENTO 11	0,0138	0,0166	0,0168	0,0212
MOVIMIENTO 12	0,0109	0,0144	0,0176	0,0174

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

6.7 Comparación de los consumos de combustible obtenidos en Centro Histórico y el banco dinamométrico en función de los vehículos utilizados

En la figura 41, se muestra la comparación de los consumos promedios totales en litros/min de los 12 movimientos obtenidos en el Centro Histórico y los consumos obtenidos en el Banco Dinamométrico. El promedio de los consumos de combustible obtenidos en el Banco Dinamométrico en función de los ciclos de conducción son muy similares a los valores de consumos promedios obtenidos en el Centro Histórico.

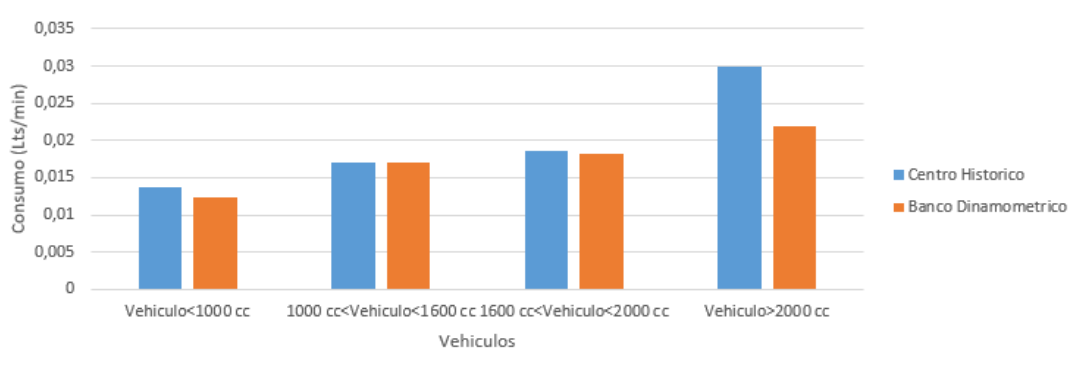


Figura 41. Comparación de los consumos de combustibles obtenidos en el Centro Histórico y el Banco Dinamométrico en función de los vehículos utilizado

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

6.8 Costo generado al transitar por el Centro Histórico en función de los vehículos utilizados

Una vez obtenido el consumo de combustible por minuto de cada vehículo al circular dentro de la urbe de la ciudad y conociendo que el valor actual de la gasolina en el Ecuador es de 39 ctvs/L. según Global Petrol Price, se puede establecer el costo que genera transitar en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca en función de los vehículos obtenidos.

Tabla 16. Costos generados al transitar dentro del Centro Histórico de la ciudad de Cuenca

COSTOS (ctvs)				
MOVIMIENTOS	Vehículo ≤ 1000	1000 < Vehículo ≤ 16000	1600 < Vehículo ≤ 2000	Vehículo > 2000
MOVIMIENTO 1	4,02	8,07	7,23	16,63
MOVIMIENTO 2	2,26	4,42	4,22	7,90
MOVIMIENTO 3	3,50	4,73	5,35	11,10
MOVIMIENTO 4	2,88	4,55	4,74	9,52
MOVIMIENTO 5	4,84	5,77	5,68	11,11
MOVIMIENTO 6	3,24	4,45	3,60	7,23
MOVIMIENTO 7	2,59	3,09	3,73	8,26
MOVIMIENTO 8	2,78	3,35	4,20	12,01
MOVIMIENTO 9	2,67	2,54	4,56	9,09
MOVIMIENTO 10	3,25	3,49	3,63	6,60
MOVIMIENTO 11	3,28	4,19	5,90	10,17
MOVIMIENTO 12	7,22	7,80	7,82	15,18

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

La tabla 17, muestra los costos obtenidos para cada vehículo seleccionado, el costo de recorrer un minuto en el Centro Histórico y el costo de recorrer una distancia de un kilómetro en el mismo.

Tabla 17. Costos Finales

COSTOS	ctvs/min	ctvs/km
Vehículo ≤ 1000cc	0,534	4,871
1000cc < Vehículo ≤ 16000cc	0,668	6,023
1600cc < Vehículo ≤ 2000cc	0,729	7,314
Vehículo > 2000cc	1,494	13,283

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

6.9 Ciclos de conducción urbano

Los ciclos de conducción urbanos se obtienen de todos los ciclos simulados en el banco dinamométrico por movimiento y en cada uno de los vehículos, esto se logra promediando tiempos y velocidades (ver tabla 18), obteniendo un patrón de conducción.

Esto se realiza con la finalidad de tener un ciclo de conducción por cada movimiento establecido dentro del Centro Histórico de la ciudad de Cuenca. A continuación se presentan el ciclo de conducción urbano por movimiento.

Tabla 18. Operaciones del ciclo de conducción urbano

	Operación 1				Operación 2				Operación 3				Operación 4			
Velocidad (km/h)	0	0-10	10	10-0	0	0-15	15	15-0	0	0-20	20	20-0	0	0-25	25	25-0
Tiempo por secuencia (s)	44	7	26	7	44	8	30	8	44	11	35	11	44	22	45	22
Tiempo por operación (s)	84				90				101				133			
Tiempo total del ciclo (s)	408															

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

En la figura 41, se muestra el ciclo de conducción urbano, que es el promedio de las velocidades y los tiempos de los ciclos simulados en el banco dinamométrico de cada movimiento, el ciclo se encuentra ordenado por operaciones, cada una con un límite de velocidad establecido, los ciclos de conducción urbano correspondientes a cada movimiento se encuentran en el Anexo 1.

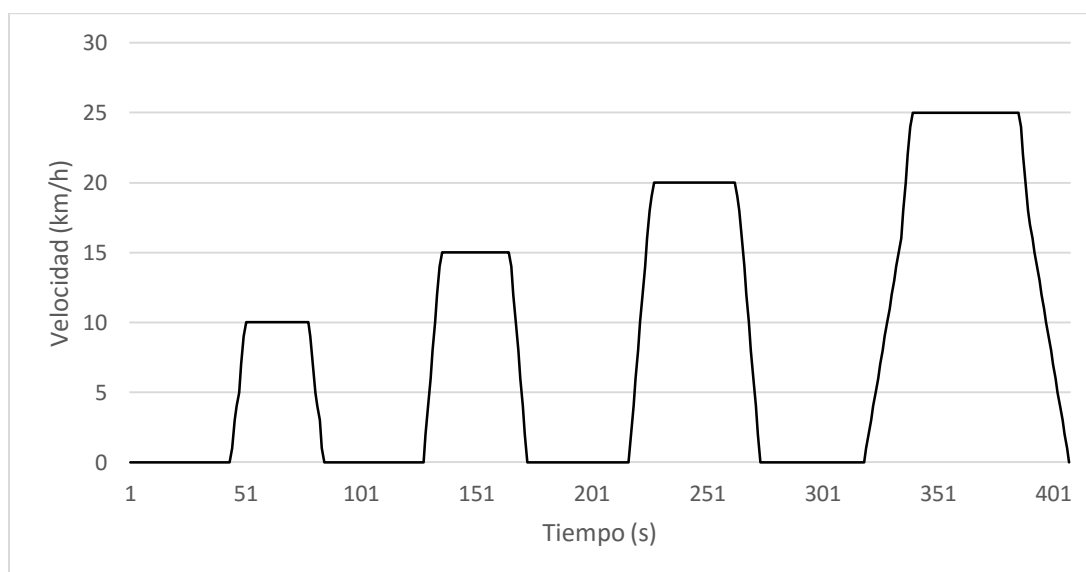


Figura 42. Ciclo de conducción urbano

Fuente: Gálvez & Lima ; 2016

7. Conclusiones

Con los valores de consumo de combustible que se obtuvieron al circular en el Centro Histórico, utilizando vehículos de diferentes cilindrada pertenecientes a la categoría M1 se estableció un consumo promedio por cada movimiento realizado dentro de la urbe, determinando la cantidad de combustible que se requiere para realizar cada uno de los recorridos con los vehículos de diferentes rangos de cilindraje. El consumo de combustible varía según el movimiento realizado puesto que cada uno de estos difiere en sus distancias, además del tiempo de permanencia dentro de estos. Los consumos también varían en función del cilindraje de cada vehículo, es decir a mayor cilindraje mayor consumo.

Los ciclos de conducción que se registraron dentro de la urbe permitieron determinar con exactitud el tiempo utilizado durante la circulación en cada uno de los movimientos. Los ciclos de conducción facilitaron el análisis de los datos de consumo de combustible, puesto que permitió observar el comportamiento del vehículo circulando por cada movimiento.

Con las pruebas realizadas con cada vehículo en el banco dinamométrico simulando los ciclos de conducción pertenecientes a los movimientos realizados dentro de la urbe, se obtuvo nuevos consumos de combustible. Estos consumos permiten realizar una comparación con los consumos obtenidos en las pruebas realizadas en el centro histórico, donde los valores resultan ser aproximados. La variación entre ambas pruebas se debe a los comportamientos de manejo que se da en la ciudad, donde la circulación se ve afectada por frenadas y aceleraciones bruscas producidas por las acciones de los demás conductores, lo cual resulta complicado plasmarlo en la simulación de los ciclos de conducción en el banco dinamométrico ocasionando que los datos de consumo de combustible varíen.

Los valores de consumo de combustible promedio obtenidos según el vehículo utilizado y además de conocer el tiempo de permanencia y las distancias en cada movimiento, proporcionan un consumo en litros/minutos y en litros/km. Estos consumos permitieron determinar los costos generados al transitar por la urbe de la ciudad, los mismos que resultan ser proporcionales al rango de cilindraje de los vehículos utilizado, es decir a mayor cilindraje mayor será el costo.

8. Recomendaciones

El Centro Histórico es afectado cada vez más por la gran problemática del tráfico vehicular, por este motivo se realizó un análisis de consumo de combustible el cual refleja claramente este problema, donde los tiempos de permanencia en estas calles se prolongan, y por ende los costos de circulación dentro de la urbe se incrementan. Con el objetivo de reducir estos valores se presentan algunas recomendaciones:

- Una medida que ayudaría a reducir de manera significativa el consumo de combustible en el Centro Histórico, es la de restringir el acceso de vehículos al mismo. Aplicando el Pico y Placa, limitando la circulación de vehículos en el Centro Histórico en horas de máxima demanda, lo que ocasionaría un flujo vehicular continuo.
- Una mejor planificación del cierre de intersecciones, calles o avenidas en casos de construcción de proyectos de carácter civil como por ejemplo la implementación del transporte masivo de personas como lo es el “Tranvía de los Cuatros Ríos de Cuenca” que se está ejecutando actualmente en la Ciudad, que además, junto con una mayor intervención de los agentes de tránsito, lograría un mejor flujo vehicular.
- Se recomienda un sistema de educación vial para que los peatones y los conductores respeten las señales de tránsito, ceder el paso, conducir a una distancia adecuada entre automóvil y automóvil, utilizar el paso cebra para cruzar las calles del Centro Histórico, este sistema de educación vial ayudaría a evitar el tráfico ocasionado por las imprudencias de los conductores y de los peatones.

9. Referencias bibliográficas.

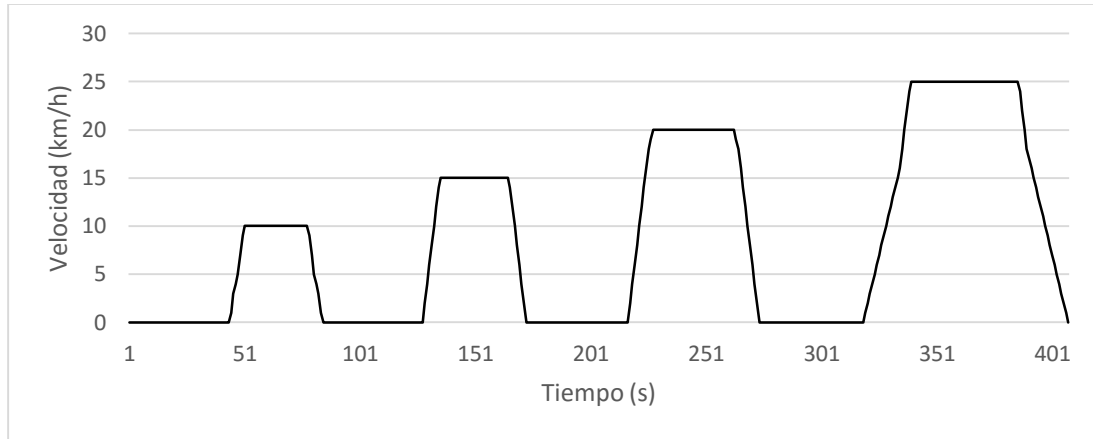
- Camarillo, J. A. (Agosto de 2011). Estudio de la combustion de un motor monocilindrico de ignicion alimentado con mezclas gasolina-etanol anhidrido e hidratado a distintas concentraciones. *Tesis de Grado*. Veracruz, Mexico, Mexico.
- Cantos, J. S., & Toledo, J. G. (Febrero de 2015). Analisis de impacto economico generado por los niveles de servicio de las vialidades en el Centro Historico de la ciudad de Cuenca. (*Tesis de Grado*). Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Carchipulla, C. E., & Quizhpi, G. V. (Mayo de 2015). *Analisis de la recaudacion del impuesto ambiental a la contaminacion de vehiculos motorizados en la ciudad de Cuenca durante el periodo 2013*.
- Carranza, E. H. (2012). Construcccion de un banco didactico para el funcionamiento y reconocimiento de partes de un sistema de alimentacion por (GLP) en motor de explosion interna. (*Tesis de Grado*). Riobamba , Chimborazo, Ecuador .
- Cevallos, J. (15 de abril de 2015). *Estimacion del consumo de combustible en el transporte terrestre en Ecuador. Ponencia presentada en nombre del Centro de Prospectiva Estrategica (CEPROEC)*. Obtenido de [http://ceproec.iaen.edu.ec/download/wps\(2\)/2015_05.pdf](http://ceproec.iaen.edu.ec/download/wps(2)/2015_05.pdf)
- Ecuadorinmediato. (5 de Enero de 2012). *El 100 % del Pais recibe diesel premium de mejor calidad para disminuir la contaminacion*. Obtenido de http://www.ecuatorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=164706
- El Comercio. (Abril de 2012). *El nuevo octanaje de la gasolina en el Ecuador* . Obtenido de <http://especiales.elcomercio.com/2012/04/gasolina/>
- El Comercio. (8 de Enero de 2015). *El intenso trafico de Quito, Guayaquil y Cuenca se concentra de 18:00 a 20:00*. Obtenido de <http://www.elcomercio.com/actualidad/trafico-transito-quito-guayaquil-cuenca.html>
- El Telegrafo. (18 de Septiembre de 2012). *El diesel tendra un 5% de biodiesel en Ecuador*. Obtenido de <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/1/el-diesel-tendra-un-5-de-biodiesel-en-ecuador>

- hcjb Noticias. (18 de Julio de 2014). *El bolsillo se afecta con disminucion de Octanaje*. Obtenido de <http://radiohcjb.org/el-bolsillo-se-afecta-con-disminucion-de-octanaje/>
- Heras, B. P. (Septiembre de 2011). Desarrollo de una metodologia para generacion de ciclos de conduccion representativos del trafico real urbano. Aplicacion para medida de emisiones en banco de rodillos. (*Proyecto Fin de Carrera*). Madrid, España.
- Hernandez, J. P., Sanchez, E. I., & Sandoval, J. C. (2014). Actualizacion de los ciclos de manejo en el valle de Mexico para vehiculos ligeros. (*Tesis de Grado*). Mexico, Mexico, Mexico.
- La Tarde. (8 de Diciembre de 2014). *Parque automotor incrementa y el plan de movilidad se enfoca en la peatonización*. Obtenido de <http://www.latarde.com.ec/2014/12/08/parque-automotorincrementa-Y-el-plan-de-movilidad-se-enfoca-en-la-peatonizacion/>
- Mercurio, E. (21 de Septiembre de 2014). *100.000 vehiculos circulan diariamente en la Ciudad*. Obtenido de <http://www.elmercurio.com.ec/448682-100-000-vehiculos-circulandiariamenteen-la-ciudad>
- NormaSAEJ1321:2012. (2012). *Norma SAE J1321:2012 Fuel Consumption Test Procedure*. Obtenido de <http://www.acee.cl/sites/default/files/concursos/prNCh3331%20V4%2031012013%20%28GT%29.pdf>
- Ortiz, M. A. (2014). Estudio comparativo del uso del diesel entre Europa y Ecuador, utilizado para motores de vehiculos. (*Tesis de Grado*). Quito, Pichincha, Ecuador.
- Plan de Movilidad y Espacios Publicos. (2015). *Una diagnosis para 9 puntos del Centro Historico*. Obtenido de http://www.cuenca.gob.ec/sites/default/files/PMEP_CentroHistorico.pdf

10. Anexos

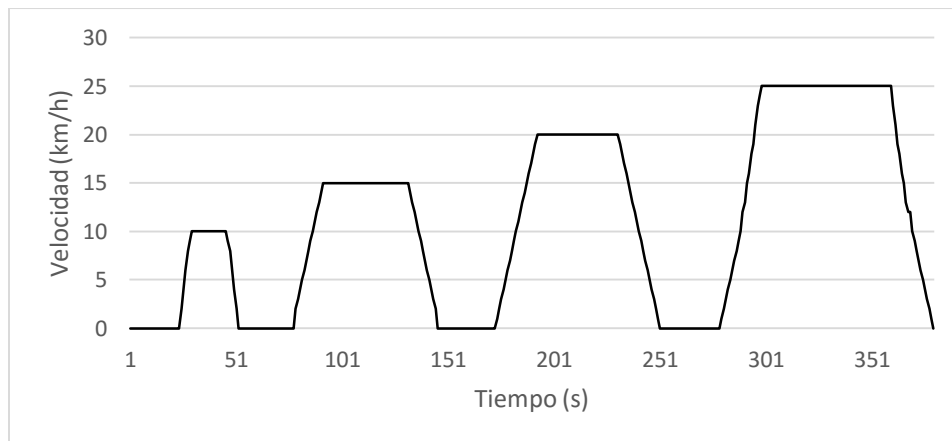
Anexo 1. Ciclos Urbanos

Movimiento 1



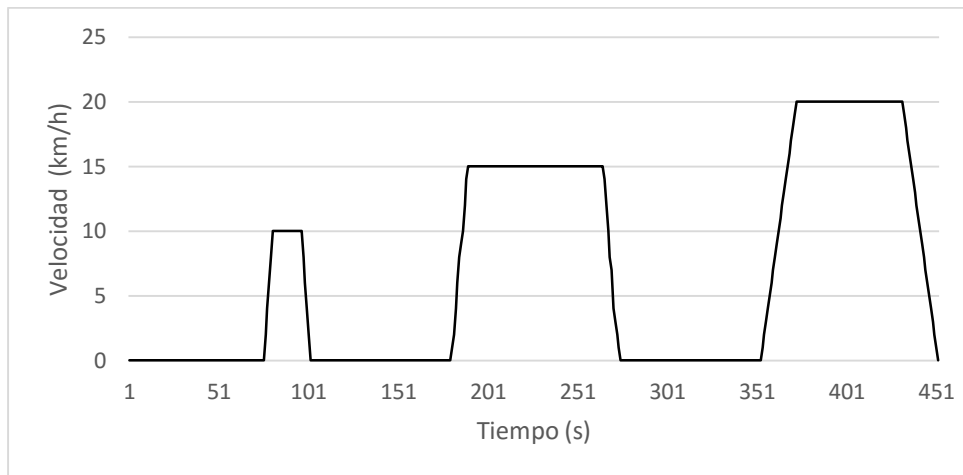
	Operación 1				Operación 2				Operación 3				Operación 4			
Velocidad (km/h)	0	0-10	10	10-0	0	0-15	15	15-0	0	0-20	20	20-0	0	0-25	25	25-0
Tiempo por secuencia (s)	44	7	26	7	44	8	30	8	44	11	35	11	44	22	45	22
Tiempo por operación (s)	84				90				101				133			
Tiempo total del ciclo (s)	408															

Movimiento 2



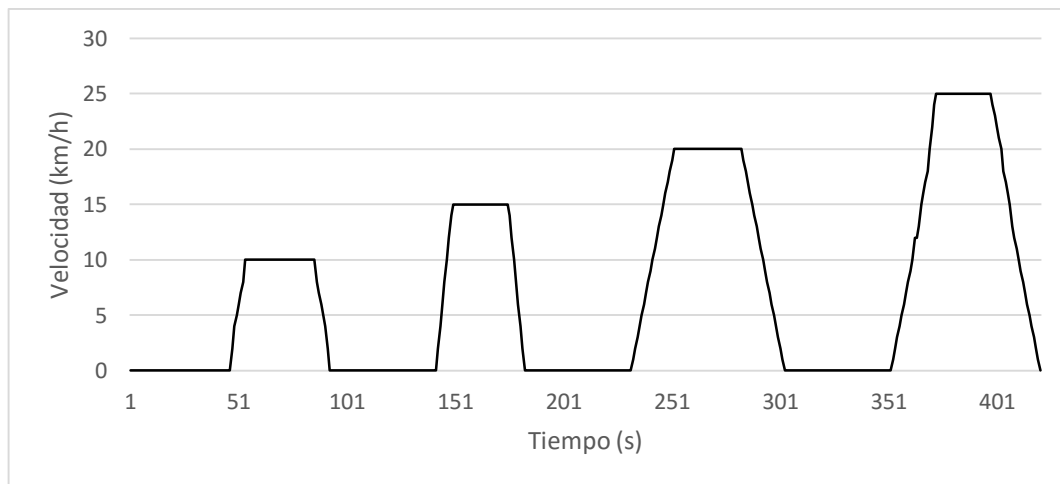
	Operación 1				Operación 2				Operación 3				Operación 4			
Velocidad (km/h)	0	0-10	10	10-0	0	0-15	15	15-0	0	0-20	20	20-0	0	0-25	25	25-0
Tiempo por secuencia (s)	25	6	16	6	25	14	39	14	25	22	37	22	25	20	64	20
Tiempo por operación (s)	53				92				106				129			
Tiempo total del ciclo (s)	380															

Movimiento 3



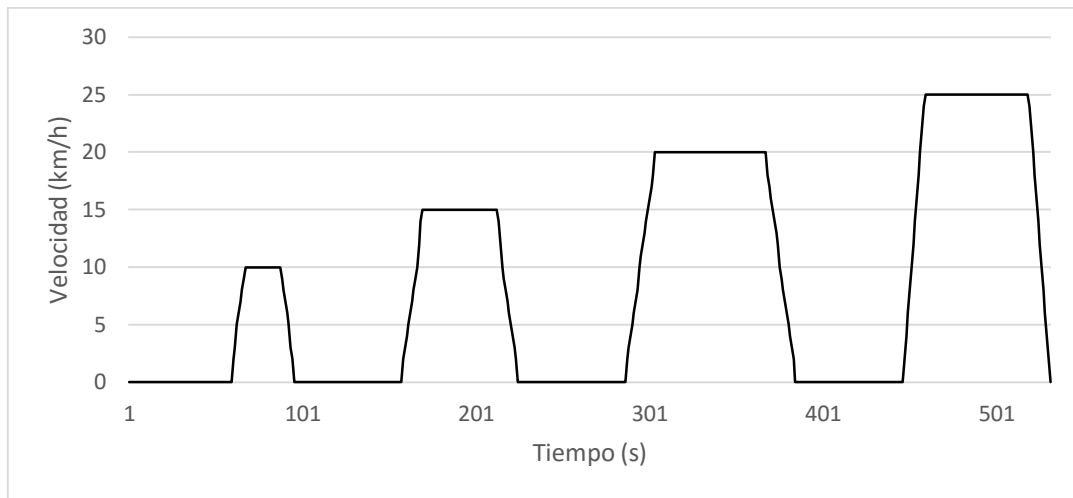
	Operación 1				Operación 2				Operación 3			
Velocidad (km/h)	0	0-10	10	10-0	0	0-15	15	15-0	0	0-20	20	20-0
Tiempo por secuencia (s)	78	5	16	5	78	9	76	9	78	20	58	20
Tiempo por operación (s)	104				172				176			
Tiempo total del ciclo (s)	452											

Movimiento 4



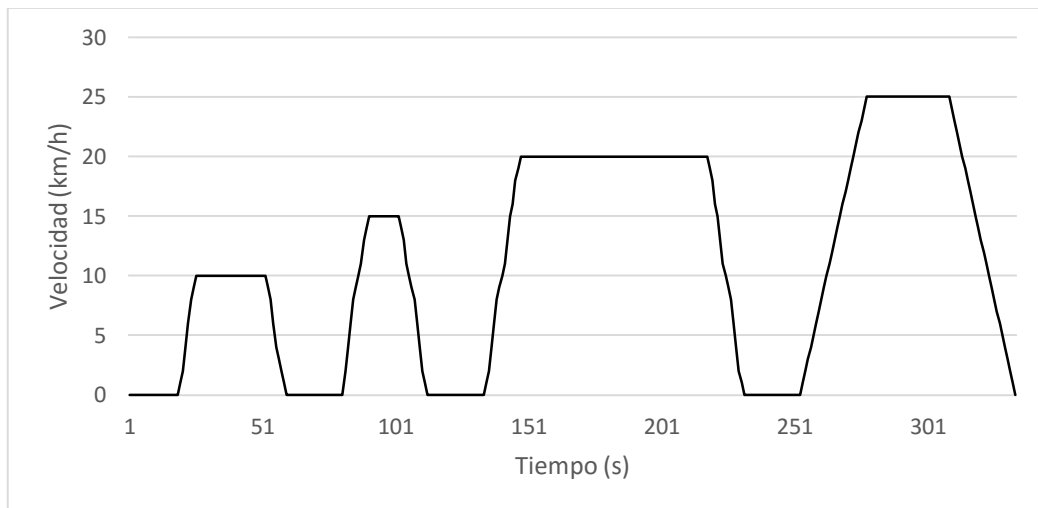
	Operación 1				Operación 2				Operación 3				Operación 4			
Velocidad (km/h)	0	0-10	10	10-0	0	0-15	15	15-0	0	0-20	20	20-0	0	0-25	25	25-0
Tiempo por secuencia (s)	49	7	30	7	49	8	25	8	49	20	30	20	49	21	28	21
Tiempo por operación (s)	93				90				119				119			
Tiempo total del ciclo (s)	421															

Movimiento 5



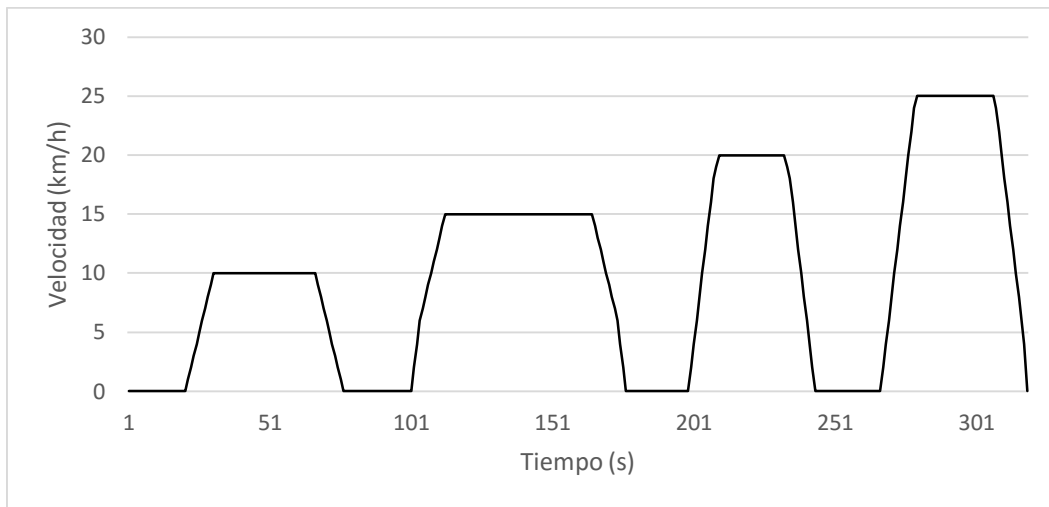
	Operación 1				Operación 2				Operación 3				Operación 4			
Velocidad (km/h)	0	0-10	10	10-0	0	0-15	15	15-0	0	0-20	20	20-0	0	0-25	25	25-0
Tiempo por secuencia (s)	62	8	20	8	62	12	44	12	62	17	64	17	62	11	60	11
Tiempo por operación (s)	98				130				160				144			
Tiempo total del ciclo (s)	532															

Movimiento 6



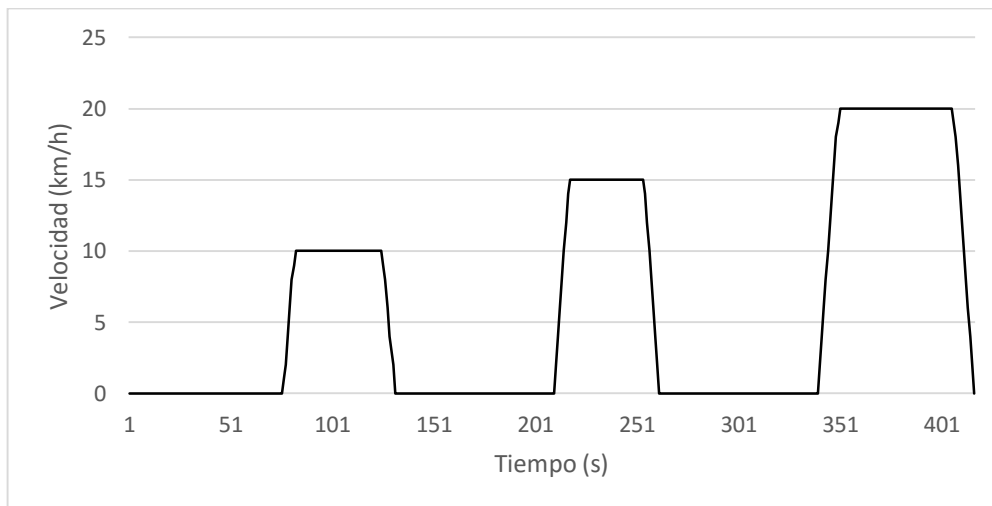
	Operación 1				Operación 2				Operación 3				Operación 4			
Velocidad (km/h)	0	0-10	10	10-0	0	0-15	15	15-0	0	0-20	20	20-0	0	0-25	25	25-0
Tiempo por secuencia (s)	21	7	26	7	21	10	12	10	21	14	70	14	21	24	32	24
Tiempo por operación (s)	61				53				119				101			
Tiempo total del ciclo (s)	334															

Movimiento 7



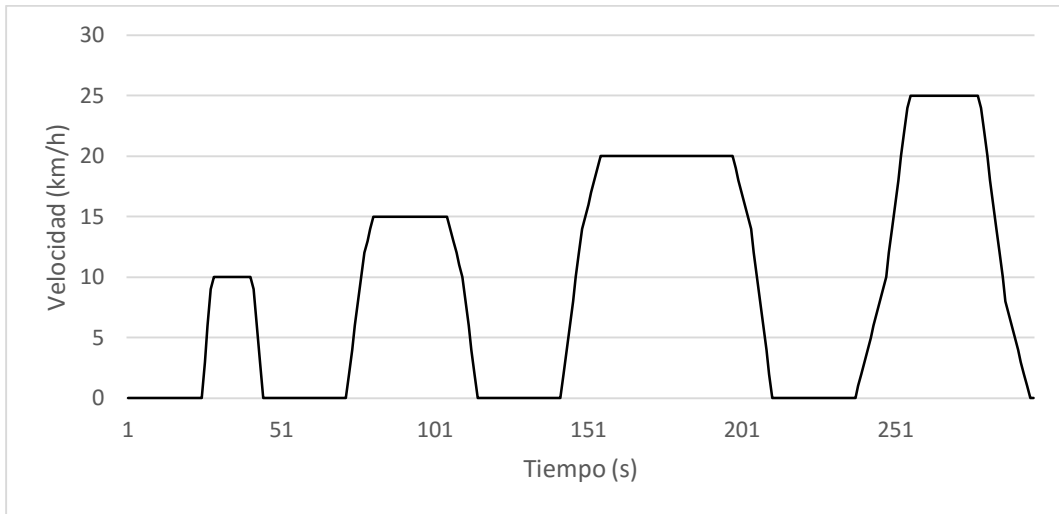
	Operación 1				Operación 2				Operación 3				Operación 4			
Velocidad (km/h)	0	0-10	10	10-0	0	0-15	15	15-0	0	0-20	20	20-0	0	0-25	25	25-0
Tiempo por secuencia (s)	23	10	36	10	23	10	52	10	23	11	25	11	23	12	28	12
Tiempo por operación (s)	79				95				70				75			
Tiempo total del ciclo (s)	319															

Movimiento 8



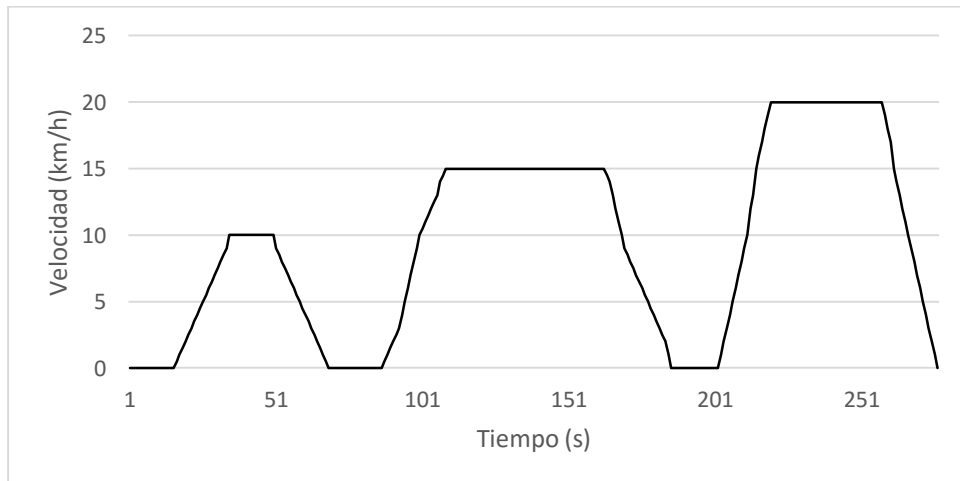
	Operación 1				Operación 2				Operación 3			
Velocidad (km/h)	0	0-10	10	10-0	0	0-15	15	15-0	0	0-20	20	20-0
Tiempo por secuencia (s)	78	7	42	7	78	8	36	8	78	10	55	10
Tiempo por operación (s)	134				130				153			
Tiempo total del ciclo (s)	417											

Movimiento 9



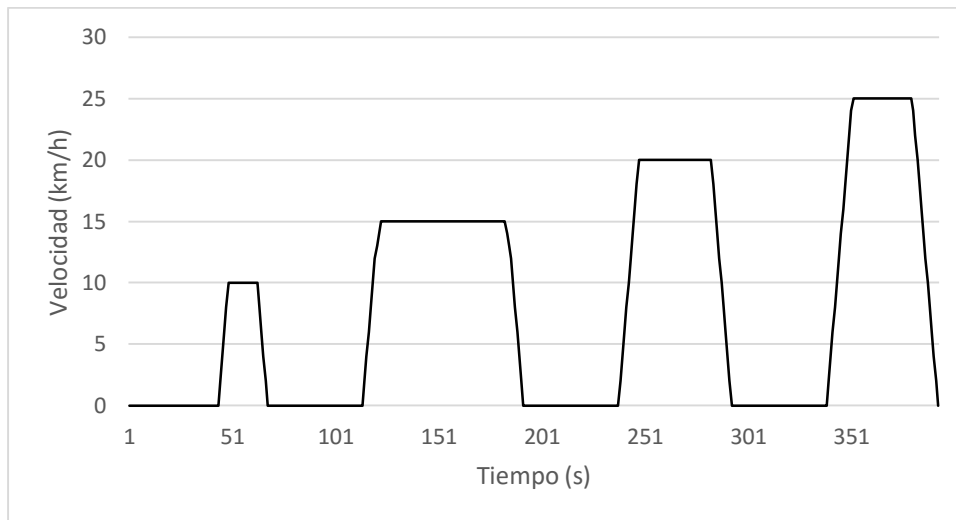
	Operación 1				Operación 2				Operación 3				Operación 4			
Velocidad (km/h)	0	0-10	10	10-0	0	0-15	15	15-0	0	0-20	20	20-0	0	0-25	25	25-0
Tiempo por secuencia (s)	27	4	12	4	27	10	23	10	27	12	43	12	27	16	26	16
Tiempo por operación (s)	47				70				94				85			
Tiempo total del ciclo (s)	296															

Movimiento 10



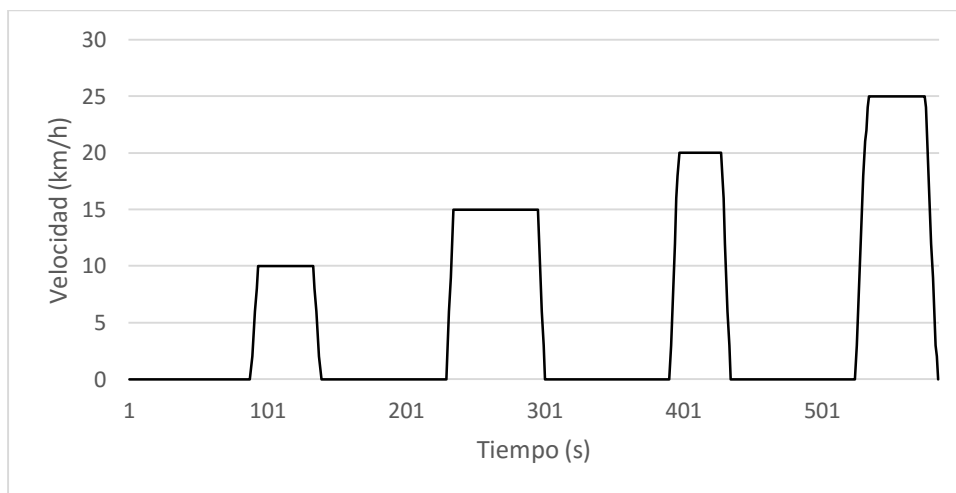
	Operación 1				Operación 2				Operación 3			
Velocidad (km/h)	0	0-10	10	10-0	0	0-15	15	15-0	0	0-20	20	20-0
Tiempo por secuencia (s)	17	16	17	16	17	22	55	22	17	20	38	20
Tiempo por operación (s)	66				116				95			
Tiempo total del ciclo (s)	277											

Movimiento 11



	Operación 1				Operación 2				Operación 3				Operación 4			
Velocidad (km/h)	0	0-10	10	10-0	0	0-15	15	15-0	0	0-20	20	20-0	0	0-25	25	25-0
Tiempo por secuencia (s)	46	5	15	5	46	8	60	8	46	10	35	10	46	12	29	12
Tiempo por operación (s)	71				122				101				99			
Tiempo total del ciclo (s)	393															

Movimiento 12



	Operación 1				Operación 2				Operación 3				Operación 4			
Velocidad (km/h)	0	0-10	10	10-0	0	0-15	15	15-0	0	0-20	20	20-0	0	0-25	25	25-0
Tiempo por secuencia (s)	90	6	40	6	90	5	61	5	90	7	29	7	90	10	39	10
Tiempo por operación (s)	142				161				133				149			
Tiempo total del ciclo (s)	585															