

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ

PROYECTO TÉCNICO:

“ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y NIVELES DE
EMISIONES CONTAMINANTES DE UN VEHÍCULO DE CATEGORÍA M1 EN
RUTAS CON MAYOR GRADO DE SATURACIÓN EN LA CIUDAD DE
CUENCA”

AUTORES:

Arias Montaña Elmer Israel

Ludeña Ayala José Andrés

TUTOR:

Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, M.Sc

Cuenca – Ecuador

2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Elmer Israel Arias Montaña, con documento de identificación N° 1104504269, y José Andrés Ludeña Ayala, con documento de identificación N° 1104874548, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación denominado: “ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y NIVELES DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN VEHÍCULO DE CATEGORÍA M1 EN RUTAS CON MAYOR GRADO DE SATURACIÓN EN LA CIUDAD DE CUENCA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, marzo del 2018



Elmer Israel Arias Montaña

C.I. 1104504269



José Andrés Ludeña Ayala

C.I. 1104874548

CERTIFICACIÓN

Yo Néstor Diego Rivera Campoverde, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación denominado: “ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y NIVELES DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN VEHÍCULO DE CATEGORÍA M1 EN RUTAS CON MAYOR GRADO DE SATURACIÓN EN LA CIUDAD DE CUENCA”, realizado por los autores, Elmer Israel Arias Montaña y José Andrés Ludeña Ayala, obteniendo el Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, marzo del 2018



Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, M.Sc

C.I. 0103898995

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Elmer Israel Arias Montaña, con documento de identificación N° 1104504269, y José Andrés Ludeña Ayala con documento de identificación N° 1104874548, autores del Trabajo de Titulación: “ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y NIVELES DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN VEHÍCULO DE CATEGORÍA M1 EN RUTAS CON MAYOR GRADO DE SATURACIÓN EN LA CIUDAD DE CUENCA”, certificamos que el total contenido del Proyecto Técnico, son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, marzo del 2018



Elmer Israel Arias Montaña

C.I. 1104504269



José Andrés Ludeña Ayala

C.I. 1104874548

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme vida para culminar esta etapa importante de mi vida.

A mis padres por brindarme su confianza y apoyo en todo momento.

A mi tutor de tesis, Ing. Néstor Rivera M.Sc por brindarme su confianza y sabiduría necesaria para el desarrollo de este proyecto.

A mi tía Gloria Arias por haber confiado en mi persona y ser un enorme apoyo en mi vida universitaria.

A mi compañero de tesis Andrés por ser un gran apoyo de amistad y conocimientos para el desarrollo de este proyecto.

A mis todos mis amigos, y familiares que de alguna u otra forma han formado parte de este trabajo.

Elmer

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios y la Virgencita del Cisne sobre todas las cosas porque cada día me ha dado vida, salud y energía para superar todo este proceso educativo.

Agradezco a mis padres por todo el esfuerzo, paciencia y dedicación brindada durante todo este camino universitario, sobre todo el apoyo incondicional que tiene conmigo y que gracias a ellos he logrado todo en mi vida.

A nuestro director de tesis Ing. Néstor Rivera por todos los conocimientos impartidos durante el desarrollo del proyecto y por la ayuda fundamental para que se lleve a cabo el proyecto, que han servido para nuestro crecimiento intelectual.

Agradezco a mi compañero de tesis por el apoyo de sus conocimientos para consolidar este proyecto.

Agradezco a toda mi Familia por el apoyo que me han brindado, de manera especial a mis tíos Carmelita Ayala y Vicente Guerrero por el apoyo con el vehículo para realizar el proyecto de titulación.

Agradezco a mi novia Stefania Macas por todo el apoyo incondicional, el amor y la paciencia que ha tenido todos estos años que he estado con ella.

A mi tío José Ayala y Luis Ayala por el apoyo y colaboración con materiales para realizar el proyecto.

Agradezco a mis primas Andrea Ayala y Bella Cecibel por todo el cariño y apoyo que me han sabido brindar.

Andrés

DEDICATORIA

Dedico este proyecto:

Primeramente a Dios y a la Virgencita por ser mi fortaleza incondicional en cada momento de mi vida.

A mis queridos padres Elmer y Dolores quienes han velado por mi bienestar a lo largo de mis estudios, por ser mi apoyo absoluto para culminar esta importante etapa de mi vida.

A mi hermana y sobrina que a pesar de la distancia alegraron cada día de mi estadía en esta ciudad.

A mi abuelito Eduardo Montaña, quien siempre quiso verme profesional, a mi abuelita Antonieta Bravo por ser un pilar muy importante en mi vida. Esta especial dedicatoria va directamente al cielo para mi Papi Lalo, sé que él desde donde esté está sonriendo por haber alcanzado este triunfo.

Elmer

DEDICATORIA

Primeramente dedico a mi Dios que ha sido mi guía y que he puesto todo en sus manos para realizar este proyecto

Este trabajo de titulación dedico principalmente a mi Papá José Vitelio Ludeña y a mi Mamá Yolanda Regina Ayala, que han sido mi pilar fundamental para mi crecimiento personal, vocacional y como profesional.

Andrés

RESUMEN

El presente trabajo determina los niveles de emisiones contaminantes y consumo de combustible en un vehículo de categoría M1 que circula en rutas con mayor grado de saturación de tráfico vehicular en la ciudad de Cuenca en diferentes días y horarios de congestión vehicular con el fin de establecer información valiosa sobre la contaminación ambiental y consumo de combustible que produce el tráfico vehicular en diferentes zonas de la ciudad.

En el capítulo 1 se estudia las zonas con mayor porcentaje de viajes de vehículos motorizados en la ciudad, con la finalidad de establecer las rutas para el estudio las mismas que están divididas en dos secciones, con el objetivo de ampliar la recolección de datos, es decir que, por las 6 rutas establecidas, se tendrá un total de 12 secciones.

En el capítulo 2 se procede a desarrollar la metodología para el diseño experimental para la toma de datos, en este apartado se definen las variables que intervienen en el proceso, como los instrumentos necesarios para la realización del proyecto.

En el capítulo 3 se presenta el análisis de las variables de estudio obtenidas en la adquisición de datos al desarrollar las pruebas en las rutas establecidas, variando el horario de tráfico vehicular y el día en que se realiza el recorrido de la ruta.

En el capítulo 4 se presenta los resultados finales en cuanto a consumo de combustible y emisiones contaminantes en las rutas más concurridas por la ciudadanía cuencana, estableciendo información eficaz que aporte para futuros proyectos de investigación.

ABSTRACT

This paper determines the greenhouse gas emissions levels and the fuel consumption in a M1 category vehicle, which is driven through high vehicular traffic routes in Cuenca in different days and congested traffic schedules in order to establish true data about the environmental pollution and fuel consumption which are produced by high vehicular traffic in different city areas.

In chapter 1 the highest percentage of motored vehicles traveling in the city is studied, in order to establish the studying routes which are divided into two sections, with the purpose of expanding the data collection, meaning that, for the 6 established routes there will be a total of 12 sections.

In chapter 2 it is necessary to develop the data collection methodology for the experimental design, in this section the process involved variables are defined, as the necessary instruments for the projects development.

Chapter 3 presents the analysis of the studied variables obtained in the data acquisition while the tests are developed in the established routes, varying the vehicular traffic schedule and the day in which the route is taken.

Chapter 4 presents the final results in terms of fuel consumption and greenhouse gas emissions in the most crowded routes by the Cuenca's population, establishing effective information which will contribute to future research projects.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	PROBLEMA	2
3	OBJETIVOS.....	3
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	3
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
4	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
4.1	Motores de encendido provocado, MEP.....	4
4.1.1	Combustibles	4
4.1.2	La gasolina.....	4
4.2	Proceso de Combustión	5
4.2.1	Tipos de combustión.....	5
4.2.2	Parámetros ambientales que influyen en la combustión.....	6
4.3	Contaminantes atmosféricos	6
4.3.1	Contaminantes producidos por motores de combustión interna alternativos	7
5	ESTADO DEL ARTE	9
6	MARCO METODOLÓGICO	10
6.1	Fase I: Determinación de las rutas en las zonas de mayor afluencia de tráfico en la ciudad de Cuenca	10
6.1.1	Características generales del cantón Cuenca	10
6.1.2	Flujos de origen destino.....	12
6.1.3	Líneas deseo	12
6.1.4	Zonas de la ciudad de mayor afluencia de tráfico motorizado	13
6.1.5	Determinación de rutas para pruebas experimentales	15
6.2	Fase II: Metodología para el Desarrollo Experimental para la toma de datos. 27	
6.2.1	Introducción.....	27

6.2.2	Planeación para el Desarrollo de la Corrida Experimental.....	27
6.2.3	Variables que intervienen en el estudio de emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible.	28
6.2.4	Variables de Entrada.....	29
6.2.5	Variables de Ruido	33
6.2.6	Variables de Bloqueo.....	33
6.2.7	Variables de Respuesta.....	34
6.2.8	Presentación de Diseño experimental para recolección de datos	34
6.2.9	Unidad Experimental.....	37
6.2.10	Adquisición de datos	47
6.2.11	Incorporación de equipos para la adquisición de datos	48
6.2.12	Protocolo de Medición	49
6.2.13	Proceso para adquisición de datos	50
6.2.14	Proceso para conversión de datos.....	50
6.3	Fase III: Análisis de resultados mediante método estadístico	52
6.3.1	Gráficas de residuos.....	52
6.3.2	Gráficas de efectos principales	54
6.3.3	Interacciones.....	63
6.3.4	Gráficas de contorno.....	66
6.3.5	Gráficas de superficie	71
6.4	Fase IV: Determinación de Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible en las zonas con mayor índice de tráfico vehicular	78
6.4.2	Comparación de las rutas con mayor y menor índice de consumo de combustible y gases contaminantes.....	85
6.4.3	Determinación de emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible en las zonas con mayor índice de tráfico vehicular mediante gráficas de columnas.	87
7	CONCLUSIONES	90

8	REFERENCIAS	92
9	ANEXOS	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Esquema de combustión en los MEP	4
Figura 4.2. Esquema de combustión perfecta.....	5
Figura 6.1. Ubicación del cantón Cuenca.....	10
Figura 6.2. Ubicación de las parroquias Rurales de Cuenca	11
Figura 6.3. Ubicación de las parroquias urbanas de Cuenca	11
Figura 6.4. Flujos de origen y destino para la ciudad de Cuenca	12
Figura 6.5. Líneas Deseo usadas por vehículo privado	13
Figura 6.6. Zonas Urbanas de la ciudad	13
Figura 6.7. Zonas con mayor porcentaje de viajes	15
Figura 6.8. Ruta 1 sección 1	17
Figura 6.9. Ruta 1 sección 2	17
Figura 6.10. Ruta 2 sección 1	18
Figura 6.11. Ruta 2 sección 2	19
Figura 6.12. Ruta 3 sección 1	20
Figura 6.13. Ruta 3 sección 2	21
Figura 6.14. Ruta 4 sección 1	22
Figura 6.15. Ruta 4 sección 2	23
Figura 6.16. Ruta 5 sección 1	24
Figura 6.17. Ruta 5 sección 2	25
Figura 6.18. Ruta 6 sección 1	26
Figura 6.19. Ruta 6 sección 2	27
Figura 6.20. Factores que intervienen en el desarrollo experimental.....	28
Figura 6.21. Cantidad de vehículos por horas	30
Figura 6.22. Volumen de tráfico a la semana	31
Figura 6.23. Modos de transporte.....	37
Figura 6.24. Composición Vehicular de la ciudad de Cuenca.....	38
Figura 6.25. Clasificación Vehicular	38
Figura 6.26. Vehículo utilizado para adquisición de datos.....	39
Figura 6.27. Analizador de Gases.....	41
Figura 6.28. Scanner Carman VG	42
Figura 6.29. Inversor de corriente Power Express 750W	43
Figura 6.30. Expendio de gasolina Ecopaís.....	44

Figura 6.31. Expendio de combustible en Ecuador	45
Figura 6.32. Tanque portátil de combustible	46
Figura 6.33. Balanza digital.....	47
Figura 6.34. Programación para adquisición de datos	48
Figura 6.35. Equipos instalados para experimentación	49
Figura 6.36. Proceso para adquisición de datos.....	50
Figura 6.37. Valores de HC en ppm	51
Figura 6.38. Residuos de consumo de combustible en las secciones 1	53
Figura 6.39. Residuos de HC en secciones uno.....	54
Figura 6.40. Efectos principales para consumo de combustible en secciones uno	55
Figura 6.41. Efectos principales para consumo de combustible en secciones uno	56
Figura 6.42. Efectos principales para CO en secciones uno.....	57
Figura 6.43. Efectos principales para CO en secciones dos	58
Figura 6.44. Efectos principales para HC en secciones uno.....	59
Figura 6.45. Efectos principales para HC en secciones dos	60
Figura 6.46. Efectos principales para CO ₂ en secciones uno.....	60
Figura 6.47. Efectos principales para CO ₂ en secciones dos	61
Figura 6.48. Efectos principales para O ₂ en secciones uno	62
Figura 6.49. Efectos principales para O ₂ en secciones dos.....	63
Figura 6.50. Interacciones para consumo de combustible en secciones uno.....	63
Figura 6.51. Interacciones para consumo de combustible en secciones dos.	64
Figura 6.52. Interacciones para CO en secciones uno.....	65
Figura 6.53. Interacciones para CO en secciones dos.	65
Figura 6.54. Interacciones para HC en secciones uno.....	66
Figura 6.55. Contorno para Consumo de combustible en secciones uno.....	67
Figura 6.56. Contorno para Consumo de combustible en secciones dos.	67
Figura 6.57. Contorno para CO en secciones uno.	68
Figura 6.58. Contorno para CO en secciones dos.....	69
Figura 6.59. Contorno para HC en secciones uno.	69
Figura 6.60. Contorno para HC en secciones dos.....	70
Figura 6.61. Contorno para CO ₂ en secciones uno.	71
Figura 6.62. Superficie de Consumo de combustible en secciones uno.....	72
Figura 6.63. Superficie de Consumo de combustible en secciones dos.	73
Figura 6.64. Superficie de CO en secciones uno.....	73

Figura 6.65. Superficie de CO en secciones dos.	74
Figura 6.66. Superficie de HC en secciones uno.	75
Figura 6.67. Superficie de HC en secciones dos.	75
Figura 6.68. Superficie de O2 en secciones uno.	76
Figura 6.69. Superficie de O2 en secciones dos.	77
Figura 6.70. Superficie de CO2 en secciones uno.	77
Figura 6.71. Superficie de CO2 en secciones dos.	78
Figura 6.72. Consumo de combustible en función del día	85
Figura 6.73. Monóxido de carbono en función del día.....	86
Figura 6.74. Hidrocarburos no combustionados en función del día.....	86
Figura 6.75. Consumo de combustible	87
Figura 6.76. Emisiones de CO.....	88
Figura 6.77. Emisiones de HC.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de contaminantes según criterios.....	7
Tabla 2. Destinos totales anuales de viajes dentro de la ciudad	14
Tabla 3. Variables de entrada	29
Tabla 4. Niveles de tráfico.....	30
Tabla 5. Horarios para recorridos de rutas	31
Tabla 6. Días para adquisición de datos	32
Tabla 7. Rutas establecidas para la adquisición de datos	32
Tabla 8. Variables de ruido.....	33
Tabla 9. Variables de Bloqueo	33
Tabla 10. Variables de Respuesta.....	34
Tabla 11. Desarrollo del Experimento.....	35
Tabla 12. Matriz de diseño de experimental.....	35
Tabla 13. Corrida experimental	36
Tabla 14. Vehículos más vendidos en la ciudad de Cuenca.....	39
Tabla 15. Especificaciones técnicas del vehículo.....	40
Tabla 16. Características técnicas del Analizador de Gases.....	41
Tabla 17. Especificaciones técnicas Scanner Carman VG	42
Tabla 18. Características del inversor de corriente Power Express 750W	43
Tabla 19. Características del tanque portátil de combustible	46
Tabla 20. Características balanza digital	47
Tabla 21. Datos para conversión a gramos.....	51
Tabla 22. Emisiones de gases y consumo de combustible en secciones uno de las rutas	55
Tabla 23. Emisiones de gases y consumo de combustible en secciones dos de las rutas.	56
Tabla 24. Denominación de las variables de entrada	71
Tabla 25. Datos de consumo de combustible y emisiones contaminantes en ruta #1	79
Tabla 26. Datos de consumo de combustible y emisiones contaminantes en ruta #2	80
Tabla 27. Datos de consumo de combustible y emisiones contaminantes en ruta #3	81
Tabla 28. Datos de consumo de combustible y emisiones contaminantes en ruta #4	82
Tabla 29. Datos de consumo de combustible y emisiones contaminantes en ruta #5	83
Tabla 30. Datos de consumo de combustible y emisiones contaminantes en ruta #6	84

INDICE DE ANEXOS

Figura A - 1. Residuos de Consumo de combustible en las secciones dos de las rutas .	94
Figura A - 2. Residuos de CO en las secciones uno de las rutas	94
Figura A - 3. Residuos de CO en las secciones dos de las rutas	95
Figura A - 4. Residuos de HC en las secciones dos de las rutas	95
Figura A - 5. Residuos de CO ₂ en las secciones uno de las rutas	96
Figura A - 6. Residuos de CO ₂ en las secciones dos de las rutas	96
Figura A - 7. Residuos de O ₂ en las secciones uno de las rutas.....	97
Figura A - 8. Residuos de O ₂ en las secciones dos de las rutas	97
Figura A - 9. Interacción de HC en las secciones dos de las rutas	98
Figura A - 10. Interacción de CO ₂ en las secciones uno de las rutas.....	98
Figura A - 11. Interacción de CO ₂ en las secciones dos de las rutas	99
Figura A - 12. Interacción de O ₂ en las secciones uno de las rutas	99
Figura A - 13. Interacción de CO ₂ en las secciones dos de las rutas	100
Figura A - 14. Contorno de CO ₂ vs. Hora y Ruta en las secciones dos de las rutas....	100
Figura A - 15. Contorno de O ₂ vs. Hora y Ruta en las secciones uno de las rutas	101
Figura A - 16. Contorno de O ₂ vs. Hora y Ruta en las secciones dos de las rutas.....	101

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad en la ciudad de Cuenca, específicamente en las zonas más frecuentadas por la ciudadanía en general, se observa constantemente el congestionamiento vehicular que se genera, produciendo variación en el consumo de combustible de los automotores y generando contaminación ambiental ocasionada por los gases de salida en el sistema de escape de los vehículos.

El crecimiento anual del parque automotor en la ciudad, la edad de las unidades de transporte, la falta de programas de capacitación sobre el control de emisiones vehiculares, aumenta la contaminación del aire y reduce la calidad de vida de la población

Los gases que emana el sistema de escape del vehículo repercuten directamente sobre la atmósfera y sobre la salud de los seres humanos, produciendo en ellos consecuencias negativas como dificultades para respirar, ardor de los ojos, o secuelas aún más graves como llegar a causar inconsciencia.

Es por esto que el presente proyecto plantea realizar un análisis sobre las emisiones contaminantes que emana el vehículo al momento de circular por las vías en las zonas más frecuentadas por la ciudadanía cuencana. Así como determinar la cantidad de combustible que consume el vehículo en dichas vías de la ciudad.

Los resultados obtenidos serán aporte importante para la ciudadanía Cuencana y para proyectos de investigación futuros.

2 PROBLEMA

En la actualidad no existen cifras sobre la contaminación ambiental y consumo de combustible que produce el tráfico vehicular en las rutas más transitadas de la ciudad de Cuenca. Durante los últimos años, ha existido un incremento del parque automotor en la ciudad, según el Informe de calidad del aire del año 2016, en el 2008 fueron 9.261 los vehículos que aprobaron la revisión técnica vehicular, mientras que en el año 2016 aprobaron 114.408 unidades, alcanzando una tasa promedio de crecimiento vehicular anual en la ciudad del 11%. (EMOV, 2016). El incremento vehicular ha producido nuevas zonas de congestionamiento de tráfico en la urbe, y los lugares más frecuentados por vehículos y personas son el centro histórico, el Ejido, la Feria Libre, Totoracocha y Miraflores (Ilustre Municipalidad de Cuenca, 2015), esta aglomeración dependiendo del día de la semana, hora en que transitan, ruta por la que se movilizan, carga del vehículo y el tráfico en dicha zona, produce que los conductores varíen la manera de conducir el vehículo generando como resultado emisiones contaminantes y variación del consumo de combustible de los automotores. Se han desarrollado estudios previos vinculados a la determinación del consumo de combustible en el centro histórico de la ciudad de Cuenca, pero, sin embargo, se han elaborado solamente en una zona específica de la misma siguiendo metodologías no relevantes vinculadas para el tipo de investigación que se va a desarrollar.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar mediante análisis estadístico el comportamiento de un vehículo de categoría M1 para la determinación de los niveles de consumo de combustible y emisiones contaminantes en zonas de mayor aglomeración de tráfico en la ciudad de Cuenca.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar las zonas de mayor afluencia de vehículos mediante la metodología científica para la determinación de las rutas de conducción.
- Desarrollar la metodología de diseño experimental para la toma de datos de contaminación y consumo de combustible.
- Analizar los datos obtenidos mediante métodos estadísticos para la determinación de los niveles de contaminación y consumo de combustible.
- Establecer los resultados mediante el método deductivo para la determinación de los índices de consumo y contaminación vehicular en rutas con mayor afluencia de vehículos de la ciudad.

4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1 Motores de encendido provocado, MEP

Conocidos también como motores de ciclo Otto o motores de encendido por chispa, son motores en los que al finalizar el proceso de compresión del mismo se dispone de una mezcla de aire y combustible homogénea, la cual se propaga mediante un frente de llama y el encendido se obtiene mediante un agente externo como puede ser el salto de una chispa de la bujía. En la figura 4.1 se puede observar el esquema de combustión de los motores MEP. (Rovira de Antonio & Muñoz Dominguez, 2015)

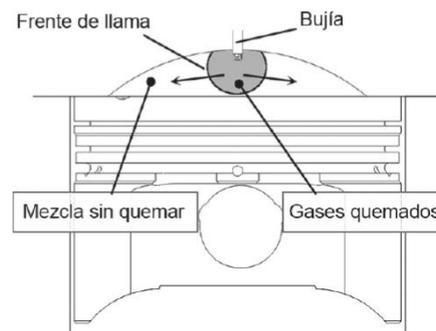


Figura 4.1. Esquema de combustión en los MEP

Fuente: (Rovira de Antonio & Muñoz Dominguez, 2015)

4.1.1 Combustibles

Se denomina combustible a toda sustancia ya sea artificial o natural, que al momento de combinarse con el oxígeno genera calor ardiendo rápidamente, esta sustancia se puede presentar en estado sólido, líquido o gaseoso.

4.1.2 La gasolina

La gasolina es una sustancia líquida derivada del petróleo, se obtiene por la combinación de varios hidrocarburos y se utiliza principalmente como combustible en motores de combustión interna.

4.1.2.1 Propiedades de la gasolina

- Volatilidad
- Poder calorífico
- Aditivos
- Densidad
- Resistencia a la detonación

4.2 Proceso de Combustión

La combustión es el producto de una reacción química entre el combustible, mezcla de hidrocarburos compuestos por hidrógeno y carbono, y el comburente que es el oxígeno presente en el aire. En la combustión perfecta el carbono se une al oxígeno formando dióxido de carbono (CO_2), y el hidrógeno se une al oxígeno generando agua (H_2O), además de obtenerse nitrógeno (N_2) como se puede observar en la figura 4.2. La combustión perfecta se da solamente cuando la mezcla es estequiométrica, es decir cuando se tiene una proporción de 1 gramo de combustible por cada 14,7 g de aire. (Sánchez, 2009).



Figura 4.2. Esquema de combustión perfecta.

Fuente: (Sánchez, 2009).

4.2.1 Tipos de combustión

Durante el funcionamiento del motor de encendido provocado MEP, se pueden generar diversos tipos de combustión que dependen de la calidad de la mezcla entre el aire y combustible, se encuentran los siguientes tipos:

- **Combustión completa**

Se da cuando el combustible se oxida completamente, es decir que no existe presencia alguna de residuos de combustible en los gases de escape.

- **Combustión incompleta**

Es cuando el combustible no se combustiona en su totalidad, generando en los gases de escape residuos de CO.

- **Combustión con exceso de aire**

Se genera cuando en la combustión existe una proporción de comburente mayor a la de la mezcla estequiometría.

- **Combustión con defecto de aire**

Se genera cuando en la combustión existe una proporción de comburente menor a la de la mezcla estequiometría. (Cantos Rojas & Toledo Garzón, 2015)

4.2.2 **Parámetros ambientales que influyen en la combustión**

Existen diferentes medidas ambientales que intervienen en el proceso de combustión de un motor MEP, como por ejemplo densidad del aire, temperatura ambiente, humedad, altitud

- **Densidad del aire**

Es la cantidad de moléculas de oxígeno que existe en el aire en un instante dado, puede verse afectada por condiciones atmosféricas. Si la densidad del aire es baja o alta, el motor funcionará con mezcla rica y pobre respectivamente.

- **Temperatura ambiente**

La temperatura interviene directamente en la densidad del aire, si ésta aumenta, la densidad del aire disminuye, y viceversa.

- **Humedad**

El octanaje requerido para que el motor tenga un óptimo funcionamiento se ve intervenido por la humedad, es decir, cuando ésta se incrementa, el octanaje disminuye.

- **Altitud**

La altitud afecta directamente sobre la densidad del aire, a mayor altitud sobre el nivel del mar, menor será la densidad del aire. Los motores diésel sin turbo por cada 100 mts que ascienden sobre el nivel del mar pierden un 10% de potencia. En un motor de gasolina el nivel de octanaje necesario para el correcto funcionamiento del motor decrece entre uno y dos octanos por cada 100 m de ascenso sobre el nivel del mar.

Además a mayor altura sobre el nivel del mar la concentración de contaminantes en los gases de escape aumenta debido a que el volumen de oxígeno es menor y por lo tanto habrá un aumento en el consumo de combustible en comparación con la altitud del nivel del mar. (Cantos Rojas & Toledo Garzón, 2015)

4.3 **Contaminantes atmosféricos**

Se entiende por contaminación atmosférica a la presencia de materias en el aire que generen daño, molestia o riesgo para la salud de las personas y bienes de cualquier naturaleza. (Caballero Morales, 2011)

En la tabla 1 se clasifica a los contaminantes según varios criterios:

Tabla 1. Clasificación de contaminantes según criterios.

Fuente: (Caballero Morales, 2011)

Criterio	Clasificación	Detalle
Según origen	Natural	Emitidos en la naturaleza sin intervención humana
	Antropogénico	Emitidos por actividades humanas o con intervención de este.
Según su efecto	Efecto Local	Efecto localizado en una región geográfica particular cercana al punto de emisión
	Efecto Global	Efecto extendido a nivel global, no importando el punto geográfico de emisión
Tipo de contaminante	Contaminante Primario	Contaminante emitido directamente de la fuente
	Contaminante Secundario	Contaminante formado posterior a la emisión desde la fuente producto de reacciones químicas en el medio ambiente.
	Contaminante de Transferencia	Contaminante de paso entre un medio a otro
Según fuente emisora	Fuente Fija	Es toda fuente diseñada para operar en un lugar geográfico fijo
	Fuente Móvil	Es toda fuente que se desplaza a través de distintos lugares geográficos. Se trata principalmente de medios de transporte. Se dividen en Fuentes en Ruta, relacionada con actividades de transporte terrestre en rutas establecidas, y Fuentes Fuera de Ruta, que corresponde al uso de maquinarias móviles y otros medios de transporte que no sea en rutas terrestres.

4.3.1 Contaminantes producidos por motores de combustión interna alternativos

La contaminación generada por fuentes móviles, específicamente en vehículos livianos, generan principalmente las siguientes emisiones:

- **Monóxido de carbono (CO)**

Es un gas inherente, inodoro e incoloro a todo tipo de combustión, es perjudicial para la salud humana ya que inhibe la absorción de oxígeno, es tóxico y produce asfixia.

- **Hidrocarburos (HC)**

Se forman cuando existe una excesiva cantidad de gasolina en la mezcla, como consecuencia de una combustión incompleta.

- **Óxidos de nitrógeno (NO_x)**

Es el conjunto o mezcla de óxidos nítricos y nitrosos, en los motores se genera el monóxido de nitrógeno (NO) el cual reacciona y se transforma en dióxido de nitrógeno (NO_2) el cual es un gas irritante que tiene un grado perjudicial en la salud humana.

- **Material particulado (MP)**

El material particulado se encuentra en estado sólido en el gas de escape o en la atmósfera. Se componen esencialmente por carbón, hidrocarburos deshidrogenados o metales u otros compuestos inorgánicos. Su efecto en la salud humana depende de la composición y el tamaño de las partículas, mientras más pequeñas las partículas son más perjudiciales, debido a que no pueden ser filtradas por la respiración y llegan a penetrar los alveolos pulmonares.

- **Ozono (O_3)**

Se forma por la unión de NO_x , HC y radiación solar, este gas es altamente irritante y corrosivo además es el causante de algunas enfermedades en el sistema respiratorio del ser humano.

- **Dióxido de carbono (CO_2)**

Es el mayor responsable del efecto invernadero del planeta, es un gas inofensivo para la salud humana. Forma parte de los ciclos de la naturaleza y de la composición atmosférica. (Rovira de Antonio & Muñoz Dominguez, 2015)

5 ESTADO DEL ARTE

El estudio realizado por (Cantos Rojas & Toledo Garzon, 2015) determinan un análisis de costos generados por los niveles de servicio en puntos conflictivos en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca, logrando optimizar el tiempo de desplazamiento vehicular reduciendo los costos generados por el consumo de combustible.

(Mejía Regalado, 2017) Presentan una solución para el congestionamiento vehicular que se da en una área determinada al sur este de la ciudad de Cuenca, determinando el conteo de tráfico en las intersecciones, la composición de los vehículos sobre esta área y el destino que tienen, debido a que se observan largas colas de tráfico puesto que el parque automotor de la ciudad de Cuenca crece constantemente.

El enfoque realizado por (Vintimilla Jarrin, 2015) sobre el aumento de emisiones contaminantes por fuentes móviles y el consumo de combustibles del parque automotor en la ciudad de Cuenca se presentan principalmente por el congestionamiento vehicular y al tipo de automotores que no son aptos para circular en la ciudad, con el paso de los años incrementado a un 97% de contaminación ambiental, debidas al tráfico vehicular por lo que se plantea implementar sistemas de mejoramiento de transporte público, además de tener políticas ambientales más estrictas.

EL análisis de consumo de combustible en centro Histórico de la ciudad de Cuenca determina que, mediante los ciclos conducción en vehículos de categoría M1 en horas de máxima demanda, que uno de los factores que influyen es el tráfico vehicular debido al incremento del parque automotor y a la creación del proyecto ``Tranvía de los Cuatro Ríos de Cuenca`` que ha multiplicado el problema. (Lima Oyola & Gávez Sandoval , 2016)

Un estudio realizado por (Palacios Aguilera & Vinueza Granda, 2012) analiza la factibilidad para reducir los índices de congestionamiento vehicular en la ciudad de Cuenca, debido al parque automotor, los gases contaminantes emitidos, movilidad y horas de congestionamiento vehicular que implican impactos ambientales y económicos por lo que se desea aplicar un sistema de restricción vehicular para reducir estos factores. Una aplicación de estos sistemas lograría reducir en un 14.42% el total de emisiones, además el conflicto en las zonas por el tráfico vehicular se reduciría ya que los tiempos de traslado sería más rápidos economizando así el consumo de combustible según

6 MARCO METODOLÓGICO

6.1 Fase I: Determinación de las rutas en las zonas de mayor afluencia de tráfico en la ciudad de Cuenca

6.1.1 Características generales del cantón Cuenca

El cantón Cuenca está ubicado al sur del Ecuador (ver figura 6.1), su capital, la ciudad de Cuenca forma parte de los 15 cantones que conforman la provincia del Azuay.



Figura 6.1. Ubicación del cantón Cuenca

Fuente: (Parra, 2016)

La ciudad de Cuenca se encuentra a 2.538 metros sobre el nivel del mar y posee una población aproximada de 580.000 habitantes, tiene una superficie de 15.730 hectáreas y su clima tiene temperaturas que fluctúan entre 14°C y 18°C durante los doce meses del año. Santa Ana de los cuatro ríos como también se la conoce a la ciudad de Cuenca está ubicada en un valle determinado por excepcionales sistemas montañosos y presenta un sistema hidrográfico constituido por 4 ríos principales: Tomebamba, Machángara, Tarquí y Yanuncay. (Fundación Municipal Turismo Cuenca, 2016)

El cantón Cuenca consta de 22 parroquias rurales y 15 parroquias urbanas, como se muestra en las figuras 6.2 y 6.3 respectivamente. Las 15 parroquias urbanas son las que delimitan la ciudad de Cuenca.

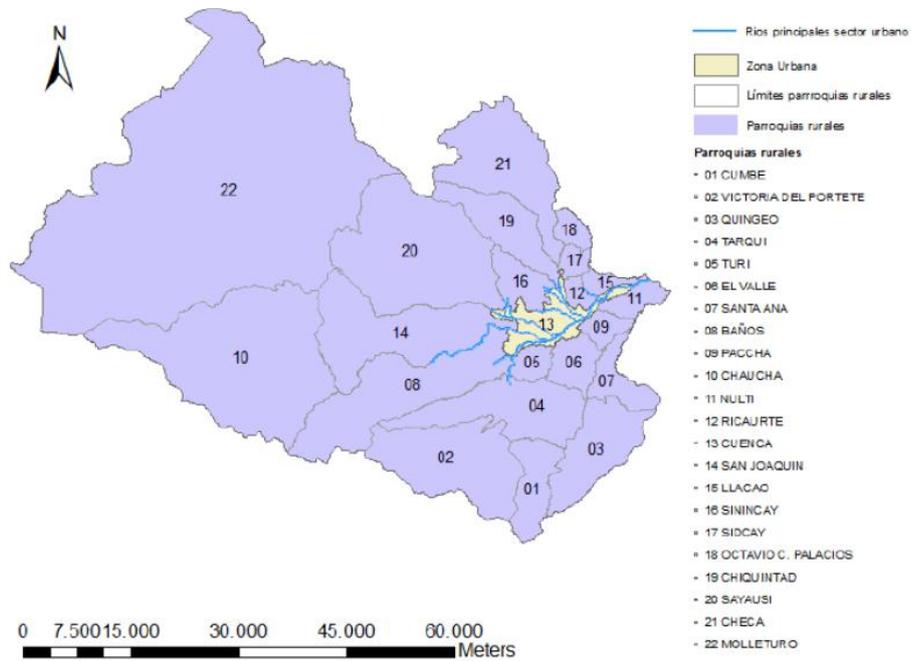


Figura 6.2. Ubicación de las parroquias Rurales de Cuenca

Fuente: (Comisión de Gestión Ambiental, 2017)

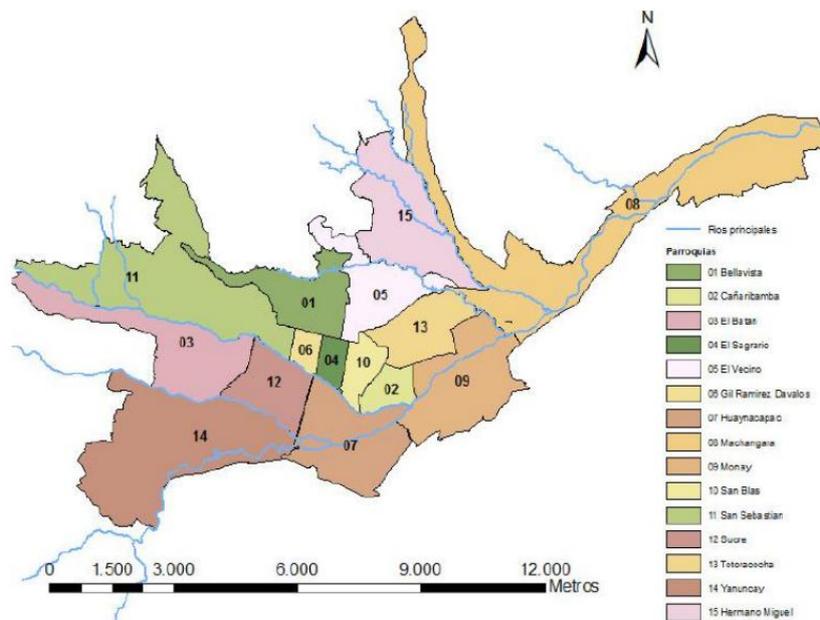


Figura 6.3. Ubicación de las parroquias urbanas de Cuenca

Fuente: (Comisión de Gestión Ambiental, 2017)

6.1.2 Flujos de origen destino

En la figura 6.4 se muestra el mapa origen destino de la ciudad de Cuenca (Ilustre Municipalidad de Cuenca, 2015), siendo los círculos azules la zona generadora de viajes, y el círculo rojo la zona receptora de viajes, el diámetro de la circunferencia determina la intensidad de estos valores.



Figura 6.4. Flujos de origen y destino para la ciudad de Cuenca

Fuente: (Ilustre Municipalidad de Cuenca, 2015)

En la figura 6.4 se muestra la prevalencia del centro histórico como principal destino receptor de viajes en la ciudad, además se puede observar que la zona de la Universidad de Cuenca y la zona de la feria libre también son importantes atractores de viajes.

6.1.3 Líneas deseo

Se les denomina líneas deseo a los trayectos más utilizados por la ciudadanía para trasladarse de una zona determinada a otra, como se observa en la figura 6.5 las líneas deseo tienen como mayor prioridad las zonas del centro histórico, el Ejido, Totoracocha, entre otras zonas que interviene el vehículo privado para movilizarse dentro de la ciudad.

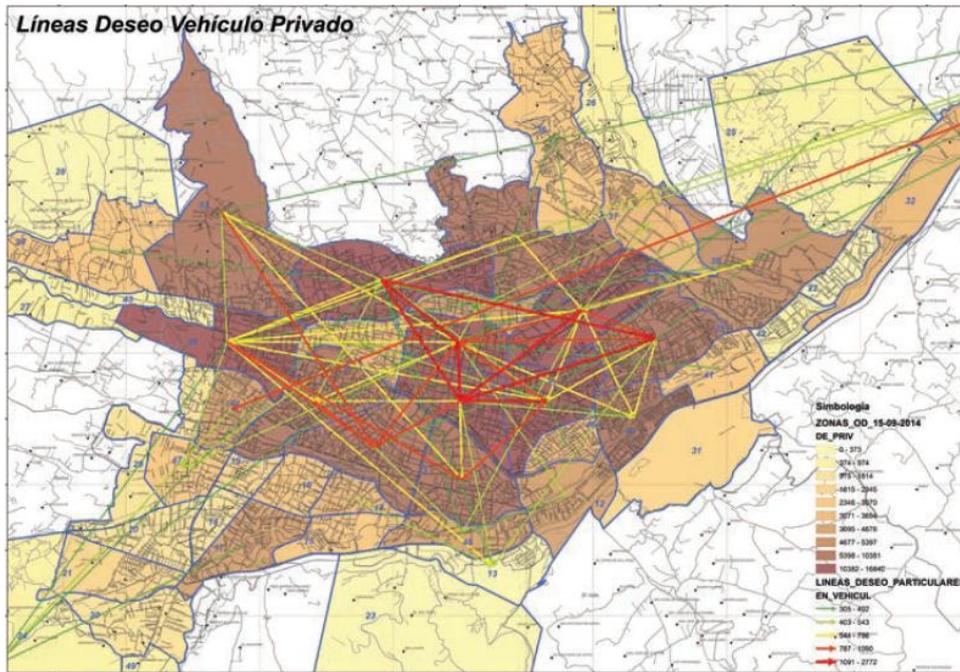


Figura 6.5. Líneas Deseo usadas por vehículo privado

Fuente: (Ilustre Municipalidad de Cuenca, 2015)

6.1.4 Zonas de la ciudad de mayor afluencia de tráfico motorizado

En la figura 6.6 se puede observar las 24 zonas urbanas dentro de la ciudad distribuidas dentro de los límites de la misma, en este apartado se analizan las zonas significativas de mayor destino de viajes en vehículo motorizado.

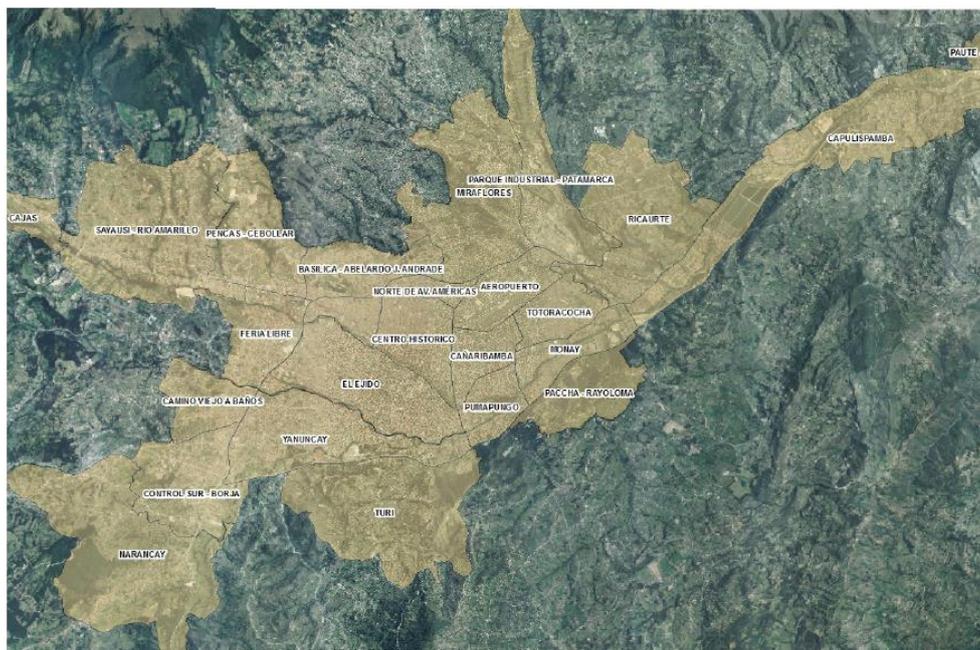


Figura 6.6. Zonas Urbanas de la ciudad

Fuente: (Ilustre Municipalidad de Cuenca, 2015)

La (Ilustre Municipalidad de Cuenca, 2015) establece un porcentaje de las zonas con mayor destino de viajes dentro de la ciudad, como se puede observar en la tabla 2 que representa los destinos anuales de viajes dentro de la ciudad, que la zona que concreta el mayor porcentaje de viajes es el Centro histórico con el 26% del total, seguida del sector del El Ejido y Yanuncay con el 14% y 7% respectivamente. Las zonas Capulispamba, Paccha, y Turi son las zonas con menor destino de viajes.

Tabla 2. Destinos totales anuales de viajes dentro de la ciudad

Fuente: (Ilustre Municipalidad de Cuenca, 2015)

DESTINOS DE VIAJES	DESTINOS TOTALES	DESTINOS TOTALES (%)
Centro Histórico	177095	26%
El Ejido	94726	14%
Norte de Av. Américas	33347	5%
Aeropuerto	30115	4%
Cañaribamba	28496	4%
Pumapungo	18874	3%
Yanuncay	46473	7%
Camino viejo a Baños	10171	1%
Feria Libre	41966	6%
Pencas – Cebollar	15973	2%
Basílica - Abelardo J. Andrade	24420	4%
Miraflores	32454	5%
Parque Industrial - Patamarca	13972	2%
Totoracocha	25066	4%
Monay	22517	3%
Control sur - Borja	17484	3%
Sayausí - Río Amarillo	13207	2%
Ricaurte	16170	2%
Capulispamba	8020	1%
Paccha - Rayoloma	6577	1%
Turi	1415	0,2%
Narancay	5709	1%
Cajas	832	0,1%
Total Destinos	685080	100%

Para el desarrollo de este estudio se han tomado en cuenta 9 zonas con mayor porcentaje de destinos dentro de la ciudad, ver figura 6.7 las cuales estarán conformadas por un conjunto de vías de diferentes capacidades y características que se indican en el siguiente apartado.

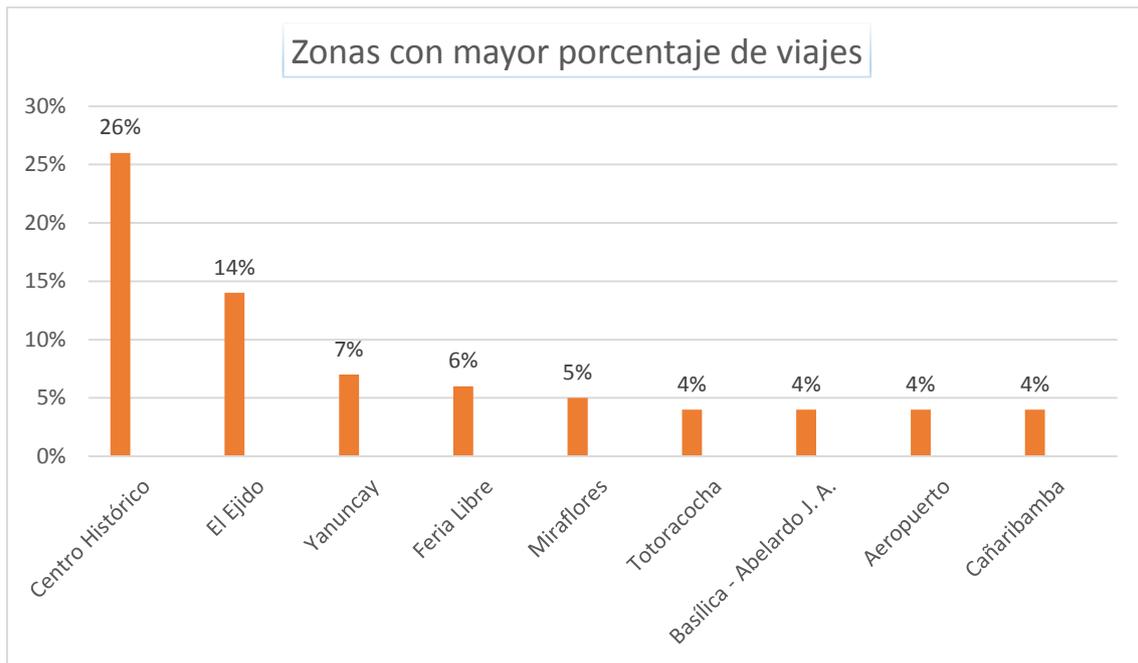


Figura 6.7. Zonas con mayor porcentaje de viajes

6.1.5 Determinación de rutas para pruebas experimentales

A continuación se describen las rutas del sistema viario urbano que atraviesan las 9 zonas con mayor porcentaje de destinos dentro de la ciudad anteriormente especificadas en la figura 6.7

Para la selección de rutas es necesario que las mismas cuenten con parámetros importantes que intervengan en el consumo de combustible y emisiones contaminantes que genera el vehículo, estas son:

- **Congestión vehicular**

Dentro del consumo de combustible en motores de combustión interna, la congestión vehicular tiene considerable importancia, mientras el motor está encendido y se encuentra detenido por largos periodos de tiempo se genera un aumento en cuanto al consumo de combustible, por lo tanto, las rutas que se muestran a continuación son vías que más demanda de automóviles tienen diariamente.

- **Vías más transitadas**

Para la selección de rutas se considera las vías que las personas usan con más frecuencia para movilizarse de un destino a otro, este es un factor que interviene directamente en el estudio.

- **Calles principales**

Este parámetro se consideró debido a que, existen vías en las zonas mencionadas que presentan alta demanda de vehículos por día y que vienen a ser el viario principal de la ciudad.

Las rutas establecidas inician y finalizan en puntos en donde hay mayor concentración de gente, ya sea por motivos de trabajo, estudio, compras, salud o gestiones.

Cada ruta está dividida en dos secciones, con el objetivo de ampliar la recolección de datos, es decir que, por las 6 rutas que se establecen a continuación se tiene un total de 12 secciones.

6.1.5.1 Ruta 1: Zona Centro Histórico

La ruta electa abarca las zonas del Aeropuerto y Centro Histórico, tiene una extensa zona comercial y residencial, esta ruta está dividida en dos secciones, la primera (Figura 6.8) comienza en la Universidad Politécnica Salesiana hasta el parque Calderón, pasando por las calles Av. Gil Ramírez Dávalos, Av. Héroes de Verdeloma, General Torres y Mariscal Sucre, esta sección de ruta tiene una longitud de 3,9 km.

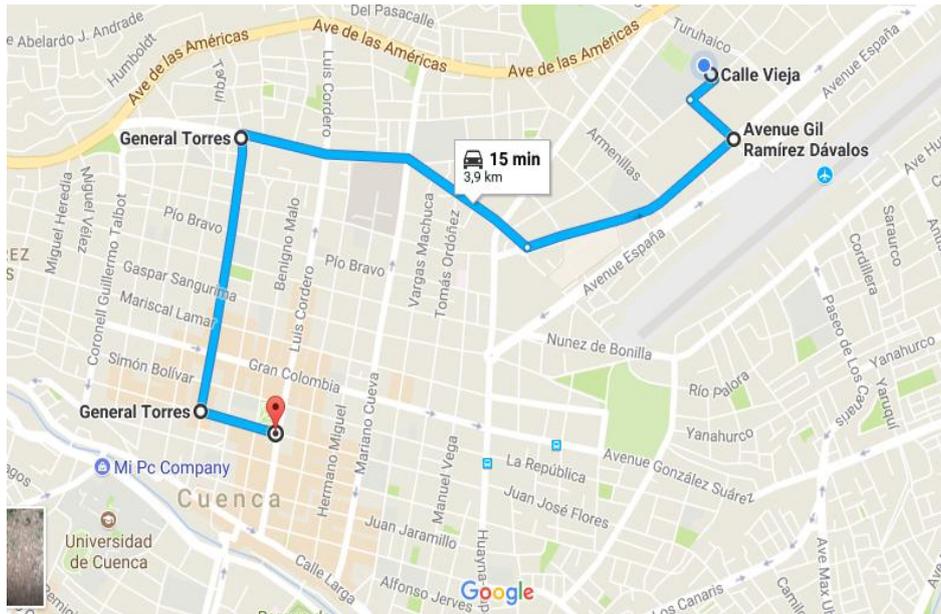


Figura 6.8. Ruta 1 sección 1

Fuente: Google Maps

La segunda sección de ruta (Figura 6.9) empieza en el Parque Calderón hasta la Universidad Politécnica Salesiana pasando por las calles Luis Cordero, Mariscal Lamar, Juan Montalvo, Gran Colombia, Huayna Capac, Av. España, Elia Liut, y finalmente la ruta termina en la Universidad Politécnica Salesiana, esta sección de ruta tiene 4,5 km de longitud. El total del recorrido de las dos secciones tiene una longitud de 8,4 km.

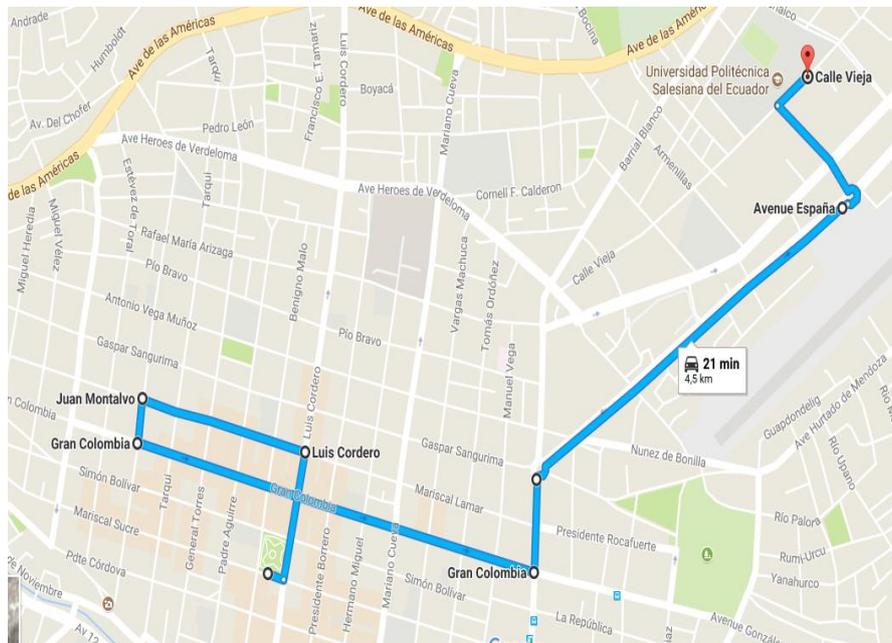


Figura 6.9. Ruta 1 sección 2

Fuente: Google Maps

6.1.5.2 Ruta 2: Zona El Ejido

La ruta siguiente abarca las zonas de El Ejido y Yanuncay, estas zonas tienen un alto índice de motivos de viaje por estudio y por comercio, igualmente esta ruta está dividida en dos secciones, la primera de ellas (Figura 6.10) inicia en el Hospital Vicente Corral Moscoso, avanza por la Av. 12 de abril hasta la calle Lorenzo Piedra, luego desciende por la calle Remigio Crespo Toral hasta la Av. Fray Vicente Solano finalizando la primera sección en los 3 Puentes, con una longitud de 5 Km.

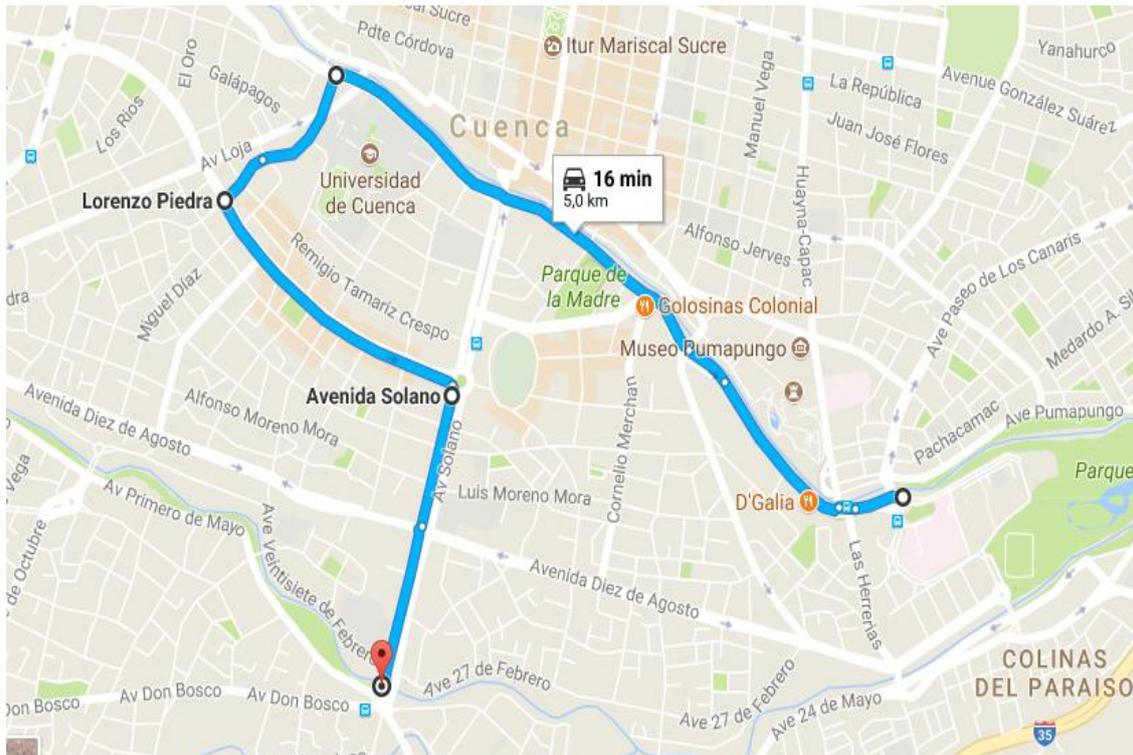


Figura 6.10. Ruta 2 sección 1

Fuente: Google Maps

Los 3 puentes es el punto de partida para la segunda sección de la ruta (Figura 6.11), teniendo como punto final el Banco Central del Ecuador, empieza el recorrido por la Av. 24 de Mayo hasta la Universidad del Azuay, luego toma la calle Francisco Moscoso hasta la Av. 10 de Agosto, avanza hasta la calle Roberto Crespo Toral pasando por la Av. Del estadio y en dirección a la calle Florencia Astudillo, seguido de esto retoma la Av. 12 de Abril y circunvala el redondel hasta llegar a la Calle Larga en donde se encuentra nuestro punto final, esta segunda sección de ruta tiene 5 Km de longitud, y el total del recorrido de las dos secciones de ruta tiene 9 km de longitud.

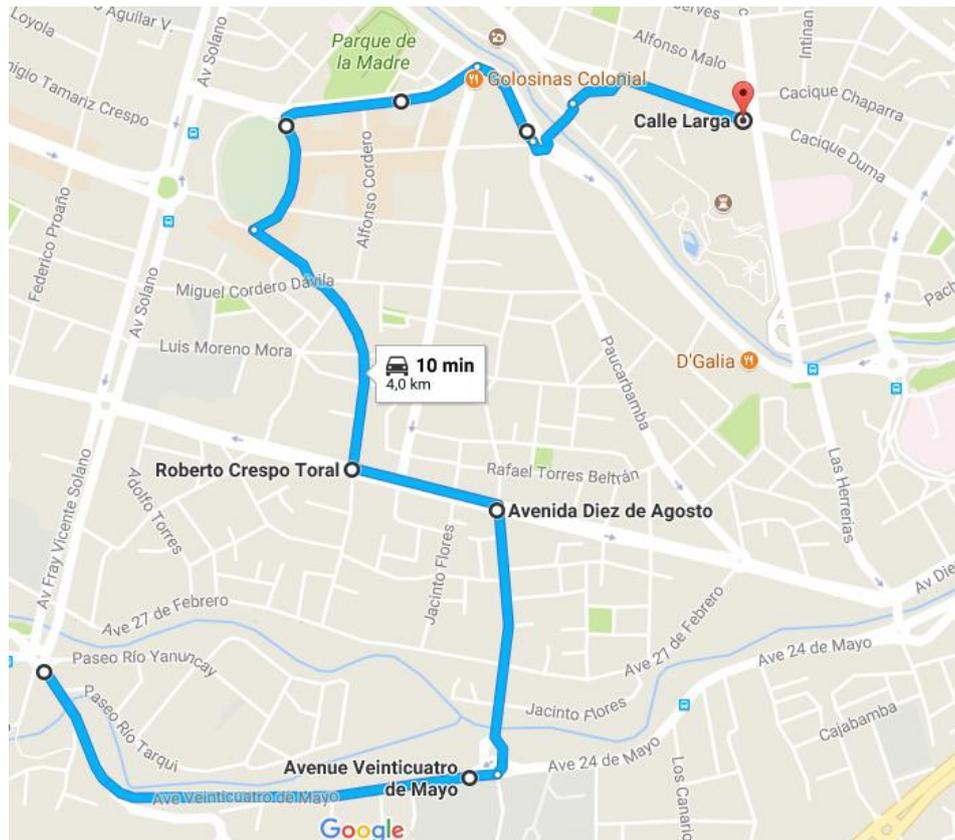


Figura 6.11. Ruta 2 sección 2

Fuente: Google Maps

6.1.5.3 Ruta 3: Zona Feria Libre

La Ruta 3 abarca las zonas de la Basílica – Abelardo J. Andrade y la Feria Libre, la primera sección de ruta (Figura 6.12) inicia en la Universidad Católica de Cuenca que tiene un alto índice de visitas por motivos de estudio, avanza por la Av. De las Américas pasando por el Centro Comercial el Arenal y finaliza en la Av. Carlos Arízaga Vega, la cual es una zona con un alto índice de comercio, esta primera sección de ruta tiene una longitud de 4 Km.

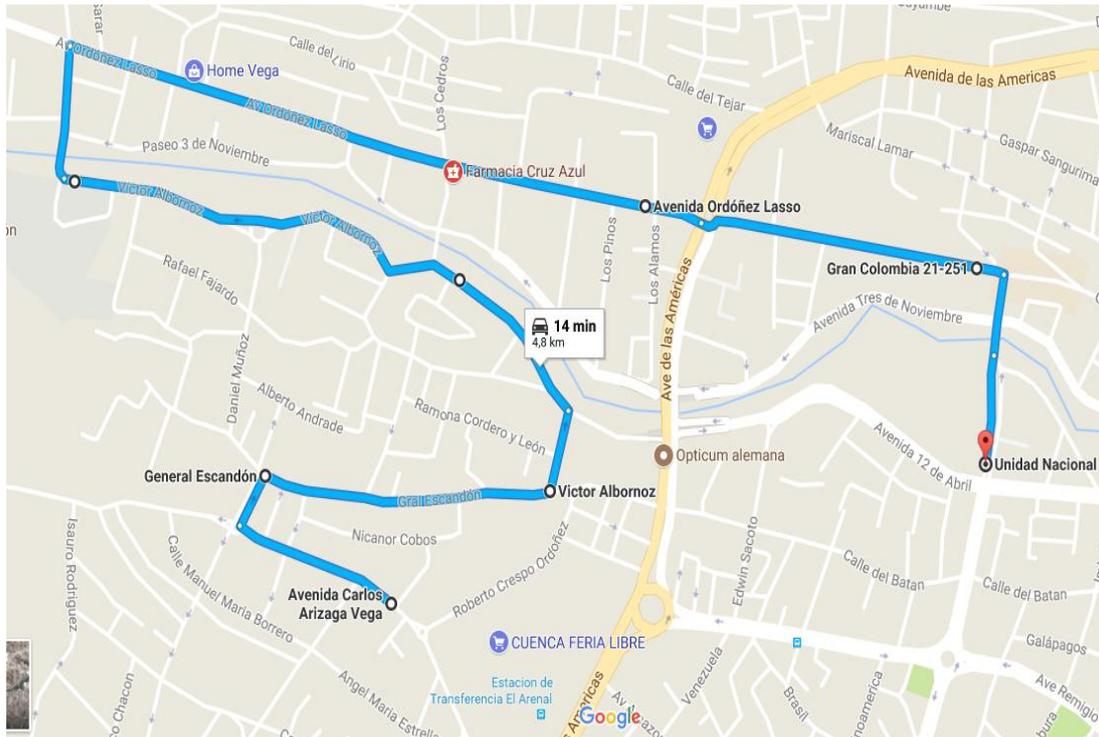


Figura 6.13. Ruta 3 sección 2

Fuente: Google Maps

6.1.5.4 Ruta 4: Zona Totoracocha

La siguiente ruta abarca las zonas del Aeropuerto, Cañaribamba y Totoracocha, que tienen un alto porcentaje por motivos de compras, estudio y viajes, La primera sección de la ruta (Figura 6.14) inicia en el terminal terrestre, circunvala el redondel de La Chola Cuencana en dirección a la Av. Hurtado de Mendoza, avanza por la Av. Gonzáles Suárez hasta la calle Reino de Quito en el sector de Totoracocha, esta sección de ruta tiene una longitud de 5,4 Km.

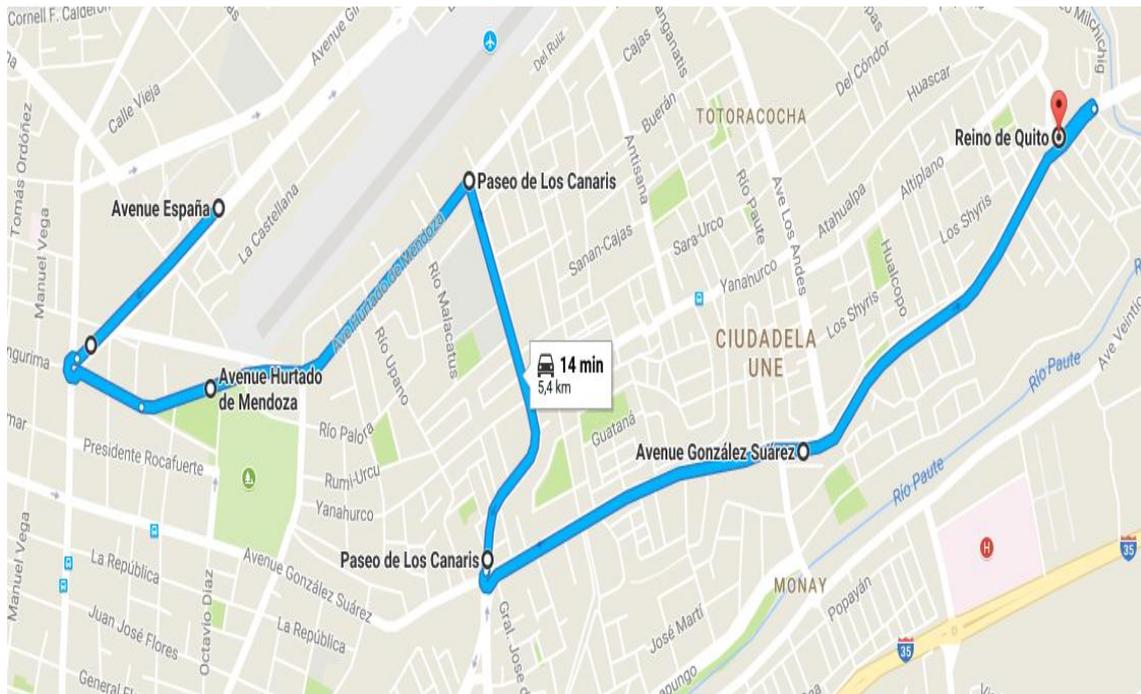


Figura 6.14. Ruta 4 sección 1

Fuente: Google Maps

La segunda sección de la ruta (Figura 6.15) empieza en el sector de Totoracocha en la calle Reino de Quito, avanza por la calle del Altiplano hasta su intersección con la Av. Los Andes, se dirige nuevamente hacia la Av. Hurtado de Mendoza pasando por la cabecera norte del aeropuerto, luego toma la Av. España, se desvía en la Av. Gil Ramírez Dávalos, toma la calle Turuhuayco, y finalmente llega al punto final de la ruta que es la Universidad Politécnica Salesiana, esta sección de ruta tiene una longitud de 4,2 Km, dando un total aproximado de recorrido para la ruta 4 de 9,6 Km.

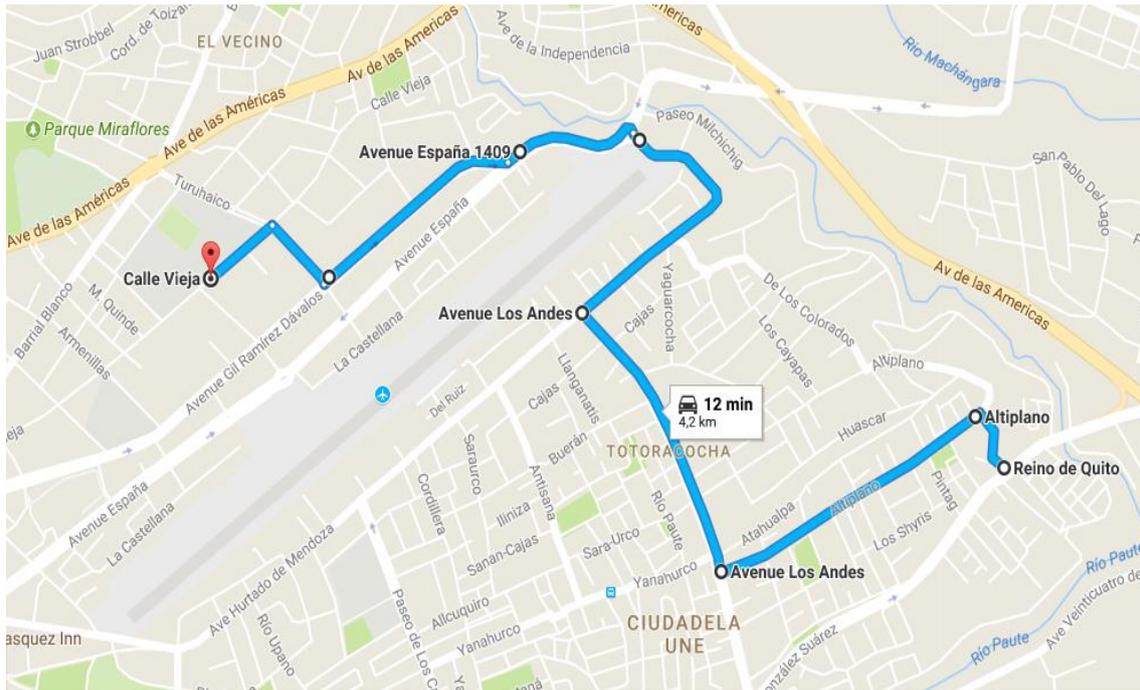


Figura 6.15. Ruta 4 sección 2

Fuente: Google Maps

6.1.5.5 Ruta 5: Zona Miraflores

La ruta 5 abarca las zonas del Aeropuerto y Miraflores, extendiéndose hacia la zona del parque industrial que tiene un alto índice de visitas por comercio y trabajo, La primera sección de la ruta (Figura 6.16) inicia en la Universidad Politécnica Salesiana, y se dirige hacia el Centro de Revisión técnica vehicular de Mayancela, avanzando desde la UPS hacia el norte por la Av. De las Américas, circunvala el redondel de la Bomba de Los Choferes dirigiéndose a la calle Paseo Río Machángara, luego avanza por la calle Camino a Patamarca finalizando la primera sección de la ruta en el Centro de revisión técnica vehicular con una longitud de recorrido de 4,1 Km.

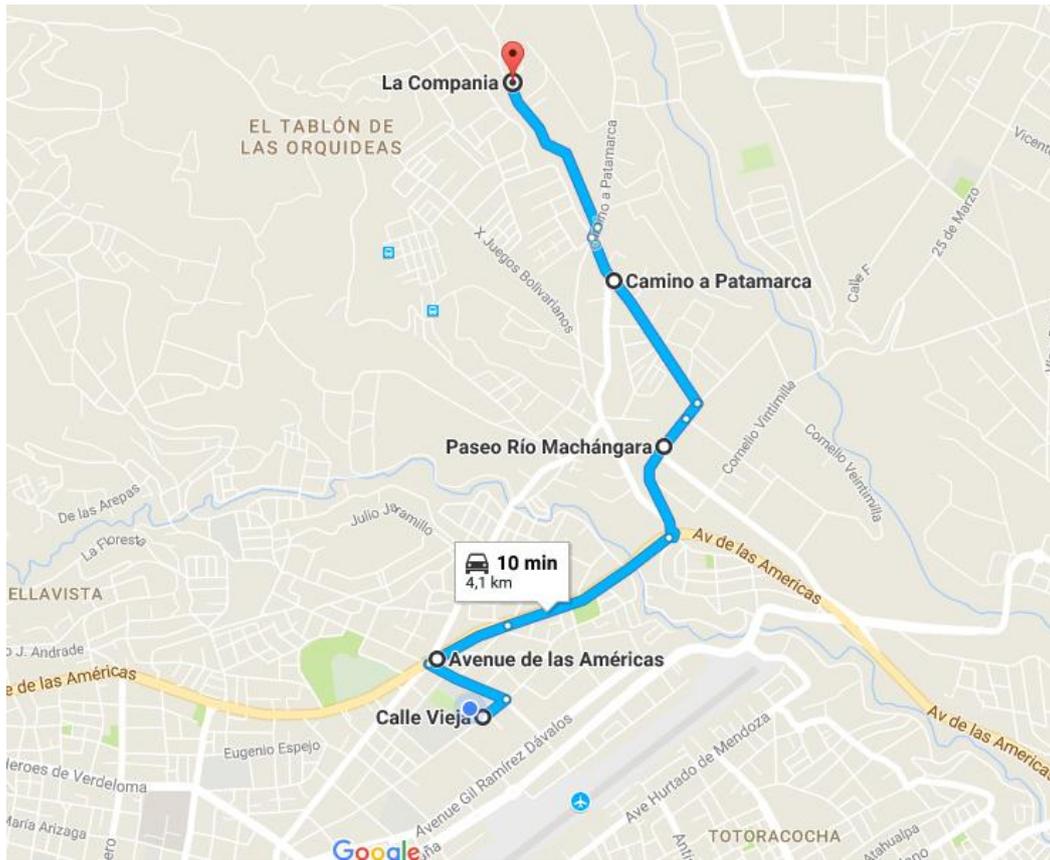


Figura 6.16. Ruta 5 sección 1

Fuente: Google Maps

La segunda sección de la ruta 5 (Figura 6.17) empieza en el Centro de revisión técnica vehicular, avanza por la calle La Compañía, se desvía por la Av. Del Toril, toma la calle Barrial Blanco hasta la Av. Héroes de Verdeloma en donde avanza enseguida por la Calle Vieja y llega a su punto final de la ruta que es la Universidad Politécnica Salesiana, esta sección ruta tiene una longitud de 5 Km y la longitud total del recorrido de la ruta 5 es de 9,1 Km.

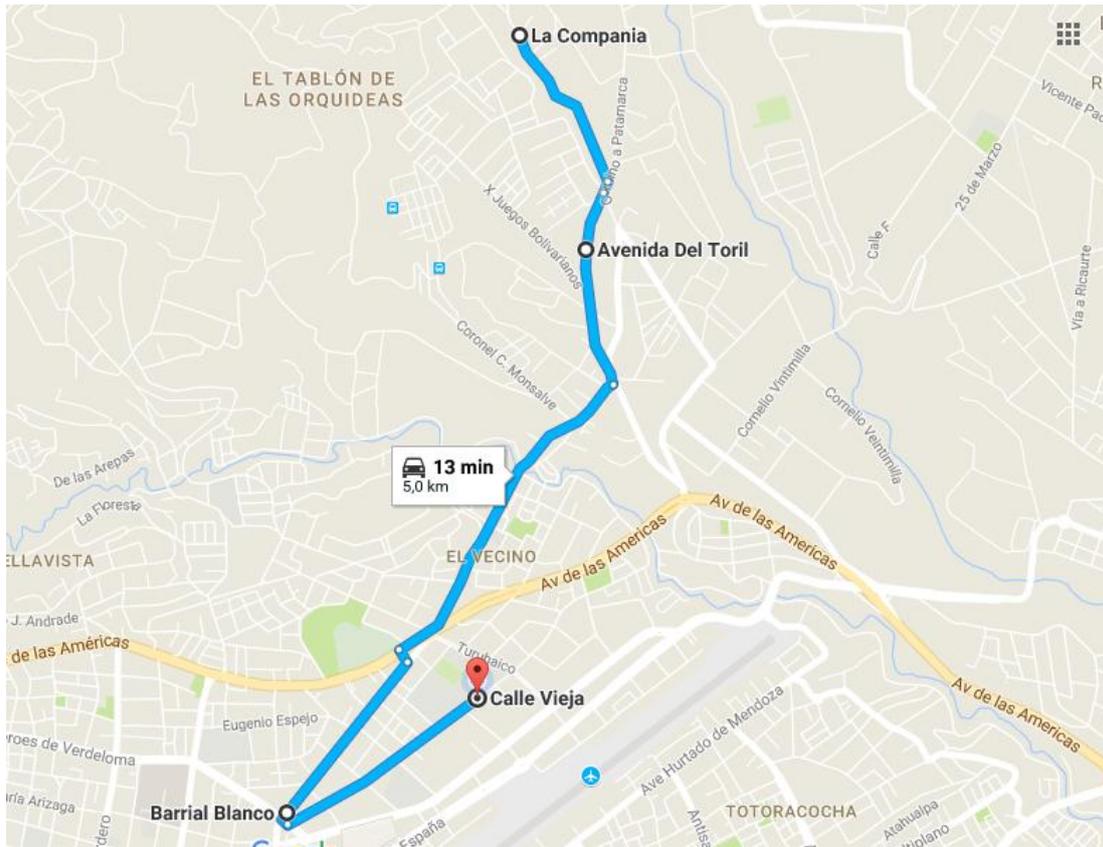


Figura 6.17. Ruta 5 sección 2

Fuente: Google Maps

6.1.5.6 Ruta 6: Zona Control Sur

La siguiente ruta abarca la zona sur de la ciudad, Yanuncay y El Ejido las cuales son zonas donde se registra mayor número de visitas por compras, estudio y trabajo, La primera sección de la ruta (Figura 6.18) inicia en la Av. Loja y Don Bosco en dirección a la Av. De las Américas hasta la Circunvalación Sur de la ciudad, avanza por la Carretera Panamericana y la ruta se desvía en la Av. Doce de Octubre hasta el Campus Yanuncay de la Universidad de Cuenca en donde finaliza la primera sección de la ruta 5, la cual tiene una longitud de 4,2 Km.

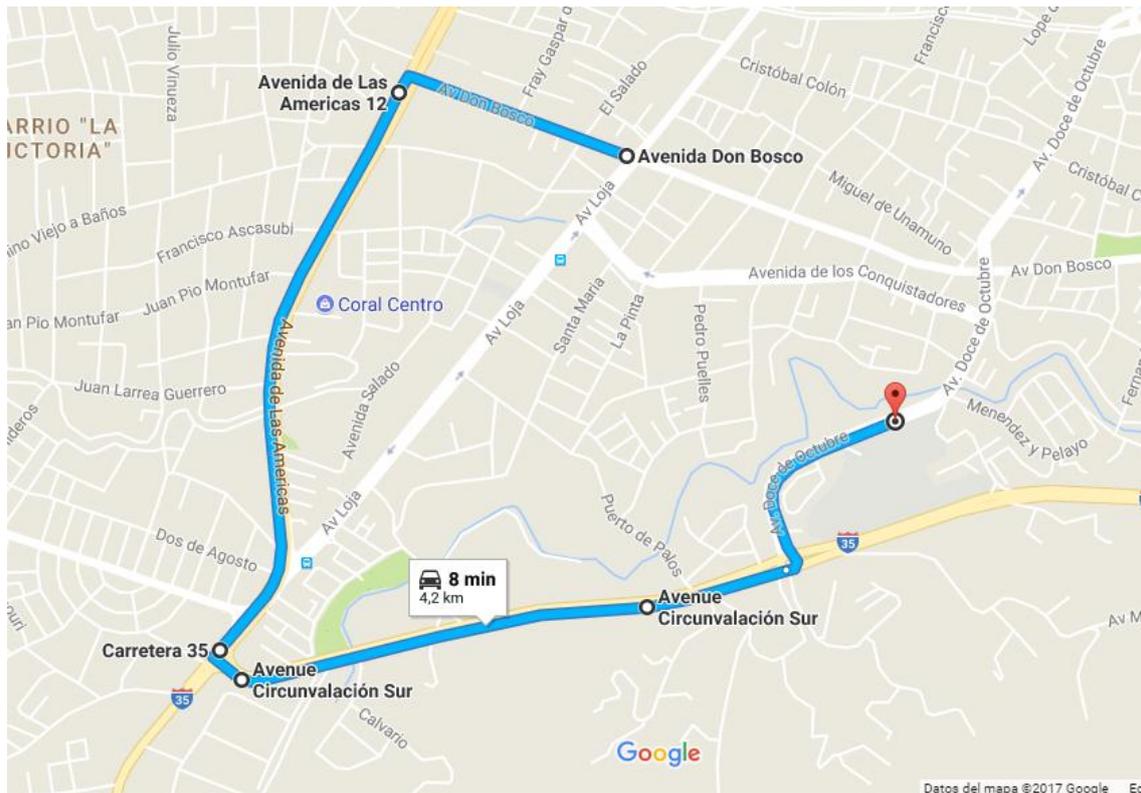


Figura 6.18. Ruta 6 sección 1

Fuente: Google Maps

La segunda sección de la ruta (Figura 6.19) inicia en el Campus Yanuncay de la Universidad de Cuenca, avanza toda la Av. Doce de Octubre hasta la Av. Primero de Mayo, en donde gira a la derecha hasta llegar a los Tres Puentes, circunvala el redondel y toma la Av. Don Bosco hasta la Unidad Educativa Técnico Salesiano, avanza por la calle Miguel de Santiago hasta llegar al Centro Comercial Mall del Río, esta sección ruta tiene una longitud de 4,5 Km y la longitud total del recorrido de la ruta 6 es de 8,7 Km.

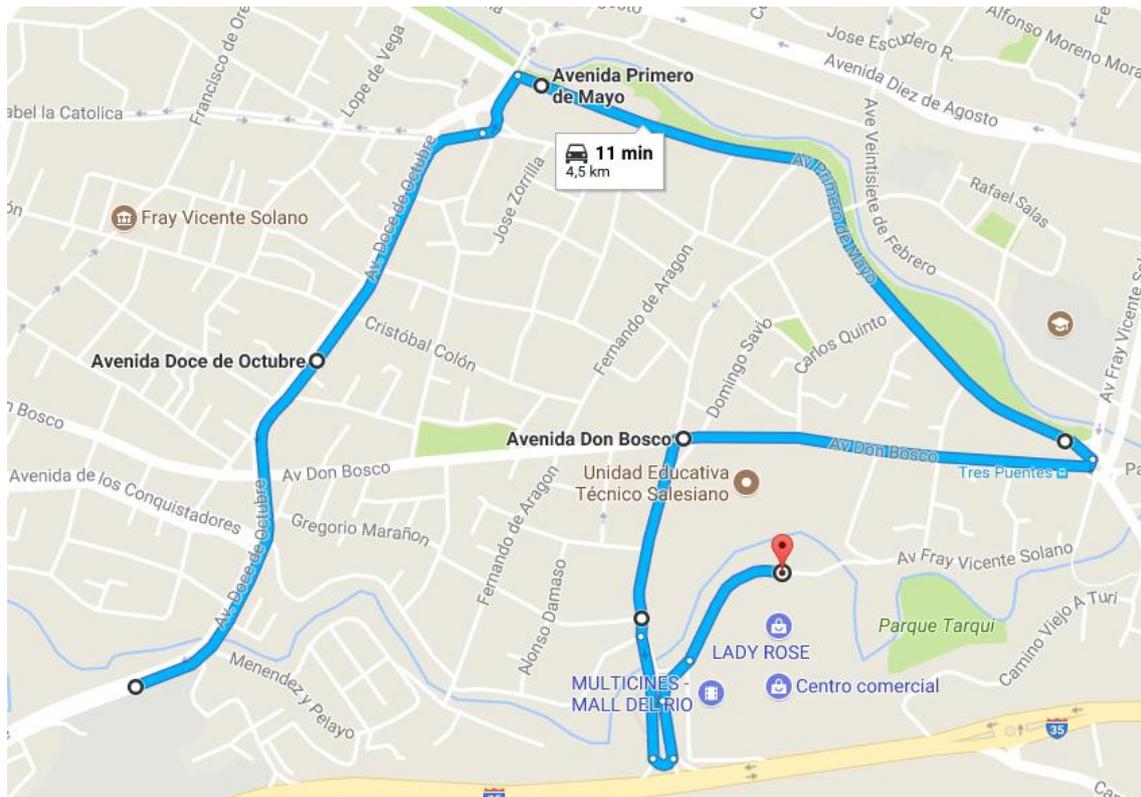


Figura 6.19. Ruta 6 sección 2

Fuente: Google Maps

6.2 Fase II: Metodología para el Desarrollo Experimental para la toma de datos

6.2.1 Introducción

En una investigación es importante tener en cuenta los diferentes comportamientos que presentan las variables en la intervención del proceso, para tener una relación clara entre ellas, se busca analizar qué factores pueden alterar las pruebas que se van a ejecutar con respecto al proceso y si influyen en las propiedades de las variables de respuesta.

6.2.2 Planeación para el Desarrollo de la Corrida Experimental

Este análisis que se realiza pretende establecer los índices contaminantes y el consumo de combustible que se producen por el incremento del flujo o tráfico vehicular, el cual se lo realiza en un vehículo dotado de un motor ciclo Otto, mediante el analizador de gases se obtienen los datos de concentración de gases de escape que se generan en las zonas de mayor afluencia de tráfico, modificando variables se podrá llegar a obtener diferentes resultados que ampliarán el análisis del impacto ambiental y el consumo de combustible que tiene un vehículo en la ciudad de Cuenca.

En el proceso de la experimentación intervienen factores que influyen en el funcionamiento del motor, dichos factores se clasifican en: Variables de entrada, Variables de bloqueo, Variables de ruido y Variables de salida, el proceso se lo detalla en la siguiente figura 6.20.

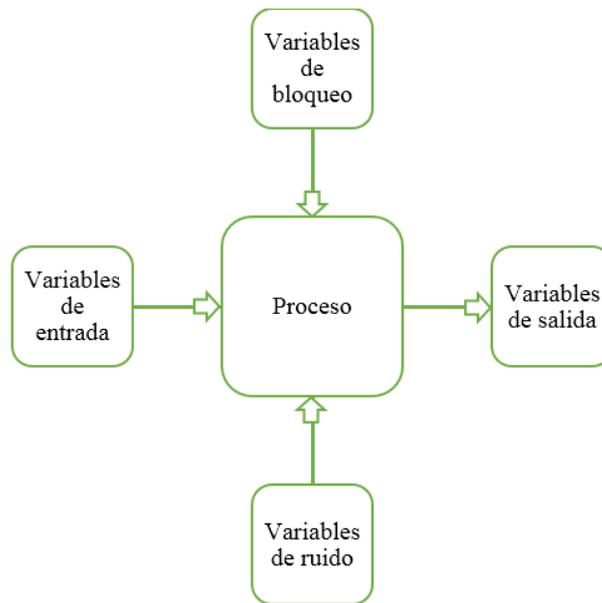


Figura 6.20. Factores que intervienen en el desarrollo experimental

Fuente: (Rivera & Chica, 2015)

6.2.3 Variables que intervienen en el estudio de emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible.

La contaminación ambiental y el consumo de combustible que se dan en un vehículo de categoría M1, se ve afectado por diferentes variables, tales como el tráfico vehicular que se genera a diferentes horas del día, la ruta o destino que tiene el usuario y el día de la semana.

Los mayores índices de contaminación ambiental hacia la atmosfera lo producen los gases emitidos por un motor de contaminación interna, las emisiones que se generan por este motivo tienen un efecto directo hacia el aire tanto a nivel local, regional y global, debido a que los vehículos de combustión interna trabajan con combustibles fósiles (gasolina, diésel) cuyo uso genera emisiones de gases contaminantes, aunque de una manera distinta por la composición de cada uno de los combustibles.

6.2.4 Variables de Entrada

Este tipo de variables intervienen de manera directa sobre las variables de respuesta, además estas variables no deben depender de otras ya que si fuera el caso no se las consideraría y producirían problemas con el desarrollo del experimento. Las variables de entrada a estudiar se presentan en la tabla 3. (Gutiérrez & Salazar, 2012).

Tabla 3. Variables de entrada

Variables de Entrada	Símbolo	Unidad
Hora	H	[min]
Día	D	[día]
Ruta	R	[km]

6.2.4.1 Horarios para recorridos de recolección de datos

Para establecer los horarios donde se producen mayor aglomeración de tráfico en la ciudad de Cuenca se consideran diversos factores que inciden para que estas horas sean las más transitadas al momento de movilizarse de un destino a otro, ya sea por motivos de trabajo, comercio, estudio y gestiones. En un conteo general según el Inventario de Emisiones Atmosféricas del cantón Cuenca (Parra, 2016). Se analiza el tráfico vehicular por horas determinando la cantidad de vehículos que circulan por las calles de la ciudad a partir de las 07:00 am hasta las 19:00 pm.

La figura 6.21 indica la intensidad promedio de vehículos que transitan por la ciudad de Cuenca durante ciertos horarios, por lo que se tiene tres horas pico donde se produce la mayor circulación de vehículos, entre las 7:00 a 9:00 am, las 12:00 a 13:00 pm y a las 18:00 a 19:00 pm.



Figura 6.21. Cantidad de vehículos por horas

Fuente: (Parra, 2016)

Para el estudio se toma en consideración tres rangos de horarios que se determinan mediante la gráfica anteriormente citada, se consideran 3 horarios para la adquisición de datos: Grado 3 que equivale a tráfico alto, grado 2 que corresponde a tráfico medio y grado 1 para hacer referencia al tráfico bajo. En la tabla 4 se muestra los niveles de tráfico.

Tabla 4. Niveles de tráfico

Trafico	Número de vehículos	Nivel
Bajo	250 – 350	1
Medio	350 – 450	2
Alto	450 – 470	3

Para establecer el horario que va en relación con el grado de tráfico vehicular se analiza la imagen anteriormente citada (Figura 6.21), en ella se puede observar el grado 3 que corresponde al tráfico alto se da en el horario de 12:00 a 13:00, el grado 1 que equivale a tráfico bajo se genera en el horario de 16:00 a 17:00, y finalmente para determinar el nivel de tráfico grado 2 que concierne a tráfico medio se adquiere la media entre los dos horarios anteriormente mencionados llegando a establecer para el grado 2 el horario

entre las 14:00 a 15:00. En la tabla 5 se detallan los horarios para el recorrido de las rutas del experimento.

Tabla 5. Horarios para recorridos de rutas

GRADO	TRÁFICO	HORARIO
Grado 1	Tráfico Bajo	16:00 a 17:00
Grado 2	Tráfico Medio	14:00 a 15:00
Grado 3	Tráfico Alto	12:00 a 13:00

6.2.4.2 Días de recorridos

Para establecer los días de recolección de datos se toma en cuenta factores sobre la movilidad que mantienen la ciudadanía de Cuenca, los días con mayor índice de tráfico vehicular corresponden a los días laborables (Lunes a Viernes), los fines de semana no serán tomados en cuenta en este estudio ya que no son días altamente concurridos por la ciudadanía. Por lo tanto un análisis realizado por (Mejía Regalado, 2017) establece que los días de mayor aglomeración de tráfico vehicular en la Av. 24 de Mayo y Camino a El Valle son los siguientes:



Figura 6.22. Volumen de tráfico a la semana

Fuente: (Mejía Regalado, 2017)

Como se observa en la figura 6.22 se presentan los días de la semana que poseen el mayor número de vehículos circulando por la ciudad, para el análisis y recolección de datos se toma en cuenta dos días, el primero, con el mayor número de vehículos que circulan diariamente en la ciudad (27.564) y, el segundo, el día que tenga un circulación

de tráfico normal en la ciudad (25.290), debido a que los días restantes no tomados en cuenta poseen valores similares a los analizados y no producirían mayores o menores cambios en la adquisición de datos debido que no tienen una diferencia significativa entre ellos, a continuación se muestra en la tabla 6 los días para recolección de datos.

Tabla 6. Días para adquisición de datos

DÍA	NÚMERO DE VEHÍCULOS
Martes	27.564,00
Viernes	25.269,00

6.2.4.3 Rutas

Las rutas se las establece en la Fase I, para realizar la determinación de cada uno de los recorridos se toman en cuenta las zonas con mayor afluencia de tráfico vehicular según el plan de movilidad (Equipo del Plan de Movilidad y Espacios Públicos, 2015) de la ciudad de Cuenca, cada una de las rutas se las divide en dos secciones, tomando en cuenta el origen y el destino de cada una de la secciones pasando por las zonas de estudio. A continuación en la tabla 7 se establecen las rutas con cada una de las secciones y sus distancias a recorrer.

Tabla 7. Rutas establecidas para la adquisición de datos

Ruta	Nombre	Distancia de Sección 1 (Km)	Distancia de Sección 2 (Km)	Distancia Total (Km)
1	Zona Centro Histórico	3.9	4.5	8.4
2	Zona El Ejido	5	4	9
3	Zona Feria Libre	4	4.8	8.8
4	Zona Totoracocha	5.4	4.2	9.6
5	Zona Miraflores	4.1	5	9.1
6	Zona Control Sur	4.2	4.5	8.7

6.2.5 Variables de Ruido

Este tipo de variables no se pueden controlar en el proceso de experimentación ya que generalmente provienen o se dan por factores ambientales del lugar donde se realiza el estudio, por lo tanto las variables de respuesta se verán afectadas por estos factores, por lo que estas variables se experimentan cuando están dentro del rango. (Gutiérrez & Salazar, 2012). En la tabla 8 se muestran las variables de ruido consideradas para el estudio.

Tabla 8. Variables de ruido

VARIABLES DE RUIDO	RANGO	UNIDAD
Presión Atmosférica (P_{atm})	90 – 105	[KPa]
Humedad Relativa (H_{rel})	60 – 65	[%]
Temperatura Ambiente (T_{aire})	15 – 25	[°C]

6.2.6 Variables de Bloqueo

Las variables de bloqueo son las que intervienen en el proceso del experimento pero estas variables no producen cambios en la respuesta que se desea obtener en el sistema por lo que también se las puede denominar como factores controlables (Gutiérrez & Salazar, 2012).

En la tabla 9 se describe cada una de las variables de bloqueo que son analizadas para este experimento.

Tabla 9. Variables de Bloqueo

VARIABLE DE BLOQUEO	SÍMBOLO	RANGO	UNIDAD
Carga Viva	P	1172	[Kg]
Presión de inflado de Neumáticos	$P_{r_{neumarticos}}$	28 – 32	[Psi]
Temperatura de Motor	T_{motor}	85 – 90	[°C]

6.2.7 Variables de Respuesta

Este tipo de variables son las que muestran los resultados de cada una de las pruebas que se realizan para determinar un análisis de lo que sucede con el experimento, nuestras variables de salida o respuesta son el consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes (Gutiérrez & Salazar, 2012). En la tabla 10 se puede observar las variables de respuesta que se va a obtener en el experimento.

Tabla 10. Variables de Respuesta

VARIABLE DE RESPUESTA	SÍMBOLO	UNIDAD
Monóxido de Carbono	CO	[g]
Dióxido de Carbono	CO ₂	[g]
Hidrocarburos no Combustionados	HC	[g]
Oxígeno	O ₂	[g]
Consumo de Combustible	–	[g]

6.2.8 Presentación de Diseño experimental para recolección de datos

Para desarrollar la corrida experimental se procede a establecer un método para la recolección de datos, el diseño experimental elegido es el “diseño factorial completo general” que tiene por efecto determinar la influencia de las variables entrada sobre las variables de salida con el fin de determinar los índices con mayores emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible en las zonas de mayor tráfico vehicular en la ciudad de Cuenca.

6.2.8.1 Desarrollo del Experimento

El diseño experimental que se utiliza consta de 3 factores, cada uno con distintos niveles cubriendo todas las posibles combinaciones que se podrán obtener. El diseño utilizado permite analizar el efecto de cada factor sobre la variable de respuesta. A continuación en la tabla 11 se observa el número de corridas según el diseño aplicado.

Tabla 11. Desarrollo del Experimento

DISEÑO FACTORIAL COMPLETO GENERAL			
Factores	Niveles	Número de	Corridas
		experimentales	
Ruta	6		
Día	2		36
Hora	3		

A continuación en la tabla 12 se presenta la matriz de diseño experimental realizado en el software de ingeniería Minitab® que proporciona las interacciones y el orden de la realización de las pruebas.

Tabla 12. Matriz de diseño de experimental

Diseño factorial de múltiples niveles				
Factores:	3	Replicas:	1	
Corridas de base:	36	Total de Corridas:	36	
Bloques:	1	Total de bloques:	1	
Numero de Niveles				
	6		3	2
Tabla de Diseño				
Corrida	Bloq	A	B	C
1	1	1	1	1
2	1	1	1	2
3	1	1	2	1
4	1	1	2	2
5	1	1	3	1
6	1	1	3	2
7	1	2	1	1
8	1	2	1	2
9	1	2	2	1
10	1	2	2	2
11	1	2	3	1
12	1	2	3	2
13	1	3	1	1
14	1	3	1	2
15	1	3	2	1
16	1	3	2	2

17	1	3	3	1
18	1	3	3	2
19	1	4	1	1
20	1	4	1	2
21	1	4	2	1
22	1	4	2	2
23	1	4	3	1
24	1	4	3	2
25	1	5	1	1
26	1	5	1	2
27	1	5	2	1
28	1	5	2	2
29	1	5	3	1
30	1	5	3	2
31	1	6	1	1
32	1	6	1	2
33	1	6	2	1
34	1	6	2	2
35	1	6	3	1
36	1	6	3	2

Para la interpretación del diseño del experimental que se muestra en la tabla 12 se descifra de la siguiente manera: La primera columna indica el número de corridas experimentales para el estudio el cual son 36, la segunda columna indica el bloque de base que será igual a 1, la tercera columna (A) nos indica la ruta en la cual se debe realizar la toma de datos, la cuarta columna (B) indica la hora a la cual se deberá salir a realizar las pruebas y, en la última columna (C) se muestra el día en que se deberá realizar la recolección de datos.

Para interpretar cada una de las filas de la matriz de diseño experimental se procederá a explicar la primera fila que es la prueba número 1 que se realiza en el experimento. (Ver tabla 13)

- Para la corrida experimental N°1 se la interpreta de la siguiente manera como se muestra en la tabla 13:

Tabla 13. Corrida experimental

Corrida	Bloque	A	B	C
1		Ruta	Hora	Día
		1	1	1

Por lo que se la interpreta como la primera prueba, en la ruta 1 que es el Centro Histórico en un horario de tráfico bajo, el día martes. Para las corridas experimentales posteriores se interpreta de la misma manera con el orden asignado en las tablas anteriores para el estudio de emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible.

6.2.9 Unidad Experimental

6.2.9.1 Selección del Vehículo

Para la selección de la categoría del vehículo se analiza, en una zona céntrica de la ciudad de Cuenca que tipo de transporte utiliza la ciudadanía de Cuenca para movilizarse, según lo estipulado por el (Equipo del Plan de Movilidad y Espacios Públicos, 2015) el segundo método de movilización más utilizado es el vehículo privado con un 23% de total de viajes que se efectúan en la ciudad, ya que el principal modo de transporte de la ciudadanía es a pie, la figura 6.23 indica los modos de transporte.

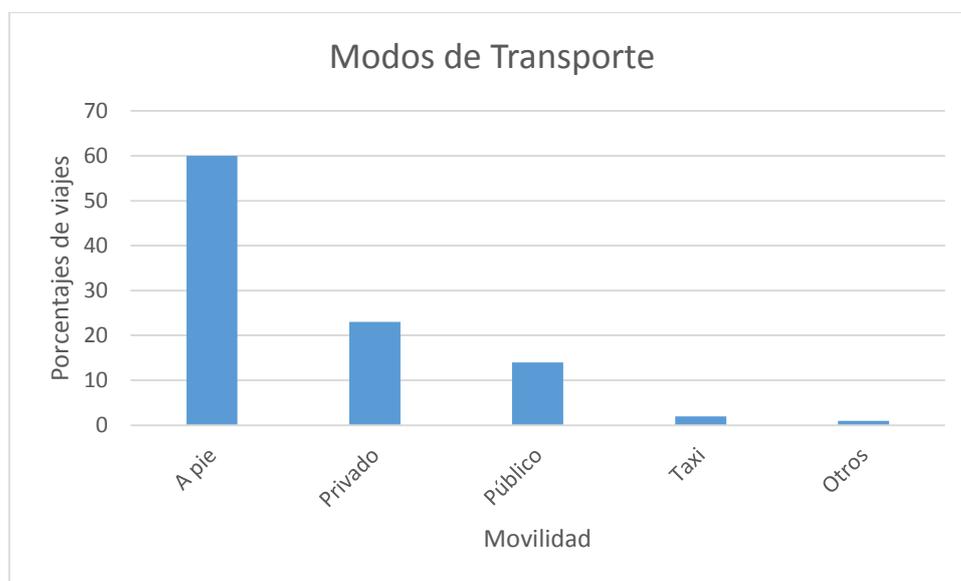


Figura 6.23. Modos de transporte

Fuente: (Equipo del Plan de Movilidad y Espacios Públicos, 2015)

Con lo analizado en la gráfica se puede establecer la clase de vehículo que se va a utilizar, en la ciudad de Cuenca según (Equipo del Plan de Movilidad y Espacios Públicos, 2015) la composición vehicular el 90.08% son vehículos livianos siendo la categoría más numerosa de tráfico rodando en la ciudad, el figura 6.24 se observa la composición vehicular de la ciudad de Cuenca.

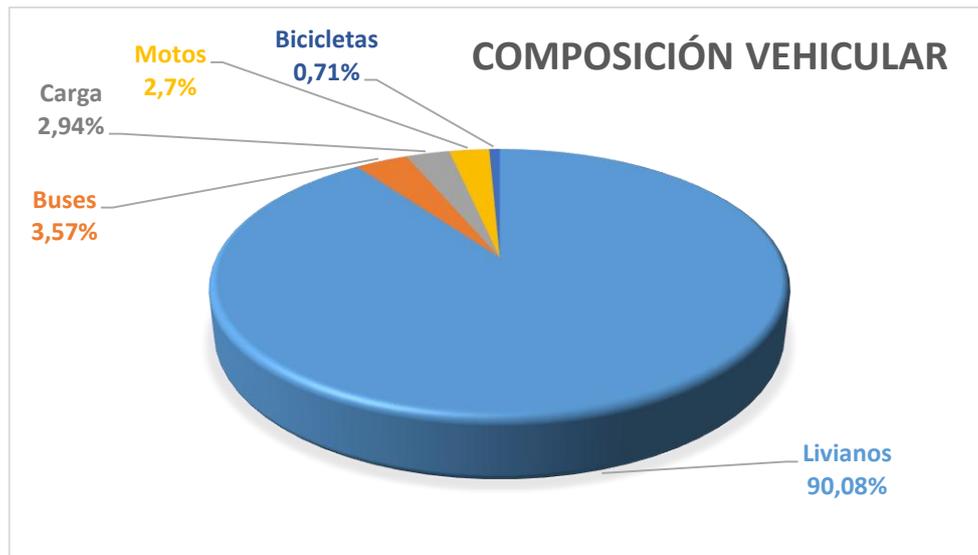


Figura 6.24. Composición Vehicular de la ciudad de Cuenca

Fuente: (Equipo del Plan de Movilidad y Espacios Públicos, 2015)

Por ende, para el siguiente experimento será seleccionado un vehículo de categoría M1, que según (INEN, 2016) son vehículos de cuatro ruedas, construidos para el transporte de pasajeros con capacidad no mayor a ocho plazas, el tipo de vehículo será Sedan como se indica en la figura 6.25

CÓDIGO	TIPO	ESQUEMA	DESCRIPCIÓN
SED	SEDÁN		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.1.1
SWG	STATION WAGON		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.1.4
HBK	HATCHBACK		Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.1.1.9

Figura 6.25. Clasificación Vehicular

Fuente: (INEN, 2016)

Escogida la categoría se procede a realizar un análisis del vehículo más vendido dentro del cantón Cuenca en el año 2017. Según la (Revista Patio Tuerca, 2016) en Ecuador la marca más popular es Chevrolet y en la ciudad de Cuenca, el vehículo más comprado por la ciudadanía es el Chevrolet Aveo Activo (este vehículo sustituyó al corsa de la anterior generación) a continuación en la tabla 14 se indica la lista de vehículos más comerciales en la ciudad de Cuenca.

Tabla 14. Vehículos más vendidos en la ciudad de Cuenca

Fuente: (Revista Patio Tuerca, 2016)

MODELO	MARCA	AÑO	TIPO
1. Aveo Activo	Chevrolet	2008	HBK
2. Sail	Chevrolet	2009	HBK
3. Grand Vitara 5P	Chevrolet	2011	SUV
4. Grand Vitara Sz	Chevrolet	2009	SUV

En la tabla 14 se observa que el vehículo más vendido en la ciudad es el Chevrolet Aveo Activo año 2008 tipo HBK, con el cual se procederá a realizar experimento.

En la figura 6.26 se muestra el vehículo el cual será utilizado para la realización de la toma de datos para el presente proyecto, Aveo Activo 1.4L.



Figura 6.26. Vehículo utilizado para adquisición de datos

En la siguiente tabla 15 se detalla las especificaciones técnicas del vehículo de pruebas:

Tabla 15. Especificaciones técnicas del vehículo

Fuente: (Chevrolet, s.f.)

Denominación	Detalle
Marca	Chevrolet
Modelo	Aveo Activo
Tipo	Hatchback
Potencia Máxima	94 HP @ 6200 [RPM]
Torque	130 N.m @ 3200 [RPM]
Cilindrada	1398 [cc]
Peso	1030 [kg]
Peso máximo	1525 [kg]
Sistema de Inyección	Multipunto
Consumo de Combustible	6,8 l/100 [km]
Distribución	DOHC
Neumáticos	195/65 R15

6.2.9.2 Analizador de Gases

Para el estudio y recolección de datos de emisiones de gases que se generan en el motor durante el recorrido de las rutas, se utilizará el analizador de gases QGA 6000 que mide diferentes gases como, monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no combustionados (HC), dióxido de carbono (CO₂). El analizador de gases utiliza el método no dispersivo de absorción de infrarrojos (NDIR) para realizar la medición de las emisiones, para la medición de oxígeno (O₂) y óxidos nitrosos (NO_x) se determinan mediante célula electroquímica (Rivera Campoverde & Chica Segovia, 2015). En la figura 6.27 se muestra el analizador de gases a utilizar.



Figura 6.27. Analizador de Gases

Las características del analizador de gases se presentan a continuación en la tabla 16:

Tabla 16. Características técnicas del Analizador de Gases

Características	Símbolo	Rango	Sensibilidad	Unidad
Monóxido de carbono	CO	0.00 – 0.99	0.01	%
Hidrocarburos	HC	0 – 999	1	ppm
Dióxido de carbono	CO ₂	0.0 – 20	0.10	%
Oxígeno	O ₂	0.0 – 25	0.01	%
Óxidos Nitrosos	NO _x	0 – 500	1	ppm
Lambda	λ	0 – 2.000	0.001	–
Relación aire/combustible	AFR	0.0 – 99.0	0.1	–

6.2.9.3 Scanner Carman VG

El scanner que se utiliza para la adquisición de datos es el Carman VG de la marca Nextech (Figura 6.28). Posee la capacidad de conectarse con vehículos de marcas americanas, japonesas, de procedencia india, coreana, entre otras. La principal ventaja del scanner es que posee la interfaz para conectarse con el analizador de gases QGA 6000 y la computadora, en el scanner se podrá visualizar los datos que del analizador en tiempo real, para luego con la interfaz del programa realizado en el software de

ingeniería Labview® se puedan almacenar los datos obtenidos de cada uno de los recorridos de las rutas en una hoja de cálculo.



Figura 6.28. Scanner Carman VG

En la tabla 17 se presentan las especificaciones técnicas del Scanner Carman VG:

Tabla 17. Especificaciones técnicas Scanner Carman VG

Especificaciones Scanner Carman VG
Entorno Windows CE
Disco duro de 20 GB
Osciloscopio de 4 canales
Conexiones USB-RS232
Conexión LAN para acceso a redes e internet
Análisis de encendido secundario
Salida VGA
Tarjeta CF de 128 MB
SD- RAM 128MB
Multímetro

6.2.9.4 Inversor de corriente Power Express

Para realizar la corrida experimental en el vehículo de pruebas se necesita poseer de toma corrientes, para ellos se utiliza un convertidor de corriente de 12 voltios a 110 voltios (Figura 6.29) el mismo que sirve para energizar analizador de gases, además tendrá otros usos como cargar el scanner Carman VG y la computadora.



Figura 6.29. Inversor de corriente Power Express 750W

En la tabla 18 se indica las características del inversor de corriente:

Tabla 18. Características del inversor de corriente Power Express 750W

Inversor de Corriente Power Express 750W		
Características	Rango	Unidad
Máxima potencia continua	750	W
Capacidad de sobretensión	1500	W
Sin corriente de carga	< 0.8	A
Forma de onda	Sinusoidal	-
Enchufes en el inversor	110/120	V

6.2.9.5 Tanque Portátil de Combustible

Se utiliza un tanque portátil para analizar el consumo de combustible en el desarrollo experimental, el fabricante indica que en el vehículo se debe utilizar gasolina Súper, para el análisis experimental se determina cual es el tipo de combustible que más se utiliza en el país, por lo que la gasolina Ecopaís es el combustible que más se expende a nivel nacional, luego que esta sustituyera a la gasolina Extra, la cual se despacha desde el 01 de agosto de 2017 en todas las gasolineras de Cuenca según (El Comercio, 2017), en la figura 6.30 se muestra el expendio que tiene la gasolina Ecopaís desde sus inicios de comercialización, se observa que para el año 2017 se vende aproximadamente 310,5 millones de galones de gasolina Ecopaís en todo el Ecuador.

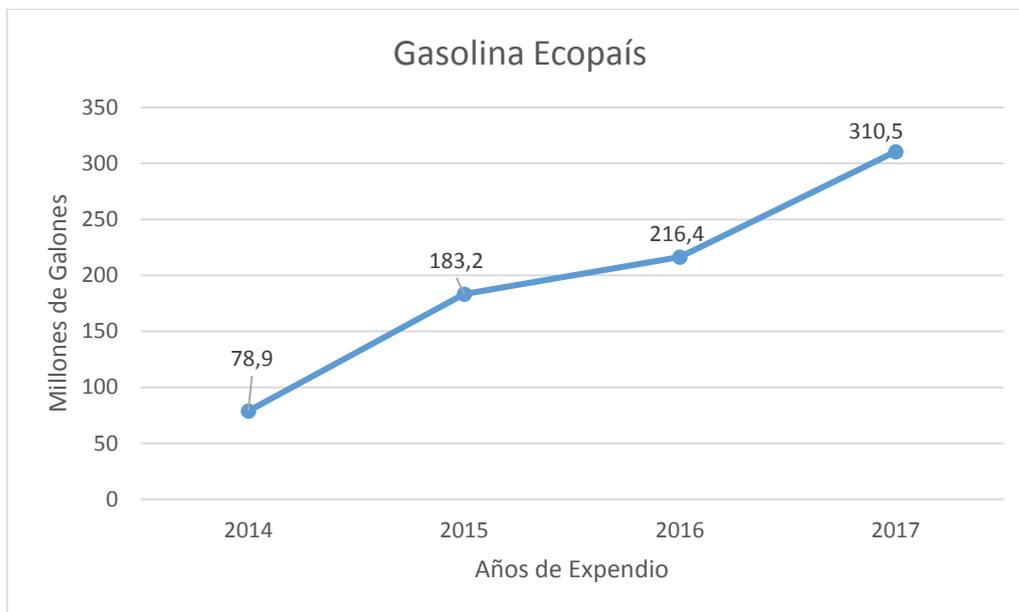


Figura 6.30. Expendio de gasolina Ecopaís

Fuente: (El Comercio, 2017)

Como se puede observar en la figura 6.31 la gasolina Ecopaís es la nueva sustituta de la gasolina Extra y dentro de este año ocupará el segundo lugar de expendio de combustible en el Ecuador luego del Diésel Premium, por lo tanto, el combustible Ecopaís es tomado en cuenta para el desarrollo del proyecto.

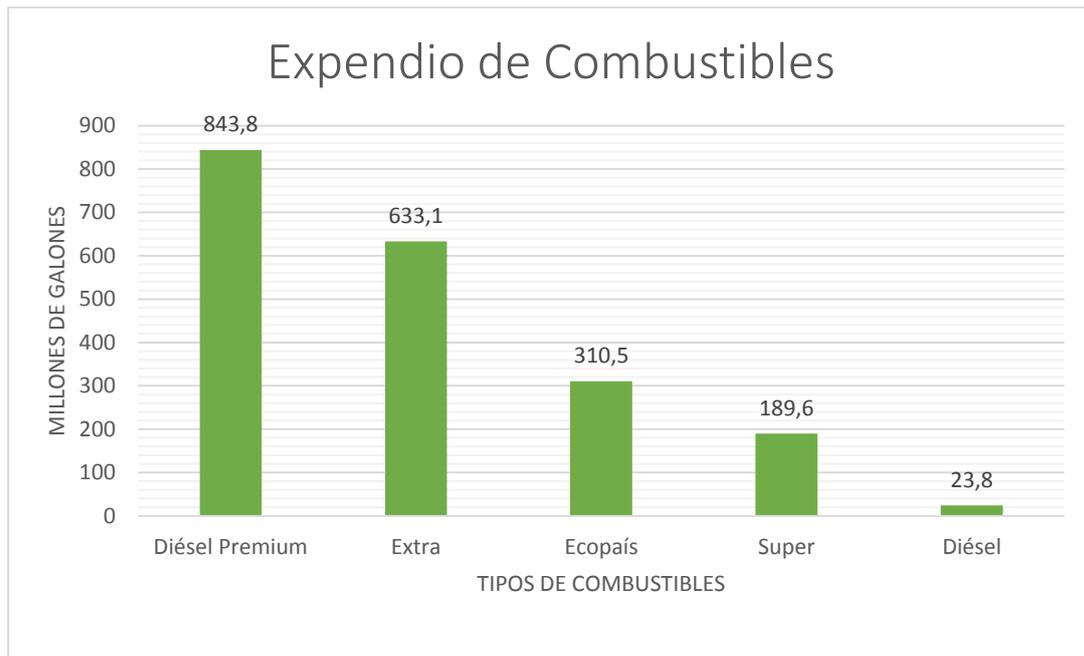


Figura 6.31. Expendio de combustible en Ecuador

Fuente: (El Comercio, 2017)

Durante los recorridos de las rutas en la ciudad, por medio de este tanque se obtendrá información del peso inicial del combustible que se registrará al comenzar cada recorrido de las secciones de las rutas, una vez finalizado el recorrido habrá una disminución de combustible en el tanque y se registrará dicho peso al finalizar cada sección.

El tanque se encuentra provisto de una bomba de combustible sumergida en el mismo, que suministra una presión de 3.10 bares, además el tanque posee un control de nivel, una cañería de retorno de combustible y una capacidad de 1.58 galones. En la figura 6.32 se muestra el tanque portátil que se va a utilizar para el análisis de consumo de combustible.



Figura 6.32. Tanque portátil de combustible

En la tabla 19 se indican las características del tanque portátil de combustible:

Tabla 19. Características del tanque portátil de combustible

Características	Detalle	Unidad
Capacidad	1.58	gal
Alto	25	cm
Ancho	17	cm
Largo	27	cm
Presión bomba de combustible	3.10	bar
Alimentación	12	V

6.2.9.6 Balanza digital

Para el análisis de consumo de combustible en cada recorrido se necesita recoger información de la masa de combustible que existe en el tanque al inicio y al final de cada prueba para conocer lo consumido por el vehículo. El equipo posee una capacidad máxima de 15kg, lo cual es suficiente para la toma de datos en el experimento. En la figura 6.33 se observa la balanza a utilizar.



Figura 6.33. Balanza digital

En la siguiente tabla 20 se puede observar las características de la balanza digital:

Tabla 20. Características balanza digital

Fuente: (Torrey, s.f.)

Características	Detalle	Unidad
Modelo	PCR20	-
Capacidad	15 [kg]	kg
Display	Cuarzo Liquido	-
Batería Recargable	100 [h]	h
Tara Máxima	9.995 [k]	kg
Plato	29 x 25	cm
Temperatura de operación	-10 a 40	°C

6.2.10 Adquisición de datos

Para la adquisición de datos se realiza la programación en el software de ingeniería Labview®, el programa adquiere señales que son emitidas del analizador de gases hacia el scanner y posteriormente a la computadora, dichas señales se dan en cada segundo durante la duración del recorrido del experimento o prueba. Los datos recolectados en un

determinado tiempo son almacenados en una hoja de cálculo para su pertinente análisis y clasificación. En la figura 6.34 se muestra un extracto de la programación realizada.

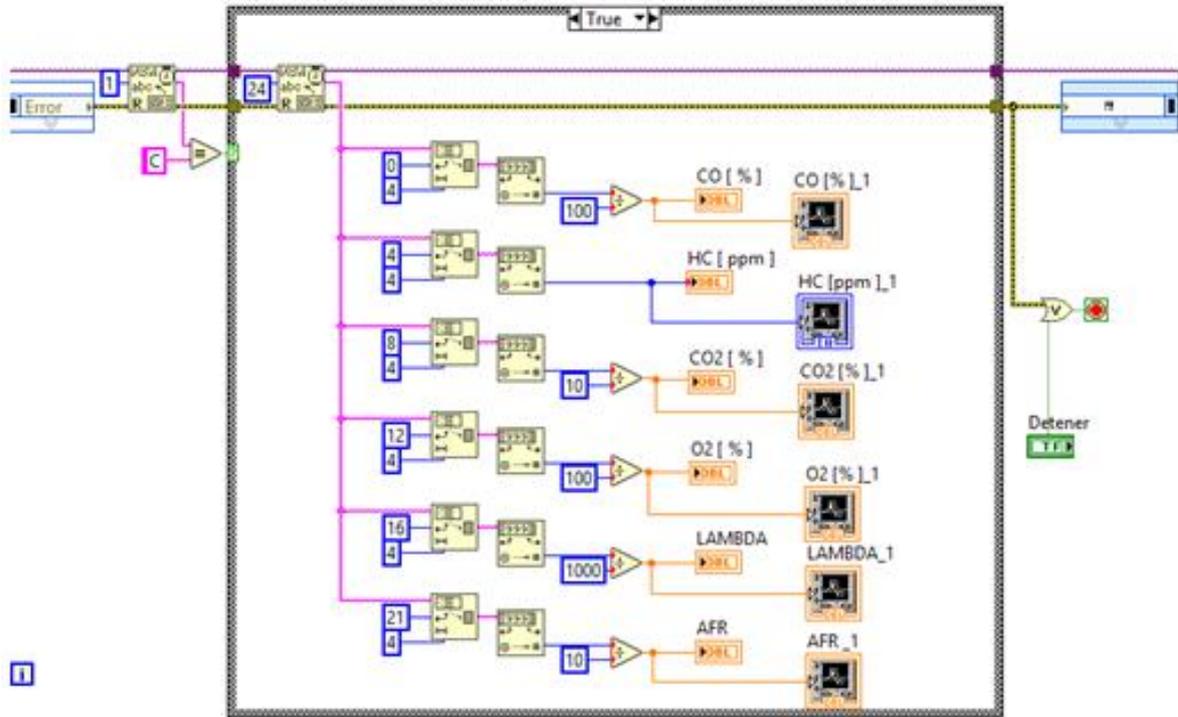


Figura 6.34. Programación para adquisición de datos

6.2.11 Incorporación de equipos para la adquisición de datos

Las pruebas serán desarrolladas a bordo del vehículo Aveo Activo 1.4 L (Figura 6,35) el mismo lleva incorporado un tanque portátil de gasolina, el analizador de gases conectado al sistema de escape del vehículo y el scanner Carman, para ello se necesita seguir un proceso lógico ordenado, el mismo se muestra a continuación en la figura 6.36



Figura 6.35. Equipos instalados para experimentación

6.2.12 Protocolo de Medición

Para garantizar la repetitividad y reproductibilidad del experimento a realizar, se procede a seguir una serie de pasos ordenados, lo cuales son descritos a continuación:

- El motor que se va a utilizar para el experimento debe estar en óptimas condiciones antes de realizar las pruebas, por lo tanto se debe realizar un mantenimiento preventivo para garantizar que no se produzcan fallas al momento de recolección de datos.
- Colocar el vehículo en el taller para implementar los instrumentos que son necesarios para realizar las mediciones de consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes.
- Preparar equipos para la adquisición de datos:
 - Realizar la medición del peso del tanque portátil de combustible
 - Realizar la conexión del tanque portátil de combustible en el vehículo.
 - Realizar la conexión del analizador de gases al scanner.
 - Realizar la conexión de scanner al computador para almacenamiento de datos.
 - Encender el analizador de gases, y proceder a purgar el mismo.
 - Encender el motor de vehículo y esperar que alcance la temperatura normal de funcionamiento.
 - Conectar la sonda del analizador en el tubo de escape del vehículo.
 - Poner en marcha el vehículo en las diferentes rutas ya establecidas en la fase I bajo las condiciones de los grados de tráfico en la ciudad.
 - Registrar los datos al finalizar cada uno de los recorridos, tanto de emisiones de gases como de consumo de combustible.
 - Desconectar del vehículo el analizador de gases (la sonda) y el tanque portátil de combustible, para tener un tiempo de pausa de los equipos y nuevamente empezar a realizar las pruebas
 - Apagar el vehículo al terminar cada ruta.
 - Guardar los datos en una hoja de cálculo para realizar el análisis y determinar los niveles de emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible.

6.2.13 Proceso para adquisición de datos

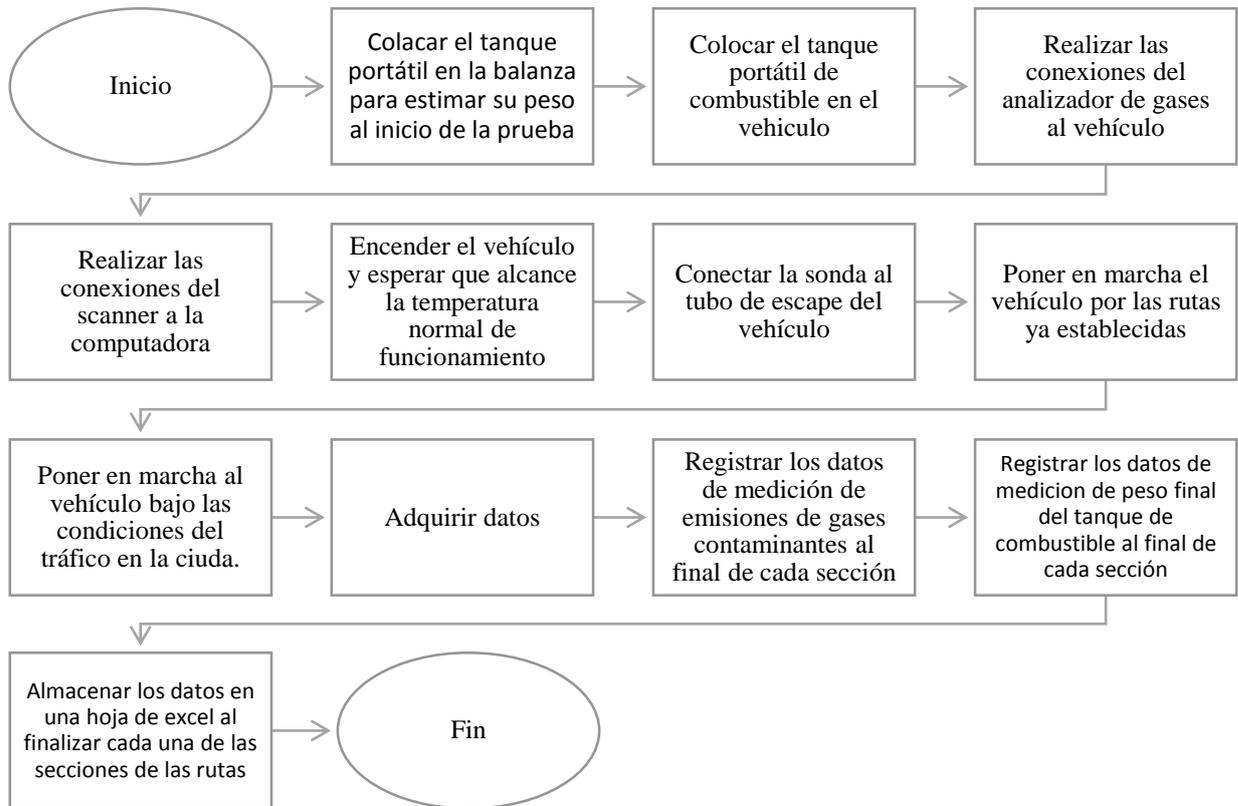


Figura 6.36. Proceso para adquisición de datos

6.2.14 Proceso para conversión de datos

Los datos que se obtienen de la corrida experimental son tomados por el analizador de gases QGA 6000 que realiza estimaciones de tipo porcentual y de partes por millón de las emisiones de gases contaminantes que produce el vehículo durante el recorrido de las rutas, por lo tanto para realizar un mejor análisis de la cantidad de contaminación se determina que los valores se los presenta en gramos por el tiempo de recorrido de cada una de las rutas. En la siguiente figura se muestra el comportamiento del HC de la ruta 1 que comprende la zona del Centro Histórico en horario de tráfico alto, los valores que se obtienen son en partes por millón como se muestra en la figura 6.37. La recolección de datos para esta sección de ruta consta de 5540 datos almacenados durante el recorrido de la misma, se registran aproximadamente 4 datos por cada segundo de recorrido.

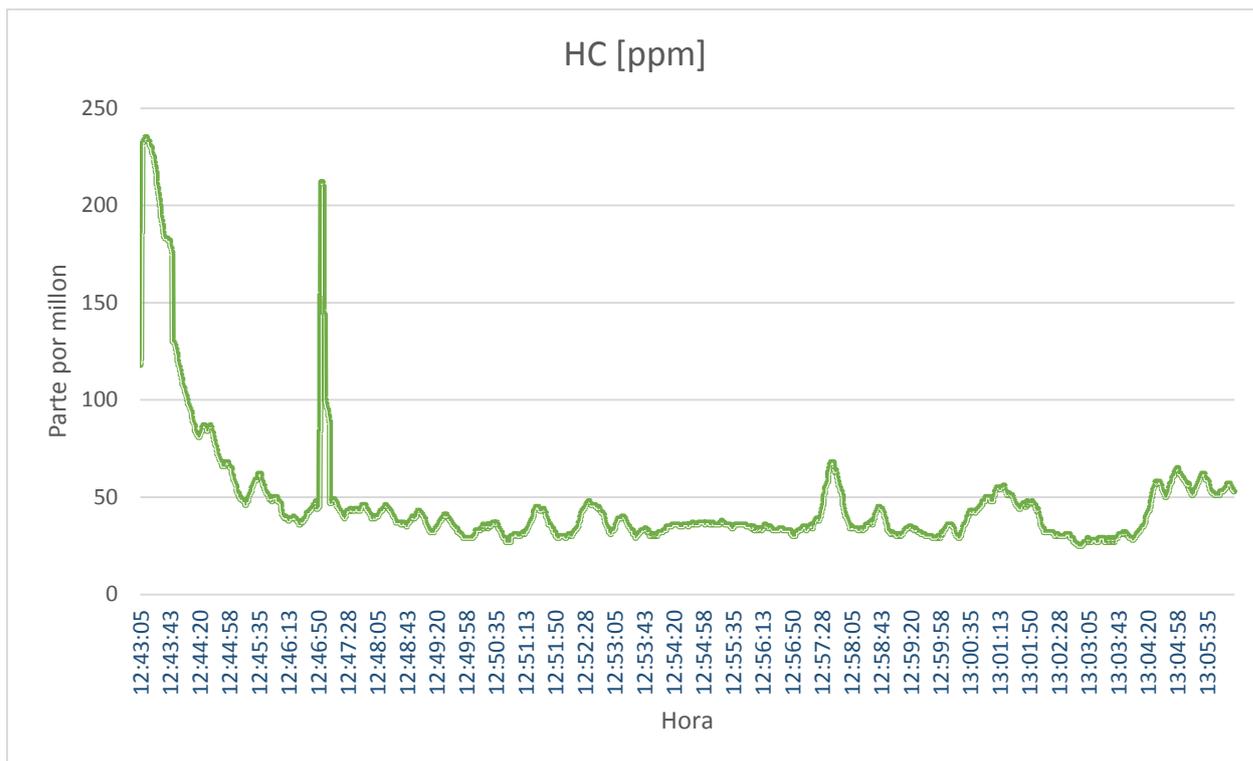


Figura 6.37. Valores de HC en ppm

Una vez obtenidos los datos, se procede a adquirir la media de los mismos, luego de esto se procede a utilizar una conversión para transformar los gases de ppm o porcentaje (%) a gramos, esta conversión está basada en la ley de los gases ideales, para ello se necesita los datos que se detallan en la tabla 21.

Tabla 21. Datos para conversión a gramos

Datos	Símbolo	Unidad	Conversión
Cilindrada	cc	[cm^3]	-
Presión Atmosférica	mbar	[Bar]	-
Temperatura Ambiente	°C	[centígrados]	-
Potencia Máxima	KW	[Kilowatts]	-

Consumo de Combustible	-	[g]	g/h
Monóxido	CO	[%]	g/h
Hidrocarburos no Combustionados	HC	[ppm]	g/h

Una vez que se obtienen los datos en gramos sobre hora se procede a realizar el cálculo de los gramos que se emiten en el tiempo de recorrido de cada una de las secciones de las rutas para determinar los valores de emisiones de gases contaminantes en gramos para proceder a realizar el análisis en el software de ingeniería Minitab®.

6.3 Fase III: Análisis de resultados mediante método estadístico

Para la el análisis de resultados se utiliza el software de ingeniería Minitab®, a través del método Factorial, el cual genera las gráficas de residuos, Efectos Principales, Interacciones y Contorno para las emisiones de gases y consumo de combustible las cuales son las variables de salida del experimento.

6.3.1 Gráficas de residuos

6.3.1.1 Gráfica de residuos de Consumo de combustible de todas las secciones 1

Se puede observar en la figura 6.38 la gráfica de residuos para consumo de combustible en las secciones 1 de las rutas establecidas para el experimento, se ilustra en la gráfica de probabilidad normal que los puntos se encuentran distribuidos correctamente siguiendo la línea de regresión, sin presencia de residuos fuera de lo común.

En la segunda gráfica de residuo vs. ajuste se observa que los puntos están correctamente dispersos alrededor del valor cero, no se observa formas de embudo o aglomeraciones lo cual significa que los puntos tienen una varianza constante afirmando que el modelo es adecuado.

En la gráfica de histograma se observa los residuos lo más parecido a la forma de una campana, simétrica y centrada en el punto cero, lo cual significa que la distribución de los residuos tiene un comportamiento normal sin valores atípicos

En la cuarta gráfica de residuo vs. orden se puede observar la aleatorización de los puntos distribuidos de una manera correcta ya que los residuos no están correlacionados entre sí, afirmando la validez de la muestra.

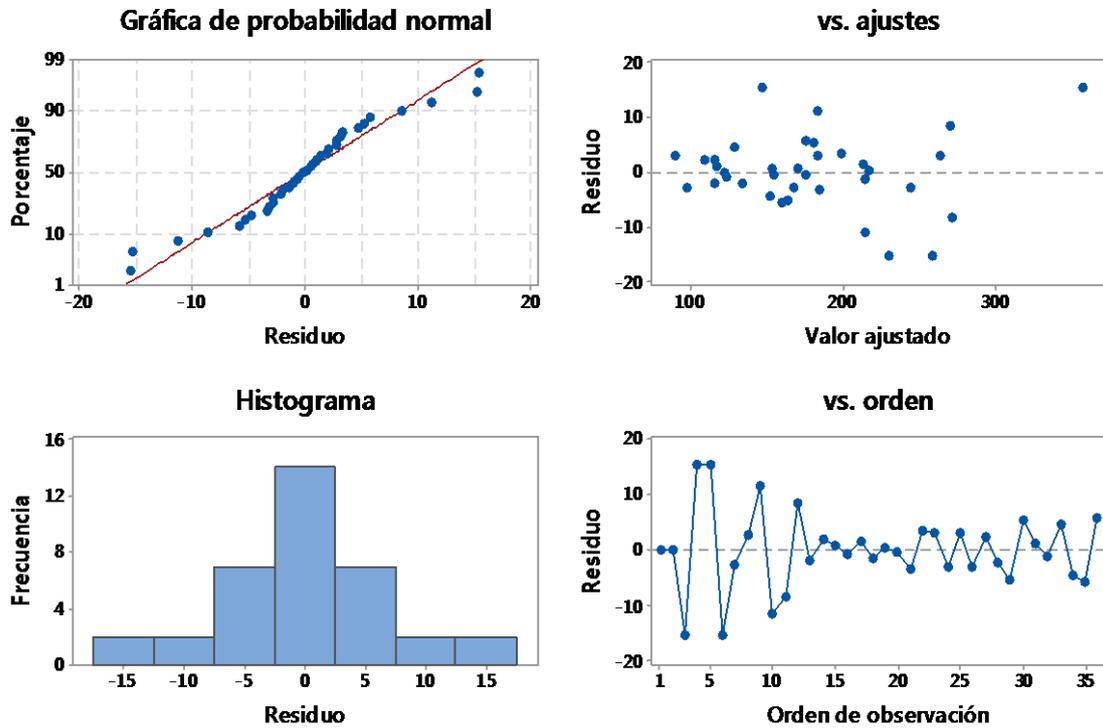


Figura 6.38. Residuos de consumo de combustible en las secciones 1

6.3.1.2 Gráfica de residuos de Hidrocarburos no Combustionados (HC)

Se observa en la imagen 6.39 la gráfica de probabilidad normal, los puntos están agrupados en forma recta alrededor de la línea, sin presencia de valores atípicos ni irregularidades, por lo tanto se corrobora que los resultados son válidos.

En la gráfica de residuos v. ajustes se observa que los puntos no se agrupan en forma de embudo, los valores tienen una correcta distribución alrededor de la línea de referencia lo cual asevera que los resultados son correctos.

La gráfica de histograma posee una adecuada forma de campana con comportamiento normal, centrada en cero y simétrica, por lo tanto se observa que no hay presencia de valores atípicos afirmando la normalidad de los datos.

En la gráfica de residuos vs. orden se observa los valores dispersos de una forma correcta, sin apreciación de ningún patrón entre ellos, comprobando que la muestra es válida.

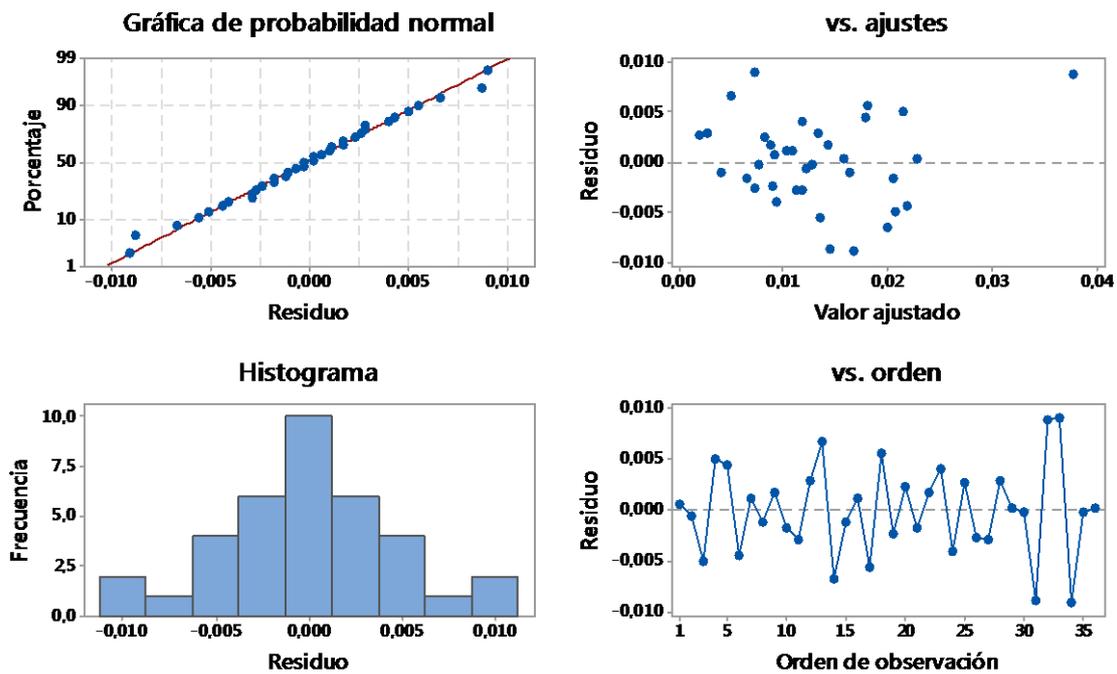


Figura 6.39. Residuos de HC en secciones uno

6.3.2 Gráficas de efectos principales

6.3.2.1 Gráfica de efectos principales para Consumo de combustible en secciones uno (g).

Las gráficas que se muestran en la figura 6.40 representan los efectos principales para el consumo de combustible en las secciones uno de las rutas, para lo cual se interpreta que la ruta con mayor consumo de combustible es la ruta #1 en tráfico alto (Hora 3) teniendo el valor maximo de 222,47 gramos (g). Mientras que la ruta que utiliza menos combustible es la #5 en tráfico bajo (Hora 1) con el valor mínimo de 127,66 g. En cuanto a la hora de salida para la toma de datos en las rutas, se puede apreciar que en la hora 3 de tráfico alto, se genera el valor máximo de consumo de combustible mientras que la hora 2 y 1 que son tráfico medio y bajo respectivamente los valores de consumo son menores. Se puede observar que el día es levemente significativo en cuanto al consumo de combustible para las secciones 1 de las rutas debido a que la pendiente de la recta es poco pronunciada.

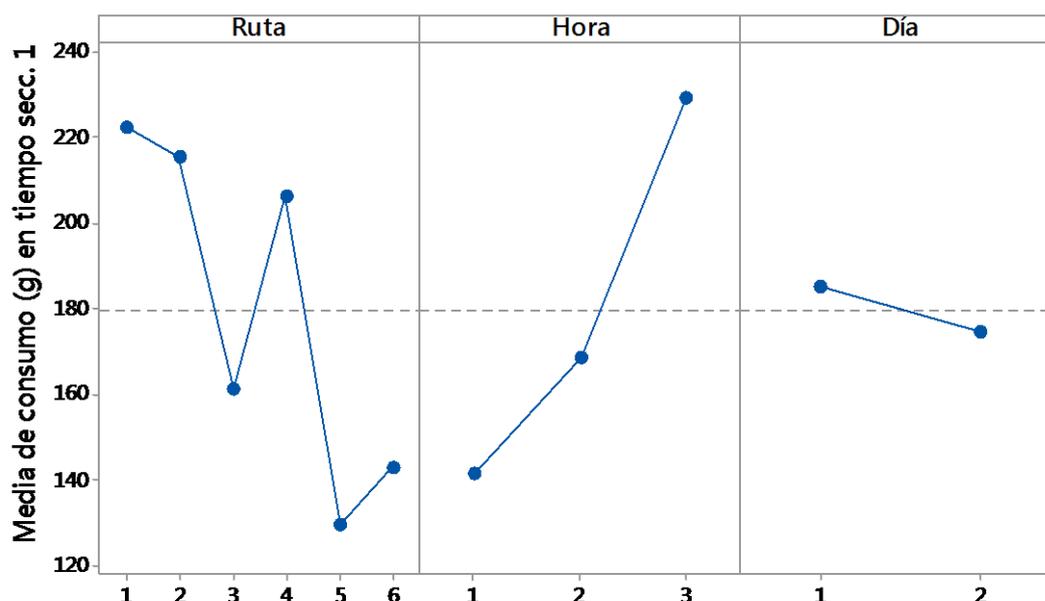


Figura 6.40. Efectos principales para consumo de combustible en secciones uno

En la tabla 22 se especifican los valores del consumo de combustible y los valores de las emisiones de gases que se generan al momento de recorrer las secciones uno de las rutas.

Tabla 22. Emisiones de gases y consumo de combustible en secciones uno de las rutas

SECCIONES 1						
	Hora	Consumo de combustible (g)	CO(g)	HC(g)	CO ₂ (g)	O ₂ (g)
RUTA1	3	222,47	1,05	0,017	54,3	7,4
RUTA2	3	214,43	0,67	0,0125	43,4	4,48
RUTA3	2	166,45	0,97	0,0115	32,04	4,68
RUTA4	3	210,55	0,38	0,1104	38,5	9,12
RUTA5	1	127,66	0,28	0,007	29,94	7,55
RUTA6	1	142,45	0,36	0,019	36,3	5,9

6.3.2.2 Gráfica de efectos principales para Consumo de combustible en secciones dos (g).

En la figura 6.41 se observa las gráficas de los efectos principales para el consumo de combustible en las secciones dos de las rutas, para lo cual se interpreta que la ruta con mayor consumo de combustible es la ruta #1 en la hora 3, teniendo el valor máximo de 231,47 g. mientras que con un valor de 147,5 g. la ruta #2 se convierte en la que menos consumo de combustible genera a la hora 1 en las secciones dos de las rutas. La hora

para la toma de datos de igual manera influye en la medida de consumo de combustible, siendo la hora 3 en la cual el vehículo genera mayor consumo de combustible. En cuanto al día de la realización de las pruebas se puede observar en la imagen que no influye notablemente en el consumo de combustible, es decir el efecto principal en cuanto al día es bajo.

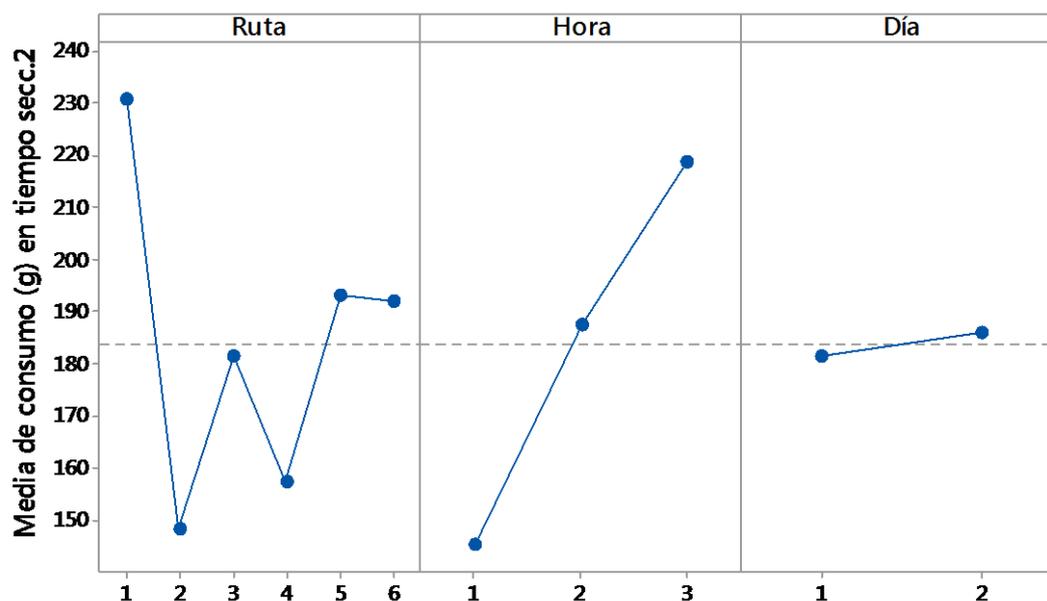


Figura 6.41. Efectos principales para consumo de combustible en secciones uno

En la tabla 23 se especifican los valores del consumo de combustible y los valores de las emisiones de gases que se generan al momento de recorrer las secciones dos de las rutas.

Tabla 23. Emisiones de gases y consumo de combustible en secciones dos de las rutas.

SECCIONES 2						
	Hora	Consumo de combustible(g)	CO(g)	HC(g)	CO ₂ (g)	O ₂ (g)
RUTA1	3	231,47	1,01	0,021	57,44	7,01
RUTA2	1	147,5	0,815	0,007	32,23	3,937
RUTA3	2	184,05	0,683	0,0295	36,75	5,550
RUTA4	1	158,75	0,3703	0,0069	33,04	3,9030
RUTA5	3	194,03	0,8450	0,0102	44,05	13,7
RUTA6	2	192,75	0,8405	0,0148	46,05	6,67

6.3.2.3 Gráfica de efectos principales para Monóxido de carbono (CO) en secciones uno (g).

Para la gráfica de efectos para CO se puede observar en la figura 6.42 que la ruta si influye en las emisiones del mismo y que existe un efecto principal teniendo un valor máximo de 1,05 g. para la ruta #1 en la hora de tráfico alto, y un valor mínimo de 0,28 g. en la ruta #5 en tráfico medio. En cuanto a la hora del recorrido de las rutas, en tráfico alto y bajo se dan las mayores emisiones de monóxido de carbono, además se puede observar que en el día no está presente un efecto principal debido a que la línea es prácticamente paralela al eje x, por lo tanto no influye notablemente sobre las emisiones de CO.

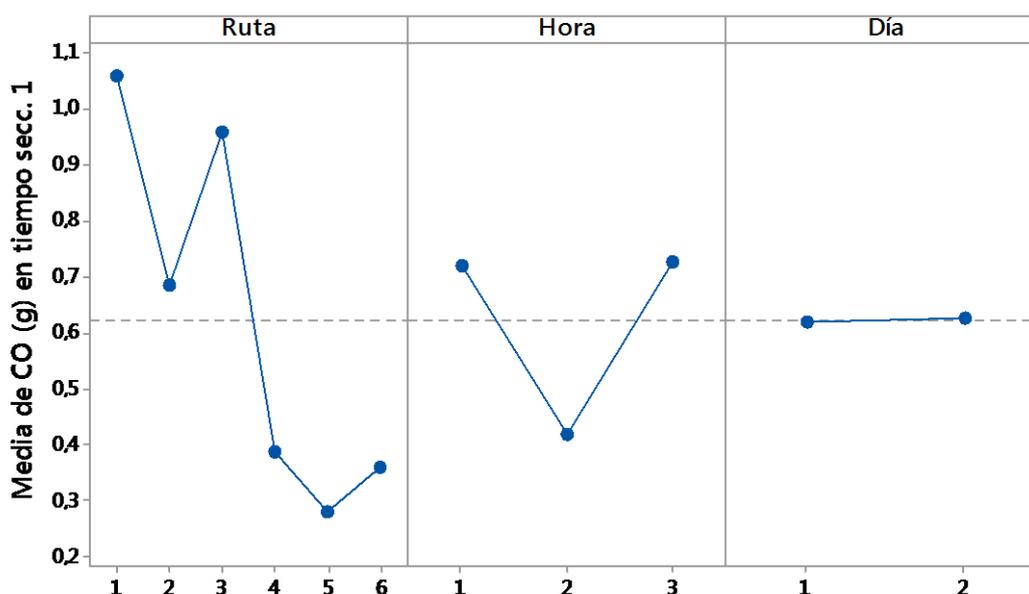


Figura 6.42. Efectos principales para CO en secciones uno

6.3.2.4 Gráfica de efectos principales para CO en secciones dos (g).

En cuanto en las secciones dos de las rutas se observa en la figura 6.43 que de igual manera la ruta #1 en la hora 3 genera el mayor porcentaje de emisiones de CO con un valor de 1,01 g. mientras que el valor más bajo lo posee la ruta #4 con 0,37 g. en la hora 2, El tráfico alto es la hora en donde el CO es superior en cuanto a emisiones contaminantes, seguido del tráfico bajo y tráfico medio. El día de la toma de datos de igual manera es poco significativo para las emisiones de monóxido de carbono.

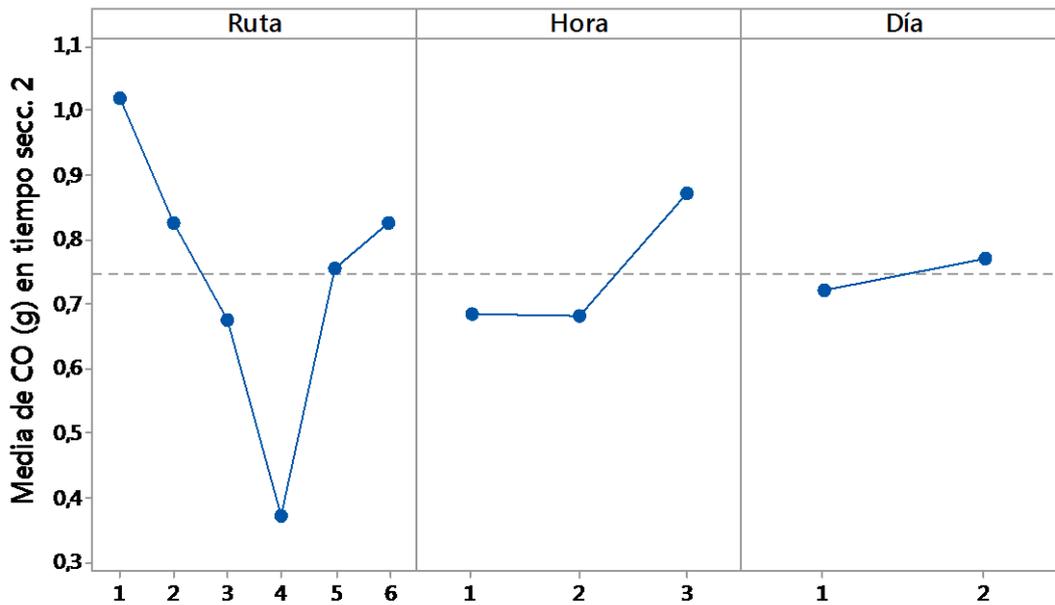


Figura 6.43. Efectos principales para CO en secciones dos

6.3.2.5 Gráfica de efectos principales para Hidrocarburos no combustionados (HC) en secciones uno (g).

Para la gráfica de efectos principales de HC se observa en la figura 6.44 que la ruta influye significativamente sobre las emisiones de HC, teniendo pendientes pronunciadas con un valor máximo de 0,019 g. en tráfico alto en la ruta #6 y un valor mínimo de 0,007 g. en la ruta #5 en tráfico medio, en cuanto a la hora se puede observar que en tráfico alto se genera la mayor emisión de HC, seguido por el tráfico bajo y tráfico medio. Para este análisis se observa que el día si influye en la generación de emisiones de HC como se puede ver en la gráfica la recta tiene una pendiente pronunciada siendo el día dos cuando se generan el mayor registro de HC.

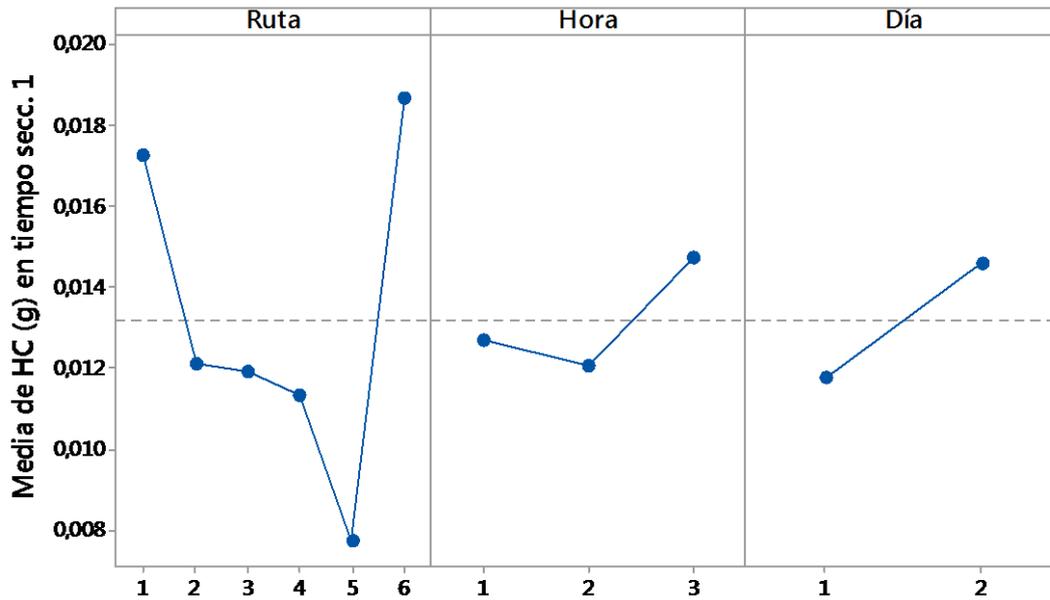


Figura 6.44. Efectos principales para HC en secciones uno

6.3.2.6 Gráfica de efectos principales para HC en secciones dos (g).

Los HC presentan una variación notable a medida que se recorren las secciones dos de las rutas establecidas, se puede observar en la figura 6.45 que la ruta #3 es la que genera el mayor número de emisiones de HC con un valor de 0,021 g. en tráfico bajo, mientras que la ruta #4 en tráfico medio posee un valor de 0,0072 g. convirtiéndose en la ruta que genera la menor cifra de emisiones de hidrocarburos no combustionados. La hora tráfico bajo es en donde el HC tiene más incidencia generando emisiones elevadas del mismo, seguido de la hora de tráfico alto y tráfico medio. El día 2 de la toma de datos, presenta un leve incremento sobre el día 1, es decir que en el segundo día las emisiones de hidrocarburos es levemente mayor al primer día.

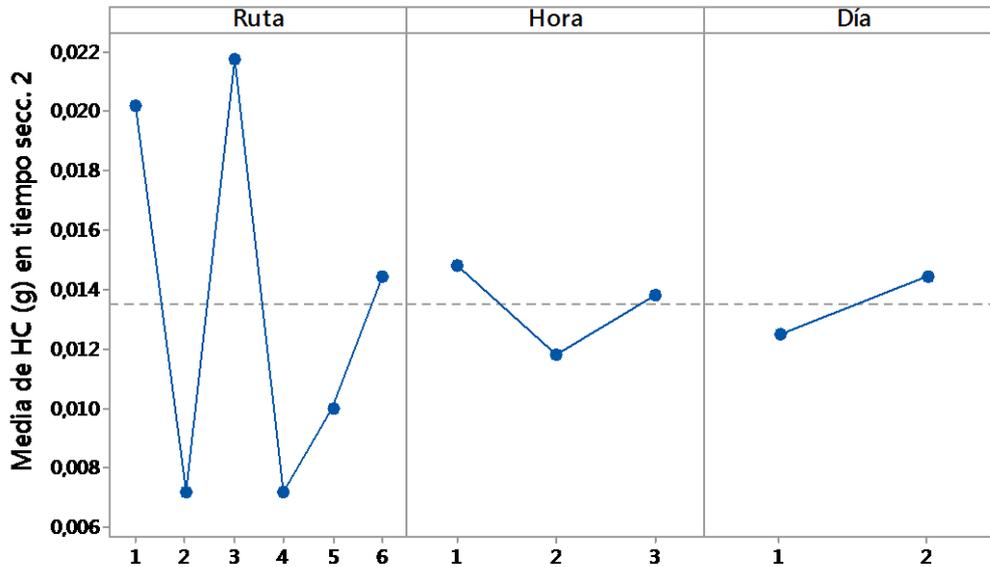


Figura 6.45. Efectos principales para HC en secciones dos

6.3.2.7 Gráfica de efectos principales para Dióxido de Carbono (CO₂) en secciones uno (g).

La siguiente gráfica 6.46 muestra los efectos principales del CO₂, se puede visualizar que la ruta tiene pendientes pronunciadas las mismas que infieren en las emisiones de CO₂, con un valor máximo en la hora de tráfico alto de 54,30 g. en la ruta #1 y un valor mínimo en la hora de tráfico bajo de 29,94 g. en la ruta #5, además se puede apreciar que en tráfico alto se genera el mayor porcentaje de emisiones de CO₂, mientras que la hora 2 y hora 3 presentan valores menores de emisiones. En la tercera gráfica se observa que el día 1 es levemente más influyente que el día 2 para las emisiones de dióxido de carbono.

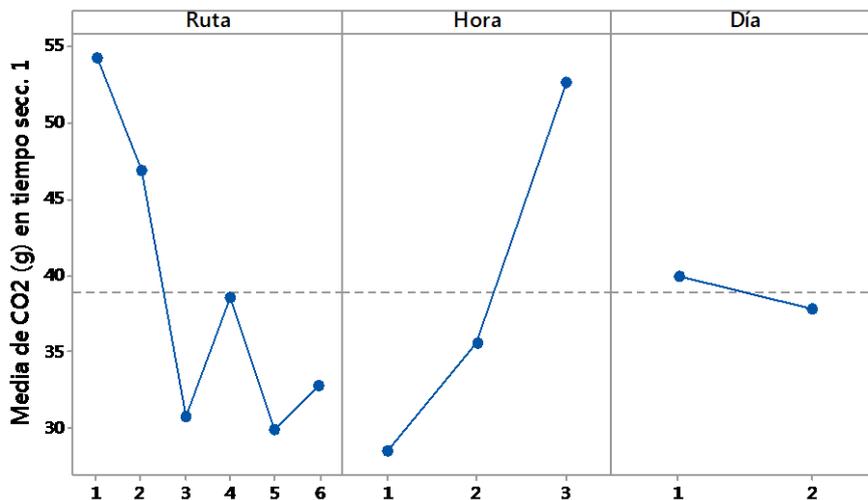


Figura 6.46. Efectos principales para CO₂ en secciones uno

6.3.2.8 Gráfica de efectos principales para CO₂ en secciones dos (g).

La gráfica de efectos principales del CO₂ para las secciones 2 de las rutas se aprecian en la figura 6.47 la cual demuestra que la ruta influye notablemente para la toma de emisiones de CO₂, generando valores máximos de 57,44 g. para la ruta #1 en tráfico alto, y un valor mínimo de 31,86 g. para la ruta #2 en tráfico bajo. La hora para realizar el experimento también influencia en las emisiones de CO₂, siendo el tráfico alto la hora que predomina las mayores concentraciones de CO₂, mientras que el tráfico bajo genera el nivel más bajo de emisiones para las secciones 2 en las rutas especificadas. El día en que se realizó el experimento no influye notablemente en la medida de CO₂, la pendiente de la recta tiende a ser horizontal notándose un leve dominio del día 2 con respecto al día uno.

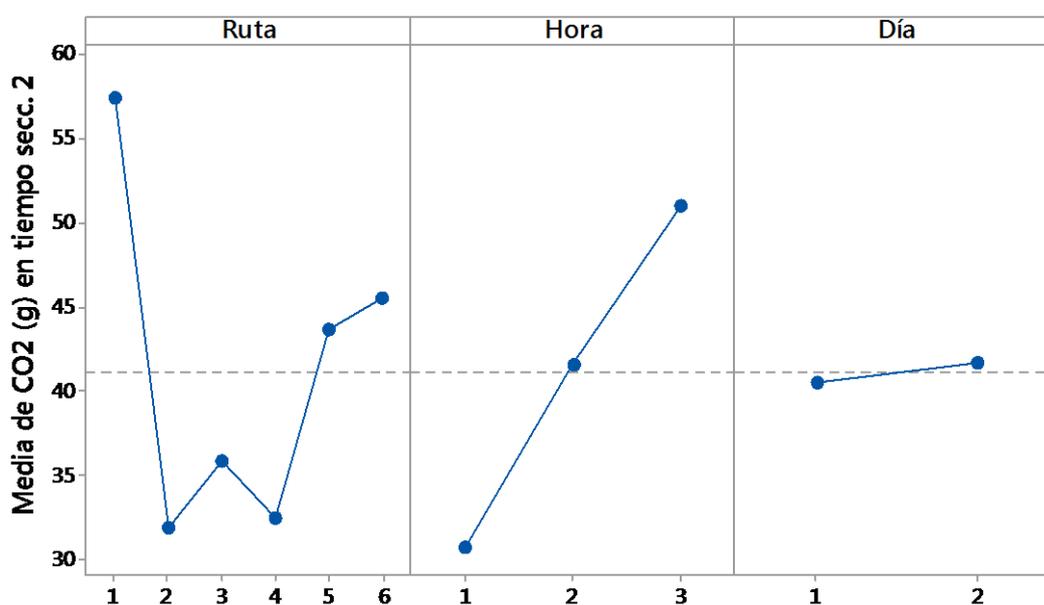


Figura 6.47. Efectos principales para CO₂ en secciones dos

6.3.2.9 Gráfica de efectos principales para Oxígeno (O₂) en secciones uno (g).

La figura 6.48 representa los efectos principales del O₂, como se ilustra en la gráfica de las rutas se observa que las mismas influyen sobre las emisiones de O₂ teniendo valores máximos de 9,12 g. para la ruta #4 en la hora de tráfico alto, y valores mínimos de 4,48 g. en la ruta #2 en la hora de tráfico bajo, Además se puede apreciar que la hora de salida para la toma de datos en las rutas influye sobre las emisiones de O₂, es decir, a la hora de tráfico bajo hay aumento de emisiones de O₂, y a medida que el tráfico aumenta las emisiones de O₂ disminuyen. En cuanto al día se observa que la recta tiene una

pendiente que representa la influencia del día de la toma de datos, como se aprecia en la imagen el día 1 genera mas emisiones de oxígeno que el día 2.

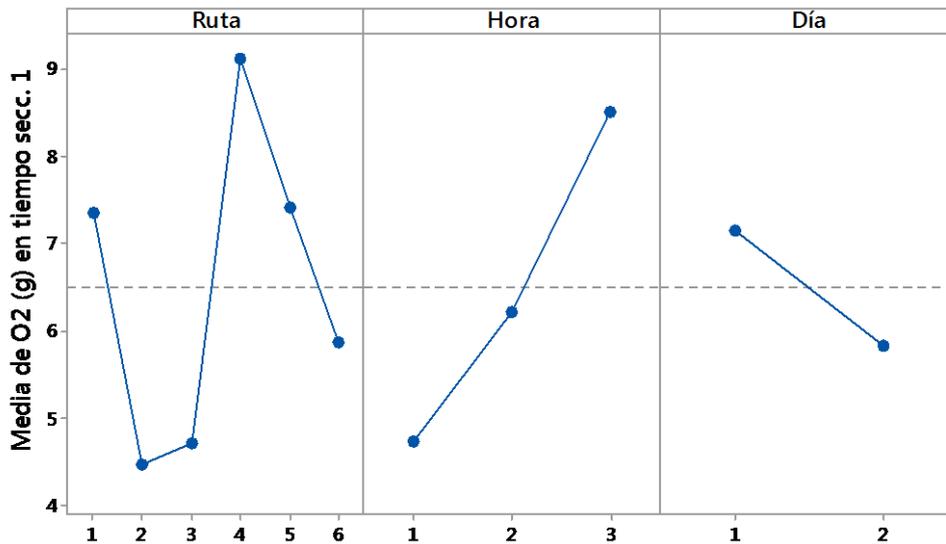


Figura 6.48. Efectos principales para O₂ en secciones uno

6.3.2.10 Gráfica de efectos principales para O₂ en secciones dos (g).

En la imagen 6.49 se ilustra los efectos principales del O₂ en las secciones dos de las rutas establecidas, las mismas que influyen en las emisiones de O₂, estableciendo que la ruta #5 genera el valor más elevado de este gas con 13,07 g.en la hora 3, mientras que las rutas #2 y #4 producen los valores mas bajos de O₂ en la hora 1 con 3,937 g. y 3,9030 respectivamente. De igual manera que en las secciones 1 de las rutas la hora de salida para la toma de datos en las rutas influye sobre las emisiones de O₂, es decir, a la hora de tráfico bajo hay aumento de emisiones de oxígeno, y a medida que el tráfico aumenta las emisiones de O₂ disminuyen. Como se aprecia en la imagen el día 1 es levemente superior al día 2 en cuanto a las emisiones de oxígeno.

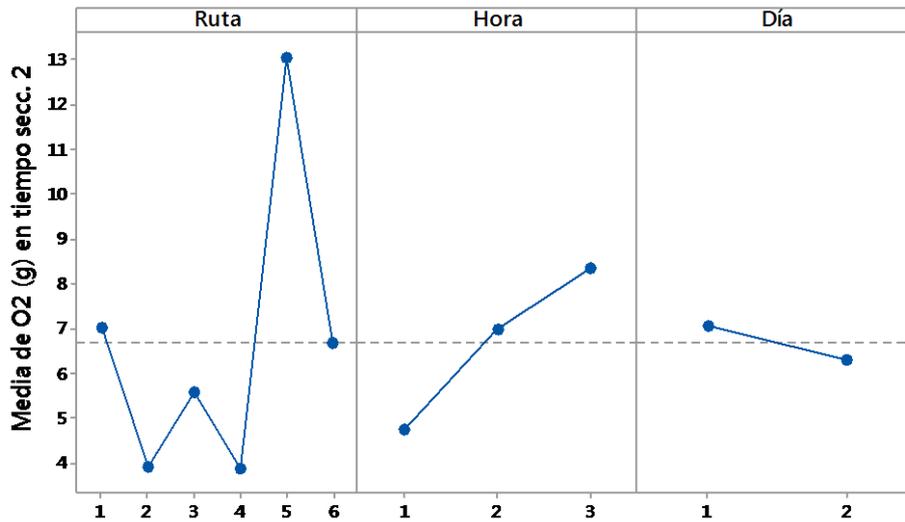


Figura 6.49. Efectos principales para O₂ en secciones dos

6.3.3 Interacciones

6.3.3.1 Interacciones para Consumo de combustible en secciones uno.

En la figura 6.50 se visualiza la gráfica de ruta por hora, la misma que no representa interacción, es decir cada hora no influye en el consumo de combustible para cada ruta planteada en el diseño experimental. Mientras que la gráfica de Ruta por día indica que el día que se realice el recorrido de la ruta existe una interacción leve en cuanto consumo de combustible. En cuanto a la hora por día de igual manera existe una interacción débil, es decir que la hora en el día no interviene notablemente en el consumo de combustible.

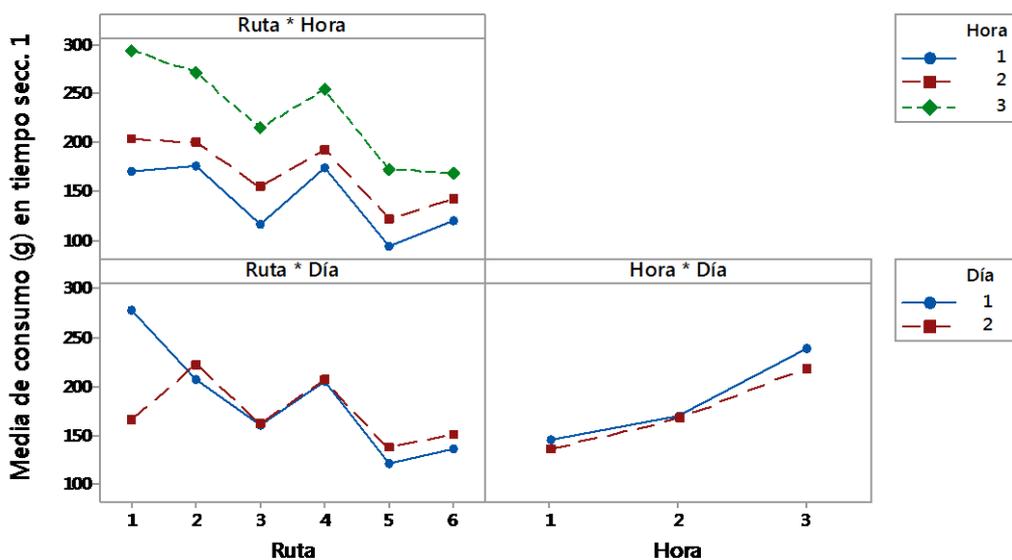


Figura 6.50. Interacciones para consumo de combustible en secciones uno.

6.3.3.2 Interacciones para Consumo de combustible en secciones dos.

Se puede apreciar en la figura 6.51 la gráfica de interacciones para consumo de combustible en las secciones dos de las rutas establecidas, en la gráfica de ruta por hora se observa una interacción débil, en todos los recorridos de las rutas, el tráfico bajo (Hora 1) consume menos combustible que la hora 1 y 2. La interacción de igual manera es débil para la gráfica de ruta por día, lo que significa que el día en que se realizaron las pruebas en las rutas no interviene significativamente en el consumo de combustible de dichas secciones.

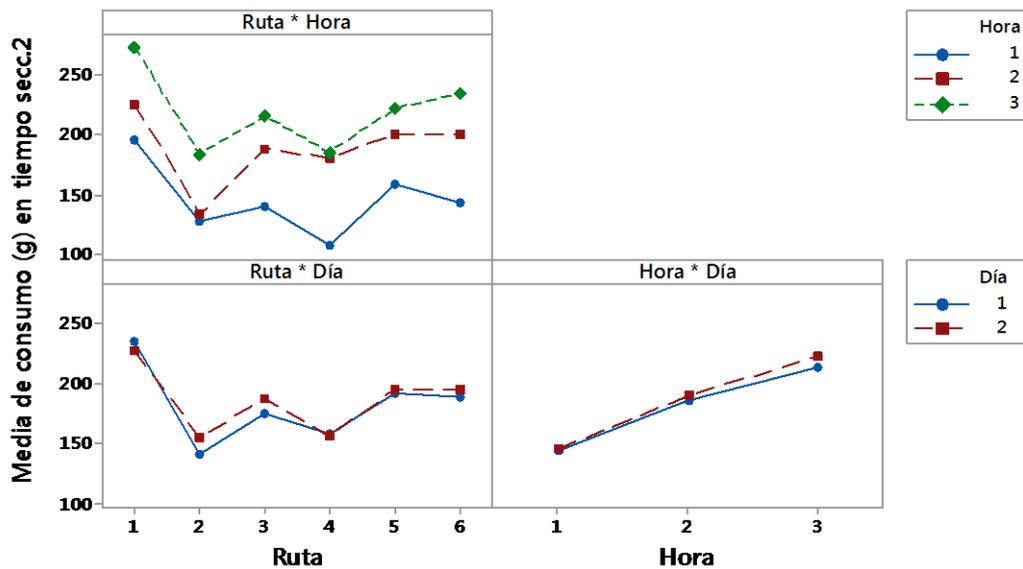


Figura 6.51. Interacciones para consumo de combustible en secciones dos.

6.3.3.3 Interacciones para CO en secciones uno.

En la siguiente figura 6.52 se observa la gráfica de interacciones para CO en las secciones uno de las rutas, en donde se puede observar interacciones fuertes en la gráfica de ruta por hora, lo que significa que la hora interviene en la generación de emisiones de CO en las secciones uno de las rutas planteadas. Las interacciones son fuertes en la gráfica de ruta por día, para el caso de la ruta 3, en el día 1 en que se realizó el experimento se genera más emisiones de CO que el día 2. La interacción es moderada para la gráfica de hora por día, la hora 1 genera más emisiones de CO en el día 1 que en la hora 2 y la hora 3.

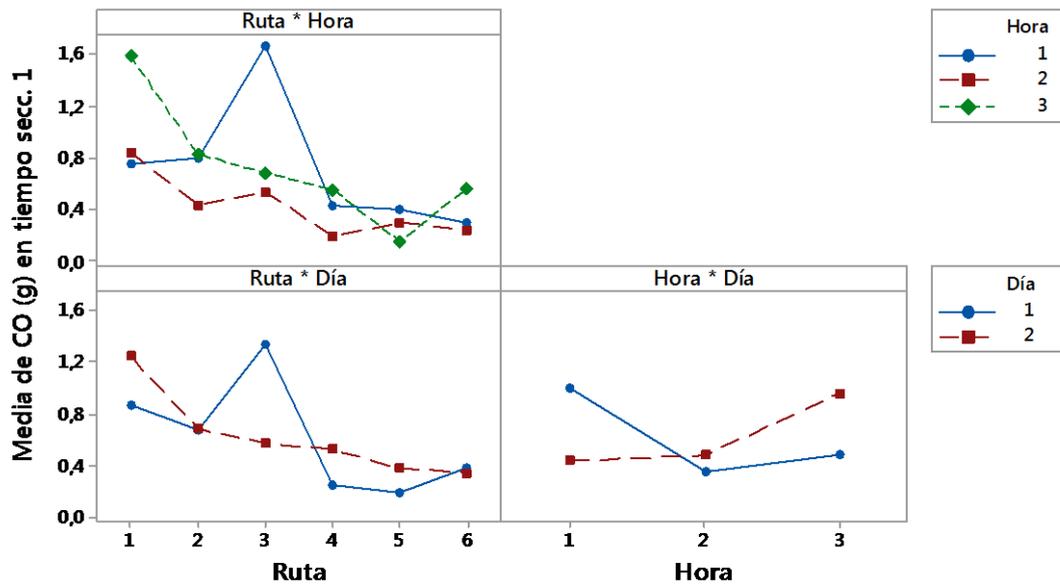


Figura 6.52. Interacciones para CO en secciones uno.

6.3.3.4 Interacciones para CO en secciones dos.

En la figura 6.53 se puede observar que en la ruta por hora existen interacciones fuertes, la hora influye en las emisiones de CO en cada ruta del experimento. Las interacciones son moderadas en la gráfica de ruta por día, para las emisiones de CO el día interviene en las rutas establecidas para el experimento. Mientras que las interacciones de hora por día como se ilustra en la gráfica la interacción es débil, la hora no influye en el día para la toma de datos de las emisiones de monóxido de carbono.

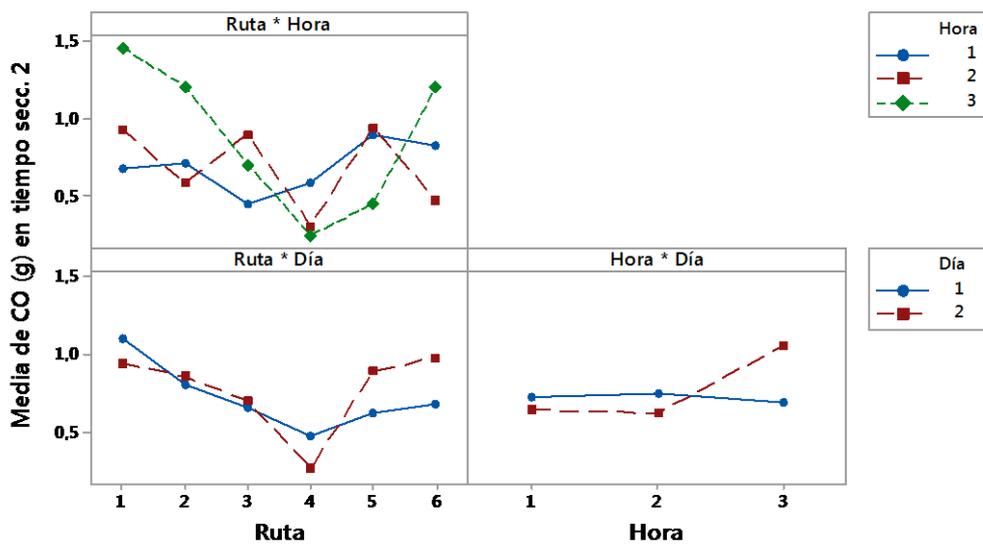


Figura 6.53. Interacciones para CO en secciones dos.

6.3.3.5 Interacciones para HC en secciones 1.

En la figura 6.54 se observa la gráfica de ruta por hora, donde las interacciones son fuertes, la hora interviene representativamente en las emisiones de HC en cada ruta planteada en el experimento. En la gráfica de ruta por día existe una intervención moderada, el día en que se realice el recorrido de cada ruta la interacción es moderada en cuanto a las emisiones de HC. En la gráfica de hora por día la interacción es débil, la hora interviene levemente en las emisiones de HC en el día de recorrido de las rutas.

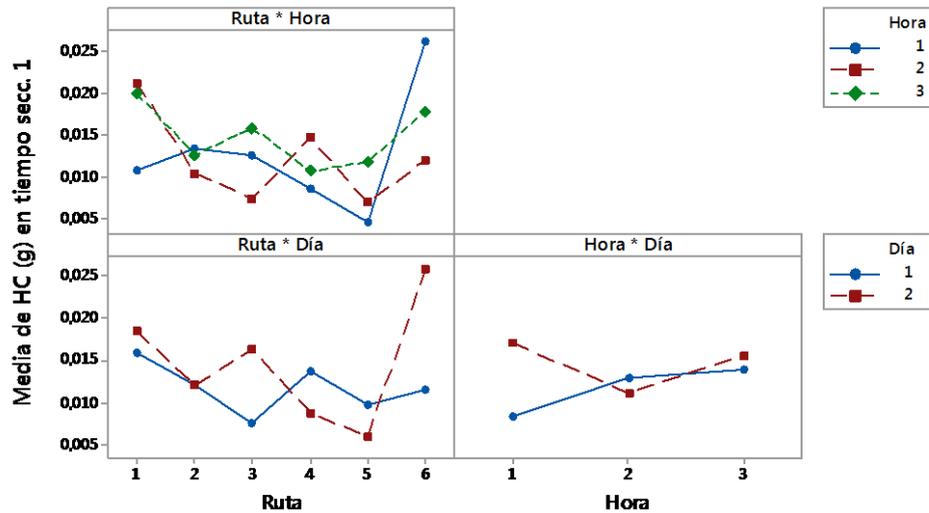


Figura 6.54. Interacciones para HC en secciones uno.

6.3.4 Gráficas de contorno

6.3.4.1 Gráfica de contorno del Consumo de combustible vs. Hora y Ruta en secciones uno.

En la figura 6.55 se puede observar la gráfica de contorno sobre el consumo de combustible vs. ruta y hora que representa el nivel del tráfico en la ciudad, en la cual se aprecia que la sección uno de la ruta #1 en la hora de tráfico alto (Hora 3) se genera el mayor consumo de combustible con valores entre 250 g. – 300 g. seguido de las rutas #2 y #4 igualmente en la hora 3, la sección de ruta que usa la menor cantidad de combustible es la #5 en la hora de tráfico bajo (Hora 1), con valores menores a 100 g.

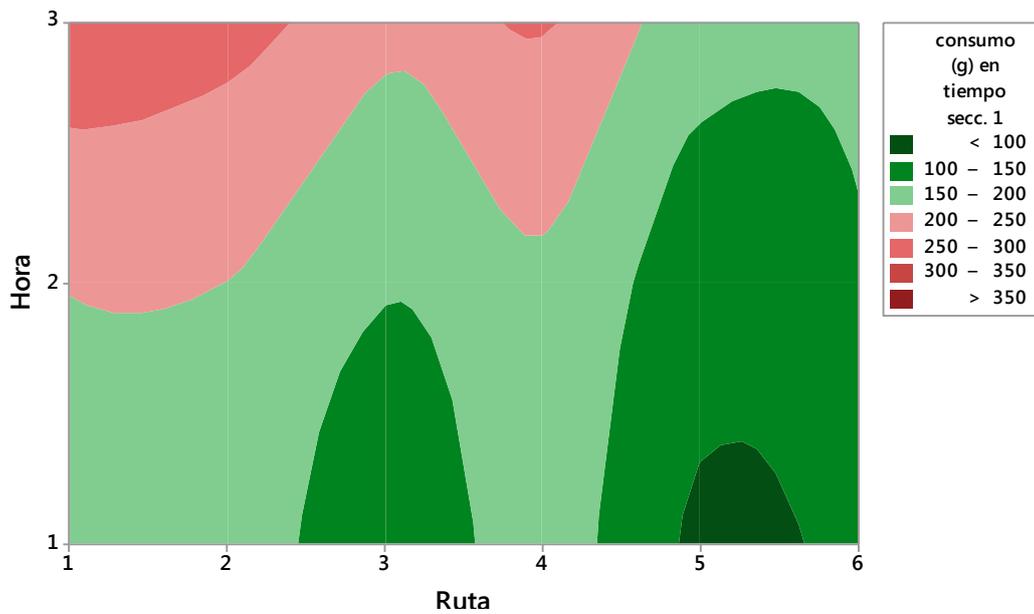


Figura 6.55. Contorno para Consumo de combustible en secciones uno.

6.3.4.2 Gráfica de contorno del Consumo de combustible vs. Hora y Ruta en secciones dos.

La gráfica de contorno para el consumo de combustible en las secciones dos de las rutas se puede observar en la figura 6.56 en donde se aprecia que la sección dos de la ruta #1 consume alrededor de 270 g. de combustible en la hora de tráfico alto (Hora 3), mientras que la ruta #4 en la hora de tráfico bajo (Hora 1) consume menor cantidad de combustible que todas las secciones dos, esto con un valor menor a 120 g.

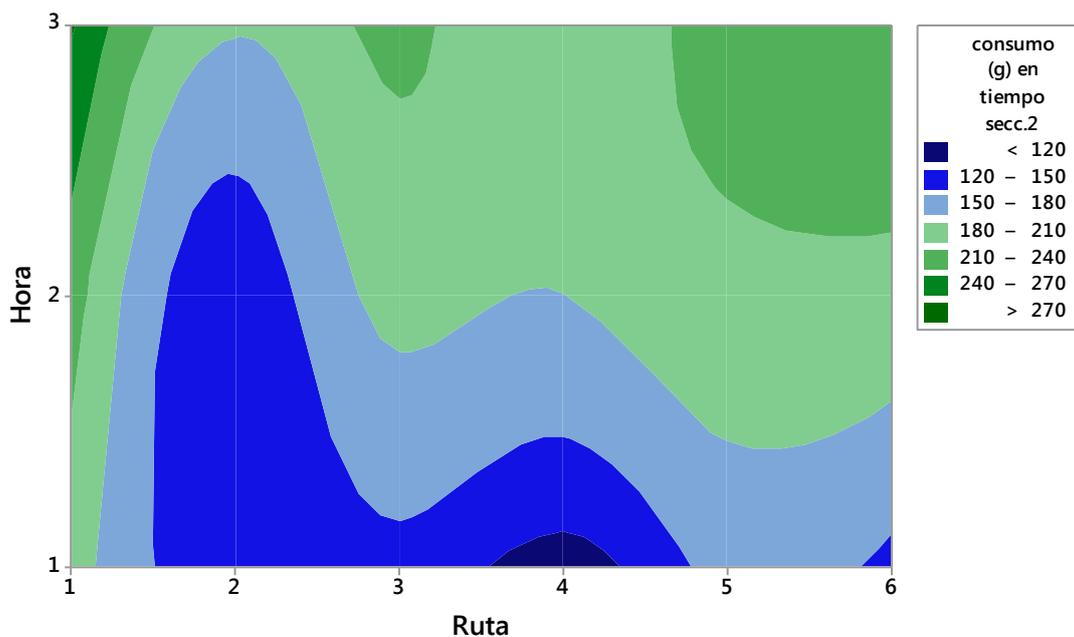


Figura 6.56. Contorno para Consumo de combustible en secciones dos.

6.3.4.3 Gráfica de Contorno del CO vs. Hora y Ruta en secciones uno.

La figura 6.57 muestra la gráfica de contorno sobre la generación de emisiones de monóxido de carbono (CO) vs. ruta y hora que representa el nivel del tráfico en la ciudad, la cual expresa que los niveles más altos de emisiones de CO se generan en las rutas #1 en la hora 3 y ruta #3 en la hora 1, con valores que varían entre 1,5 g. – 2,0 g. seguido de las rutas #2 y #4 y #6 en la hora 3, con valores de CO entre 0,5 g. – 1,0 g. Y finalmente la ruta que genera menos emisiones de monóxido de carbono es la ruta #5 en la hora 1, con valores menores a 0,5 g.

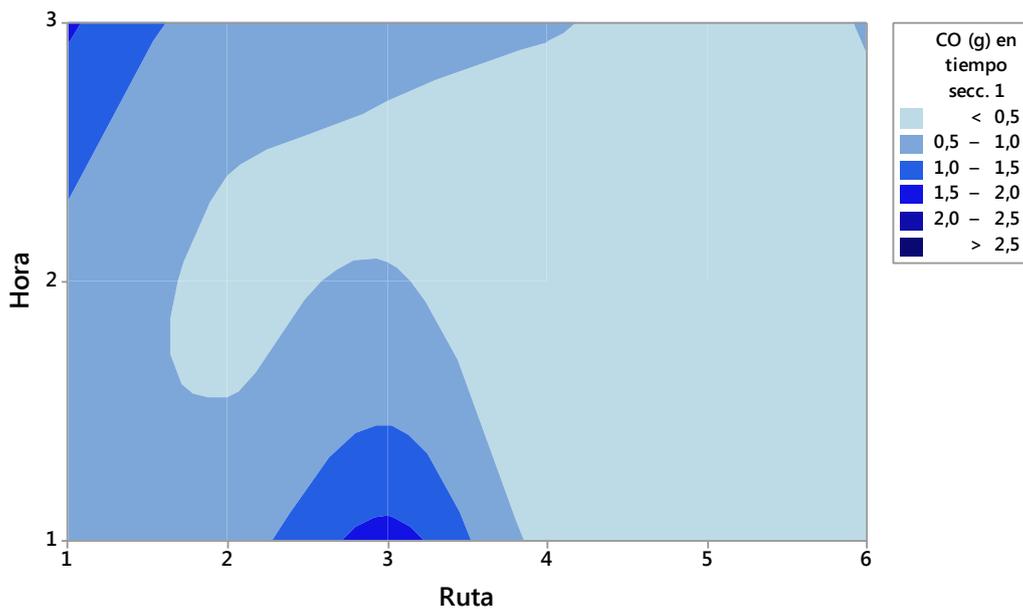


Figura 6.57. Contorno para CO en secciones uno.

6.3.4.4 Gráfica de Contorno del CO vs. Hora y Ruta en secciones dos.

La gráfica de contorno para CO se representa en la figura 6.58 en donde se puede apreciar que en la ruta #1 se generan los máximos valores de CO cuando existe tráfico alto en las vías (Hora 3), con valores entre 1,2 g. – 1,5 g. Seguidos de las rutas #2 #5 y #6 en la hora 3, con valores de 0,9 g. – 1,2 g. La ruta que menos emisiones de CO genera en las secciones dos, es la ruta #4 con valores entre 0,3 g. – 0,6 g. en tráfico bajo (Hora 1) y valores menores a 0,3 g. en tráfico medio y alto.

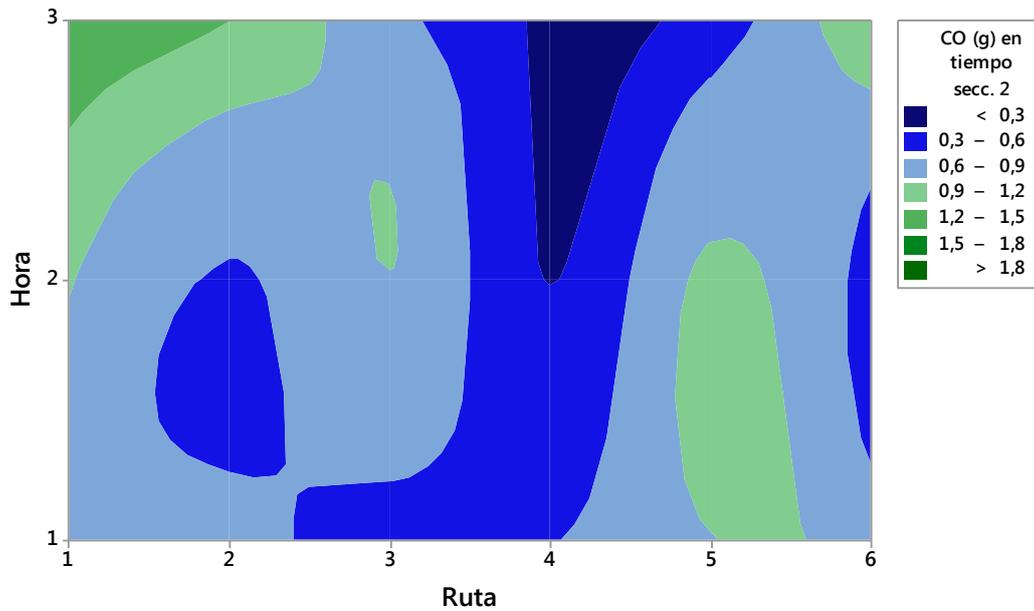


Figura 6.58. Contorno para CO en secciones dos.

6.3.4.5 Gráfica de Contorno del HC vs. Hora y Ruta en secciones uno.

La figura 6.59 muestra la gráfica de contorno sobre la generación de emisiones de hidrocarburos no combustionados vs. ruta y hora que representa el nivel del tráfico en la ciudad, como se puede observar la ruta #1 en tráfico alto y la ruta #6 en tráfico bajo generan la mayor concentración de HC con valores entre 0,01 g. – 0,03 g. respectivamente, las cuatro rutas restantes comprenden valores menores a 0,02 g. en todas las secciones 1 de las rutas y a cualquier hora de tráfico establecidas para el experimento.

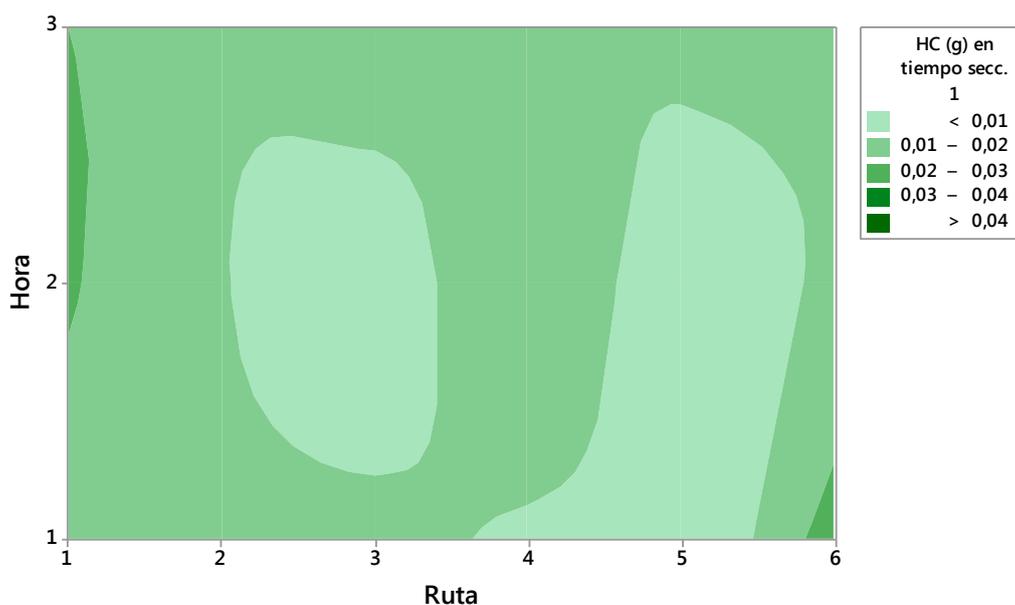


Figura 6.59. Contorno para HC en secciones uno.

6.3.4.6 Gráfica de Contorno del HC vs. Hora y Ruta en secciones dos.

Para el caso de las secciones dos de las rutas, se aprecia en la figura 6.60 que la ruta #1 en la hora 3 y la ruta #3 en la hora 1 de tráfico bajo producen en mayor proporción emisiones de HC que las rutas restantes, con valores entre 0,03 g. – 0,04 g. Las demás rutas generan valores de emisiones de hidrocarburos inferiores a 0,02 g. en cualquier horario de tráfico en la ciudad.

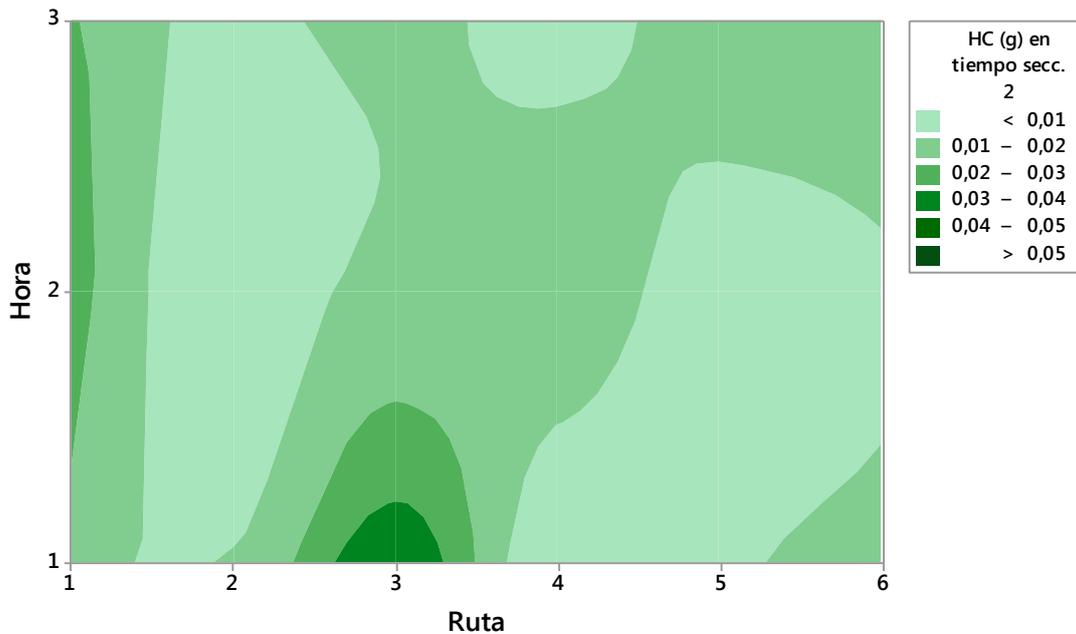


Figura 6.60. Contorno para HC en secciones dos.

6.3.4.7 Gráfica de Contorno del CO₂ vs. Hora y Ruta en secciones uno.

En la siguiente figura 6.61 se muestra la gráfica de contorno para el dióxido de carbono en las secciones uno de las rutas, como se aprecia las rutas #1 y #2 en tráfico alto (hora 3) producen elevadas emisiones de CO₂ con valores entre 60 g. y 80 g. La ruta #6 en cualquier horario de tráfico produce los niveles inferiores de CO₂ con valores entre 20 g. y 40 g.

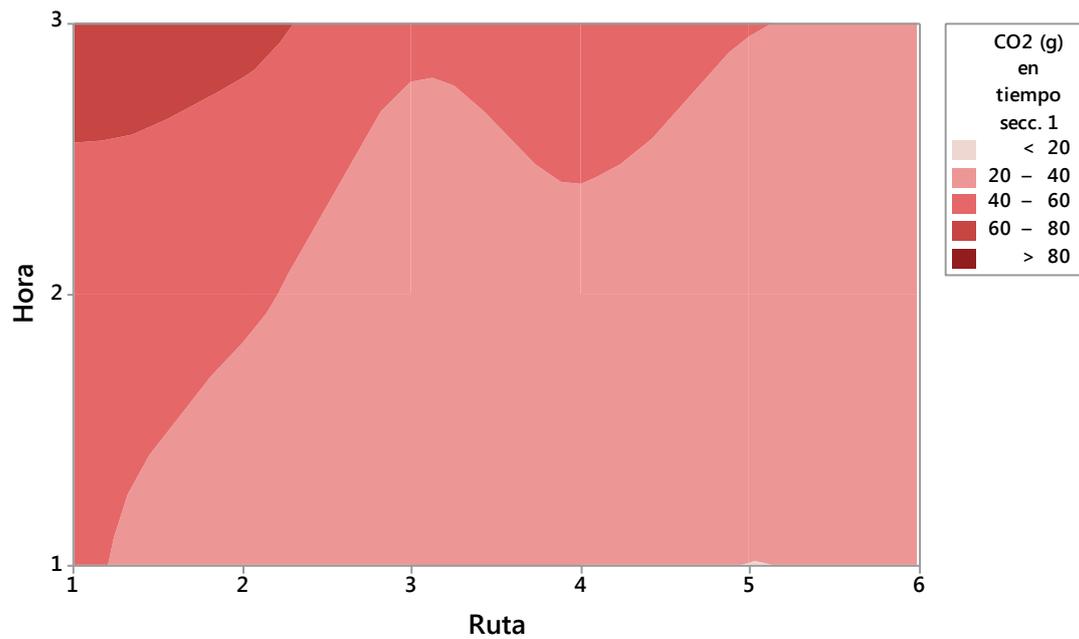


Figura 6.61. Contorno para CO₂ en secciones uno.

6.3.5 Gráficas de superficie

En este apartado se analizan las variables de respuesta mediante gráficas de superficie 3D, en los planos X y Y se muestran las variables de entrada, y en el plano z se presenta la variable de salida mediante una gráfica de malla 3D. En la tabla 24 se especifica la denominación de las variables de entrada.

Tabla 24. Denominación de las variables de entrada

Variable	Denominación
Ruta	R
Hora	H
Día	D

6.3.5.1 Gráfica de superficie de Consumo de combustible vs. Hora y Ruta en secciones uno.

En la ecuación (1) se puede ver el comportamiento del consumo de combustible en las secciones uno:

$$\text{Consumo sección 1} = 190 - 64,9 R - 12,7 H + 124 D + 5,47 R^2 + 26,9 H^2 - 66,6 D^2 - 11,91 R * H + 18,9 R * D - 3,0 H * D \quad (1)$$

La gráfica de superficie para el consumo de combustible en las secciones 1 de las rutas se muestra en la figura 6.62, como se puede observar la ruta #1 y la ruta #2 son las que mas combustible consumen en la hora 3 de tráfico alto. A medida que el tráfico disminuye, es decir en la hora 2 y 3 de tráfico medio y bajo respectivamente el consumo de combustible disminuye en todas las rutas siendo las rutas #5 y #6 las que hacen menor uso de combustile en las secciones uno del experimento planteado.

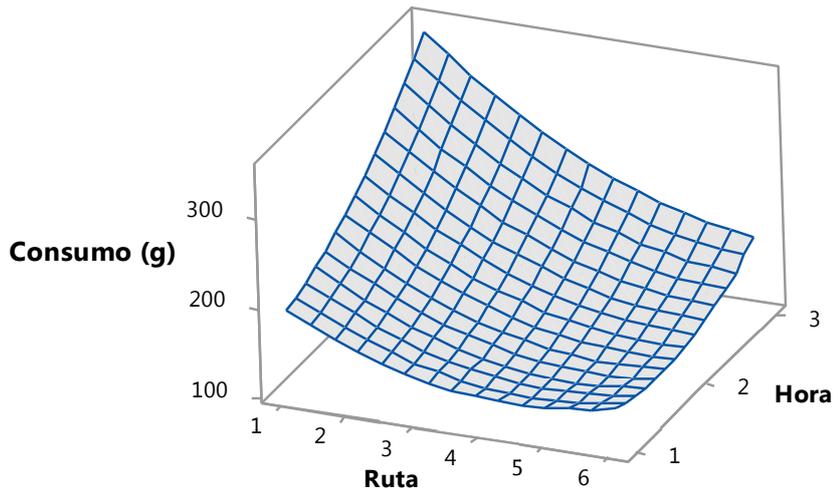


Figura 6.62. Superficie de Consumo de combustible en secciones uno.

6.3.5.2 Gráfica de superficie de Consumo de combustible vs. Hora y Ruta en secciones dos.

En la ecuación (2) se puede observar el comportamiento del consumo de combustible en las secciones dos:

$$\text{Consumo de combustible secciones dos} = 285,5 - 54,6 R - 10,5 H - 31,8 D + 4,722 R^2 - 4,98 H^2 - 12,1 D^2 + 5,65 R * H + 1,52 R * D + 34,0 H * D \quad (2)$$

En la figura 6.63 se observa la gráfica de superficie para el consumo de combustible en las secciones dos del experimento, se puede ver que la ruta #1 predomina en el consumo de combustible en la hora 3 de tráfico alto, seguido de las rutas #5 y #6, las rutas que menos combustible consumen son la #2 #3 y #4, a medida que la hora de tráfico disminuye es menor el consumo en todas las secciones dos de las rutas.

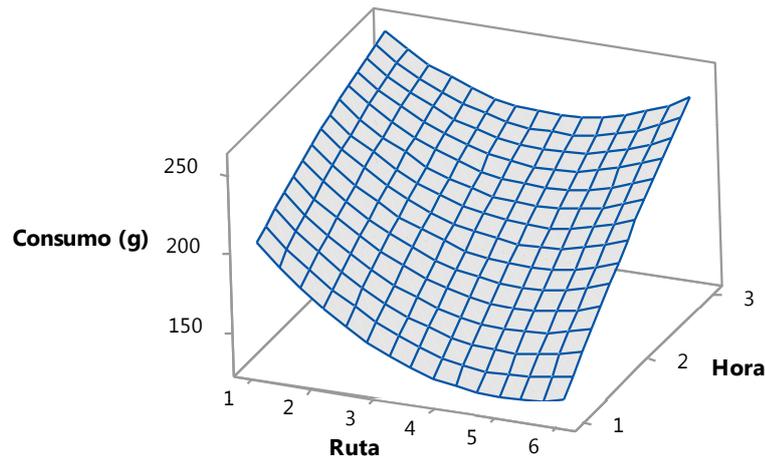


Figura 6.63. Superficie de Consumo de combustible en secciones dos.

6.3.5.3 Gráfica de superficie de CO vs. Hora y Ruta en secciones uno.

En la ecuación (3) se puede ver el comportamiento del CO en las secciones uno:

$$CO \text{ secciones uno} = 10,77 + 0,012 R - 3,793 H - 7,48 D - 0,0387 R^2 + 0,465 H^2 + 1,629 D^2 + 0,0773 R * H + 0,000 R * D + 0,924 H * D \quad (3)$$

La gráfica 6.64 que se presenta a continuación representa las emisiones CO en las secciones uno de las rutas, se puede apreciar que a la hora 1 de tráfico bajo se produce el mayor porcentaje de emisiones de CO siendo las rutas #1 #2 y #3 las que mayor emisiones de CO emanan al aire, en la hora 2 de tráfico medio se genera el menor grado de emisiones de CO, mientras que las rutas #4 #5 y #6 son las que emanan menos CO a la atmósfera.

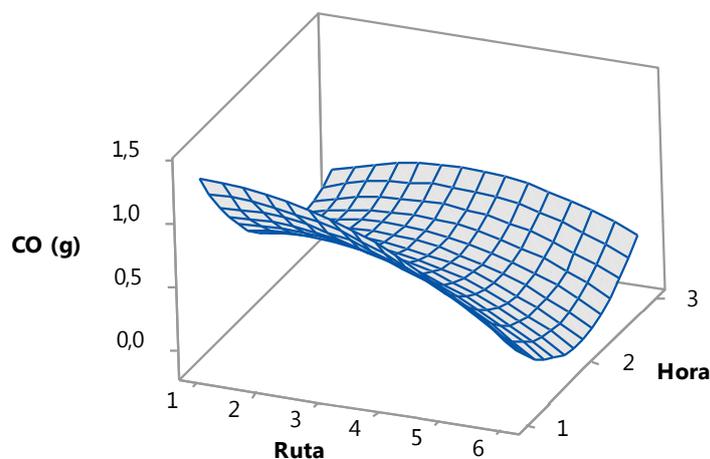


Figura 6.64. Superficie de CO en secciones uno.

6.3.5.4 Gráfica de superficie de CO vs. Hora y Ruta en secciones dos.

En la ecuación (4) se puede ver el comportamiento del CO en las secciones dos:

$$CO \text{ secciones dos} = 2,782 - 0,543 R - 0,758 H - 0,23 D + 0,0228 R^2 + 0,0157 H^2 - 0,577 D^2 + 0,0245 R * H + 0,1808 R * D + 0,503 H * D \quad (4)$$

La gráfica de superficie para las emisiones de CO en las secciones 2 de las rutas se muestra en la figura 6.65, como se puede observar la ruta #1 presenta el mayor índice de emisiones de Monóxido de carbono con un valor de 1,01 g. seguido de las rutas #2 #5 y #6 en la hora 3 de tráfico alto en donde se producen las mayores emisiones de CO seguido del tráfico medio (Hora 2) y tráfico bajo (Hora 1) donde las emisiones de monóxido disminuyen a medida que el tráfico es menor.

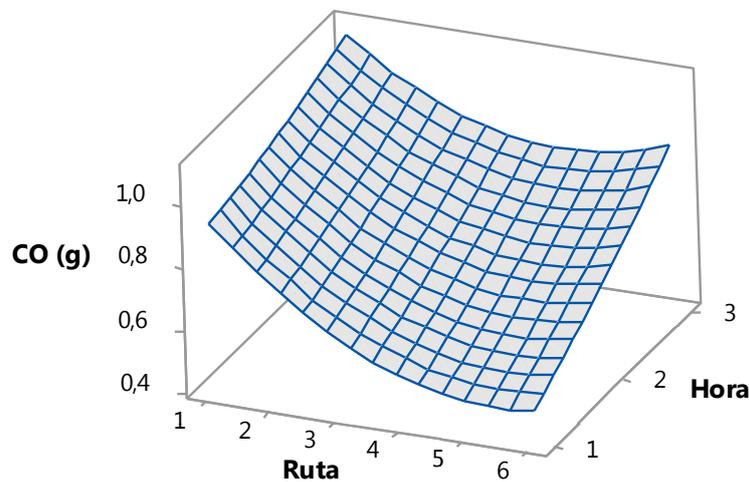


Figura 6.65. Superficie de CO en secciones dos.

6.3.5.5 Gráfica de superficie de HC vs. Hora y Ruta en secciones uno.

En la ecuación (5) se puede observar el comportamiento del HC en las secciones uno:

$$HC \text{ secciones uno} = 0,0874 - 0,00154 R - 0,02011 H - 0,0878 D + 0,000974 R^2 + 0,00370 H^2 + 0,03071 D^2 - 0,000557 R * H + 0,00385 R * D + 0,00699 H * D \quad (5)$$

En la figura 6.66 se observa la gráfica de superficie de HC en las secciones uno del experimento, se aprecia que las rutas que más emisiones de HC generan en tráfico alto y tráfico bajo son las rutas #1 y #6 con valores cercanos a 0,019 g. la ruta que menos HC genera es la #5 en tráfico medio con un valor de 0,007 g.

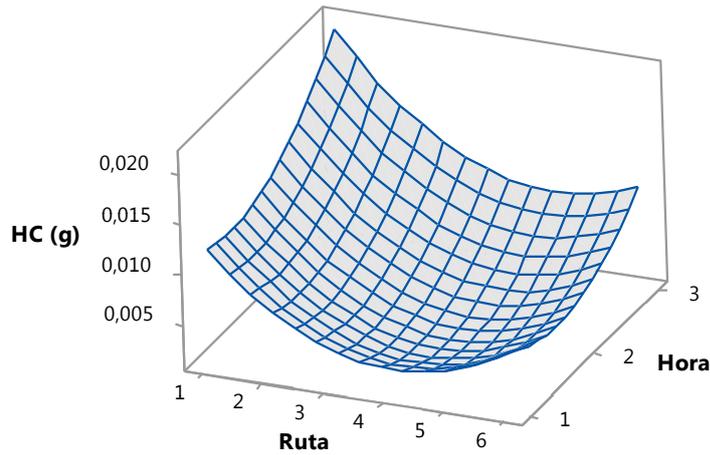


Figura 6.66. Superficie de HC en secciones uno.

6.3.5.6 Gráfica de superficie de HC vs. Hora y Ruta en secciones dos.

En la ecuación (6) se puede ver el comportamiento del HC en las secciones dos:

$$HC \text{ secciones dos} = 0,2241 - 0,0002 R - 0,0847 H - 0,1642 D - 0,00015 R^2 + 0,00834 H^2 - 0,0385 D^2 + 0,00205 R * H + 0,00278 R * D + 0,0276 H * D$$

(6)

La gráfica de superficie de HC en las secciones dos de las rutas se muestra en la figura 6.67 siendo las rutas #1 y #3 las que mayor porcentaje de HC generan en tráfico bajo con valores mayores a 0,021 g., en tráfico alto la ruta #6 genera mayor consumo de HC con un valor de 0,015 g. mientras que el tráfico medio genera los valores mínimos de Hidrocarburos no combustionados en las secciones 2 de las rutas.

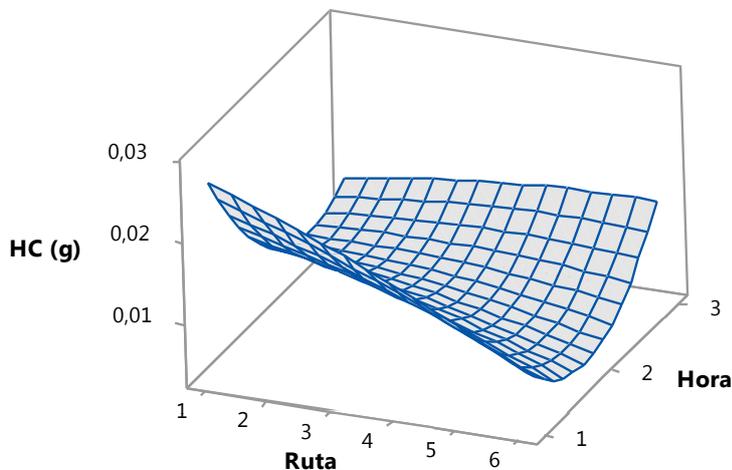


Figura 6.67. Superficie de HC en secciones dos.

6.3.5.7 Gráfica de superficie de O₂ vs. Hora y Ruta en secciones uno.

En la ecuación (7) se puede observar el comportamiento del O₂ en las secciones uno:

$$O_2 \text{ secciones uno} = 11,9 - 4,94 R + 4,88 H - 1,7 D + 0,300 R^2 - 0,66 H^2 + 0,78 D^2 - 0,936 R * H + 0,441 R * D - 2,78 H * D \quad (7)$$

En la figura 6.68 se observa la gráfica de superficie del O₂ en las secciones uno del experimento en donde se observa que en la hora 3 de tráfico alto la ruta #5 y #6 generan mayor emisiones de O₂, en tráfico medio y tráfico bajo predomina la ruta #1 en cuanto a emisiones de O₂.

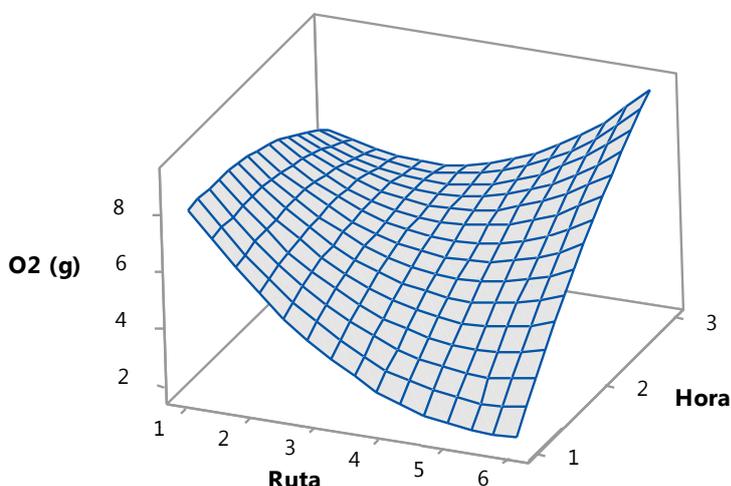


Figura 6.68. Superficie de O₂ en secciones uno.

6.3.5.8 Gráfica de superficie de O₂ vs. Hora y Ruta en secciones dos.

En la ecuación (8) se puede observar el comportamiento del O₂ en las secciones dos:

$$O_2 \text{ secciones dos} = 28,64 - 4,85 R - 3,80 H - 13,93 D + 0,130 R^2 - 0,382 H^2 + 3,60 D^2 - 1,457 R * H + 0,748 R * D - 1,26 H * D \quad (8)$$

En la figura 6.69 se observa la gráfica de superficie de O₂ en las secciones dos de las rutas, se aprecia que en la hora de tráfico alto la ruta #5 y #6 generan el valor más elevado de O₂ con valores de 13,07 g. en tráfico medio se observa a la ruta #6 como la principal sección generadora de O₂, mientras que en tráfico bajo las rutas #1 y #3 son las encargadas de generar el mayor porcentaje de oxígeno en la corrida experimental.

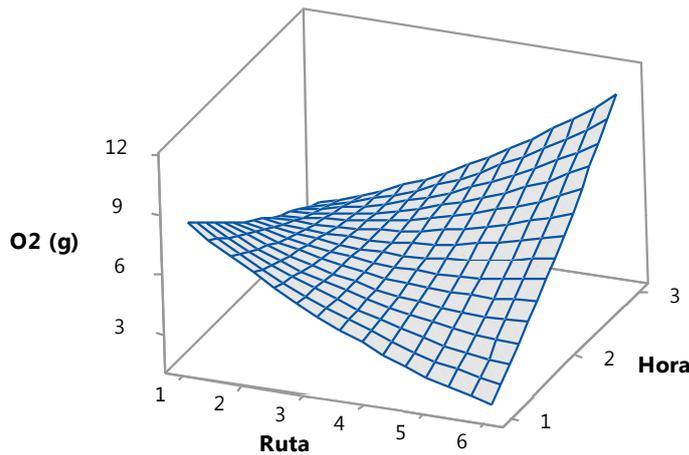


Figura 6.69. Superficie de O₂ en secciones dos.

6.3.5.9 Gráfica de superficie de CO₂ vs. Hora y Ruta en secciones uno.

En la ecuación (9) se puede observar el comportamiento del CO₂ en las secciones uno:

$$CO_2 \text{ secciones uno} = 63,0 - 26,91 R - 3,8 H + 24,5 D + 2,741 R^2 + 9,71 H^2 - 12,6 D^2 - 3,43 R * H + 5,75 R * D - 7,34 H * D \quad (9)$$

La gráfica de superficie de CO₂ en las secciones uno de las rutas se muestra en la figura 6.70, demostrando que las rutas #1 y #2 en la hora de tráfico alto son las que generan el mayor número de emisiones de CO₂ con un valor máximo de 54,30 g. mientras que las rutas que menos emisiones de CO₂ emanan al aire son la #4 #5 y #6 en tráfico bajo con valores cercanos a 32 g.

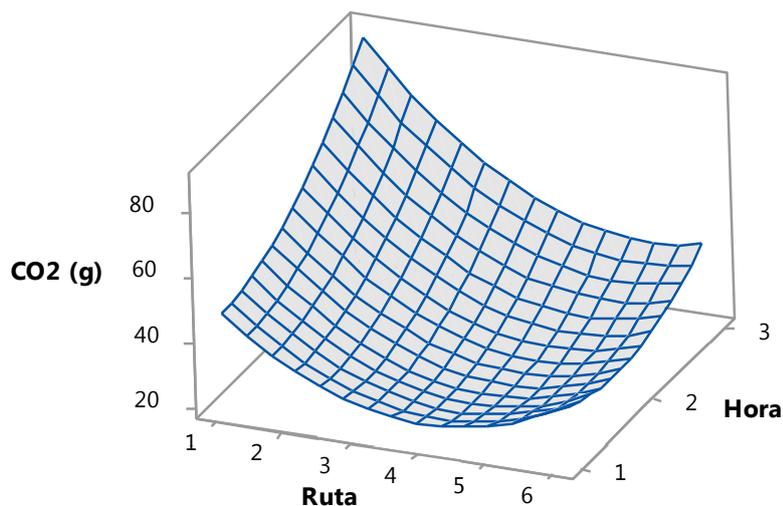


Figura 6.70. Superficie de CO₂ en secciones uno.

6.3.5.10 Gráfica de superficie de CO₂ vs. Hora y Ruta en secciones dos.

En la ecuación (10) se puede observar el comportamiento del CO₂ en las secciones dos:

$$CO_2 \text{ secciones dos} = 77,1 - 25,30 R - 8,23 H - 16,4 D + 2,932 R^2 + 0,20 H^2 + 3,80 D^2 + 0,660 R * H + 0,68 R * D + 0,33 H * D \quad (10)$$

En la figura 6.71 se observa la gráfica de superficie de CO₂ en las secciones dos de las rutas del experimento en donde se puede observar que en las 3 horas de las pruebas en las secciones 2, la ruta #1 genera el mayor índice de emisiones de CO₂ con un valor de 57,44 g. seguido de las rutas #5 y #6 con 44 g. y 46 g. respectivamente, mientras que las rutas #2 #3 y #4 componen los mínimos valores de emisiones de CO₂ con valores entre 30 g. y 35 g.

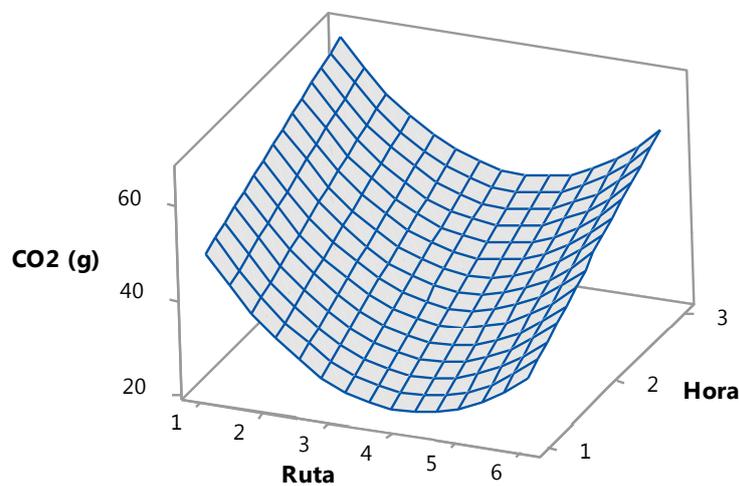


Figura 6.71. Superficie de CO₂ en secciones dos.

6.4 Fase IV: Determinación de Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible en las zonas con mayor índice de tráfico vehicular

Una vez realizado los análisis de emisiones contaminantes y de consumo de combustible, se procede a determinar cuáles son las rutas en estas zonas que tiene un índice de contaminación y consumo en las zonas con mayor índice de tráfico vehicular.

6.4.1.1 Resultados de consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes para la ruta #1

En el siguiente apartado se determina los índices de consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes de la Ruta #1 que comprende la zona del Centro Histórico, el mayor consumo de combustible se genera a la hora de tráfico alto, que representa el horario de 12:00 a 13:00, el día 1 martes. El menor consumo de

combustible se genera a la hora de tráfico bajo, que representa el horario de 16:00 a 17:00 el día viernes, por lo tanto se produce un 110% más de consumo de combustible a causa del tráfico vehicular, independientemente del día en que se recorra la ruta.

Para los índices de emisiones de gases contaminantes en esta ruta se determina que el CO presenta el mayor índice de emisiones a la hora de tráfico alto, el día viernes y el menor índice se presenta a la hora de tráfico bajo de igual manera el día viernes, por lo tanto con estas emisiones se puede establecer que se produce un 419% más de emisiones de CO causadas por el tráfico vehicular, independientemente del día en que se transite por la ruta.

Para los HC el mayor índice de emisiones en esta ruta se da a la hora de tráfico medio, que representa el horario de 14:00 a 15:00 el viernes y el menor índice se da a la hora de tráfico bajo el día martes, por lo tanto con estas emisiones de HC podemos establecer que se produce un 150% más de emisiones causadas por el tráfico vehicular, independientemente del horario que se circule en esta ruta. A continuación en la tabla 25 se presentan los datos de emisiones y consumo de combustible.

Tabla 25. Datos de consumo de combustible y emisiones contaminantes en ruta #1

Consumo de combustible total en ruta #1				
	Valor	Día	Hora	%
Consumo máximo (g)	639,885	1	3	110
Consumo mínimo (g)	304,51	2	1	
Emisiones de Monóxido de carbono (CO) en ruta #1				
	Valor	Día	Hora	%
Valor máximo (g)	4,565	2	3	419
Valor mínimo (g)	0,879	2	1	
Emisiones de Hidrocarburos no combustionados (HC) en ruta #1				
	Valor	Día	Hora	%
Valor máximo (g)	0,058	2	2	150
Valor mínimo (g)	0,023	1	1	

6.4.1.2 Resultados de consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes para la ruta #2

El máximo valor de consumo de combustible en la Ruta #2 que comprende la zona del Ejido, se presenta a la hora de tráfico alto en el día viernes, y el valor mínimo de consumo de combustible se presenta el día martes a la hora de tráfico bajo, por lo tanto se produce un 65% más de consumo de combustible en la ruta #2 sin que influya el día ni la hora de recorrido.

Los índice de emisiones de gases contaminantes se determina que el CO presenta el mayor índice de emisiones en tráfico alto, el día viernes y el menor índice se presenta en tráfico medio de igual forma el día viernes, por lo tanto con estas emisiones se establece que se produce un 269% más de emisiones de CO causadas por el tráfico vehicular, independientemente del horario de tráfico establecido.

Para los HC el máximo índice se genera en tráfico bajo, el día viernes y la mínima emisión se da en un tráfico medio de igual forma el viernes, por lo tanto con estas emisiones podemos establecer que se produce un 190% más de emisiones de HC causadas por el tráfico vehicular, independientemente del horario de tráfico establecido. A continuación en la tabla 26 se presenta los datos de emisiones y consumo de combustible.

Tabla 26. Datos de consumo de combustible y emisiones contaminantes en ruta #2

Consumo de combustible total en ruta #2				
	Valor	Día	Hora	%
Consumo máximo (g)	476,19	2	3	65
Consumo mínimo (g)	288,49	2	1	
Emisiones de Monóxido de carbono (CO) en ruta #2				
	Valor	Día	Hora	%
Valor máximo (g)	2,0296	2	3	269
Valor mínimo (g)	0,5496	1	2	
Emisiones de Hidrocarburos no combustionados (HC) en ruta #2				
	Valor	Día	Hora	%
Valor máximo (g)	0,0299	2	1	190
Valor mínimo (g)	0,0103	2	2	

6.4.1.3 Resultados de consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes para la ruta #3

Para la ruta #3 que comprende la zona de la Feria Libre el máximo consumo de combustible presenta a la hora de tráfico alto el día viernes, mientras que el menor consumo de combustible se presenta a la hora de tráfico bajo de igual manera el día viernes, por lo tanto se produce un 82% más de consumo de combustible a causa del tráfico vehicular, independientemente del horario de tráfico.

Se determinan los índices de CO, se obtiene que el máxima emisión se da a la hora de tráfico bajo el día martes y las mínimas emisiones se presentan de igual manera a la hora de tráfico bajo el día viernes, por lo tanto con estos datos de emisiones se puede deducir que se produce un 374% más de emisiones de CO causadas por el tráfico vehicular, independientemente del horario de tráfico establecido.

En los HC el mayor índice de emisiones en esta ruta se da a la hora de tráfico bajo, el día martes, y el menor índice se genera a la hora de tráfico medio el día viernes, por lo tanto se establece que se produce un 540% más de emisiones de HC causadas por el tráfico vehicular, independientemente del horario que circule en esta ruta. A continuación en la tabla 27 se presenta los datos consumo de consumo de combustible y emisiones contaminantes.

Tabla 27. Datos de consumo de combustible y emisiones contaminantes en ruta #3

Consumo de combustible total en ruta #3				
	Valor	Día	Hora	%
Consumo máximo (g)	453,6921	2	3	82
Consumo mínimo (g)	249,4826	2	1	
Emisiones de Monóxido de carbono (CO) en ruta #3				
	Valor	Día	Hora	%
Valor máximo (g)	3,4688	1	1	374
Valor mínimo (g)	0,7316	2	1	
Emisiones de Hidrocarburos no combustionados (HC) en ruta #3				
	Valor	Día	Hora	%
Valor máximo (g)	0,0702	1	1	540
Valor mínimo (g)	0,01096	1	2	

6.4.1.4 Resultados de consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes para la ruta #4

Para la ruta #4 que comprende a la zona de Totoracocha se determina que el mayor consumo de combustible se presenta a la hora de tráfico alto el día martes, mientras que el menor consumo de combustible se presenta a la hora de tráfico bajo el día viernes, por lo tanto se produce un 68% más de consumo de combustible a causa del tráfico vehicular, independientemente del horario de tráfico.

Para las emisiones de CO en la ruta #4 se establece que se presenta el mayor índice a la hora de tráfico bajo el día martes y el menor índice de emisiones se genera a la hora de tráfico alto de igual manera el día martes, por lo tanto con estas emisiones podemos establecer que se produce 122% más de emisiones de CO causadas por el tráfico vehicular, independientemente del horario de tráfico establecido.

Para las emisiones de HC la máxima se presenta a la hora de tráfico medio el día viernes y el valor mínimo se genera a la hora de tráfico bajo el día martes, por lo tanto con estos datos se establece que se produce un 245% más de emisiones de HC causadas por el tráfico vehicular, independientemente del horario de tráfico establecido. A continuación en la tabla 28 se presenta los datos de emisiones y consumo.

Tabla 28. Datos de consumo de combustible y emisiones contaminantes en ruta #4

Consumo de combustible total en ruta #4				
	Valor	Día	Hora	%
Consumo máximo (g)	469,18	1	3	68
Consumo mínimo (g)	279,28	2	1	
Emisiones de Monóxido de carbono (CO) en ruta #4				
	Valor	Día	Hora	%
Valor máximo (g)	1,230	1	1	122
Valor mínimo (g)	0,4025	1	3	
Emisiones de Hidrocarburos no combustionados (HC) en ruta #4				
	Valor	Día	Hora	%
Valor máximo (g)	0,029	2	2	245
Valor mínimo (g)	0,009	1	1	

6.4.1.5 Resultados de consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes para la ruta #5

La ruta #5 corresponde a la zona de Miraflores, el máximo índice de consumo de combustible se presenta a la hora de tráfico alto el día martes, mientras que el consumo mínimo se genera a la hora de tráfico bajo de igual manera el día martes, por lo tanto se establece que se puede producir un 67% más de consumo de combustible por causas del tráfico vehicular, independientemente del día en que se realice el recorrido de la ruta.

Las emisiones de CO en la ruta #5 se genera el mayor índice en tráfico bajo el día viernes mientras que el menor valor de emisiones se da en tráfico alto el día martes, con estos datos de emisiones se establece que por causas del tráfico vehicular se produce un 128% más emisiones de CO sin importar el horario de tráfico que se circule por esta ruta.

La mayor emisión de HC que se genera en esta ruta se da en tráfico alto el día martes, mientras que la menor emisión de HC se genera en tráfico bajo el mismo día, por lo que se expresa que existe 152% más de HC en esta ruta por causas de tráfico vehicular, independientemente del horario de tráfico establecido para los recorridos. A continuación en la tabla 29 se presenta los datos de emisiones y consumo.

Tabla 29. Datos de consumo de combustible y emisiones contaminantes en ruta #5

Consumo de combustible total en ruta #5				
	Valor	Día	Hora	%
Consumo máximo (g)	411,89	2	3	67
Consumo mínimo (g)	246,499	1	1	
Emisiones de Monóxido de carbono (CO) en ruta #5				
	Valor	Día	Hora	%
Valor máximo (g)	1,576	2	1	128
Valor mínimo (g)	0,6926	1	3	
Emisiones de Hidrocarburos no combustionados (HC) en ruta #5				
	Valor	Día	Hora	%
Valor máximo (g)	0,035	1	3	152
Valor mínimo (g)	0,014	1	1	

6.4.1.6 Resultados de consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes para la ruta #6

En la ruta #6 que comprende la zona del Control Sur, el máximo consumo de combustible se genera en tráfico alto, el día viernes, mientras que el mínimo consumo se presenta en tráfico bajo el día martes, por lo que se determina que se produce un aumento del 68% de consumo de combustible a causa del tráfico vehicular en este sector.

Las emisiones de Monóxido de Carbono que se producen en esta ruta son, con un máximo índice de emisión el día viernes, cuando existe tráfico alto, el mínimo índice de emisión de HC se dan en tráfico medio de igual forma el día viernes, con estas emisiones de CO se puede establecer que se produce un 304% más de emisiones producidas por el tráfico vehicular en la zona de Totoracocha.

Los HC emitidos para la ruta #6 son, el máximo índice de emisión se da en tráfico alto el día martes, mientras que el menor valor de emisión de HC se genera en tráfico bajo, por lo que se puede establecer que se produce un 270% más de emisiones de HC producidas por el tráfico vehicular, independientemente del tráfico que se genere en el día. A continuación en la tabla 30 se presenta los datos de emisiones y consumo.

Tabla 30. Datos de consumo de combustible y emisiones contaminantes en ruta #6

Consumo de combustible total en ruta #6				
	Valor	Día	Hora	%
Consumo máximo (g)	409,39	2	3	68
Consumo mínimo (g)	243,89	1	1	
Emisiones de Monóxido de carbono (CO) en ruta #6				
	Valor	Día	Hora	%
Valor máximo (g)	2,096	2	3	304
Valor mínimo (g)	0,5191	2	2	
Emisiones de Hidrocarburos no combustionados (HC) en ruta #6				
	Valor	Día	Hora	%
Valor máximo (g)	0,0704	2	1	544
Valor mínimo (g)	0,0404	1	3	

6.4.2 Comparación de las rutas con mayor y menor índice de consumo de combustible y gases contaminantes.

6.4.2.1 Consumo de combustible

En la siguiente figura 6.72 se compara el consumo de combustible en las rutas y horas de tráfico establecidas, variando el día en que se recorre la ruta, se observa que:

- En el día martes (Día 1) el máximo consumo de combustible se genera en la ruta #1 a la hora de tráfico alto (Hora 3), mientras que la ruta que menor combustible consume es la #6 en la hora de tráfico bajo (Hora 1).
- En el día viernes (Día 2) la ruta que consume más cantidad de combustible es la ruta #1 en la hora 3, mientras que la ruta #3 en la hora 1 consume la menor cantidad de combustible.

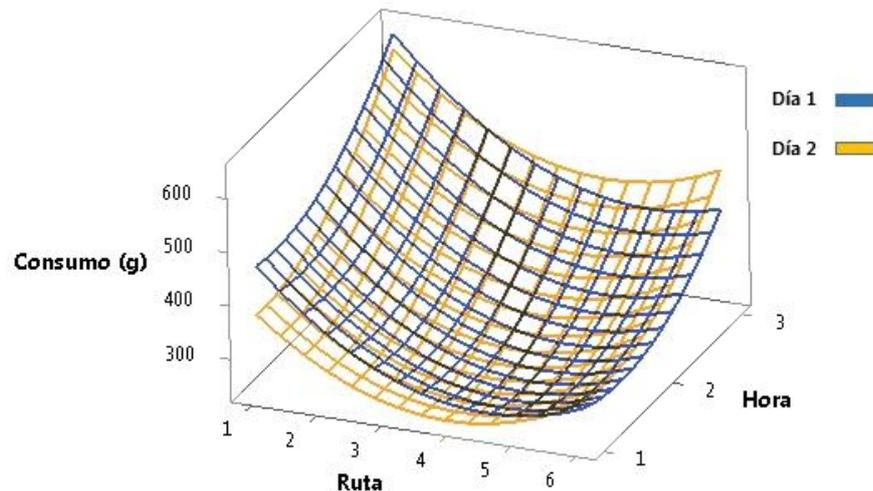


Figura 6.72. Consumo de combustible en función del día

6.4.2.2 Monóxido de Carbono (CO)

En la siguiente figura 6.73 se compara las emisiones de CO en las rutas y horas de tráfico establecidas, variando el día en que se recorre la ruta:

- En el día 1 el máximo valor de emisiones de CO se genera en la ruta #3 a la hora de tráfico alto, mientras que la ruta que genera menor emisiones de CO es la #4 en la hora de tráfico medio.
- En el día 2 el máximo valor de emisiones de CO se genera en la ruta #1 en la hora de tráfico alto, mientras que la ruta #6 se generan las emisiones mínimas de CO en la hora de tráfico medio (Hora2).

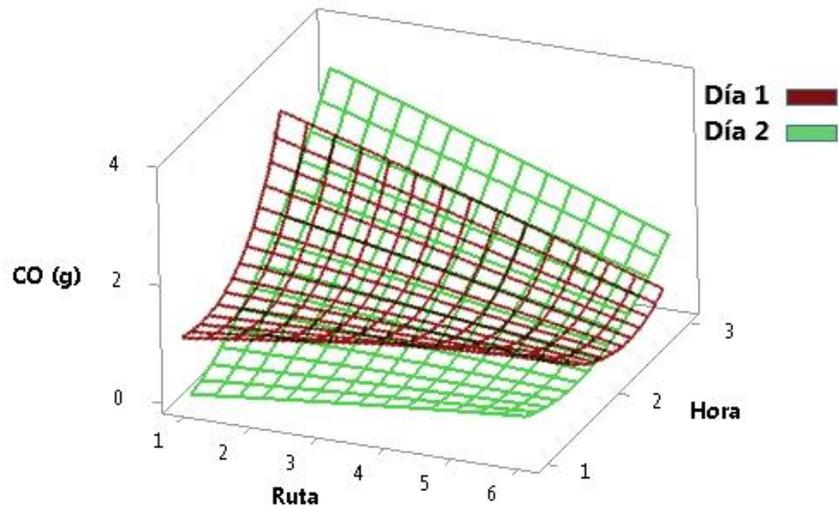


Figura 6.73. Monóxido de carbono en función del día

6.4.2.3 Hidrocarburos no Combustionados

En la figura 6.74 se compara las emisiones de HC en las rutas y horas de tráfico establecidas, variando el día en que se recorre la ruta:

- Para el día 1 el máximo valor de emisiones de HC se genera en la ruta #3 a la hora de tráfico bajo, mientras que la ruta que genera menor emisiones de HC es la #4 de igual manera en la hora de tráfico bajo.
- Para el día 2 el máximo valor de emisiones de HC se genera en la ruta #6 en la hora de tráfico bajo, mientras que la ruta #4 y #2 se generan las emisiones mínimas de CO en la hora de tráfico alto y medio respectivamente.

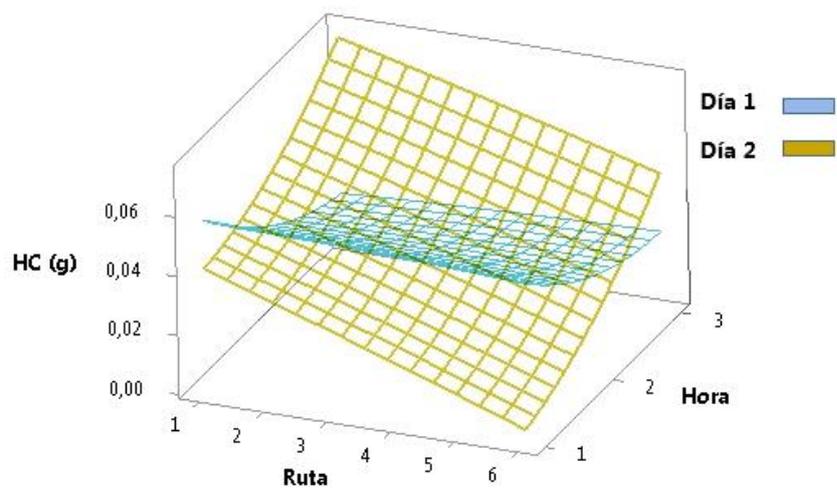


Figura 6.74. Hidrocarburos no combustionados en función del día

6.4.3 Determinación de emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible en las zonas con mayor índice de tráfico vehicular mediante gráficas de columnas.

En el siguiente apartado se expresan los valores de consumo de combustibles y emisiones contaminantes en gráficas de columnas las mismas que se obtienen al realizar la corrida experimental.

6.4.3.1 Consumo de combustible.

En la figura 6.75 se puede observar que el mayor índice de consumo de combustible se presenta en horario de tráfico alto, es decir de 12:00 a 13:00 en todas las rutas establecidas, debido a que cuando se genera el mayor grado de tráfico vehicular en la ciudad produce que los conductores aceleren y detengan el vehículo en pequeños intervalos de tiempo, resultando en aumentos de consumo de combustible. Mientras que el menor consumo de combustible se genera en el horario de 16:00 a 17:00 que representa el horario de tráfico bajo en la ciudad.

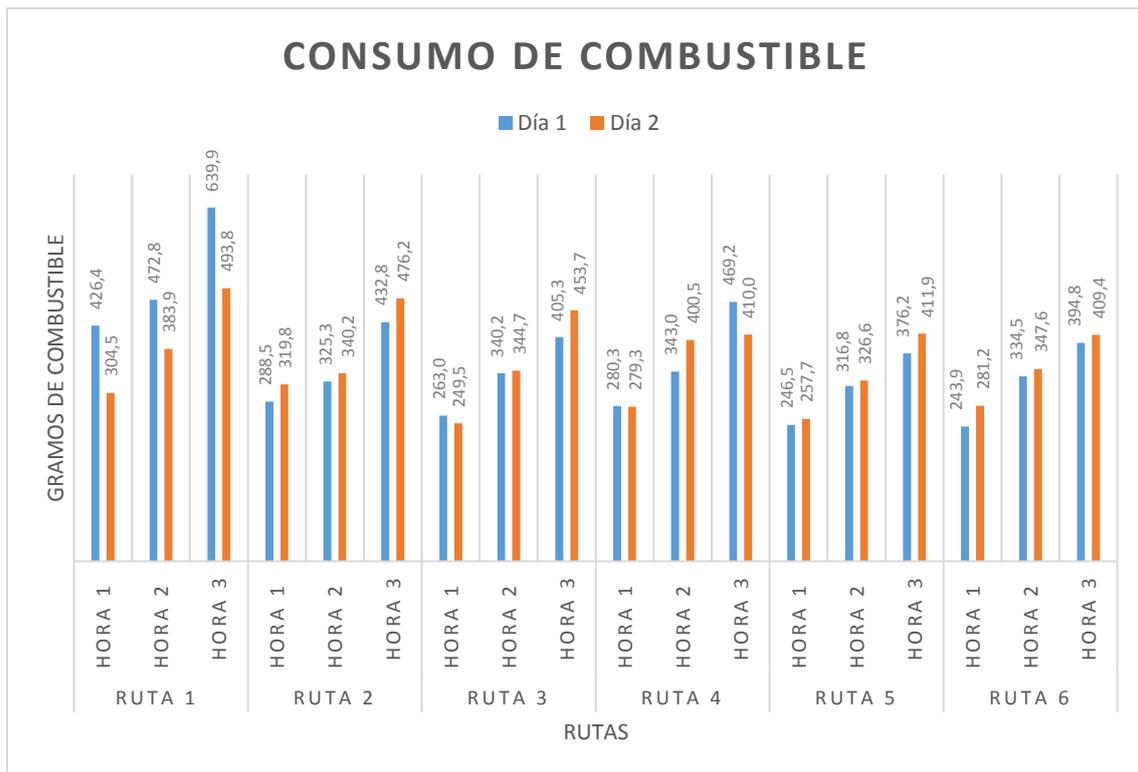


Figura 6.75. Consumo de combustible

6.4.3.2 Monóxido de carbono (CO)

A continuación en la figura 6.76 se presenta las emisiones de CO emitidas durante los recorrido de las rutas, se evidencia que el mayor índice de contaminación se presenta en la zona del Centro Histórico en la hora 3 que representa tráfico alto, alcanzando valores de 4,57 g de CO debido al tráfico excesivo en la ruta, por lo tanto el vehículo al estar sometido a carga y aceleraciones bruscas se producen elevadas emisiones de CO. Además se puede observar que en las rutas #3, #4 y #5 las emisiones de CO son relativamente altas en horario de trafico bajo (hora 1), esto se debe a que en estas rutas existe poca demanda de vehículos y las aceleraciones que da el conductor son más prolongadas generando incremento en las emisiones de monóxido de carbono.

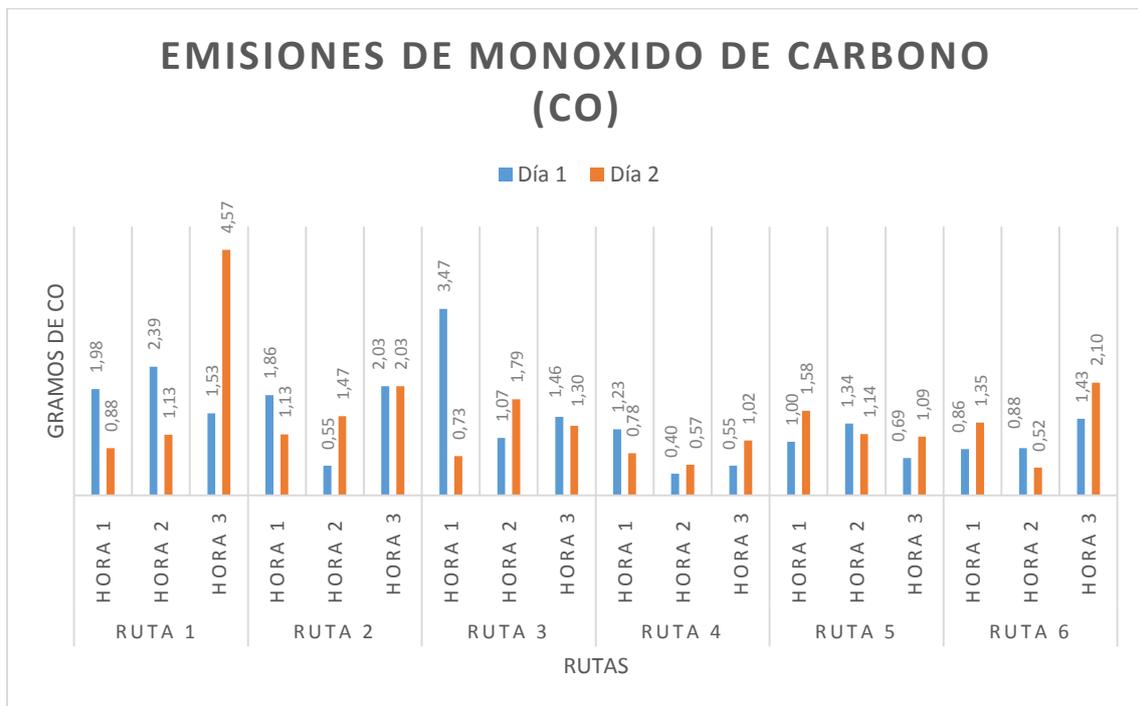


Figura 6.76. Emisiones de CO

6.4.3.3 Hidrocarburos no combustionados (HC)

En la figura 6.77 se muestran las emisiones de HC que fueron emitidas durante los recorridos de las rutas, como se puede observar el mayor porcentaje de emisiones de HC se presentan en horarios de tráfico bajo y tráfico medio, debido a que en dichos horarios hay poca afluencia de vehículos por las rutas y el aumento de velocidad registra exceso de hidrocarburos no combustionados en el vehículo.

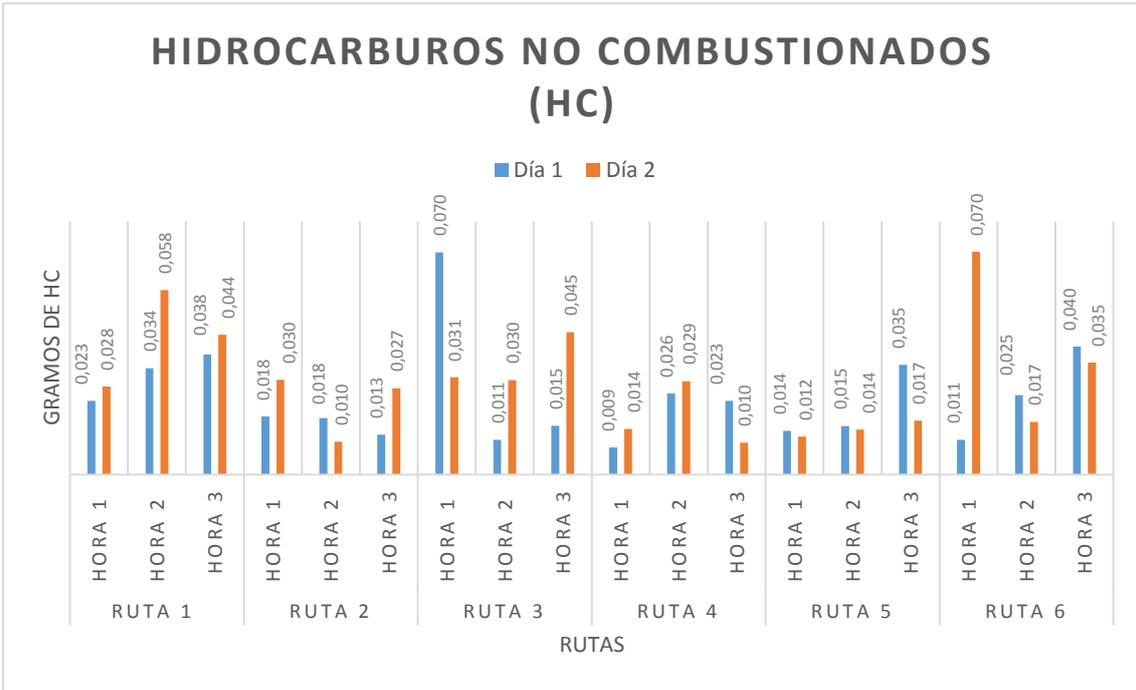


Figura 6.77. Emisiones de HC

7 CONCLUSIONES

- En la ciudad de Cuenca se comprobó que el nivel de tráfico vehicular varía según la zona urbana en que se circula sin importar la hora de recorrido, las zonas céntricas de la ciudad, específicamente el centro histórico posee más sobrecarga vehicular que las zonas periféricas, por ende los resultados de emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible varían dependiendo de la zona de la ciudad.
- El estudio muestra que los mayores índices de consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes son principalmente producidos por el alto tráfico vehicular, por lo que el valor máximo de consumo de combustible se presenta en la zona del Centro Histórico en el horario de tráfico alto, es decir de 12:00 a 13:00, debido a que en esta zona se genera el mayor porcentaje de viajes y es el destino más frecuentado por la ciudadanía, por lo tanto el máximo consumo de todas las rutas se produce en la ruta #1 el día martes con un valor de 639,88 gramos de combustible, lo que representa que esta ruta va a tener un incremento del 110% en el consumo de combustible independientemente del horario de salida y del día en que se circule por dicha zona.
- A medida que el tráfico vehicular disminuye en la ciudad, el consumo de combustible de igual manera decrece, es decir que en el horario de 16:00 a 17:00 que representa tráfico bajo se generan los valores mínimos de consumo en todas las rutas, siendo la ruta #6 el día martes la que consume la menor cantidad de combustible con un valor de 243,89 gramos, en esta ruta independientemente del día y del nivel de tráfico vehicular se puede tener un aumento de consumo de combustible de 68%.
- En cuanto a emisiones de CO, el máximo valor de todos los trayectos se genera en la ruta #1 el día viernes cuando la demanda de tráfico es alta, es decir de 12:00 a 13:00, con un valor de 4,6 gramos, en esta ruta se puede producir un aumento de 419% más de este gas perjudicial para la salud humana sin importar el nivel de tráfico vehicular ni el día en que se circule por la ruta. Mientras que el valor mínimo de CO en todos los trayectos se genera en la ruta #4 que representa la zona de Totoracocha con un valor de 0,40 gramos cuando existe tráfico medio, es decir de 14:00 a 15:00, en esta ruta se puede incrementar hasta un 122% en cualquier día y nivel de tráfico vehicular en la zona.

- En cuanto a emisiones de HC en la zona del Control Sur y la zona de la Feria Libre se producen los valores máximos de HC en la horario entre de 16:00 y 17:00 con un valor de 0,070 gramos, este alto índice se produce debido a que el conductor tiene la posibilidad de aumentar la velocidad del automotor por la poca aglomeración de vehículos en la zona, en las dos rutas puede existir hasta un 540% de incremento de HC en cualquier día y nivel de tráfico vehicular. Mientras que el valor mínimo de HC se produce en la ruta #4 que representa la zona de Totoracocha con un valor de 0,009 gramos el día martes cuando el nivel de tráfico es alto, en esta ruta se puede producir un incremento de 245% de HC independientemente del grado de tráfico vehicular y el día en que se recorra la ruta.

8 REFERENCIAS

- Caballero Morales, M. (2011). Análisis de emisiones de vehículos livianos según ciclos de conducción específicos para la región metropolitana. Chile.
- Cantos Rojas, J., & Toledo Garzón, J. (2015). Análisis del impacto económico generado por los niveles de servicio de las vialidades en el centro histórico de la ciudad de Cuenca. Cuenca.
- Chevrolet, C. (s.f.). Coches Chevrolet. Obtenido de http://www.cocheschevrolet.com/noticia_81-ficha-de-chevrolet-aveo-hatchback-5-puertas-hatch-5p-1-4.html
- Comisión de Gestión Ambiental. (2017). Obtenido de <http://cga.cuenca.gob.ec/proyectos/ejecutados>
- El Comercio. (2017). La Ecopaís está disponible en el 40% de las estaciones. El Comercio.
- EMOV. (2016). Informe de calidad de aire Cuenca. Cuenca .
- Fundación Municipal Turismo Cuenca. (2016). Turismo Cuenca. Obtenido de <http://cuenca.com.ec/es>
- Gutiérrez, H., & Salazar, R. D. (2012). Análisis y diseño de experimentos. Ciudad de Mexico.
- Ilustre Municipalidad de Cuenca. (2015). Plan de movilidad y espacios públicos. Cuenca, Ecuador.
- INEN. (2016). NTE INEN: Clasificación Vehicular. Quito.
- Lima Oyola, B. A., & Gávez Sandoval , E. J. (2016). 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 Ciclo de Conducción. Cuenca.
- Mejía Regalado, I. A. (2017). Análisis y propuesta de solución integral al congestionamiento vehicular que se produce en la Av. 24 de Mayo y vía al Valle, de la ciudad de Cuenca. Cuenca.

- Palacios Aguilera, J. A., & Vinuesa Granda, J. S. (2012). Estudio de la Factibilidad para la Implementación de un Sistema de Restricción de Flujo Vehicular en la ciudad de Cuenca. Cuenca.
- Parra, R. (2016). Inventario de Emisiones Atmosféricas del Canton Cuenca 2014. Cuenca.
- Revista Patio Tuerca. (2016). Quito.
- Rivera, N., & Chica, F. (2015). Estudio del comportamiento de un motor ciclo Otto de Inyección Electrónica respecto a la estequiometría de la mezcla y del adelanto al encendido para la ciudad de Cuenca. Quito.
- Rovira de Antonio, A., & Muñoz Dominguez, M. (2015). Motores de combustión interna. Madrid: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia .
- Sánchez, E. (2009). Sistemas auxiliares del motor. Madrid: Macmillan Iberia, S.A.
- Vintimilla Jarrin, P. F. (2015). Análisis de Resultados de la Medición de Emisiones de Gases Contaminantes de Fuentes Móviles a partir de la Implementación de la Revisión Técnica Vehicular en el Catón Cuenca . Cuenca.

9 ANEXOS

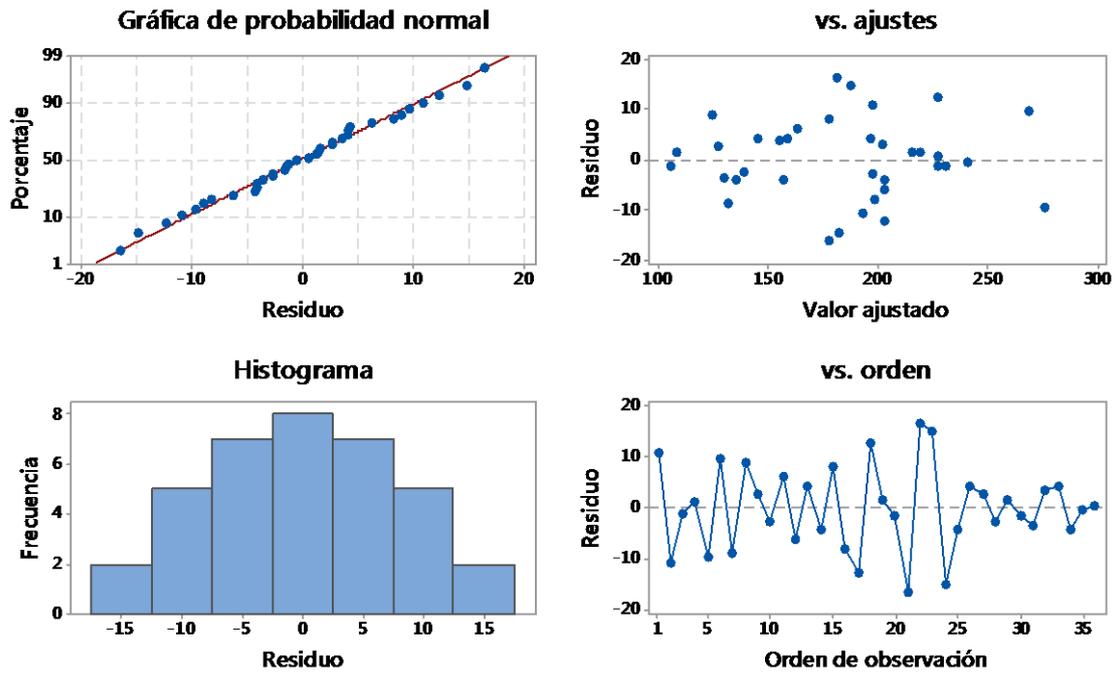


Figura A - 1. Residuos de Consumo de combustible en las secciones dos de las rutas

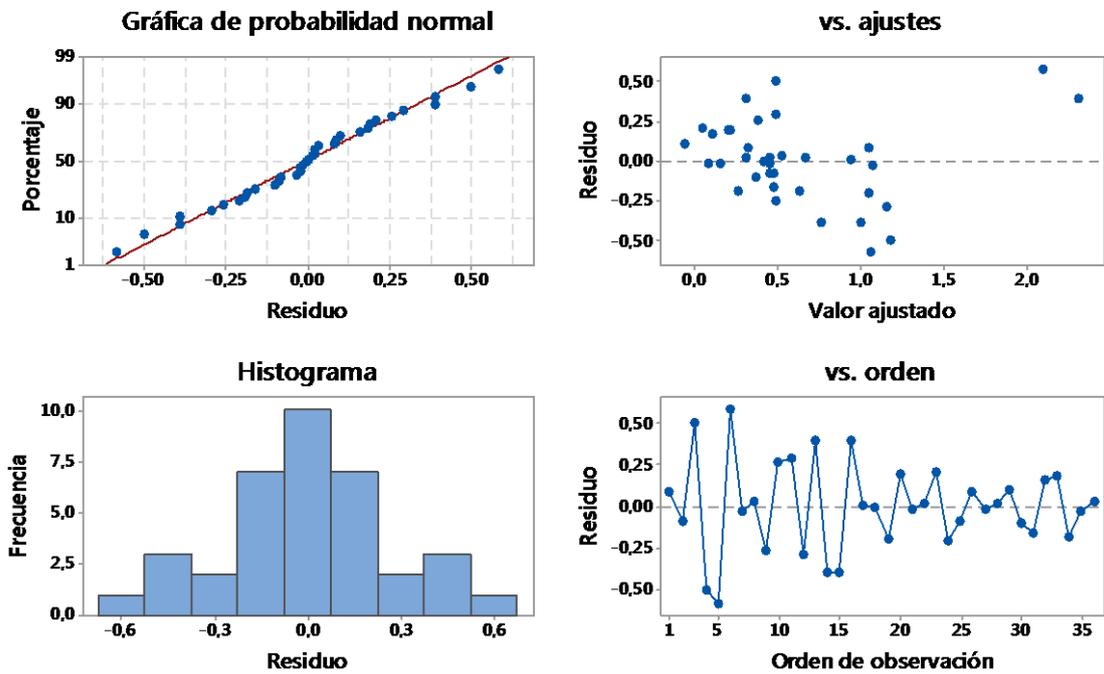


Figura A - 2. Residuos de CO en las secciones uno de las rutas

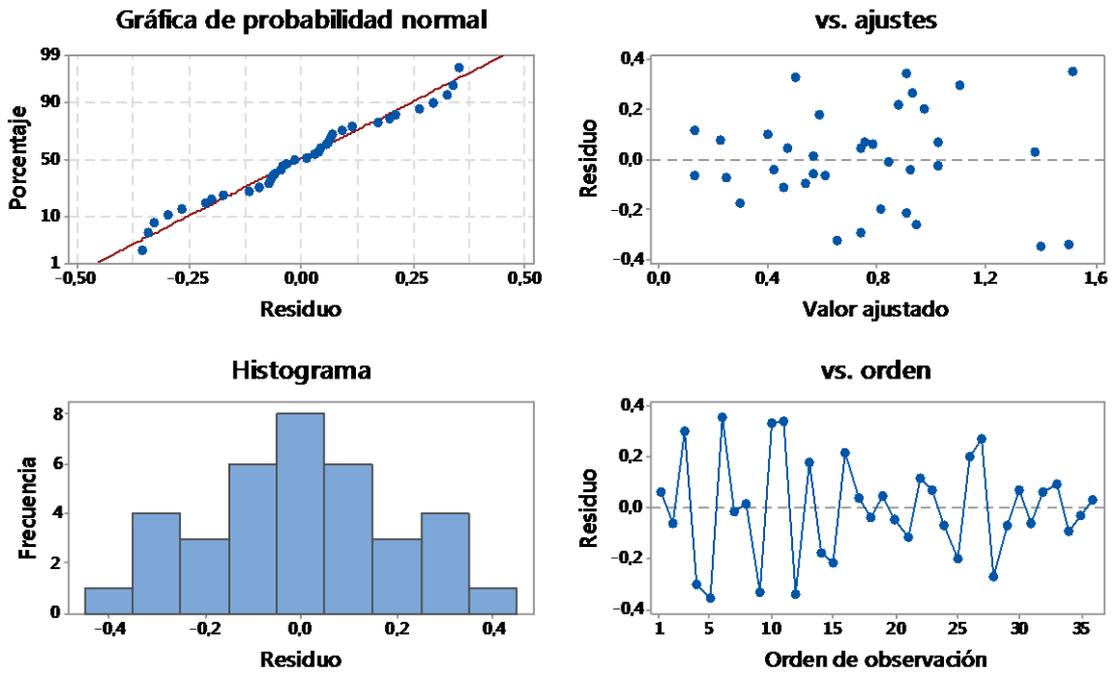


Figura A - 3. Residuos de CO en las secciones dos de las rutas

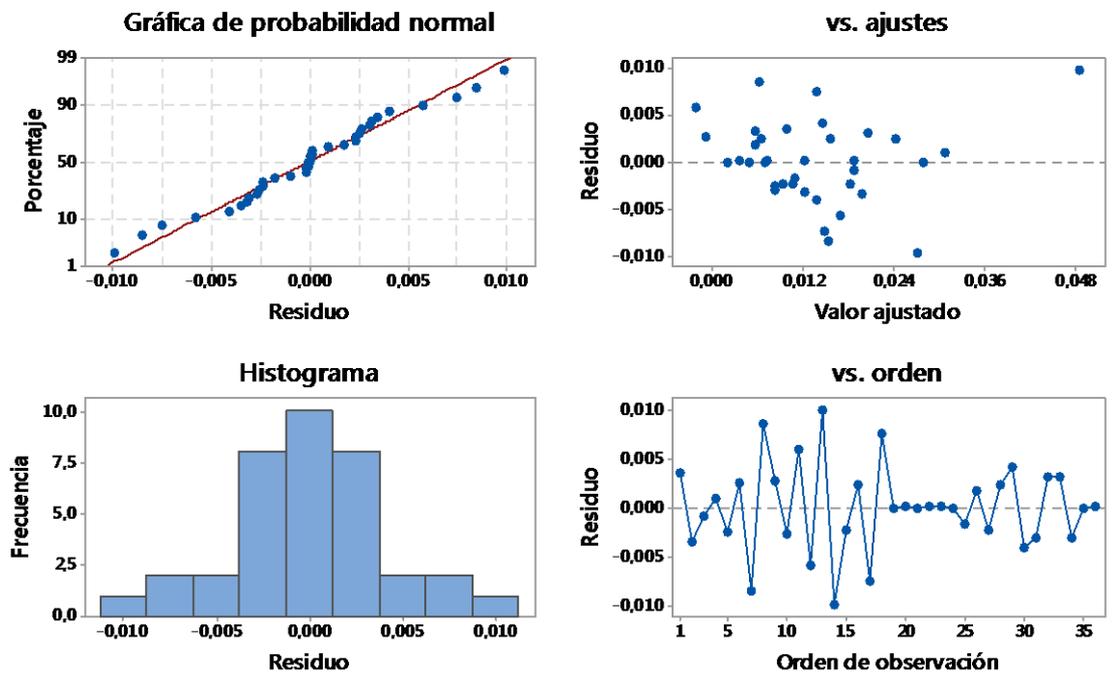


Figura A - 4. Residuos de HC en las secciones dos de las rutas

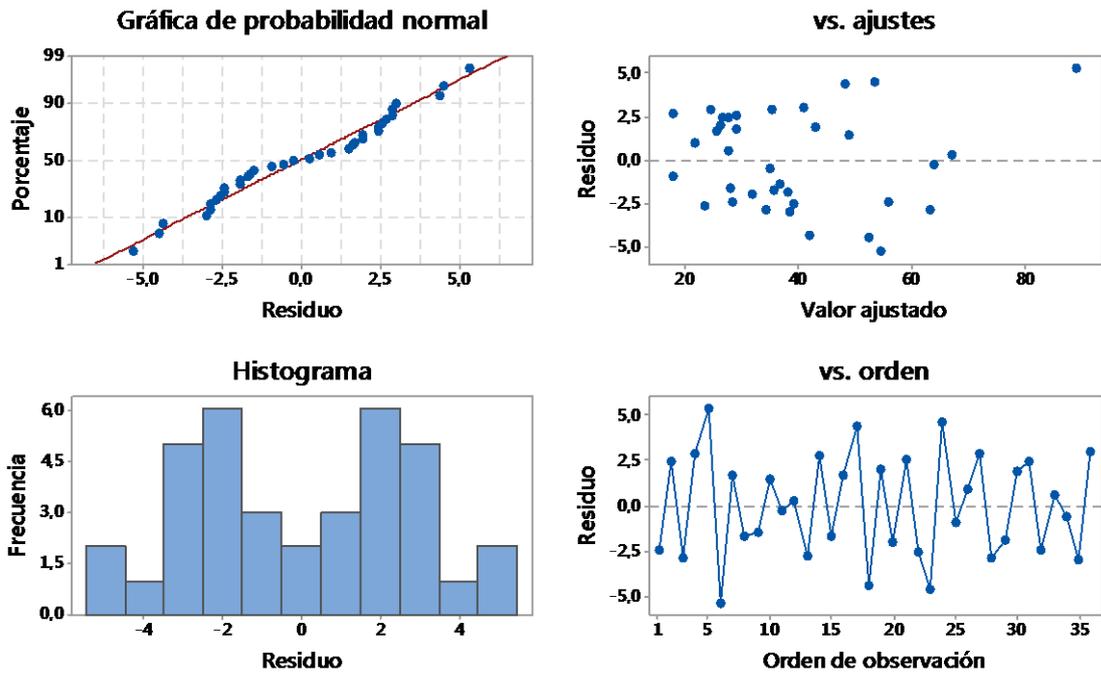


Figura A - 5. Residuos de CO₂ en las secciones uno de las rutas

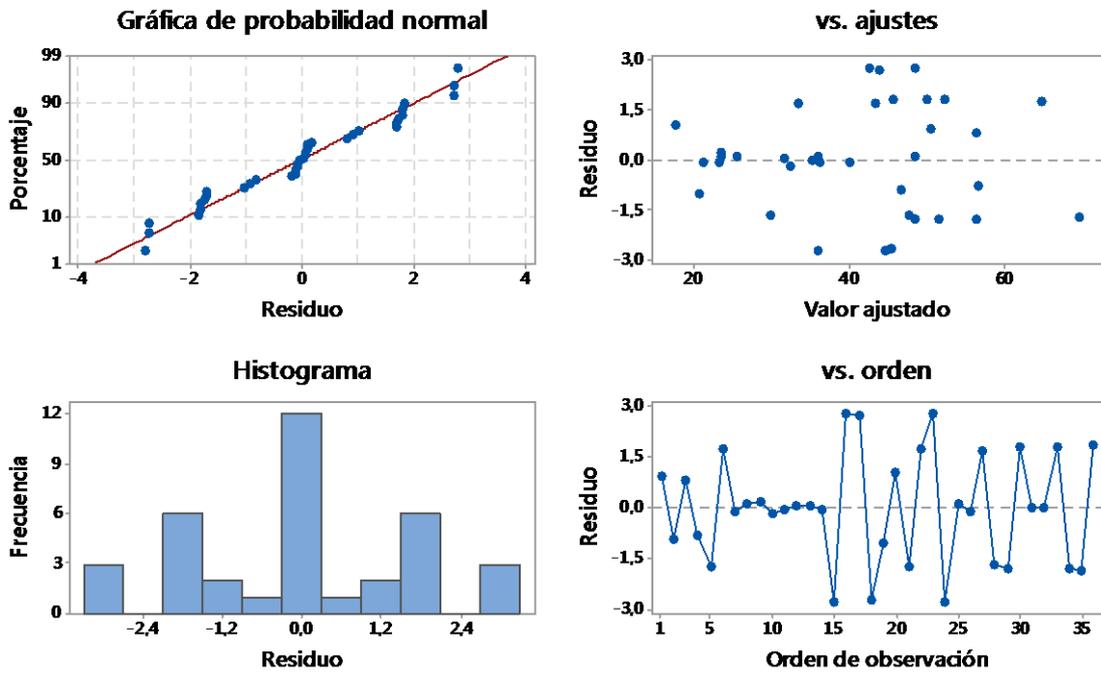


Figura A - 6. Residuos de CO₂ en las secciones dos de las rutas

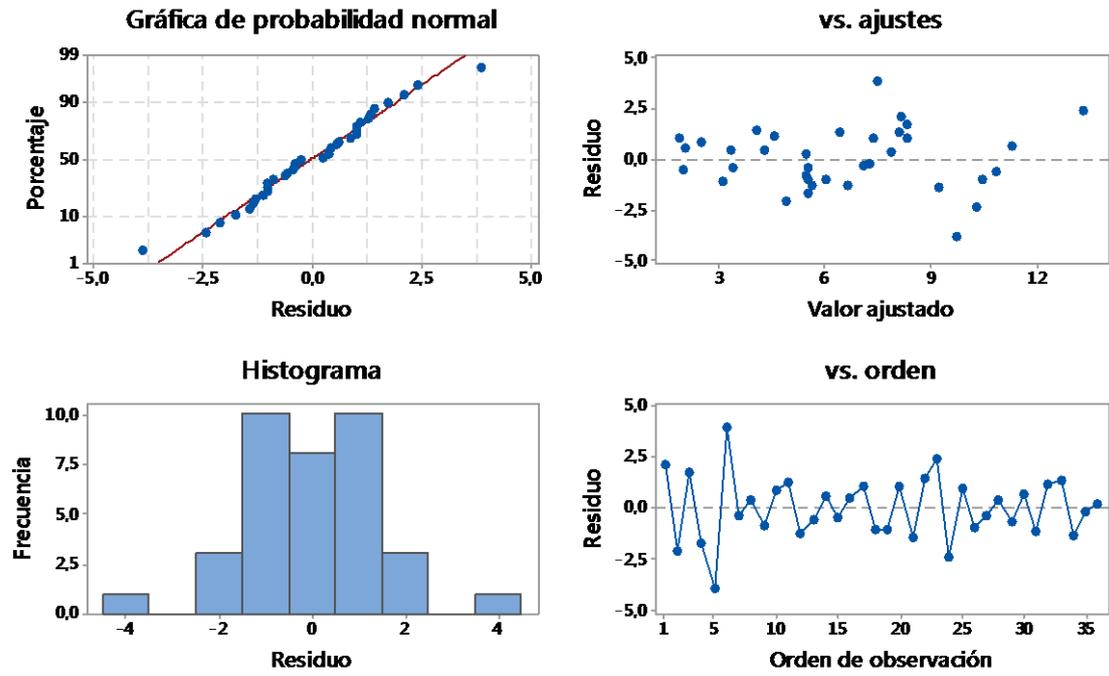


Figura A - 7. Residuos de O_2 en las secciones uno de las rutas

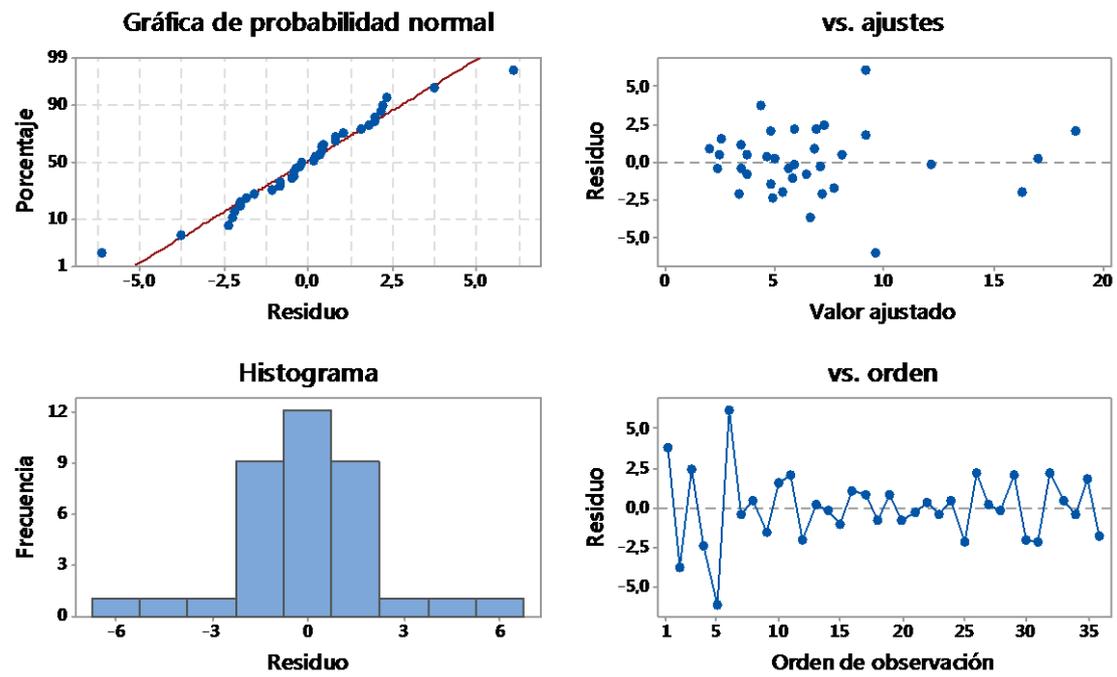


Figura A - 8. Residuos de O_2 en las secciones dos de las rutas

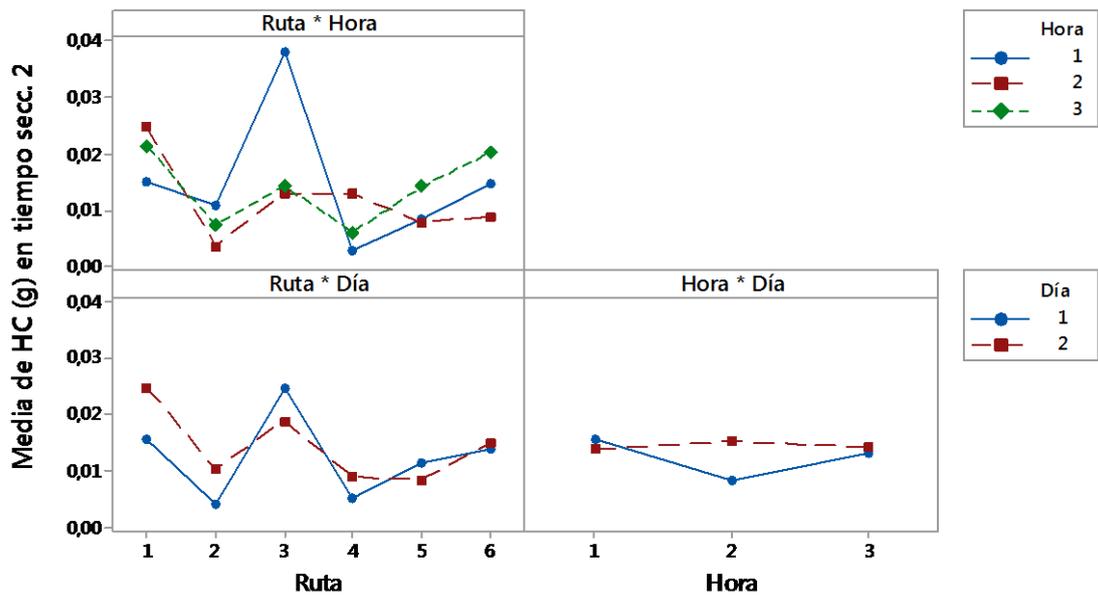


Figura A - 9. Interacción de HC en las secciones dos de las rutas

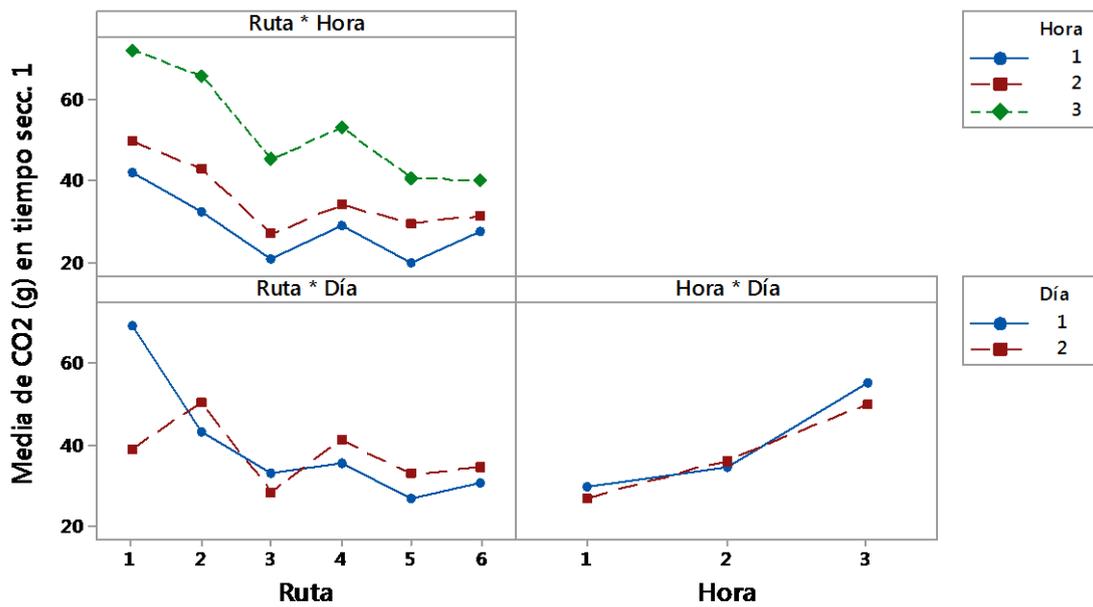


Figura A - 10. Interacción de CO₂ en las secciones uno de las rutas

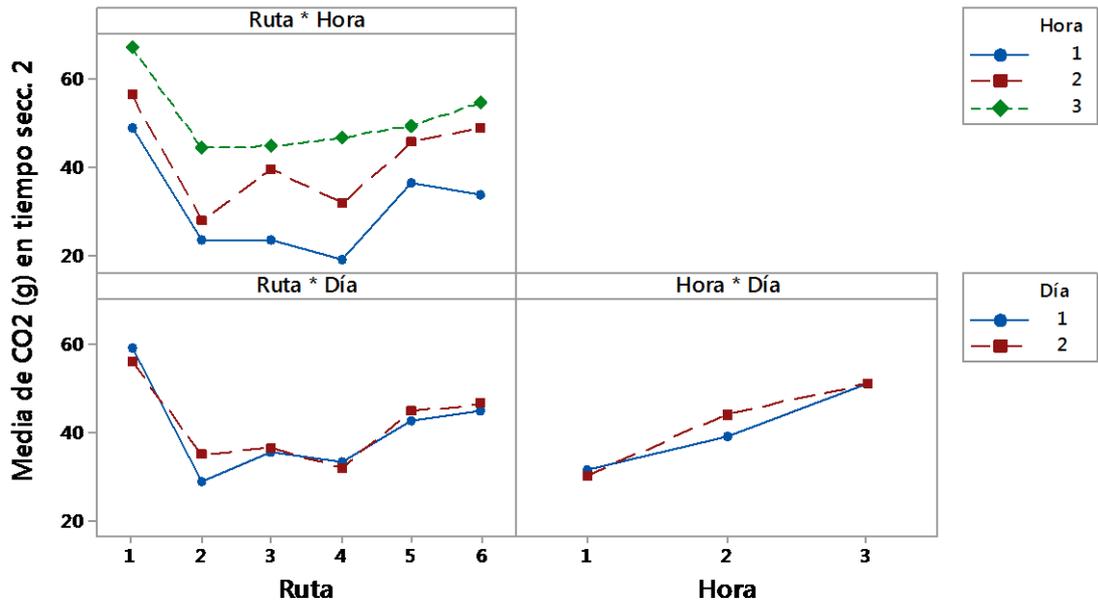


Figura A - 11. Interacción de CO₂ en las secciones dos de las rutas

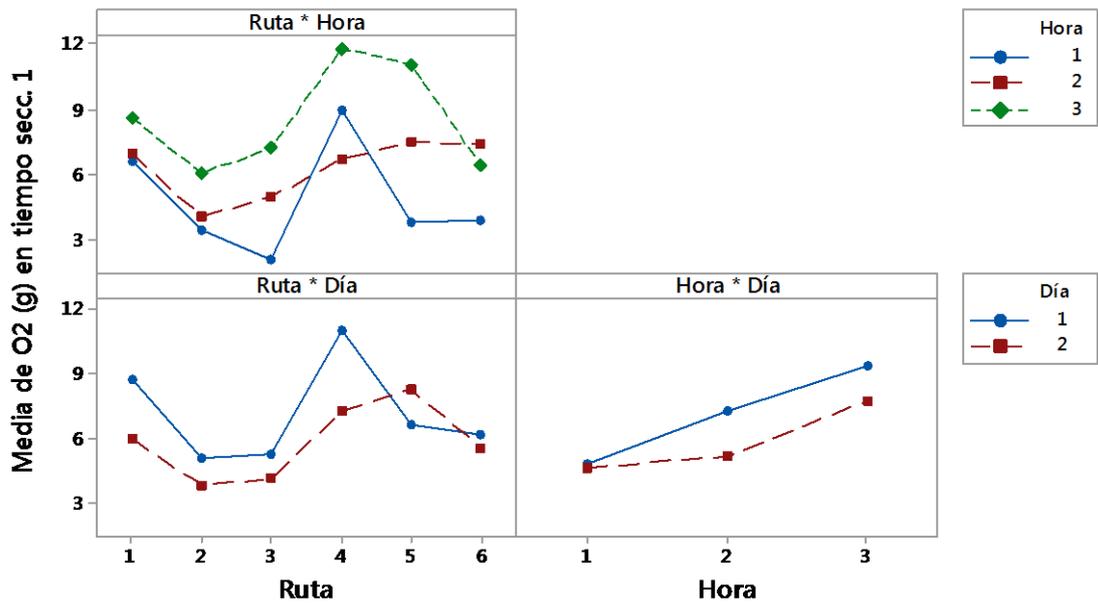


Figura A - 12. Interacción de O₂ en las secciones uno de las rutas

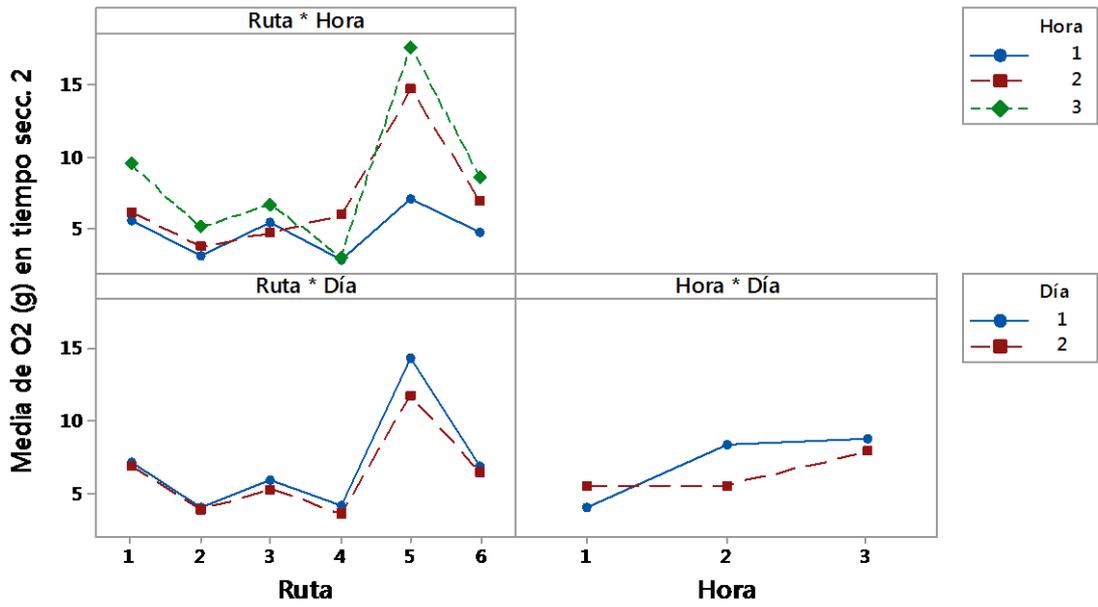


Figura A - 13. Interacción de CO₂ en las secciones dos de las rutas

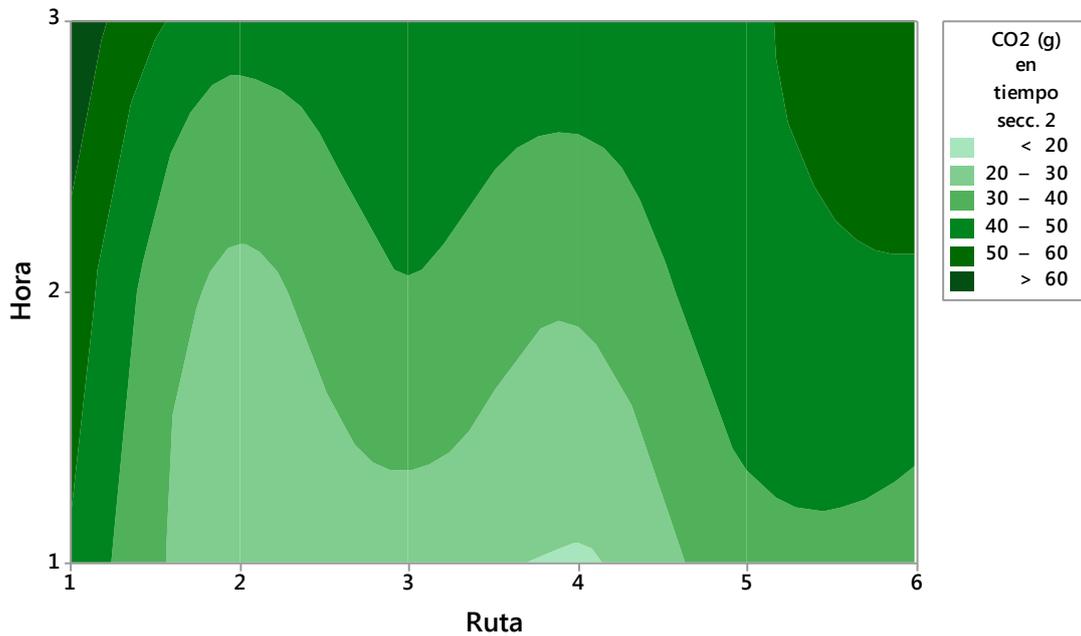


Figura A - 14. Contorno de CO₂ vs. Hora y Ruta en las secciones dos de las rutas

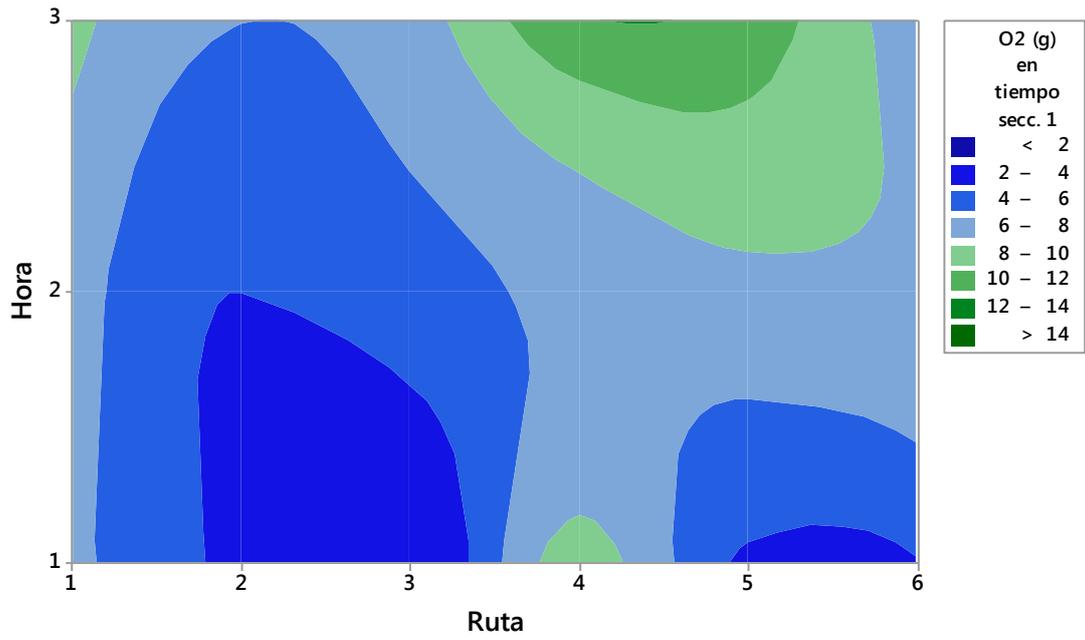


Figura A - 15. Contorno de O_2 vs. Hora y Ruta en las secciones uno de las rutas

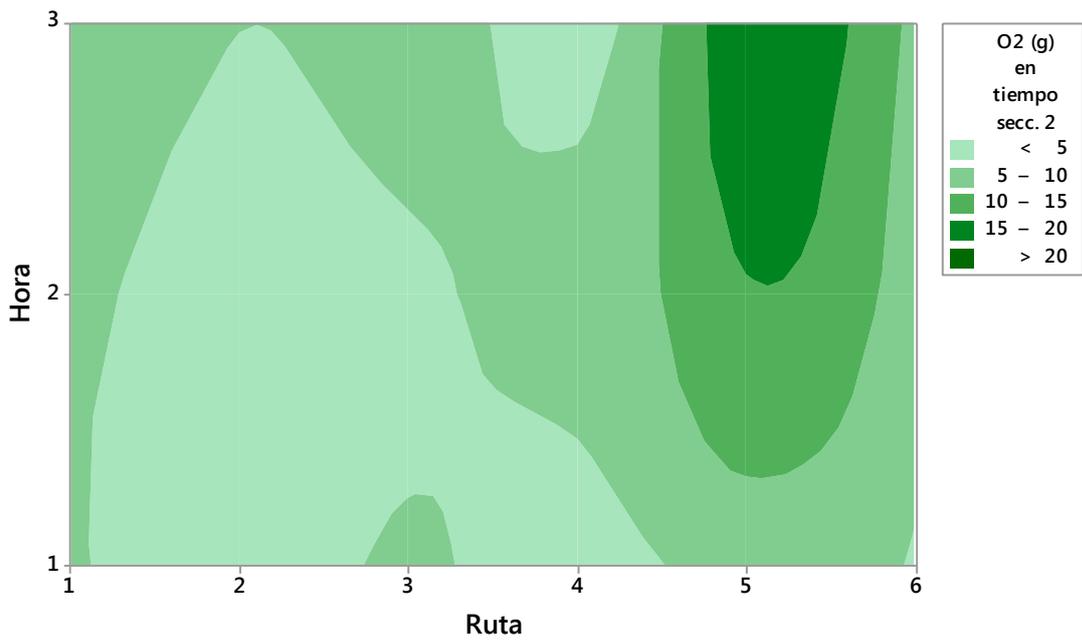


Figura A - 16. Contorno de O_2 vs. Hora y Ruta en las secciones dos de las rutas