



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA ALTITUD SOBRE LAS EMISIONES CONTAMINANTES Y EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN UN VEHÍCULO CON INYECCIÓN ELECTRONICA”

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

BRYAN VINICIO BARRIONUEVO MONTERO

JONATHAN DAVID VIERA LARA

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA ALTITUD SOBRE LAS EMISIONES CONTAMINANTES Y EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN UN VEHÍCULO CON INYECCIÓN ELECTRONICA”

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

BRYAN VINICIO BARRIONUEVO MONTERO

JONATHAN DAVID VIERA LARA

DIRECTOR: Ing. PAÚL ALEJANDRO MONTUFAR PAZ

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Bryan Vinicio Barrionuevo Montero; & Jonathan David Viera Lara

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

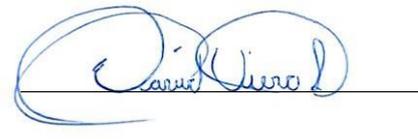
Nosotros, Bryan Vinicio Barrionuevo Montero y Jonathan David Viera Lara, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de Julio del 2021



Bryan Vinicio Barrionuevo Montero
060544625-1



Jonathan David Viera Lara
180476215-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; Tipo proyecto de investigación **ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA ALTITUD SOBRE LAS EMISIONES CONTAMINANTES Y EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN UN VEHÍCULO CON INYECCIÓN ELECTRONICA**, realizado por los señores: **BRYAN VINICIO BARRIONUEVO MONTERO** y **JONATHAN DAVID VIERA LARA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 JOSE FRANCISCO PEREZ FIALLOS Firmado digitalmente por JOSE FRANCISCO PEREZ FIALLOS	2021-07-15
Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 PAUL ALEJANDRO MONTUFAR PAZ Firmado digitalmente por PAUL ALEJANDRO MONTUFAR PAZ Fecha: 2021.08.28 09:17:51 -05'00'	2021-07-15
Ing. Víctor David Bravo Morocho MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: VICTOR DAVID BRAVO MOROCHO	2021-07-15

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, que con su abnegado esfuerzo y apoyo incondicional siempre estuvieron ahí en todo momento, además de todas aquellas personas que me ayudaron directa e indirectamente a lo largo de estos años de carrera universitaria.

Bryan Barrionuevo M.

DEDICATORIA

Dedico de manera especial este trabajo de titulación a Cecilia Lara y Robert Viera, mis padres, por haber forjado la persona que soy hoy en día y mostrarme el camino a la superación con su incansable trabajo, esfuerzo, dedicación y amor a lo largo de mi carrera universitaria.

A mis hermanas que con su apoyo y calidez lograron que siguiera adelante para nunca bajar los brazos y a todas las personas que en su momento ofrecieron una mano amiga en cualquier situación adversa.

Jonathan Viera L.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRAC	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Antecedentes de la investigación.....	4
1.2. Motor de combustión interna.....	5
1.2.1. Motores alternativos.....	5
1.2.2. Motores rotativos.....	5
1.3. COMBUSTIÓN.....	5
1.3.1. Proceso de combustión.....	5
1.3.2. Variaciones en la combustión.....	7
1.4. Combustibles en el Ecuador.....	7
1.4.1. Gasolina	7
1.4.2. Numero de octano	7
1.4.3. RON.....	7
1.4.4. MON.....	8
1.4.5. Características de la gasolina en el Ecuador.....	8
1.5. Emisiones contaminantes	8
1.5.1. Medidas típicas de las emisiones.....	9
1.5.2. Clasificación de las emisiones vehiculares	9
1.5.3. Oxígeno	9
1.5.4. Nitrógeno.....	10
1.5.5. Agua	10
1.5.6. Dióxido de carbono	10

1.5.7.	<i>Hidrocarburos</i>	11
1.5.8.	<i>Origen de los hidrocarburos en motores MEP ajenos al dosado</i>	11
1.5.8.1.	<i>Cortocircuito</i>	11
1.5.8.2.	<i>Absorción de HC en el aceite</i>	11
1.5.8.3.	<i>Efecto pared</i>	11
1.5.9.	<i>Monóxido de carbono</i>	11
1.5.10.	<i>Óxidos de Nitrógeno</i>	12
1.5.11.	<i>Óxido nítrico</i>	12
1.5.12.	<i>Dióxido de nitrógeno</i>	12
1.5.13.	<i>Óxido nitroso</i>	13
1.6.	<i>Afecciones de las emisiones contaminantes</i>	13
1.6.1.	<i>Efectos del monóxido de carbono (CO)</i>	13
1.6.2.	<i>Efectos de los hidrocarburos (HC)</i>	13
1.6.3.	<i>Efectos de los óxidos de nitrógeno (NOx)</i>	13
1.7.	<i>Factores de emisión</i>	14
1.7.1.	<i>Métodos de obtención de los factores de emisión</i>	14
1.7.2.	<i>Modelo Simplificado de la combustión</i>	14
1.8.	<i>Fuerzas resistivas que afectan al vehículo en movimiento</i>	17
1.8.1.	<i>Fuerzas aerodinámicas</i>	18
1.8.2.	<i>Fuerza debido a la rodadura</i>	19
1.8.3.	<i>Peso del automóvil</i>	20
1.8.4.	<i>Fuerza de tracción</i>	21
1.9.	<i>Ciclos de conducción</i>	22
1.10.	<i>Correlación</i>	22
1.10.1.	<i>Propiedades del coeficiente R de Pearson</i>	23

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	25
2.1.	Metodología para el análisis de las emisiones contaminantes y consumo de combustible con respecto a la altitud	25
2.2.	Enfoque	25
2.3.	Modalidad de la investigación	25
2.3.1.	<i>Investigación del campo</i>	25
2.3.2.	<i>Investigación bibliográfica</i>	25

2.3.3.	<i>Investigación experimental</i>	26
2.4.	Tipo de investigación	26
2.4.1.	<i>Investigación exploratoria</i>	26
2.4.2.	<i>Investigación descriptiva</i>	26
2.4.3.	<i>Investigación explicativa</i>	26
2.5.	Población y muestra	26
2.5.1.	<i>Población</i>	26
2.5.2.	<i>Muestra</i>	26
2.6.	Evaluación del estado de los equipos y vehículo usado	27
2.6.1.	<i>Analizador MAHA MET 6.3</i>	27
2.6.2.	<i>Instalación de software del equipo MAHA MET 6.3</i>	28
2.6.3.	<i>ELM 327</i>	28
2.6.4.	<i>TORQUE PRO</i>	29
2.6.5.	<i>Ficha técnica KIA RIO EXCITE 2009</i>	30
2.7.	Desarrollo	31
2.8.	Definición de las rutas	32
2.9.	Instalación de los equipos	37
2.9.1.	<i>Inversor de voltaje</i>	37
2.9.2.	<i>Regulador de voltaje</i>	38
2.9.3.	<i>Analizador</i>	39
2.9.4.	<i>Computadoras portátiles</i>	40
2.9.5.	<i>Escáner</i>	41
2.10.	Selección de los datos a analizar	41
2.11.	Levantamiento de datos	43
2.12.	Procesamiento de datos	46
2.12.1.	<i>Exportación de datos</i>	46
2.12.2.	<i>Filtrado</i>	47
2.12.3.	<i>Cálculos</i>	49
2.12.4.	<i>Factores de emisión</i>	50

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	60
3.1.	Creación de matrices de Frecuencia	60

3.2.	Consumo de combustible en función de la velocidad del vehículo.....	62
3.3.	Emisiones contaminantes en función de la altitud	66
3.4.	Factores de Emisión contaminantes en función de la altitud	69
3.5.	Consumo de combustible respecto al cambio de marcha.....	72
	CONCLUSIONES.....	73
	RECOMENDACIONES.....	74
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Características de la gasolina INEN 935.....	8
Tabla 1-2:	Equivalente molecular	14
Tabla 1-3:	Coefficientes de rodadura para diferentes superficies de rodadura.....	20
Tabla 1-4:	Parámetros estudiados del escáner ELM 327.....	24
Tabla 2-1:	Información del vehículo utilizado	30
Tabla 2-2:	Descripción de la ruta 1	32
Tabla 2-3:	Descripción de la ruta 2	33
Tabla 2-4:	Descripción de la ruta 3	34
Tabla 2-5:	Descripción de la ruta 4	35
Tabla 2-6:	Descripción de la ruta 5	36
Tabla 2-7:	Parámetros estudiados del analizador de emisiones	42
Tabla 2-8:	Parámetros estudiados del escáner ELM 327.....	42
Tabla 2-9:	Datos del vehículo	50
Tabla 2-10:	Densidad y temperatura del aire característica de los lugares visitados.....	50
Tabla 2-11:	Eficiencias de la transmisión	50
Tabla 2-12:	Potencia del vehículo de acuerdo con el fabricante.....	55
Tabla 3-1:	Valores representativos del Consumo de combustible en función de la velocidad y aceleración	63
Tabla 3-2:	Valores representativos del Consumo de combustible en función de la velocidad y aceleración	65
Tabla 3-3:	Valores representativos del Consumo de combustible en función de la velocidad y aceleración	66
Tabla 3-4:	Valores promedios obtenidos por el analizador de gases a diferentes alturas.....	66
Tabla 3-5:	Valores de correlación obtenidos para los distintos gases contaminantes	69
Tabla 3-6:	Factores de emisión calculados con respecto a la altitud	69
Tabla 3-7:	Correlación de los factores de emisión con respecto a la altura	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Tipos de transferencia de calor por convección	5
Figura 2-1:	Voltaje y corriente de la bujía en función del tiempo en un motor SI.....	6
Figura 3-3:	Composición de los gases de escape.....	9
Figura 4-1:	Emisiones de CO2 a nivel mundial respecto al combustible usado	10
Figura 5-1:	Fuerzas resistivas que afectan a un vehículo en movimiento.....	18
Figura 6-1:	Superficie frontal proyectada del área frontal del vehículo.....	19
Figura 7-1:	Fuerza de rodadura	19
Figura 8-1:	Coefficientes de correlación de Pearson	23
Figura 1-2:	Metodología para la toma de datos	27
Figura 2-2:	Analizador de gases MAHA MET 6.3.....	28
Figura 3-2:	Aplicación Torque pro.....	29
Figura 4-2:	Vehículo utilizado	31
Figura 5-2:	Trayecto de ida, Riobamba-Puyo	33
Figura 6-2:	Trayecto de vuelta, Riobamba-Puyo.....	33
Figura 7-2:	Trayecto Riobamba-Babahoyo	34
Figura 8-2:	Trayecto Riobamba-Zhud.....	35
Figura 9-2:	Trayecto Riobamba-Manta	36
Figura 10-2:	Trayecto Riobamba-Manta	37
Figura 11-2:	Conexión del inversor a la batería	38
Figura 12-2:	Instalación del inversor de voltaje	38
Figura 13-2:	Instalación del regulador de voltaje	38
Figura 14-2:	Encendido del analizador de gases	39
Figura 15-2:	Instalación de la sonda en el tubo de escape	39
Figura 16-2:	Instalación del filtro a la entrada de la sonda.....	40
Figura 17-2:	Software MAHA	40
Figura 18-2:	Software de registro de marchas	41
Figura 19-2:	Software de registro de marchas	41
Figura 20-2:	Archivo .xlsx	44
Figura 21-2:	Archivo .xlsx	45
Figura 22-2:	Cambio de filtro.....	45
Figura 23-2:	Archivo .csv	46
Figura 24-2:	Archivo .xlsx	46
Figura 25-2:	Archivo .xlsx datos a eliminar	47

Figura 26-2: Ejemplo de error.....	47
Figura 27-2: Datos del escáner sin filtrar	47
Figura 28-2: Datos del escáner filtrados.....	48
Figura 29-2: Archivo con las marchas en Excel.....	48
Figura 30-2: Correlación de un trayecto.....	49
Figura 31-2: Base datos agrupados parte 1.....	58
Figura 32-2: Base datos agrupados parte 2.....	58
Figura 33-2: Base datos agrupados parte 3.....	58
Figura 34-2: Base datos agrupados parte 4.....	59
Figura 35-2: Base datos agrupados parte 5.....	59

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Archivo .xlsx	44
Gráfico 2-2: Curvas características de torque y potencia	56
Gráfico 3-2: Ecuación de potencia.....	57
Gráfico 1-3: Matriz de frecuencias: Velocidad vs aceleración. De 0 a 1000 msnm.....	60
Gráfico 2-3: Matriz de frecuencias: Velocidad vs aceleración. De 1000 a 2000 msnm.....	61
Gráfico 3-3: Matriz de frecuencias: Velocidad vs aceleración. De 2000 a 3500 msnm.....	61
Gráfico 4-3: Diagrama de caja: Consumo de combustible vs Velocidad. De 0 a 1000 msnm en un motor 1400 cc.....	63
Gráfico 5-3: Diagrama de caja: Consumo de combustible vs Velocidad. De 1000 a 2000 msnm en un motor 1400 cc	64
Gráfico 6-3: Diagrama de caja: Consumo de combustible vs Velocidad. De 1000 a 2000 msnm en un motor 1400 cc	65
Gráfico 7-3: Diagrama de dispersión: Concentración en volumen de CO a diferentes altitudes.	67
Gráfico 8-3: Diagrama de dispersión: Concentración de HC a diferentes altitudes	68
Gráfico 9-3: Diagrama de dispersión: Concentración de NO a diferentes altitudes	68
Gráfico 10-3: Diagrama de dispersión: Factores de emisión de CO a diferentes altitudes.....	70
Gráfico 11-3: Diagrama de dispersión: Factores de emisión de HC a diferentes altitudes.....	70
Gráfico 12-3: Diagrama de dispersión: Factores de emisión de NO a diferentes altitudes.....	71
Gráfico 13-3: Diagrama de dispersión: Consumo de combustible en función de la marcha	72

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue analizar la variación de la altitud que existe en el relieve ecuatoriano, al recorrer diferentes rutas donde la altura fue la principal variable de interés, para lo cual se utilizó un vehículo donde se realizaron varias pruebas on board. El proceso de obtención de datos se lo realizó en base a la toma de muestras de gases contaminantes mediante un analizador de gases, además, de parámetros del funcionamiento del motor, mediante un dispositivo OBD II, las pruebas tenían 30 minutos de duración, los datos que se obtenían eran almacenados en un software perteneciente al fabricante del dispositivo de emisiones, de la misma manera una aplicación móvil almacenaba los datos del dispositivo OBD II, también, se vio la necesidad de registrar el cambio de marchas, tras obtener los datos se procedió con el filtrado y procesamiento de la información usando los programas Excel y Minitab. Se usó la correlación de Pearson con el fin de realizar un análisis estadístico, se obtuvo que la altitud no es un factor determinante en el análisis del consumo de combustible, caso contrario ocurre con las emisiones de CO en donde se evidencia que influye en la emisión de este gas, para los HC y los NOx, no se evidenció influencia mayor por parte de la altura. Se concluye que la altitud es uno de los muchos factores que intervienen en el funcionamiento del motor, pero, al analizarlo de manera aislada no se convierte en un factor que influye en el consumo de combustible y en las emisiones contaminantes. Es recomendable analizar varios factores que intervengan en el comportamiento del vehículo, ejemplo, temperatura ambiente, presión atmosférica, tipo de combustible, estado del motor, etc., con el objetivo de poder realizar un análisis más profundo para este tipo de estudios.

Palabras clave: <EMISIONES CONTAMINANTES>, <CONSUMO DE COMBUSTIBLE>, <EFECTO DE ALTITUD>, <VEHÍCULOS LIVIANOS>, <PRUEBAS EN RUTA>.



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS



11-05-2021

1134-DBRA-UTP-2021

ABSTRAC

This work aimed to analyze the variation of the altitude that exists in the Ecuadorian relief. Height was the principal variable of interest when exploring its different routes. That is why a vehicle was made where several tests were carried out on board. The data gathering process was carried out based on a sampling of gaseous pollutants through a gas analyzer and engine operating parameters through an OBD II device. The tests were 30 minutes long, the obtained data were saved on a software belonging to the manufacturer of the emission device. In the same way, a mobile application saved the data of the OBD II device. d with the filtering and information processing using Excel and Minitab programs. also, the need to record the gear switching. After obtaining the data we proceeded with the filtering and information processing using Excel and Minitab programs. The correlation of Pearson was used to perform statistical analysis. It was found that altitude is not a determining factor in the analysis of fuel consumption. Nevertheless, with the emissions of CO, it was evidenced that height influences the emission of this gas. But it was not shown a greater influence from height for HC and NOx. It is concluded that altitude is one of the many factors that intervene in the engine operation, but, when it was analyzed in isolation, it does not become a factor influencing fuel consumption or emissions pollutants. It is advisable to analyze several factors that intervene in the vehicle performance, example, ambient temperature, atmospheric pressure, fuel type, fuel condition motor, etc., to be able to carry out a more in-depth analysis for this type of study.

Keywords: <POLLUTING EMISSIONS>, <FUEL CONSUMPTION>, <ALTITUDE EFFECT>, <LIGHT VEHICLES>, <ROAD TESTING>.

INTRODUCCIÓN

La contaminación presente hoy en día por parte del parte del parque automotor es un tema del que se ha estado hablando mucho en los últimos tiempos, debido a su gran importancia con el impacto ambiental y a los efectos perjudiciales que generan en la salud de las personas, ya que no hace mucho los motores de combustión interna eran la principal fuente de contaminación debido al ineficiente proceso de combustión en su funcionamiento, generado por combustibles fósiles de bajo octanaje.

A su vez el consumo de combustibles fósiles en los motores de combustión interna es una de las principales causas por la que se origina la contaminación debido a ello los fabricantes de vehículos han ido mejorando los sistemas de combustión y la forma en la que el combustible se inyecta en la cámara de combustión, intentando así, mejorar la eficiencia del motor y el consumo.

Se puede encontrar muchos análisis realizados a partir de ciclos de conducción normalizados que no muestran en sí la contaminación que genera un automóvil, de tal forma que se crea la necesidad de realizar pruebas reales, con el fin de determinar el consumo y las emisiones que se generan en el vehículo al momento de recorrer distancias importantes.

Mediante el uso de equipos de medición automotriz (analizador de gases y escáner), se pueden obtener datos de emisiones contaminantes (NOx, HC, CO, CO2, O2) además, de PIDs que servirán para poder apreciar la incidencia que se puede dar al pasar por diferentes altitudes en los factores ya mencionados.

Debido a la geografía de nuestro país los vehículos se comportan de manera distintas, ya que en aproximadamente en 5 horas podemos pasar de 0 msnm a más de 3000 msnm, provocando que el consumo y la contaminación pueda variar en función a la altura sobre el nivel del mar en la que el vehículo se encuentre funcionando.

Justificación

Ante el incremento exponencial de los vehículos de los últimos años en el país la problemática de la contaminación es una de las principales preocupaciones que atentan a la salud del planeta y de sus habitantes, es por esto que se necesita de estudios reales y confiables que puedan dar a conocer cuál es la magnitud de este problema.

Nuestro país al contar con tres regiones, donde la altitud es uno de los factores que afectan directamente a las emisiones, es por ello que se debería contar con estudios que muestren cual es la influencia de la altura en un vehículo ya que no es lo mismo estar en Manta una ciudad que se encuentra a una altitud de 6 msnm a encontrarnos en la ciudad de Riobamba a un altitud de 2754 msnm donde el comportamiento del motor de combustión interna será diferente y esto se verá reflejado sobre todo en sus emisiones contaminantes como en su consumo de combustible.

Objetivos de la investigación

Objetivo General

- Analizar la variación de la altitud, utilizando equipos de medición automotriz, para conocer su incidencia en el consumo de combustible y en las emisiones contaminantes en un vehículo mediante varias pruebas en ruta.

Objetivos Específicos

- Crear una base de datos completa y ordenada con toda la información necesaria para un análisis de resultados eficiente.
- Definir las rutas de conducción en las que la variación de la altitud sea más evidente.
- Presentar un análisis de datos de consumo y emisiones en las cuales se pueda apreciar los parámetros obtenidos.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de la investigación

La industria automotriz contribuye significativamente a la emisión de gases contaminantes dentro del país y por qué no decir alrededor del mundo, el uso del vehículo se ha convertido hoy en día en algo indispensable en nuestro día a día, a causa de esto encontramos en el aire que respiramos el resultado de la combustión emisiones contaminantes como es el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos que perjudican no solo al medio ambiente sino también a la salud humana.

Es por ello por lo que se han desarrollado normas de cumplimiento obligatorio que regulen las condiciones en las que funciona un motor esto conlleva conocer la cantidad y el tipo de gases nocivos que se emiten por el tubo de escape. Un ejemplo de esto son los centros de revisión vehicular implementados en varias ciudades de nuestro país los cuales tienen como objetivo verificar los niveles de gases contaminantes pudiendo determinar así el estado de un motor esto en base a un proceso de inspección y mantenimiento (Caiza et al., 2010: p.20).

El proceso para determinar este tipo de emisiones contaminantes se basa en realizar pruebas que pueden ser estáticas o dinámicas en donde en base a un determinado ciclo de conducción y mediante varias pruebas en ruta en condiciones reales de funcionamiento del automóvil se puede medir tanto la concentración de gases contaminantes como también del flujo de las emisiones contaminantes las cuales son obtenidas a través de algún equipo de medición de emisiones son recolectadas en tiempo real donde las condiciones ya dependen del ciclo utilizado así como de las condiciones de tráfico, climáticas, experiencia del conductor, condiciones del automóvil, la instalación de los equipos, estado de los equipos, etc. (Urbina Guzmán et al., 2016: p.22)

1.2. Motor de combustión interna

El motor de combustión interna o por su abreviatura MCI, es una máquina térmica que tiene la capacidad de convertir la energía térmica presente en combustibles fósiles en energía mecánica, logrando así generar un trabajo, el cuál será necesario para lograr el movimiento del vehículo por medio de la cadena cinemática. (Calleja, 2018 p. 2)



Figura 1-1:Tipos de transferencia de calor por convección.

Realizado por: Calleja, 2018 p. 2

Podemos mencionar dos grupos de motores de combustión interna:

1.2.1. Motores alternativos

Gracias a un mecanismo de biela-manivela el movimiento lineal que realiza el pistón dentro de la cámara de combustión es transformado en movimiento rotativo. (Escudero, 2011a: p. 14)

1.2.2. Motores rotativos

Este tipo de motores no se realiza el cambio de movimiento de lineal a rotativo, sino que, en movimiento rotativo en es generado por los órganos principales del mismo. (Escudero, 2011b: p. 14)

1.3. COMBUSTIÓN

1.3.1. Proceso de combustión

Es un proceso muy complejo utilizan modelos los cuales realizan un trabajo muy preciso al correlacionar los importantes parámetros operativos como presión, temperatura, combustible, detonación, velocidad del motor, etc. (Pulkravek, 2004a: p.244)

Los motores de combustión interna obtienen su energía a través de los combustibles el resultado de esta acción produce muchos gases diferentes o también denominados hidrocarburos, los cuales están conformados principalmente por hidrógeno y carbono, pero también pueden contener oxígeno, nitrógeno y / o azufre, etc. (Pulkravek, 2004b: p.136)

El proceso de la combustión se divide en tres partes:

1. Ignición y desarrollo de la llama. Donde se considera el consumo del primer 5% o inclusive el 10% de la mezcla de aire y combustible.
2. Propagación de llama. El trabajo producido en un ciclo de motor es el resultado de la propagación de la llama donde el 80-90% de la mezcla aire-combustible es quemado.
3. Terminación de llama. Aquí se realiza el trabajo de la carrera de expansión donde se quema el 5% a veces el 10% de la masa aire combustible. (Pulkravek, 2004c: pp.244-245)

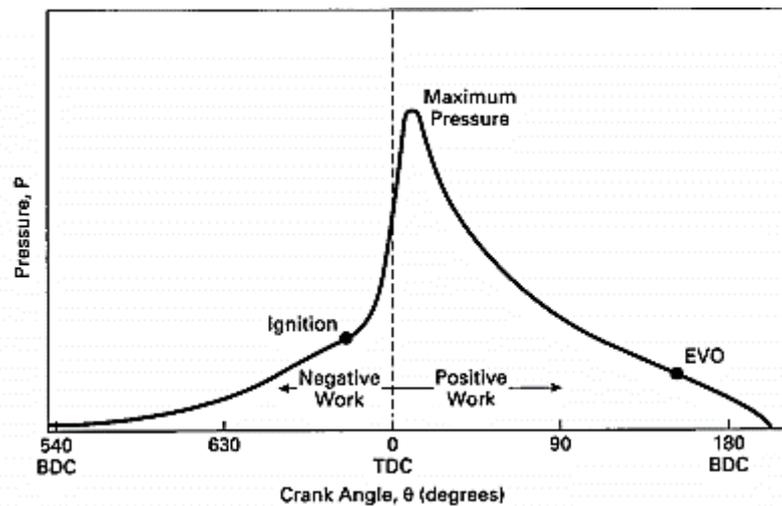
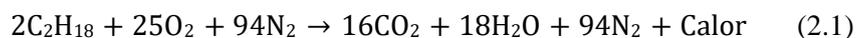


Figura 2-1: Voltaje y corriente de la bujía en función del tiempo en un motor SI
 Realizado por: Pulkravek, 2004, p.245

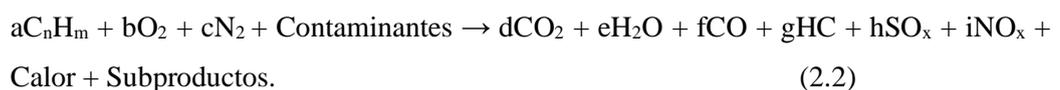
Según (Urbina Guzmán, 2016, pp.30-31) este proceso se puede clasificar en:

- Combustión completa: se produce cuando existe una oxidación total de cada uno de los elementos que componen el combustible a utilizar.

El balance estequiométrico ideal del octano está representado en la ecuación 2.1:



- Combustión incompleta: ocurre cuando el combustible no se oxida por completo y los productos de la combustión varían en función de la cantidad de oxígeno. Su ecuación es la 1.2:



- Combustión estequiométrica: en este tipo de combustión no se producen sustancias no deseadas y siempre se oxida el oxígeno por completo es decir es una combustión ideal.
- Combustión pobre: se produce cuando existe una menor cantidad de combustible en comparación con la cantidad de aire necesaria para realizar la combustión.

- Combustión rica: se produce cuando existe una mayor presencia de combustible en relación con el aire requerido para la combustión.

1.3.2. Variaciones en la combustión

Lo ideal sería que la combustión de un motor fuera exactamente la misma en cada cilindro. Pero no ocurre debido a muchos factores entre ellos diferencias en longitud y geometría de las guías del colector de admisión que provocan variaciones en la eficiencia volumétrica, las diferencias de temperatura que provoca variaciones en la tasa de evaporación, entre otras. (Pulkravek, 2004d: p.254)

La gasolina al ser una mezcla de componentes que se evaporan a diferentes temperaturas provoca que no exista una mezcla homogénea en cada cilindro. Un ejemplo es el vapor de componentes que se evapora temprano en el colector de admisión no es el mismo de aquellos componentes que se evaporan más tarde. (Pulkravek, 2004e: p.254)

La relación aire-combustible, cantidad de aire, con'ponetnes de combustible y temperatura, junto con la turbulencia normal causarán ligeras variaciones en el remolino de cilindro a cilindro ciclo a ciclo. Las mezclas incompletas especialmente si ocurren cerca de la bujia provpocaran una descarga inicialpara varial el promedio a travez de los electrodos. (Pulkravek, 2004f: p.254)

1.4. Combustibles en el Ecuador

1.4.1. Gasolina

Mezcla de carburantes constituidas por una fracción de derivado de petróleo de carácter volátil con un compuesto líquido que en su molécula contiene oxígeno y en proporciones especificadas, destinada a utilizarse como combustible para motores de ciclo otto. (INEN, 2010a: p. 1)

1.4.2. Numero de octano.

Es una medida de las características antidetonantes de las gasolinas. (INEN, 2010b: p. 1)

1.4.3. RON

Siglas del idioma inglés (Research Octane Number) que identifica al método para cuantificar el número de octano de una gasolina, mediante el procedimiento normalizado, conocido como "Research". (INEN, 2010c: p. 1)

1.4.4. MON

Siglas del idioma inglés (Motor Octane Number) que identifica al método para cuantificar el número de octanos de una gasolina, mediante el procedimiento normalizado, conocido como “Motor”. (INEN, 2010d: p. 1)

La gasolina en nuestro país las podemos clasificar por su octanaje en dos tipos:

- a. Gasolina extra de 87 octanos (RON)
- b. Gasolina super de 92 octano (RON). (INEN, 2016 p. 2)

1.4.5. Características de la gasolina en el Ecuador

Es necesario que la gasolina cumpla estrictamente con una serie de condiciones requeridas para que el motor funcione en excelentes condiciones. (Barreno Gavilanez, 2017a: p. 13)

Tabla 1-1: Características de la gasolina INEN 935

Característica	Unidad	Gasolina
Densidad	Kg/l	0.75
Volatilidad	Kg/cm ²	0.75
Relación estequiométrica máxima	Aire / combustible	15.2
Auto ignición	°C	367
Poder calorífico	KJ/Kg	42900

Fuente: Los Biocarburantes, http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/Los_biocarburantes.asp

1.5. Emisiones contaminantes

Son el producto del proceso de la combustión u oxidación del combustible dentro del motor, generando una serie de gases contaminantes como son: hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), entre otros. (Barreno Gavilanez, 2017b: p.22)

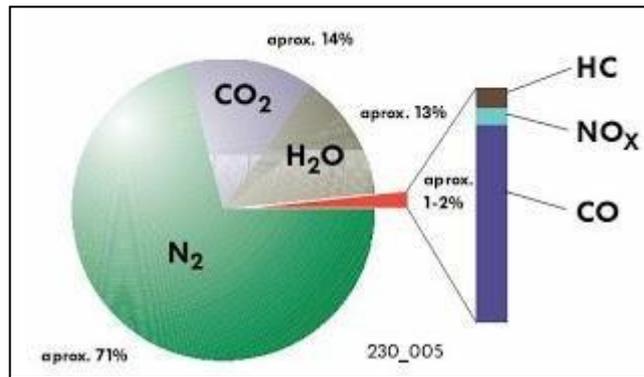


Figura 3-1: Composición de los gases de escape

Realizado por: (Urbina Guzmán, 2016, p.32)

1.5.1. Medidas típicas de las emisiones

Las emisiones contaminantes pueden ser expresadas de diferentes maneras con el fin de evitar comparaciones dificultosas y ambiguas, esto se puede dar por el instrumento de medición que se use o la región en la que se mida. En vehículos pesados a Diesel y gasolina, es usual encontrar las emisiones contaminantes expresadas en función de la potencia efectiva desarrollada por el motor [g/kWh], otra unidad usada es la masa de contaminante emitida por unidad de energía liberada por el combustible [g/MJ], en vehículos ligeros, se usa la cantidad de contaminante emitida por unidad de distancia recorrida por el vehículo [g/km]. Sin embargo, para procesos de homologación, la medida viene dada en g/ciclo de homologación. (Payri, 2011a: p. 418)

Para facilitar el análisis de las emisiones se las suele expresar en unidades adimensionales. Se puede mencionar el tanto por uno, las partes por millón (en masa o volumen), partes por millón o billón, si las emisiones son muy pequeñas. (Payri, 2011b: p. 418)

1.5.2. Clasificación de las emisiones vehiculares

De acuerdo con (Recalde Rojas et al., 2015, pp.27-28) podemos encontrar los siguientes productos de la combustión.

1.5.3. Oxígeno

Un gas principal para que la vida en nuestro planeta sea posible y también juega un papel muy importante para el proceso de combustión ya que se encarga de la oxidación de los elementos de los combustibles, aunque teóricamente debería realizarse una oxidación total en la vida real no ocurre esto y el oxígeno restante es expulsado por el sistema de escape.

1.5.4. Nitrógeno

Es un gas incoloro e inodoro no combustible que forma parte del proceso de combustión, del cual solo una pequeña parte se combina con el oxígeno generando NO_x.

1.5.5. Agua

Se produce al inicio cuando en el calentamiento del motor es un subproducto de la combustión y es expulsado por el sistema de escape, cuando hace demasiado frío se lo puede observar cómo humo blanco.

1.5.6. Dióxido de carbono

Es un gas que se produce al quemar los combustibles que están hechos a base del carbono y aunque es un gas no tóxico, no combustible, es un precursor del efecto invernadero.

Las emisiones de CO₂, se ven afectadas directamente por el consumo de combustible con el que trabaja el motor. Este gas se ve puede producir de dos maneras que describen su composición: la proporción de hidrógeno-carbono y la proporción oxígeno-carbono (presente significativamente en los biocarburantes). Los combustibles con baja o nula presencia de carbono (metanol, monóxido de carbono, gas natural, hidrógeno) conllevan a menores emisiones de CO₂ y por ende ayuda a disminuir el efecto invernadero. (Payri, 2011a: p. 442) Al comparar las emisiones de CO₂ generadas por el gas natural y la gasolina (derivado del petróleo), en la Figura 4-1, se puede apreciar como la diferencia en las emisiones es mucho mayor cuando se usan combustibles fósiles que al usar gas natural como carburante.

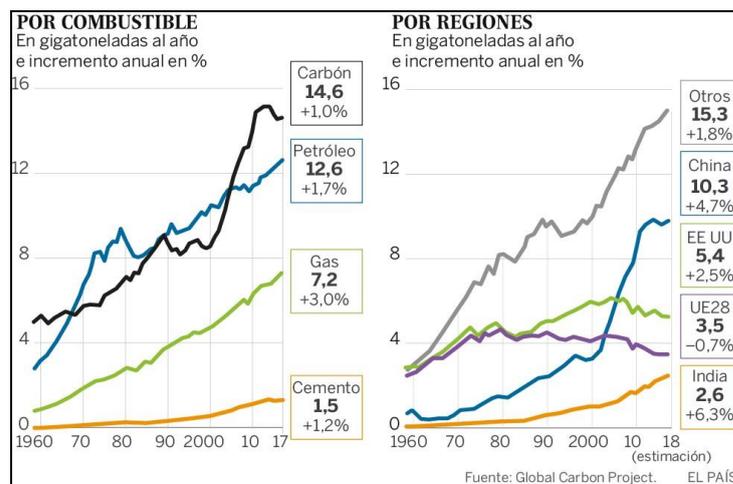


Figura 4-1: Emisiones de CO₂ a nivel mundial respecto al combustible usado

Realizado por: (Planelles, 2018)

1.5.7. Hidrocarburos

Son el resultado de una combustión incompleta debido a la falta de oxígeno o a una baja inflamación de la mezcla aire-combustible.

Este gas se puede generar de dos formas de trabajo del motor: con mezcla rica (la falta de moléculas de oxígeno en la combustión hace que el combustible no se oxide por completo y queden residuos sin quemar) y con mezcla pobre (el problema es el frente de llama insuficiente para quemar toda la mezcla de aire y combustible). (Payri, 2011b: p. 592)

1.5.8. Origen de los hidrocarburos en motores MEP ajenos al dosado

1.5.8.1. Cortocircuito

Cuando el traslape de válvulas tiene lugar, da lugar que las válvulas de admisión y escape estén abiertas al mismo tiempo lo que hace que parte de la mezcla se “cortocircuite” hacia el escape sin quemarse, generándose hidrocarburos en el tubo de escape. (Payri, 2011c: p. 569)

1.5.8.2. Absorción de HC en el aceite

En el ciclo de compresión, cierta cantidad de hidrocarburos son absorbidos por el aceite que se encuentra en las porosidades de las paredes del cilindro, estos no logran combustionar. Durante el proceso de expansión una parte de estos hidrocarburos de unen al aceite y otra parte se liberan en el cámara, pero contribuyendo poco al proceso de combustión. (Payri, 2011d: p. 569)

1.5.8.3. Efecto pared

El efecto pared surge de un frente de llama muy débil, el cual no llega a las proximidades de la pared como por ejemplo entre la holgura entre el pistón y el cilindro. Todas esas pequeñas regiones aglomeran pequeños volúmenes de mezcla sin quemar que genera hidrocarburos. (Payri, 2011e: p. 570)

1.5.9. Monóxido de carbono

Es un gas inodoro, incoloro, explosivo y altamente toxico producto de una combustión incompleta, importantes en gran manera en motores a gasolina. Causa severos daños a la salud cuando reacciona con la sangre produciendo un déficit de oxígeno en la persona, cuando se encuentra en el aire este se oxida al corto tiempo formando así dióxido de carbono.

Este tipo de emisiones están básicamente controladas por el dosado que presenta el motor en las diferentes condiciones de funcionamiento, cuando el motor trabaja con mezclas ricas, la

concentración de este gas aumenta, caso contrario con el dosado menor o al tener mezclas pobres la concentración de este gas es mucho menor y se puede mencionar que casi el dosado no llega a afectar. (Payri, 2011f: p. 425)

En los motores a gasolina este tipo de emisión se genera por la disociación de las moléculas de CO₂, este proceso se da a temperaturas superiores a los 2000 °K (temperatura típica de la combustión), este proceso de disociación depende del balance entre los procesos de formación o reacciones rápidas y la oxidación o reacciones lentas. En procesos donde los tiempos de residencia fueran del orden de segundos, las reacciones de oxidación del CO alcanzarían el equilibrio y la cantidad de CO en los gases de escape sería prácticamente nula. Sin embargo, en sistemas con tiempos de residencia cortos, como son los motores de gasolina, las temperaturas bajan muy rápidamente produciéndose la congelación de la reacción y emitiendo una cantidad considerable de CO a la atmósfera. (Payri, 2011g: p. 425)

1.5.10. Óxidos de Nitrógeno

NO_x u óxidos de nitrógeno (NO Y NO₂). En motores se forma principalmente óxido nítrico, NO, (su cinética química es dominante frente a la del NO₂) aunque, en algunos casos, aparece una cantidad apreciable de NO₂ debido a la conversión de NO a NO₂ en zonas de baja temperatura y cantidad de O₂ importante. (Payri, 2011h: p. 419)

1.5.11. Óxido nítrico

Este tipo de gases se presenta en los motores de combustión interna a diésel ya que para su producción deben existir varias condiciones como alta presión, alta temperatura y un exceso de oxígeno. La producción excesiva de este gas al ser combinado con el aire produce un gas de color pardo rojizo que ocasiona daños a la salud como por ejemplo irritación en los ojos, sensación de cansancio, tos e inflamación del sistema respiratorio.

1.5.12. Dióxido de nitrógeno

La formación de NO₂ ocurre cuando las moléculas de NO, procedentes de zonas de alta temperatura, se difunden o son transportadas por mezcla hacia regiones más ricas en H₂O. Las reacciones son muy activas a alta temperatura, por el rápido incremento producido en la concentración de radicales H y O, evitando así la formación de NO₂ en estas condiciones. Así, la producción del NO₂ es inversamente proporcional a la temperatura. (Payri, 2011i: p. 423)

1.5.13. Óxido nitroso

La formación de N₂O se debe principalmente a reacciones que involucran a las especies NH₃ y HCN, que pueden encontrarse entre los volátiles de cualquier combustible que posea especies nitrogenadas en su estructura molecular, además, la producción de este gas solamente se puede dar en presencia de mezclas pobres, esto se debe a la disminución de la temperatura de combustión y a la ausencia de átomos de hidrógeno derivados de una combustión pobre. (Payri, 2011j: p. 424)

1.6. Afecciones de las emisiones contaminantes

Las emisiones contaminantes que afectan a la salud de las personas y contribuyen al deterioro del medio ambiente son:

1.6.1. Efectos del monóxido de carbono (CO)

Dolor de cabeza, mareo, sensación de desvanecimiento y cansancio.

Cuando la exposición a este gas se da por periodos altos, este puede causar somnolencias, alucinaciones, convulsiones y pérdida de conocimiento, además, puede causar cambios en la memoria y en la personalidad, confusión mental y pérdida de visión. (Jarrín, 2015a: p. 9)

Cuando se respira en niveles elevados puede provocar la muerte, ya que disminuye la cantidad de oxígeno disponible para las células, lo cual dificulta la función celular. (Jarrín, 2015b: p. 10)

1.6.2. Efectos de los hidrocarburos (HC)

Este tipo de emisiones pueden producir irritaciones en las membranas mucosas lo que puede causar lesiones sistemáticas al ser inhalados, además, los hidrocarburos causan somnolencia, irritación ocular y tos. (Jarrín, 2015c: p. 10)

El impacto medio ambiental de este tipo de emisiones es que al reaccionar con los óxidos de nitrógeno contribuyen en la formación de ozono troposférico y otros agentes fotoquímicos nocivos. (Jarrín, 2015d: p. 10)

1.6.3. Efectos de los óxidos de nitrógeno (NO_x)

Ante una exposición leve, puede provocar irritación tanto en el sistema respiratorio como afecciones oculares, mientras que, una exposición prolongada afecta al sistema inmune y a los pulmones causando cambios irreversibles en el tejido pulmonar. (Jarrín, 2015e: p. 11)

Los NOx es una sustancia corrosiva para la piel y el sistema respiratorio, provocando enrojecimiento y quemaduras cutáneas graves. (Jarrín, 2015f: p. 11)

El daño que este tipo de emisiones causan al medio ambiente es la producción del esmog fotoquímico. (Jarrín, 2015g: p. 11)

1.7. Factores de emisión

De acuerdo con (Torres Salcedo et al., p.31) se define como la relación existente entre la cantidad de contaminante que se emite hacia la atmosfera y una determinada unidad de actividad o proceso.

1.7.1. Métodos de obtención de los factores de emisión

A continuación, se presentan los métodos utilizados para el cálculo de factores de emisión:

- Método directo: tiene un costo elevado debido a que permite calcular las emisiones contaminantes de un vehículo en condiciones reales. (Urbina Guzmán, 2016a: p.38-39)
- Método indirecto: Es un modelo teórico que se basa en modelos internacionales para su desarrollo. (Urbina Guzmán, 2016b: p.38-39)

1.7.2. Modelo Simplificado de la combustión

De acuerdo con (Barreno Gavilanez, 2017a: p.23) para calcular el modelo simplificado de la combustión se procede a desarrollar la fórmula molecular del combustible, asumiendo que el hidrógeno y el carbono son los componentes principales y que las cantidades de otros elementos son despreciables para el balance de masas. A manera de ejemplo en la tabla 2-2 se observa el equivalente molecular para un combustible que contiene el 20% en peso de hidrógeno y el 80% en peso de carbono (C8H18).

Tabla 2-1: Equivalente molecular

Componente	Libras por cada 100 lb de combustible	Peso molecular	Libras mol por 100 lb de combustible	Libras mol por cada 100 lb de carbono
Hidrógeno	20	1	20	3
Carbono	80	12	6.7	1

Fuente: Barreno Gavilanez, 2017

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

Con base en el ejemplo anterior se puede decir que el peso molecular del combustible viene dado por la fórmula equivalente CH_y , de la cual se obtiene:

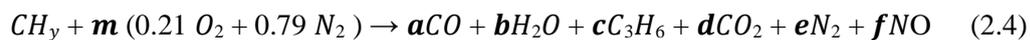
$$y = \left(\frac{\% \text{ peso H}}{\% \text{ peso C}} \right) \left(\frac{PM_C}{PM_H} \right) \quad (2.3)$$

Dónde:

PM: Peso molecular del carbono

PMH: Peso molecular del hidrógeno

Como productos de la combustión tenemos: monóxido de carbono CO, dióxido de carbono CO₂, agua H₂O, propano C₃H₆, nitrógeno N₂ y óxido de nitrógeno NO. En el balance de masas para la combustión no se considera el exceso de oxígeno y está dado por (Barreno Gavilanez, 2017,p.24).



Dónde a, b, c, d, e, f y m son coeficientes estequiométricos desconocidos y se definen como:

m: Moles de aire consumido por mol de combustible consumido

a: Moles formados de CO por mol de combustible consumido

b: Moles formados de H₂O por mol de combustible consumido

c: Moles formados de C₃H₆ por mol de combustible consumido

d: Moles formados de CO₂ por mol de combustible consumido

e: Moles formadas de N₂ por mol de combustible consumido

f: Moles formados de NO por mol de combustible consumido

Los átomos contenidos en la combustión no pueden ser creados ni destruidos, las ecuaciones del balance de masa se pueden escribir como (Barreno Gavilanez, 2017b: p.24):

Elemento	Reactantes	Productos	
Carbono	1	$= a + 3c + d$	(2.5)

Hidrógeno	Y	$= 2b + 6c$	(2.6)
-----------	---	-------------	-------

$$\text{Oxígeno} \quad 0.42 \text{ m} \quad = a + b + 2d + f \quad (2.7)$$

$$\text{Nitrógeno} \quad 1.58 \text{ m} \quad = 2e + f \quad (2.8)$$

Para resolver este sistema de ecuaciones se obtienen de las mediciones de los gases contaminantes en concentraciones volumétricas mediante pruebas dinámicas, con lo que se determinan las relaciones descritas en las ecuaciones 8, 9 y 10 (Barreno Gavilanez, 2017c: p.24)

$$R_{CO} = \left(\frac{\%VCO}{\%VCO_2} \right) = \left(\frac{a}{d} \right) \quad (2.9)$$

$$R_{CO} = \left(\frac{\%VHC}{\%VCO_2} \right) = \left(\frac{c}{d} \right) \quad (2.10)$$

$$R_{CO} = \left(\frac{\%VNO}{\%VCO_2} \right) = \left(\frac{f}{d} \right) \quad (2.11)$$

Dónde:

R_{CO} : Razón de % VCO a % VCO_2

R_{HC} : Razón de % VHC a % VCO_2

R_{NO} : Razón de % VNO a % VCO_2

De donde se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$a = R_{CO} d \quad (2.12)$$

$$c = R_{HC} d \quad (2.13)$$

$$f = R_{NO} d \quad (2.14)$$

Reemplazando estas relaciones en la ecuación 1.4 se obtiene:

$$d = \frac{1}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} \quad (2.15)$$

Con los valores de a, c y f, se puede obtener los factores de emisión (FE) en las siguientes expresiones:

$$FE_{CO} = a * \frac{PMCO}{PMCombustible} = \frac{R_{CO}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{PMCO}{PMCombustible} \quad (2.16)$$

$$FE_{HC} = c * \frac{PMHC}{PMCombustible} = \frac{R_{HC}}{R_{HC} + 3R_{HC} + 1} * \frac{PMHC}{PMCombustible} \quad (2.17)$$

$$FE_{CO} = f * \frac{PMNO}{PM_{Combustible}} = \frac{R_{NO}}{R_{NO}+3 R_{HC}+1} * \frac{PMNO}{PM_{Combustible}} \quad (2.18)$$

Consideramos al octano C_8H_{18} ($CH_{2.25}$) como base principal del combustible y procedemos a determinar el peso molecular del combustible:

$$PM_{Combustible} = \frac{12g C}{mol C} * \frac{1 mol C}{mol Combustible} + \frac{1g H}{mol H} * \frac{2.25 mol H}{mol Combustible} \quad (2.19)$$

$$PM_{Combustible} = 14.25 \frac{g Combustible}{mol Combustible} \quad (2.20)$$

Para obtener el factor de emisión en gramos contaminante por kilómetro recorrido (FE'), es necesario introducir la densidad del combustible $\sigma_{COMBUSTIBLE}$ (kg/m^3) y el consumo de combustible (CC) por distancia recorrida (m^3 / Km) (Barreno Gavilanez, 2017d: p26)

$$F' = F * \delta_{combustible} * CC$$

$$FE'_{CO} = \frac{g co}{km} = \frac{28 \frac{\%CO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + 3 \left(\frac{\%HC}{\%CO_2} \right) + 1} * \frac{\delta_{combustible} * CC}{0.01425} \quad (2.21)$$

$$FE'_{HC} = \frac{g HC}{km} = \frac{42 \frac{\%HC}{\%CO_2}}{\frac{\%HC}{\%CO_2} + 3 \left(\frac{\%HC}{\%CO_2} \right) + 1} * \frac{\delta_{combustible} * CC}{0.01425} \quad (2.22)$$

$$FE'_{NO} = \frac{g NO}{km} = \frac{30 \frac{\%NO}{\%CO_2}}{\frac{\%NO}{\%CO_2} + 3 \left(\frac{\%HC}{\%CO_2} \right) + 1} * \frac{\delta_{combustible} * CC}{0.01425} \quad (2.23)$$

Las ecuaciones 1.21, 1.22, 1.23 son las que nos ayudaran a calcular los factores de emisión necesarios para el desarrollo de nuestro trabajo donde realizaremos pruebas dinámicas ya que es un método para obtener los datos confiables sobre las emisiones contaminantes porque se la realiza en condiciones reales de operación. (Barreno Gavilanez, 2017e: p.26)

1.8. Fuerzas resistivas que afectan al vehículo en movimiento

El análisis de fuerzas resistivas pretende determinar la potencia requerida por parte del motor del vehículo en función de todos los parámetros de carga involucrados.

Las cargas que afectan a un vehículo en movimiento se mencionan a continuación:

- Fuerza debido a la pendiente
- Fuerza debida a la acción de la rodadura
- Fuerza aerodinámica

- Fuerza de tracción

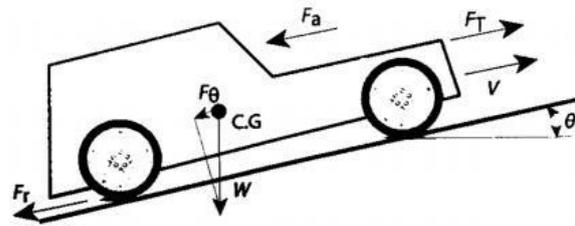


Figura 5-1: Fuerzas resistivas que afectan a un vehículo en movimiento

Realizado por: Calleja, 2018 pág. 2

1.8.1. Fuerzas aerodinámicas

Las fuerzas aerodinámicas que están presentes en un vehículo en movimiento son la resistencia al avance, la de sustentación y las fuerzas laterales. De estas fuerzas, la más importante que se va en contra al desplazamiento del vehículo es la fuerza de arrastre. Es la fuerza que hay que vencer para que el vehículo se desplace dentro de la atmósfera sin tener en cuenta el rozamiento con el suelo. En un vehículo el mayor componente de resistencia aerodinámica se debe a la necesidad de desplazar el aire y las diferencias de presión que provoca cuando él vehículo se desplaza a altas velocidades. Las bajas presiones en la parte posterior del vehículo es la principal causa de resistencia aerodinámica. (Pallango, 2016a: p. 15)

Esta fuerza calcula con la ecuación 1.21.

$$F_A = \frac{1}{2} * C_x * A * \rho * V^2 \quad (2.24)$$

Donde:

F_A : Fuerza de arrastre

C_x : Coeficiente de resistencia aerodinámica o coeficiente de arrastre

A : área frontal del vehículo

ρ : densidad del aire

V : velocidad de desplazamiento del vehículo

El área (A) de la sección transversal del vehículo en la dirección del movimiento para estudios de resistencia aerodinámica se obtiene de los datos del fabricante de estar disponibles en las

especificaciones del fabricante, además puede ser obtenida mediante la proyección de la superficie frontal en una pared plana con la ecuación 1.25. (Pallango, 2016b: p. 16)

$$S = f * B * A \quad (2.25)$$

Donde:

S: superficie del vehículo

f: factor entre 0.8 y 0.85

B: ancho del vehículo

A: altura del vehículo

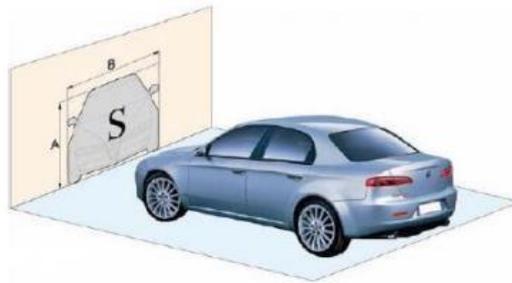


Figura 6-1: Superficie frontal proyectada del área frontal del vehículo

Realizado por: (PALLANGO, 2016 pág. 16)

1.8.2. Fuerza debido a la rodadura

La fuerza debido a la rodadura está directamente relacionada con el efecto resistivo debido a la deformación existente entre el neumático (llanta) y la superficie de apoyo (carretera). (Morales, 2017a: p. 21)

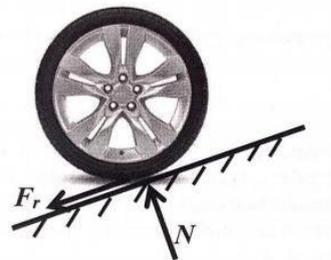


Figura 7-1: Fuerza de rodadura

Realizado por: (Morales, 2017 pág. 21)

Esta fuerza matemáticamente está definida por la expresión 1.26.

$$F_r = C_r * N = C_r * W * \cos\theta \quad (2.26)$$

En donde C_r es el coeficiente de rodadura, el cual se puede obtener de la siguiente tabla:

Tabla 3-1: Coeficientes de rodadura para diferentes superficies de rodadura

Coeficiente C_r	Superficie de contacto
0.0002 a 0.0010	Ruedas de ferrocarril sobre rieles de acero
0.010 a 0.0154	Neumáticos de automóvil sobre hormigón
0.020	Neumáticos de automóvil sobre losa de piedra
0.030 a 0.035	Neumáticos de automóvil sobre alquitrán o asfalto
0.055 a a0.065	Neumáticos de automóvil sobre hierba, barro y arena

Fuente: MORALES, 2017 p. 21

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

1.8.3. Peso del automóvil

Cuando el vehículo se mueve en un plano inclinado aparece una componente de fuerza debida al peso, que se opone a la fuerza de tracción originando una resistencia debida a la pendiente. Debido a esta fuerza por pendiente se hace necesario aumentar la fuerza de tracción para poder desplazar el vehículo. Esta fuerza de pendiente depende del peso y del ángulo de la pendiente. (Pallango, 2016c: p. 14)

Esta fuerza se calcula con la expresión 1.27.

$$F_s = F_G * \text{sen}(\alpha) = m * g * \text{sen}(\alpha) \quad (2.27)$$

Donde:

F_s : Fuerza por pendiente

F_G : Peso del vehículo

α : Ángulo de la pendiente

m : Masa del vehículo

g : aceleración de la gravedad

1.8.4. Fuerza de tracción

Para el movimiento de cualquier cuerpo se necesita la aplicación de una fuerza externa, para el caso de los vehículos esta fuerza necesaria es el motor de combustión interna.

Esta fuerza se relaciona con el radio de la rueda R_T y el par de tracción de acuerdo con la ecuación 1.28.

$$F = \frac{T_T}{R_T} \quad (2.28)$$

Al usar la segunda ley de Newton para relacionar las fuerzas externas sobre el vehículo se obtiene lo siguiente:

$$\sum F = ma$$

$$F_T - F_\theta - F_r - F_a = ma$$

$$F_T = F_\theta + F_r + F_a + ma$$

De tal forma que la fuerza de tracción la podemos obtener con expresión 1.29.

$$F_T = W \sin \theta + C_r W \cos \theta + \frac{1}{2} \rho S K_a V^2 + ma \quad (2.29)$$

La fuerza F_T de tracción considera los efectos de las fuerzas resistivas por pendiente, rodadura, aerodinámica y los efectos inerciales unidireccionales.

La potencia necesaria para poder poner un vehículo en movimiento en función de la velocidad de la determina con la ecuación 1.30.

$$\dot{W} = F_T V \quad (2.30)$$

Reemplazando la ecuación previamente obtenida de la fuerza de tracción F_T se tiene:

$$W = (W \sin \theta + C_r W \cos \theta + \frac{1}{2} \rho S K_a V^2 + ma) V \quad (2.31)$$

En este modelo se incluye la componente inercial, para prever un cambio de velocidad y que podría, en el caso particular del movimiento desde el reposo, usarse para cuantificar la necesidad de potencia para el vehículo. Lo acostumbrado en la literatura es que a partir de la capacidad de potencia que el motor ofrece, determinan que potencia sobra en determinado cambio y con ese remanente de potencia qué aceleración le puede imprimir al vehículo. (Morales, 2017b: pp. 22-23)

1.9. Ciclos de conducción

Los ciclos de conducción son utilizados para la evaluación del consumo y emisiones de los vehículos ya que estos se ajustan al comportamiento real de los automóviles existen ciclos de conducción específicos que vehículos como aquellos que brindan su servicio en las rutas urbanas tienen y son conocidos como ciclos de conducción modales (Jimenez et al., 2013,p.1).

Que son aquellos donde las variables tiempo y velocidad son están definidas mientras que los ciclos de conducción transitorios se acercan más a la realidad ya que presentan perfiles más complejos donde la velocidad puede variar en cada segundo. (Quinchimbla Pisuña et al., 2017a: p.22)

El ciclo de conducción modal está compuesto de secuencias poligonales teóricas donde en los trayectos tomados de la ruta existe una aceleración lineal con períodos de velocidad constante lo que no representa el comportamiento real de un conductor; como por ejemplo lo son el ciclo japonés 10-15MODE o el ciclo europeo NEDC, mientras que el ciclo de conducción transitorio presenta una variación de la velocidad en cada segundo donde se aprecia mejor los cambios de las aceleraciones lo que representa una conducción en condiciones reales en este tipo de ciclos tenemos el ciclo ARTEMIS o el ciclo FTP-75. (Quinchimbla Pisuña et al., 2017b: p.22)

De acuerdo a su uso podemos clasificarlos en legislativos y no legislativos. Los primeros presentan condiciones de referencia esto para el control de las emisiones vehiculares como son : el Japón 10-15, ECE cycle (Europa) o el US 75 Cycle (USA). Por otro lado los no legislativos son utilizados para controlar el consumo de los combustibles y son muy utilizados en la actualidad debido a que utilizan condiciones reales unos ejemplos de ellos son: el ciclo de conducción de Hong Kong o el de Sidney. (Quinchimbla Pisuña et al., 2017c: p.23)

1.10. Correlación

Coefficiente de correlación muestral de Pearson

En 1895 Pearson definió por primera vez el coeficiente de correlación con la siguiente expresión:

$$r_{XY} = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{[\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2]^{0.5}} \quad (2.32)$$

Existen diversos métodos para realizar el cálculo de este coeficiente, pero la expresión 2.32 es la que más uso tiene actualmente. El numerador se expresan las puntuaciones de las variables restadas el promedio, para luego acumular tales valores en el producto cruzado, mientras que, en el denominador es usado para ajustar la escala de las características involucradas y que estas se anulen. (Hernández Lalinde, 2018a: p. 589)

Si se grafica un plano cartesiano cuyo punto de origen sea (\bar{X}, \bar{Y}) , además considérese que se tiene un conjunto de pares n ordenados conformado por el total de mediciones o variables a correlacionar y que se aglomeran al contorno del centro del plano. Cuando los valores de una medición puntual sean mayores que los de la media \bar{X}, \bar{Y} del total de datos, la correlación será positiva de modo que los datos se desplazan de forma creciente en los cuadrantes I y III, como se indica en el caso (a) de la figura 8-1., caso contrario cuando los valores de una medición puntual sean menores que los de la media \bar{X}, \bar{Y} del total de datos, la correlación será negativa de modo que los datos se desplazan de forma decreciente en los cuadrantes II y IV, como se indica en el caso (b) de la figura 8-1. Por último, cuando las desviaciones de las mediciones tienden a compensarse, la correlación resultará ser débil o nula, por lo que puede tener cualquier signo y los puntos se extenderán por toso el plano cartesiano, caso (a) y (b) de la figura 8-1. (Hernández Lalinde, 2018b: p. 589)

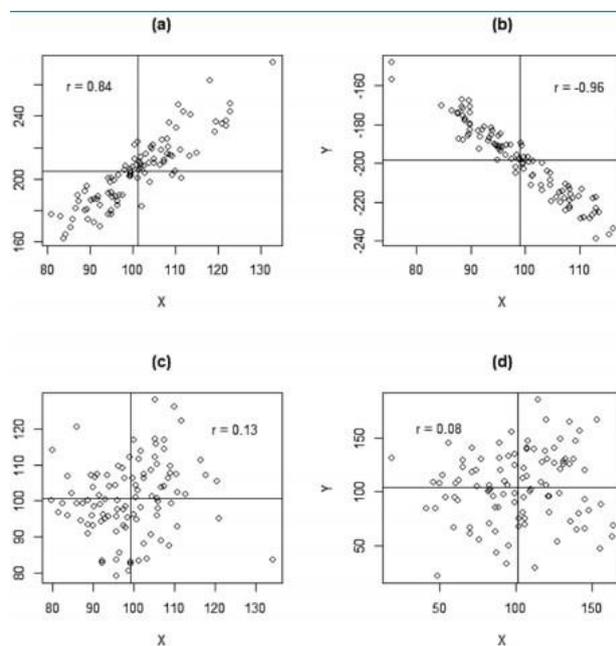


Figura 8-1: Coeficientes de correlación de Pearson

Realizado por: (Hernández Lalinde, 2018 p. 590)

1.10.1. Propiedades del coeficiente R de Pearson

a) Adimensionalidad

Al momento de dividir la suma de los cuadrados del producto XY entre las raíces individuales de las sumas de cuadrados de X y Y , se cancelan las unidades en la que los datos se encuentren lo que hace que los datos sean de fácil interpretación. (Hernández Lalinde, 2018c: p. 590)

b) Rango definido entre -1 y 1

Tabla 4-1: Parámetros estudiados del escáner ELM 327

Valores de r_{XY}	Interpretación
$0.00 \leq r_{XY} \leq 0.10$	Correlación nula
$0.10 \leq r_{XY} \leq 0.30$	Correlación débil
$0.30 \leq r_{XY} \leq 0.50$	Correlación moderada
$0.50 \leq r_{XY} \leq 1.00$	Correlación fuerte

Fuente: (Hernández Lalinde, 2018 p. 590)

c) Relación lineal

El coeficiente de correlación de Pearson mide la relación lineal entre las variables, es decir, si el coeficiente es ± 1 nos indicará que existe una perfecta asociación lineal positiva o negativa, depende del signo del resultado, que tienen los datos en cuestión. De este modo si el valor de correlación es 0, se llegará a la conclusión de que los datos no tienen relación lineal, pero los datos pueden presentar algún otro tipo de vinculación. (Hernández Lalinde, 2018d: p. 590)

d) Simetría

En el caso de simetría, no existe relevancia alguna si se intercambian las posiciones de X y Y, el resultado del coeficiente será el mismo, lo que a su vez implica que, al momento de analizar la correlación, ninguna de las características de interés debe asumirse como explicativa de la otra, de modo que el coeficiente de correlación no puede ser usado para determinar la dirección de la relación lineal entre las variables. (Hernández Lalinde, 2018e: p. 590)

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Metodología para el análisis de las emisiones contaminantes y consumo de combustible con respecto a la altitud

En esta sección se define la recolección de los datos de emisiones contaminantes y PIDs en ruta mediante un método directo, on board en tiempo real, considerando principalmente la variación de la altitud en las diferentes rutas del país, mediante el uso del analizador MET 6.3 y el escáner automotriz ELM 327, estos datos fueron recolectados en un vehículo Kia Rio excite del año 2009 que cuenta con un motor de 1600cc.

2.2. Enfoque

El enfoque que se va a utilizar en este trabajo de titulación será de tipo cuantitativo, dado que se analizará la metodología para la recolección y procesamiento de datos de emisiones contaminantes y PIDs, que se presentaron en cada trayecto de estudio, cabe recalcar que los datos obtenidos deberán ser filtrados, de modo que los datos del analizador y escáner presenten una buena correlación.

2.3. Modalidad de la investigación

2.3.1. Investigación del campo

Se recogerá toda la información que posibilite realizar una recolección de datos eficaz, con el fin de evitar al máximo en número de errores que se puedan presentar a lo largo de la duración de las pruebas on board en ruta, producidas por las variaciones de altitud, cambios climáticos, estado de la carreta, estado del vehículo y estado de los equipos.

2.3.2. Investigación bibliográfica

Mediante la utilización de diferentes artículos científicos de estudio similares, tesis, Libros de Motores de combustión Interna, Normas Nacionales e internacionales en emisiones, de tal forma que podamos ampliar el conocimiento acerca de las emisiones contaminantes y como estas se comportan al variar la altitud.

2.3.3. Investigación experimental

Durante el desarrollo de la presente investigación experimental se podrá determinar datos de emisiones como CO₂, CO, NO_x, HC de la misma forma con PIDs como RPM, temperatura del motor, GPS Altitud, GPS speed, consumo de combustible, etc. De tal forma que se puedan obtener datos confiables para poder calcular factores de emisión, fuerzas resistivas y potencia necesaria, producidos por la variación de la altitud.

2.4. Tipo de investigación

2.4.1. Investigación exploratoria

Se basará en el estudio de la influencia de la variación de la altitud con respecto a los gases contaminantes emanados por parte del automóvil, el mismo que recorrerá varias rutas con el fin de obtener suficientes datos que nos ayuden en la investigación.

2.4.2. Investigación descriptiva

Hace referencia de ir detallando paso a paso todo lo que se va realizando para la obtención y filtrado de los valores emitidos por el analizador de gases y el escáner así mismo como de algunos valores calculados necesarios para la investigación los cuales serán esenciales para su posterior análisis

2.4.3. Investigación explicativa

Se dará a conocer todo lo referente al estudio de la influencia de la altitud en las emisiones contaminantes y consumo de combustible, con el objetivo de generar la fácil comprensión por parte de todos los interesados en este tipo de investigación.

2.5. Población y muestra

2.5.1. Población

El desarrollo de este proyecto de investigación se realizará por medio del análisis de cinco rutas específicas tomando en consideración la altitud característica presente en las mismas, a lo largo de la costa, sierra y oriente.

2.5.2. Muestra

Debido al stand by producido por el analizador de gases MET 6.3 se tomará muestras de emisiones y PIDs de 30 minutos de duración los mismos que se realizaran hasta tener un tiempo total de 45 horas de análisis en carretera.

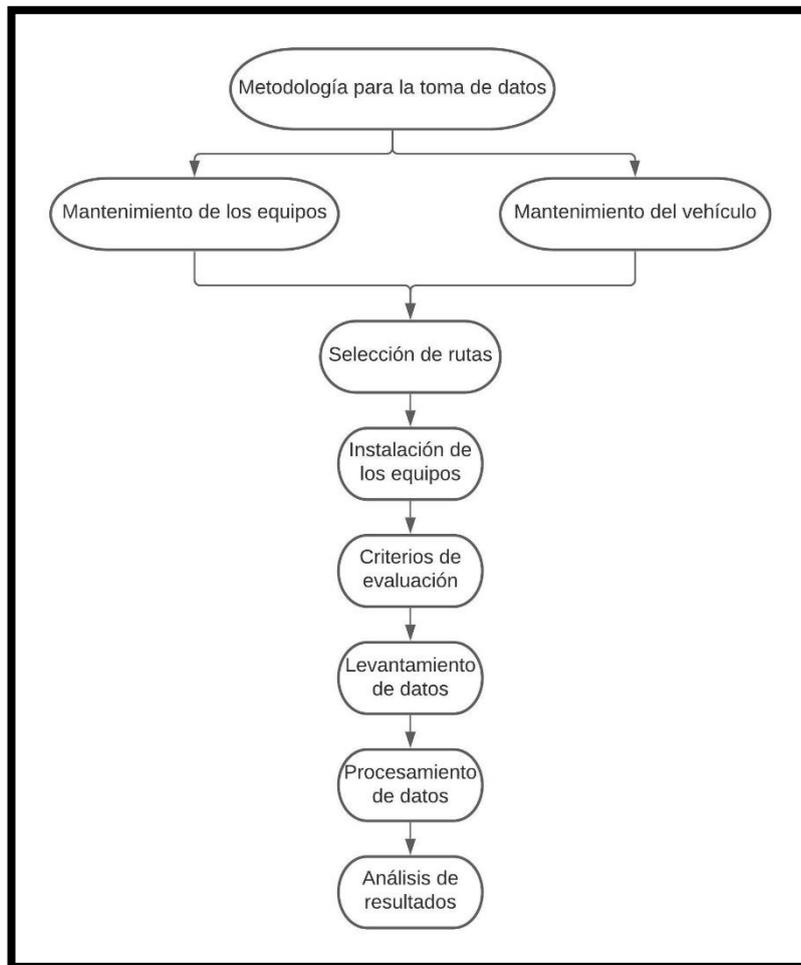


Figura 1-2: Metodología para la toma de datos

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

2.6. Evaluación del estado de los equipos y vehículo usado

2.6.1. Analizador MAHA MET 6.3

El analizador de gases MAHA MET 6.3 es un analizador de gases que permite el análisis preciso de los componentes gaseosos HC, CO, CO₂, O₂ con cálculo del valor Lambda, donde todos los valores de medición de HC, CO, CO₂, O₂, valor K, opacidad, concentración de partículas pueden visualizarse al mismo tiempo. Que pertenece a la escuela de ingeniería Automotriz de la facultad de mecánica de la escuela superior politécnica de Chimborazo se utilizó para la recolección de las emisiones contaminantes, al cual recibió mantenimiento preventivo además de una calibración proporcionada por la empresa LEAL IMPORTACIONES.



Figura 2-1: Analizador de gases MAHA MET 6.3

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

2.6.2. Instalación de software del equipo MAHA MET 6.3

Para la utilización del equipo fue necesaria la instalación de dos softwares MAHA y MAHA VIEWER los mismos que fueron proporcionados por el personal de la empresa los cuales permiten la realización de pruebas estáticas y dinámicas.

2.6.3. ELM 327

El interfaz ELM327 es un dispositivo que permite la conexión desde la computadora o teléfono móvil al vehículo, para el diagnóstico de vehículos equipados con sistemas OBD II . (Calva Montoya et al., 2020 pp.43-44)

En este estudio se emplea el dispositivo OBD II tipo WiFi, ELM327, con el manejo de los siguientes protocolos de comunicación:

- Automatic
- ISO 9141-2 (5 baud init, 10.4 Kbaud)
- ISO 15765-4 CAN (11 bit ID, 500 Kbaud)
- ISO 15765-4 CAN (29 bit ID, 250 Kbaud)
- SAE J1850 PWM (41.6 Kbaud)
- ISO 14230-4 KWP (5 baud init, 10.4 Kbaud)
- ISO 15765-4 CAN (29 bit ID, 500 Kbaud)
- SAE J1939 CAN (29 bit ID, 250 Kbaud)
- USER 2 CAN (11 bit ID, 50 Kbaud)

- SAE J1850 VPW (10.4 Kbaud)
- ISO 14230-4 KWP (fast init, 10.4 Kbaud)
- ISO 15765-4 CAN (11 bit ID, 250 Kbaud)
- USER 1 CAN (11 bit ID, 125 Kbaud)

El dispositivo ELM327 permite obtener datos de la unidad de control del automóvil y enviar esta información a un software que permita la interpretación de datos de la ECU. (Calva Montoya et al., 2020, p.43-44)

2.6.4. TORQUE PRO

Esta aplicación propia de Android, emplea la tecnología bluetooth y WiFi para conectarse con la computadora del vehículo, a través de un dispositivo OBD II, y envía información útil acerca del estado del automotor a través de PIDs que solicita el investigador. (Calva Montoya et al., 2020, p.44)

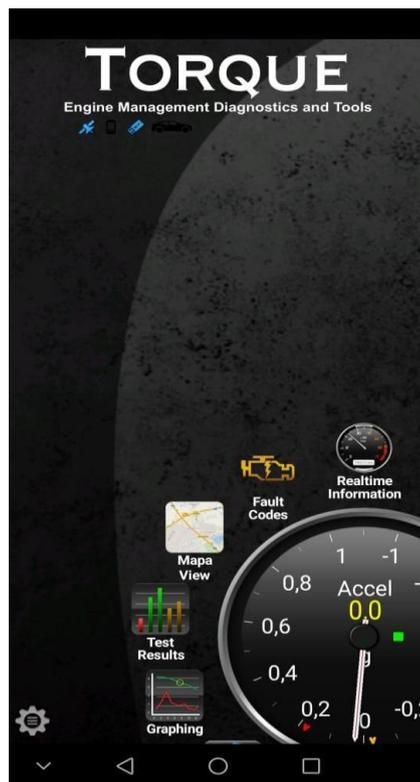


Figura 3-2: Aplicación Torque pro

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

La figura 3-2, muestra la interfaz Torque Pro, que con la ayuda del dispositivo ELM327, obtiene un registro de datos PID del automóvil (información de sensores y actuadores), registro posicional

del automóvil (GPS) e información del consumo de combustible segundo a segundo del automóvil. Los dispositivos OBD II, a través de la aplicación Torque Pro, al igual que varias aplicaciones para celular, calculan el flujo de combustible de tres maneras, (Calva Montoya, y otros, 2020, p.44) y son:

- Relación propia de protocolos del automóvil
- Basado por MAF
- Basado por MAP

2.6.5. Ficha técnica KIA RIO EXCITE 2009

Tabla 1-2: Información del vehículo utilizado

Número de cilindros	4
Número de válvulas	4
Potencia @ rpm	125 cv @ 6000 rpm
Torque @ rpm	125 Nm @ 4700 rpm
Tracción	Delantera
Puertas	5
Pasajeros	5
Distribución	Dos árboles de leva en la culata
Desplazamiento	1399 cc
Velocidad máxima	177 km/h
Longitud	4240 mm
Anchura	1695 mm
Altura	1470 mm
Peso	1079 kg
Disposición de cilindros	En línea
Diámetro del pistón	75.5 mm
Carrera	78.1 mm
Alimentación	Inyección indirecta
Transmisión	5 velocidades

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020



Figura 4-2: Vehículo utilizado

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

2.7. Desarrollo

Mantenimiento vehicular

Con la finalidad de obtener datos correctos sin errores se procedió a realizar un mantenimiento preventivo del vehículo a utilizar, donde se realizó lo siguiente:

- ABC de motor
Se realizó los siguientes mantenimientos:
 - ✓ Cambio de Bujías
 - ✓ Cables de bujías
 - ✓ Limpieza de Inyectores
 - ✓ Cambio de microfiltros
 - ✓ Limpieza del cuerpo de aceleración
 - ✓ Cambio del filtro de combustible
 - ✓ Cambio del filtro de aire

- ABC de frenos
Se dio mantenimiento a:
 - ✓ Cambio de pastillas
 - ✓ Enderezada de discos
 - ✓ Engrasada los pasadores
 - ✓ Lijado de zapatas de freno
 - ✓ Limpieza en general

- Revisión de fluidos
Se procedió a revisar el nivel de los siguientes fluidos:
 - ✓ Aceite del motor
 - ✓ Aceite de la caja de transmisión
 - ✓ Refrigerante
 - ✓ Líquido de frenos
 - ✓ Hidráulico
- Revisión de la suspensión
- Revisión de la presión de los neumáticos

2.8. Definición de las rutas

Las rutas que se usaron para el desarrollo del presente trabajo de investigación fueron seleccionadas de tal forma que podemos abarcar y analizar todas las altitudes relevantes del relieve geográfico de nuestro país, por lo cual, se han seleccionado 5 rutas específicas que a lo largo de su trayecto nos permitan recoger datos de emisiones contaminantes y PIDs en las tres regiones naturales (costa, sierra y oriente), pasando de altitudes mayores a los 3000 msnm a estar al nivel del mar.

Debido a las condiciones de carretera, tráfico, modo de conducción, condiciones ambientales y el stand by del analizador de gases hicieron que la duración de cada trayecto analizado en varias ocasiones sea superior al tiempo estimado de ruta.

- ✓ Ruta 1: Riobamba – Puyo

Tabla 2-1: Descripción de la ruta 1

Tramo		Distancia	Duración aproximada	Altitud [msnm]	Temperatura media [°C]
Ida		136 km	2h y 47 min	2754 – 950	18
Vuelta		135 km	2h y 43 min	950 – 2754	18

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

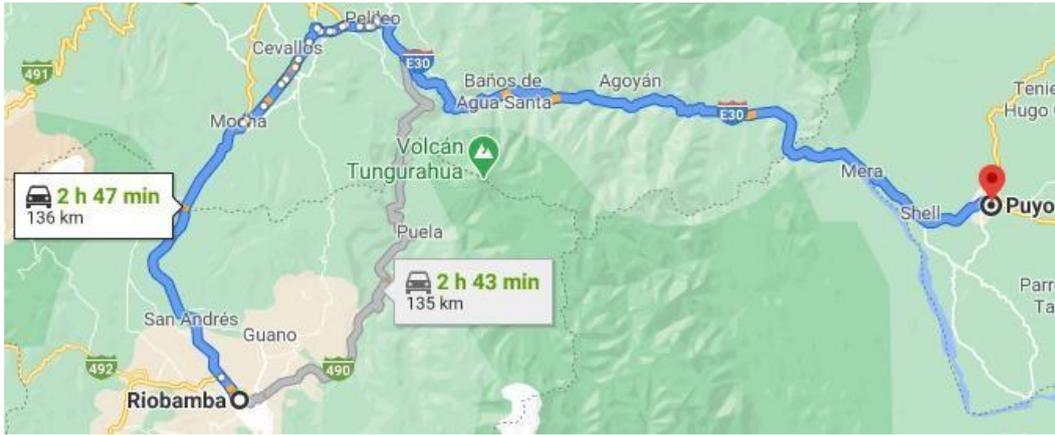


Figura 5-2: Trayecto de ida, Riobamba-Puyo

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

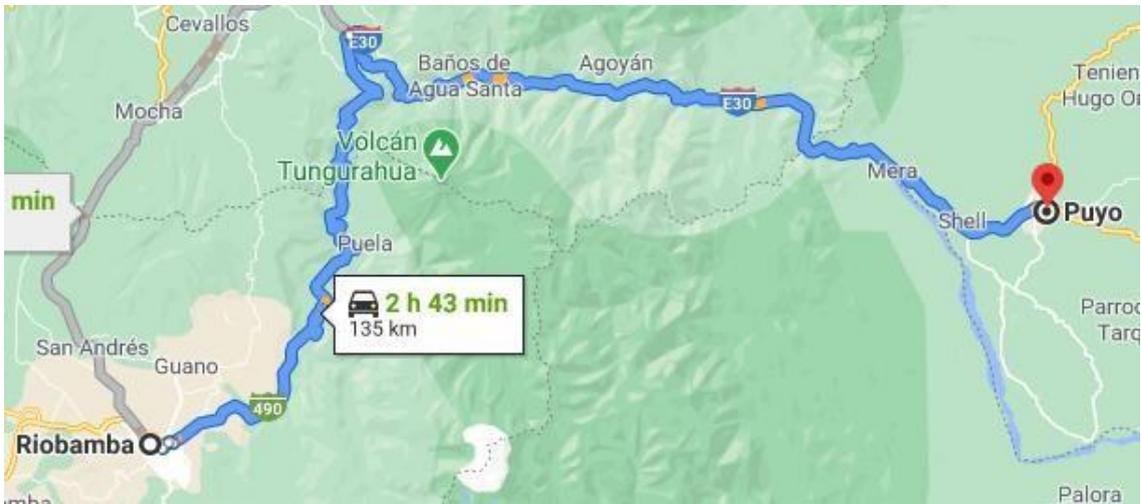


Figura 6-2: Trayecto de vuelta, Riobamba-Puyo

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

✓ Ruta 2: Riobamba – Babahoyo

Tabla 3-2: Descripción de la ruta 2

Tramo	Distancia	Duración aproximada	Altitud [msnm]	Temperatura media [°C]
Ida	156 km	3h y 01 min	2754 – 8	24.5
Vuelta	156 km	3h y 01 min	8 - 2754	24.5

Fuente: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

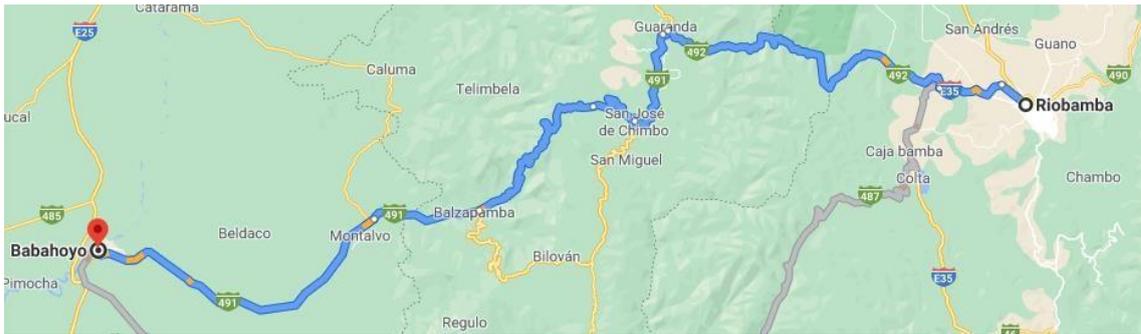


Figura 7-2: Trayecto Riobamba-Babahoyo

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

✓ Ruta 3: Riobamba – Zhud

Tabla 4-2: Descripción de la ruta 3

Tramo	Distancia	Duración aproximada	Altitud [msnm]	Temperatura media [°C]
Ida	166 km	2h y 53 min	2754 - 3291	19.5
Vuelta	166 km	2h y 53 min	3291 - 2754	19.5

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020



Figura 8-2: Trayecto Riobamba-Zhud

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

✓ Ruta 4: Riobamba - Manta

Tabla 5-2: Descripción de la ruta 4

Tramo	Distancia	Duración aproximada	Altitud [msnm]	Temperatura media [°C]
Ida	543 km	9h y 04 min	2754 – 6	30.5
Vuelta	511 km	8h y 24 min	6 - 2754	26.5

Fuente: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

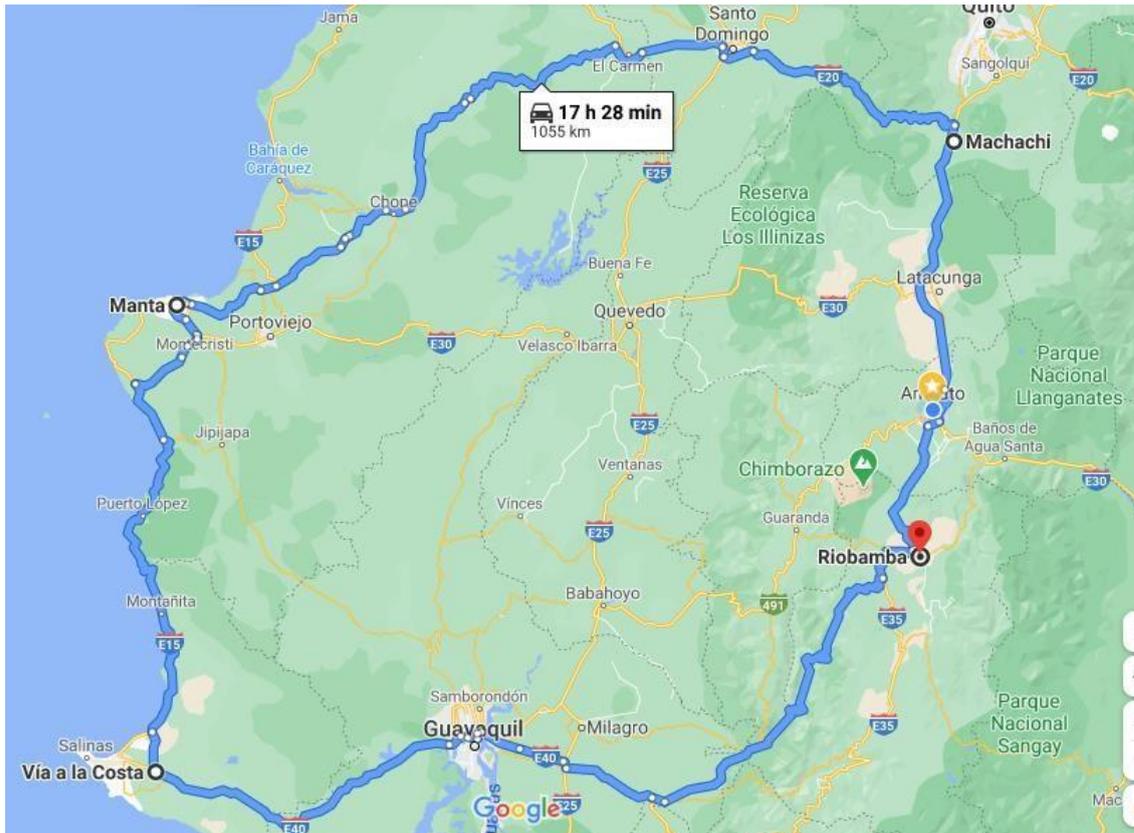


Figura 9-2: Trayecto Riobamba-Manta

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

✓ Ruta 5: Riobamba – Macas

Tabla 6-2: Descripción de la ruta 5

Tramo	Distancia	Duración aproximada	Altitud [msnm]	Temperatura media [°C]
Ida	158 km	2h y 58 min	2754 – 1050	21
Vuelta	158 km	2h y 58 min	1050 - 2754	21

Fuente: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

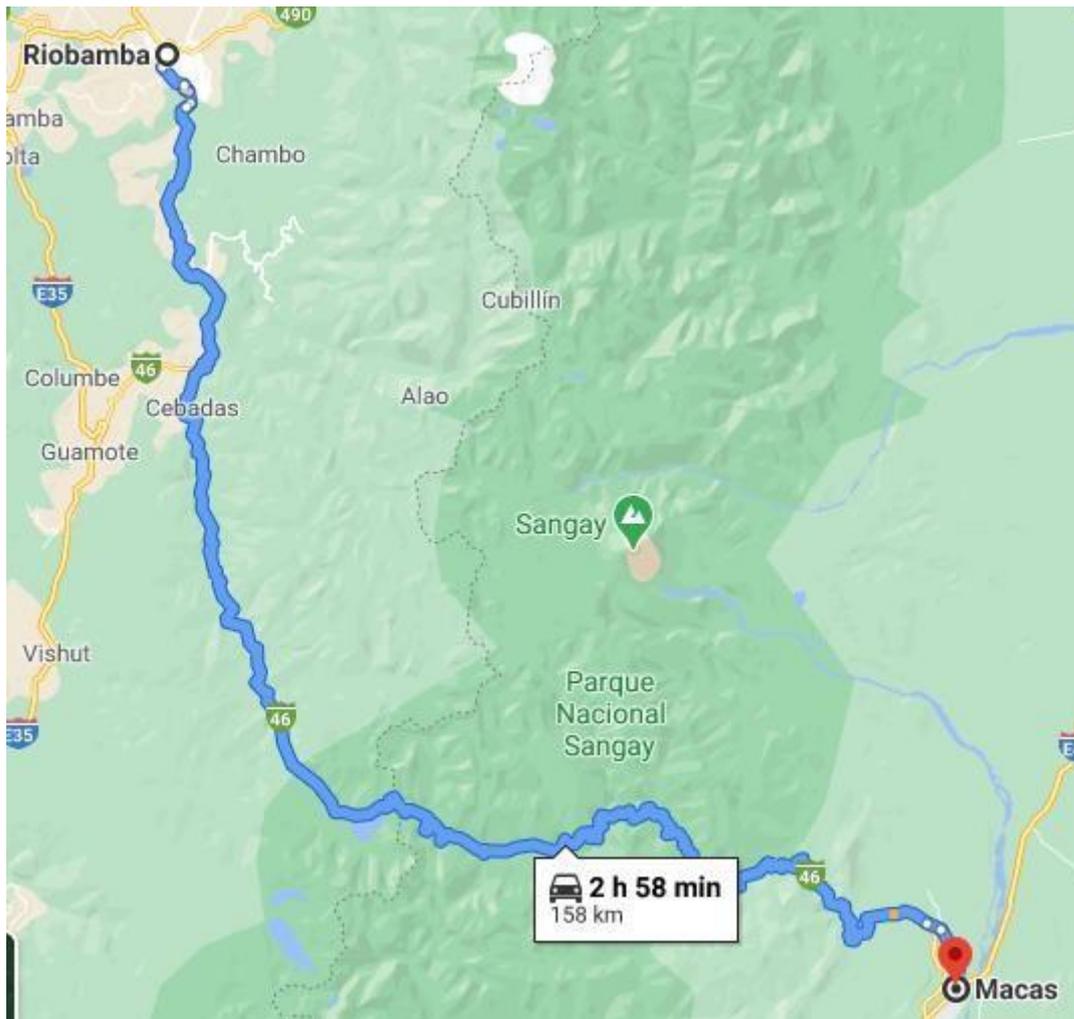


Figura 10-2: Trayecto Riobamba-Manta

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

2.9. Instalación de los equipos

Para poder realizar el análisis on board fue necesario instalar en el vehículo los siguientes equipos:

2.9.1. Inversor de voltaje

- I. Como primer paso para la instalación del inversor se instalaron cables 14 desde los bornes de conexión del inversor a los bornes positivo y negativo de la batería.



Figura 11-2: Conexión del inversor a la batería

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

- II. Para poner en funcionamiento el inversor se debe primero encender el vehículo para evitar el deterioro de la batería y así poder conectar los demás componentes.



Figura 12-2: Instalación del inversor de voltaje

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

2.9.2. Regulador de voltaje

- III. Para evitar daños en los equipos se procedió a instalar un regulador de voltaje a la salida del inversor, además, para poder hacer uso de toda su potencia y conectar múltiples dispositivos.



Figura 13-2: Instalación del regulador de voltaje

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

2.9.3. Analizador

- IV. El analizador de gases MAHA MET 6.3, es el primer equipo de medición que se instaló para lo cual, primero se procedió con su encendido para lograr que este llegue a su temperatura de trabajo ideal.



Figura 14-2: Encendido del analizador de gases

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

- V. De manera continua se procedió con la instalación de la sonda, la cual debía ser colocada en el tubo de escape, por lo que se la aseguró por debajo del asiento de los pasajeros, se la fijó con abrazaderas plásticas por todo su recorrido y para que quede fija en el tubo de escape se usó una abrazadera metálica No 42.



Figura 15-2: Instalación de la sonda en el tubo de escape

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

- VI. Con el fin de prolongar la vida útil del equipo y evitar que se generen errores en las mediciones, se optó por instalar un filtro a la entrada de la sonda en el analizador de gases.



Figura 16-2: Instalación del filtro a la entrada de la sonda

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

2.9.4. Computadoras portátiles

VII. Para poder recoger los datos de emisiones y del cambio de marcha que se realizaba en el vehículo, se usaron dos computadoras.

En la primera computadora, se instaló el software MAHA y MAHA Viewer con los cuales se realizó la toma de datos en tiempo real de las emisiones analizadas.



Figura 17-2: Software MAHA

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

En la segunda computadora, para poder registrar los datos de cambio de marcha estuvimos en la necesidad de crear un programa en Labview que funcionaba a partir de la observación y registro del copiloto en el momento del cambio de marcha.

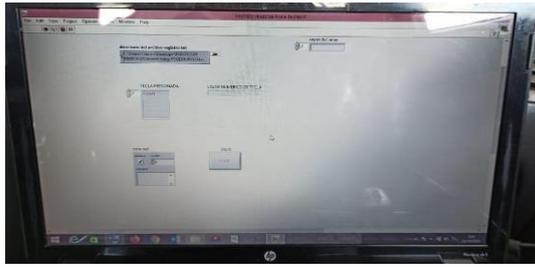


Figura 18-2: Software de registro de marchas

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

2.9.5. Escáner

Para la toma de PIDs se utilizó el escáner ELM 327 juntamente con la aplicación Torque Pro instalada en un celular, que funcionaba mediante una conexión wifi, generada por el mismo escáner.



Figura 19-2: Software de registro de marchas

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

2.10. Selección de los datos a analizar

En función del enfoque del presente trabajo de titulación nos enfocamos en los siguientes parámetros:

Tabla 7-2: Parámetros estudiados del analizador de emisiones

ANALIZADOR MET 6.3

PARÁMETRO	Unidad
CO	%
CO2	%
NO	ppm
HC	ppm
O2	%
LAMBDA	-

Fuente: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

Tabla 8-2: Parámetros estudiados del escáner ELM 327

ESCÁNER ELM 327

PID	Unidad
ALTURA GPS	m
BARÓMETRO (EN DISPOSITIVO ANDROID)	atm
CARGA DEL MOTOR	%
CAUDAL DE AIRE	g/s
COMBUSTIBLE RESTANTE	gal
FLUJO DE COMBUSTIBLE	l/h
DISTANCIA DE TRAYECTO	m
EFICIENCIA VOLUMÉTRICA	%
POTENCIA DEL MOTOR	KW
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	l/Km
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	l/100 km

CONSUMO DE COMBUSTIBLE	mpg
VOLTAJE DEL SENSOR O2	V
TORQUE	Ft/lb
POSICIÓN DE LA ALETA DE ACCELERACIÓN	%

Fuente: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

2.11. Levantamiento de datos

Se utilizó la técnica on board para la recolección de datos, la misma que tenía el siguiente procedimiento:

1. Una vez instalados los equipos en el vehículo se procedió a encender el equipo analizador de gases el mismo que al estar en su temperatura de funcionamiento optima debíamos proceder a conectar la sonda para el cálculo de residuos de HC donde este debía registrar valores por debajo de los 20 ppm caso contrario no se procedía con la medición de los gases contaminantes, El procedimiento para el registro de las emisiones en el software MAHA Viewer, consistía en seleccionar en el apartado de configuración del MET 6.3, los valores a registrar los cuales se mencionan a continuación:
 - CO
 - CO2
 - NOX
 - HC
 - O2
 - LAMBDA

El registro de las emisiones contaminantes se lo realizaba cada segundo.

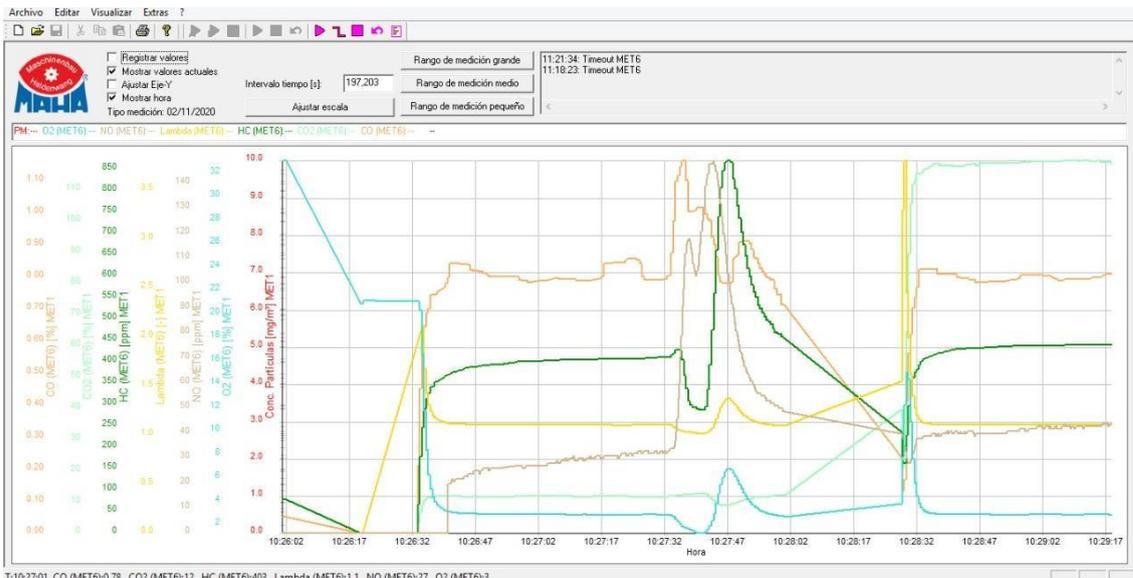


Gráfico 1-2: Archivo .xlsx

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

2. Juntamente con las mediciones anteriores se realiza el registro del cambio de marcha que consiste en: abrir el programa de registro desde LabView, crear un archivo de texto en el cual se registrarán tales datos, correr el programa e ir registrando manualmente cada cambio de marcha que el chofer realice en la prueba.

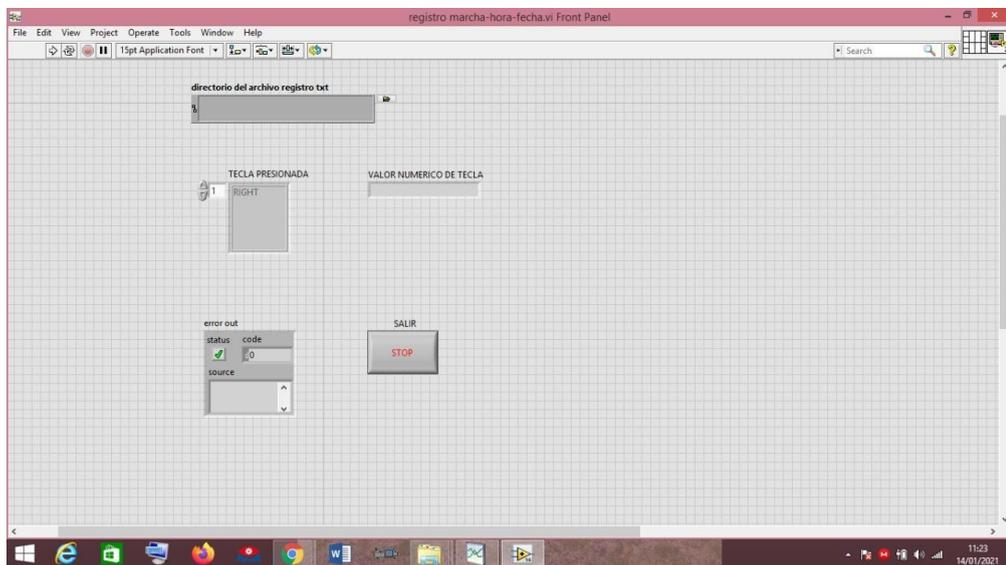


Figura 20-3: Archivo .xlsx

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

3. Una vez definido lo anterior se procede a iniciar la medición la misma que registra los valores de emisiones en tiempo real, Al mismo tiempo se procede a iniciar el registro de

los PIDs en la aplicación Torque Pro, cabe recalcar que estos datos pueden ser exportados como un archivo .csv.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	GPS Time, Device Time, Longitude, Latitude, GPS Speed (Meters/second), Horizontal Dilution of Precision, Altitude, Bearing, G(x), G(y), G(z), G(calibrated), GPS Altitude(m), Engine Load(%), Charge air cooler temperat															
2	Mon Oct 19 13:33:06 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:20.074,-78.68366187450397,-1.6597459483073056,0.0,4.9,2843.269517888315,195.2323,1.44609785,4.92247868,8.7053175,0.04515417,2843.26953125,31.37254906,-															
3	Mon Oct 19 13:33:07 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:21.070,-78.68366187450397,-1.6597459483073056,0.0,4.9,2843.269517888315,195.2323,1.47482824,4.91290188,8.7053175,0.04703587,2843.26953125,31.37254906,-															
4	Mon Oct 19 13:33:08 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:22.070,-78.68366187450397,-1.6597459483073056,0.0,4.9,2843.269517888315,195.2323,1.64721072,4.93205547,8.6957407,0.04351496,2843.26953125,31.37254906,-															
5	Mon Oct 19 13:33:09 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:23.070,-78.68366187450397,-1.6597459483073056,0.0,4.9,2843.269517888315,195.2323,1.60890353,4.75967312,8.72447109,0.04701864,2843.26953125,33.72549057,-															
6	Mon Oct 19 13:33:10 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:24.070,-78.68366187450397,-1.6597459483073056,0.0,4.9,2843.269517888315,195.2323,1.74297881,4.75009632,8.72447109,0.04720705,2843.26953125,33.72549057,-															
7	Mon Oct 19 13:33:11 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:25.070,-78.68366187450397,-1.6597459483073056,0.0,4.9,2843.269517888315,195.2323,1.50355864,5.33428144,8.51378155,0.05119998,2843.26953125,33.72549057,-															
8	Mon Oct 19 13:33:13 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:26.070,-78.68366187450397,-1.6597459483073056,0.0,4.9,2843.269517888315,195.2323,1.27371526,4.75967312,8.31266785,0.06993354,2843.26953125,26.66666794,-															
9	Mon Oct 19 13:33:13 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:27.070,-78.68366187450397,-1.6597459483073056,0.0,4.9,2843.269517888315,195.2323,1.49398184,5.60243177,8.66701031,0.03946828,2843.26953125,26.66666794,-															
10	Mon Oct 19 13:33:14 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:28.070,-78.68365943439169,-1.6597558072251009,0.6629324,35.706474,2843.27125689853,195.2323,1.66636443,5.19062948,9.0788126,0.05816621,2843.27124023,24															
11	Mon Oct 19 13:33:15 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:29.070,-78.68365575275419,-1.6597716139036158,1.1524217,36.683918,2843.2373132873327,162.64139,1.89620769,5.4875102,8.51378155,0.04935709,2843.2373046															
12	Mon Oct 19 13:33:16 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:30.070,-78.68365114264299,-1.6597944988802333,1.6832438,37.364834,2843.212017719634,169.03171,1.74297881,5.52581739,7.75721359,0.03767731,2843.2119140															
13	Mon Oct 19 13:33:17 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:31.069,-78.68365131761351,-1.6598201542228148,1.8067354,38.118855,2843.1724706757814,175.20805,1.90578461,5.68862343,8.08282471,-0.01660073,2843.17236															
14	Mon Oct 19 13:33:18 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:32.069,-78.68365699626224,-1.65985050407291813,2.1243494,38.061413,2843.1766312010586,183.36298,1.9153614,5.76523781,9.44273186,0.0483212,2843.17651367															
15	Mon Oct 19 13:33:19 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:33.069,-78.68366868213599,-1.6598877432313082,2.8881078,37.751286,2843.1861120834947,195.3967,1.55144274,5.52581739,9.97903252,0.0830029,2843.18603516															
16	Mon Oct 19 13:33:20 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:34.071,-78.68367846194383,-1.659923387695105,3.5324762,37.879776,2843.186052941717,193.9233,0.78529817,5.43962622,7.29752684,0.02839095,2843.18603516															
17	Mon Oct 19 13:33:21 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:35.071,-78.6836877781579,-1.6599655414434666,4.1803384,38.327232,2843.172824983485,189.03522,2.28885674,5.31512785,9.15542698,0.06824677,2843.1728515															
18	Mon Oct 19 13:33:22 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:36.069,-78.68369903596968,-1.660004479049103,4.534282,38.475426,2843.163762891665,191.80084,2.07816696,5.07570744,9.46188545,0.02495383,2843.16381836															
19	Mon Oct 19 13:33:23 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:37.072,-78.68371277559162,-1.6600465234412894,4.768481,38.880554,2843.0490918159485,192.82423,1.98239899,4.47236872,8.6861639,0.08047875,2843.04907227															
20	Mon Oct 19 13:33:24 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:38.070,-78.68373526112812,-1.6600986069849857,5.2580013,39.45556,2842.882495958358,196.21858,2.02070618,5.36301184,6.93360806,0.04143122,2842.88256836															
21	Mon Oct 19 13:33:25 GMT-05:00 2020,19-oct.-2020 13:33:39.070,-78.68376642277002,-1.6601543357190733,5.8544145,39.720844,2842.7040123483166,201.05722,2.60489154,5.61200857,7.20175886,0.01101119,2842.7041015															

Figura 21-4: Archivo .xlsx

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

- Una vez transcurridos 30 minutos de prueba, la medición se reiniciaba por tal motivo, se debía detener el vehículo hasta que transcurra el stand by del analizador, una vez superado este tiempo se procedía de nuevo con la prueba.
- Al finalizar con el análisis de cada ruta se procedía a cambiar el filtro con el fin de precautelar el buen funcionamiento y alargar la vida útil del analizador. Además, se debe soplear con aire comprimido la sonda para eliminar cualquier resto de carbonilla o resto que se pueda generar por la combustión.



Figura 22-5: Cambio de filtro

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

2.12. Procesamiento de datos

2.12.1. Exportación de datos

Dado que el formato de archivo predeterminado que el analizador de gases y escáner arrojan es .csv (Valores separados por comas) se deben transformar a un archivo de Excel .xlsx para poder tener una base de datos editable.

7	23:50,1	1,083	3,385	119,900002	209	0,903	335	0,24
8	23:51,1	2,084	2,88	121,099998	209	0,918	343	0,28
9	23:52,1	3,074	3,539	121	209	0,905	399	0,34
10	23:53,1	4,077	3,46	121	209	0,904	382	0,28
11	23:54,1	5,077	3,529	121,300003	210	0,902	359	0,27
12	23:55,1	6,082	4,057	120,900002	212	0,889	351	0,26
13	23:56,1	7,082001	4,25	116,900002	217	0,88	314	0,23
14	23:57,1	8,081	4,331	116,900002	232	0,877	282	0,21
15	23:58,1	9,081	4,36	116,5	233	0,876	262	0,2
16	23:59,1	10,081	3,788	116,800003	223	0,889	252	0,2
17	24:00,1	11,084	1,721	126,400002	187	0,954	251	0,31
18	24:01,1	12,08	0,705	129,5	173	1,004	350	0,68
19	24:02,1	13,075	0,429	130,399994	170	1,025	505	0,9
20	24:03,1	14,081	0,43	134,100006	169	1,02	625	0,82
21	24:04,1	15,078	0,513	134,100006	169	1,009	672	0,65

Figura 23-6: Archivo .csv
Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

No	Hora	CO (MET6)	CO2 (MET6)	CO2	HC (MET6)	HC ppm	Lambda (MET6)	NO (MET6)	NO ppm	O2 (MET6)	A	Z	B	X	CB18 GASOLINA	AIRE	CO mol	F2 CO g/km	CO2 mol	F2 CO g/km
1	23/10/2020 8:50:55,39	0,49200	135,70000	13,57000	340,00000	0,00034	1,03000	51,00000	0,00005	1,21000	1,75792	15,82043	22,93624	86,24024	200,40288	3148,68703	13,77600	13,44282	597,07999	582,63919
2	23/10/2020 8:50:56,39	0,49300	135,70000	13,57000	341,00000	0,00034	1,03000	51,00000	0,00005	1,21000	1,75805	15,82156	22,93730	86,24424	200,41718	3148,83303	13,78400	0,00000	597,07999	0,00000
3	23/10/2020 8:50:57,40	0,49200	136,60000	13,66000	341,00000	0,00034	1,03000	51,00000	0,00005	1,21000	1,76917	15,81548	23,07687	86,78800	201,88330	3161,98050	13,79600	0,00000	601,54003	0,00000
4	23/10/2020 8:50:58,40	0,49300	136,50000	13,65000	343,00000	0,00034	1,02900	51,00000	0,00005	1,21000	1,76805	15,81156	23,08231	86,71425	201,55730	3165,99337	13,80400	0,00000	600,60000	0,00000
5	23/10/2020 8:50:59,40	0,49300	136,50000	13,65000	343,00000	0,00034	1,02900	51,00000	0,00005	1,21000	1,76805	15,81156	23,08231	86,71425	201,55730	3165,99337	13,80400	0,00000	600,60000	0,00000
6	23/10/2020 8:51:00,40	0,49300	136,50000	13,65000	343,00000	0,00034	1,02900	51,00000	0,00005	1,21000	1,76805	15,81156	23,08231	86,71425	201,55730	3165,99337	13,80400	0,00000	600,60000	0,00000
7	23/10/2020 8:51:01,42	0,49300	136,50000	13,65000	343,00000	0,00034	1,02900	51,00000	0,00005	1,21000	1,76805	15,81156	23,08231	86,71425	201,55730	3165,99337	13,80400	0,00000	600,60000	0,00000
8	23/10/2020 8:51:02,43	0,49300	136,99999	13,64000	344,00000	0,00034	1,02900	52,00000	0,00005	1,20000	1,76880	15,80031	23,08688	86,81790	201,41488	3162,47564	13,80400	0,00000	600,19997	0,00000
9	23/10/2020 8:51:03,44	0,49300	136,99999	13,64000	344,00000	0,00034	1,02900	52,00000	0,00005	1,20000	1,76880	15,80031	23,08688	86,81790	201,41488	3162,47571	13,80400	60,15997	703,85100	0,00000
10	23/10/2020 8:51:04,44	0,82300	135,70000	13,57000	345,00000	0,00035	1,01800	52,00000	0,00005	1,20000	1,79930	15,82183	23,27793	87,52500	205,11990	3185,59465	13,80400	122,60944	597,07999	578,86342
11	23/10/2020 8:51:05,46	1,34400	134,70000	13,47000	343,00000	0,00035	1,02000	64,00000	0,00006	1,18000	1,85192	16,66644	23,65520	88,94371	211,11914	3247,39239	37,63200	117,06372	592,67999	1843,67978
12	23/10/2020 8:51:06,46	1,41000	133,20000	13,32000	344,00000	0,00034	1,01900	122,00000	0,00012	1,09000	1,84142	16,57194	23,61013	87,98781	209,82320	3142,48333	39,48000	160,00388	588,07999	2373,24138
13	23/10/2020 8:51:07,46	1,08600	132,20000	13,22000	336,00000	0,00034	1,05000	231,00000	0,00023	1,09000	1,78842	16,09492	22,90058	86,10605	203,87965	3143,79108	30,40800	51,23804	581,87999	980,14149
14	23/10/2020 8:51:08,45	0,78300	125,10000	12,51000	316,00000	0,00032	1,02500	231,00000	0,00023	1,23000	1,65928	14,93276	21,98799	81,17074	189,15826	2963,59377	21,96400	33,80942	550,43999	1396,39105
15	23/10/2020 8:51:09,45	0,82300	116,50000	11,65000	291,00000	0,00029	1,07100	231,00000	0,00023	1,06000	1,55937	14,01371	21,17797	79,47865	177,56488	2901,82038	23,94000	14,11840	512,60000	214,05662
16	23/10/2020 8:51:10,45	1,13900	119,10000	11,91000	410,00000	0,00041	1,02900	231,00000	0,00023	1,34000	1,63133	14,68094	22,96008	86,32981	185,97162	3151,96084	31,89200	14,32494	524,03999	335,38315
17	23/10/2020 8:51:11,45	1,15500	119,10000	11,91000	421,00000	0,00042	1,02900	231,00000	0,00023	1,25000	1,63334	14,68897	22,88710	85,30338	186,20024	3114,46491	32,94000	12,54900	524,03999	303,21373
18	23/10/2020 8:51:12,44	1,21400	124,40000	12,44000	425,00000	0,00043	1,02900	231,00000	0,00023	1,97000	1,70946	15,84410	23,72911	89,21155	204,81871	3221,53980	33,90200	46,78597	546,23999	738,13645
19	23/10/2020 8:51:13,44	1,35700	125,10000	12,51000	478,00000	0,00043	1,06300	231,00000	0,00023	2,54000	1,73961	15,80133	23,52928	88,46998	197,63199	3230,09965	37,96000	33,89889	550,43999	773,18209
20	23/10/2020 8:51:14,44	1,25000	127,40000	12,74000	502,00000	0,00043	1,04200	231,00000	0,00023	2,99000	1,74900	15,78975	23,32499	87,70186	199,58612	3202,05001	35,00000	42,05693	560,56001	873,58376
21	23/10/2020 8:51:15,44	0,88000	130,20000	13,02000	388,00000	0,00039	1,04200	231,00000	0,00023	1,74000	1,72807	15,81465	23,02246	86,56426	198,33988	3160,52064	24,72000	13,30087	572,87999	508,10451
22	23/10/2020 8:51:16,48	0,91000	120,30000	12,03000	405,00000	0,00035	1,04300	231,00000	0,00023	1,88000	1,61767	14,53819	21,44421	80,63012	184,41467	2943,84128	25,48000	19,49803	529,32001	321,95524
23	23/10/2020 8:51:17,48	1,21300	125,30000	12,53000	347,00000	0,00035	1,06700	231,00000	0,00023	2,40000	1,71805	15,46157	23,26740	87,48531	195,85793	3194,14874	33,96400	17,29272	551,32001	280,70376
24	23/10/2020 8:51:18,48	1,28400	125,00000	12,50000	361,00000	0,00036	1,04700	231,00000	0,00023	2,24000	1,72328	15,50822	23,33618	86,99191	196,43398	3176,11431	30,93200	15,68471	550,00000	298,94749

Figura 24-7: Archivo .xlsx
Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

2.12.2. Filtrado

Debido al stand by producido por el analizador de gases cada 30 minutos algunos de los valores registrados presentaban errores, como se puede apreciar en la Figura 25-2, por lo que se los debía borrar, para evitar resultados erróneos en el posterior análisis.

1800	26/10/2020 9:21:02:26	1816,808 #NV	#NV	#NV	#NV	390 #NV	#NV	
1801	26/10/2020 9:21:03:26	1817,808 #NV	#NV	#NV	#NV	390 #NV	#NV	
1802	26/10/2020 9:21:45:26	1859,811 #NV	#NV	#NV	#NV	0 #NV	#NV	
1803	26/10/2020 9:21:46:26	1860,811	0	0	0 #NV	0	20,91 #NV	1859,842 Err0
1804	26/10/2020 9:21:47:26	1861,81	0	0	0 #NV	0	20,9 #NV	
1805	26/10/2020 9:21:48:26	1862,81	1,824	55,5	100 #NV	0	20,74 #NV	
1806	26/10/2020 9:21:49:26	1863,81	3,101	101,599998	186	1,591	24	13,43 #NV
1807	26/10/2020 9:21:50:26	1864,81	2,07	117,5	280	1,214	127	5,82 #NV
1808	26/10/2020 9:21:51:26	1865,809	1,304	120,099998	347	1,109	154	3,23 #NV
1809	26/10/2020 9:21:52:26	1866,809	1,023	121,900002	382	1,076	115	2,44 #NV
1810	26/10/2020 9:21:53:26	1867,809	0,959	123,199997	410	1,062	83	2,16 #NV

Figura 25-8: Archivo .xlsx datos a eliminar

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

Estos valores eliminados en el archivo del analizador deben también ser borrados en el archivo que contiene los datos del escáner.

Al momento del filtrado de los datos se encontró que existían que valores puntuales del analizador de gases, como se puede apreciar en la Figura 26-2, no se habían registrado, por lo que se procedió a revisar uno por uno todos los datos obtenidos con el fin de eliminar tales errores.

1125	26/10/2020 9:09:46:26	1141,496	1,486	125	223	0,968	390	0,5 #NV
1126	26/10/2020 9:09:48:26	1142,514	1,294	125,099998	223	0,98	390	0,63 #NV

Figura 26-9: Ejemplo de error

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

Tras haber definido los PIDs que se van a analizar, se decidió borrar todos los datos que no se contemplen en el estudio, estos datos fueron seleccionados de acuerdo con su relación con las variables que intervienen en el cálculo de las fuerzas resistivas que se oponen al movimiento, cálculo de la potencia disponible, potencia total, factores de emisión y consumo de combustible.

	Columna24	Columna25	Columna26	Columna27	Columna28	Columna29
	Fuel flow rate/hour(gal/hr)	Fuel Rate (direct from ECU)(l/m)	Kilometers Per Litre(Instant)(kpl)	Libres Per 100 Kilometer(Instant)(l/100km)	Miles Per Gallon(Instant)(mpg)	Oz Volets
2	0.22348547	0	0	0	0	-
3	0.22287336	0	0	0	0	-
4	0.22287336	0	0	0	0	-
5	0.22315866	0	0	0	0	-
6	0.22813761	0	0	0	0	-
7	0.22813761	0	0	0	0	-
8	0.2256891	0	0	0	0	-
9	0.2256891	0	0	0	0	-
10	0.2256891	0	0	0	0	-
11	0.2256891	0	0	0	0	-
12	0.2256891	0	0	0	0	-
13	0.22385277	0	0	0	0	-
14	0.22385277	0	0	0	0	-
15	0.2205473	0	0	0	0	-
16	0.2205473	0	0	0	0	-
17	0.2205473	0	0	0	0	-
18	0.2205473	0	0	0	0	-

Figura 27-10: Datos del escáner sin filtrar

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR
	O2 mol	Factor de emisión O2 g/km	GPS SPEED	speed km/h	GPS Altitude(m)	Engine Load(%)	Engine kW (At the wheels)(kW)	Fuel flow rate/hour(g al/hr)	Miles Per Gallon(Instant)(mpg)	Throttle Position(Manifold)(%)	Intake Manifold Pressure(ps i)	Engine RPM(rpm)	Engine Coolant Temperature(°C)	MARCHA	TRAMO	RUTA
71	29,12	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	29,8039227	-	0,23877245	0	4,31372547	3,77098107	906,75	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
72	29,12	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	30,5882359	-	0,23877245	0	4,31372547	3,77098107	912	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
73	29,12	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	30,1960793	-	0,23962639	0	4,31372547	3,77098107	924,25	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
74	29,12	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	29,4117661	-	0,24284503	0	4,31372547	3,77098107	925,75	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
75	28,80	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	29,8039227	-	0,23388381	0	4,31372547	3,62594342	903,25	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
76	28,80	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	30,5882359	-	0,23732732	0	4,31372547	3,77098107	915,75	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
77	28,80	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	29,8039227	-	0,24061167	0	4,31372547	3,77098107	925	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
78	28,80	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	29,8039227	-	0,23389433	0	4,31372547	3,62594342	914	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
79	28,80	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	30,5882359	-	0,24015188	0	4,31372547	3,77098107	910,5	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
80	29,12	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	30,5882359	-	0,23923227	0	4,31372547	3,77098107	917,5	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
81	29,12	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	29,8039227	-	0,24107151	0	4,31372547	3,77098107	927,25	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
82	29,44	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	29,8039227	-	0,23426278	0	4,31372547	3,62594342	921	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
83	29,44	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	30,5882359	-	0,24199109	0	4,31372547	3,77098107	911	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
84	29,76	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	30,9803925	-	0,23936361	0	4,31372547	3,77098107	913,5	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
85	29,76	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	30,5882359	-	0,24002048	0	4,31372547	3,77098107	927,5	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
86	30,08	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	29,4117661	-	0,23432593	0	4,31372547	3,62594342	925	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
87	29,76	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	29,4117661	-	0,23389431	0	4,31372547	3,62594342	905,5	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
88	29,44	#DIV/0!	0	0,00	2735,59888	29,8039227	-	0,23701166	0	4,31372547	3,77098107	911,75	89	0	IDA	RIOBAMBA-SALINAS

Figura 28-11: Datos del escáner filtrados

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

Los datos registrados referentes a los cambios de marchas se presentaban almacenados en un archivo de texto, estos datos se mostraban registrados por la fecha, hora, minuto, segundo y la marcha correspondiente, por lo cual se debían pasar a un archivo de Excel .xlsx y a la par debíamos emparejarlos con los datos del analizador de gases y el escáner.

Fuel flow rate/hour(g al/hr)	Fuel flow gr/km	Kilometers Per Litre(Instant)(kpl)	Litres Per 100 Kilometer(l/100km)	Miles Per Gallon(Instant)(mpg)	Throttle Position(Manifold)(%)	Intake Manifold Pressure(ps i)	Engine RPM(rpm)	Engine Coolant Temperature(°C)	MARCHA	TRAMO	RUTA
0,2324491	#jDIV/0!	0	-	0	4,3137255	3,6259434	925	90	1	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
0,2329528	#jDIV/0!	0	-	0	4,3137255	3,6259434	910,75	90	1	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
0,2385386	#jDIV/0!	0	-	0	4,3137255	3,7709811	915,75	90	2	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
0,2385386	#jDIV/0!	0	-	0	4,3137255	3,7709811	915,75	91	2	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
0,2398482	#jDIV/0!	0	-	0	4,3137255	3,7709811	927,5	91	2	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
0,2335824	#jDIV/0!	0	-	0	4,3137255	3,6259434	903,75	91	2	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
0,2367052	#jDIV/0!	0	-	0	4,3137255	3,7709811	914,5	91	3	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
0,2395208	#jDIV/0!	0	-	0	4,3137255	3,7709811	927,5	91	3	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
0,2335824	#jDIV/0!	0	-	0	4,3137255	3,6259434	916	91	3	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
0,2399137	#jDIV/0!	0	-	0	4,3137255	3,7709811	904,25	91	3	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
0,2368362	#jDIV/0!	0	-	0	4,3137255	3,7709811	918,75	91	3	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
0,240634	#jDIV/0!	0	-	0	4,3137255	3,7709811	927,75	91	3	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
0,2336454	#jDIV/0!	0	-	0	4,3137255	3,6259434	911,25	91	3	IDA	RIOBAMBA-SALINAS
0,2385386	#jDIV/0!	0	-	0	4,3137255	3,7709811	919,75	91	3	IDA	RIOBAMBA-SALINAS

Figura 29-12: Archivo con las marchas en Excel

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

La correlación de Pearson fue una de las bases en el presente proyecto de investigación, debido a que se debía comparar los datos de tres equipos diferentes y existía la necesidad de que estos datos tengan una moderada correlación entre los mismos, para ello se utilizó el software MiniTab 18, el cual permitía relacionar los datos de interés.

Gracias a la función correlación del software, se pudieron emparejar el tiempo de los datos del analizador, escáner y del registro de marchas, para lo cual se analizaron las columnas de emisiones (analizador) y las revoluciones por minuto (escáner), de modo que hubo la necesidad de aumentar hasta 12 veces la columna de revoluciones por minuto, para poder encontrar la correlación que

mejor se adapte a los datos de ambos, Figura 30-2. Se procedió a realizar el mismo procedimiento, pero en este caso con el registro de cambio de marchas y las revoluciones por minuto.

Correlaciones				
	Engine RPM(rpm)	MARCHA	1	2
MARCHA	0,310			
	0,000			
1	0,311	0,983		
	0,000	0,000		
2	0,313	0,967	0,983	
	0,000	0,000	0,000	
3	0,314	0,951	0,967	0,983
	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,315	0,935	0,951	0,967
	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,316	0,921	0,935	0,951
	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,317	0,906	0,921	0,935
	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,319	0,893	0,906	0,921
	0,000	0,000	0,000	0,000
8	0,320	0,879	0,893	0,906
	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,321	0,866	0,879	0,893
	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,323	0,853	0,866	0,879
	0,000	0,000	0,000	0,000
11	0,325	0,841	0,853	0,866
	0,000	0,000	0,000	0,000
12	0,326	0,829	0,841	0,853

Figura 30-2: Correlación de un trayecto

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

Dependiendo del número en la cual se encuentre la mejor correlación, en el caso del Figura 30-2. iteración 12, se debían borrar todos los datos anteriores al valor que mejor se relacione. Este procedimiento se lo realizó para todos los datos que se registraron en los 5 viajes que duró el estudio, antes de poder unir y crear una sola base de datos en un mismo archivo.

Para poder obtener los mejores resultados y graficar correctamente, se realizó otro estudio de correlación, en este caso analizando la fuerza aerodinámica obtenida a partir de cálculos y las emisiones obtenidas con el analizador de gases.

2.12.3. Cálculos

Como punto de partida para los diferentes cálculos se usaron varios datos iniciales tanto del vehículo como de las condiciones características de cada ruta que se analizó.

Tabla 9-2: Datos del vehículo

Datos vehículo		
Masa del automóvil	1079	Kg
Cd	0,32	
Área frontal	2,07	m ²
Temperatura	20	C°
Velocidad viento	0	m/s
Pesos ocupantes	219	Kg

Fuente: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

Tabla 10-2: Densidad y temperatura del aire característica de los lugares visitados

Temperaturas °C		Densidad kg/m ³
Riobamba-Puyo	18	0,19358937
Riobamba- Zhud	19,5	1,20670657
Riobamba-Babahoyo	24,5	1,18642579
Riobamba-Salinas	25,5	1,18245116
Salinas-Manta	30,5	1,16297091
Manta-Riobamba	26	1,18047382
Riobamba-Macas	21	1,20054991

Fuente: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

Tabla 11-2: Eficiencias de la transmisión.

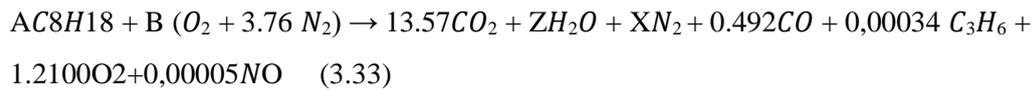
Eficiencias	
Transmisión	0,941
Diferencial	0,931
Ejes	0,98

Fuente: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

2.12.4. Factores de emisión

Para el cálculo de los factores de emisión se realizó el siguiente procedimiento:

Primero, se calcula los coeficientes para que la ecuación que representa el proceso de combustión quede balanceada, hallando A, B, Z y X.



Carbono

$$8A = 13.57 + 0.492 + 0.00034 * 3$$

$$A = 1,75792$$

Hidrógeno

$$18 * 1.75792 = 2Z + 0.00034 * 6$$

$$Z = 15,82043$$

Oxígeno

$$2B = 2 * 13.57 + 15.82043 + 0.492 + 1.21 * 2 + 0.00005$$

$$B = 22,93624$$

Nitrógeno

$$2 * 3.76 * 22.93624 = 2 * X + 0.00005$$

$$X = 86,24024$$

Segundo, se calcula las moles correspondientes para cada dato de la gasolina, de cada emisión y del aire.

Moles de gasolina

$$\text{Mol gasolina} = 1.75792 * (12 * 8 + 18)$$

$$\text{Mol gasolina} = 200,40288$$

Moles de aire

$$\text{Mol aire} = 22.93624 * (16 * 2 + 3,76 * 2 * 14)$$

$$\text{Mol aire} = 3148,68703$$

Moles de CO

$$\text{Mol CO} = 0,49200 * (12 + 16)$$

$$\text{Mol CO} = 13,77600$$

Moles de CO2

$$\text{Mol CO}_2 = 13,57000 * (12 + 16 * 2)$$

$$\text{Mol CO}_2 = 597,07999$$

Moles de HC

$$\text{Mol HC} = 13,57000 * (12 + 16 * 2)$$

$$\text{Mol HC} = 0,01802$$

Moles de NO

$$\text{Mol NO} = 0.00005 * (14 + 16)$$

$$\text{Mol NO} = 0.00153$$

Moles de O2

$$\text{Mol O}_2 = 1.21 * 2 * 16$$

$$\text{Mol O}_2 = 38.72$$

Además, es necesario calcular el flujo de combustible en g/km (gramos por kilómetro).

$$\text{Flujo de combustible} = \frac{0.227 * 680 * 1000}{220 * 3.593}$$

Donde 0.227 corresponde al valor del consumo de combustible obtenido por el escáner en gal/h (galones por hora) y el valor de 3.593 es el valor de la velocidad en km/h (kilómetros por hora).

$$\text{Flujo de combustible} = 195.55$$

Por último, obtenemos los distintos factores de emisión con las siguientes expresiones con los datos obtenidos.

Factor de emisión de CO

$$FE'_{CO} = \frac{195.55 * 13.77}{200.40}$$

$$FE'_{CO} = 13.44$$

Factor de emisión de HC

$$FE'_{HC} = \frac{195.55 * 0.01802}{200.40}$$

$$FE'_{HC} = 0.01758$$

Factor de emisión de NO

$$FE'_{NO} = \frac{195.55 * 0.00153}{200.40}$$

$$FE'_{NO} = 0.00149$$

Factor de emisión de O2

$$FE'_{O_2} = \frac{195.55 * 38.72}{200.40}$$

$$FE'_{O_2} = 37.78$$

Factor de emisión de CO2

$$FE'_{CO_2} = \frac{195.55 * 597.07}{200.40}$$

$$FE'_{CO_2} = 582.63$$

Para poder calcular el valor de potencia necesario para el análisis fue necesario realizar los siguientes pasos:

1. Cálculo de la presión atmosférica

Fue necesario encontrar una ecuación cuadrática, la cual relaciona la altura con la presión atmosférica.

$$P_{atm} = \left(\left(\frac{371}{2225000000} \right) * H^2 \right) - \left(\left(\frac{34041}{44500000} \right) * H \right) + 1$$

Donde H, es la altitud en metros.

Utilizando el primer valor de altura, el valor de presión atmosférica es:

$$P_{\text{atm}} = 0.178$$

Para fines de cálculos futuros este valor debe ser transformado en kilo pascales, esto se lo realiza multiplicando por 101.3, resultando:

$$P_{\text{kpa}} = 18.04$$

2. Cálculo de la densidad del aire

$$\rho = \frac{P}{(0,287 * (T + 273))}$$

Donde, P es la presión atmosférica en kilo pascales, T es la temperatura ambiente en grados centígrados.

Utilizando el valor de 16.17 de presión atmosférica, antes calculado y la una temperatura de 18 °C, correspondiente a la temperatura media de la ciudad de Puyo, se obtiene:

$$\rho = \frac{18.04}{(0,287 * (18 + 273))}$$
$$\rho = 0.2160$$

3. Cálculo de la fuerza aerodinámica

$$F_A = \frac{1}{2} * C_x * A * \rho * V^2 \quad (3.34)$$

Donde reemplazado las variables con los datos previamente obtenido, nos da como resultado:

$$F_A = \frac{1}{2} * 0.2160 * 2.07 + 0.32 * (4.24 + 0)^2$$
$$F_A = 5.997$$

4. Cálculo de la fuerza de rodadura

$$F_r = C_r * N = C_r * W * \cos\theta \quad (3.35)$$

Reemplazando con los datos previamente obtenidos en la siguiente expresión, nos da como resultado:

$$F_r = 0.01 + 3.24 * 0.005 * \left(\frac{9.17}{100}\right)^{2.5} * 1298 * 9.81 * \cos 0.1$$
$$F_r = 127.00$$

5. Cálculo de la fuerza del peso del auto

$$F_s = F_G * \text{sen}(\alpha) = m * g * \text{sen}(\alpha) \quad (3.36)$$

Reemplazando con los datos previamente obtenidos en la siguiente expresión, nos da como resultado:

$$F_s = 1298 * 9.81 * \text{sen}(0.1)$$

$$F_s = 1.496.6$$

6. Cálculo de la fuerza interna

$$F_T = (W \sin \theta + C_r W \cos \theta + \frac{1}{2} \rho S K_a V^2 + ma) \quad (3.37)$$

Donde reemplazado las variables con los datos previamente obtenido, nos da como resultado:

$$F_T = 1079 * 0.2$$

$$F_T = 261.7$$

7. Sumatoria de fuerzas

$$\sum F = F_T + F_s + F_r + F_A \quad (3.38)$$

Del reemplazo de tiene el siguiente resultado:

$$\sum F = 5.997 + 127 + 1496.6 + 261.7$$

$$\sum F = 1891.4$$

8. Cálculo de la potencia total

$$P = \sum F * V \quad (3.39)$$

Por último, de calcula el valor de la potencia total necesario para el posterior análisis con las emisiones.

$$P = 4.247 * 1891.4$$

$$P = 8.00$$

9. Cálculo de la potencia disponible

Para el cálculo de la potencia disponible, se definió una expresión polinómica de grado 4 que se apegue a los valores de potencia emitidos presentados por el fabricante. En la Gráfico 2-2. podemos observar las curvas características de torque y potencia del vehículo usado para el análisis, los valores obtenidos se muestran en la Tabla 12-2.

Tabla 12-2: Potencia del vehículo de acuerdo con el fabricante.

	Kw	Kw	HP
Velocidad del motor	Potencia del motor	potencia ruedas	Potencia del motor
1000	12,069	10,4	9
1500	24,138	20,7	18
2000	36,207	31,1	27
2500	50,2875	43,2	37,5
3000	65,709	56,4	49
3500	77,778	66,8	58
4000	91,188	78,3	68

4500	103,257	88,7	77
5000	113,985	97,9	85
5500	120,69	103,6	90
6000	124,713	107,1	93
6500	111,303	95,6	83

Fuente: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

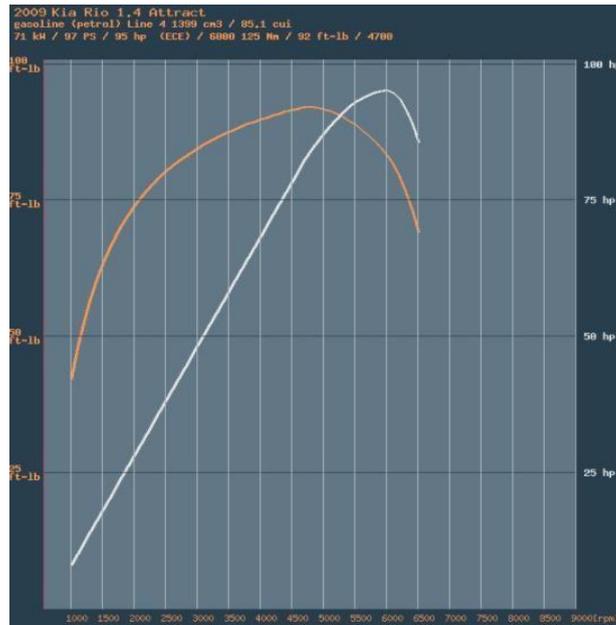


Gráfico 2-1: Curvas características de torque y potencia

Realizado por: https://www.automobile-catalog.com/curve/2009/1354370/kia_rio_1_4_attract.html

La expresión que se utilizó para el cálculo se muestra a continuación.

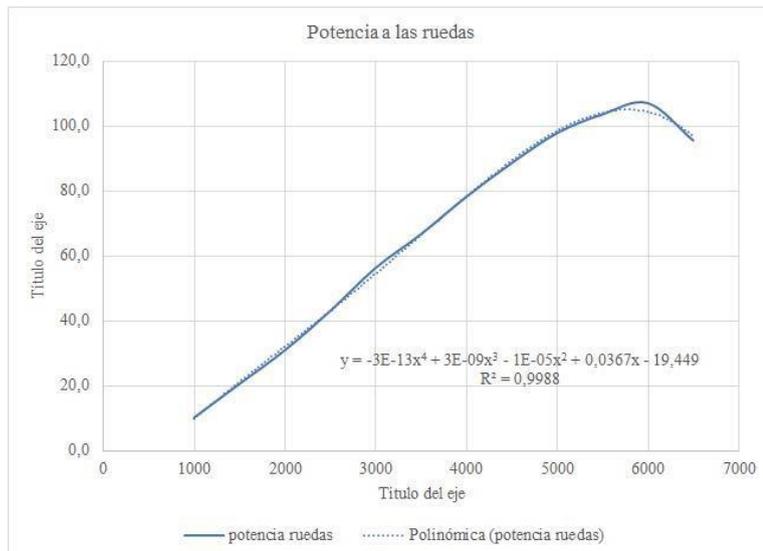


Gráfico 3-2: Ecuación de potencia

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación anterior nos da un valor de potencia de:

$$\text{Potencia disponible} = 13.01$$

Una vez finalizado todos los cálculos anteriores se realizó una base de datos que servirá para el análisis de los resultados, la misma que contiene datos del equipo MAHA MET 6.3 (anализador de gases), ELM327 y TORQUE PRO (escáner), además de los resultados calculados como lo son factores de emisión, fuerzas resistivas, cálculo de potencias necesarios para el análisis de la influencia de la altitud con respecto al consumo de combustible y emanación de gases contaminantes, con fines prácticos en esta base de datos, se recopiló ordenadamente la información de cada viaje ida y vuelta reuniendo todos estos valores en un solo archivo, a continuación las Figuras 31-2 a la Figura 35-2 muestran cómo se encuentra representada esta base de datos la cual de alrededor de 153.000 datos válidos lo que corresponde a un tiempo de 42 horas de medición analizadas.

No	Hora	CO (MET6)	CO2 (MET6)	CO2	HC (MET6)	HC ppm	Lambda (MET6)	NO (MET6)	NO ppm	O2 (MET6)	A	Z	B	X	C8H18 GASOLINA	AIRE
13	23/10/2020 8:51:07,46	1,08600	132,20000	13,22000	336,00000	0,00034	1,05000	231,00000	0,00023	1,09000	1,78842	16,09492	22,90058	86,10605	203,87965	3143,79108
14	23/10/2020 8:51:08,45	0,76300	125,10000	12,51000	316,00000	0,00032	1,02500	231,00000	0,00023	1,23000	1,65928	14,93276	21,58799	81,17074	189,15826	2963,59977
15	23/10/2020 8:51:09,45	0,82300	116,50000	11,65000	291,00000	0,00029	1,07100	231,00000	0,00023	2,06000	1,55927	14,03271	21,13797	79,47865	177,75684	2901,82038
16	23/10/2020 8:51:10,45	1,13900	119,10000	11,91000	410,00000	0,00041	1,10900	231,00000	0,00023	3,14000	1,61333	14,68094	22,96009	86,32981	185,97162	3151,96084
17	23/10/2020 8:51:11,45	1,15500	119,10000	11,91000	421,00000	0,00042	1,09200	231,00000	0,00023	2,85000	1,63334	14,69897	22,68710	85,30338	186,20024	3114,48491
18	23/10/2020 8:51:13,46	1,21400	124,60000	12,46000	425,00000	0,00043	1,09200	231,00000	0,00023	2,97000	1,70946	15,38410	23,72917	89,22155	194,87872	3257,53980
19	23/10/2020 8:51:13,46	1,35700	125,10000	12,51000	478,00000	0,00048	1,06300	231,00000	0,00023	2,54000	1,73361	15,60133	23,52928	88,46998	197,63199	3230,03965
20	23/10/2020 8:51:14,46	1,25000	127,40000	12,74000	502,00000	0,00050	1,04200	231,00000	0,00023	2,09000	1,74900	15,73975	23,32499	87,70186	199,38612	3202,05501
21	23/10/2020 8:51:15,48	0,88300	130,20000	13,02000	388,00000	0,00039	1,04200	231,00000	0,00023	1,74000	1,73807	15,64165	23,02244	86,56426	198,13986	3160,52064
22	23/10/2020 8:51:16,48	0,91000	120,30000	12,03000	345,00000	0,00035	1,04300	231,00000	0,00023	1,68000	1,61767	14,55819	21,44421	80,63012	184,41467	2943,86128
23	23/10/2020 8:51:17,48	1,21300	125,30000	12,53000	347,00000	0,00035	1,06700	231,00000	0,00023	2,40000	1,71805	15,46157	23,26740	87,48531	195,85753	3194,14874
24	23/10/2020 8:51:18,48	1,28400	125,00000	12,50000	561,00000	0,00056	1,04700	231,00000	0,00023	2,24000	1,72328	15,50812	23,13618	86,99191	196,45398	3176,13431
25	23/10/2020 8:51:19,48	1,14600	105,00000	10,50000	985,00000	0,00099	1,04300	231,00000	0,00023	2,32000	1,45624	13,10372	19,94498	74,99299	166,01165	2738,04624
26	23/10/2020 8:51:20,50	0,89000	82,10000	8,21000	1437,00000	0,00144	1,15900	231,00000	0,00023	4,05000	1,13822	10,24037	17,82530	67,02302	129,75691	2447,59748
27	23/10/2020 8:51:21,51	0,63200	59,90000	5,99000	1785,00000	0,00179	1,47900	231,00000	0,00023	7,17000	0,82864	7,45332	17,20278	64,68232	94,46525	2361,59706
28	23/10/2020 8:51:22,50	0,49800	48,40000	4,84000	1995,00000	0,00200	2,19300	231,00000	0,00023	10,56000	0,66825	6,00924	18,65374	70,13793	76,18022	2560,78485
29	23/10/2020 8:51:23,50	0,45300	42,80000	4,28000	2071,00000	0,00207	2,17300	231,00000	0,00023	12,03000	0,59266	5,32877	19,20100	72,19564	67,56330	2635,91312
30	23/10/2020 8:51:24,51	0,39200	36,70000	3,67000	2192,00000	0,00219	2,59800	202,00000	0,00020	14,35000	0,50885	4,57413	20,50317	77,09181	58,00845	2814,67492

Figura 31-2: Base datos agrupados parte 1

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

F.E CO g/km	CO2 mol	F.E CO2 g/km	HC mol	F.E HC g/km	NO mol	F.E NO g/km	O2 mol	F.E O2 g/km	GPS SPEED	speed km/h	speed mph	GPS Altitude(m)	Engine Load(%)	Fuel flow rate/hour(g al/hr)	Fuel flow gr/km
51,23804	581,67999	980,14149	0,01781	0,03001	0,00693	0,01168	34,88000	58,77344	1,11259	4,00532	2,48879	2767,64795	18,82355	0,44517	343,54096
53,80942	550,43999	1386,39105	0,01675	0,04218	0,00693	0,01745	39,36000	99,13588	1,52976	5,50713	3,42197	2767,78833	91,37255	0,84887	476,43217
14,11843	512,60000	314,05602	0,01542	0,00945	0,00693	0,00425	65,92000	40,38738	2,16436	7,79168	4,84153	2768,56567	35,68628	0,27454	108,90676
14,32494	524,03999	235,38315	0,02173	0,00976	0,00693	0,00311	100,48000	45,13262	2,73092	9,83133	6,10890	2767,99487	18,82353	0,26570	83,53291
12,54090	524,03999	203,21373	0,02231	0,00865	0,00693	0,00269	91,20000	35,36580	2,92512	10,53043	6,54331	2764,95435	89,41177	0,24600	72,20527
45,76597	548,23999	738,13645	0,02253	0,03033	0,00693	0,00933	95,04000	127,95945	2,90146	10,44524	6,49037	2763,50317	90,19608	0,88667	262,37978
53,36989	550,43999	773,15829	0,02533	0,03558	0,00693	0,00973	81,28000	114,16741	3,14715	11,32973	7,03997	2761,76245	88,23530	1,01753	277,59759
42,05693	560,56001	673,58376	0,02661	0,03197	0,00693	0,00833	66,88000	80,36478	3,17671	11,43617	7,10610	2761,53223	27,45098	0,88646	239,58764
13,30087	572,87999	308,19451	0,02056	0,01106	0,00693	0,00373	55,68000	29,95439	3,34752	12,05106	7,48818	2760,30322	17,25490	0,41560	106,59409
15,49803	529,32001	321,95524	0,01829	0,01112	0,00693	0,00422	53,76000	32,69915	3,53433	12,72358	7,90607	2759,03613	24,70588	0,46174	112,16895
17,29272	551,32001	280,70376	0,01839	0,00936	0,00693	0,00353	76,80000	39,10261	3,79822	13,67358	8,49637	2758,53296	25,49020	0,44114	99,72057
15,68471	550,00000	239,94749	0,02973	0,01297	0,00693	0,00302	71,68000	31,27170	3,99401	14,37845	8,93435	2758,42725	24,70588	0,39869	85,70662
14,77428	462,00000	212,71863	0,05221	0,02404	0,00693	0,00319	74,24000	34,18232	4,22866	15,22316	9,45923	2758,38647	24,70588	0,37646	76,43673
13,09771	361,23999	189,86428	0,07616	0,04003	0,00693	0,00364	129,60000	68,11652	4,45228	16,02822	9,95947	2759,47021	22,35294	0,35365	68,19899
9,30669	263,56001	138,61160	0,09461	0,04975	0,00693	0,00364	229,44000	120,66719	4,42395	15,92620	8,98608	2758,66748	26,27451	0,25599	49,68121
8,18755	212,96001	125,04453	0,10574	0,06208	0,00693	0,00407	337,92000	198,41776	4,11988	14,83157	9,21591	2755,79712	33,72549	0,21464	44,73103
10,55363	188,32000	156,69024	0,10976	0,09133	0,00693	0,00577	384,96000	320,30308	3,96499	12,22737	7,59774	2754,85376	34,90196	0,22238	56,21553
13,80041	161,48000	203,03297	0,11618	0,14607	0,00693	0,00762	459,20000	577,36398	2,75160	9,90575	6,15514	2755,63062	34,50980	0,23374	72,93551

Figura 32-13: Base datos agrupados parte 2

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

Kilometers Per Litre (kpl)	Throttle Position (Ma nifold)(%)	Intake Manifold Pressure (ps i)	Engine RPM (rpm)	Engine calculo (rpm)	Engine Coolant Temperature (°C)	MARCHA	TRAMO	RUTA	presion atmosferica (atm)	presion atmosferica (kpa)	Densidad	F. aerodinamica	Delta altitud
7,90578	4,31373	3,04579	741,25000	1000,00000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,160062246	101,3	1,21292671	1,651492159	0,33496
3,62779	34,90196	10,00760	744,50000	1000,00000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,160084429	101,3	1,21292671	2,004231567	0,14038
14,42204	4,31373	2,75572	749,00000	1000,00000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,160207384	101,3	1,21292671	3,641939992	0,77734
14,07407	4,31373	2,61068	745,00000	1000,00000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,160117079	101,3	1,21292671	2,754192183	-0,57080
14,30689	4,31373	2,61068	742,75000	1000,00000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,159637872	101,3	1,21292671	3,949405287	-3,04053
3,72120	23,13725	10,29768	746,25000	1000,00000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,159410245	101,3	1,21292671	3,949405287	-1,45117
3,89115	21,17647	10,29768	751,25000	1000,00000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,159138126	101,3	1,21292671	4,424830907	-1,74072
5,21092	5,49020	7,39692	751,00000	1000,00000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,159102212	101,3	1,21292671	4,484662932	-0,23022
12,70262	4,31373	2,90075	747,00000	1000,00000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,158910791	101,3	1,21292671	4,841259708	-1,22900
11,43325	4,31373	3,33587	749,25000	1000,00000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,158713965	101,3	1,21292671	5,252653218	-1,26709
11,46836	4,31373	3,33587	747,50000	1000,00000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,158635952	101,3	1,21292671	5,871842204	-0,50317
12,13771	4,31373	3,19083	745,25000	1000,00000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,158619573	101,3	1,21292671	6,360006451	-0,10571
12,27024	4,31373	3,19083	749,25000	1000,00000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,158613257	101,3	1,21292671	6,977467351	-0,04077
11,81764	4,31373	3,19083	755,75000	1000,00000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,158781334	101,3	1,21292671	7,988683936	1,08374
12,88924	4,31373	3,04579	752,50000	1000,00000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,158347461	101,3	1,21292671	7,518192873	-2,80273
9,22331	4,31373	4,20609	1456,00000	1456,00000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,15821326	101,3	1,21292671	6,686872579	-0,87036
5,93475	4,31373	4,20609	762,00000	1000,00000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,158068088	101,3	1,21292671	4,946951196	-0,94336
2,82316	4,31373	4,35113	1251,75000	1251,75000	78	1	IDA	RIOBAMBA-PUYO	0,158187615	101,3	1,21292671	3,678190152	0,77686

Figura 33-2: Base datos agrupados parte 3

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

Delta altitud	Desplazamiento (m)	Angulo (radianes)	grados	F. rodadura (N)	F. peso del auto (N)	aceleración (m/s ²)	F. interna	Sumatoria de fuerzas (N)	Potencia Total (KW)	Potencia disponible	Delta potencia
0,33496	1,1125885	0,3	17,5	121,4	3833,6	0,4	410,6	4367,2	4,9	9,95	5,09
0,14038	1,5297594	0,1	5,3	126,8	1168,5	0,5	579,1	1876,4	2,9	9,95	7,08
0,77734	2,1643567	0,4	21,0	118,9	4573,3	0,6	701,1	5396,0	11,7	9,95	-1,73
-0,57080	2,730924	-0,2	-12,1	124,6	-2661,5	0,4	423,9	-2109,3	-5,8	9,95	15,71
-3,04053	2,9251208	0,0	0,0	127,5	0,0	0,0	34,3	165,8	0,5	9,95	9,47
-1,45117	2,9014564	-0,5	-30,0	110,5	-6368,6	0,1	119,6	-6134,6	-17,8	9,95	27,75
-1,74072	3,1471474	-0,6	-33,6	106,3	-7043,0	0,1	160,0	-6772,3	-21,3	9,95	31,26
-0,23022	3,176714	-0,1	-4,2	127,3	-922,8	0,1	87,2	-703,8	-2,2	9,95	12,19
-1,22900	3,347518	-0,4	-21,5	118,7	-4674,9	0,2	198,7	-4352,7	-14,6	9,95	24,52
-1,26709	3,534329	-0,4	-21,0	119,2	-4565,0	0,2	250,7	-4189,9	-14,8	9,95	24,76
-0,50317	3,7982163	-0,1	-7,6	126,6	-1686,9	0,2	251,4	-1303,0	-4,9	9,95	14,90
-0,10571	3,994014	0,0	-1,5	127,7	-337,0	0,2	227,1	24,1	0,1	9,95	9,85
-0,04077	4,2286553	0,0	-0,6	127,8	-122,8	0,3	273,4	285,4	1,2	9,95	8,74
1,08374	4,4522834	0,2	14,1	124,1	3099,5	0,1	129,2	3360,3	15,0	9,95	-5,01
-2,80273	4,4239454	-0,7	-39,3	99,0	-8067,1	-0,2	-164,3	-8124,8	-35,9	9,95	45,89
-0,87036	4,1198807	-0,2	-12,2	125,1	-2690,0	-0,5	-586,2	-3144,4	-13,0	20,70	33,65
-0,94336	3,9964927	-0,3	-16,1	122,8	-3536,6	-0,7	-765,9	-4174,7	-14,2	9,95	24,13
0,77686	2,7515967	0,3	16,4	122,5	3595,0	-0,7	-773,8	2947,3	8,1	15,97	7,86
0,00000	1,0000000	0,0	0,0	127,4	538,0	0,7	704,7	1132,8	2,2	22,00	26,13

Figura 34-2: Base datos agrupados parte 4

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

HC		Datos vehiculo		temperaturas		Cálculos	
C	4	Masa del automovil	1079 Kg	riobamba-puyo	18 Densidad	1,21292671 kg/m ³	Masa total 1298 Kg
H	5	Cd	0,32	riobamba-azoguez	19,5 Densidad	1,20670657	Fo 0,01
MOL	53	Area frontal	2,07 m ²	riobamba-babahoyo	24,5 Densidad	1,18642579	Fs 0,005
		Presión atmosférica	101,3 Kpa	riobamba-salinas	25,5 Densidad	1,18245116	
		Temperatura	20 C°	salinas-manta	30,5 Densidad	1,16297091	
		Velocidad viento	0 m/s	manta-riobamba	26 Densidad	1,18047382	
		Peso ocupantes	219 Kg	riobamba-macas	21 Densidad	1,20054991	
		ef transmisión	0,941				
		ef diferencial	0,931				
		ef ejes	0,98				
		velocidad motor	Kw	HP			
			Potencia motor	potencia rueda	Potencia motor		
		1000	12,069	10,4	9		
		1500	24,138	20,7	18		
		2000	36,207	31,1	27		
		2500	50,2875	43,2	37,5		

Figura 35-2: Base datos agrupados parte 5

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Creación de matrices de Frecuencia

Una matriz de frecuencia constituye una identidad del ciclo en función a la forma de conducción. Involucra algunas variables dinámicas representativas como las aceleraciones, velocidades medias y máximas, el porcentaje de frenado, así como el tiempo de aceleración, etc. Con este tipo de matrices se puede estimar el consumo de combustible generada por los vehículos. (Cavallero Morales , 2011 p. 31)

Matrices de frecuencia clasificadas de acuerdo con un intervalo de altitudes

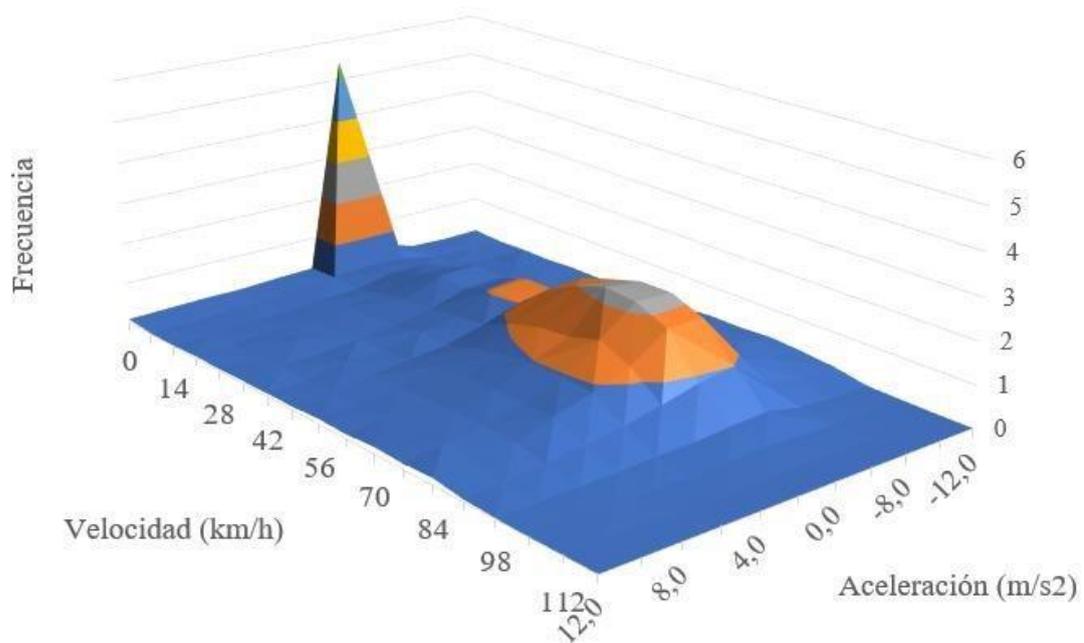


Gráfico 1-3: Matriz de frecuencias: Velocidad vs aceleración. De 0 a 1000 msnm.

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

En el gráfico 1-3 Observamos la matriz representativa de frecuencia de velocidad y aceleración en un intervalo de altitud de 0 a 1000 msnm donde la mayor frecuencia de mediciones se dio a una 0.1 m/s^2 a una velocidad de 60 km/h.

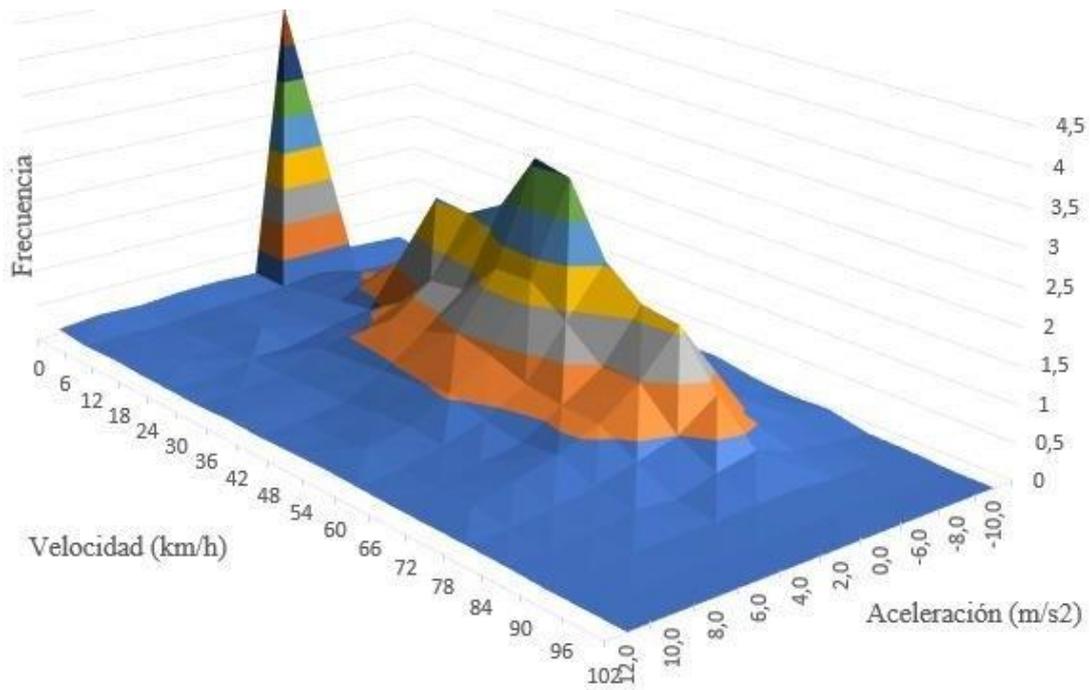


Gráfico 2-3: Matriz de frecuencias: Velocidad vs aceleración. De 1000 a 2000 msnm.

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

En el gráfico 3-2 Observamos la matriz representativa de frecuencia de velocidad y aceleración en un intervalo de altitud de 1000 a 2000 msnm donde la mayor frecuencia de mediciones se dio a una velocidad de 50 km/h con una aceleración de 0.1 m/s²

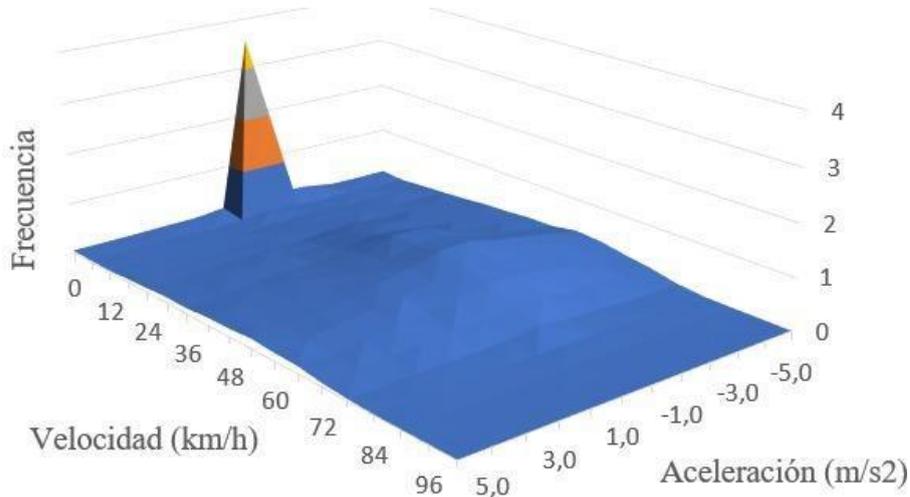


Gráfico 3-1: Matriz de frecuencias: Velocidad vs aceleración. De 2000 a 3500 msnm.

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

En el grafico 3-3 Observamos la matriz representativa de frecuencia de velocidad y aceleración en un intervalo de altitud de 2000 a 3500 msnm donde la mayor frecuencia de mediciones se dio a una aceleración de 0.1 m/s^2 con una velocidad de 50 km/h.

Estas matrices de frecuencia fueron utilizadas para el posterior análisis de consumo de combustible con el objetivo de determinar la aceleración a la cual se produce un mayor o menor consumo de combustible.

3.2. Consumo de combustible en función de la velocidad del vehículo

El consumo de combustible en nuestro país se remite a la base de datos de los fabricantes de los vehículos ya que Ecuador no tiene una base de datos oficial. (Calva Montoya et al., 2020, p.54)

Al consumo de combustible podemos encontrarlo expresado en litros por cada 100 kilómetros, unidad que es utilizada a nivel mundial, para poder observar cómo se comporta el consumo de combustible en un automóvil es necesario ponerlo en función de la velocidad a la cual se tomaron los datos, la variable velocidad es una de las que mejor muestra el comportamiento del consumo de combustible ya que se podría hacer con otras variables como por ejemplo las rpm, pero no se observa claramente como es el comportamiento del consumo de combustible.

Para tener una idea clara del comportamiento del consumo de combustible realizamos tres graficas las mismas que muestran cómo se comporta el consumo de combustible a diferentes altitudes para eso utilizamos un intervalo de 0 a 1000 msnm hasta llegar a los 3500 msnm que son el punto máximo de nuestro estudio.

En el grafico 3-3 podemos observar el comportamiento de consumo de combustible en función de la velocidad expresada en km/h, estos datos fueron tomados en un intervalo de 0 msnm a 1000 msnm, donde el mayor consumo de combustible expresado se aprecia en el rango de 20 km/h a 30 km/h y cuya media es de 8.89 l/100km instantáneos, datos obtenidos de un vehículo Kia rio excite de 1400cc.

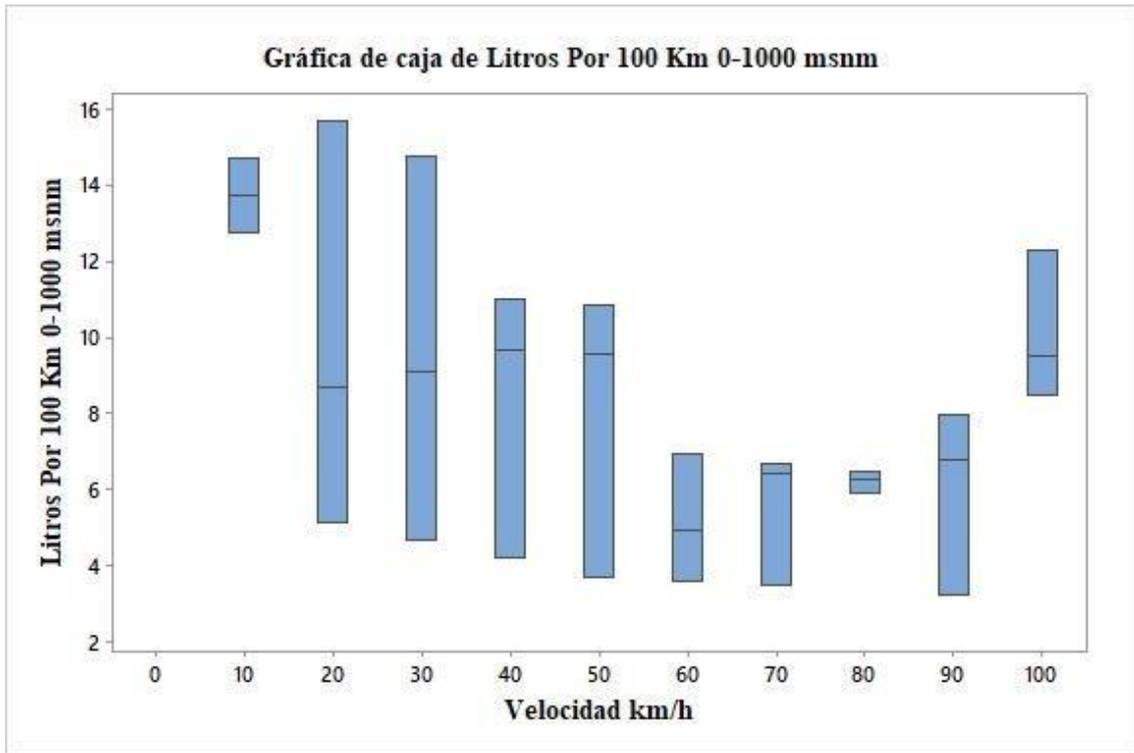


Gráfico 4-3: Diagrama de caja: Consumo de combustible vs Velocidad. De 0 a 1000 msnm en un motor 1400 cc

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

En la tabla 1-3, podemos encontrar algunos valores representativos de la Figura 4-3 donde además se puede observar que el mayor consumo se da a una aceleración de 2 m/s^2 con una velocidad de entre 20-30 km/h y mientras el menor consumo se da a una aceleración de 0.4 m/s^2 a una velocidad de 80 km/h. Los datos de aceleración fueron obtenidos de la gráfica 2-3

Tabla 1-3: Valores representativos del Consumo de combustible en función de la velocidad y aceleración

Valores representativos de la gráfica Consumo de combustible en función de la velocidad y aceleración		ALTITUD: 0-1000 msnm
Parámetros	Mayor	Menor
Consumo de combustible (l/100km)	13.730	5.141
Velocidad (km/h)	20-30	80
Aceleración (m/s^2)	2	0.4

Fuente: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

En el gráfico 5-3 podemos observar el comportamiento de consumo de combustible en función de la velocidad expresada en km/h, estos datos fueron tomados en un intervalo de 1000 msnm a 2000 msnm, donde el mayor consumo de combustible expresado es de 16.144 l/100km instantáneos con una velocidad promedio de 10 Km/h, la misma que se encuentra en el rango de ralentí, datos obtenidos de un vehículo Kia rio xcite de 1400cc.

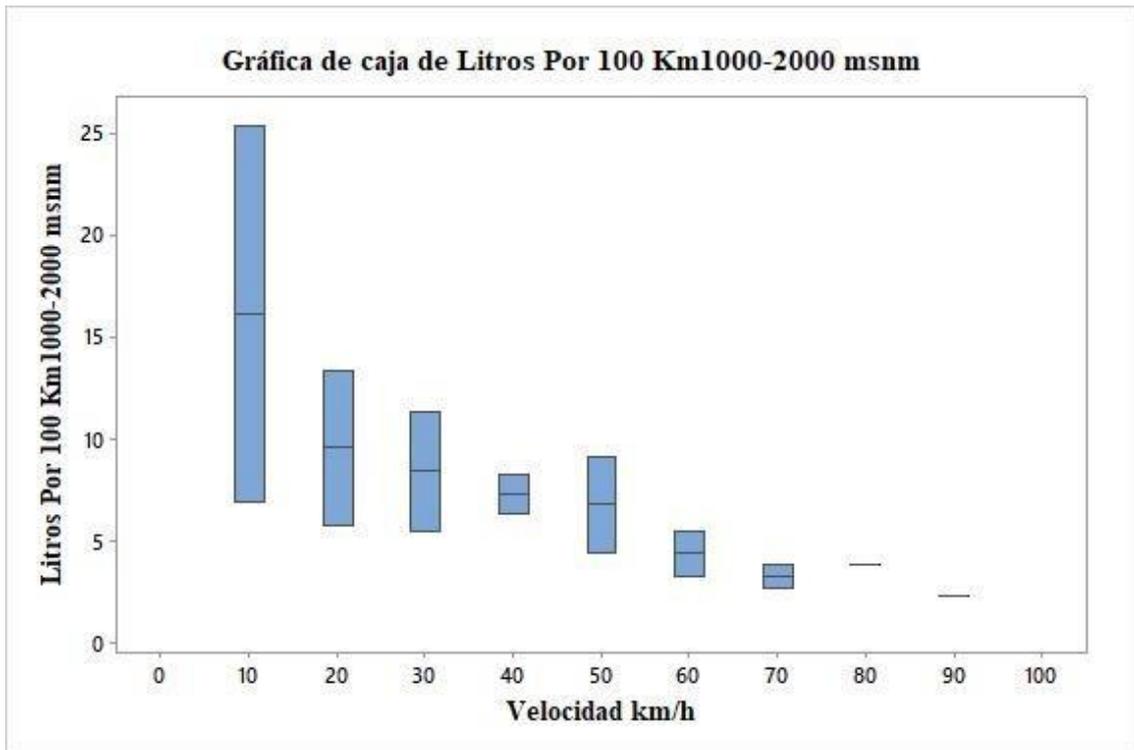


Gráfico 5-3: Diagrama de caja: Consumo de combustible vs Velocidad. De 1000 a 2000 msnm en un motor 1400 cc

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

En la tabla 2-3, podemos encontrar algunos valores representativos del gráfico 5-3 donde además se puede observar que el mayor consumo se da a una aceleración de 2 m/s^2 con una velocidad de entre 10 km/h y mientras el menor consumo se da a una aceleración de 0.3 m/s^2 a una velocidad de 70 km/h. Los datos de aceleración fueron obtenidos de la gráfica 2-3

Tabla 2-3: Valores representativos del Consumo de combustible en función de la velocidad y aceleración

Valores representativos de la gráfica Consumo de combustible en función de la velocidad y aceleración		ALTITUD: 1000-2000 msnm
Parámetros	Mayor	Menor
Consumo de combustible (l/100km)	16.144	2.242
Velocidad (km/h)	10	70
Aceleración (m/s ²)	2	0.3

Fuente: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

En la Figura 6-3 podemos observar el comportamiento de consumo de combustible en función de la velocidad expresada en km/h, estos datos fueron tomados en un intervalo de 2000 msnm a 3500 msnm, donde el mayor consumo de combustible expresado es de 8.25 l/100km instantáneos en un rango de velocidad de 10 a 20 Km/h, la misma que se encuentra en el rango de ralentí, datos obtenidos de un vehículo Kia rio xcite de 1400cc.

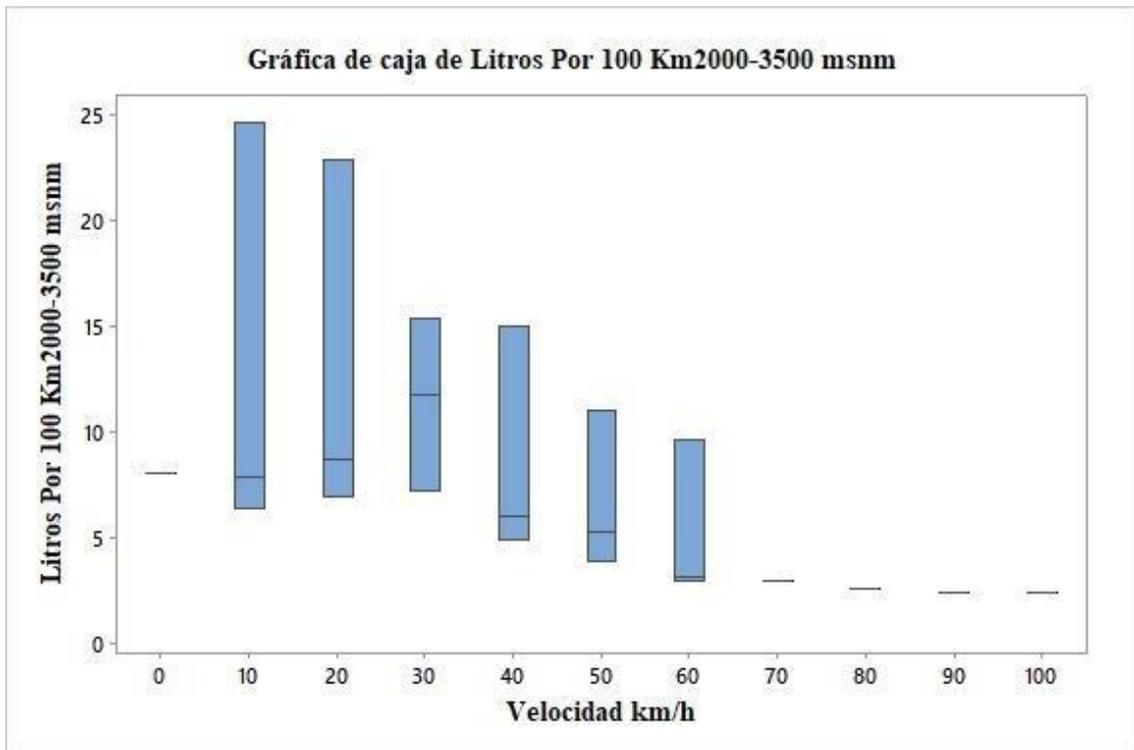


Gráfico 6-3: Diagrama de caja: Consumo de combustible vs Velocidad. De 1000 a 2000 msnm en un motor 1400 cc

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

En la tabla 3-3, podemos encontrar algunos valores representativos de la gráfica 6-3 donde además se puede observar que el mayor consumo se da a una aceleración de 0.5 m/s^2 con una velocidad de entre 10-20 km/h y mientras el menor consumo se da a una aceleración de 0.2 m/s^2 a una velocidad de 70 km/h. Los datos de aceleración fueron obtenidos de la gráfica 3-3

Tabla 3-1: Valores representativos del Consumo de combustible en función de la velocidad y aceleración

Valores representativos de la gráfica Consumo de combustible en función de la velocidad y aceleración		ALTITUD: 2000-3500 msnm
Parámetros	Mayor	Menor
Consumo de combustible (l/100km)	8.25	2.242
Velocidad (km/h)	10-20	70
Aceleración (m/s^2)	0.5	0.2

Fuente: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

Al analizar las gráficas 48.49.50 del capítulo 4 se pudo obtener la siguiente información:

- Se puede apreciar que a medida que aumenta la altitud no siempre produce un aumento en el consumo de combustible, dado que el consumo de combustible presenta una relación más estrecha con la aceleración, es decir, al aumentar este parámetro podemos decir con certeza que el consumo de combustible se verá afectado, como se aprecia en el intervalo de 2000 a 3500 msnm donde al existir una aceleración de $0,5 \text{ m/s}^2$ el consumo que presenta es de 8.25 l/100 km mientras que en el intervalo de 100 a 2000 msnm donde la aceleración es mayor con un valor de 2 m/s^2 y el consumo de combustible que se aprecia es de 16,144 l/100 km. De modo que a mayor aceleración mayor es el consumo de combustible.

3.3. Emisiones contaminantes en función de la altitud

Los promedios que se hallaron al medir los gases contaminantes con el analizador de gases se detallan a continuación en la tabla 4-3:

De acuerdo con la agrupación de datos donde se divide la altura desde 0-1000-2000-3500 msnm

Tabla 4-3: Valores promedios obtenidos por el analizador de gases a diferentes alturas

Altitud(m)	CO (% vol)	HC (PPM)	NO (PPM)
3500	3.29129	376.5	324.5

3000	3.17518	348	332
2500	2.59304	478	231
2000	2.32191	431	318
1500	2.08814	443	231
1000	1.80253	384	277
500	1.71946	449	231
0	1.70500	303	380

Fuente: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

En la Figura 7-3 se aprecia la concentración en volumen de CO con respecto a la variación de altitud de los datos mostrados en la tabla 4-3.

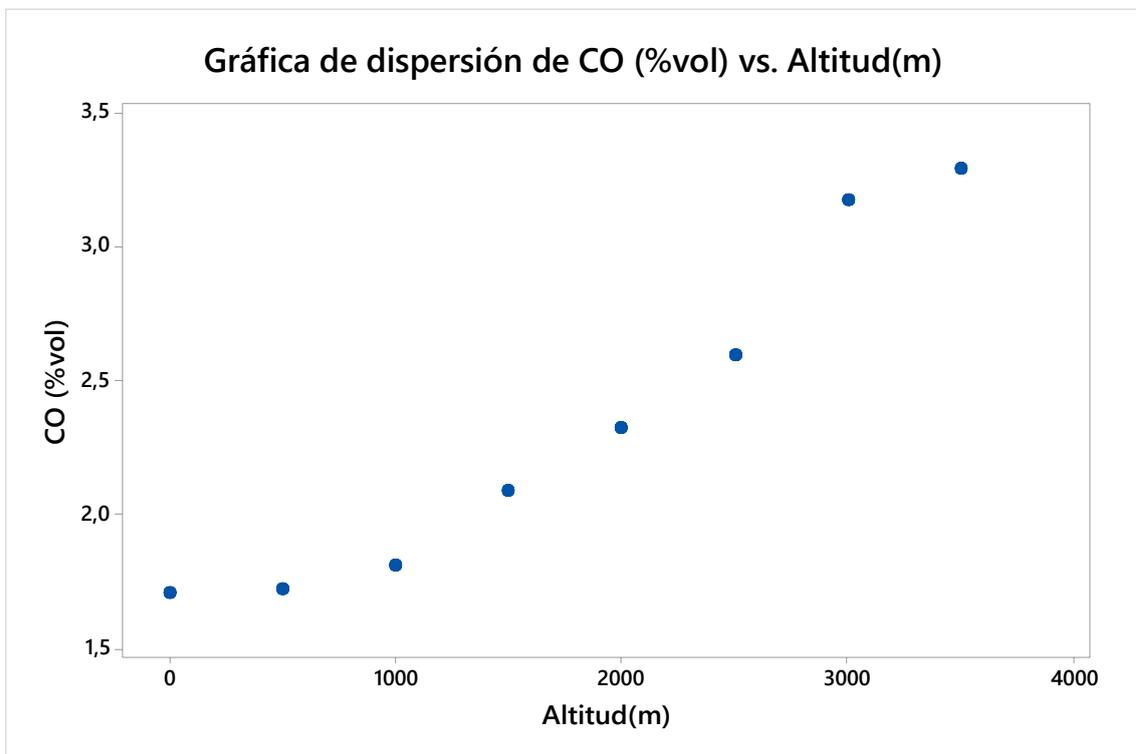


Gráfico 7-3: Diagrama de dispersión: Concentración en volumen de CO a diferentes altitudes.

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

En el gráfico 8-3 se aprecia la concentración de HC con respecto a la variación de altitud de los datos mostrados en la tabla 4-3.

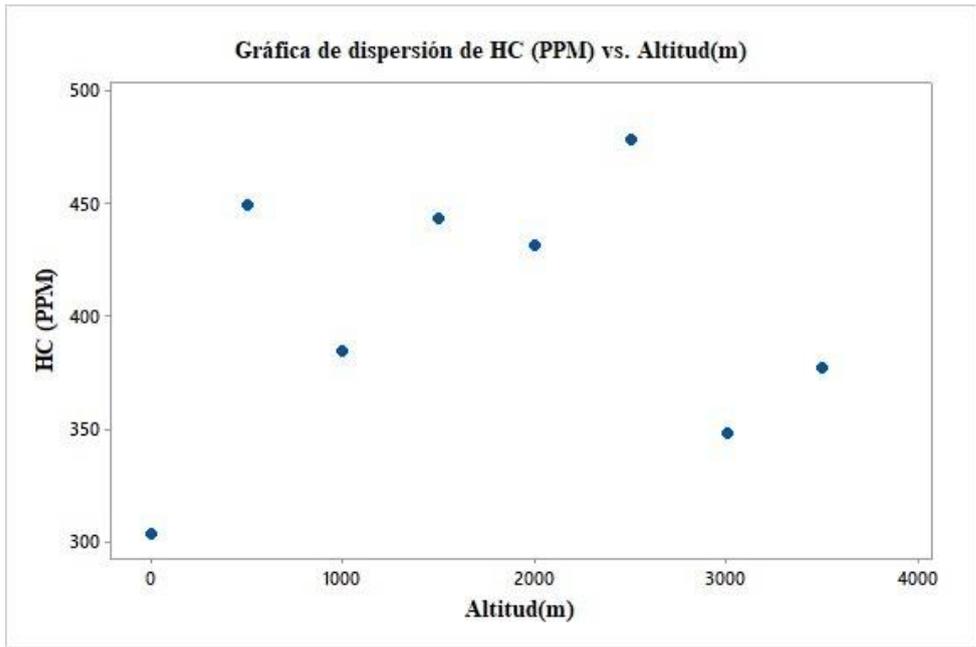


Gráfico 8-3: Diagrama de dispersión: Concentración de HC a diferentes altitudes.

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

En el gráfico 9-3 se aprecia la concentración de HC con respecto a la variación de altitud de los datos mostrados en la tabla 4-3.

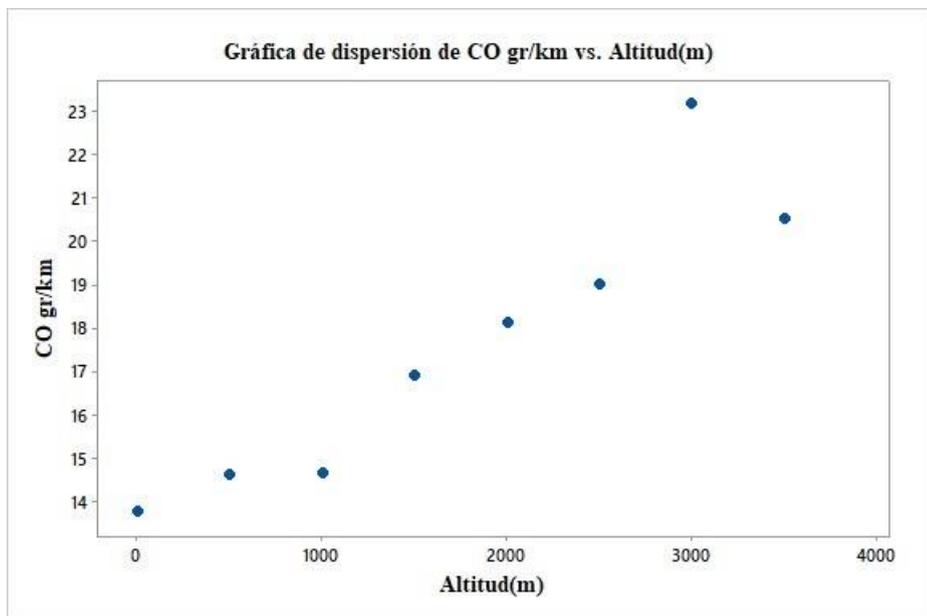


Gráfico 9-3: Diagrama de dispersión: Concentración de NO a diferentes altitudes

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

Para poder emitir un criterio de análisis estadístico se procedió a someter las emisiones obtenidas con el analizador de gases y la altitud a una correlación de Pearson la misma que determinara si

la altura influye o no en la emisión de estos gases contaminantes. Donde los resultados de dicha correlación se muestran en la tabla 3-5:

Tabla 5-3: Valores de correlación obtenidos para los distintos gases contaminantes

	CO	HC	NOx
Correlación de Pearson	0,966	0,139	0,034
Valor p	0,000	0,743	0,937

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

Al analizar los valores de correlación se obtuvo la siguiente información:

- Existe una correlación positivo fuerte para el CO con respecto a la altitud, es decir a mayor altitud mayores emisiones de CO lo cual se confirma al analizar la Figura 3-7 donde el valor más alto de CO (3.29 % vol) se encuentran a una altitud de 3500 msnm. Es 7-3 muestra un comportamiento fluctuante complejo.
- El mismo comportamiento ocurre para los NO, pero en este caso la correlación es nula por lo que se puede decir que no existe un comportamiento lineal de los datos y la altitud no es un factor influyente como se puede apreciar en el grafico 9-3.

3.4. Factores de Emisión contaminantes en función de la altitud

Los valores promedios que se hallaron tras realizar el cálculo de factores de emisiones se detallan a continuación en la tabla 6-3:

De acuerdo con la agrupación de datos donde se divide la altura desde 0-1000-2000-3500 msnm

Tabla 6-3: Factores de emisión calculados con respecto a la altitud.

Altitud(m)	F.E CO gr/km	F.E HC gr/km	F.E NO gr/km
3500	20.49	0.03132998	0.01997118
3000	23.1474	0.03246086	0.01847306
2500	18.9843	0.03595807	0.01390336
2000	18.1118	0.03960623	0.02278502
1500	16.886	0.04633955	0.02570271
1000	14.6532	0.03914036	0.02589325
500	14.6178	0.04291638	0.02162292
0	13.7656	0.02658711	0.01917688

Fuente: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

En la gráfica 10-3 se aprecia los factores de emisión de CO con respecto a la variación de altitud de los datos mostrados en la tabla 6-3.

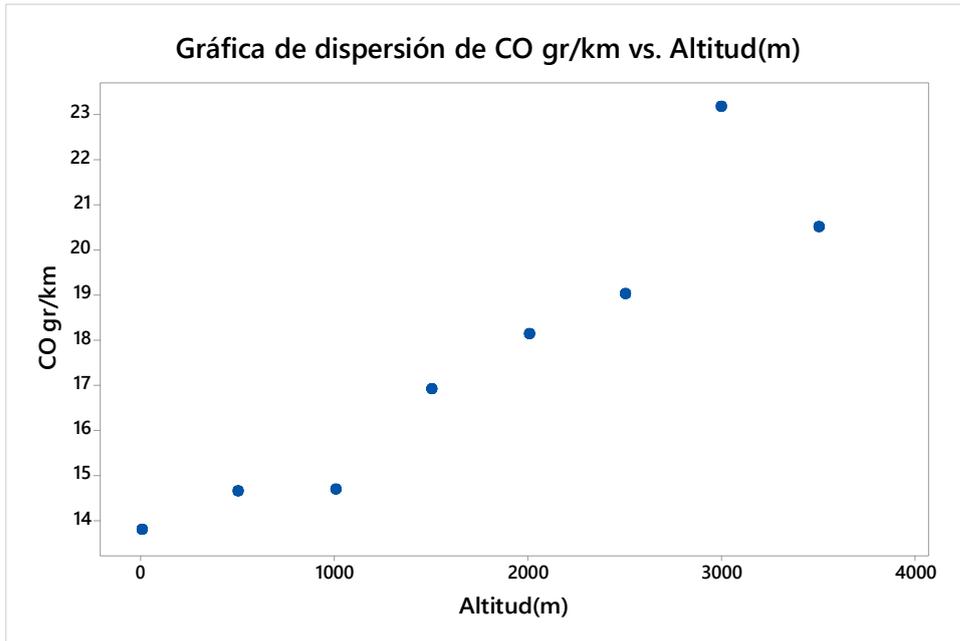


Gráfico 10-3: Diagrama de dispersión: Factores de emisión de CO a diferentes altitudes

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

En el gráfico 3-11 se aprecia los factores de emisión de HC con respecto a la variación de altitud de los datos mostrados en la tabla 6-3.

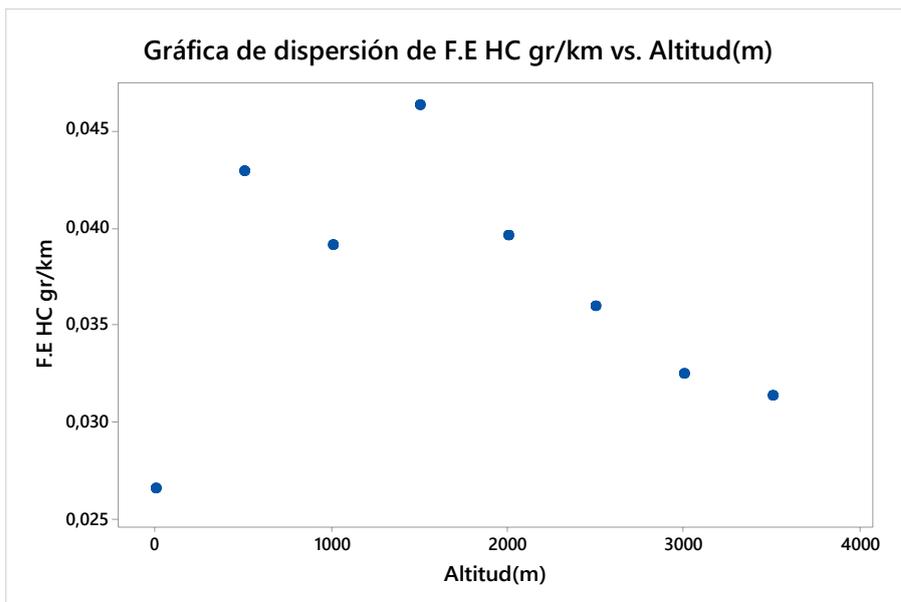


Gráfico 11-3: Diagrama de dispersión: Factores de emisión de HC a diferentes altitudes.

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

En el grafico 11-3 se aprecia los factores de emisión de NO con respecto a la variación de altitud de los datos mostrados en la tabla 6-3

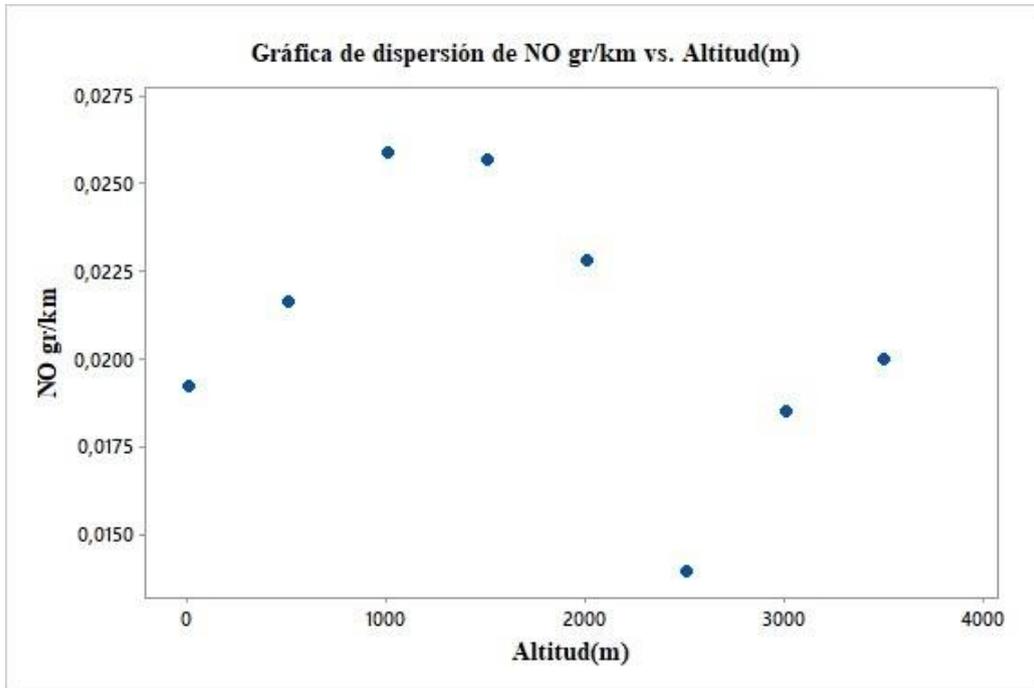


Gráfico 12-3: Diagrama de dispersión: Factores de emisión de NO a diferentes altitudes.

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

Del mismo modo se procedió a correlacionar los factores de emisión con lo que se determinara si la altura influye o no en la emisión de estos gases contaminantes. Los resultados de dicha correlación se muestran en la tabla 6-3:

Tabla 3-2: Correlación de los factores de emisión con respecto a la altura

	CO	HC	NO
Correlación de Pearson	0.792	-0,159	-0,36
Valor p	0.019	0,707	0,381

Fuente: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

Al analizar los valores de correlación se obtuvo la siguiente información:

- Existe una correlación fuerte para el CO con respecto a la altitud, es decir a mayor altitud mayor son los factores de emisión de CO lo cual se confirma al analizar el grafico 9-3. donde el valor más alto de CO (23.147 gr/km) se encuentran a una altitud de 3000 msnm. Esto se debe a muchos factores uno de estos gases se debe a que se genera una combustión incompleta, ya que a grandes altitudes hay menos concentración de oxígeno en el aire generando mezclas ricas.

- Para el caso de los HC se tiene una correlación débil, es decir, la altitud no es el factor que más influya en la emisión de este tipo de gases ya que en la Figura 55-4. muestra un comportamiento fluctuante complejo.
- Podemos decir que, aunque exista una correlación moderada en los factores de emisión de NOx no es confiable debido a que el valor P es muy alto de forma que no existe un comportamiento lineal de los datos y la altitud este fenómeno se puede apreciar en el grafico 12-3..

3.5. Consumo de combustible respecto al cambio de marcha

A continuación, se presenta la gráfica 13-3 que representa la marcha en la cual existe un mayor consumo de combustible para nuestro estudio.

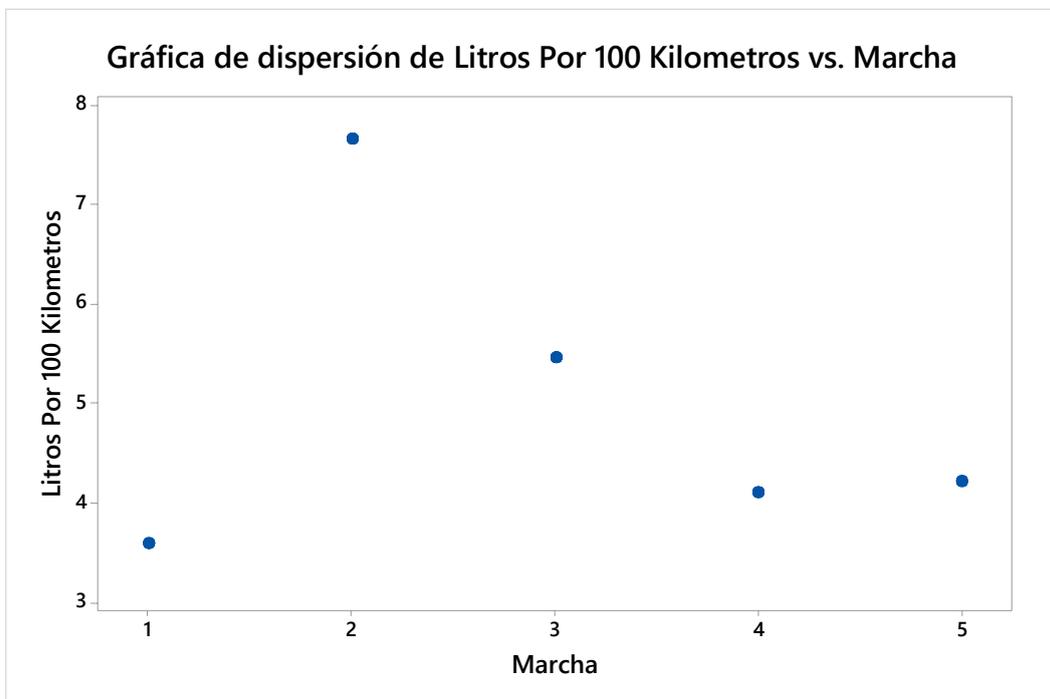


Gráfico 13-2: Diagrama de dispersión: Consumo de combustible en función de la marcha.

Realizado por: Barrionuevo, B.; Viera, J. 2020

Al analizar la gráfico 13-3 podemos decir que, para nuestro estudio, en el cambio de primera a segunda marcha se muestra que existe el máximo consumo de combustible (764 l/100 km), esto debido a que en las marchas cortas el motor gira a más revoluciones y entrega el mayor torque por lo que el consumo se eleva con respecto a las marchas más largas que brindan más potencia que torque.

CONCLUSIONES

Se analizó el efecto de la altitud y se conoció su incidencia sobre el consumo de combustible, emisiones contaminantes y a su vez en los factores de emisiones calculados a partir de las mediciones de gases contaminantes obtenidas a partir del uso del analizador “MAHA MET 6.3” y del dispositivo OBD II ELM 3.27 con la aplicación móvil “Torque Pro”, mediante varias pruebas reales de ruta.

Se definieron varias rutas de conducción para el desarrollo del presente trabajo de titulación, las cuales representan las diferentes altitudes en nuestro país, abarcando las tres regiones naturales llegando de 0 msnm a 3500 msnm.

Se generó una base de datos, la cual contiene los datos de emisiones contaminantes como CO, CO₂, NO_x, HC así mismo de los factores de emisión en gr/km, además, de los PIDs que fueron necesarios para el análisis de resultados. Esta base de datos pasó por un proceso de filtrado y procesamiento con el fin de eliminar cualquier error de medición de los equipos.

Se analizó los datos de consumo de combustible y emisiones utilizando diagramas de dispersión, cajas, tablas mostrados en gráficos con el propósito de mostrar los resultados obtenidos en las pruebas en ruta, de tal manera que sean de fácil interpretación por parte del lector.

Se logró evidenciar que la altitud no es el factor que más influye en el consumo de combustible, ya que, tras analizar los datos, no se aprecia un aumento o disminución de este al compararlo en diferentes rangos de altitud, no obstante, se pudo apreciar que la aceleración es un factor que influye en el consumo, puesto que a mayor presencia de aceleraciones positivas se aprecia un aumento en el consumo de combustible.

Tras el registro del cambio de marcha que se realizaron en el vehículo, se pudo determinar que el mayor consumo de combustible se lo puede apreciar al momento de realizar el cambio de primera a segunda marcha, esto se debe a que en dichas marchas la demanda de torque es mayor y el motor llega a girar a elevadas rpm.

Se analizó los resultados obtenidos de las emisiones contaminantes donde se observó que el CO se ve afectado en gran medida por la altitud dado que sufre un incremento del 48% al comparar los datos a 0 msnm respecto a una altitud de 3500 msnm, los valores de HC y NO_x no se ven afectados al momento de variar la altura ya que no presentan un comportamiento lineal con dicho parámetro, además, se puede apreciar el mismo comportamiento al analizar los factores de emisión antes calculados.

RECOMENDACIONES

Es recomendable analizar varios factores que intervengan en el comportamiento del vehículo, como por ejemplo temperatura ambiente, presión atmosférica, tipo de combustible, estado del motor, densidad del aire, velocidad, etc.

Se recomienda usar un escáner que abarque la mayor cantidad de marcas comerciales de vehículos con el fin de evitar tener problemas con los diferentes protocolos de comunicación con la ECU.

Para el desarrollo de cualquier prueba es fundamental realizar los mantenimientos necesarios tanto en los equipos de medición como en el o los vehículos que servirán de análisis.

Se recomienda el uso de un analizador portátil para evitar problemas eléctricos al momento de realizar las pruebas, caso contrario, se debe usar un inversor de voltaje incrementando el peligro de un cortocircuito y se disminuye la vida útil de la batería.

Al momento de seleccionar las rutas, es recomendable que estas sean de interés y representen de mejor manera la finalidad del estudio.

Al momento de filtrar los datos, se aconseja tener mucho cuidado para eliminar toda medición errónea generada por los instrumentos de medición y del mismo modo para no eliminar información que en un futuro pueda ser relevante en los resultados del estudio.

Para poder emparejar los datos de dos o más instrumentos de medición, se recomienda que el investigador use la correlación de Pearson, el cual es un índice que va desde 0 a 1 que indica la relación existente entre las distintas mediciones y de esta forma poder comparar los distintos parámetros para el desarrollo óptimo del análisis.

GLOSARIO

RON: Siglas del idioma inglés (Research Octane Number) que identifica al método para cuantificar el número de octano de una gasolina, mediante el procedimiento normalizado, conocido como “Research”. (INEN, 2010c: p. 1)

MON: Siglas del idioma inglés (Motor Octane Number) que identifica al método para cuantificar el número de octanos de una gasolina, mediante el procedimiento normalizado, conocido como “Motor”. (INEN, 2010d: p. 1)

CO: Es un gas inodoro, incoloro, explosivo y altamente toxico producto de una combustión incompleta, importantes en gran manera en motores a gasolina. (Payri, 2011f: p. 425)

CO₂: Es un gas que se produce al quemar los combustibles que están hechos a base del carbono y aunque es un gas no toxico, no combustible, es un precursor del efecto invernadero. (Payri, 2011a: p. 442)

NO: Este tipo de gases se presenta en los motores de combustión interna a diésel ya que para su producción deben existir varias condiciones como alta presión, alta temperatura y un exceso de oxígeno. (Payri, 2011h: p. 419)

HC: Son el resultado de una combustión incompleta debido a la falta de oxígeno o a una baja inflamación de la mezcla aire-combustible. (Payri, 2011b: p. 592)

BIBLIOGRAFÍA

BARRERA ECHEVERRÍA, Josué; et al. Estudio de las Emisiones de Gases Contaminantes en función de la Altitud en la Zona Norte del Ecuador. [en línea] Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Mecánica Automotriz. Quito-Ecuador 2018. p.13. [Consulta: 10 de diciembre de 2020.] Disponible en: <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2794>

BARRENO GAVILANEZ, Edy. Calculo de factores de emisión de gases contaminantes de un motor ciclo otto mediante pruebas en ruta usando un sistema de alimentación de combustible dual de gasolina con hidrógeno en la ciudad de Quito. [en línea] Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias, Carrera de Ingeniería Automotriz, Quito. 2017. p.26 [Consulta: 2 de diciembre de 2020.] Disponible en: http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/16561/1/69348_1.pdf

CALVA MONTOYA, R. & FLORES DIAZ, A. Obtención del ciclo de conducción urbano para la ciudad de Riobamba en horas pico y no pico mediante la recolección de datos de los factores de operación y consumo energético obtenido por un dispositivo OBD II. [en línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz. Riobamba-Ecuador: 2020. pp.43-44 [Consulta: 2 de diciembre de 2020.] Disponible en: <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/13823/1/65T00342.pdf>

CAVALLERO MORALES, M. Análisis de emisiones de vehículos livianos según ciclos de conducción específicos para la región metropolitana. [en línea] Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Mecánica. Santiago de Chile. 2011. pp. 22-23 [Consulta: 3 de diciembre de 2020.] Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-caballero_mm/pdfAmont/cf-caballero_mm.pdf

CAIZA JACOME, P. & PORTILLA AGUILAR, A. Determinación de la influencia de la altura en emisiones contaminantes de un vehículo con motor de ciclo otto, de inyección electrónica de gasolina. [en línea] Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito. 2010. p. 20 [Consulta: 23 de diciembre de 2020.] Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7684>

ESCUADERO, Secundino; et al. Motores. [en línea] Iberia. Macmillan, 2011. [Consulta: 23 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/101844>.

GONZALES CALLEJA, D. Motores. [en línea] 2ª ed. España. Ediciones Paraninfo, 2018. p.18 [Consulta: 23 de diciembre de 2020.] Disponible en:

https://books.google.com.ec/books?id=HxJMDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

HERNÁNDEZ LALINDE, Juan; et al. " Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: verificación de supuestos mediante un ejemplo aplicado a las ciencias de la salud". Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica [en línea]. 2018 (Venezuela) 37(5), p. 589 [Consulta: 14 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/559/55963207020/55963207020.pdf>

INEN."Gasolina. Requisitos". Norma Técnica Ecuatoriana [en línea]. 2010. (Quito-Ecuador) pp.1-2 [Consulta: 20 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/935-7.pdf>

JARRÍN VEINTIMILLA, P. Análisis de resultados de la medición de emisiones ed gases contaminantes de fuentes móviles a partir de la implementación de la revisión técnica vehicular en el cantón Cuenca. [en línea] Universidad Politécnica Salesianase de Cuenca, Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca-Ecuador 2015. p. 11 [Consulta: 19 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://docplayer.es/55318127-Universidad-politecnica-salesiana-sede-cuenca-carrera-de-ingenieria-mecanica-automotriz.html>

JIMENEZ, Felipe; et al. "Determinacion de ciclos de conducción en rutas urbanas fijas" Artículo científico.INSIA. [en línea]. 2013. p.1 (Madrid) [Consulta: 16 de diciembre de 2020.] Disponible en: <http://oa.upm.es/32357/12/32357OK.pdf>

LLANES CEDEÑO, Edilberto; et al. "Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura. Caso de estudio Quito, Ecuador" Enfoque UTE [en línea] 2018. (Quito-Ecuador) 9(2), [Consulta: 12 de diciembre de 2020.] Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422018000200149#B8.

MORALES, J. Estudio de la dinámica de tracción de un vehículo eléctrico. [en línea] Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología. Pereira. 2017. p.31 [Consulta: 16 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/148624619.pdf>

MORA PALLANGO, Erick Fabricio. Estudio para establecer los parámetros aerodinámicos en un vehículo, que se deberían aplicar en la estructura o compacto para mejorar la eficiencia en el consumo de combustible. [en línea] Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias, Carrera de Ingeniería Automotriz. Quito. 2016. p.14 [Consulta: 11

de diciembre de 2020.] Disponible en:
http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14158/1/66287_1.pdf

PAYRI, F. Motores de combustion interna alternativos. [en línea] 2ª ed. España. EDITORIAL REVERTÉ, S. A, 2011. p.418 [Consulta: 11 de diciembre de 2020.] Disponible en:
https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/130ad267-fe67-4ec7-8363-51b16ffe11a6/TOC_0809_04_01.pdf?guest=true

PLANELLES, Manuel. "Las emisiones mundiales de CO2 crecen y vuelven a marcar un récord." EL PAÍS. [en línea], 2018. (Madrid) [Consulta: 16 de diciembre de 2020.] Disponible en: https://elpais.com/sociedad/2018/12/05/actualidad/1544012893_919349.html

PULKRAVEK, Willard. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine. [en línea]. Platteville New Jersey. 2004. pp.136-244 [Consulta: 16 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://2k9meduettaxila.files.wordpress.com/2012/09/engineering-fundamentals-of-the-internal-combustion-engine-2k9meduettaxila-wordpress-com.pdf>

QUINCHIMBLA PISUÑA, F. & SOLÍS SANTAMARÍA, J . Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera y combinado para evaluar el rendimiento del combustible de un vehículo con motor de ciclo otto en el distrito metropolitano de Quito. [en línea], Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito. 2017. p.22 [Consulta: 11 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17000/1/CD-7578.pdf>

RECALDE ROJAS, Mauricio & REVELO ARGOTI, Romel. Analisis de emisiones en vehículos a gasolina utilizando pruebas estacionaria y dinamica mediante ciclo IM-240 . [en línea], Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito. 2015. pp.27-28 [Consulta: 27 de diciembre de 2020.] Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11925>

TORRES SALCEDO, Jorge & URVINA VILLACIS, Victor. Determinación de los factores reales de emisión de los motores ciclo otto en la ciudad de Quito [en línea], Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito. 2008. p.31 [Consulta: 21 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/650/1/CD-1588%282008-07-15-01-10-32%29.pdf>

URBINA GUZMÁN, A. Comparación de factores de emisión vehicular al utilizar ciclos de conducción IM240 y on board en la ciudad de Quito. [en línea] Escuela Politécnica Nacional,

Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito. 2016. pp.30-31 [Consulta: 12 de diciembre de 2020.]

Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15097>



Firmado electrónicamente por:
**JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS**

ANEXOS



Anexo 1.- Mantenimiento del vehículo



Anexo 2.- Calibración del analizador de gases



Anexo 4.- Inversor de voltaje



Anexo 3.- Analizador Maha met 6.3



Anexo 5.- Software Maha



Anexo 6.- PID's escáner Torque pro



Anexo 9.- Instalación de los equipos



Anexo 7.- Filtro tras una ruta de mediciones



Anexo 8.- Fijación de la sonda del analizador de gases



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA
INVESTIGACIÓN



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 31/08/2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)

Nombres – Apellidos: BRYAN VINICIO BARRIONUEVO MONTERO
JONATHAN DAVID VIERA LARA

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: MECÁNICA

Carrera: INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Título a optar: INGENIERO AUTOMOTRIZ

f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. CPA. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas. MBA.



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS



31-08-2021
1134-DBRA-UTP-2021