



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA EN PETRÓLEO**

TEMA:

**“ANÁLISIS DE LA EMISIÓN DE GASES PRODUCTO DE LA
COMBUSTIÓN DE VEHÍCULOS LIVIANOS EN LA PROVINCIA DE
SANTA ELENA”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORA:

ANGELA PATRICIA GARCÍA GUILLEN

TUTOR:

ING. CARLOS MALAVÉ CARRERA

LA LIBERTAD, ECUADOR

(2023)

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEO**

TEMA:

**ANÁLISIS DE LA EMISIÓN DE GASES PRODUCTO DE LA
COMBUSTIÓN DE VEHÍCULOS LIVIANOS EN LA PROVINCIA DE
SANTA ELENA**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

ANGELA PATRICIA GARCÍA GUILLEN

TUTOR:

ING. CARLOS MALAVÉ CARRERA, MS.C

LA LIBERTAD – ECUADOR

(2023)

UPSE

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



**Ing. Marlleis Gutiérrez H, PhD.
DIRECTOR DE CARRERA DE
PETRÓLEOS**



**Carlos Malavé Carrera
DOCENTE TUTOR**



**Ing. Carlos portilla, MsC.
DOCENTE ESPECIALISTA**



**(Ing. Sadi Iturralde)
DOCENTE GUÍA DE LA UIC**



**Ing. David Vega González
SECRETARIO DEL TRIBUNAL**

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres Angel García y Betsy Guillen, porque siempre están a mi lado apoyándome en mis victorias y derrotas.

También quiero dedicarles este trabajo a mis hermanas Natalia y Adriana, y a mis abuelitos Isidro Guillen y Colombia Chalén por haberme acompañado y apoyado incondicionalmente a lo largo de mi vida y mi carrera profesional.

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “ANÁLISIS DE LA EMISIÓN DE GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN DE VEHÍCULOS LIVIANOS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA” elaborado por la estudiante **ÁNGELA PATRICIA GARCÍA GUILLÉN**, egresada de la carrera de Ingeniería en Petróleos, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio **COMPILATIO**, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 5% de la valoración permitida.



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Tesis final Ángela García

5% Similitudes

1% Texto entre comillas
< 1% similitudes entre comillas

< 1% Idioma no reconocido

Nombre del documento: Tesis final Ángela García.docx	Depositante: CARLOS ALFREDO MALAVE CARRERA	Número de palabras: 15.280
ID del documento: 703607e6a87f75531cd91b0de760f14e7c3479c	Fecha de depósito: 3/8/2023	Número de caracteres: 94.144
Tamaño del documento original: 334,63 kB	Tipo de carga: interface	
	fecha de fin de análisis: 3/8/2023	



Firmado electrónicamente por:
**CARLOS ALFREDO
MALAVE CARRERA**

Ing. CARLOS MALAVÉ CARRERA

C.I.: 0912370095

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Angela Patricia García Guillen, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“ANÁLISIS DE LA EMISIÓN DE GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN DE VEHÍCULOS LIVIANOS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería en petróleo, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



ANGELA PATRICIA GARCÍA GUILLEN

Autor de Tesis

C.I. 0928350248

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Carlos Malavé MSc.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “**ANÁLISIS DE LA EMISIÓN DE GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN DE VEHÍCULOS LIVIANOS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA**” previo a la obtención del Título de Ingeniero en petróleos elaborado por el Srta. **ANGELA PATRICIA GARCIA GUILLEN**, egresado de la carrera de Ingeniería en Petróleos, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.



Firmado electrónicamente por:
**CARLOS ALFREDO
MALAVE CARRERA**

ING. CARLOS MALAVÉ CARRERA

Tutor de tesis

C.I: 0912370095

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

La Libertad, 24 de julio de 2023

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

Yo, **Del Pezo Reyes Elsa Esmeralda** con cédula de ciudadanía **0910001007** certifico que he revisado la redacción, estilo y ortografía del contenido del trabajo de integración curricular “**Análisis de la emisión de gases producto de la combustión de vehículos livianos en la provincia de Santa Elena**”, elaborado por **Angela García Guillen**, presentado como requisito académico previo a la obtención del título de **Ingeniero de Petróleo de la Universidad Estatal Península de Santa Elena de la facultad de Ciencias de la Ingeniería de la carrera de Ingeniería en Petróleo**.

El mencionado trabajo, en el contexto general cumple con los requisitos de redacción, estilo y ortografía para uso del idioma español.

Certificación que otorgo para fines académicos pertinentes, en la ciudad de La Libertad a los veinticuatro días del mes de julio de dos mil veintitrés.

Atentamente,



Elsa Esmeralda Del Pezo Reyes
"MAGISTER DE ESCRITURA CREATIVA EN ESPAÑOL"
Número de cédula: 0910001007
Número de celular: 0963137128
Número de registro de SENESCYT: 7241181623

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo quiero agradecerle principalmente a Dios, por bendecirme en este proceso de enseñanza, brindarme fortaleza cuando las fuerzas flaquean, inyectándome fe y sabiduría para hacer realidad este sueño anhelado.

A mis padres y a mis abuelitos por el esfuerzo, paciencia, sabiduría que han brindado a lo largo de mi vida tanto estudiantil, como personal; por ser promotores de metas, por sus sabios consejos, por siempre dar el apoyo incondicional que todo padre ofrece a sus hijos. No me alcanza la vida para agradecerles.

A cada maestro que agregó sus conocimientos en este proyecto, al Ing. Carlos Malavé y al Ing. Romel Erazo Bone quiénes con su conocimiento, colaboración y su paciencia se logró desarrollar este trabajo de investigación.

A Marcos Suárez por haberme acompañado, apoyado y su colaboración con las pruebas realizadas en este proyecto. También a todas las personas que de alguna u otra forma fueron parte de este proceso.

A mi mejor amiga Loly Romero por siempre esperar más de mí y brindarme sus sabios consejos; a mis amigos, Lisbeth ponguillo, Jerson Barrio y Karen Domínguez, por brindarme su amistad incondicional a lo largo de estos años.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, por darme la oportunidad de estudiar y acogerme en sus instalaciones, permitiéndome formarme como Ingeniera en petróleo. Y a todos mis docentes, por enseñarme a lo largo de estos años el valor del conocimiento.

CONTENIDO

	Pág.
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA.....	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	v
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	viii
CONTENIDO.....	9
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABLAS	18
RESUMEN.....	20
ABSTRACT	21
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	22
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.2 JUSTIFICACIÓN	22
1.3 ANTECEDENTES	23
1.4 HIPÓTESIS	25
1.5 OBJETIVOS	26
1.5.1 General.....	26
1.5.2 Específicos.....	26
1.6 ALCANCE DE LA PROPUESTA	26
1.7 VARIABLES	27
1.7.1 VARIABLE INDEPENDIENTE:	27

1.7.2	VARIABLE DEPENDIENTE:.....	27
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO		28
2.1	COMBUSTIBLES FÓSILES	28
2.1.1	El Carbón.....	29
2.1.2	El petróleo	29
2.1.3	El gas natural	30
2.2	PROPIEDADES FISICOQUÍMICO DEL PETRÓLEO.....	30
2.2.1	Propiedades físicas	30
2.1.1	Propiedades químicas del petróleo	31
2.3	ESTRUCTURA DE COMBUSTIBLES FÓSILES.....	32
2.3.1	Parafinas o alcanos	33
2.3.2	Nafténicos o cicloalcanos	33
2.3.3	Aromáticos o bencenos.....	33
2.3.4	Asfálticos	33
2.4	OBTENCIÓN DEL PETRÓLEO	34
2.5	COMBUSTIBLE Y COMBUSTIÓN	35
2.5.1	Combustible.....	35
2.5.2	Combustión.....	36
2.5.3	Comburentes.....	36
2.6	GASES DE COMBUSTIÓN.....	37
2.6.1	Tipos de combustión.....	37
2.7	LAMBDA	41
2.7.1	Regulación lambda	44
2.8	TIPOS DE GASES DE COMBUSTIÓN.....	45
2.8.1	Gases inofensivos	45

2.8.2	Gases contaminantes.....	46
2.9	CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES.....	47
2.10	GASOLINA	48
2.10.1	La gasolina en el Ecuador.....	48
2.10.2	Octanaje de la gasolina	49
2.11	MOTOR A GASOLINA.....	50
2.12	CICLOS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE 4 TIEMPOS	50
2.12.1	Admisión	50
2.12.2	Compresión.....	51
2.12.3	Combustión.....	51
2.12.4	Escape.....	52
2.13	CILINDRAJE	52
2.14	EL AIRE	53
2.14.1	Composición del aire	53
2.14.2	Contaminantes del aire	53
2.14.3	Clasificación de los contaminantes del aire.....	54
2.14.4	Calidad del aire.....	55
2.15	FACTOR DE EMISIÓN.....	56
2.15.1	Dinamómetro de chasis	57
2.15.2	Modelación inversa.....	57
2.15.3	Uso de modelos	57
2.16	METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LOS FACTORES DE EMISIÓN (FE)	58
2.17	MARCO LEGAL.....	59
2.17.1	Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204:98.....	59

2.17.2	Normas (TULAS).....	60
2.17.3	Constitución de la república del Ecuador.....	61
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		62
3.1	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	62
3.1.1	Métodos	63
3.1.2	Técnicas	63
3.2	Equipo utilizado para realizar las mediciones	64
3.2	TIPO DE INVESTIGACIÓN	65
3.2.1	Investigación descriptiva	66
3.2.2	Investigación cuantitativa.....	66
3.2.3	Investigación analítica	66
3.2.4	Investigación de campo	66
3.2.5	Investigación bibliográfica	67
3.3	NORMA TÉCNICA APLICABLE A LOS VEHÍCULOS A GASOLINA	67
3.4	GENERALIDADES DE LA FLOTA VEHICULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA.....	69
3.5	TOMA Y RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA PARA EL ESTUDIO	70
3.5.1	Descripción del área de estudio.....	70
3.6	DETERMINACIÓN DE LA FLOTA VEHICULAR DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO	70
3.7	CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA (N).....	71
3.7.1	Recolección de datos de la muestra.....	72
3.7.2	Procesamiento de datos.	73
3.8	MODELO DE PREDICCIÓN	73
3.8.1	Regresión lineal.....	73
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		74

4.1	CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA	74
4.1.1	CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS.....	75
4.1.2	De Servicio Público:.....	75
4.1.3	Particulares:	76
4.2	COMBUSTIBLE UTILIZADO.....	77
4.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL AUMENTO POBLACIONAL EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA.....	78
4.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL AUMENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR	79
4.5	ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES DE COMBUSTIÓN VS CILINDRAJE.....	81
4.6	ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES DE COMBUSTIÓN VS AÑO.....	87
4.6.1	ANÁLISIS DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DEL AÑO 1990 A 2006	90
4.6.2	ANÁLISIS DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DEL AÑO 2007 Y POSTERIORES.....	93
4.7	ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES DE COMBUSTIÓN VS MARCA DEL VEHÍCULO.....	95
4.8	ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES DE COMBUSTIÓN VS KILOMETRAJE.....	100
4.9	SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMISIÓN GENERADA POR VEHÍCULOS A GASOLINA.....	103
4.9.1	Límites permisibles de CO₂	103
4.9.2	Límites permisibles de CO	104
4.9.3	Límites permisibles de HC	105
4.9.4	Límites permisibles de NO₂	107

4.7.5	Límites permisibles de LAMBDA	108
4.10	CUANTIFICACIÓN DE LA EMISIÓN DE GASES EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA.....	109
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		114
5.1	CONCLUSIONES	114
5.2	RECOMENDACIONES.....	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		117
ANEXOS		120

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clases de Petr6leos crudos de algunos campos conocidos	34
Figura 2. Tri6ngulo de la combusti6n	36
Figura 3. Proceso de combusti6n completa.....	39
Figura 4 Sonda Lambda	42
Figura 5 Emisiones gaseosas en funci6n de lambda, motor a gasolina.....	43
Figura 6. grafica de tensi6n vs coeficiente de aire para dispositivos anticontaminantes que determinan el factor lambda	44
Figura 7 Gases de escape	45
Figura 8 Admisi6n.....	50
Figura 9 Compresi6n	51
Figura 10 Explosi6n	51
Figura 11 Escape	52
Figura 12 cilindrada del veh6culo	52
Figura 13 principales contaminantes de la atm6sfera.....	55
Figura 14 Variaciones de los contaminantes ambientales procedentes de camiones pesados	56
Figura 15. Mapa de la Provincia de Santa Elena	69
Figura 16 porcentaje de la flota vehicular muestreada de la Provincia de Santa Elena	74
Figura 17 porcentaje de veh6culos dependiendo el servicio que presta.....	75
Figura 18 Flota vehicular de taxis por marca de veh6culo.....	75
Figura 19 Flota vehicular para veh6culos particulares.....	76
Figura 20 Modelo matem6tico del incremento poblacional	78
Figura 21 Modelo matem6tico del incremento de veh6culo a gasolina hasta el 2031	79
Figura 22 Modelo matem6tico del incremento de veh6culos hasta el 2031	80
Figura 23 Sistemas de control de emisiones.....	81
Figura 24 Correlaci6n entre el Di6xido de carbono en estado ralenti vs Cilindraje	81
Figura 25 Correlaci6n Di6xido de carbono en estado aceleraci6n vs cilindraje	81

Figura 26	Correlación del monóxido de carbono en estado ralentí vs cilindraje	82
Figura 27	Correlación del monóxido de carbono en estado aceleración vs cilindraje	83
Figura 28	Correlación del oxígeno en estado ralentí vs cilindraje	84
Figura 29	Correlación del oxígeno en estado aceleración vs cilindraje	84
Figura 30	Correlación de los hidrocarburos en estado ralentí vs cilindraje	85
Figura 31	Correlación de los hidrocarburos en estado aceleración vs cilindraje	86
Figura 32	Correlación de lambda en estado ralentí vs cilindraje	86
Figura 33	Correlación de lambda en estado aceleración vs cilindraje	87
Figura 34	Correlación del dióxido de carbono en estado ralentí y aceleración vs año del vehículo	87
Figura 35	Correlación del monóxido de carbono en estado ralentí y aceleración vs año del vehículo	88
Figura 36	Correlación del oxígeno en estado ralentí y aceleración vs año del vehículo.....	88
Figura 37	Correlación de los hidrocarburos en estado ralentí y aceleración vs año del vehículo	89
Figura 38	Correlación de lambda en estado ralentí y aceleración vs año del vehículo.....	89
Figura 39	Correlación de Dióxido de carbono entre los años 1990 a 2006	90
Figura 40	Correlación de monóxido de carbono entre los años 1990 a 2006	91
Figura 41	Correlación de Oxígeno entre los años 1990 a 2006	91
Figura 42	Correlación de Hidrocarburos entre los años 1990 a 2006	92
Figura 43	Correlación de Lambda entre los años 1990 a 2006	92
Figura 44	Correlación de Dióxido de Carbono entre los años 2007 y posteriores.....	93
Figura 45	Correlación de monóxido de Carbono entre los años 2007 y posteriores.....	93
Figura 46	Correlación de oxígeno entre los años 2007 y posteriores.....	94
Figura 47	Correlación de Hidrocarburos entre los años 2007 y posteriores	94
Figura 48	Correlación de Lambda entre los años 2007 y posteriores	95
Figura 49	Correlación del dióxido de carbono en estado ralentí vs marca del vehículo.....	95
Figura 50	Correlación del dióxido de carbono en estado aceleración vs marca del vehículo	96
Figura 51	Correlación del monóxido de carbono en estado ralentí vs marca del vehículo.	96

Figura 52 Correlación del monóxido de carbono en estado aceleración vs marca del vehículo	97
Figura 53 Correlación del oxígeno en estado ralenti vs marca del vehículo.....	97
Figura 54 Correlación del oxígeno en estado aceleración vs marca del vehículo.....	98
Figura 55 Correlación del hidrocarburo en estado ralenti vs marca del vehículo	98
Figura 56 Correlación del hidrocarburo en estado aceleración vs marca del vehículo	99
Figura 57 Correlación de lambda en estado ralenti vs marca del vehículo	99
Figura 58 Correlación de lambda en estado aceleración vs marca del vehículo	100
Figura 59 Correlación del dióxido de carbono en estado ralenti y aceleración vs kilometraje	100
Figura 60 Correlación del monóxido de carbono en estado ralenti y aceleración vs kilometraje	101
Figura 61 Correlación del oxígeno en estado ralenti y aceleración vs kilometraje.....	101
Figura 62 Correlación del oxígeno en estado ralenti y aceleración vs kilometraje.....	102
Figura 63 Correlación de lambda en estado ralenti y aceleración vs kilometraje	102
Figura 64 Diagrama de límites permisibles de CO ₂ en estado ralenti.....	103
Figura 65 Diagrama de límites permisibles de CO ₂ en estado aceleración.....	104
Figura 66 Diagrama de límites permisibles de CO en estado ralenti	104
Figura 67 Diagrama de límites permisibles de CO en estado aceleración	105
Figura 68 Diagrama de límites permisibles de HC en estado ralenti	106
Figura 69 Diagrama de límites permisibles de HC en estado aceleración	106
Figura 70 Diagrama de límites permisibles de O ₂ en estado ralenti.....	107
Figura 71 Diagrama de límites permisibles de O ₂ en estado aceleración.....	107
Figura 72 Diagrama de límites permisibles de lambda en estado ralenti	108
Figura 73 Diagrama de límites permisibles de lambda en estado aceleración	108
Figura 74 Cambio anual de temperatura Santa Elena	109
Figura 75 Estimación de las emisiones de CO ₂ , CO, HC a partir de datos obtenidos en años anteriores para vehículos tipo sedán a gasolina.....	112
Figura 76 Estimación de las emisiones de CO ₂ , CO, HC y O ₂ a partir de datos obtenidos en años anteriores para vehículos a gasolina.....	112

LISTA DE TABLAS

	Pag
Tabla 1 Comparación de algunos combustibles alternativos contra los combustibles tradicionales basados en petróleo usados en la industria del transporte.....	35
Tabla 2: mezclas rica y pobre, relación aire/combustible	43
Tabla 3 Cronología de la gasolina en el Ecuador	48
Tabla 4 Diferencias entre los combustibles.	49
Tabla 5 Composición del aire seco.....	53
Tabla 6 Clasificación de los contaminantes.....	54
Tabla 7 Límites permisibles por emisiones producidas por fuentes móviles, terrestres a gasolina.....	59
Tabla 8 Límites máximos permisibles para fuentes móviles con motor de gasolina a partir del año modelo 2000(ciclos americanos)	60
Tabla 9 Censo vehicular tipo sedán y por años de la provincia de Santa Elena.....	71
Tabla 10 Censo vehicular por años Provincia de Santa Elena.....	71
Tabla 11 cantidad de vehículos por año	76
Tabla 12 Uso de Combustible según encuesta	77
Tabla 13 Censo poblacional según INEC.....	78
Tabla 14 Incremento del parque automotor para vehículos tipo sedán	79
Tabla 15 Factor de emisión de CO ₂ , CO, HC.....	109
Tabla 16 Emisión de gases para la muestra de 95 vehículos.....	110
Tabla 17 Emisión de gases de la provincia de Santa Elena, para vehículos tipo sedán a gasolina, año 2022	110
Tabla 18 Emisión de gases para vehículos a gasolina, año 2022	110
Tabla 19 Emisión de gases de la provincia de Santa Elena, para vehículos a gasolina, año 2021	111
Tabla 20 Emisión de gases de la provincia de Santa Elena, para vehículos a gasolina, año 2020	111

Tabla 21 Emisión de gases de la provincia de Santa Elena, para vehículos a gasolina, año 2019	111
Tabla 22 Emisión de gases de la provincia de Santa Elena, para vehículos a gasolina, año 2018	111
Tabla 23 Emisión de gases por año	113

“ANÁLISIS DE LA EMISIÓN DE GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN DE VEHÍCULOS LIVIANOS EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”

Autor: García Guillen Angela Patricia

Tutor: Malavé Carrera Carlos Alfredo

RESUMEN

La contaminación provocada por el sector automotriz es un problema mundial que las nuevas tecnologías están intentando solucionar. El análisis de las emisiones de gases de los vehículos livianos implica el uso de equipos de prueba tales como el dinamómetro de chasis o el analizador de emisiones portátil, que es un dispositivo auto aspirante, con un extractor de aire incorporado. Dentro del analizador hay un sensor infrarrojo no dispersivo (*NDIR*) utilizado para la detección cuantitativa de gases. Con uno de estos dispositivos se mide el nivel de contaminantes emitidos por los vehículos en sus diferentes ciclos de conducción. Para hacer esto, la manguera se conecta al tubo de escape del automóvil y los gases del aire ingresan al analizador a través de un bypass.

Una vez que se han recopilado los datos de las pruebas realizadas, se hace una estimación de emisiones para 5 y 10 años que, en este caso, resultó que la línea de tendencia es positiva evidenciando un aumento de emisión de gases para el año 2027 a 160.000 ton/año y 190.000 ton/año para el 2032, siempre y cuando que en la provincia de Santa Elena se mantenga el uso de la gasolina como combustible.

PALABRAS CLAVE: SECTOR AUTOMOTRIZ, EMISIÓN DE GASES, ANALIZADOR DE GASES, TUBO DE ESCAPE, PROVINCIA DE SANTA ELENA.

“ANALYSIS OF GAS EMISSIONS FROM THE COMBUSTION OF LIGHTWEIGHT VEHICLES IN THE PROVINCE OF SANTA ELENA”

Autor: García Guillen Angela Patricia

Tutor: Malavé Carrera Carlos

ABSTRACT

The pollution caused by the automotive sector is a global problem that recent technologies are trying to solve. The analysis of gas emissions from lightweight vehicles involves the use of test equipment such as the chassis dynamometer or the portable emission gas analyser, which is a self-suctioning device with a built-in exhaust fan. Inside the analyzer is a non-dispersive infrared (NDIR) sensor used for quantitative gas detection. One of these devices is used to measure the level of pollutants emitted by vehicles in their different driving cycles. To do this, the hose is connected to the car's exhaust pipe and the air gases enter the analyzer through a bypass.

Once the data from the tests have been collected, an emissions estimate is made for 5 and 10 years. In this case, the trend line is positive, shows an increase in gas emissions by 2027 to 160,000 tons/year and 190,000 tons/year by 2032, provided that gasoline continues to be used as fuel in the province of Santa Elena.

KEYWORDS: *AUTOMOTIVE SECTOR, GAS EMISSIONS, GAS ANALYSER, EXHAUST PIPE, PROVINCE OF SANTA ELENA.*

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, en la provincia de Santa Elena se presenta un incremento en el número de vehículos a gasolina que circula por sus calles, lo que origina un aumento en la emisión de los gases que ellos liberan a la atmósfera tales como *el CO₂, CO, HC y NO_x*, que afectan la calidad del aire respirable, producto de una mala combustión interna, lo cual afecta la calidad del aire respirable y por ende a la salud de sus pobladores.

Aun cuando se han hecho diferentes estudios para cuantificar y cualificar esta afectación, no hay una información que nos permita predecir el incremento que ha venido teniendo a lo largo de estos años.

1.2 JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial, la contaminación del aire se ha convertido en un grave problema que afecta directamente la salud de niños, jóvenes y adultos mayores, siendo ésta una de las preocupaciones de los diferentes países que buscan solucionarlos en el menor tiempo posible y han invertido cuantiosos recursos para su mitigación. De acuerdo con cifras oficiales, gran parte de la contaminación atmosférica es proveniente del sector transporte, es decir, de automóviles, buses, motos, entre otros (Álvarez, 2017).

El principal objetivo de este proyecto es el de determinar y evaluar el efecto a largo plazo de la emisión de gases causada por vehículos a gasolina en la provincia de Santa Elena y con esta información se pueda caracterizar y cuantificar la contaminación de tal forma que sirva de fuente para otras investigaciones y de base para el desarrollo de nuevas estrategias de utilización de energías limpias.

Este estudio no pretende dar una solución definitiva a la contaminación ambiental producida por gases emanados de vehículos que transitan en la Provincia de Santa Elena, pero puede ser de gran ayuda como facilitador en la toma de acciones correctivas que garanticen una mejor calidad del aire a las presentes y futuras generaciones de nuestra provincia, cumpliendo de esta manera, lo que indica la “Constitución del Estado Ecuatoriano, en su capítulo segundo art. 14 que dice: Se reconoce el derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir”(pag 13).

Este trabajo contiene un significativo valor teórico lo que permite profundizar en soluciones como el uso de nuevas energías como lo es el uso del gas natural vehicular; dando pautas para mitigar esta problemática y disminuyendo consigo los costos de transporte y emisión de gases.

Este trabajo contiene un significativo valor teórico que puede ser utilizado como base para profundizar y ser utilizados como pautas para diseñar un sistema sostenible del uso del gas natural vehicular lo que disminuirá las emisiones de gases y, además, los costos de transporte y el beneficio de proyectos futuros.

1.3 ANTECEDENTES

La Organización Mundial de la Salud (*OMS*) informó que en el año 2012 unos 7 millones de personas murieron y que una de cada ocho fallecieron como consecuencia de la exposición a la contaminación atmosférica. Esta conclusión, confirmó que la contaminación atmosférica se constituye en la actualidad, el riesgo ambiental para la salud más importante del mundo.

(Ecogestión, 2022) en su “Plan de contingencias ante eventuales episodios de contaminación atmosférica en el DMQ (Distrito Metropolitano de Quito)” compararon datos de la antigua red PANAIRE con datos recientes y concluyeron que hay un aumento de acumulación de contaminación por partículas sólidas y gases, como el CO y SO₂. El diagnóstico relacionado con el recurso aire no fue concluyente por falta de datos a largo plazo.

CORPAIRE estima que se ahorra entre un 15% y un 35% de las emisiones totales de gases después del primer año de hacer pruebas obligatorias de monóxido de carbono emitido por los vehículos en comparación con un escenario en el que esta medida no se implementaría. Se estima que, para los hidrocarburos no quemados, este ahorro está en el rango de 21 a 36% (CORPAIRE, 2004).

Cuencaire (Corporación para el Mejoramiento del Aire de Cuenca), nace en mayo del 2005, mediante acuerdo ministerial N.º 0205, creado por decisión de la Municipalidad de Cuenca, el Consejo de Tránsito y Transporte Terrestre, Fundación Natura, es un organismo de derecho privado, sin fines de lucro, que plantea diseñar mecanismos apropiados que mejoren la calidad del aire de Cuenca, cumpliendo con los ciudadanos protegiéndolos y mejorando su calidad de vida. De acuerdo con los resultados del monitoreo obtenidos, se estima que, en el año 2007, aproximadamente se emitieron a la atmósfera 62.672 toneladas de contaminantes; el plan experimental efectuado en 4000 vehículos livianos a gasolina demuestra que más del 50% de estos no cumplen con los umbrales de la normativa, aportando con el factor principal de tráfico vehicular con un 85% de las emisiones totales evaluadas.

Rojas (2015) estimó un recuento en la cantidad de contaminantes provenientes de vehículos en el sector de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional (CAR) para el año 2012, aplicando la metodología IVE recolectando datos característicos del sector, incluyendo el orden de la flota vehicular y patrones de conducción.

En Perú, la propagación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire según D.S. N.º 074 – 2001 PCM, terminó en una cadena de propuestas con el fin de alcanzar un ambiente sano. Priorizando el estudio de la calidad del aire, se elaboraron diagnósticos de línea base para monitorear la emisión de gases en las siguientes 13 ciudades de atención prioritaria: Ilo, Cerro de Pasco, Lima y Callao, Arequipa, Huancayo, Chiclayo, Trujillo, Chimbote, 16 Pisco, Cuzco, La Oroya, Piura e Iquitos.

(Plan a Limpiar el Aire de Huancayo, 2005) en el año 2004 en la ciudad de Huancayo se realizó el estudio de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles, 43,540 vehículos emitieron 32.656 TM/año de contaminantes: 18.802 TM/año de CO, 58 % del total; 7.635 TM/año de NOx, 23 %; y 3425 TM/año de COV, 10%. Donde los vehículos más contaminantes se puede decir que son: automóviles, se estima que la emisión es de 10.816,42 TM/año, 33,12% del total.

Ecuador es un país que cuenta con pocas investigaciones dedicadas a los efectos que tiene la contaminación del aire en la salud de la población, donde se observa claramente que estos temas no son abarcados en los programas para el desarrollo urbano junto a análisis epidemiológicos que se involucran directamente con la contaminación del aire. Según el Módulo de Información Ambiental en Hogares, entre el año 2013 y 2014, Santa Elena fue la octava provincia más preocupada por el tema ambiental, con el 86,15% de la población.

En los últimos años, la Fundación Natura a través de su proyecto “Calidad del Aire” ha efectuado algunos estudios muy puntuales sobre los efectos a la salud provocados por la contaminación atmosférica en Quito.

(Van Aardenne, 2002) describe que el modelo de emisiones proporciona el inventario de ellas, que se define como la colección de datos representativos de la cantidad de gases contaminantes emitidos a la atmósfera, provocadas por actividades antropogénicas en una zona geográfica en un lapso ya sea pasado, presente o futuro.

1.4 HIPÓTESIS

Al cuantificar los niveles de emisión de gases tales como el monóxido de carbono, dióxido de carbono, oxígeno, hidrocarburos y lambda se puede determinar la influencia en la calidad del aire a partir de una muestra del parque automotor en la provincia de Santa Elena.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 General

Cuantificar las emisiones de gases producto de la combustión mediante el equipo automotive exhaust gas analyser para la estimación la producción de gases producto de la combustión.

1.5.2 Específicos

- Caracterizar la población de la flota vehicular de la provincia de Santa Elena y seleccionar los vehículos que funcionen a gasolina para seleccionar la muestra
- Analizar la emisión de gases como: CO , CO_2 , HC , O_2 provenientes de los vehículos livianos, mediante el equipo Automotive exhaust gas analyser.
- Cuantificar la producción de gases de la muestra realizada
- Aplicar el método de regresión lineal, para estimar la producción de emisión de gases producto de la combustión en el futuro: 5 y 10 años
- Comparar las gráficas obtenidas con el efecto que podría tener la conversión de vehículos a gas natural vehicular.

1.6 ALCANCE DE LA PROPUESTA

Este proyecto de investigación pretende analizar y comparar la calidad de los gases que son emanados por vehículos a gasolina, mediante mediciones utilizando el equipo “automotive exhaust gas analyser” para caracterizar los gases de combustión y predecir las emisiones de gases producto de los carros a gasolina de tipo vehículos de 5 pasajeros. Adicionalmente, estimar la calidad del proceso de combustión para identificar el factor Lambda.

1.7 VARIABLES

1.7.1 VARIABLE INDEPENDIENTE:

- Número de vehículos
- Cilindraje
- Kilometraje
- Tipo de gasolina
- Año del vehículo
- Marca y Modelo del vehículo

1.7.2 VARIABLE DEPENDIENTE:

- Gases de CO_2 de la muestra.
- Gases CO de la muestra.
- Gases HC de la muestra.
- Lambda

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 COMBUSTIBLES FÓSILES

Son materiales que contienen hidrocarburos como el carbón, el petróleo y el gas natural, formados naturalmente en la corteza terrestre a partir de los restos de plantas y organismos en estado de descomposición depositados bajo capas de roca llamadas sedimentos que se extraen y queman como combustible (Rice, 2018).

El origen de los combustibles fósiles es la descomposición anaeróbica de organismos que fueron sepultados por capas, que contienen moléculas orgánicas creadas por la fotosíntesis. Los combustibles fósiles pueden quemarse para proporcionar calor y ser utilizados directamente, en motores (como los motores de combustión interna en vehículos motorizados), o generar electricidad y pueden refinarse en derivados como el queroseno, gasolina y el propano. (Osborne, 2013).

El 84% del consumo de energía primaria en el mundo y el 64% de su electricidad proviene de combustibles fósiles. Se conoce que el uso de combustibles fósiles causa graves daños ambientales, ya que más del 80 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), que causan el cambio climático, provienen de la quema de carbón, petróleo y gas (International Energy Agency, 2019).

El uso de combustibles fósiles también contribuye a la contaminación del aire, del agua y del suelo. Además, su extracción y transporte pueden causar alteraciones en los ecosistemas, pérdida de hábitats y daños a la salud y la seguridad humanas (Rice, 2018).

2.1.1 El Carbón

Es un combustible fósil formado durante millones de años por depósito de material vegetal. Al ser compactados y calentados se transforman en carbón. Es el más abundante y se predice que el uso de carbón aumentará cuando haya escasez de petróleo.(McKinney y Schoch, 2003). El carbón se compone principalmente de carbono y contiene cantidades variables de hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre, así como elementos traza como arsénico, mercurio y plomo (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

2.1.2 El petróleo

Es un fluido fósil que se forma por la degradación de organismos marinos depositados en capas que se encuentran a altas temperaturas y presiones en el subsuelo, donde después de millones de años queda atrapado entre rocas denominadas “sello” hasta cuando es extraído mediante perforación (Parra Iglesias, 2003).El petróleo es una mezcla compleja de hidrocarburos que van desde compuestos ligeros y volátiles como el metano y el propano hasta compuestos más pesados como el benceno y el octano. El gas natural se compone principalmente de metano y pequeñas cantidades de otros gases como etano, propano y butano (Miller, 1999).

El petróleo contiene sólidos a temperatura ambiente, pero, a medida que se eleva la temperatura, cambia a un estado líquido y posteriormente, si aumenta la temperatura hasta llegar al punto de ebullición, pasa a un estado gaseoso.

La presión también logra afectar al estado del fluido, ya que, al aumentar ésta, los gases se condensan formando líquidos nuevamente. Al descomprimirse, vuelve a su estado gaseoso (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

La demanda de los combustibles fósiles se ha visto incrementada a tal punto que podría representar el 90% de ella hacia el año 2030. Este aumento ocasionará una mayor dificultad para satisfacer el consumo mundial (Ortuño Arzate, 2009).

2.1.3 El gas natural

Es un recurso fósil gaseado, abundante y relativamente limpio en comparación con el carbón y el petróleo. Tiene el mismo origen del petróleo con la diferencia que este es sometido a mayores temperaturas y presiones.

El gas natural tiene la cualidad de que puede comprimirse en volúmenes pequeños al someterse a altas presiones. Es una mezcla de etano, metano y en pequeñas proporciones de propano. El gas natural es versátil y consiste fundamentalmente en metano (CH_4). Se extrae de la misma forma que el petróleo (Parra Iglesias, 2003).

2.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICO DEL PETRÓLEO

2.2.1 Propiedades físicas

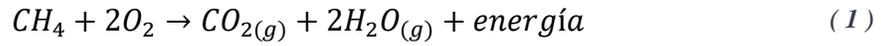
- a) Densidad.* La densidad se define como la masa por unidad de volumen de un cuerpo. Al comparar la densidad del petróleo con la del agua, éste es más liviano. (Schlumberger, 2023).
- b) Olor.* Es una característica propia del fluido y es totalmente dependiente a la composición del crudo. Los HC (Hidrocarburos) no saturados presentan un olor no tan agradable debido al ácido sulfhídrico y otros compuestos de azufre (Schlumberger, 2023).
- c) Color.* Otra propiedad del petróleo es su color característico que varía de amarillo a rojo pardo y negro. En muchos casos, es de color verde debido a la fluorescencia. Entre más pesado sea el petróleo y mayor su peso específico, el color se torna más oscuro (Schlumberger, 2023).

- d) Viscosidad.* Se define como la cantidad de petróleo dada fluyendo a través de una abertura pequeña en un tiempo determinado.(Servicio Geológico Mexicano, 2017).
- e) Volatilidad.* Dependiendo de los puntos de ebullición del petróleo crudo de los distintos componentes (Servicio Geológico Mexicano, 2017).
- f) Tensión superficial.* Al igual que las fuerzas capilares cumplen una importante función en la migración de hidrocarburos, la tensión superficial del petróleo para un fluido que contenga gas disuelto es muy baja (Servicio Geológico Mexicano, 2017).
- g) Fuerza capilar.* La tensión superficial es proporcional a los efectos de la capilaridad, por lo que las bajas tensiones superficiales disminuyen la fuerza capilar cuando se habla de la migración del petróleo. El agua tiene mayor fuerza capilar en comparación con la del petróleo; por consiguiente, el agua ocupará los poros más pequeños, forzando así a que el petróleo ocupe los poros con mayor diámetro (Servicio Geológico Mexicano, 2017).
- h) Fluorescencia.* Es el aspecto que está presentan los hidrocarburos líquidos y gaseosos en presencia de los rayos infrarrojos.(Servicio Geológico Mexicano, 2017)

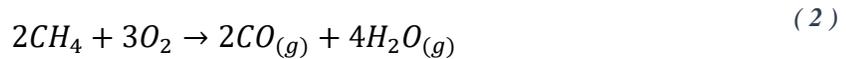
2.1.1 Propiedades químicas del petróleo

- a) Combustión.* Esta es una de sus propiedades por la cual es considerada una fuente de energía, también conocida como oxidación completa o incompleta. Este fluido empieza su oxidación completa ante la presencia de oxígeno y una fuente de calor; dando como resultado el dióxido de carbono CO_2 , mientras que la oxidación incompleta da como resultado el monóxido de carbono CO . Por la producción de estos gases, se considera el petróleo como una sustancia contaminante al ser usada como combustibles (Ondarse Álvarez, 2017).

En la ecuación (1) Se detalla la combustión completa

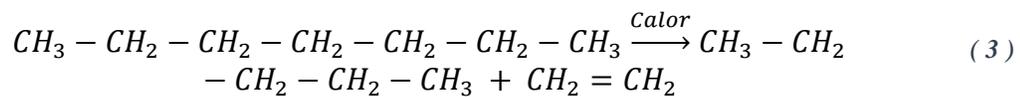


En la ecuación (2) se detalla la combustión incompleta



b) Pirólisis. Se refiere a la descomposición de compuestos orgánicos cuando son sometidos a altas temperaturas sin presencia de oxígeno (Ondarse Álvarez, 2017).

Como lo demuestra la ecuación (3)



c) Halogenación. Bajo la presencia de rayos ultravioletas, los alcanos tienen la capacidad de reaccionar junto a los halógenos dando como resultados derivados halogenados (Ondarse Álvarez, 2017).

2.3 ESTRUCTURA DE COMBUSTIBLES FÓSILES

Los combustibles fósiles no tienen una estructura molecular específica porque están formados por una mezcla compleja de moléculas orgánicas e impurezas. Sin embargo, los combustibles fósiles se forman por uniones de carbón e hidrógeno (CK-12, 2022).

El petróleo puede ser clasificado según las series de hidrocarburos predominantes, dichas series tienen propiedades semejantes y se representan por las siguientes fórmulas (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

2.3.1 Parafinas o alcanos

Se constituyen por una cadena de carbono enlazados con 3 átomos de hidrógenos cada uno. A medida que aumenta el número de átomos de carbono también se incrementa el punto de ebullición (Waquier, 1994).

Su fórmula es:



2.3.2 Nafténicos o cicloalcanos

Se encuentra una ciclación total o parcial en estos hidrocarburos. Alcanzan densidades y punto de ebullición superiores al alcano del mismo número de átomos (Waquier, 1994).

Su fórmula es:



2.3.3 Aromáticos o bencenos

Son cíclicos poliinsaturados presentes en un gran porcentaje de crudos de petróleo. Al tener uno o más ciclos con tres enlaces en su fórmula les otorga notables propiedades; son consideradas materia prima fundamental de la petroquímica (Waquier, 1994).

Su fórmula es:



2.3.4 Asfálticos

Son alicíclicos como el ciclohexano o ciclopentano.(Waquier, 1994)

Su fórmula es:



Para determinar el comportamiento del hidrocarburo como combustibles, ceras, lubricantes o solventes; es necesario conocer la estructura de los hidrocarburos y el número de átomos de carbono. (Ortuño Arzate, 2009)

Las parafinas se constituyen principalmente de cadenas lineales de carbono asociadas a hidrógeno; en ciertos casos las cadenas pueden estar ramificadas y se las conoce como isoparafinas; las olefinas tienen dobles uniones entre átomos de carbono, donde los naftenos son las moléculas en las que se forman ciclos de carbono. Por último, para los aromáticos, se presentan los ciclos de carbono con doble uniones alternas o también llamado anillo bencénico. (Waquier, 1994)



Figura 1. Clases de Petróleos crudos de algunos campos conocidos (Walter E et al., 1965)

2.4 OBTENCIÓN DEL PETRÓLEO

En la actualidad, el método más eficiente para la extracción de petróleo es extremadamente costoso y requiere demasiado tiempo. Es un proceso que inicia en una serie de mediciones, pruebas y muestreo de diferentes pozos exploratorios para confirmar la presencia de hidrocarburos en el campo (Kraus, n.d.).

Al momento que se conoce si existe presencia de la materia prima, se toman en cuenta diferentes factores como la rentabilidad del producto, deducciones y aproximaciones para

calcular el tiempo que producirá el pozo. En el pasado se conoce que solo el 10% del hidrocarburo se extraía del pozo, pero debido a las modernas tecnologías de perforación, la tasa de recuperación de petróleo crudo y gas natural ha aumentado a más del 60 % (Ramírez de Verger y Osle, 2017).

Las etapas para la obtención del petróleo son: exploración, explotación, refinación y comercialización

2.5 COMBUSTIBLE Y COMBUSTIÓN

2.5.1 Combustible

Material que libera energía al quemarse se le denomina combustible, compuestos en su mayoría por hidrogeno y carbono. Los combustibles hidrocarburos existen en varias fases como los son el carbón, gasolina y el gas natural; en donde, produce una gran cantidad de energía cuando se oxida el combustible por medio de una reacción química, de la cual es el aire es su mayor oxidante.(Cengel y Boles, 2009).

Tabla 1 Comparación de algunos combustibles alternativos contra los combustibles tradicionales basados en petróleo usados en la industria del transporte(Cengel y Boles, 2009)

COMBUSTIBLE	CONTENIDO ENERGÉTICO KJ/L	Equivalencia *, en gasolina L/L en gasolina
Gasolina	31850	1
Diesel Ligero	33170	0.96
Diesel pesado	35800	0.89
LPG (gas licuado de petróleo, principalmente propano)	23410	1.36
Etanol (o alcohol etílico)	29420	1.08
Metanol (o alcohol metílico)	18210	1.75
CNG (gas natural comprimido, principalmente metano, a 200 atm)	8080	3.94
LNG (gas natural licuado, principalmente metano)	20490	1.55

*Cantidad de combustible cuyo contenido energético es igual a la energía contenida en 1 litro de gasolina

2.5.2 Combustión

Se denomina combustión al proceso térmico exotérmico de reacción química auto mantenida que incluye la oxidación de su combustible. (Cengel y Boles, 2009).

Donde, el combustible puede ser un sólido como: madera o carbón; y un líquido (fuel-oil) o gas (natural o propano) adicionando un comburente.(Ricardo García, 2001).

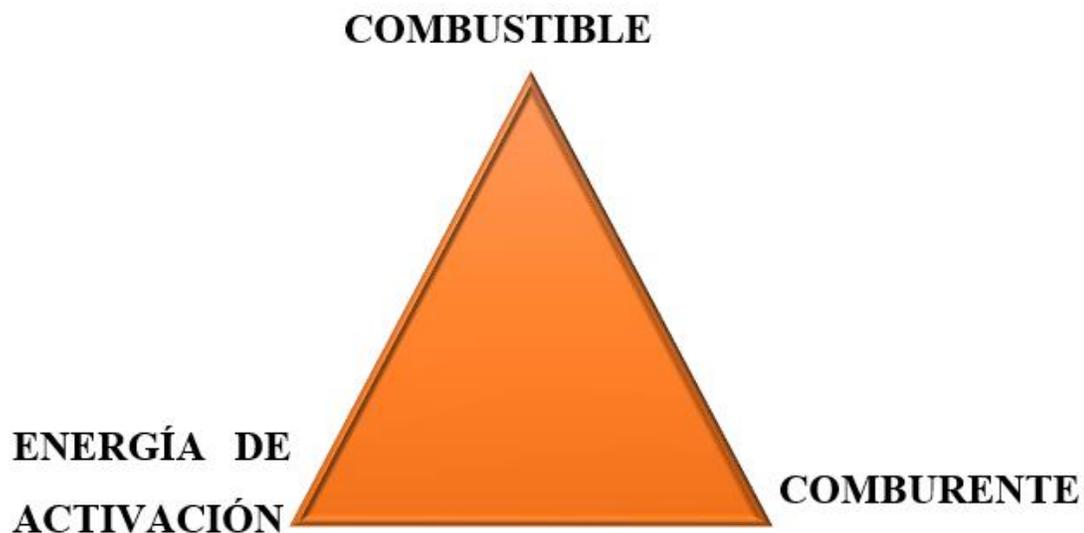


Figura 2. Triángulo de la combustión (Ricardo García, 2001)

Los tres factores mostrados en la figura representan el triángulo de combustión; donde cada componente que se encuentra en los vértices es primordial, porque si un elemento falta no puede llevarse a cabo la combustión.(Ricardo García, 2001).

2.5.3 Comburentes

Es el agente que aporta oxígeno a la reacción de combustión, normalmente es el aire; ya que, es la fuente más económica (Ávila Alvarado et al., 2011).

2.6 GASES DE COMBUSTIÓN

Son el resultado del proceso estequiométrico que tiene la combustión de la gasolina o petróleo, Diesel o carbón. Donde en las combustiones controladas y localizadas, terminan en la atmosfera por medio de una tubería o chimenea. Se necesita de un correcto análisis y evaluación para que no contamine irreversible el medio ambiente y por consecuencia la salud del ser humano Jankiewicz Henry (2008).

2.6.1 Tipos de combustión

La ecuación estequiométrica de la combustión contiene las relaciones másicas y volumétricas que hay entre productos y reactivos (Copano y Insulza, 2008). Donde se consideran ciertos aspectos tales como: aire necesario y composición de los productos de combustión

Existen diferentes tipos de combustión que predicen estas cantidades, donde se observa un proceso ideal que dependen de pocas variables como:

- a) **Combustión completa.** Como asegura Ricardo García, una combustión completa ocurre cuando se conduce a la oxidación total del combustible y sus elementos; también considerando al nitrógeno como masa inerte que forma en pequeñas cantidades óxidos de nitrógeno cuando son sometidas a altas temperaturas. En otras palabras, es el resultado de la oxidación completa del combustible, pero sin desaparecer de la ecuación el comburente.(Cengel y Boles, 2009).

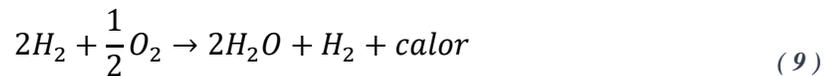
La unión química es acorde con las leyes físicas y obedece a la siguiente ecuación (8) presenta que 1 peso molecular de carbono reacciona con el peso molecular del oxígeno para producir 1 peso molecular de anhídrido carbónico. (Cengel y Boles, 2009)



El nitrógeno se considera como masa inerte, pero a altas temperaturas se forman óxidos de nitrógeno por disociación.(Portilla Aguilar y Caiza Jacome, 2010).

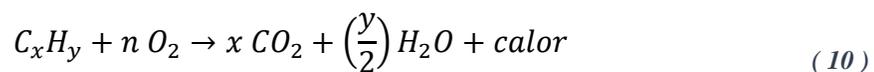
b) Combustión incompleta. Una combustión incompleta generalmente sucede cuando hay una insuficiencia de oxígeno, donde la mezcla de combustible es imperfecta; esto afecta para mantener la combustión debido a que el oxígeno, tiempo y temperatura son muy bajos como se representa en la ecuación (9).

En otras palabras, el comburente se agota, pero hay abundancia de combustible no oxidado; hay presencia de gases de combustión como: CO_2 , O_2 , HC . Este tipo de combustión es la más peligrosa. (Portilla Aguilar y Caiza Jacome, 2010)



Si los productos de la combustión contienen algo de combustible o componentes no quemados como C, CO, o bien OH.

Los combustibles también pueden definirse de la forma C_xH_y , dando lugar a las siguientes reacciones:



La falta de oxígeno es una razón obvia para concluir que una combustión no es completa, pero no es la única. Una combustión incompleta sucede aun cuando en la cámara de combustión hay mayor cantidad de oxígeno que el necesario para ser una combustión completa, esto significa que hay una mezcla insuficiente en el tiempo donde el oxígeno y combustible están en contacto en la cámara de combustión (Portilla Aguilar y Caiza Jacome, 2010).

c) **Combustión estequiométrica o teórica.** Para la combustión estequiométrica o teórica, es estricto en cuanto a la cantidad de oxígeno se refiere; ya que necesitan en iguales proporciones para que el cálculo sea correcto; en otras palabras, el aire entrante en la combustión es el que se necesita para la cantidad de oxígeno formando la oxidación completa (Ricardo García, 2001).

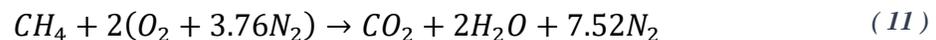
En otras palabras, tanto el comburente como el combustible se agotan por igual.



Figura 3. Proceso de combustión completa

La cantidad mínima de aire necesario para que se realice una combustión completa de un combustible recibe el nombre de aire estequiométrico o teórico, de manera que cuando un combustible se quema por completo con aire teórico; no estará el oxígeno sin combinar el producto de los gases (Rice, 2018).

En la ecuación (11) representa la combustión teórica del metano sin presencia de combustible no quemado y sin oxígeno libre en los productos



En la ecuación (12) Representa el aire 100% teórico para una combustión completa en Kg y la cantidad fraccionaria de carbono e hidrogeno en porcentaje.

$$l_o = \frac{1}{0,23} * \left(\frac{n}{3} C + 8H - 0C \right) \quad (12)$$

En muchos casos cuando la combustión es real se emplea más aire que en la combustión estequiométrica; esto con el fin de obtener una combustión completa o para controlar la temperatura que existe en la cámara de combustión. El aire teórico porcentual se define como la cantidad de aire en exceso (Portilla Aguilar y Caiza Jacome, 2010).

La ecuación (13) detalla la cantidad de aire presente en la combustión incompleta en Kg, la cantidad fraccionaria de carbono e hidrogeno en porcentaje junto con (φ) que se define como la deficiencia de oxígeno (Portilla Aguilar y Caiza Jacome, 2010).

$$l_o = \frac{1}{0.23} * \left(\frac{4}{3} C(2 - \varphi) + 8H - 0C \right) \quad (13)$$

Para calcular el coeficiente de aire se emplea la siguiente ecuación donde (l) se define como la cantidad real de aire y la cantidad teórica

$$\alpha = \frac{l}{l_o} \quad (14)$$

Donde:

$\alpha = 1$ se considera la combustión completa (estequiométrica)

$\alpha < 1$ se considera la combustión incompleta (deficiencia de aire)

$\alpha > 1$ combustión completa (exceso de aire)

En la práctica para combustiones reales se emplean más aire que la cantidad estequiométrica, debido a que aumenta las oportunidades de combustión completa o controlar la temperatura de la cámara de combustión (Portilla Aguilar y Caiza Jacome, 2010).

Para la predicción de la composición del producto se aplica el principio de conservación de la masa, conociendo las cantidades de oxígeno y combustibles. Para una combustión real es más complejo con el principio de conservación de masa; así que se mide directamente la cantidad de cada componente (Chamarravi Guerra y Saavedra Calixto, 2013).

d) Combustión con exceso de aire. Es la reacción química que se produce cuando hay aire superior al normal necesario para la combustión. Cuando esto sucede el resultado de la combustión no produce sustancias combustibles en los gases de reacción. La razón por la cual se utiliza un exceso de aire es porque reacciona completamente el combustible disponible (Ávila Alvarado et al., 2011).

e) Combustión con defecto de aire. Es la reacción química que se produce cuando hay presencia de aire menor al normal. Su mayor característica es característica es que en los gases o humos de reacción tienen la presencia de sustancias combustibles. Lo que podría provocar reacciones no previstas teóricamente (Ávila Alvarado et al., 2011).

2.7 LAMBDA

Sensor de oxígeno o también conocido como lambda, tiene como principal función analizar los gases de escape presentes en un automóvil, en específico la concentración de oxígeno (O_2), donde sí hay un mal funcionamiento se pueda corregir la proporción de la mezcla aire/combustible. Este se encuentra localizado en el tubo de escape.(Chamarravi Guerra y Saavedra Calixto, 2013)

Los sensores de oxígeno, como se muestra en la imagen 4, constan de 2 lados; uno conectado al flujo de gases provenientes del tubo de escape del vehículo y el otro al medio ambiente. Las diferencias provocarán que el sensor de oxígeno genere un voltaje; donde deberá alcanzar temperaturas mayores a 500 °F, con el propósito de evaluar el correcto funcionamiento del convertidor analítico (Portilla Aguilar y Caiza Jacome, 2010).

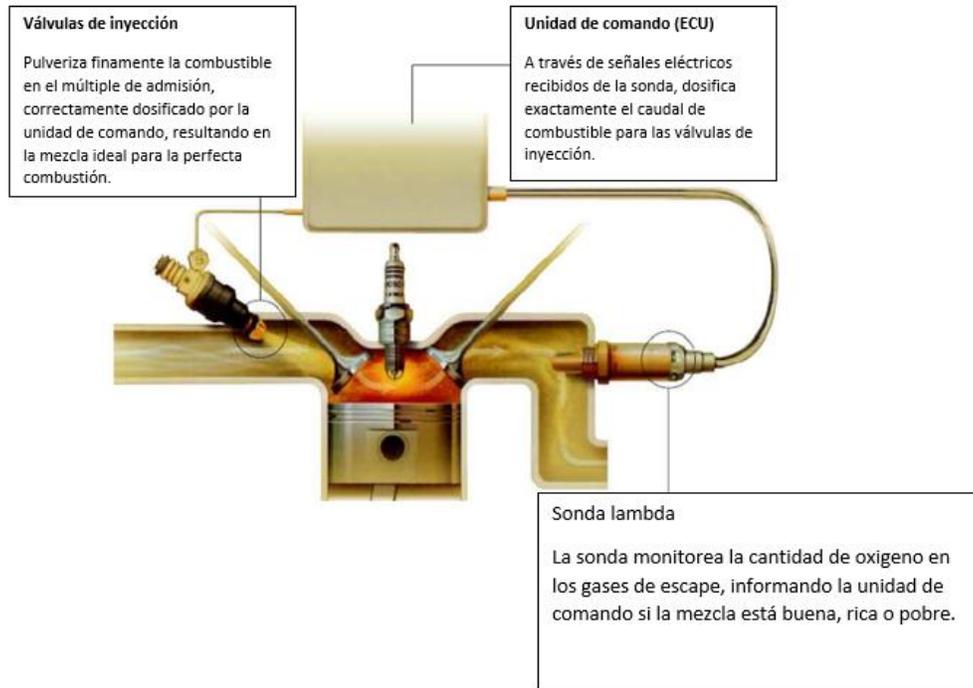


Figura 4 Sonda Lambda (Bosch, 2009)

El factor lambda puede determinar la calidad de la combustión, este factor mide el grado de idealidad de la combustión, relaciona la cantidad de aire disponible para la reacción con el aire teórico necesario, a través de la relación estequiométrica (Pretel y Cano, 2008).

Para una combustión ideal; el factor lambda es igual a 1, que significa que la cantidad de aire en la combustión es de igual proporción al aire estequiométrico. cuando es mayor que 1, se refiere a que existe menor cantidad de combustible de la requerida también conocida como una mezcla pobre. Cuando es menor que, se refiere a que la cantidad de aire es inferior a la requerida y la mezcla es rica (Pretel y Cano, 2008).

El factor lambda es importante para conocer las concentraciones de gases contaminantes emitidos por los vehículos.

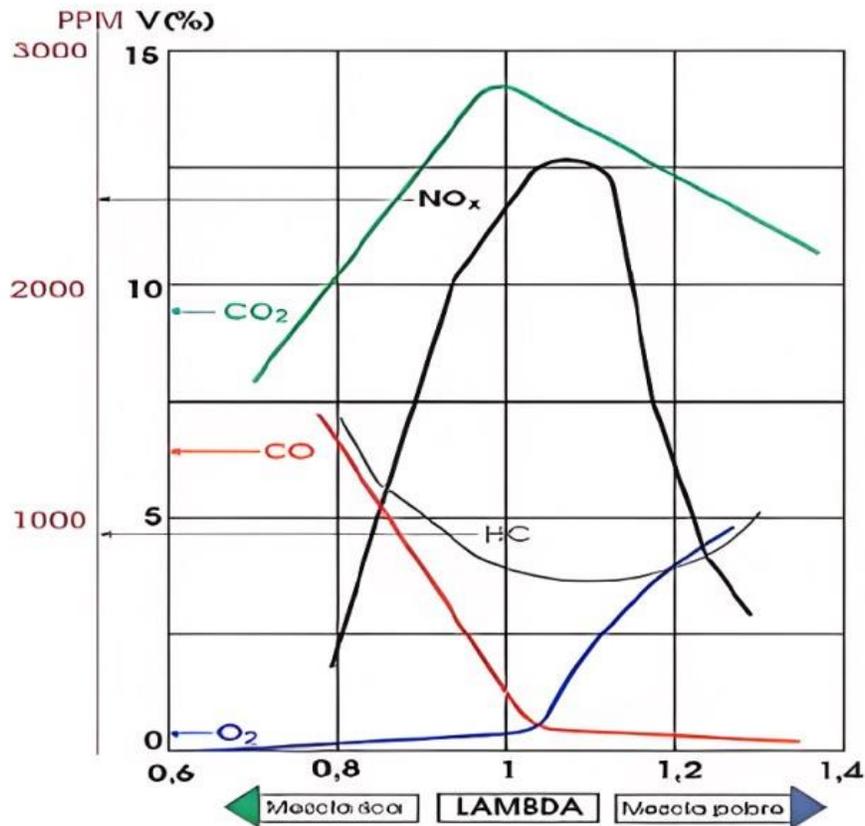


Figura 5 Emisiones gaseosas en función de lambda, motor a gasolina (Pretel y Cano, 2008)

Tabla 2: mezclas rica y pobre, relación aire/combustible (Pretel y Cano, 2008)

Mezclas pobres ($\lambda > 1$)	Mezclas ricas ($\lambda < 1$)
Disminuye el contenido de CO en los gases de escape	Aumenta el contenido de CO en los gases de escape
La concentración de CO_2 alcanza el valor máximo con un $\lambda = 1$, conforme aumenta lambda esta disminuye	Disminuye el contenido de CO_2
La concentración de HC disminuye hasta un λ de 1,2, sin embargo, para mezclas muy pobres $\lambda > 1,2$ se produce retrasos combustión y se aumentan los HC emitidos	Aumentan los hidrocarburos (HC)
Los NO_x aumentan hasta un $\lambda > 1,1$ de ahí en adelante estos disminuyen puesto que se disminuye la temperatura de combustión, aunque exista exceso de oxígeno en escape	Disminuyen las emisiones de NO_x
Incrementa el contenido de oxígeno	Disminuye el contenido de oxígeno O_2

2.7.1 Regulación lambda

El correcto funcionamiento del convertidor catalítico se basa en que exista una quema de mezcla aire/combustible alrededor de la mezcla estequiométrica en el motor. La relación estequiométrica no se define de acuerdo con la calidad de la combustión; si no más bien en la disminución de oxígeno presente en los gases de combustión presentes en los gases de combustión para disminuir la generación de óxidos de nitrógeno. Para esto, se necesita precisión; por lo tanto, los sistemas de control trabajan en regulación lambda; como consecuencia, el factor lambda queda cerca de 1. Otros factores influyentes como: sensores de temperatura, flujo volumétrico de aire, etc.; mantienen el factor lambda entre 0.80 a 1.390 (Copano y Insulza, 2008).

$$\lambda = \frac{\left(100 - \frac{CO \times 10^{-4}}{2} - CHCw \times 10^{-4}\right) + \left(\frac{a}{4} * \frac{\left(1 - \frac{2 * CO \times 10^{-4}}{3.5 * CO_2}\right)}{1 + \frac{CO \times 10^{-4}}{3.5 * CO_2}} - \frac{\varepsilon}{2} - \frac{\varepsilon}{2}\right) * (CO_2 + CO \times 10^{-4})}{4.764 * \left(1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} + \gamma\right) * (CO_2 + CO \times 10^{-4} + CHCw \times 10^{-4})} \quad (15)$$

Cuando es mayor que eso, el analizador resulta en error.

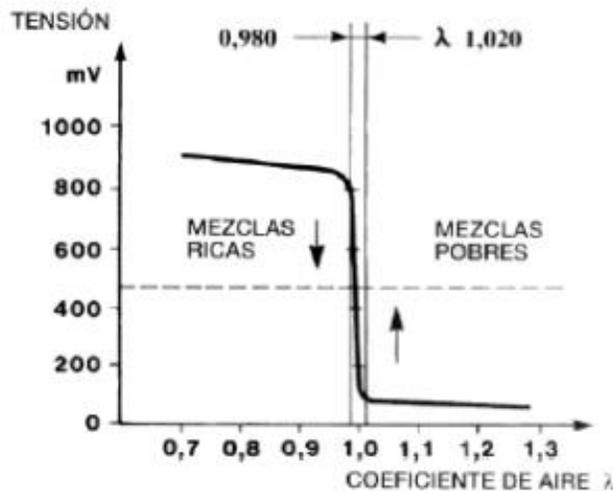


Figura 6. gráfica de tensión vs coeficiente de aire para dispositivos anticontaminantes que determinan el factor lambda (Copano y Insulza, 2008)

2.8 TIPOS DE GASES DE COMBUSTIÓN

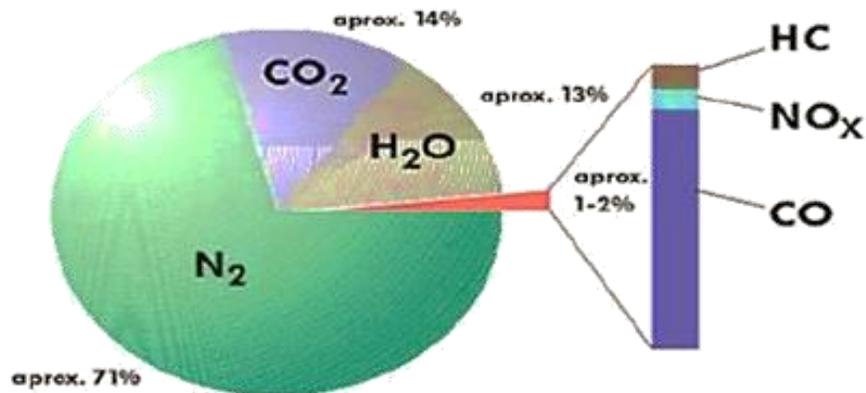


Figura 7 Gases de escape (S.A., 2009)

De acuerdo con la figura 7 muestra los gases de escape provenientes como su nombre lo dice del tubo de escape de los vehículos, están divididos en gases inofensivos y gases contaminantes, entre los más comunes se encuentran:

2.8.1 Gases inofensivos

- a) **Dióxido de carbono (CO_2)**. Es producto de la combustión completa del carbono, cuando aumenta la concentración se refiere a que hay una mejor combustión, no es un gas nocivo para los seres vivos; sin embargo, provoca efectos en el ambiente como el efecto invernadero.(Núñez Pérez, 2018).
- b) **Vapor de agua**. Es aspirada por el motor en pequeñas partes debido a la humedad del aire, también puede producirse por la combustión denominada fría que sucede al encender el vehículo después de un tiempo prolongado apagado. Es expulsado por el tubo de escape como humo blanco o condensarse en goteo.(Sánchez Yunga y Zúñiga Guzhñay, 2018)

- c) **Nitrógeno.** Es un gas no combustible presente en el aire el cual ayuda con el proceso de combustión que ingresa con el aire a la cámara de admisión; debido a este proceso con altas temperaturas llega a oxidarse formando los NO_x .(Sánchez Yunga y Zúñiga Guzhñay, 2018)
- d) **Oxígeno.** Es el comburente necesario para la combustión, además que es muy económico y fácil de encontrar porque el aire se compone en 21% de este elemento. Depende si la mezcla es rica o pobre para permitir al oxígeno oxidar los enlaces de hidrocarburos.(Núñez Pérez, 2018).

2.8.2 Gases contaminantes

- a) **Hidrocarburos (C_xH_y).** Es un gas contaminante debido a sus contenidos de benceno, que llega a desencadenar enfermedades tales como: cáncer, irritaciones de piel, ojos, etc. Su estructura molecular es incombustionable por lo cual producen aldehído y fenoles.(Núñez Pérez, 2018).
- b) **Monóxido de carbono (CO).** Se considera altamente contaminante debido a los efectos que causa a la salud, en concentraciones superiores a 0,3% y largos periodos de exposición puede generar transformaciones irreversibles en la hemoglobina.(Núñez Pérez, 2018)
- c) **Óxidos de nitrógeno (NO, NO_2 , N_2O , NO_x).** El (NO) y el NO_2 se producen por altas temperaturas de las combustiones que provocan la combinación del oxígeno y nitrógeno del aire para dar llegada al óxido nítrico y después de oxidarse al dióxido de nitrógeno. Por lo que estos son los principales gases que emiten los motores de combustión. (Sánchez Yunga y Zúñiga Guzhñay, 2018)

d) Partículas sólidas. Aparece a partir de la combustión incompleta del combustible, las partículas más grandes ya que son depositadas cerca de la fuente de emisión, mientras que, las pequeñas pueden ingresar al organismo mediante la respiración.(Sánchez Yunga y Zúñiga Guzhñay, 2018

e) Humo

- *Humo blanco.* Es normal al encender el vehículo, sobre todo en invierno. Al quemar el combustible, se genera vapor de agua, que al condensarse se convierte en el famoso humo blanco, cuando el problema es persistente, puede ser un problema de refrigeración. (Fidalgo, 2023).
- *Humo negro.* Se debe a una mala combustión, por exceso de aire o carburante o por una mala ejecución de los inyectores. Suele producirse al acelerar el vehículo a fondo; la mayoría de las veces se debe a la válvula recicladora de gases de escape (EGR).(Fidalgo, 2023).
- *Humo azul.* Se debe a que el aceite está entrando a la cámara de combustión (Fidalgo, 2023).

2.9 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES

El creciente cambio en la industria del transporte para sustituir combustibles tradicionales por otros que sean más amigables con el ambiente; pero, sin embargo, el contenido energético por unidad de volumen de los combustibles alternativos es mucho menor que el de la gasolina o Diesel, por lo tanto, la distancia recorrida será menor al tener un combustible alternativo. Comparando el costo por unidad de energía más que el costo por unidad de volumen es una medida realista (Cengel y Boles, 2009).

2.10 GASOLINA

La gasolina es proveniente de la refinación del petróleo, es un hidrocarburo constituido principalmente por Hidrógeno y Oxígeno (Crouse, 1993).

Está formada por una mezcla de HC perteneciendo a la familia de los alcanos. Se le conoce con la fórmula C_8H_{18} como octano (Paredes Quistial e Ichau Pupiales, 2013).

2.10.1 La gasolina en el Ecuador

La gasolina del país se obtiene a partir de la refinación, donde el tratamiento que recibe hace que su calidad y octanaje mejore, ya que naturalmente es muy bajo.

Tabla 3 Cronología de la gasolina en el Ecuador (Araujo, 2013)

Año	Descripción	Causa
1980	Se crea gasolina SÚPER de 90 octanos.	Los autos de carburador no requerían un alto nivel de calidad.
1993	Se lanza gasolina ECO de 82 octanos	Componente subía el octanaje, limpiaba y lubricaba el motor, pero se descubrió que era cancerígeno
1998	La gasolina SÚPER queda en 90 octanos y la extra en 81 octanos.	se retira la gasolina con plomo
2012	Elevación de la gasolina SÚPER a 92 octanos y Extra a 87 octanos	Baja el nivel de azufre de la gasolina

El Ecuador presentó un plan de implementación de nuevas gasolinas en junio de 2019, esto con la finalidad de mejorar la calidad y tener menos contaminantes apegándose a la normativa INEN NTE 935 (PRODUCTOS DERIVADOS DE PETRÓLEO. GASOLINA. REQUISITOS) (“Diferencias Entre La Gasolina Súper, Ecoplus89, Ecopaís y Extra,” 2022).

Se consideran las características de los combustibles como características de los tres tipos de gasolina.

Tabla 4 Diferencias entre los combustibles. (“Diferencias Entre La Gasolina Súper, Ecoplús89, Ecopaís y Extra,” 2022)

Combustible	Precio por galón	Octanaje	Azufre esperado
Extra	2.40	85	291 ppm
Ecopaís	2.40	85	291 ppm
Súper	5.13	92	150 ppm

f) Gasolina súper. La gasolina posee ventajas que otras, ya que protege y alarga la vida del motor con respecto a la facilidad que proporciona a arranques en frío, reduce el azufre en su composición, disminuyendo el nivel de emisiones contaminantes.(RODES, n.d.)

g) Gasolina ecopaís. Se elabora a base de la mezcla de naftas de bajo y alto octanaje con etanol, alcanzando los requisitos de calidad de la norma INEN NTE 935. La gasolina al tener el mismo octanaje que la gasolina extra, cumple con los mismos requisitos, pero con un componente renovable en su composición.(Empresa Pública Petroecuador, n.d.).

2.10.2 Octanaje de la gasolina

Es la medida de la calidad antidetonante, en otras palabras; la capacidad de quemarse sin causar detonación en el motor. Entre mayor sea el octanaje, más suave y efectiva es la combustión. Para una mezcla de 97 octanos, se refiere a que está compuesta por 97% de isooctano y 3% de heptano, ya que el índice del octanaje de la gasolina se determina por el poder detonante del isooctano y heptano, pero el exceso de octanaje por encima del requerido por el motor no agrega mayores beneficios en términos de potencia o rendimiento (Paredes Quistial & Ichau Pupiales, 2013).

2.11 MOTOR A GASOLINA

Como su nombre lo dice, la principal fuente de energía es la gasolina, debido a sus propiedades y para vehículos pequeños, la gasolina es el mejor debido a que aumenta su potencia y velocidad (Paredes Quistial & Ichau Pupiales, 2013).

2.12 CICLOS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE 4 TIEMPOS

Todo empieza por el sistema de alimentación, que permite que la gasolina llegue con una determinada presión hasta la cámara de combustión; donde se encuentra un sistema de refrigeración ya que maneja altas temperaturas de funcionamiento, además cuenta con un sistema de lubricación para evitar que las partes se desgasten. El proceso se detalla a continuación (Paredes Quistial & Ichau Pupiales, 2013).

2.12.1 Admisión

Se encuentra el pistón en el punto muerto superior (PMS) y desciende al cerrar la válvula de escape y abre la de admisión; luego succiona la mezcla estequiométrica aire/combustible. Para cuando el pistón llega al punto muerto inferior (PMI), la válvula de admisión se cierra (Paredes Quistial & Ichau Pupiales, 2013).



Figura 8 Admisión(Warner, 2013)

2.12.2 Compresión

Para este punto el pistón regresa del PMI al PMS, donde se comprime la mezcla ya que las válvulas están cerradas. A medida que el pistón sube, el volumen que llenó al principio el cilindro se comprime hasta quedar el volumen de la cámara de compresión o cámara de combustión. Aumentando la temperatura que en la admisión.



Figura 9 Compresión(Warner, 2013)

2.12.3 Combustión

O también llamada explosión. Al acabar la compresión la chispa de la bujía se une a la mezcla comprimida, el pistón es impulsado al PMI. Las dos válvulas están cerradas o taponadas, en este tramo proporcional fuerza necesaria para generar el movimiento de la máquina.



Figura 10 Explosión(Warner, 2013)

2.12.4 Escape

El pistón regresa nuevamente a su PMS arrastrando los gases provenientes de la combustión hacia el múltiple de escape y posteriormente desechado por el tubo de escape, la válvula de escape está abierta, mientras que la de admisión está cerrada. (Paredes Quistial & Ichau Pupiales, 2013).

Cuando el pistón se desliza del Punto Muerto Superior al Punto Muerto Inferior reinicia el ciclo y se repiten los tiempos anteriormente dichos en la misma manera y secuencia.(Paredes Quistial & Ichau Pupiales, 2013)

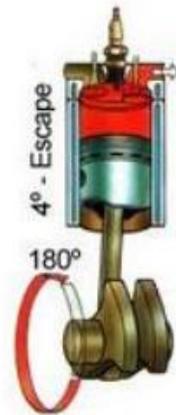


Figura 11 Escape(Warner, 2013)

2.13 CILINDRAJE

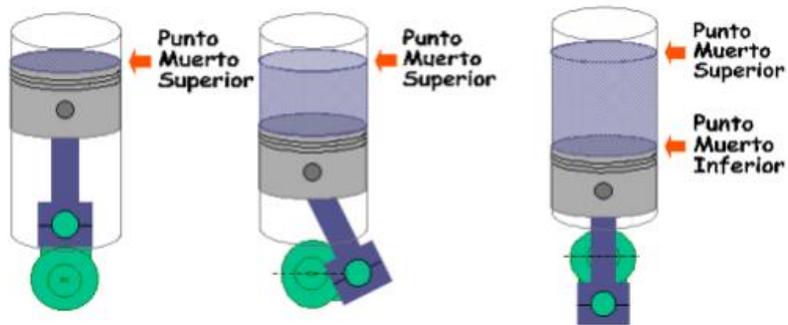


Figura 12 cilindrada del vehículo(Hurtado Bravo, n.d.)

Es una forma de representar el tamaño del motor. El motor posee varios cilindros, que, dentro de ellos se encuentran los pistones desplazándose verticalmente. La cilindrada se expresa en unidades propias de volúmenes; se denomina calibre al diámetro interior del cilindro, se denomina carrera a la distancia entre el PMS y PMI. Una mayor cilindrada indica que un motor puede tener más fuerza a comparación de otros, pero por volúmenes ocuparía más espacio haciendo que consuma más combustible.

2.14 EL AIRE

Es una mezcla de gases que conforman la atmósfera. Tiene componentes principales que son vitales para los seres vivos. El aire es sensible por lo tanto, no tiene un volumen definido y es sensible a la temperatura; eso quiere decir que, se expande con el calor y se contrae a temperaturas bajas (Gobierno de México, 2018).

2.14.1 Composición del aire

Tabla 5 Composición del aire seco (Ávila Alvarado et al., 2011)

	% en volumen, moles	% en peso	Peso molecular, Kg por mol
Oxígeno	20,99	23,19	32
Nitrógeno	78,03	75,47	28,016
Argón	0,94	1,30	39,944
Anhídrido carbónico	0,03	0,04	44,003
Hidrógeno	0,01	0	2,016
Aire seco	100	100	28,967

En la tabla 5 Muestra la composición del aire seco donde hace una suposición que el aire se constituye por 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno, estos valores dependen de la temperatura y humedad (Ávila Alvarado et al., 2011).

2.14.2 Contaminantes del aire

La contaminación del aire se puede definir como:” cualquier condición atmosférica en la que las sustancias presentes producen un efecto adverso medible en la salud del ser humano, los animales y vegetales, o bien un daño físico en los materiales (edificaciones y monumentos)” (Martínez & Bedoya, 2007).

2.14.3 Clasificación de los contaminantes del aire

Los contaminantes se clasifican según la tabla 6 por primarios y secundarios debido a la composición química, por su origen natural o antropogénico.

Tabla 6 Clasificación de los contaminantes (Veintimilla J.M., 2015)

Contaminantes Primarios	Contaminantes Secundarios
Contaminantes o sustancias emitidas directamente de la atmósfera	Sustancias que no se emiten directamente por la atmosfera
Aerosoles (partículas microscopias	Contaminación fotoquímica
Gases (compuestos de azufre de nitrógeno, dióxido de carbono,	Lluvia acida
Metales pesados (plomo, mercurio, cobre, etc.	Clorofluorocarbonos (compuestos químicos que contienen cloro, flúor y carbono que al llegar a la
Sustancias radiactivas	atmosfera se liberan átomos que dañan la capa de ozono.

a) Según origen

- *Natural.* La contaminación de origen natural se debe principalmente a los volcanes, debido a los altos contenidos de dióxido de azufre, dióxido de carbono y fluoruro de hidrogeno; que desencadena en lluvia acida.(Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2022) también se puede agregar a la contaminación del aire, la materia orgánica, fuego, etc.
- *Antropogénico* Se clasifican en fijas y móviles; las fijas son las emisiones que provienen de procesos industriales, mineras, centrales térmicas, entre otras; mientras que las móviles son las que, provienen de los medios de transporte, vehículos de todo tipo, aviones, motocicletas. Este tipo de contaminación se la encuentra principalmente en zonas urbanas, que, bajo la variable de crecimiento poblacional desenfrenado, parque automotor, mal manejo de desechos sólidos y líquidos; incrementa consigo dicha contaminación (Martínez & Bedoya, 2007).

2.14.4 Calidad del aire

Se refiere una parte específica se encuentra libre de sustancias nocivas o contaminantes que a futuro causan problemas a la salud humana o el medio ambiente.

La calidad del aire con el tiempo se ha vuelto un tema polémico debido a la preocupación para la salud humana y protección del ambiente, es por eso por lo que se empezó a monitorear y mejora la calidad de aire desde hace décadas; buscando alternativas más limpias y amigables con el ambiente.

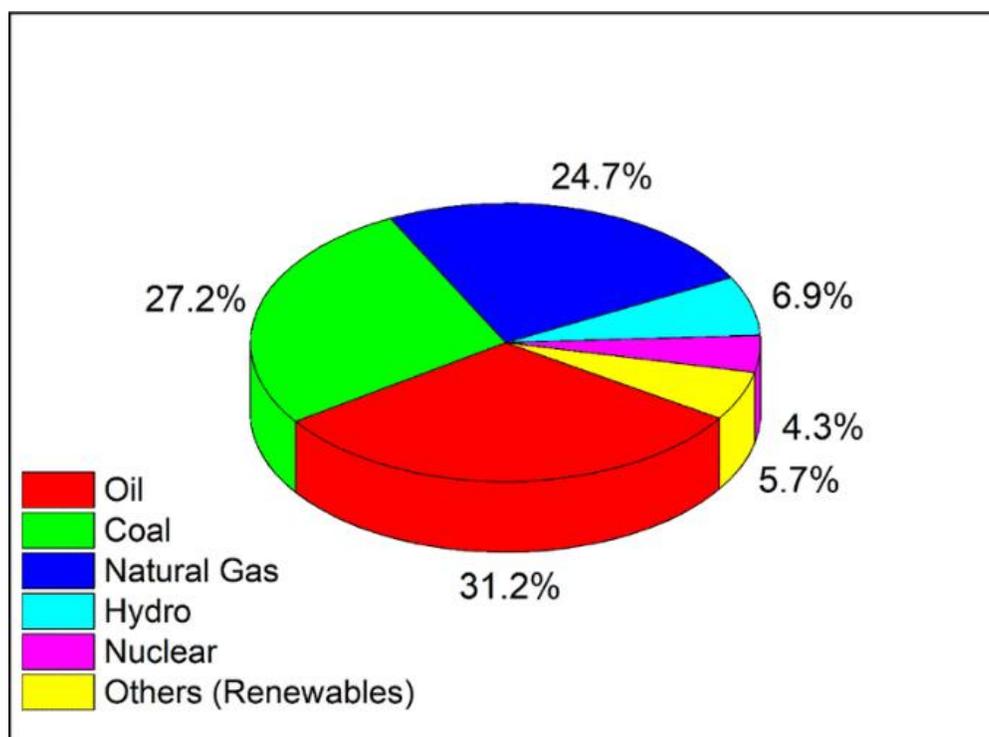


Figura 13 principales contaminantes de la atmósfera (Sidique et al., 2022)

Se ha estimado que para el año 2020, el principal responsable de la contaminación es la gasolina con 31,2 %. La figura 14 Muestra los principales 6 contaminantes atmosféricos.

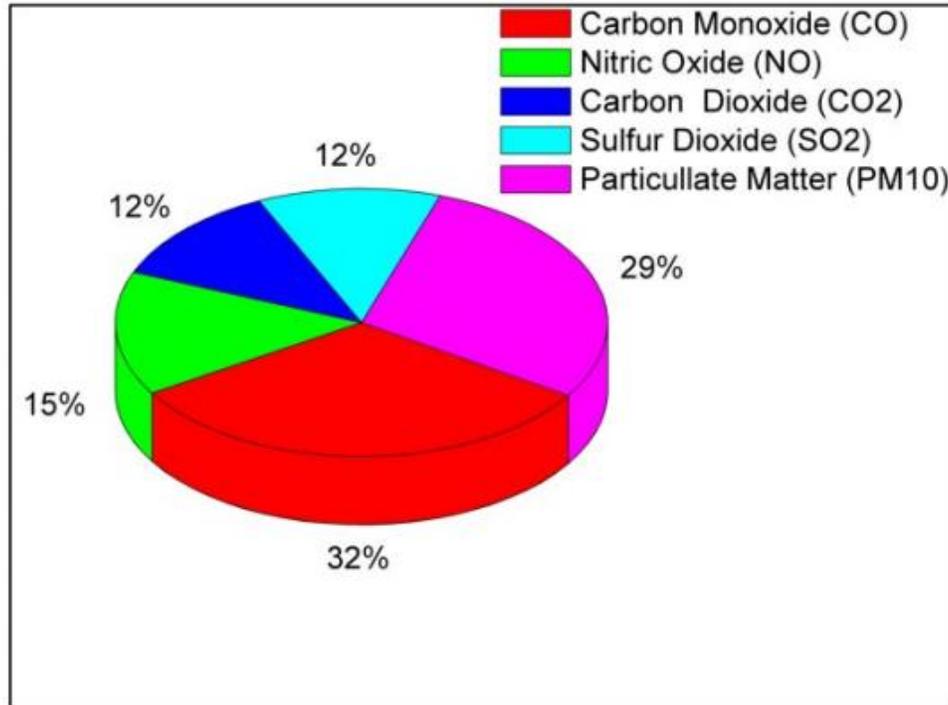


Figura 14 Variaciones de los contaminantes ambientales procedentes de camiones pesados (Sidique et al., 2022)

Mientras que, estas son los principales gases provenientes de fuentes móviles: compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂) y partículas menores de 10 micras (PM₁₀). Esta estimación se hizo para la ciudad de Juárez en el tiempo comprendido entre 2015 y 2030; donde se tuvo en cuenta los cambios en el parque automovilístico y condiciones ambientales previstas (Tilvaldyev et al., 2019).

2.15 FACTOR DE EMISIÓN

Se define como valor que representa la relación de el contaminante que se emite a la atmosfera cuantitativamente relacionada a una actividad en específico asociada con anterioridad a la emisión del contaminante. En otras palabras, que tipo de fuente es la que produce la mala calidad de aire en un sector.(Franco et al., 2013)

Para conocer el factor de emisión de fuentes móviles, se debe tomar en cuenta el tipo de combustible que se usará, el ambiente y condiciones del vehículo. Para esto, existen diferentes métodos (Franco et al., 2013).

2.15.1 Dinamómetro de chasis

Esta técnica es muy costosa y se tiene problema para encontrar una muestra representativa porque requiere que el vehículo esté colocado sobre un dinamómetro de chasis, siguiendo un ciclo de conducción único para cada automóvil para determinar la masa de los contaminantes emitidos por kilómetro recorrido con el uso de un equipo especializado (Franco et al., 2013).

2.15.2 Modelación inversa

Es un complemento de una previa medición de emisiones contaminantes. Haciendo uso de un modelo para cuantificar la calidad del aire, el cual su principal dato es de las concentraciones y mediante la estadística se determina la fuente de emisión y los factores de emisión. Se hace uso de modelos de dispersión de contaminantes o receptores (Franco et al., 2013).

2.15.3 Uso de modelos

Existen diferentes modelos para cuantificar las emisiones de gases:

- a) MOVES:* Es un modelo para el cuantificar las emisiones en fuentes móviles, determinando sus factores de emisión. El cual necesita de información detallada de flota y flujo vehicular; es por eso por lo que se usan en países europeos y americanos por su extenso procesamiento que al culminar se requiere estimar los factores de emisión.(Franco et al., 2013).
- b) COPERT 4.* El modelo determina factores de emisión para los diversos gases que producen el efecto invernadero producto de la combustión de vehículos.(Franco et al., 2013).

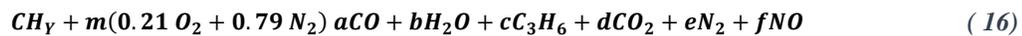
c) *IVM*. Está diseñado para estimar los factores de emisión e inventarios; con la diferencia que estos pueden ser aplicados a países en desarrollo, ya que no necesitan de mucha información. Países como México, Brasil y Chile han hecho uso de esta herramienta.(Franco et al., 2013).

Cabe recalcar que existen diferentes métodos para calcular el factor de emisión, pero la mayoría ha presentado deficiencias.(Franco et al., 2013).

2.16 METODOLOGÍA PARA CALCULAR EL FACTOR DE EMISIÓN (FE)

El modelo representa la conversión de lambda con sus productos según la ecuación (16) ; donde las variables a, b, c, d, e, f y m donde son valores considerados estequiométricos desconocidos y que se define en moles formados un mol de combustible consumido; haciendo un balance de masa respecto a la cantidad de carbono presente.

en el combustible; se puede escribir como la ecuación (16) y (17) (Franco et al., 2013).



$$1 = a + 3c + d \quad (17)$$

Los contaminantes generados por el tubo de escape se analizan según la ecuación (18); donde R_{CO} es la relación de CO respecto al dióxido de carbono medido en porcentaje y R_{HC} es la relación del HC con respecto al dióxido de carbono también medido en porcentaje.(Franco et al., 2013)

$$d = \frac{1}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} \quad (18)$$

La ecuación (19) se determinan los FE en términos de gramos de contaminantes cada kilometro recorrido, el subíndice i representa con cada contaminante como el CO, HC y

NO_x ; el MW_{comb} es el peso molecular equivalente del combustible y el MW_i , el peso molecular equivalente de los contaminantes, ρ_{comb} es la densidad del combustible g/m^3 y c es el consumo de combustible por la distancia recorrida en m^3/km . (Franco et al., 2013).

$$FE_i = \frac{1}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_i}{MW_{comb}} * \rho_{comb} * c * c; \left(\frac{g}{km}\right) \quad (19)$$

2.17 MARCO LEGAL

2.17.1 Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204:98

GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE, VEHÍCULOS. AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES A GASOLINA

La norma permite la evaluación de la emisión de gases en vehículos a gasolina, donde establece los límites permitidos para el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), hidrocarburos (HC), Oxígeno (O_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), entre otras.

La tabla 7 indica los límites permitidos de emisión de gases al aire para los vehículos a gasolina.

Tabla 7 Límites permisibles por emisiones producidas por fuentes móviles, terrestres a gasolina (norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 204:2002)

Año modelo	% CO^a		Ppm HC^a	
	0-1500 ^b	1500-3000 ^b	0-1500 ^b	1500-3000 ^b
2000 y posteriores	1.0	1.0	200	200
1990 a 1999	3.5	4.5	650	750
1989 y anteriores	5.4	6.5	1000	1200

^aVolumen
^bAltitud=metros sobre el nivel del mar

Donde el método de ensayo muestra la concentración de emisiones emanadas por el tubo de escape en condiciones de marcha ralenti y aceleración.

Tabla 8 Límites máximos permisibles para fuentes móviles con motor de gasolina a partir del año modelo 2000(ciclos americanos) (norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 204:2002)

Categoría	Peso bruto del vehículo Kg	Peso del vehículo cargado Kg	CO g/Km	HC g/Km	NOx g/Km	Ciclos de la prueba	Evaporativas g/ensayo SHED
Vehículos livianos	=<3860	=<1700	2.10	0.25	0.62	FTP-75	2
Vehículos medianos		1700-3860	6.2	0.5	0.75		2
Vehículos pesados **	<3860=<6350		6.2	0.5	1.1		2
	>6350		14.4	1.1	5.0	Trasiente pesado	3
			37.1	1.9	5.0		4

*prueba realizada a nivel del mar
 **en G/Bhp-h (gramos/brake Horsepower-hora)

“Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 203:2000: Gestión Ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de las concentraciones de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o ralenti. Prueba estática”

Esta norma establece el proceso para determinar la concentración de emisión provenientes del tubo de escape de vehículos a gasolina en condiciones de marcha o ralenti.

2.17.2 Normas (TULAS)

El Texto unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), se constituye por nueve libros; donde agrupa las normas reglamentarias más relevantes vigentes en el Ecuador en materia ambiental; en el LIBRO VI, Anexo 5; habla sobre de los límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y móviles y para vibraciones.

2.17.3 Constitución de la república del Ecuador

En la constitución de la república del Ecuador, en el título II: Derechos, capítulo II: derechos del buen vivir, sección segunda: ambiente sano, relata lo siguiente en su artículo 14: Derecho a un Ambiente Sano:” En la Constitución de la República del Ecuador se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y equilibrado, garantizando la sostenibilidad y el buen vivir. Estos derechos incluyen el acceso al agua, salud, alimentación y un ambiente libre de contaminación, aplicándose a todas las personas sin distinción de raza o etnia

En su capítulo VIII: de la Constitución de la República del Ecuador, todos los vehículos que circulen por el territorio ecuatoriano deben cumplir con los niveles máximos permitidos de emisión de gases contaminantes establecidos en la normativa correspondiente.

Y en su artículo 327: de la Constitución de la República del Ecuador, ningún vehículo que circule en el país puede emitir gases de combustión que excedan el 60% en la escala de opacidad establecida en el Anillo Ringelmann o su equivalente electrónico.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En esta investigación se plantea una metodología adecuada que permita la estimación favorable y confiable de las emisiones de gases producidas por la actividad de los vehículos que circulan por las calles de la Provincia de Santa Elena. La flota vehicular de la provincia tiene patrones de movilidad muy distintos debido a que los vehículos dedicados al transporte público y particular solo se mantienen en un sitio definido y solo, si su servicio lo requiere, cruzan a los diferentes cantones.

Los modelos para la cuantificación de emisiones como el IVE (International Vehicular Emissions) son usados por grandes zonas o regiones ya que como principal requisito necesitan una cantidad de información para procesarla y obtener dichas estimaciones de las emisiones vehiculares; pero éstos solo permiten una aproximación. Se pretende que, con la utilización en este proyecto del analizador de gases, se obtengan datos reales, muy aproximadas y comprobables que garanticen el diseño y la implementación de planes para mejorar la calidad del aire en la provincia de Santa Elena.

Antes de determinar la emisión vehicular en la provincia de Santa Elena, es necesario mencionar que se debe realizar la selección del tipo de vehículos y la metodología a emplearse como la regresión lineal, donde el método de obtención de datos es no experimental.

Se utiliza la encuesta estructurada para analizar el consumo de gasolina por vehículo, utilizando la información obtenida de los viajes diarios y las distancias recorridas

3.1.1 Métodos

- d) Método Inductivo.* Permite obtener un conocimiento general de los contaminantes emanados por los vehículos a gasolina, generando un resultado global de cuánto aportan a la emisión de gases.

Los resultados obtenidos se comprueban con los límites máximos y mínimos permitidos expuesto en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204:20

- e) Método Deductivo.* Por este método se realiza un análisis a profundidad de la situación actual del parque de Santa Elena, considerando causas y efectos que producen las emisiones.

- f) Método Analítico.* Este método es el que permite estimar y analizar los principales gases contaminantes generados por el parque automotor CO, HC y O_2 , con el propósito de verificar el grado emitido a la atmosfera.

3.1.2 Técnicas

- g) Observación Directa.* En la provincia de Santa Elena, hay 3569 vehículos que prestan el servicio público, de los cuales, en el Cantón Santa Elena hay 1600, en La Libertad 1009 y en Salinas 960 y su parque vehicular está conformado por 78 cooperativas de taxis. según la superintendencia de compañías, donde 16 de ellas son de La Libertad. 42 de Santa Elena y 16 de Salinas. Muchas de estas cooperativas tienen automóviles que circulan desde el año 2012 en adelante, porque estas cooperativas no aceptan tener vehículos de modelo anterior a este año. debido al estrés, consumo y desgaste de cada vehículo por el trabajo al cual son sometidos.

Hay también 7089 vehículos particulares. Muchos de ellos circulan desde los años 90 en adelante, teniendo así más de 30 años de servicio. produciendo una carga considerable de emisiones de gases al ambiente.

Esta observación directa en la presente investigación, se logra observar y plantear un escenario cercano a la realidad sobre el problema de estudio. Permitiendo así una vista más amplia del área de estudio, donde se llevó a cabo el trabajo de campo.

h) Fichaje. El fichaje del parque automotor anteriormente descrito, que permite llevar un registro de los datos obtenidos de las mediciones de gases por medio del “analizador de gases KANE AUTO plus” sistematizando datos de gran interés para la investigación, proporcionando un mejor análisis estadístico o crítico de la situación actual.

i) Monitoreo. El monitoreo permitió determinar los puntos estratégicos para tomar una muestra representativa del parque automotor a gasolina y hacer en ella las mediciones de los gases contaminantes y con estos datos. obtener un diagnóstico preliminar de la investigación a realizar

3.2 EQUIPO UTILIZADO PARA REALIZAR LAS MEDICIONES

Para analizar los gases de combustión que emanan de los vehículos. se utiliza un dispositivo llamado “*autoplus gas analyser*”. Este dispositivo recoge una muestra de los gases de combustión de cinco gases: CO_2 , CO , HC , O_2 basado en la medición infrarroja no dispersiva a comparación de los NO_x y O_2 basado en la medición electroquímica (Hobart, Lynne, & Dean, 1978).

Los gases se enfrían a presión y temperatura ambiente se determina el volumen. Pasado este proceso, la muestra queda en contacto con un compuesto que absorbe el dióxido de carbono; los gases restantes se llevan nuevamente a presión y temperatura ambiente y se determina el nuevo volumen que ocupa. (Caiza Jacome & Portilla Aguilar, 2010)

La proporción que hay entre la reducción de volúmenes es la fracción del volumen del dióxido de carbono, la cual se puede decir que es equivalente a la fracción molar suponiendo un gas ideal. En el análisis de gases que se hace en este dispositivo, la muestra en su estado gaseoso se acopia sobre agua y se mantiene saturada todo el tiempo. La presión de vapor del agua permanece constante en toda la prueba. Por eso, la presencia de agua es ignorada en la cámara de prueba en todo el proceso. (Zhigui Loja, Jiménez Negrón, & Espinoza Castillo, 2021)

La cantidad de agua formada durante la combustión se puede determinar balanceando la ecuación (8) y (9) de combustión presentada anteriormente.

El equipo requerido para determinar el porcentaje de emisiones fue el “*autoplus gas analyser Kane*” cuyas características técnicas son: banco de gas NDIR de alta precisión, mejor estabilidad y temperatura regulada, equivalente al estándar OIMLR99 clase 0 y aplicable para el control de umbrales normativos de contaminación: gasolina y GNV

3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La metodología aplicada al presente estudio permite calcular la concentración de gases que provienen del sistema de escape de los vehículos que circulan en la provincia es de tipo no experimental, debido a que no se modificaron las variables, si no que se estudia de forma natural y como se presenta en el contexto.

En este estudio se utilizó la investigación descriptiva, analítica, bibliográfica, de campo y de tipo correlacional, las cuales permiten analizar y establecer relaciones entre las variables propuestas obtenidas a partir de la muestra de la flota vehicular de la provincia de Santa Elena, pudiendo así alcanzar los objetivos propuestos.

3.3.1 Investigación descriptiva

La investigación descriptiva se utiliza para la obtención de las bases de conocimiento necesarias y la noción del estado actual del problema identificado, en este caso, el número de vehículos que circula en la provincia de Santa Elena y los gases contaminantes expulsados al ambiente, teniendo en cuenta sus características, porcentaje y su influencia en la sociedad involucrada.

3.3.2 Investigación cuantitativa

Con la ayuda de la investigación cuantitativa se puede comprender: frecuencias, patrones, promedios y correlaciones, así como entender relaciones de causa y efecto, por ejemplo. las que hay entre las emisiones y el año de fabricación del vehículo. Los resultados obtenidos, se expresan en números o gráficos.

3.3.3 Investigación analítica

Mediante la investigación analítica se puede comprobar el estado en los que se encuentran los gases que son emanados por automóviles a gasolina, determinando si tienen datos aceptables o permitidos por las normas que rigen en la zona.

3.3.4 Investigación de campo

Este tipo de investigación se aplicó para la determinación del objeto de estudio y la recopilación de datos y de información y la obtenida del analizador de gases para los diferentes automóviles a gasolina siguiendo el procedimiento recomendado por las normas técnicas

Los resultados obtenidos en esta investigación se procesan de la siguiente forma:

1. Para valores cuantitativos: histograma de resultados.

2. Para valores cualitativos: gráficos de sectores y de barras.
3. Para el análisis lógico: esquemas y organizadores gráficos.

3.3.5 Investigación bibliográfica

Este método de investigación se empleó para examinar la información recolectada en la sección de fundamentos teóricos, lo cual permitió identificar el problema y adquirir los conocimientos necesarios para llevar a cabo este estudio sobre las emisiones de gases de vehículos que funcionan a gasolina.

3.4 NORMA TÉCNICA APLICABLE A LOS VEHÍCULOS A GASOLINA

En este proyecto damos aplicación a la metodología contemplada en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204:2002: “Determinación de emisiones de escape de motores a gasolina mediante la prueba estática. Método de aceleración libre”. donde se explica detalladamente el proceso a seguir para la toma de datos, siguiendo los siguientes pasos:

1. Registrar los datos generales del vehículo (Tipo de vehículo, Marca del vehículo, Kilometraje y Placa) en el equipo “Automotive exhaust gas analyser”, luego esperar un lapso de 15 minutos para que los datos queden grabados en el equipo y después proceder a la fase de estabilización.
2. Bajo el funcionamiento del motor en ralentí, se deben llevar a cabo tres aceleraciones seguidas desde la posición de ralentí hasta llegar a la máxima revolución, con el propósito de efectuar una limpieza en el tubo de escape.
3. Colocar la sonda de prueba en la salida del sistema de escape del automóvil.

4. Verificar que la sonda se mantenga en su lugar dentro del sistema de escape durante toda la prueba.
5. Acelerar el vehículo y permitir que el motor regrese a su ralentí normal. Repetir este proceso al menos 3 veces consecutivas. Después de realizar la medición, imprimir el resultado obtenido de la prueba de emisiones
6. Al concluir con las mediciones de los gases emitidos por el vehículo, realizar la limpieza del equipo. A continuación, esperar aproximadamente 10 minutos con el fin de evitar la descalibración para que los datos que se obtendrán del siguiente vehículo, no sufran ninguna alteración.
7. Finalmente, proceder a desconectar los accesorios e instalaciones eléctricas del equipo, ubicándolos en su lugar respectivo.

Este método aplicado es el más sencillo, para mantener en niveles bajos los gases perjudiciales que emanan los vehículos a gasolina, ya que al conseguir la muestra producto de la combustión, se puede determinar el porcentaje en volumen de cada uno de los gases antes mencionados. Estos gases se determinan en condiciones isotérmicas e isobáricas. La ley de Avogadro establece que en condiciones iguales de volumen y temperatura, los gases contendrán el mismo número de moléculas.(Ávila Alvarado et al., 2011)

El nitrógeno es un elemento inerte que, como se mencionó antes, hace parte de los gases de admisión, ya que se encuentra en el aire. Se le puede usar para indicar la cantidad de aire que entra, porque a cada mol de oxígeno que ingrese le acompañan 3.76 moles de nitrógeno. De igual manera, el carbono, producto de los gases de escape, constituye un índice del contenido en combustible.(Ávila Alvarado et al., 2011).

El proceso descrito en el párrafo anterior da como resultado que el producto de la combustión, debido a la condensación del vapor de agua, también llegue a formar parte del fluido succionante por el analizador, pero éste no se tomará en cuenta y no entrará en los análisis siguientes, debido a que solo será para gases secos.(Ávila Alvarado et al., 2011).

Los límites permisibles para el dióxido de carbono son de 12-15%, para el monóxido de carbono es 0.5 a 2%; oxígeno de 0 a 2%, hidrocarburos de 100 a 400 ppm y por último lambda que tiene un rango de 0,8 a 1.333333, descrito en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 204:2002 establece la Tabla 7, que indica los límites permisibles de emisiones generadas por fuentes móviles terrestres a gasolina. Además, en la misma norma se encuentra la Tabla 8, que establece los límites máximos permisibles para fuentes móviles con motor de gasolina a partir del año modelo 2000 según los ciclos americanos.

3.5 GENERALIDADES DE LA FLOTA VEHICULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

Según los últimos datos disponibles del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) de Ecuador, en el año 2021 había un total de 31.750 vehículos matriculados en la provincia de Santa Elena.

Con base en esta información, es difícil caracterizar en detalle la población del parque vehicular de la provincia de Santa Elena sin datos adicionales. Sin embargo, algunas características generales del parque vehicular en Ecuador incluyen una mayor proporción de vehículos más antiguos y una prevalencia de automóviles a gasolina. Adicionalmente, debido a la topografía y falta de pavimentación de muchas calles de la Provincia de Santa Elena, existe una mayor demanda de SUV y camionetas, particularmente en las zonas rurales.

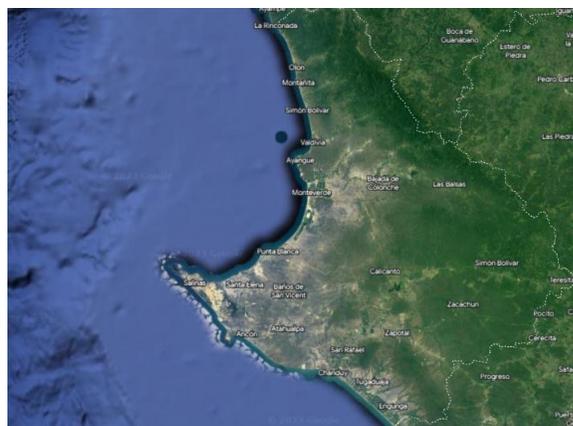


Figura 15. Mapa de la Provincia de Santa Elena (Google Earth)

3.6 TOMA Y RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA PARA EL ESTUDIO

3.6.1 Descripción del área de estudio

Santa Elena es una provincia costera ubicada en el suroeste de la República del Ecuador. Limita al norte con la provincia de Manabí, al este y sur con la provincia de Guayas y al oeste con el Océano Pacífico. Su capital es la ciudad de Santa Elena.

La provincia tiene una geografía diversa, con una mezcla de llanuras costeras, montañas y bosques. Está conformada por distintos cantones: Santa Elena, La Libertad y Salinas.

3.7 DETERMINACIÓN DE LA FLOTA VEHICULAR DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO

De acuerdo con la Agencia Nacional de Tránsito (*ANT*), en su colaboración con el Instituto Nacional de Estadística y Censos (*INEC*) en el año 2021, reportó que la provincia de Santa Elena presenta 33.501 vehículos matriculados, donde 29.887 son carros a gasolina y 10,658 son vehículos tipo automóvil Sedán.

Este estudio se limita al número de vehículos tipo sedán para el servicio público, excluidos los demás. También se incluyen todos los tipos de vehículos de servicio particular.

Más del 70% de la muestra tomada en este estudio cobija a los que prestan un servicio público, ya que estos son los que tienen más desgaste diario. Sin embargo, para el inventario de emisiones se toma en cuenta el número total de vehículos a gasolina (particulares y públicos).

En la siguiente tabla se presenta el número de automóviles tipo sedán a gasolina para distintos años y en la Provincia de Santa Elena, según datos suministrados por la Agencia Nacional de Tránsito (*ANT*) y el Instituto Nacional de Estadística y Censos (*INEC*) en su informe:

"vehículos motorizados matriculados según uso, año 2018 por provincia y tipo de combustible".

Tabla 9 Censo vehicular tipo sedán y por años de la provincia de Santa Elena

Año	Número de vehículos
2018	10334
2019	9495
2020	10467
2021	10658
2022	11084

Tabla 10 Censo vehicular por años Provincia de Santa Elena (ANT,2021)

Año	Número de vehículos
2018	27.015
2019	24.908
2020	28.168
2021	29.887

3.8 CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA (N)

Población: 29.887 automóviles a gasolina (año 2021)

PQ= Constante de muestreo (0,5)

E= error admisible (10%)

K = constante de Corrección (2)

n= tamaño de la muestra

$$n = \frac{\frac{z^2 * PQ(1 - PQ)}{E^2}}{1 + \left(\frac{z^2 * PQ(1 - PQ)}{E^2 * N}\right)} = \quad (20)$$

$$n = \frac{\left(\frac{(1.96^2 * 0.5(1 - 0.5))}{0.1^2}\right)}{1 + \frac{1.96^2 * 0.5(1 - 0.5)}{0.1^2 * 29.887}} = \quad (21)$$

$$n = 95.41 \quad (22)$$

$$n \approx 95 \text{ veh.} \quad (23)$$

Por motivos que los vehículos tipo sedán se encuentran dentro del grupo de vehículos a gasolina, se decide tomar como población a esta última.

3.8.1 Recolección de datos de la muestra.

Los datos deben ser tomados por medio del “automotive Exhaust Gas Analyser”, el cual permite medir el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), oxígeno (O₂), hidrocarburos (HC), COK y el valor de lambda, a los vehículos de 5 pasajeros a gasolina de la muestra representativa anteriormente calculada.

Como se dijo anteriormente, cada prueba se efectúa con el vehículo a una velocidad de giro de motor ralentí y luego se aumenta la revolución a 2500 rpm. El vehículo debe estar a temperatura de funcionamiento. (Zhigui Loja, Jiménez Negrón, & Espinoza Castillo, 2021)

La prueba debe efectuarse con un intervalo de 30 segundos de duración entre ésta y el siguiente estado (entre ralentí y aceleración).

La entrevista se le realiza a los dueños o conductores de los vehículos motorizados para obtener información sobre la marca, modelo, año de fabricación, cilindraje y kilometraje del automóvil, las cuales son las variables independientes del proyecto. La variable dependiente (gases nocivos) se obtiene de los resultados de las pruebas realizadas mediante el uso del analizador de gases aplicando la norma INEN 2204: *Gestión Ambiental. aire. vehículos automotores. límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina*” detallada anteriormente, lo que permite obtener datos para determinar si el parque automotor cumple o no con los límites permitidos normativamente y realizar el pronóstico sobre la cantidad de emisiones que salen del sistema de escape de los vehículos.

3.8.2 Procesamiento de datos.

Los datos obtenidos por el analizador serán procesados en una hoja de cálculo en Excel para la caracterización de los gases de combustión de vehículos a gasolina.

3.9 MODELO DE PREDICCIÓN

3.9.1 Regresión lineal.

Es un método estadístico utilizado para modelar la relación existente entre dos variables. Consiste en ajustar un conjunto de puntos a una línea recta y así poder extrapolar e interpolar el valor de una variable en función de la otra. La línea de mejor ajuste se determina minimizando la suma de las diferencias al cuadrado entre los valores predichos y los valores reales (Chamarravi Guerra & Saavedra Calixto, 2013).

La regresión lineal es una técnica simple, que se puede utilizar en una amplia gama de aplicaciones, entre ellas en la Ingeniería, y consiste en modelar matemáticamente las variables en una ecuación lineal. Se puede utilizar para una variedad de propósitos, que incluyen:

- a) **Análisis de tendencia.** Evidencia la existencia de una correlación entre dos variables y si ésta es positiva o negativa. La ecuación de la línea de tendencia se ajusta para tener la mayor cantidad de puntos, de tal manera que entre mayor a 1 sea R^2 , mejor se ajustará dicha línea.
- b) **Análisis de causalidad.** Determina si una variable provoca cambios en otra.
- c) **Pronóstico.** Se utiliza para obtener valores futuros de una variable independiente a partir de valores conocidos para valores de la variable dependiente.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

Para caracterizar y clasificar el parque automotor, con base en las muestras tomadas, se pueden utilizar varios métodos, dependiendo de si prestan un servicio público o particular. (Gómez, Tinoco, & Vásquez, 2004)

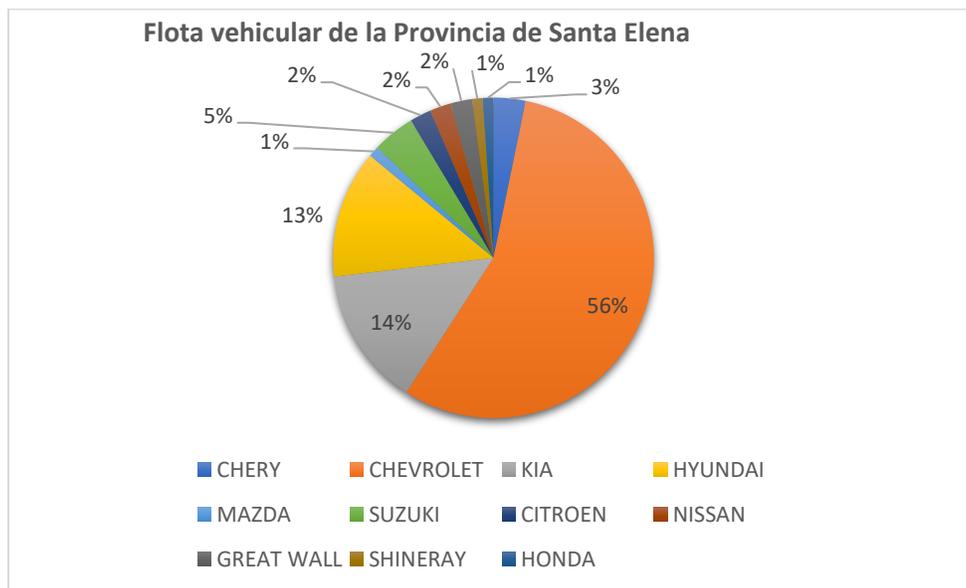


Figura 16 porcentaje de la flota vehicular muestreada de la Provincia de Santa Elena

Como se observa en el gráfico 16 de la muestra en estudio anteriormente obtenida, las marcas con mayor número de vehículos en la provincia de Santa Elena son: marca Chevrolet con un 56% seguida de la Kia con un 14 % y en tercer lugar la Hyundai con un 13%.

4.1.1 CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS

Los vehículos se clasifican de acuerdo con el servicio que prestan en: públicos que corresponde a los de carga o de pasajeros y de servicio particular

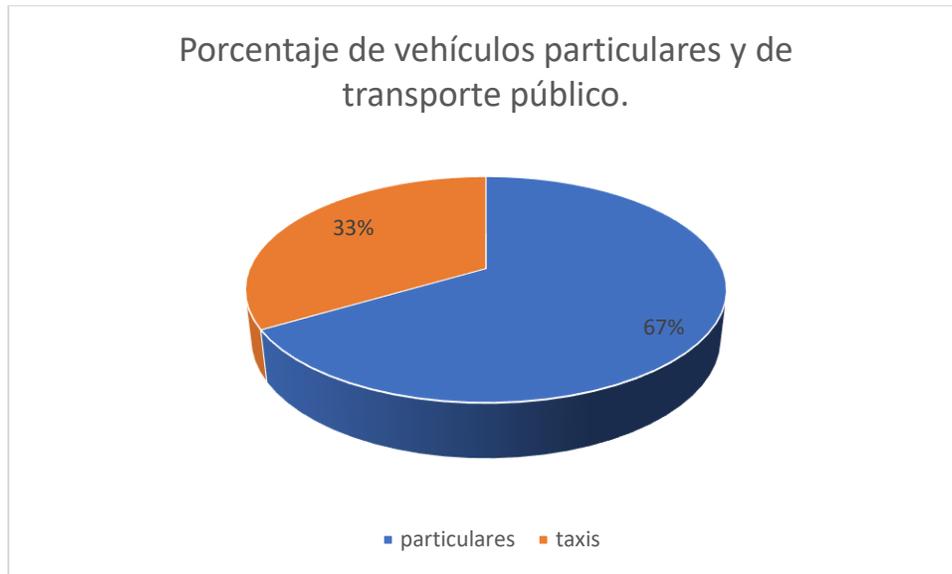


Figura 17 porcentaje de vehículos dependiendo el servicio que presta

La figura 17 muestra que hay más del 50% de vehículos tipo particular, el resto son los vehículos públicos que prestan servicio de transporte a los ciudadanos. Dichos vehículos recorren entre 200 a 300 km por día.

4.1.2 De Servicio Público:

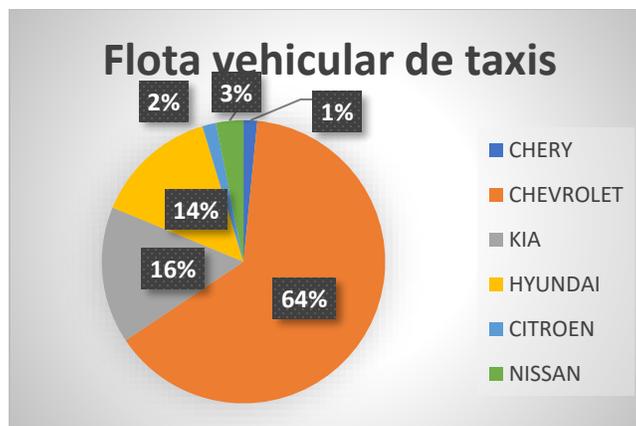


Figura 18 Flota vehicular de taxis por marca de vehículo

Según el gráfico, el 64% de las marcas usadas para el transporte público son Chevrolet, seguida por la marca Kia con un 16% y con un 14% la marca Hyundai.

4.1.3 Particulares:

En este grupo se encuentran los vehículos de uso personal o familiar

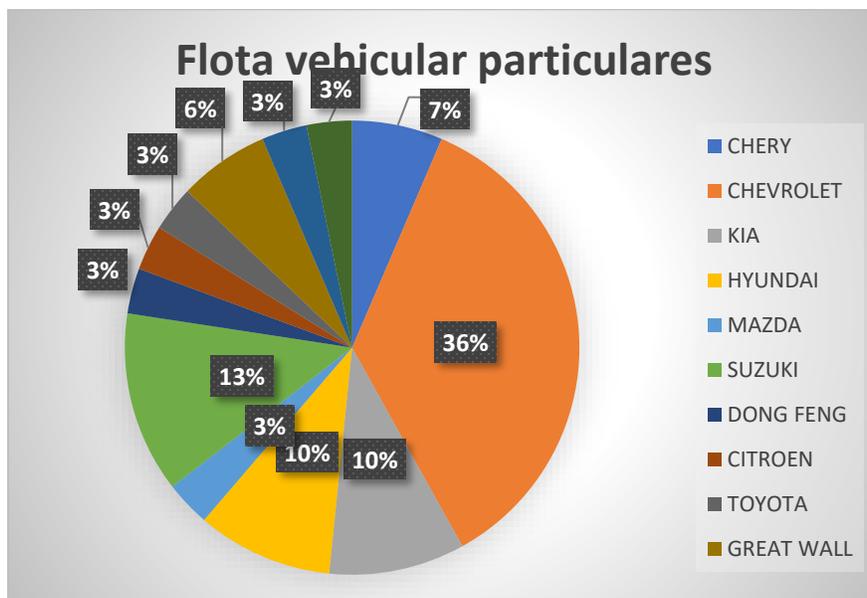


Figura 19 Flota vehicular para vehículos particulares

Las marcas más usadas para el transporte privado es Chevrolet con un 36% seguido de la Suzuki con un 13% y las marcas Hyundai y Kia, con un 10% cada una.

Tabla 11 cantidad de vehículos por año

Tabla de frecuencia	
1991-1995	3
1996-2000	3
2001-2005	2
2006-2010	6
2011-2015	50
2016-2020	23
2021-2025	8
total	95

En la tabla se puede contemplar que los vehículos de los años 2011 a 2020 son los más abundantes en la provincia; el promedio del tiempo de servicio de éstos está alrededor de los

10 años. La edad del vehículo influye significativamente en sus emisiones de CO, incrementando si los vehículos carecen de un buen mantenimiento.

4.2 COMBUSTIBLE UTILIZADO

Para verificar el combustible más usado en la provincia, se utiliza una encuesta, dando como resultado que más del 97% consumen la gasolina eco-país; el 3% restante usa gasolina súper por los beneficios que trae a la vida del motor. El promedio de recorridos diarios es de 143,13 km y al ser Santa Elena un lugar con alta cantidad de vehículos, llegan a alcanzar velocidades promedio de 47 Km/h.

Tabla 12 Uso de Combustible según encuesta

Combustible	N de encuestas	Porcentaje
eco-país	92	97%
super	3	3%

Una de las principales razones por la cual prefieren la gasolina súper para los vehículos de uso particular, es porque produce una menor afectación al motor, a pesar de su mayor costo con relación a la gasolina eco-país, y porque son vehículos relativamente nuevos. Los de uso público utilizan la gasolina ecopaís por ser más rentable el costo de este combustible.

Con la utilización de la gasolina súper se consume un 11% menos en volumen de combustible en comparación con la marca ecopaís (Inga Guamán & Vidal González, 2019).

Esto se puede deducir porque como la gasolina ecopaís tiene un poder calorífico menor, pero presenta un comportamiento similar a la extra, debido a que sus octanajes son iguales (Maurat & Galarza, 2017).

Si se considera un recorrido diario de 40 km para vehículos particulares y 200 km para vehículos de transporte público, el consumo anual de combustible para el vehículo particular que usa gasolina super es de 170.09 galones y de 191.33 galones con ecopaís. Para un vehículo de uso público sería de 1043.82 galones con ecopaís y 927.94 con super (Inga Guamán & Vidal González, 2019).

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL AUMENTO POBLACIONAL EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

El crecimiento de una población con el tiempo provoca impactos sociales, económicos y de transporte, entre otros, por lo que, conocer su tamaño y la velocidad en que aumenta o disminuye es de muy importancia a la hora de tomar decisiones que involucren este factor (Santa Maria Suarez, Molina Benavides, Aguirre, & Mera Cedeño, 2016).

Tabla 13 Censo poblacional según INEC

Año	Población Provincia de Santa Elena
1974	105.797
1982	140.431
1990	169.552
2001	238.889
2010	308.693

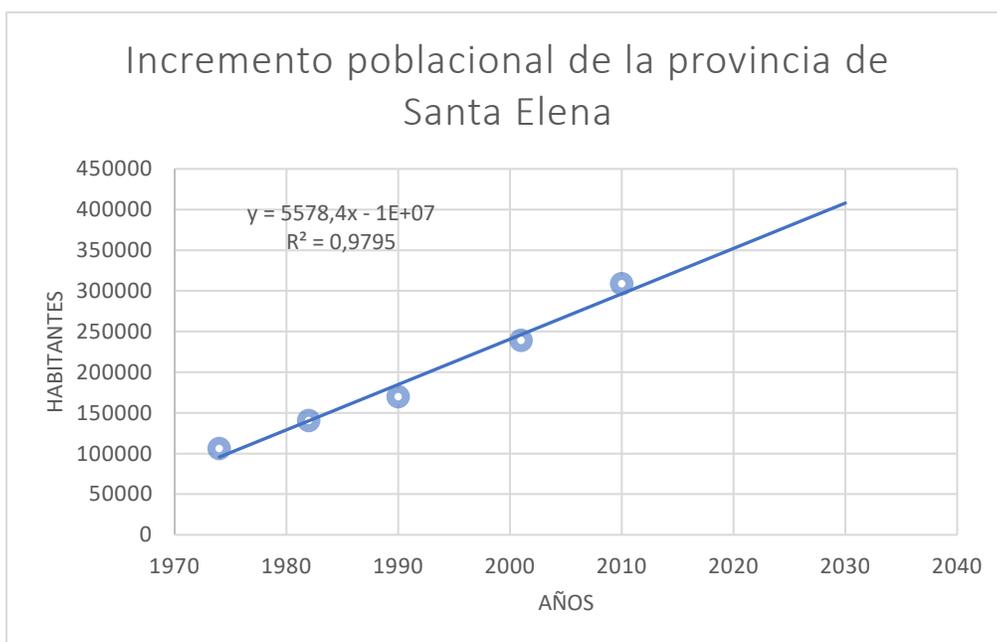


Figura 20 Modelo matemático del incremento poblacional

Según los resultados del censo poblacional del 2010, la República del Ecuador tiene una población de 17.8 millones de habitantes y la provincia de Santa Elena cuenta con 308.693. Se estima que para el año 2030, esta Provincia alcanzará más de 400,000 habitantes.

4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL AUMENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR

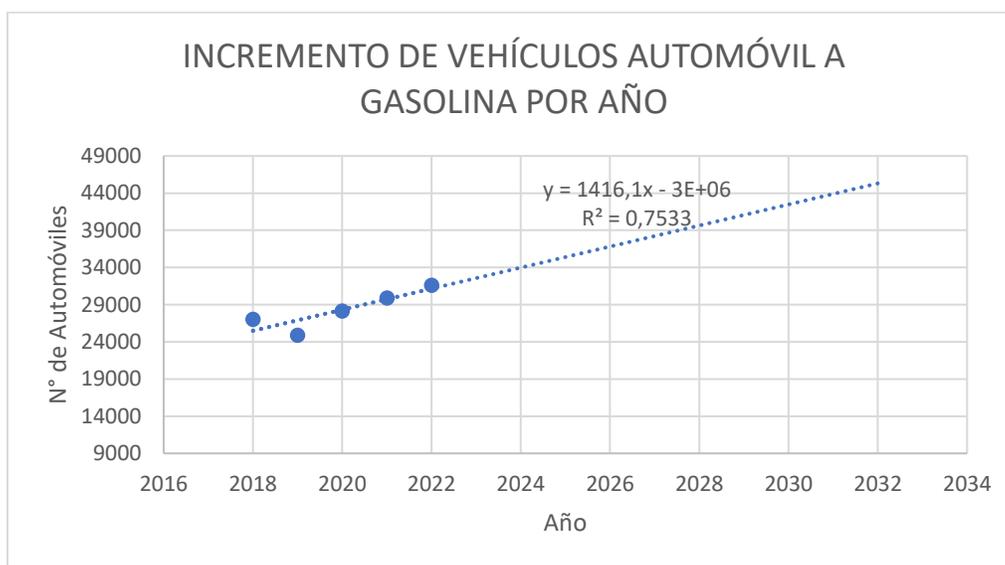


Figura 21 Modelo matemático del incremento de vehículo a gasolina hasta el 2031

La Figura 21, se observa una línea de tendencia es positiva, dando a entender que hay un incremento para los vehículos a gasolina y su modelo matemático sobrepasa el $R^2 > 0,6$ dando a entender, que el modelo es confiable.

Tabla 14 Incremento del parque automotor para vehículos tipo sedán

Año	Incremento
2018	10.334
2019	9.495
2020	10.467
2021	10.658
2022	10.849

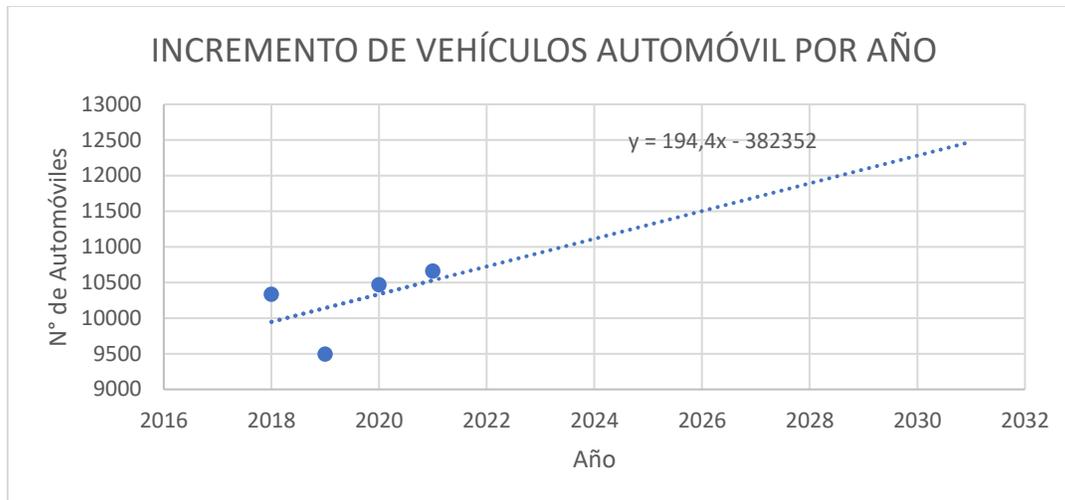


Figura 22 Modelo matemático del incremento de vehículos hasta el 2031

En la figura 21, se evidencia que la línea de tendencia es positiva lo que significa que existe un incremento de vehículos en la provincia con el transcurrir de los años. Extrapolando la línea de tendencia concluimos que para el año 2026 se prevee un incremento de 11.500 vehículos tipo automóvil a gasolina.

Los automóviles se han vuelto una necesidad para el consumidor. Acorde a AEDE (Asociación de empresas automotrices del Ecuador), debido a las condiciones y secuelas de la pandemia del COVID 19, las empresas automotrices flexibilizaron las condiciones económicas y de financiamiento para la adquisición de vehículos automotores durante los dos años de Pandemia, lo que redundó que para el año 2021, en la provincia de Santa Elena se produjera una venta de 497 unidades que se incrementó en el año 2022 a 587. (Asociación de Empresas automotrices del Ecuador, 2021).

Las emisiones de los vehículos son provenientes, principalmente, por el tubo de escape, pero solo corresponden al 60%. El 40 % restante corresponde a las emisiones evaporativas del tanque de combustible y residuos de la combustión que escapan de la cámara hacia el interior del motor (Chamarravi Guerra & Saavedra Calixto, 2013).



Figura 23 Sistemas de control de emisiones(Chamarravi Guerra & Saavedra Calixto, 2013)

4.5 ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES DE COMBUSTIÓN VS CILINDRAJE

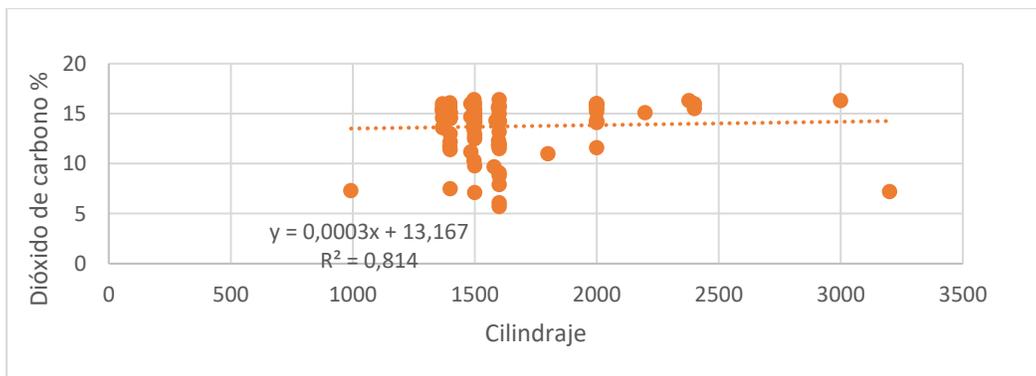


Figura 24 Correlación entre el Dióxido de carbono en estado ralenti vs Cilindraje

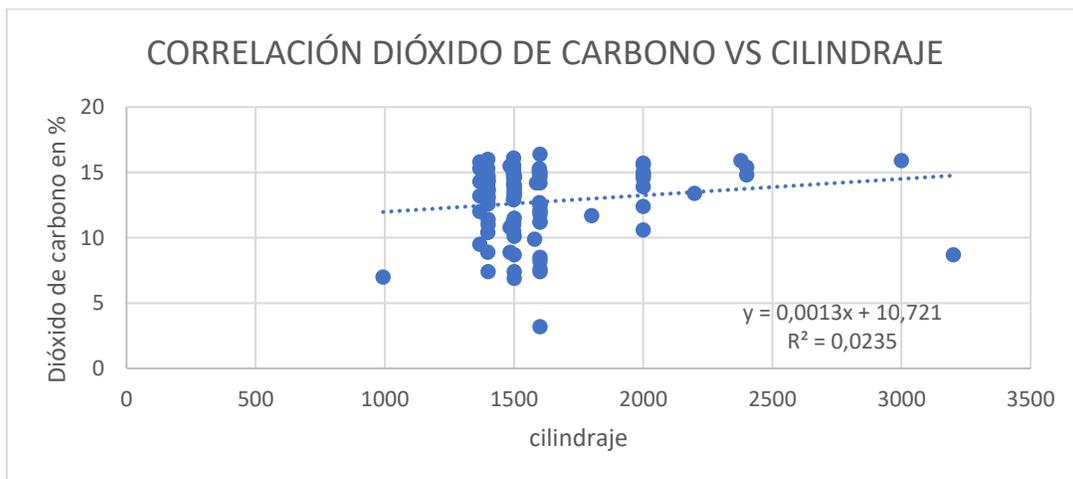


Figura 25 Correlación Dióxido de carbono en estado aceleración vs cilindraje

La figura 23 y 24 muestra el estado ralentí y en estado de aceleración de los vehículos en estudio. La primera detalla la emisión del dióxido de carbono observándose una concentración por encima del 12% del mismo (límite permitido), pero existen datos que están por debajo de éste mientras que, al acelerar el vehículo, la concentración del dióxido de carbono se centra en partes iguales por encima y debajo del límite permitido.

Se puede observar que los vehículos que no pasan la prueba en estado ralentí son los que están entre 993 a 1600 y los de 3200 cc

$$y = 0.0003x + 13.167 \tag{24}$$

$$y = 0.0013x + 10.721 \tag{25}$$

Las ecuaciones presentadas (24) y (25) muestran su valor de intersección en 13.167 y 10.721 indicando el promedio de emisión de dióxido de carbono. El valor 0.0003 y 0.0013 corresponden a las pendientes de la recta que representan los aumentos del volumen total de todos los cilindros del motor. La emisión de dióxido de carbono se incrementa, pero es relativamente insignificante.

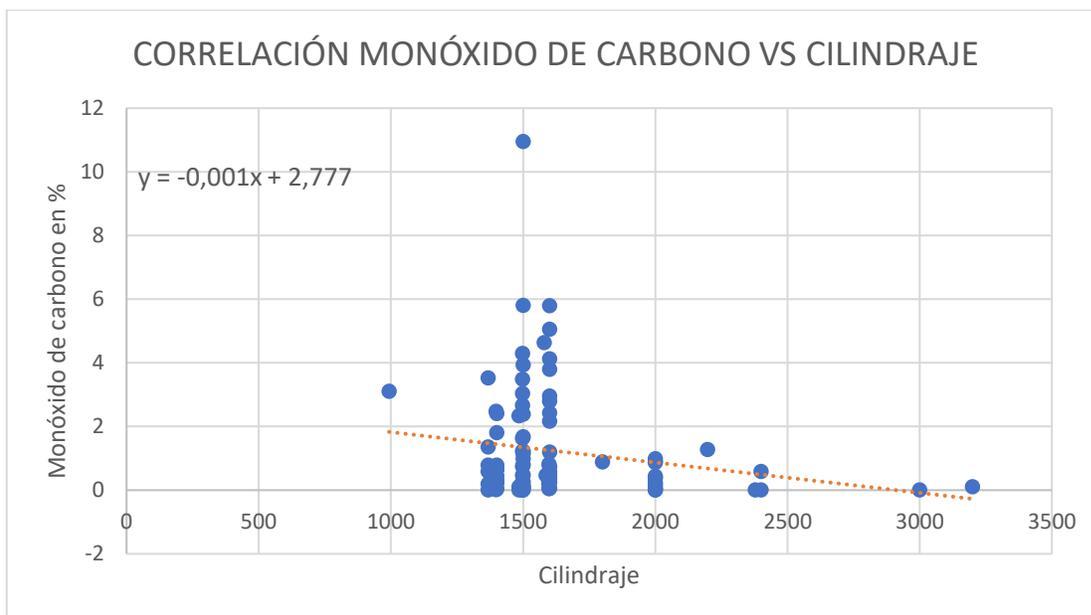


Figura 26 Correlación del monóxido de carbono en estado ralentí vs cilindraje

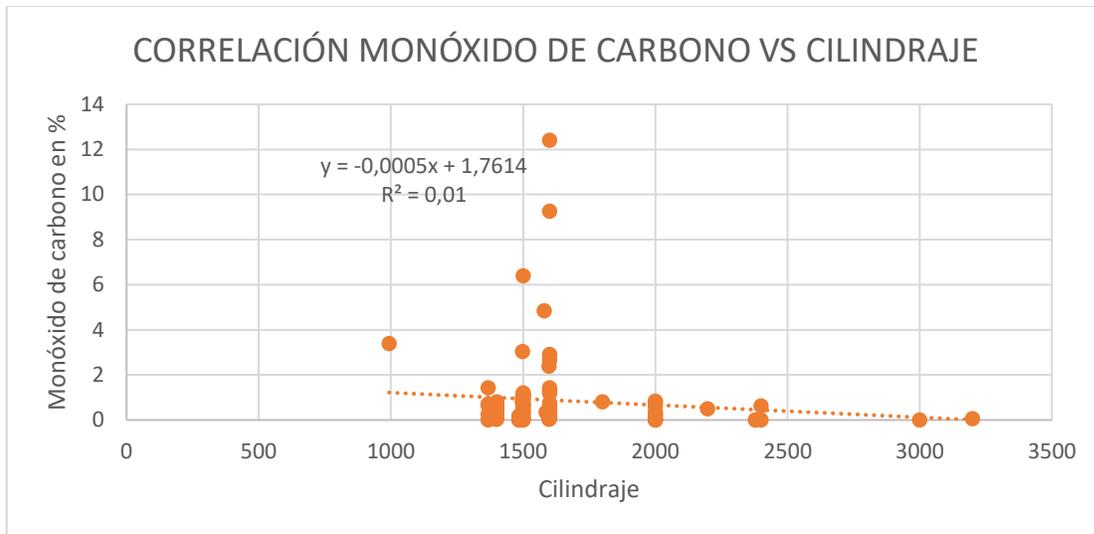


Figura 27 Correlación del monóxido de carbono en estado aceleración vs cilindraje

La figura 25 y 26 muestra el estado ralenti y en estado de aceleración de los vehículos en estudio. La primera detalla la emisión del monóxido de carbono observándose una concentración por encima del 2% del mismo (límite permitido), al acelerar el vehículo, la concentración del monóxido de carbono disminuye la concentración que está por encima del límite permitido.

Se puede observar que los vehículos que no pasan la prueba en estado ralenti son los que están entre 993 a 1600

Las ecuaciones presentadas muestran su valor de intersección en 13.167 y 10.721 indicando el promedio de emisión de dióxido de carbono. El valor 0.003 y 0.0013 corresponden a las pendientes de la recta que representan los aumentos del volumen total de todos los cilindros del motor. La emisión de dióxido de carbono se incrementa, pero es relativamente insignificante.

Las ecuaciones presentadas de $y = -0.001x + 2.77$ y $y = -0.0005x + 1.76$ muestran su valor de intersección en 2.77 y 1.76 indicando el promedio de emisión de monóxido de carbono. El valor -0.001 y -0.0005 corresponden a las pendientes de la recta que representan los aumentos del volumen total de todos los cilindros del motor. La emisión de monóxido de

carbono disminuye, pero es relativamente insignificante. El monóxido de carbono es un gas nocivo, perjudicial para las personas.

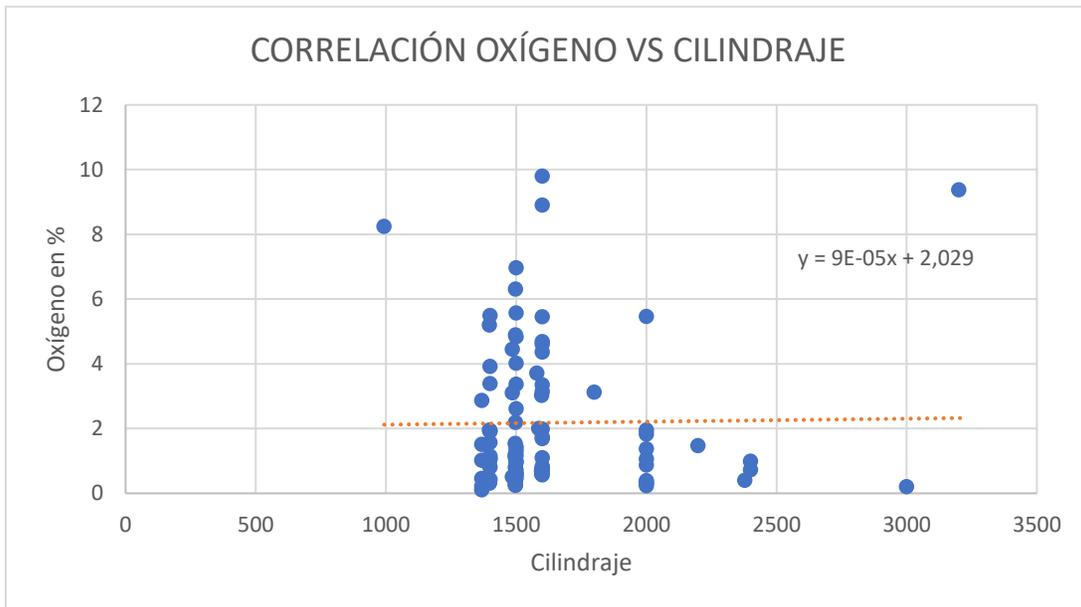


Figura 28 Correlación del oxígeno en estado ralenti vs cilindraje

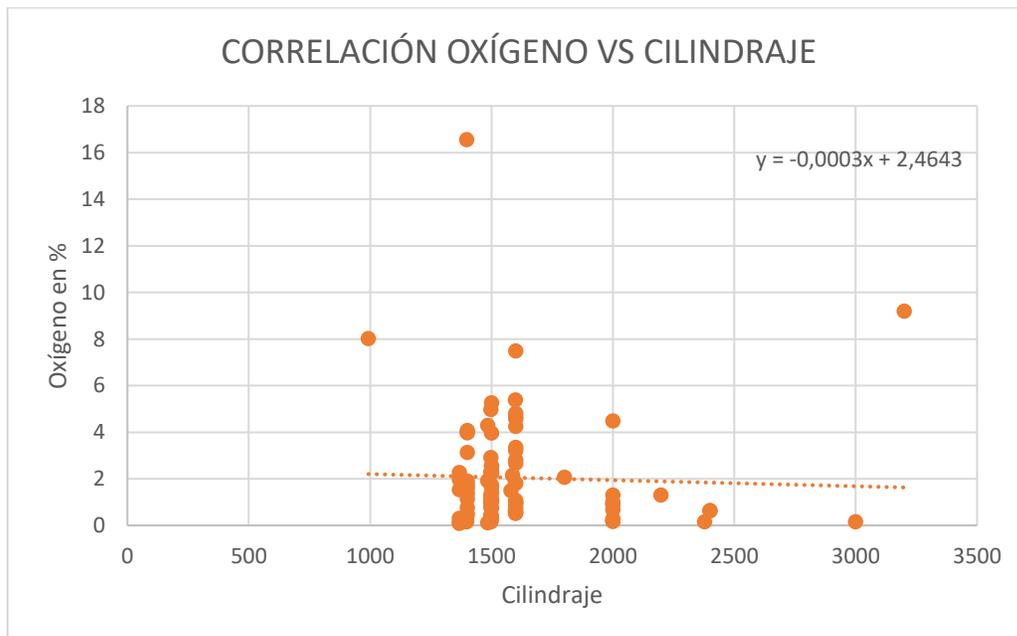


Figura 29 Correlación del oxígeno en estado aceleración vs cilindraje

La figura 27 y 28 muestra el estado ralenti y en estado de aceleración de los vehículos en estudio. La primera detalla la emisión del oxígeno observándose una concentración por encima del 2% del mismo (límite permitido), al acelerar el vehículo, la concentración del oxígeno mantiene la concentración que está por encima del límite permitido.

Las ecuaciones presentadas de $y = 0.00009x + 2.029$ y $y = -0.0003x + 2.4643$ muestran su valor de intersección en 2.029 y 2.46 indicando el promedio de emisión de monóxido de carbono. El valor -0.001 y -0.0005 corresponden a las pendientes de la recta que representan los aumentos del volumen total de todos los cilindros del motor. La emisión de monóxido de carbono disminuye, pero es relativamente insignificante. El monóxido de carbono es un gas nocivo, perjudicial para las personas.

Los vehículos que tengan 990 a 2000 cc tienden a emitir oxígeno, y por consiguiente una mezcla pobre.

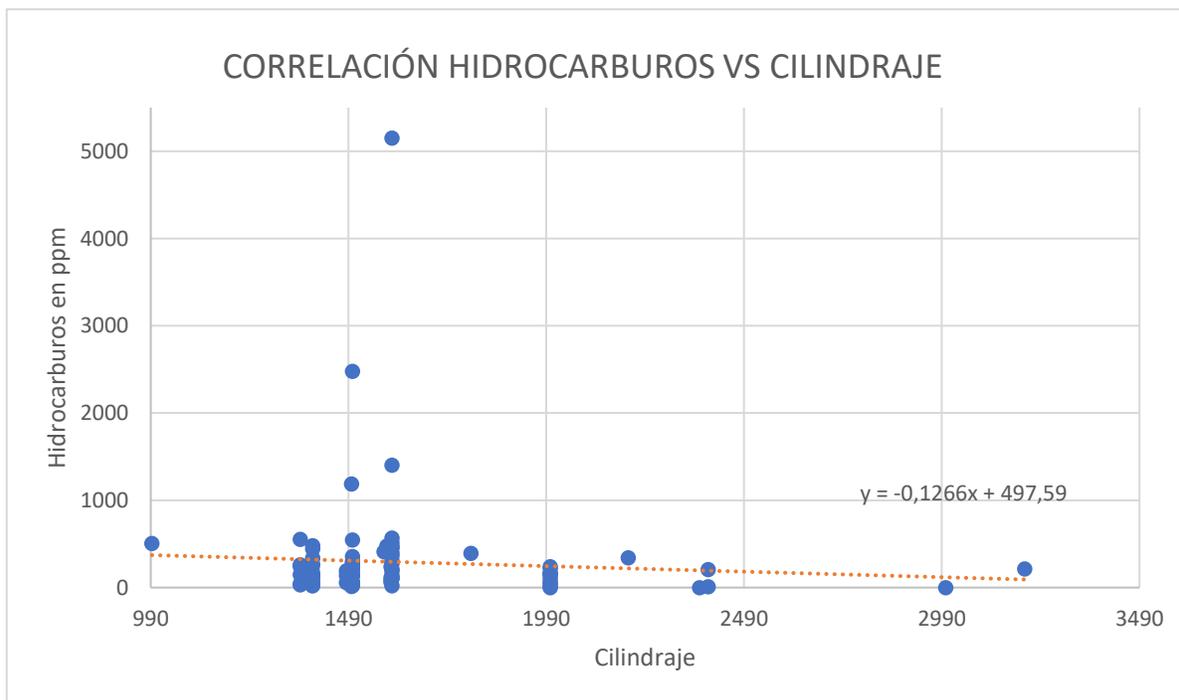


Figura 30 Correlación de los hidrocarburos en estado ralenti vs cilindraje

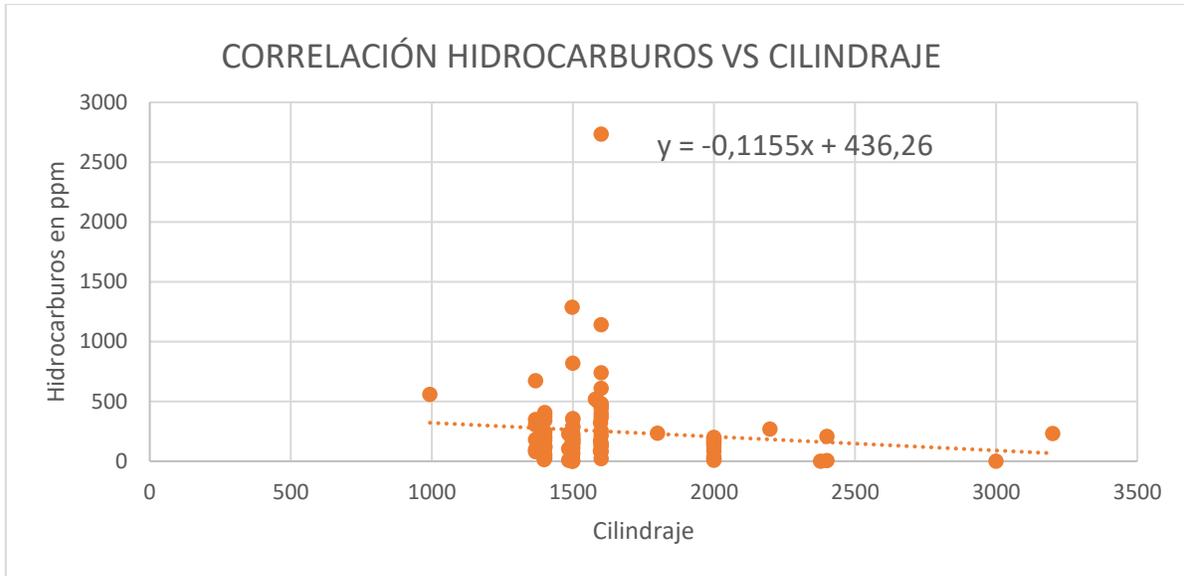


Figura 31 Correlación de los hidrocarburos en estado aceleración vs cilindraje

La figura 29 y 30 señala que para el estado ralentí, la gráfica muestra una línea de tendencia negativa y para aceleración una línea de tendencia negativa. La ecuación presentada de $y = -0.1266x + 497.59$ y $y = -0.1155x + 436.26$ muestra su valor de intersección en 497.56 y 436.26 que indica el promedio de emisión de hidrocarburos; ya que, al ser el límite máximo permitido de 100 a 400 ppm, en estado aceleración sobrepasan este valor. Los vehículos que tengan 1200 a 1500 cc tienden a emitir hidrocarburos.

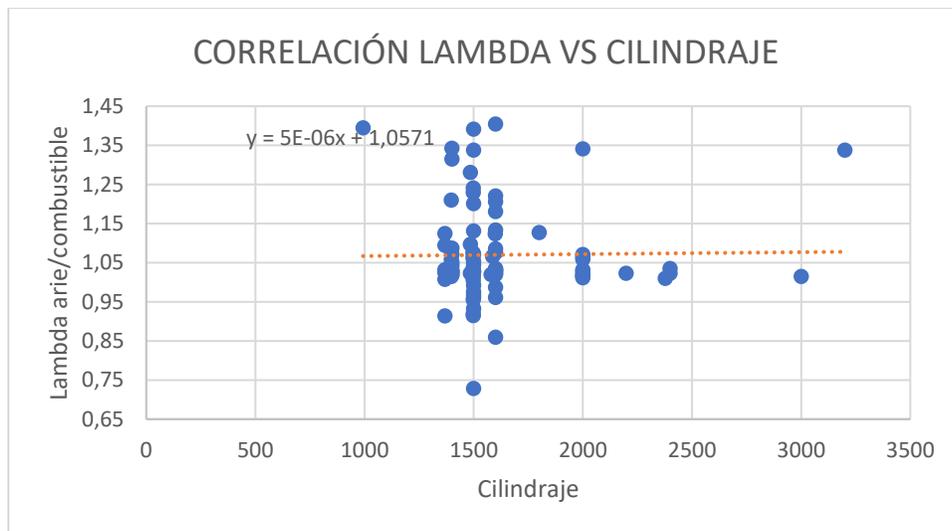


Figura 32 Correlación de lambda en estado ralentí vs cilindraje

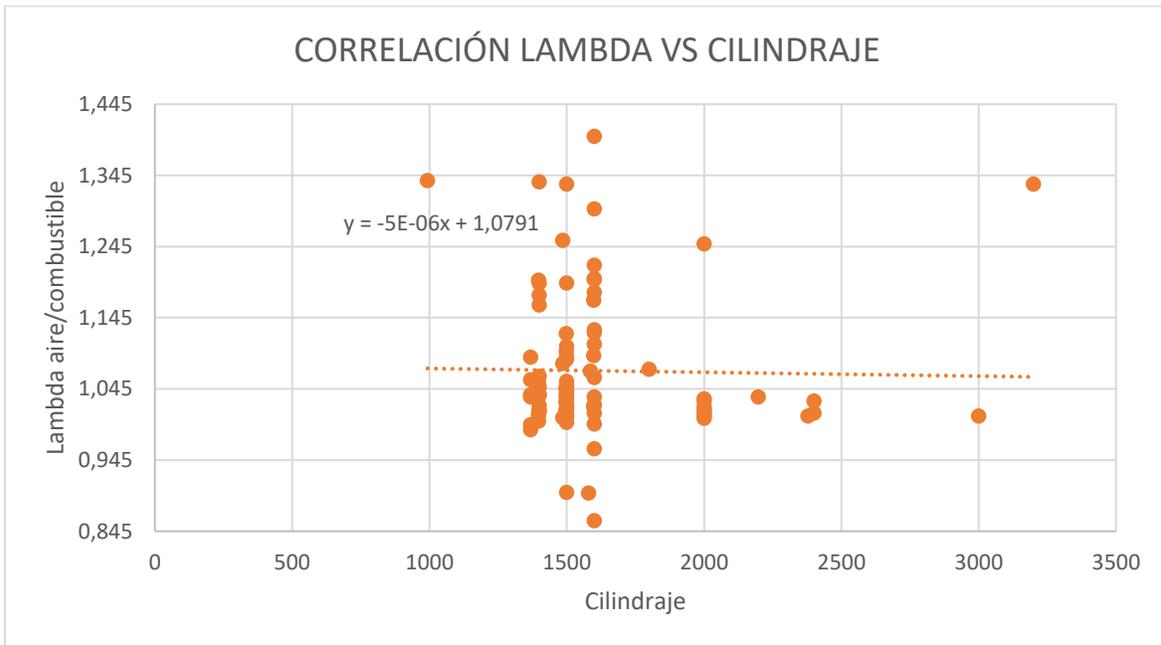


Figura 33 Correlación de lambda en estado aceleración vs cilindraje

4.6 ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES DE COMBUSTIÓN VS AÑO

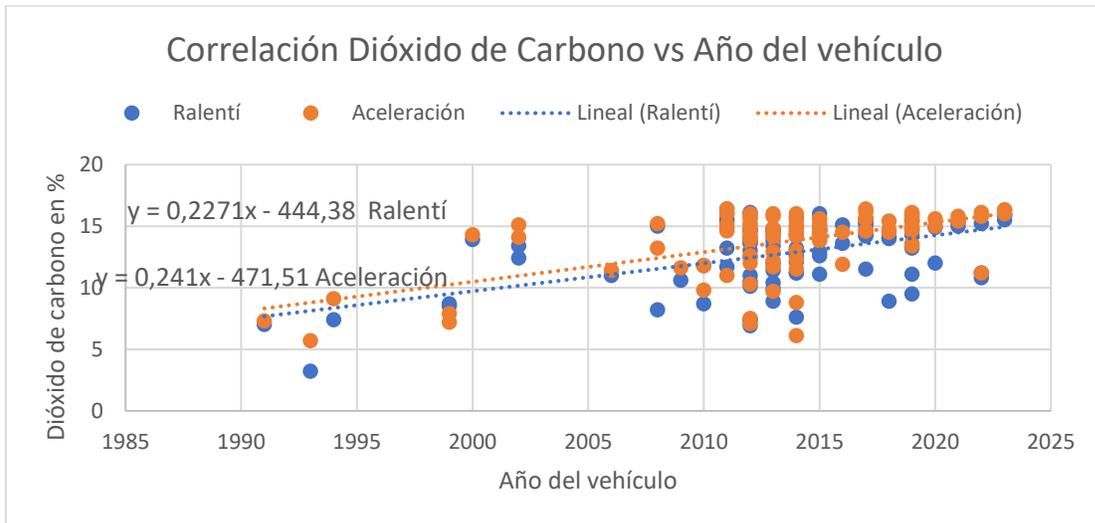


Figura 34 Correlación del dióxido de carbono en estado ralentí y aceleración vs año del vehículo

A pesar de que se muestre una disminución el dióxido de carbono como algo bueno, es todo lo contrario; ya que indicaría una mala combustión aumentando así los niveles de CO, que son perjudiciales para la salud de los seres vivos.

La línea de tendencia es positiva; esto significa que, las emisiones de dióxido de carbono aumentan mientras más actual o nuevo sea el vehículo.

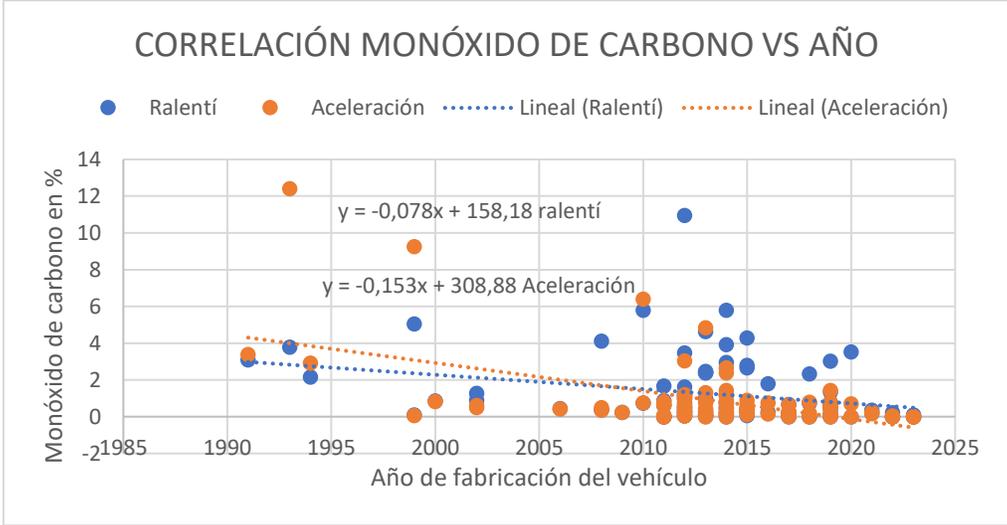


Figura 35 Correlación del monóxido de carbono en estado ralentí y aceleración vs año del vehículo

Al contrario del dióxido de carbono, el CO disminuye a medida que incrementa los años, esto se debe a que su combustión es buena y permite mejores arranques.

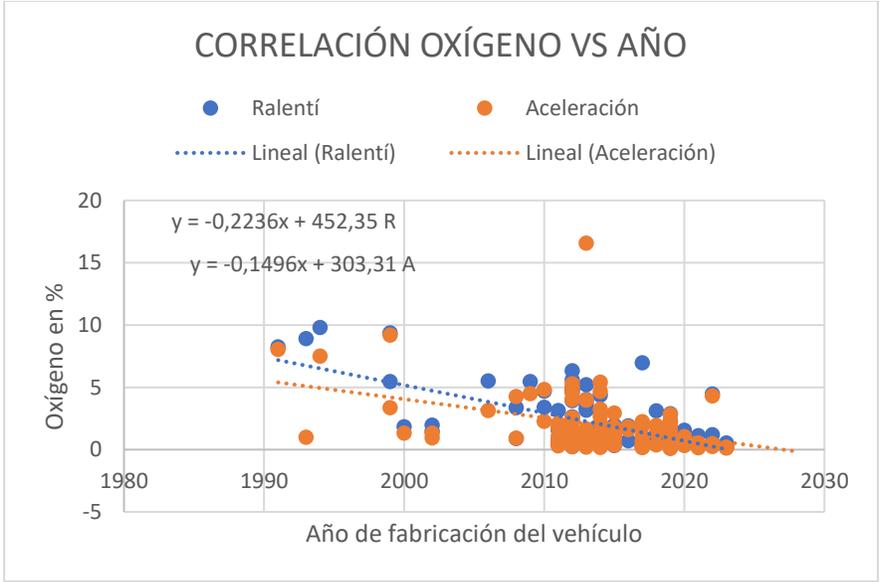


Figura 36 Correlación del oxígeno en estado ralentí y aceleración vs año del vehículo

Los vehículos presentan una línea de tendencia negativa cuando hablamos del oxígeno, la relación aire-combustible permite que haya una proporción de 14,7/1 y esta proporción aumenta a medida que el vehículo es de años anteriores al año 2000. El vehículo deja pasar más oxígeno que el establecido haciendo que su mezcla sea rica.

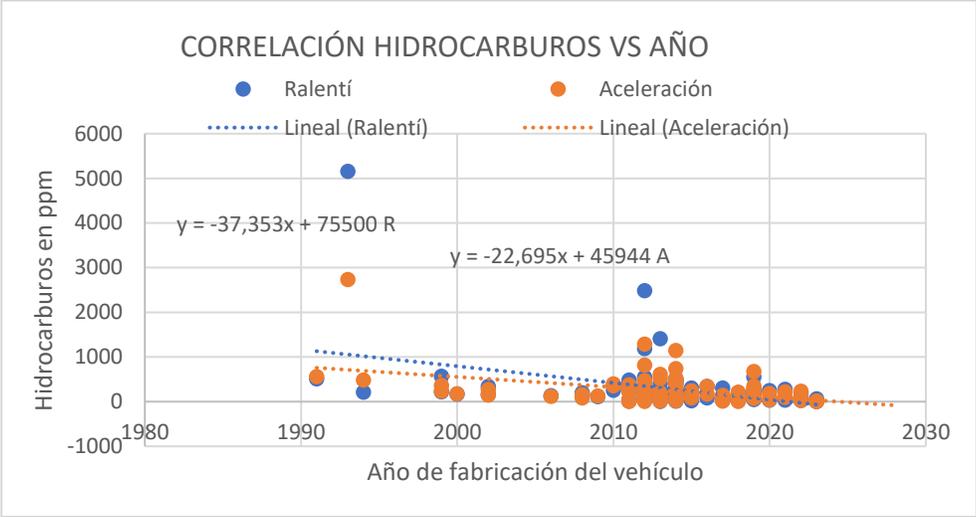


Figura 37 Correlación de los hidrocarburos en estado ralenti y aceleración vs año del vehículo

La línea de tendencia es negativa, debido a que, con el incremento del año de los vehículos, los hidrocarburos no quemados (HC) disminuyen, esto en gran parte se debe a que los propietarios no hacen los correctos mantenimientos.

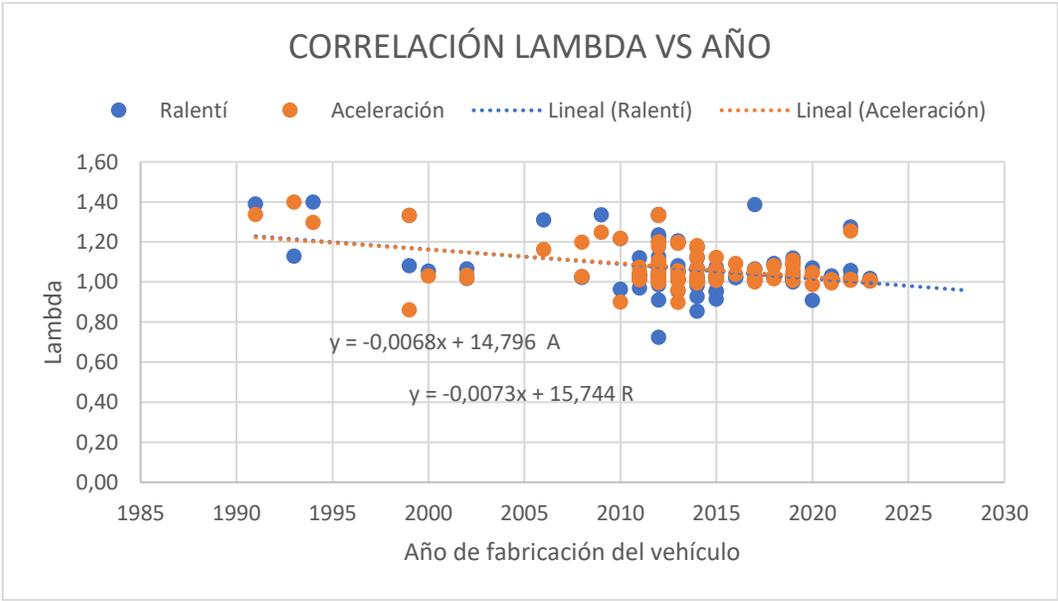


Figura 38 Correlación de lambda en estado ralenti y aceleración vs año del vehículo

La relación de lambda se va acercando a 1 a medida que los vehículos son más actuales. Vale la pena señalar que la edad, el tipo y el estado de los vehículos en un área determinada pueden tener un impacto significativo en la calidad del aire y la salud pública. Los vehículos más viejos y aquellos que no están bien mantenidos pueden emitir niveles más altos de contaminantes, lo que puede contribuir a la mala calidad del aire y a los problemas de salud de los residentes.

4.6.1 ANÁLISIS DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DEL AÑO 1990 A 2006

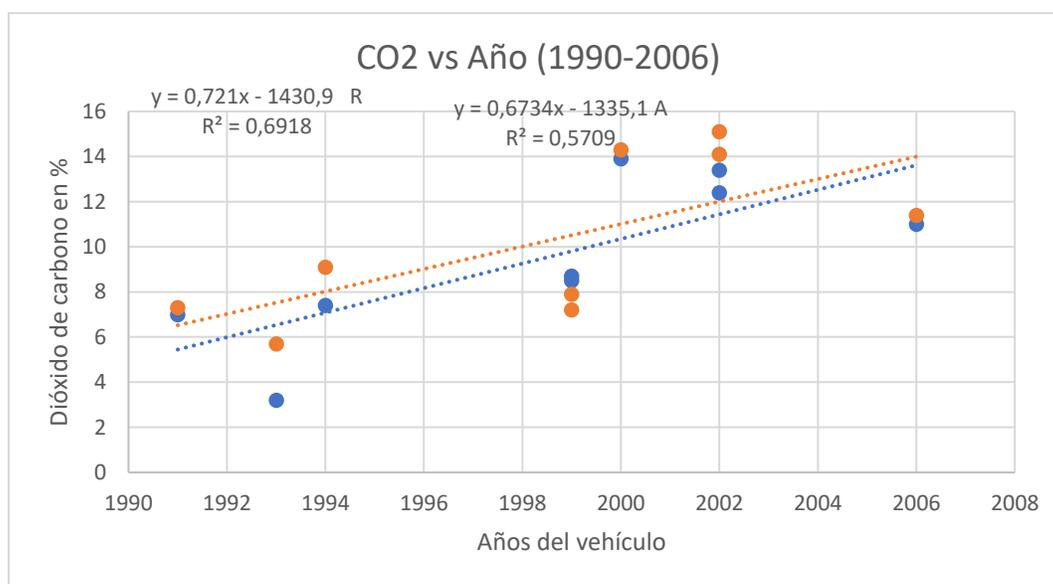


Figura 39 Correlación de Dióxido de carbono entre los años 1990 a 2006

De los vehículos, solo 3 cumplen con los límites permitidos del 12 al 15%, mientras que los otros se encuentran por debajo, provocando un incremento de gases contaminantes y nocivos para la salud y el medio ambiente

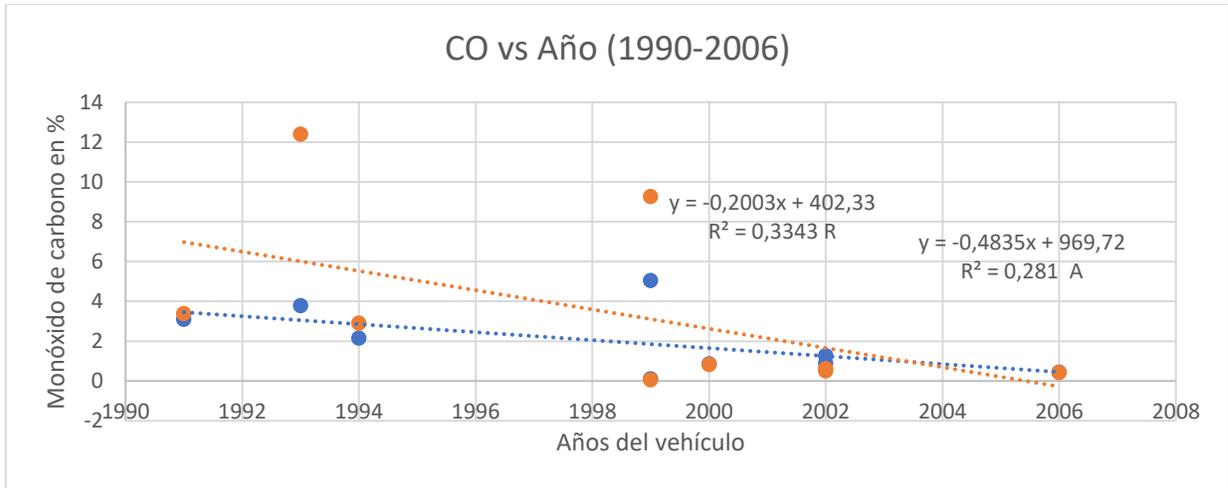


Figura 40 Correlación de monóxido de carbono entre los años 1990 a 2006

En la gráfica se observa que todos los vehículos con modelos que comprenden el período 1990-2006 sólo 5 de ellos, en estado ralenti y aceleración, están dentro del rango normal o sea por debajo del 2%. Esto implica que más del 60% de los vehículos, en este rango, emiten CO contribuyendo con la mala calidad de aire.

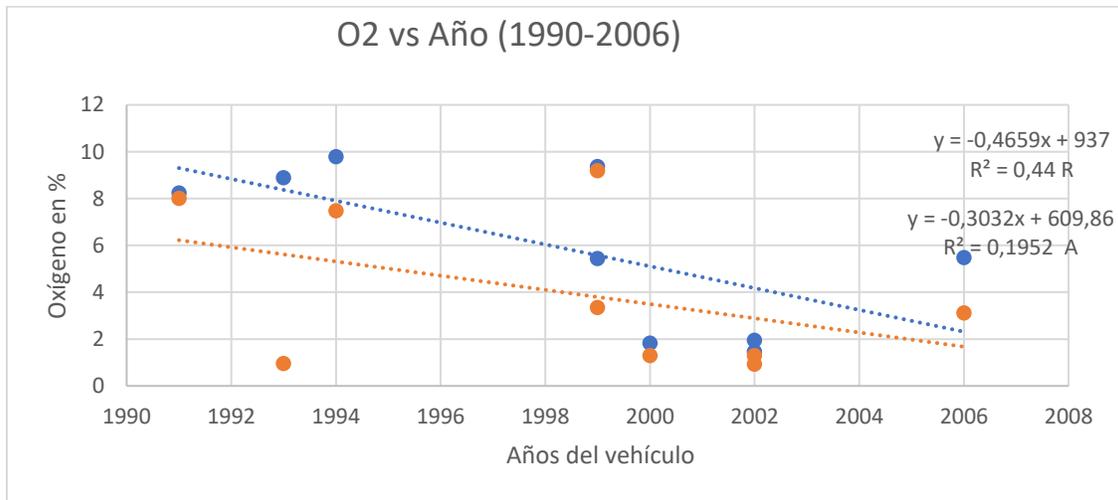


Figura 41 Correlación de Oxígeno entre los años 1990 a 2006

De todos los modelos de los vehículos en estudio, en el período 1990-2006, solo 3 de ellos en estado ralenti y 4 en estado de aceleración, están dentro del rango normal o sea menor que el 2%.

El oxígeno es un gas indispensable para la combustión y no es considerado un contaminante, pero es necesario para conocer si la mezcla es rica o pobre, ya que el oxígeno no puede oxidar todos los enlaces de hidrocarburos y es expulsado con los restos de los gases de escape.

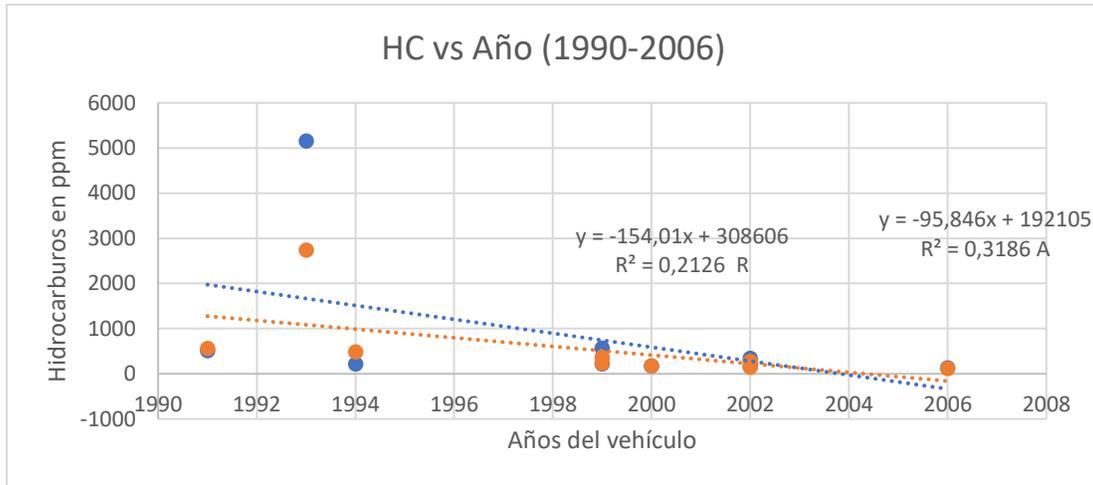


Figura 42 Correlación de Hidrocarburos entre los años 1990 a 2006

De todos los vehículos que comprenden el rango de modelos entre los años 1990-2006, en estado ralentí y estado de aceleración, la mayoría están dentro del rango normal de 100 a 400 ppm.

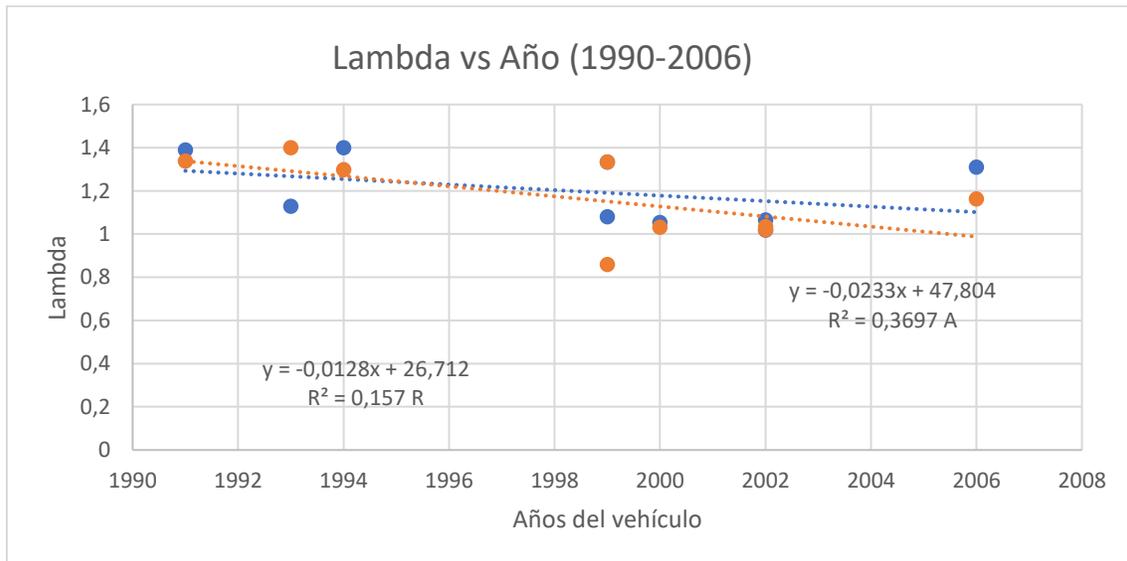


Figura 43 Correlación de Lambda entre los años 1990 a 2006

En la figura 43, se presenta una lambda mayor a 1,2 para los vehículos de modelos anteriores al año 1995 y tiende a disminuir a medida que la edad del vehículo es menor.

4.6.2 ANÁLISIS DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DEL AÑO 2007 Y POSTERIORES

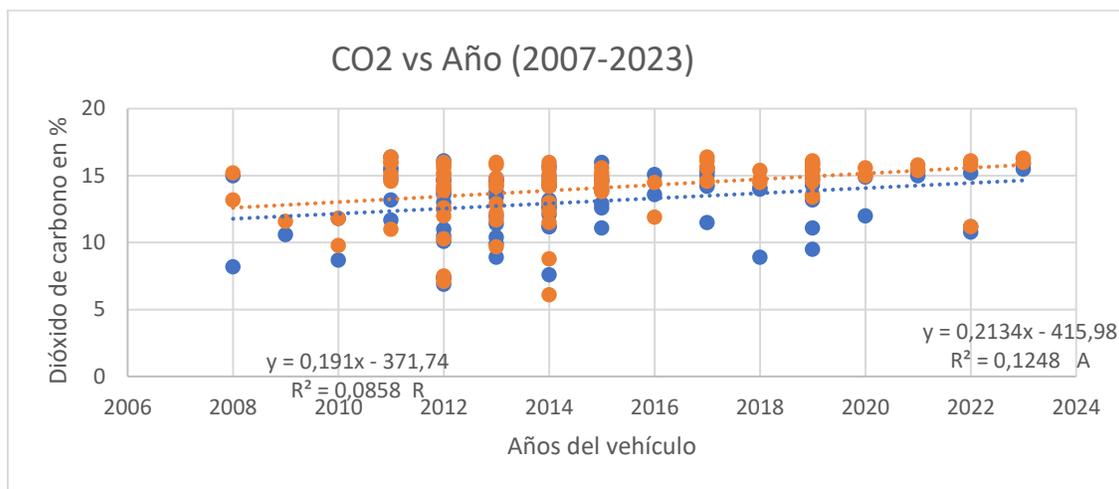


Figura 44 Correlación de Dióxido de Carbono entre los años 2007 y posteriores

De los vehículos la mayoría cumplen con los límites permitidos del 12 al 15%, mientras que los demás se encuentran por debajo, provocando un incremento de gases contaminantes y nocivos para la salud y el medio ambiente

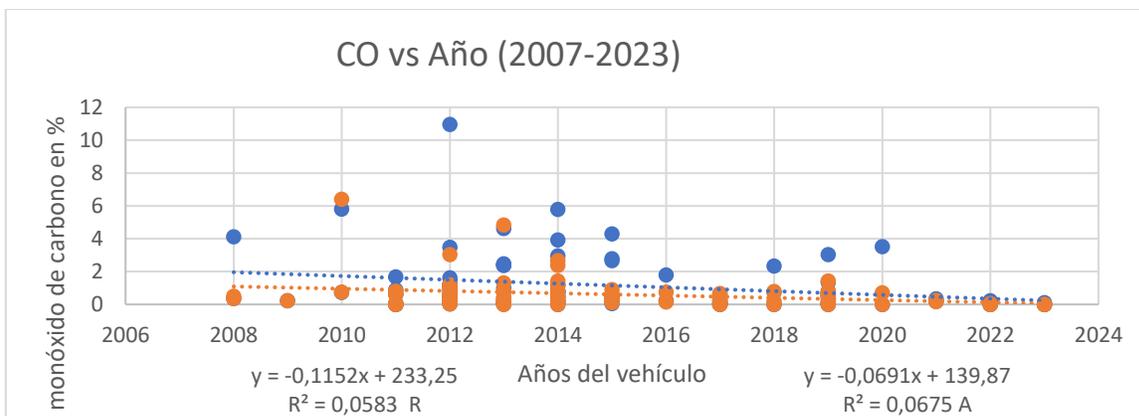


Figura 45 Correlación de monóxido de Carbono entre los años 2007 y posteriores

De los vehículos de modelos que están dentro del rango entre 2007 y posteriores, en estado ralenti, la mayoría se encuentran por encima del 2% de emisión de CO, mientras que para la aceleración están dentro del rango normal.

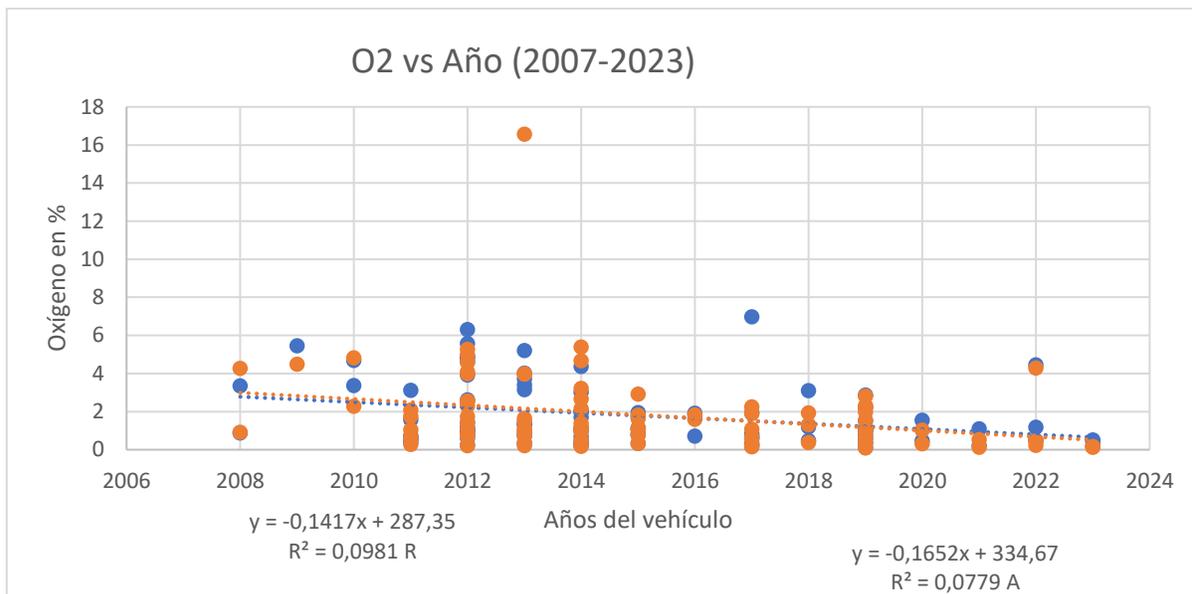


Figura 46 Correlación de oxígeno entre los años 2007 y posteriores

Los modelos de vehículos que comprendidos en el rango entre 2007 al 2023, la mayoría que se encuentran en estado ralenti y 2500 rpm de aceleración, están dentro del rango normal o sea inferior al 2%.

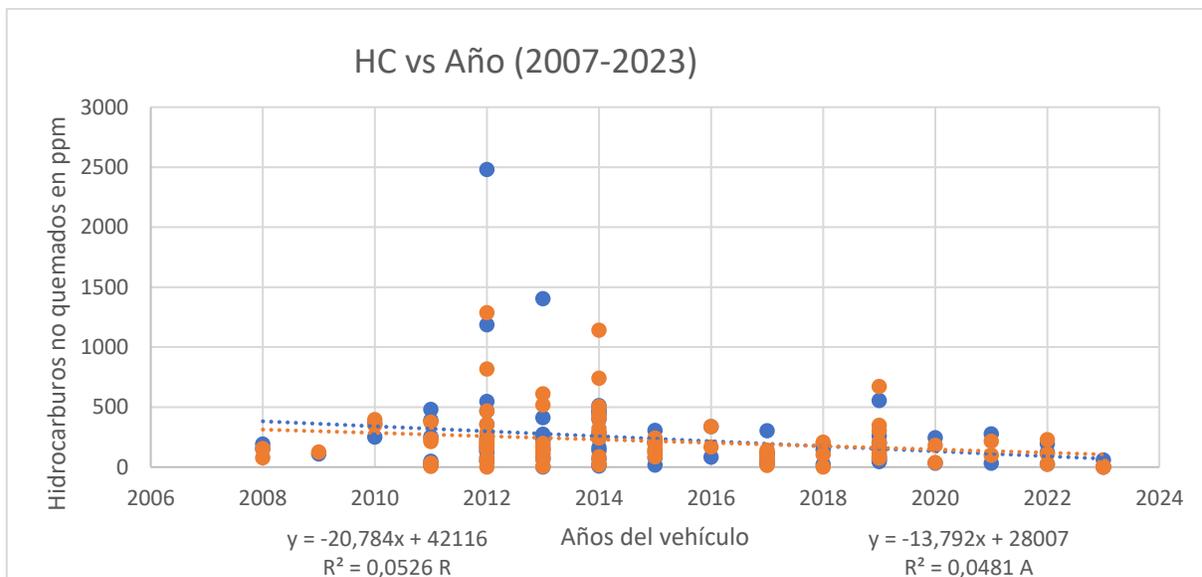


Figura 47 Correlación de Hidrocarburos entre los años 2007 y posteriores

La mayoría de los vehículos de modelos que comprenden el rango entre 2007-2023, en estado ralenti y estado de aceleración, están dentro del rango normal, por debajo de 400 ppm, pero con la diferencia que para vehículos del período 2012 a 2014 y los del año 2019 no cumplen con la norma establecida.

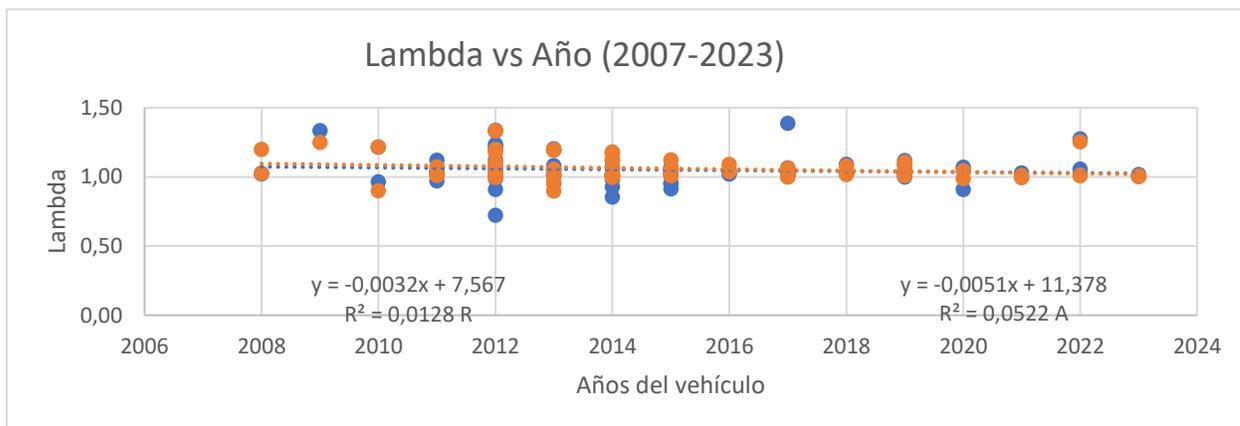


Figura 48 Correlación de Lambda entre los años 2007 y posteriores

En la figura 48, observamos que se presenta una lambda mayor que 1,2 para los vehículos con modelos posteriores al año 2007 y tiende a disminuir, hasta acercarse a 1, a medida que la edad del vehículo es más reciente. Sin embargo, se puede observar una lambda menor a 1 en los vehículos de los años 2010 a 2015.

4.7 ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES DE COMBUSTIÓN VS MARCA DEL VEHÍCULO

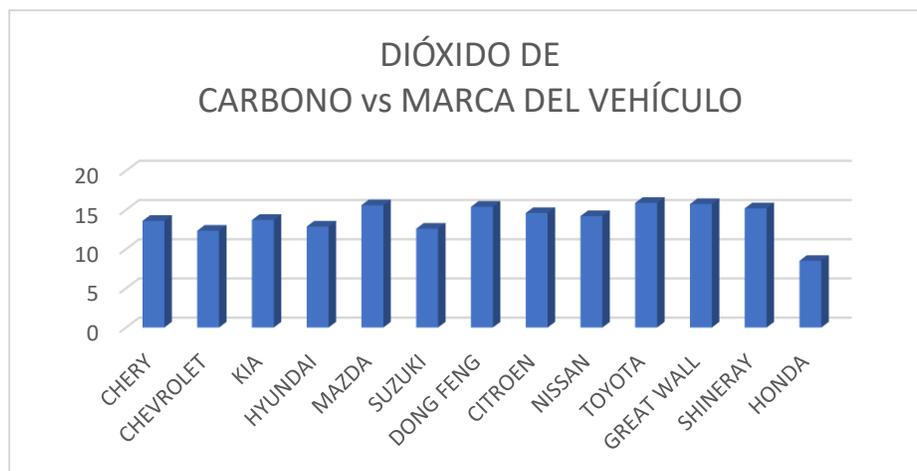


Figura 49 Correlación del dióxido de carbono en estado ralenti vs marca del vehículo

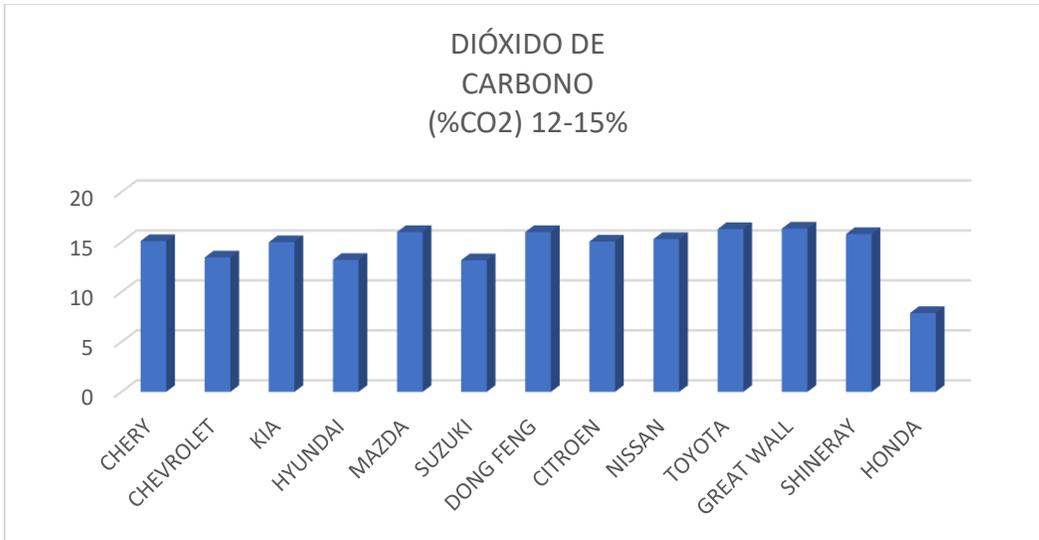


Figura 50 Correlación del dióxido de carbono en estado aceleración vs marca del vehículo

En las figuras 49 y 50 se describe como la correlación del dióxido de carbono vs marca del vehículo; las marcas que más emisión de dióxido de carbono son: Toyota con un 15.9 en estado ralenti y 16,3 en estado aceleración; Great Wall con un 15.75 y 16.36; Mazda con un 15,6 y 16.

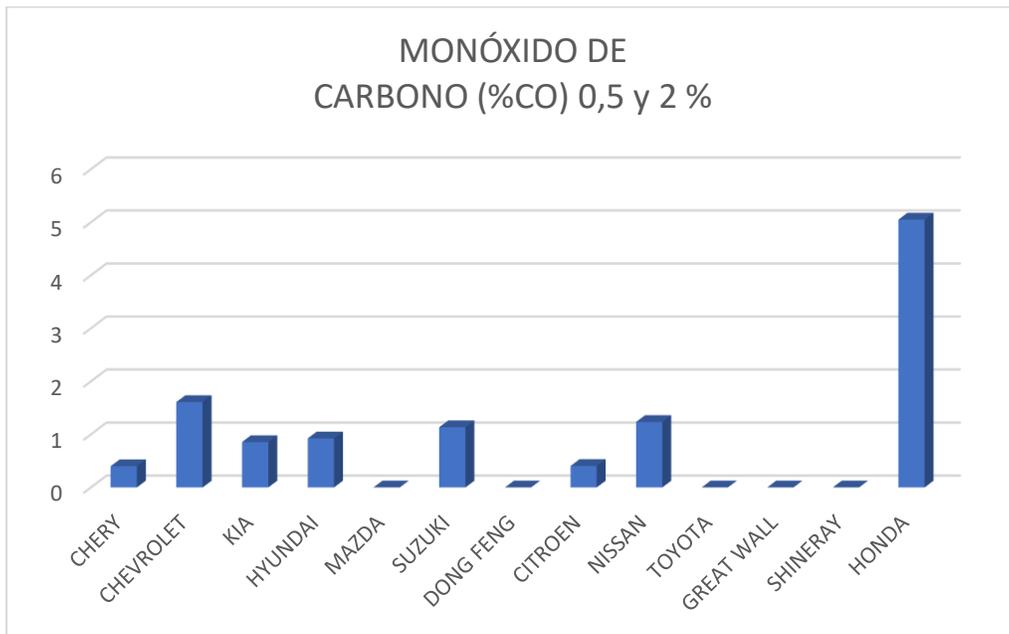


Figura 51 Correlación del monóxido de carbono en estado ralenti vs marca del vehículo

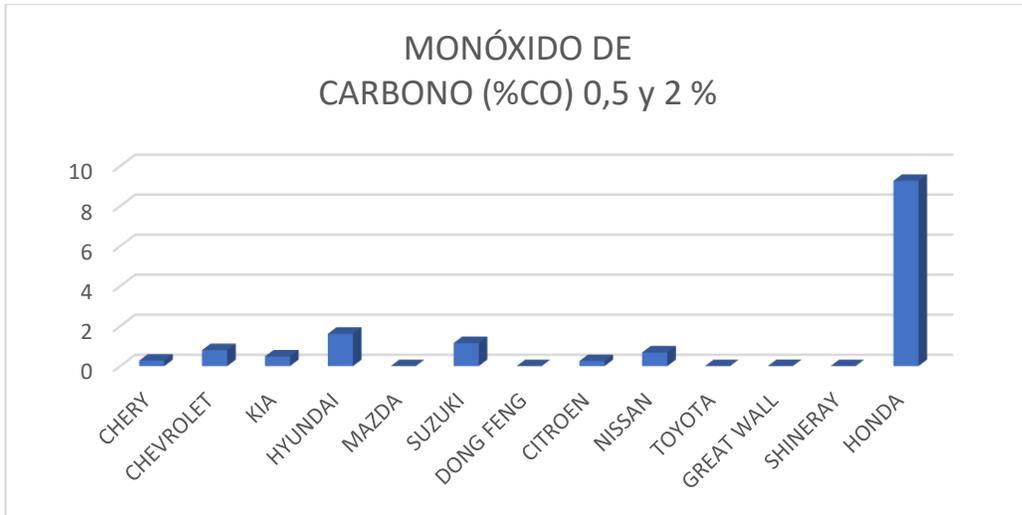


Figura 52 *Correlación del monóxido de carbono en estado aceleración vs marca del vehículo*
 En las figuras 51 y 52 se describe como la correlación del monóxido de carbono vs marca del vehículo; las marcas que más emisión de monóxido de carbono son: Honda con 5.05 en estado ralenti y 9.26 en estado aceleración; seguido de la marca Chevrolet con 1.61 y 0.79 y por último Suzuki con 1.135 y 1.15.

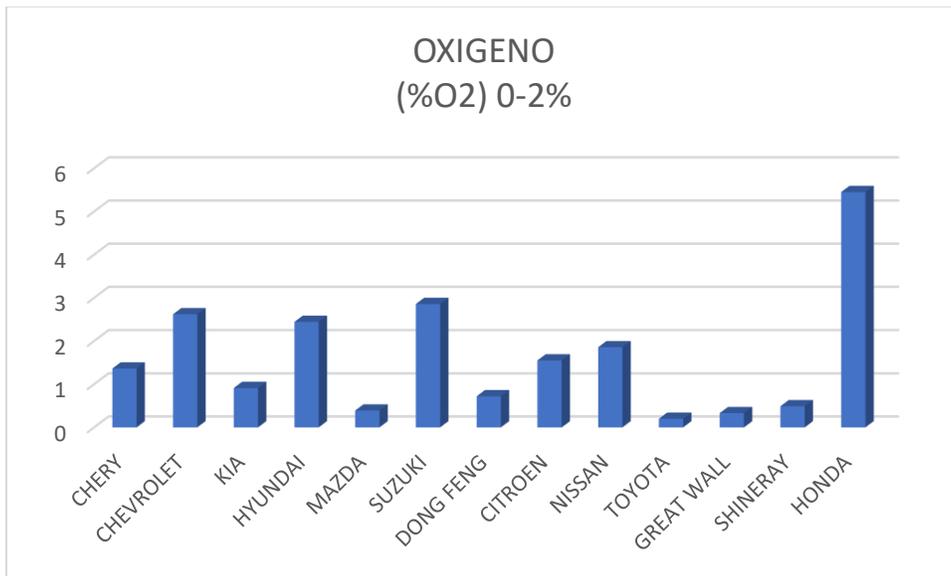


Figura 53 *Correlación del oxígeno en estado ralenti vs marca del vehículo*

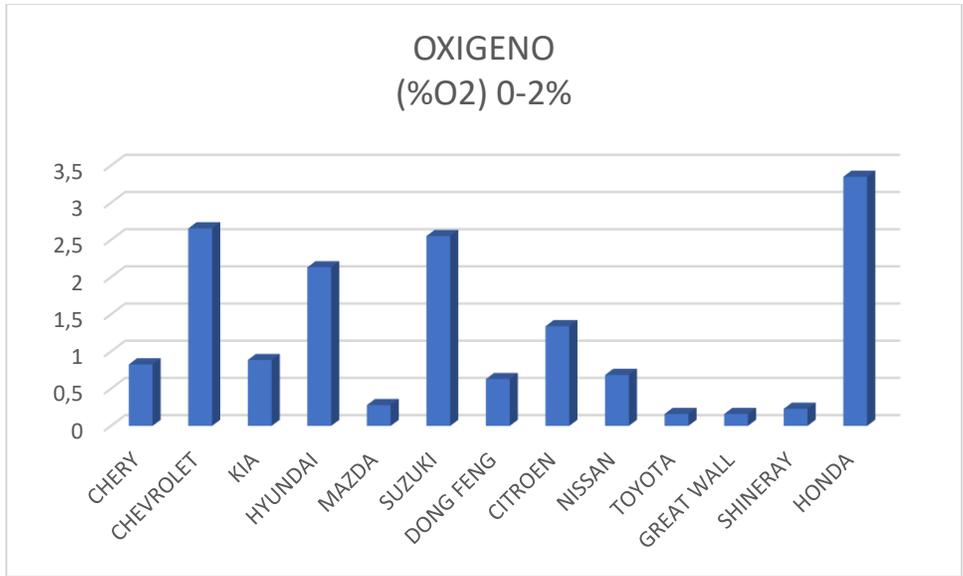


Figura 54 Correlación del oxígeno en estado aceleración vs marca del vehículo

En las figuras 53 y 54 se describe como la correlación del oxígeno vs marca del vehículo; las marcas que más emisión de oxígeno son: Honda en 5.45 estado ralenti y 3.35 en estado aceleración; Chevrolet con un 2.62 y 2.65; Suzuki con un 2.85 y 2.55.

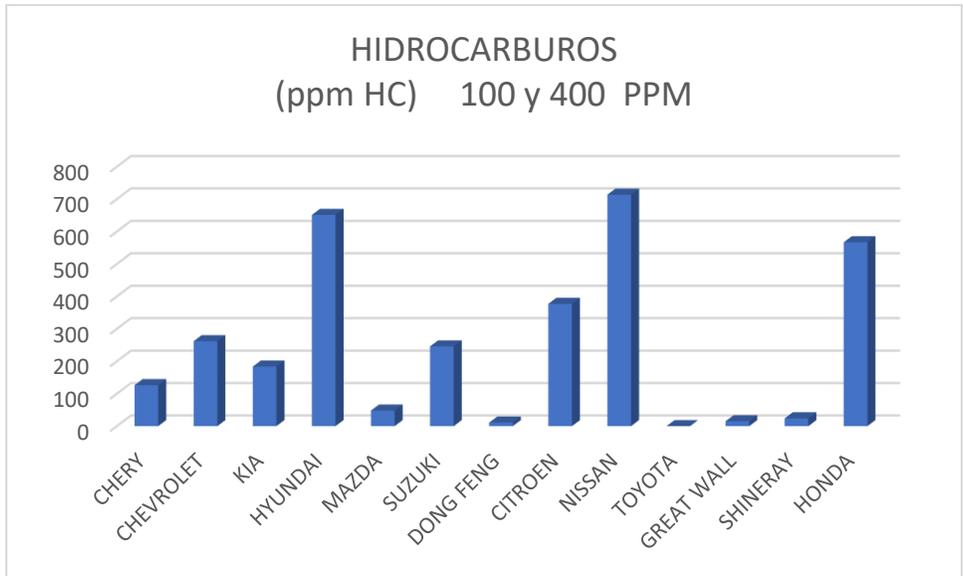


Figura 55 Correlación del hidrocarburo en estado ralenti vs marca del vehículo

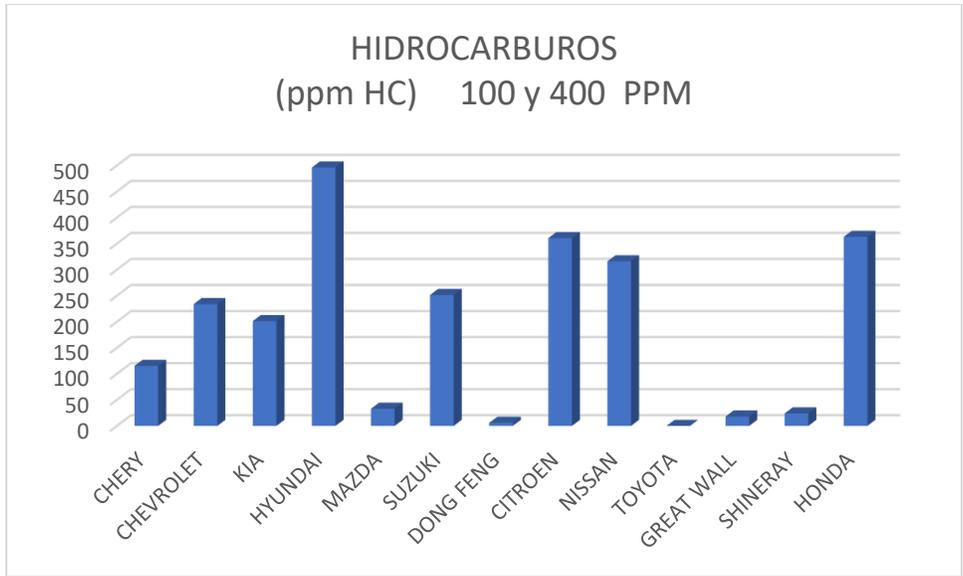


Figura 56 Correlación del hidrocarburo en estado aceleración vs marca del vehículo

En las figuras 55 y 56 se describe como la correlación del Hidrocarburos vs marca del vehículo; las marcas que más emisión de Hidrocarburos son: Hyundai con un 651 en estado ralenti y 496 en estado aceleración; Nissan con un 713 y 316; Honda con un 567 y 363.

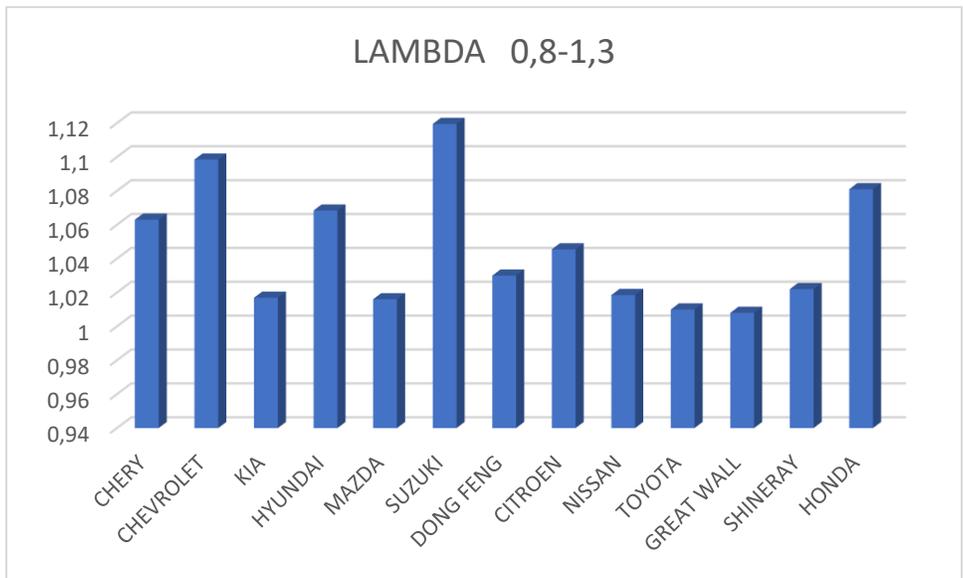


Figura 57 Correlación de lambda en estado ralenti vs marca del vehículo

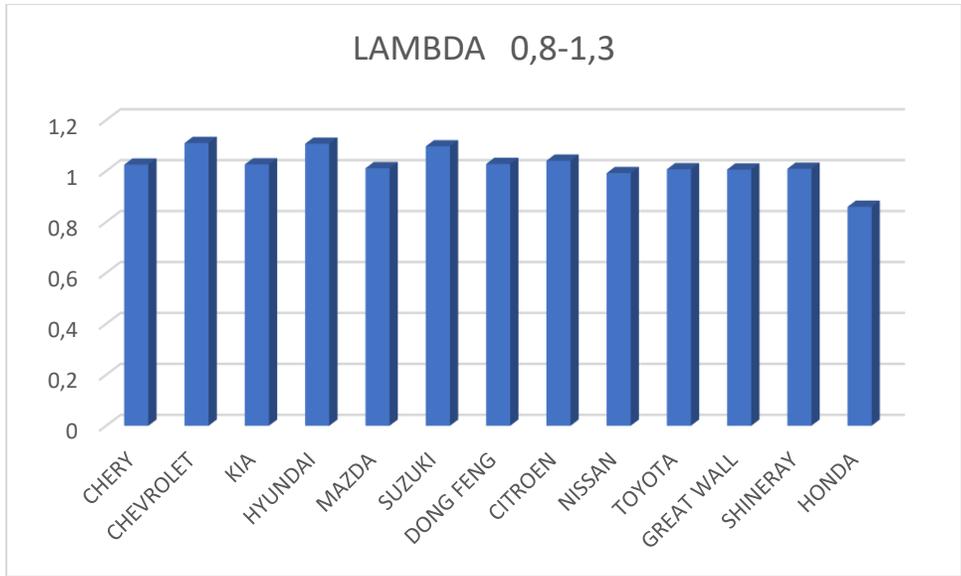


Figura 58 Correlación de lambda en estado aceleración vs marca del vehículo

En las figuras 57 y 58 se describe como la correlación de lambda vs marca del vehículo; este presenta un porcentaje mayor a 1 en estado ralenti y al acelerar se acerca a 1. Cabe recalcar que el valor más alto de lambda es Suzuki 1.195 en estado ralenti y 1.097 en estado aceleración y el valor más bajo es la marca es Honda con 1.081 y 0.86.

4.8 ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES DE COMBUSTIÓN VS KILOMETRAJE

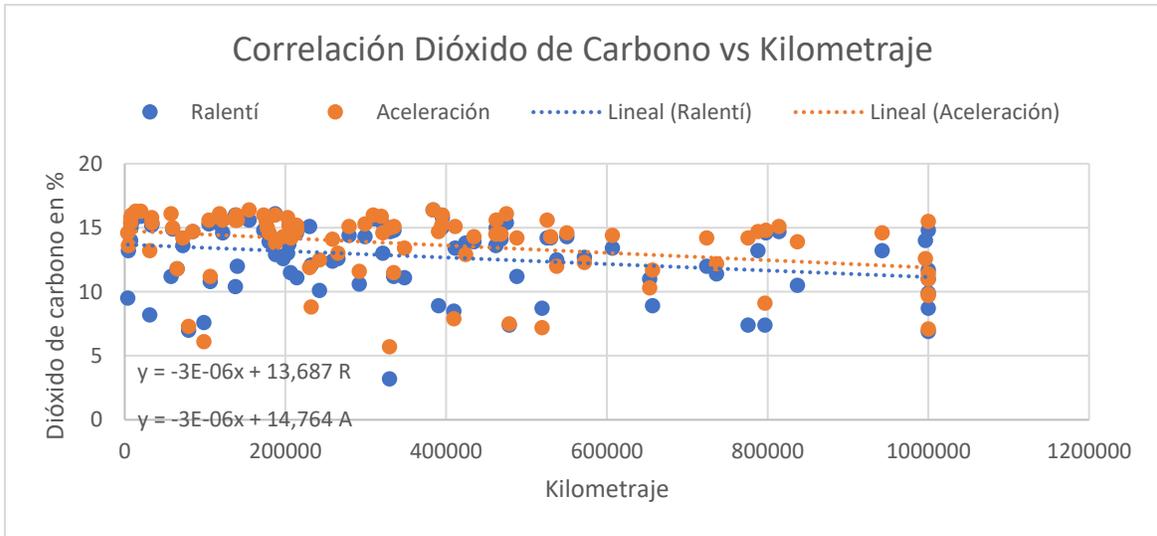


Figura 59 Correlación del dióxido de carbono en estado ralenti y aceleración vs kilometraje

En la figura 59, la línea de tendencia en cambio es negativa cuando hablamos del dióxido de carbono con respecto al kilometraje, a medida que aumenta el kilometraje, el dióxido de carbono disminuye y aumenta el monóxido de carbono.

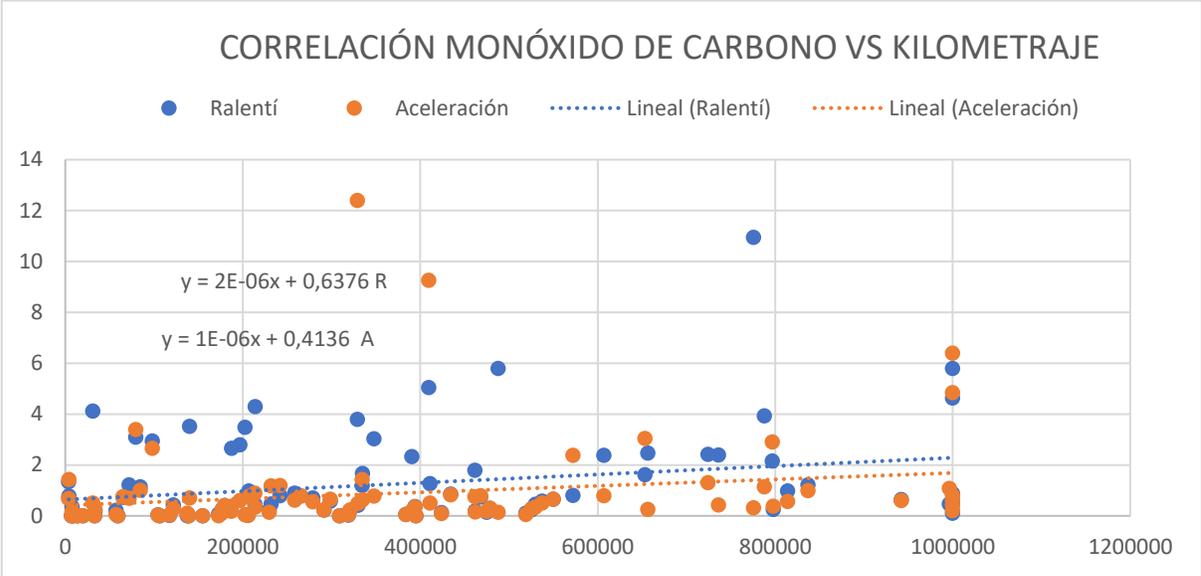


Figura 60 Correlación del monóxido de carbono en estado ralentí y aceleración vs kilometraje

Como se menciona anteriormente; el monóxido de carbono aumenta con respecto al aumento del kilometraje del vehículo, mientras que el dióxido de carbono disminuye; esto se debe al estrés del motor que produce los diferentes ciclos de conducción diario y el deterioro de este.

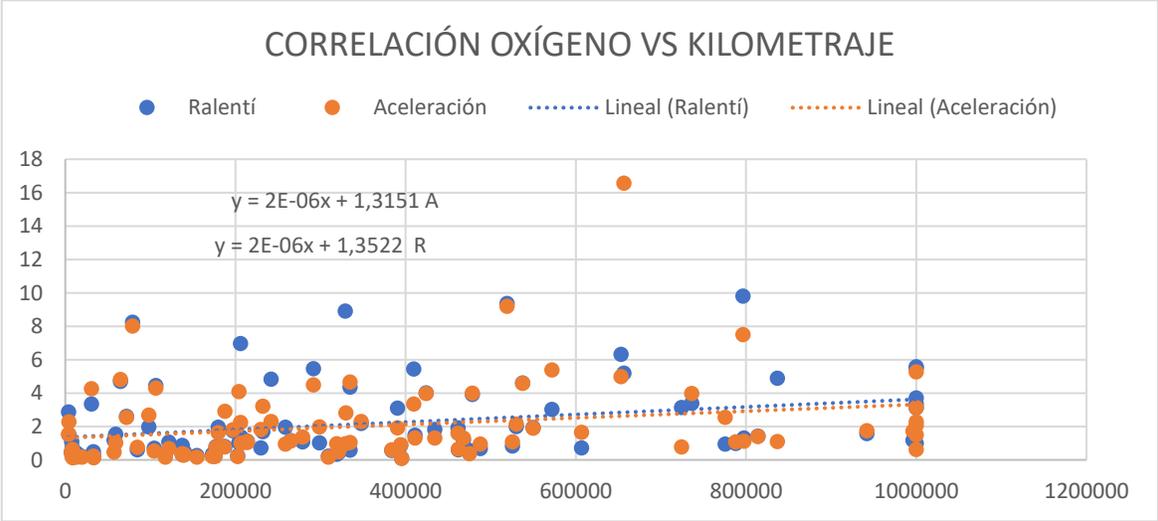


Figura 61 Correlación del oxígeno en estado ralentí y aceleración vs kilometraje

En esta figura comprende la correlación oxígeno vs kilometraje donde muestra que los puntos se concentran mayormente para kilometrajes menores a 500000 km, y sobrepasan el 2 % permitido cuando aumenta su kilometraje

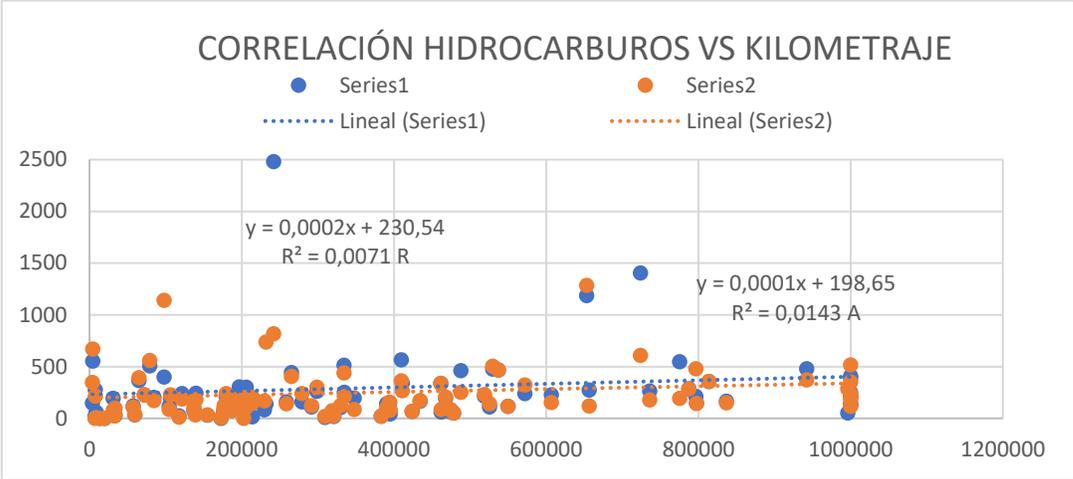


Figura 62 Correlación del oxígeno en estado ralenti y aceleración vs kilometraje

La gráfica muestra que los hidrocarburos no quemados no varían con el kilometraje ya que se encuentran dentro de los 400 ppm que es el límite permitido según las normas aplicadas. La línea de tendencia es positiva y su pendiente concluye que los valores son bajos.

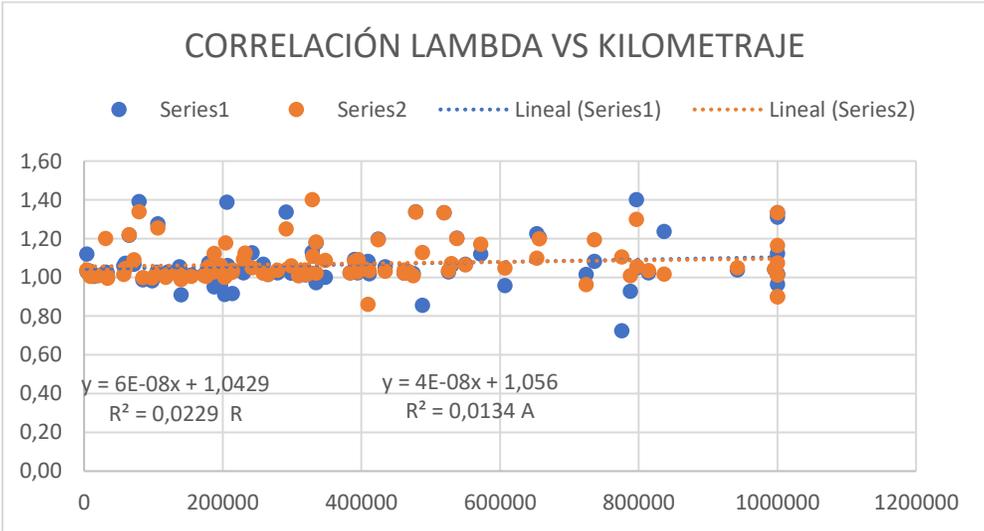


Figura 63 Correlación de lambda en estado ralenti y aceleración vs kilometraje

las ecuaciones de la gráfica describen que el promedio de lambda para estado ralenti es de 1,04 y para aceleración es de 1,05; ambos valores son cercanos a 1 lo que se puede concluir que la mayoría se encuentra con una combustión buena.

4.9 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMISIÓN GENERADA POR VEHÍCULOS A GASOLINA

4.9.1 Límites permisibles de CO_2

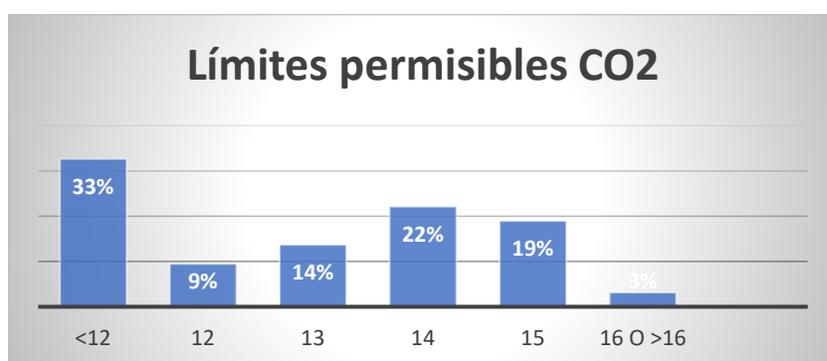


Figura 64 Diagrama de límites permisibles de CO_2 en estado ralenti

En la figura 64 se muestra que en estado ralenti hay un porcentaje considerable de vehículos que están por debajo del límites mínimos permisibles 12%, esto significa que el monóxido de carbono, aumente provocando que la calidad de aire disminuya en la población de la provincia de Santa Elena. Del total de los 95 vehículos que son la muestra calculada, 58 vehículos se encuentran dentro de los límites establecidos en la norma INEN 2 204:2002, donde solo 7 de ellos estan en óptimas condiciones; esto se debe principalmente porque los vehículos son relativamente nuevos.

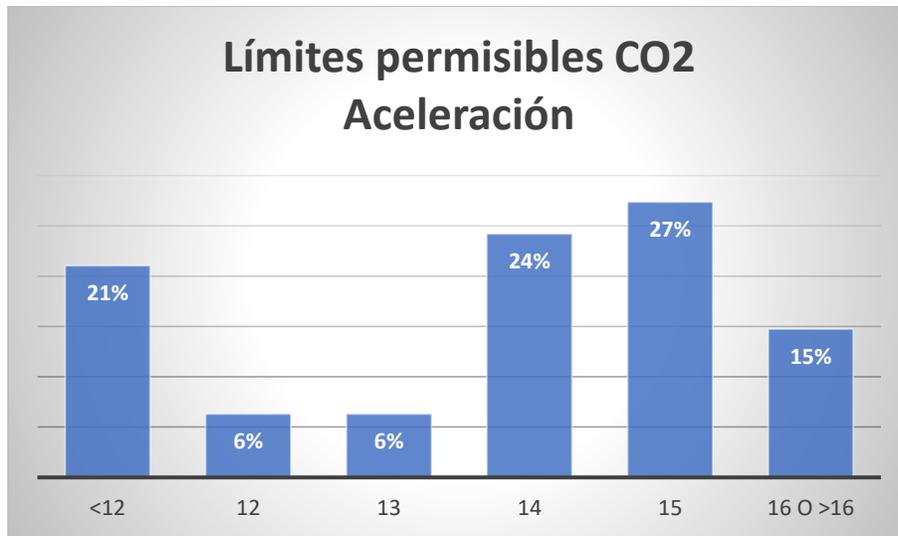


Figura 65 Diagrama de límites permisibles de CO₂ en estado aceleración

Al momento de la aceleración, ciertos factores cambian haciendo que aumente los porcentajes de Dióxido de carbono, y que a su vez la mezcla estequiometrica mejore, donde 69 vehículos estan dentro del rango permitido, y 12 de ellos lleguen a su estado optimo, esto hace que los porcentajes de CO, O₂,HC disminuyan significativamente.

4.9.2 Límites permisibles de CO

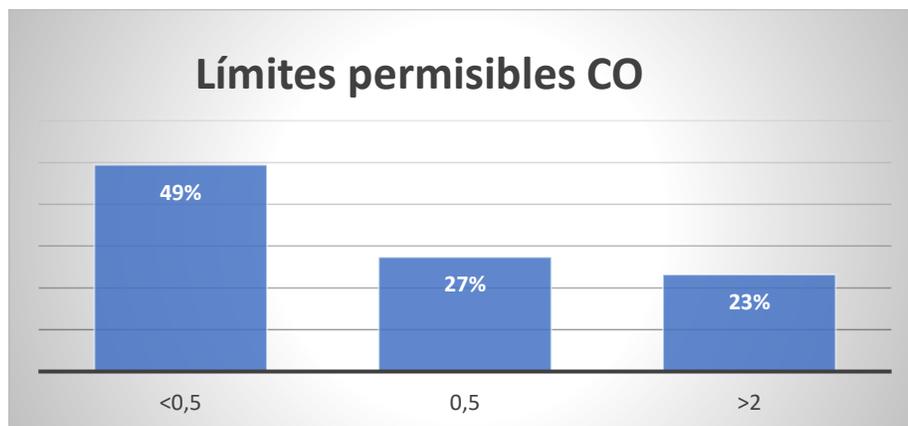


Figura 66 Diagrama de límites permisibles de CO en estado ralenti

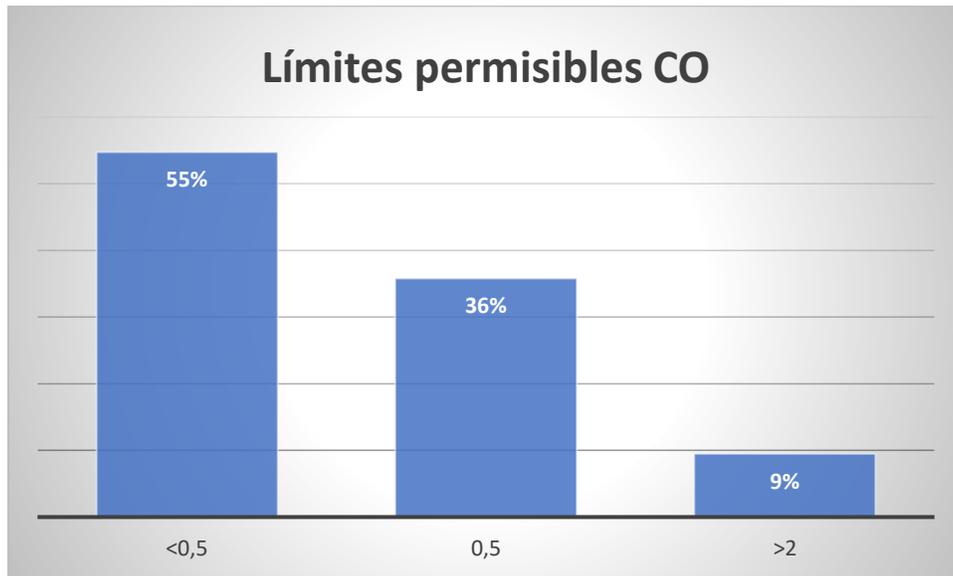


Figura 67 Diagrama de límites permisibles de CO en estado aceleración

De acuerdo con la gráfica N° 66 existe un 49% y 55 % para ralentí y aceleración respectivamente, lo que implica una baja emisión por CO, sin embargo, existe un 23% en estado ralentí que produce CO; lo que implica que cuando el vehículo está encendido, pero estacionado como lo que sucede cuando hay mucho tráfico o simplemente en un semáforo, el vehículo estaría emitiendo este gas en mayor proporción.

4.9.3 Límites permisibles de HC

De acuerdo con la gráfica N° 68 Existe un elevado grado de contaminación por hidrocarburos no quemados considerando que, del total de la muestra, el 1% que corresponde a 3 vehículos están dentro de los límites permisibles, y el 99% que corresponde a 297 vehículos no están en conformidad con lo que se especifica en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2 204:2002

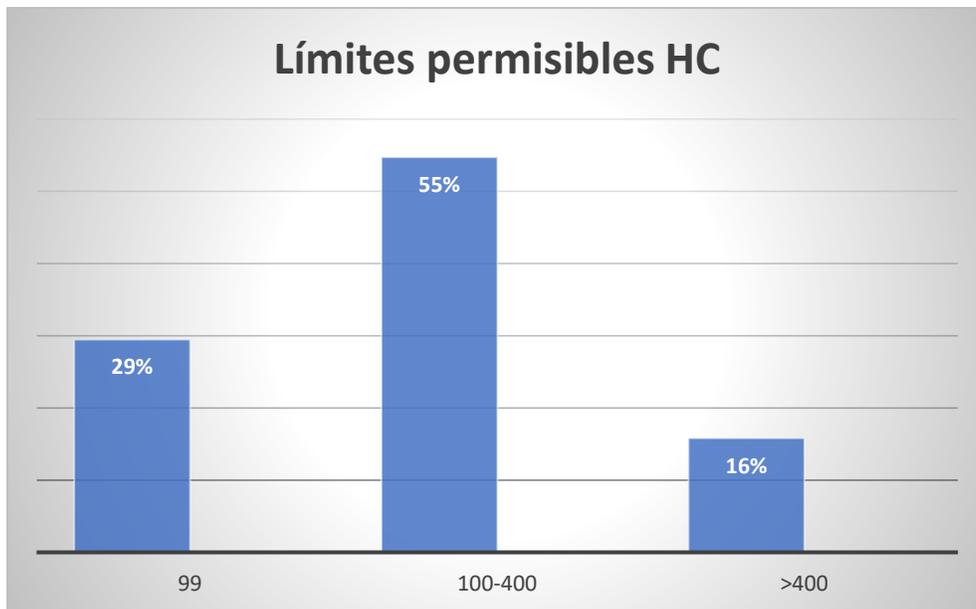


Figura 68 Diagrama de límites permisibles de HC en estado ralenti

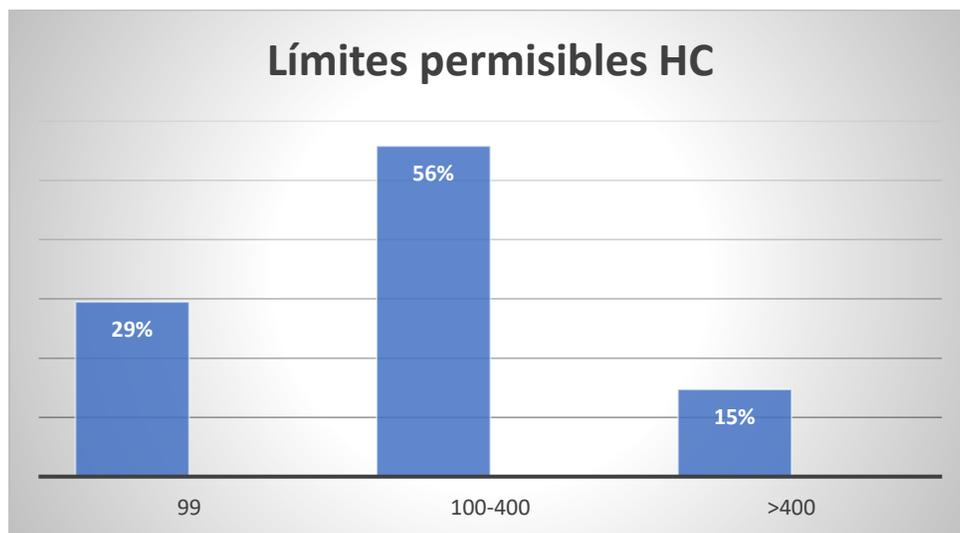


Figura 69 Diagrama de límites permisibles de HC en estado aceleración

En la figura 69 se muestra que en estado ralenti hay un porcentaje considerable de vehículos que están por debajo del límites mínimos permisibles 12%, esto significa que el monóxido de carbono, aumente provocando que la calidad de aire disminuya en la población de la provincia de Santa Elena. Del total de los 95 vehículos que son la muestra calculada, 58 vehículos se encuentran dentro de los límites establecidos en la norma INEN 2 204:2002,

donde solo 7 de ellos estan en óptimas condiciones; esto se debe principalmente porque los vehículos son relativamente nuevos.

4.9.4 Límites permisibles de O_2

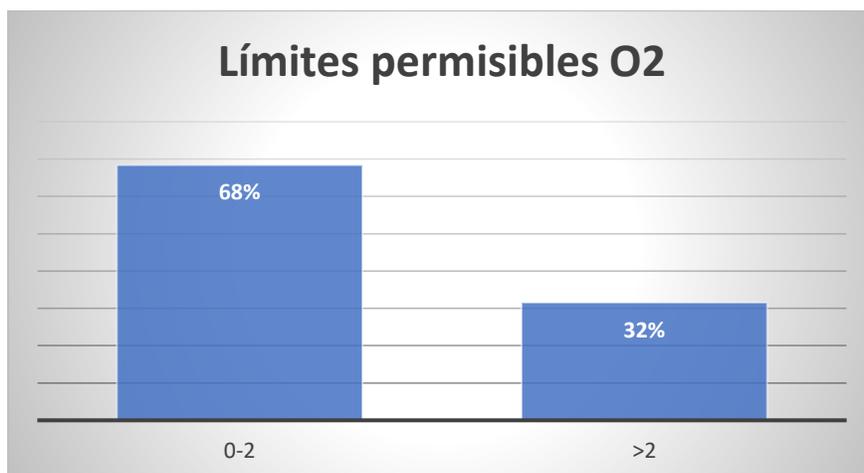


Figura 70 Diagrama de límites permisibles de O_2 en estado ralenti

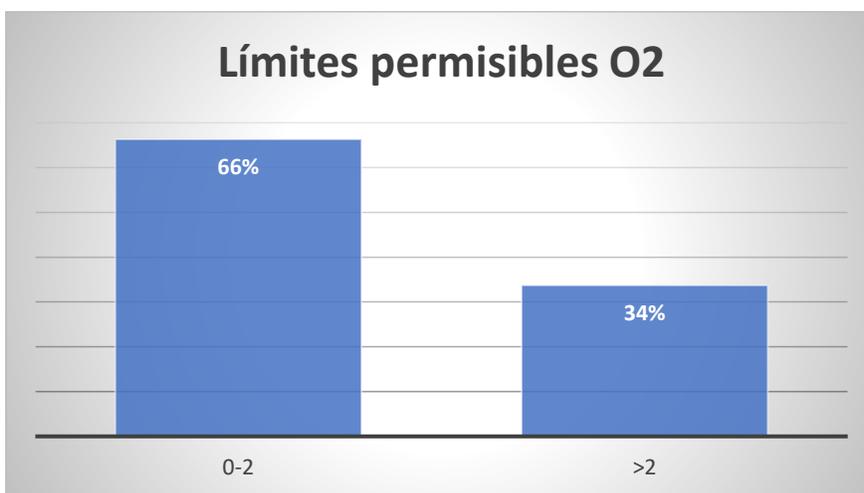


Figura 71 Diagrama de límites permisibles de O_2 en estado aceleración

En la figura 70 y 71 se muestra que en estado ralenti y aceleración; existe un porcentaje considerable de vehículos que están dentro del rango de los límites permisibles que es cerca del 2%; el oxígeno al ser un gas inofensivo y no produce contaminación, se toma en consideración ya que es una parte del resultado de la combustión de los vehículos.

Del total de los 95 vehículos que son la muestra calculada, 65 vehículos se encuentran dentro de los límites establecidos en la norma INEN 2 204:2002. Al acelerar baja a 63 vehículos.

4.7.5 Límites permisibles de LAMBDA

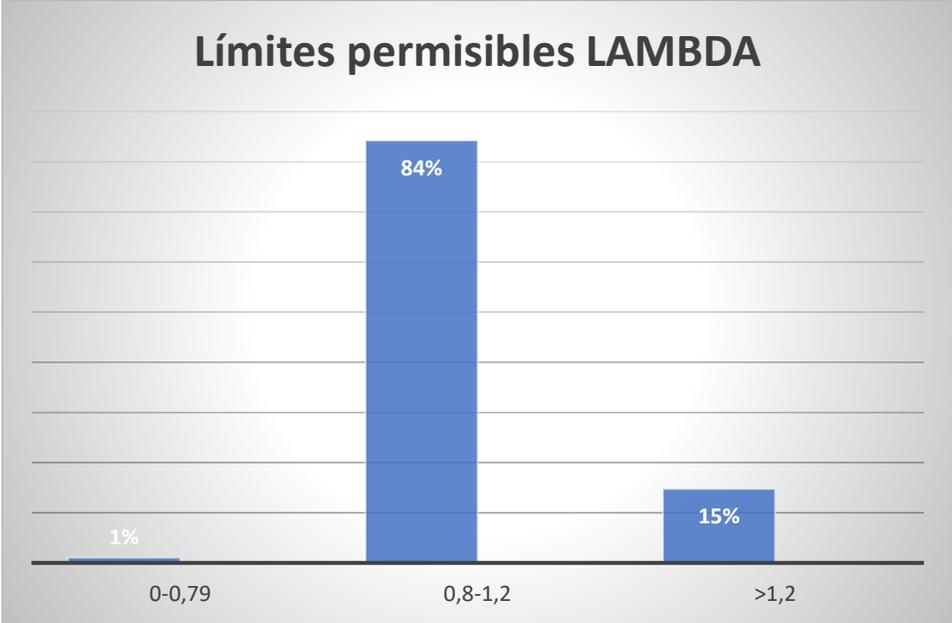


Figura 72 Diagrama de límites permisibles de lambda en estado ralentí

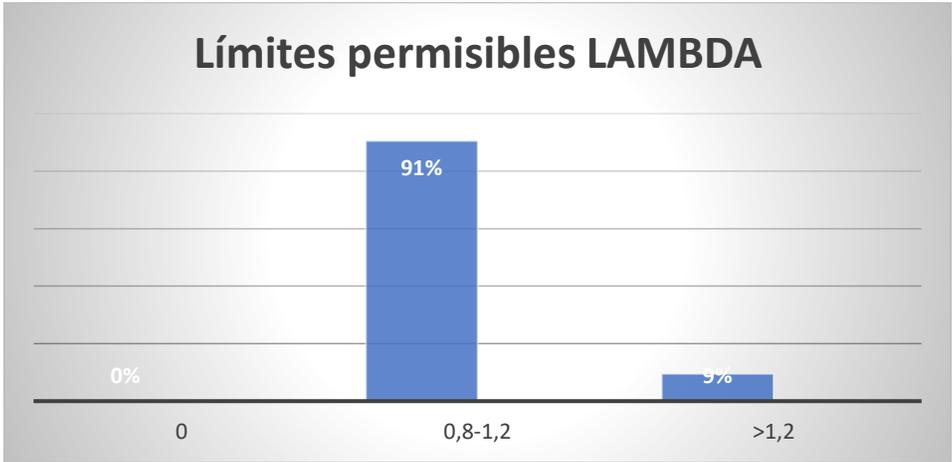


Figura 73 Diagrama de límites permisibles de lambda en estado aceleración

En la figura 72 y 73 se muestra que en estado ralentí y aceleración; para el estado ralentí, existe un 1% que está entre 0 a 0.79; es un nivel sumamente bajo y un 15% que

sobrepasa el límite de 1,2. Esto produce una mala combustión haciendo que el arranque del vehículo disminuya su potencia.

Para el estado aceleración, estos porcentajes disminuyen casi al 50% y se acercan a 1 o a un estado lambda óptimo.

4.10 CUANTIFICACIÓN DE LA EMISIÓN DE GASES EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

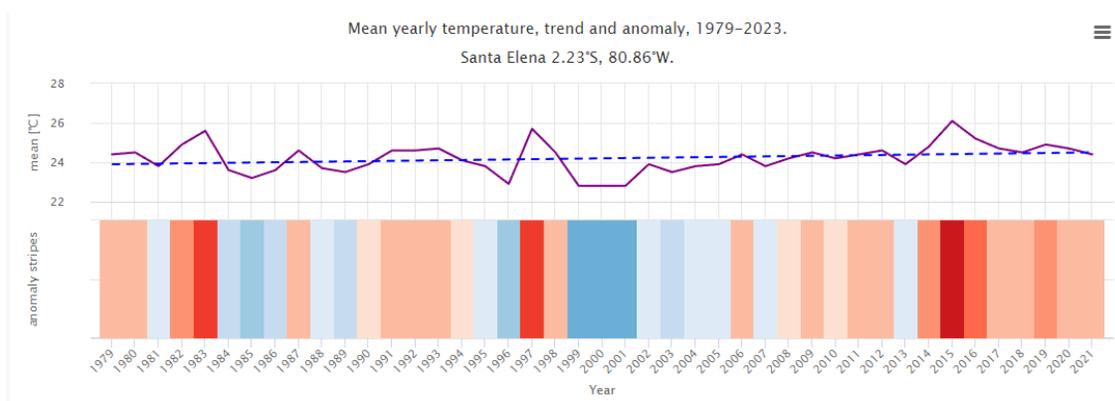


Figura 74 Cambio anual de temperatura Santa Elena

En la figura 74 muestra el cambio de temperatura con respecto a los años, su línea de tendencia es positiva que muestra el aumento de la temperatura y acorde a Meteoblue, describe que el gráfico es una estimación de la temperatura media anual de la provincia de Santa Elena; donde la parte de abajo se observa las “franjas de calentamiento”, cada franja representa la temperatura; rojo para los más cálidos y azul para los años más fríos. (Meteoblue, 2023)

Tabla 15 Factor de emisión de CO₂, CO, HC

FACTOR DE EMISIÓN	TOTAL
FECO₂	7,10265967
FeCO	1,36637733
FEHC	0,79052304
FEO₂	1,59835577

Los factores de emisión calculados se correlacionaron con valores obtenidos de ciudades cercanas para posteriormente validar dichos factores. Caso contrario el factor podría estar subestimado o sobrestimado; por tanto, se debe regresar al FE e identificar el valor que ajusta adecuadamente la pendiente.

A continuación, se presentan los datos obtenidos a partir de la ecuación (19) , seguido de la ecuación (

$$Q = \frac{n^{\circ} \text{ de vehículos} * FE * \text{velocidad media}}{\text{tiempo}}; \left(\frac{g}{\text{hora}} \right) \quad (26)$$

2022

Tabla 16 Emisión de gases para la muestra de 95 vehículos

Emisión de gases para la muestra (95 vehículos)					
QCO₂	30.363,87	g/hora	262.343,84	kg/año	65,4%
QCO	5.841,26	g/hora	50.468,51	kg/año	12,6%
QHC	3.379,49	g/hora	29.198,76	kg/año	7,3%
QO₂	6.832,97	g/hora	59.036,87	kg/año	14,72%
		TOTAL	401.047,98	Kg/año	100%

Tabla 17 Emisión de gases de la provincia de Santa Elena, para vehículos tipo sedán a gasolina, año 2022

Emisión de gases para la población (10,849 vehículos)					
QCO₂	3.467.553,96	g/hora	29.959.666,24	kg/año	65%
QCO	667.072,25	g/hora	5.763.504,21	kg/año	13%
QHC	385.937,30	g/hora	3.334.498,28	kg/año	7%
QO₂	780.325,28	g/hora	6.742.010,42	kg/año	15%
		TOTAL	45.799,67	Ton/año	100%

Tabla 18 Emisión de gases para vehículos a gasolina, año 2022

Emisión de gases para la población (31,606 vehículos)					
QCO₂	10.101.899,76	g/hora	87.280.413,96	kg/año	65%
QCO	1.943.357,49	g/hora	16.790.608,73	kg/año	13%
QHC	1.124.337,20	g/hora	9.714.273,45	kg/año	7%
QO₂	2.273.293,46	g/hora	19.641.255,54	kg/año	15%

En la tabla 16 y 17 muestran valores de oxígeno altos, esto se debe principalmente a que la mayoría de los vehículos presentan una mezcla pobre, lo que implica un alto CO e HC. Adicionalmente, para este estudio no se consideran los NO_x .

2021

Tabla 19 Emisión de gases de la provincia de Santa Elena, para vehículos a gasolina, año 2021
Emisión de gases para la población (29887 vehículos)

QCO₂	9.552.473,53	g/hora	82.533.371,26	kg/año
QCO	1.837.661,37	g/hora	15.877.394,26	kg/año
QHC	1.063.186,29	g/hora	9.185.929,59	kg/año
QO₂	2.149.652,65	g/hora	18.572.998,93	Kg/año

2020

Tabla 20 Emisión de gases de la provincia de Santa Elena, para vehículos a gasolina, año 2020
Emisión de gases para la población (28168 vehículos)

QCO₂	9.003.047,29	g/hora	77.786.328,56	kg/año
QCO	1.731.965,25	g/hora	14.964.179,80	kg/año
QHC	1.002.035,39	g/hora	8.657.585,73	kg/año
QO₂	2.026.011,84	g/hora	17.504.742,32	Kg/año

2019

Tabla 21 Emisión de gases de la provincia de Santa Elena, para vehículos a gasolina, año 2019
Emisión de gases para la población (24908 vehículos)

QCO₂	7.961.087,11	g/hora	68.783.792,66	kg/año
QCO	1.531.517,70	g/hora	13.232.312,92	kg/año
QHC	886.065,66	g/hora	7.655.607,26	kg/año
QO₂	1.791.533,05	g/hora	15.478.845,56	kg/año

2018

Tabla 22 Emisión de gases de la provincia de Santa Elena, para vehículos a gasolina, año 2018
Emisión de gases para la población (27015 vehículos)

QCO₂	8.634.525,79	g/hora	74.602.302,83	kg/año
QCO	1.661.070,77	g/hora	14.351.651,42	kg/año
QHC	961.019,10	g/hora	8.303.205,00	kg/año
QO₂	1.943.081,15	g/hora	16.788.221,17	Kg/año

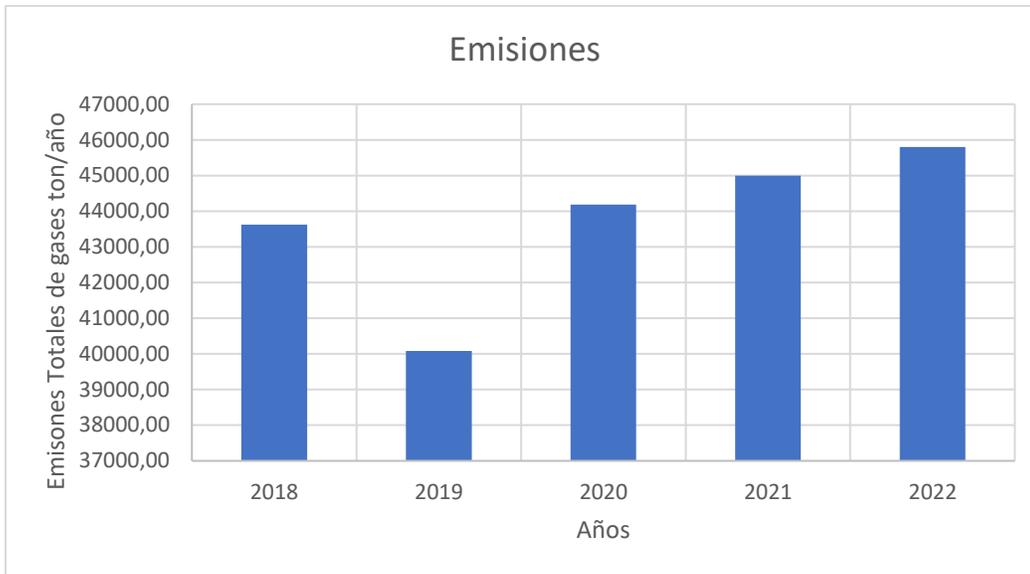


Figura 75 Estimación de las emisiones de CO₂, CO, HC a partir de datos obtenidos en años anteriores para vehículos tipo sedán a gasolina

En la figura 75, con los datos obtenidos, se observa claramente que hay un incremento de emisiones. Debido al aumento de vehículos en la provincia, ha tenido como resultado la disminución de velocidades permitidas; esto se debe a salvaguardar la seguridad de los conductores y peatones; sin embargo, esto contribuye a la emisión de gases. Para un vehículo del año que circule a 50 o 70 km/h la emisión de dióxido de carbono está entre 200 a 250 g, mientras que para un vehículo circulando a 30 km/h esta emisión se incrementa entre un 15 y 20%.

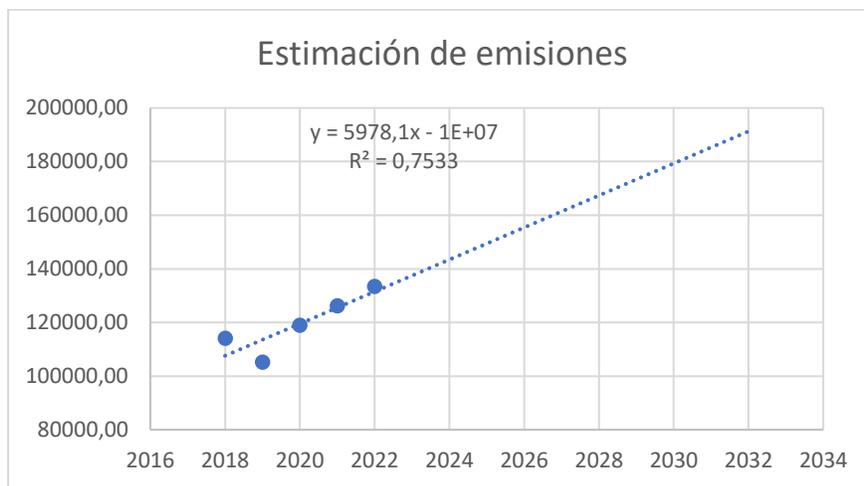


Figura 76 Estimación de las emisiones de CO₂, CO, HC y O₂ a partir de datos obtenidos en años anteriores para vehículos a gasolina

Para la población de los vehículos a gasolina se realiza una estimación para 5 y 10 años, en el que se detalla que la línea de tendencia positiva y esta emisión aumentará a casi 160.000

ton/año para el 2027 y 190.000 ton/año para el 2032; entonces se puede interpretar como que a medida que aumentan los años, la emisión de gases en vehículos a gasolina también aumentará; esto se produce siempre y cuando la provincia mantenga la misma fuente de emisión que en este caso es el uso del combustible gasolina.

A comparación con otras ciudades del país, Santa Elena no presenta altas emisiones de gases nocivos.

Tabla 23 Emisión de gases por año

Años	Emisiones ton/año
2018	114.045,38
2019	105.150,55
2020	118.912,83
2021	126.169,69
2022	133.426,55

Actualmente se ha estado trabajando en convertir algunos vehículos de transporte público en vehículos a GNV (gas natural vehicular) y para vehículos particulares, los usuarios han estado adquiriendo los carros híbridos y eléctricos lo que permite que estas emisiones disminuyan, siendo un factor decisivo para mejorar la calidad de aire de la provincia de Santa Elena.

El GNV es un combustible que emiten entre un 10 a 15% menos de dióxido de carbono, mejorando así la emisión de CO, oxígeno residual de la combustión sin olvidar los No_x . Además de ser un combustible que significativamente es mucho más económico. Un vehículo a gasolina produce entre un 20 a 25 g/km de dióxido de carbono cada 100 km, mientras que, un carro a GNV emite entre un 14 a 18 g/km por cada 100 km de dióxido de carbono.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En este proyecto se logró cuantificar la emisión de gases de una muestra representativa, tomada de los vehículos a gasolina en la Provincia de Santa Elena, a partir del factor de emisión obtenido con base en los datos del analizador de gases.

En el análisis de los gases de escape a condición ralentí y aceleración, se puede notar que existe una variación significativa de un estado a otro debido a que el motor no tiene la misma exigencia, lo que hace que al estar el vehículo en estado ralentí emita mayor cantidad de gases y tengan lambdas elevados. También la emisión de gases depende del clima, la calidad del combustible y el mantenimiento adecuado realizado al vehículo.

En el país existen diferentes normas que regulan la emisión de gases de escape donde se regula, de acuerdo con el tipo de combustible, la forma en la que se debe analizar correctamente para comprobar que estén dentro de los límites mínimos permitidos.

Se ha tomado como referencia la ruta que va desde el Hospital Liborio Panchana en Santa Elena hasta Chipipe en Salinas, que tiene un recorrido de 18 km, con el fin de conocer los ciclos de conducción generales de los vehículos.

El presente estudio determinó que la velocidad promedio de los vehículos de la muestra en las horas de tráfico normal es de 45 Km/h y que, en las horas de mayor tráfico, la velocidad de operación vehicular disminuye, lo cual resulta en un incremento de la emisión de gases.

Por los resultados de la cuantificación y cualificación de la emisión de gases anteriormente mostrados en las tablas, gráficos e histogramas, se deduce que la flota vehicular de la Provincia de Santa Elena está contribuyendo considerablemente en la actualidad a la mala calidad del aire. El incremento de emisiones de CO_2 y CO para años posteriores, provocará, principalmente, daño en la salud y al medio ambiente.

Dentro de los resultados, se obtuvo que el 65% de la emisión de gases es dióxido de carbono, que ayuda al efecto invernadero, produciendo un aumento en la temperatura de la zona.

Las emisiones de gases varían con respecto a la temperatura. La Provincia de Santa Elena presenta un clima variado, según las estaciones en las que se encuentre. En este estudio se calcularon las emisiones solamente en época de calor, durante el cual las emisiones son menores que con clima frío.

5.2 RECOMENDACIONES

Verificar que una parte de la sonda no quede expuesta al ambiente mientras se está realizando la prueba, para que se tenga la certeza que se realizó correctamente.

esperar de 30 a 60 segundos para empezar la siguiente prueba, para darle tiempo que el aire dentro de la sonda y la cámara de gas del analizador de gases se purguen.

Escoger el coeficiente de correlación más alto de la variable a analizar de los modelos matemáticos para que se logre conseguir los datos con mayor precisión.

La metodología empleada en este proyecto es la más adecuada en zonas costeras a nivel de mar, como es el caso de la Provincia de Santa Elena, por ser la altura un factor que influye en la cantidad de las emisiones de gases. Esta metodología ofrece un factor de emisión para cada contaminante.

Debido a las limitaciones del analizador de gases, no fue posible cuantificar los NO_x . Sin embargo, se recomienda calcular teóricamente con un buen modelo matemático para que el resultado sea confiable y no altere significativamente los resultados de la emisión de gases para la población de la Provincia.

Se recomienda a los conductores de vehículos realizar mantenimiento, cambio de aceite y filtro por lo menos cada 5000 km.

Se obtendría unas mejores y más detallados resultados de este estudio si en este proyecto se ampliara la cantidad muestral, se hiciera en diferentes estaciones climáticas y realizar encuestas tendientes a conocer otra información sobre el número de recorridos y el consumo diario de combustible en la Provincia de Santa Elena.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2022). *Volcanes*.
- Araujo, A. (2013). *Debate sobre la calidad de las gasolinas*.
- Ávila Alvarado, V., Cruz Jácome, H. E., Getsemaní, & Toral Pereyra, G. (2011). *Motores de combustión interna y compresores*.
- Bosch. (2009). Sensor de Oxígeno. In *Catálogo Sonda Lambda*.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2009). *Termodinámica* (Séptima edición).
- Chamarravi Guerra, O., & Saavedra Calixto, G. (2013). *Evaluación del impacto ambiental generado por la emisión de gases en motores que utilizan complementos lubricantes, en la ciudad de Bogotá D.C.* [Maestría en desarrollo sostenible y medio ambiente]. Universidad De Manizales.
- CK-12. (2022). *Earth Science* (LibreTexts).
- Copano, K., & Insulza, J. (2008). *Dispositivos de anticontaminación empleados en los motores automóbiles*.
- Crouse, W. (1993). *Mecánica del Automóvil* (Tercera Edición).
- Diferencias entre la gasolina Súper, Ecoplús89, Ecopaís y Extra. (2022, August 17). *El Universo*.
- Empresa Pública Petroecuador. (n.d.). *Loja cuenta con Ecopaís, una gasolina amigable con el medio ambiente*.
- Fidalgo, R. (2023, March 15). *El gasóleo produce más humo que la gasolina*. Autocasión.
- Franco, V., Kousoulidou, M., Muntean, M., Ntziachristos, L., Hausberger, S., & Dilara, P. (2013). Road vehicle emission factors development: A review. *Atmospheric Environment*, 70, 84–97. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.01.006>
- Gobierno de México. (2018). El aire: elemento de vida en la Tierra. *Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegida*.
- Hurtado Bravo, R. (n.d.). *Cilindrada del Motor*.

- Inga Guamán, V. J., & Vidal González, J. E. (2019). *Evaluación del rendimiento de las gasolinas súper y ecopaís mediante un ciclo típico de conducción para taxis del Azuay*.
- International Energy Agency. (2019). *Informe de estado de energía global y CO2 2019*.
- Kraus, R. S. (n.d.). *Petróleo: prospección y perforación*.
- Martínez, & Bedoya. (2007). *Contaminación Atmosférica*.
- Maurat, W., & Galarza, C. (2017). *Evaluación del consumo específico de combustible y de emisiones de gases de escape, con el uso del combustible Eco-país en un motor de combustión interna alternativo* [Tesis de Pregrado]. Universidad del Azuay.
- McKinnet, M. L., & Schoch, R. M. (2003). *Environmental Science, Systems and Solutions*. (Tercera).
- Meteoblue, weather close to you. (2023). *Cambio climático Santa Elena*.
- Miller, G. T. (1999). *Living in the Environment: Principles, connections and solutions*. (Cuarta).
- Núñez Pérez, C. S. (2018). *Estudio de emisiones de gases en vehículos a gasolina en la universidad técnica de Ambato campus Huachi*.
- Ondarse Álvarez, D. (2017). *Hidrocarburos*.
- Ortuño Arzate, S. (2009). *El mundo del petróleo: Origen, usos y escenarios*. Fondo de Cultura Económica.
- Osborne, D. (2013). *The Coal Handbook: Towards Cleaner Production* (Primera, Vol. 2).
- Paredes Quistial, R. F., & Ichau Pupiales, M. A. (2013). *Investigación de emisiones contaminantes de vehículos que circulan dentro de la universidad técnica del Norte*.
- Parra Iglesias, E. (2003). *Petróleo y gas natural: industria, mercados y precios*. Ediciones Akal.
- Portilla Aguilar, A. A., & Caiza Jacome, P. G. (2010). *Determinación de la influencia de la altura en emisiones contaminantes de un vehículo con motor de ciclo otto, de inyección electrónica de gasolina*. Escuela Politécnica Nacional.
- Pretel, X., & Cano, Y. (2008). *Dispositivos de anticontaminación empleados en motores de automóviles*.
- Ramírez de Verger y Osle, F. (2017). *Estudio de la “financiarización” del petróleo mediante modelos inferenciales de previsión de precios y el análisis de su impacto en la incertidumbre del mercado a través reticulados binomiales* [Tesis Doctoral].

- Ricardo García, S. J. (2001). *Características de los combustibles*.
- Rice, William. B. (2018). *La historia de los combustibles* (R. Cracchiolo, C. Medina, & D. Kenney, Eds.).
- RO-DES. (n.d.). *Tipo de gasolina y sus características*.
- S.A. (2009). *Gases de escape*.
- Sánchez Yunga, L. P., & Zúñiga Guzhñay, A. P. (2018). *Análisis de la contaminación de gases de vehículos tipo L1 y L3, mediante el muestreo de emisiones para la determinación de niveles de contaminación en la ciudad de Loja*.
- Schlumberger. (2023). *Energy Glossary*.
- Servicio Geológico Mexicano. (2017, March 22). *Aplicaciones de la geología: características del petróleo*.
- Sidique, G., Xiaobing, Z., Abubakari, A., & Seidu, A. (2022). *Renewable energy sources from the perspective of blockchain integration: From theory to application*.
- Tilvaldyev, S., Caldiño Herrera, U., Dávalos Ramírez, J. O., & Lira Martínez, M. A. (2019). Impacto del transporte de carga en el ambiente de Ciudad Juárez y revisión de dispositivos de reducción de carga aerodinámica para camiones pesados. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 19(2), 5–12. <https://doi.org/10.19053/1900771X.v19.n2.2019.12873>
- Veintimilla J.M. (2015). *Determinación de los contaminantes producto de la combustión del parque automotor a gasolina en la parroquia San Buenaventura, ciudad de Latacunga*.
- Walter E, P., Petrascheck, & Castells, C. (1965). *Yacimientos y criaderos*. Ediciones Omega.
- Waquier, J. P. (1994). *El refino: petróleo crudo, productos petrolíferos y esquemas de fabricación*. Technip.
- Warner, B. (2013). *Especificaciones del cuentarrevoluciones MGT 300*.

ANEXOS

ANEXO A. Datos

	AÑO	MARCA	MODELO	CILINDRAJE	KILOMETRAJE	KM DIARIOS	VELOCIDADES	SE PUEDE REVISAR	EMISIONES DE CO	EMISIONES DE CARBONO	EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO	EMISIONES DE OXIGENO	EMISIONES DE CO	HIDROCARBUROS (ppm HC) 100 y 400 PPM	LAMBDA 0,8-1,2	EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO	EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO	EMISIONES DE OXIGENO	EMISIONES DE CO	HIDROCARBUROS (ppm HC) 100 y 400 PPM	LAMBDA 0,8-1,2
1	2013	CHERY	TIGGO	2000	206881	43	40	X	14,7	0,98	1,37	0,9	223	1,06	14,2	0,77	1	0,77	198	1,016	
2	taxi 2012	HYUNDAI	CHEVY TAXI	1498	187000	100	60	X	16,1	0,22	0,8	0,2	78	1,026	16	0,18	0,78	0,17	78	1,027	
3	taxi 2012	HYUNDAI	CHEVY TAXI	1600	537412	180	85	X	12,5	0,58	4,61	0,67	468	1,201	12	0,5	4,58	0,47	468	1,2	
4	taxi 2013	CHEVROLET	AVEO	1500	424002	90	90	X	13,8	0,13	4,02	0,14	67	1,196	12,9	0,09	3,97	0,1	67	1,194	
5	taxi 2012	CHEVROLET	AVEO	1500	813918	85	70	X	14,7	0,98	1,42	0,85	356	1,023	15,1	0,57	1,41	0,55	356	1,034	
6	taxi 2012	CHEVROLET	AVEO	1400	478493	110	75	X	7,4	0,29	3,92	0,56	52	1,338	7,5	0,3	3,99	0,58	52	1,336	
7	taxi 2011	NISSAN	LEAF	1600	383617	114	60	X	16,4	0,05	0,57	0,04	22	1,022	16,4	0,06	0,6	0,25	22	1,023	
8	taxi 2017	HYUNDAI	CHEVY TAXI	1400	549909	100	65	X	14,3	0,66	1,93	0,67	117	1,066	14,6	0,65	1,9	0,64	117	1,063	
9	taxi 2016	HYUNDAI	CHEVY TAXI	1400	461676	123	65		13,6	1,8	1,91	1,75	339	1,022	14,5	0,75	1,59	0,74	339	1,038	
10	taxi 2014	CHEVROLET	AVEO	1500	787770	115	68	X	13,2	3,93	0,99	3,44	286	0,928	14,7	1,15	1,07	1,09	286	1,007	
11	taxi 2019	KIA	RIO LX	2400	1000000	112	70	X	14,8	0,58	0,99	0,57	206	1,018	15,5	0,62	0,63	0,59	206	1,011	
12	taxi 2012	CHEVROLET	AVEO	1500	72038	120	75	X	13,6	1,22	2,61	1,24	228	1,067	14,2	0,69	2,54	0,69	228	1,09	
13	taxi 2012	CHEVROLET	CHEVY TAXI	1498	653147	100	60	X	11	1,62	6,31	1,98	1187	1,225	10,3	3,04	4,98	3,43	1287	1,098	
14	taxi 2013	NISSAN	TIDDA ENTRY TM	1600	724169	100	40	X	12	2,42	3,14	2,52	1405	1,015	14,2	1,31	0,77	1,69	610	0,961	
15	taxi 2012	CHEVROLET	AVEO ACTIVO	1500	996233	80	40	X	14	0,47	1,17	0,49	52	1,04	12,6	1,08	1,73	1,17	286	1,042	
16	taxi 2020	KIA	RIO LX	1368	140000	60	30	X	12	3,52	0,46	3,4	244	0,909	15,6	0,7	0,31	0,65	181	0,988	
17	taxi 2008	CHEVROLET	AVEO EMOTION	1600	31031	80	45	X	8,2	4,12	3,35	5,01	193	1,026	13,2	0,5	4,26	0,55	79	1,199	

18		2012	SUZUKI	GRAND VITAR A	2000	121698	40	35	X	14,6	0,43	1,06	0,43	242	1,027	15,6	0,28	0,68	0,26	188	1,015
19		2002	CHEVROLET	ASTRA 4P GLS	2000	258594	40	35	X	12,4	0,89	1,95	1	161	1,066	14,1	0,62	0,94	0,63	143	1,02
20	taxi	2012	CHEVROLET	CHEVY TAXI	1498	836816	80	40	X	10,5	1,22	4,89	1,56	168	1,236	13,9	1	1,1	1,01	150	1,016
21	taxi	2013	CHEVROLET	SAIL TM	1398	656516	70	35	X	8,9	2,47	5,2	3,25	274	1,205	11,7	0,26	16,56	0,45	122	1,198
22	taxi	2011	CHEVROLET	AVEO ACTIV O	1800	999999	100	45	X	11,7	0,88	3,12	1,05	392	1,122	11	0,81	2,07	1,13	234	1,073
23	taxi	2010	CHEVROLET	CHEVY TAXI	1500	999999	100	45	X	8,7	5,8	3,37	6	251	0,964	9,8	6,4	2,27	5,93	352	0,9
24		1994	CHEVROLET	MONZA DLX	1600	796609	40	35	X	7,4	2,16	9,8	3,4	212	1,4	9,1	2,91	7,49	3,64	480	1,298
25		2002	CHEVROLET	AVEO	2198	411148	40	70	X	13,4	1,27	1,47	1,29	341	1,018	15,1	0,5	1,3	0,48	267	1,034
26		2016	CHEVROLET	AVEO EMOTION	1598	229969	40	45	X	15,1	0,23	0,71	0,23	83	1,022	11,9	0,14	1,82	0,18	169	1,092
27	taxi	2014	CHEVROLET	AVEO EMOTION	1598	571998	120	50	X	12,7	0,81	3,02	0,9	240	1,119	12,3	2,38	5,39	2,42	322	1,17
28	taxi	2014	CHEVROLET	AVEO EMOTION	1600	487850	100	45	X	11,2	5,79	0,68	5,12	461	0,855	14,2	0,14	0,95	0,15	252	1,128
29		1993	HYUNDAI	EXCELS	1600	329286	150	45	X	3,2	3,79	8,9	8,09	5152	1,129	5,7	12,4	0,97	10,2	2734	1,4
30	taxi	2014	HYUNDAI	ACCENT	1600	232111	150	50	X	12,1	0,47	1,69	0,56	140	1,071	8,8	1,18	3,22	1,76	740	1,124
31	taxi	2019	KIA	RIO LX	1368	3777	100	50	X	9,5	1,35	2,87	1,86	148	1,12	14,6	0,68	1,53	0,67	347	1,037
32	taxi	2015	KIA	CERATO	1600	196939	200	45	X	12,6	2,79	1,74	2,72	305	0,956	14,3	0,61	1,81	0,62	143	1,061
33	taxi	2013	CHEVROLET	SAIL TM	1400	736140	350	50	X	11,4	2,4	3,39	2,62	264	1,082	12,2	0,43	3,98	0,57	178	1,194
34	taxi	2011	HYUNDAI	ACCENT	1400	942184	250	45	X	13,2	0,64	1,57	0,7	481	1,037	14,6	0,61	1,74	0,41	374	1,048
35	taxi	2017	CHEVROLET	CHEVY TAXI	1500	205998	400	45	X	11,5	0,04	6,97	0,05	303	1,387	14,6	0,02	2,24	0,02	108	1,02
36	taxi	2019	KIA	RIO LX	1368	4296	100	45	X	13,2	0,78	1,51	0,84	554	1,027	13,6	1,43	2,28	1,43	672	1,034
37	taxi	2015	CHEVROLET	SAIL AC	1398	179644	250	40	X	13,9	0,41	1,95	0,43	212	1,074	14,6	0,41	1,63	0,41	241	1,054
38	taxi	2015	CHEVROLET	SAIL AC	1398	137474	300	45	X	16	0,06	0,32	0,05	79	1,01	15,6	0,11	0,33	0,11	85	1,009

39	taxi	2023	CHEVROLET	SAIL AC	1485	8966	250	50	X	15,5	0,1	0,51	0,1	58	1,018	16	0	0,12	0	8	1,005
40	taxi	2019	HYUNDAI	ACCENT	1600	330000	300	50	X	14,7	0,42	0,78	0,42	104	1,019	15	0,49	2,81	0,47	125	1,108
41	taxi	2019	KIA	RIO LX	1368	298776	300	45	X	14,3	0,58	1,02	0,58	262	1,02	15,3	0,65	1,98	0,61	303	1,058
42	taxi	2015	CHEVROLET	AVEO FAMILY	1498	213786	250	45	X	14,6	0,46	1,12	0,46	16	1,031	15,2	0,9	1,05	0,47	203	1,026
43	taxi	2022	CHERY	TIGGO	1497	57410	250	45	X	11,2	0,22	1,18	0,33	122	1,058	16,1	0,05	0,46	0,04	109	1,014
44	taxi	2015	CHEVROLET	AVEO FAMILY	1498	187575	300	50	X	12,9	2,66	0,79	2,57	209	0,951	13,8	0,38	2,91	0,4	189	1,123
45	taxi	2017	CHEVROLET	AVEO EMOTION	1598	104755	350	45	X	15,3	0,04	0,69	0,04	117	1,025	15,6	0,03	0,53	0,02	86	1,02
46	taxi	2018	CHEVROLET	AVEO FAMILY	1498	467947	350	40	X	14,1	0,74	1,2	0,75	193	1,027	14,5	0,79	1,31	0,77	207	1,029
47	taxi	2014	CITROËN	ELYSEE	1587	529884	200	35	X	14,2	0,46	2	0,47	477	1,061	14,3	0,34	2,15	0,35	506	1,07
48	taxi	2018	CHEVROLET	SAIL AC	1485	390405	250	45	X	8,9	2,33	3,1	3,12	143	1,092	14,7	0,19	1,92	0,19	104	1,081
49		2012	CHEVROLET	SAIL 4P	1400	204192	30	45	X	13,7	0,04	1,05	0,05	152	1,046	15,2	0,05	4,08	0,05	204	1,177
50		2011	MAZDA	MAZDA MT	2000	138982	45	50	X	15,6	0	0,39	0	48	1,016	16	0	0,28	0	33	1,011
51		2011	CHEVROLET	AVEO FAMILY	1500	334807	20	30	X	14,8	1,67	0,59	1,52	253	0,971	15,1	0,63	1,05	0,6	213	1,021
52	taxi	2010	CHEVROLET	AVEO ACTIV O	1600	64989	200	45	X	11,8	0,73	4,69	0,88	365	1,216	11,8	0,75	4,81	0,9	395	1,219
53		1991	SUZUKI	FORSA	993	79332	100	45	X	7	3,1	8,24	4,63	507	1,39	7,3	3,39	8,02	4,76	559	1,338
54	taxi	2006	CHEVROLET	CORSE EVOLUTION	1400	999999	250	45	X	11	0,44	5,49	0,57	131	1,31	11,4	0,43	3,13	0,54	118	1,163
55	taxi	2015	CHEVROLET	AVEO FAMILY	1498	213966	200	45	X	11,1	4,29	1,1	4,19	201	0,915	14,8	0,34	1,1	0,33	147	1,035
56	taxi	2013	CHEVROLET	AVEO FAMILY	1500	797670	300	45	X	14,6	0,25	1,31	0,25	149	1,048	14,8	0,38	1,11	0,38	146	1,056
57	taxi	2022	CHEVROLET	SAIL LS	1485	106443	350	45	X	10,8	0	4,45	0	194	1,276	11,2	0	4,29	0	228	1,254
58	taxi	2012	CHEVROLET	AVEO FAMILY	1498	202690	400	45	X	13	3,48	0,24	3,16	127	0,91	15,8	0,04	0,21	0,04	0	1

59	taxi	2013	CHEVROLET	SAIL AC	1398	137641	200	45	X	10,4	0,01	0,87	0,01	80	1,053	15,8	0,07	0,38	0,07	106	1,011
60	taxi	2019	KIA	RIO LX	1368	395259	150	45	X	15,8	0	0,11	0	45	1,09	16	0	0,09	0	80	1,09
61	taxi	2019	CHEVROLET	AVEO FAMIL Y	1498	474944	200	45	X	15,4	0,14	0,56	0,14	63	1,019	16,1	0,18	0,38	0,16	83	1,008
62		2012	CHEVROLET	AVEO FAMIL Y	1500	242085	200	45	X	10,1	0,79	4,83	1,09	2481	1,126	12,5	1,2	2,3	1,31	819	1,049
63		1999	HONDA	CIVIC SEDAN	1600	409582	20	40	X	8,5	5,05	5,45	5,57	567	1,081	7,9	9,26	3,35	8,11	363	0,86
64	taxi	2017	HYUNDAI	ACCEN T	1600	525489	200	40	X	14,2	0,24	0,83	0,25	110	1,028	15,6	0,28	1,07	0,26	141	1,034
65	taxi	2014	HYUNDAI	ACCEN T	1600	334617	200	45	X	11,2	1,19	4,36	1,44	514	1,176	11,5	1,43	4,66	1,66	440	1,181
66	taxi	2012	CHEVROLET	AVEO FAMIL Y	1500	84610	200	45	X	14,7	1,14	0,6	1,08	205	0,987	14,7	1,01	0,75	0,97	173	0,998
67	taxi	2012	CHEVROLET	AVEO FAMIL Y	1500	775481	200	45	X	7,4	10,95	0,95	8,94	547	0,724	14,2	0,32	2,55	0,33	194	1,105
68	taxi	2019	CHEVROLET	AVEO FAMIL Y	1498	319002	200	45	X	15,5	0,03	0,34	0,03	57	1,012	15,9	0,04	0,96	0,04	74	1,038
69	taxi	2013	CHEVROLET	AVEO FAMIL Y	1580	999999	200	45	X	9,9	4,63	3,71	4,78	411	1,015	9,7	4,84	1,5	4,98	518	0,899
70		2000	SUZUKI	GRAND VITAR A	2000	434271	20	45	X	13,9	0,86	1,83	0,8	168	1,054	14,3	0,83	1,3	0,82	173	1,031
71		2023	TOYOTA	JEEP	3000	19816	20	45	X	15,9	0	0,2	0	0	1,01	16,3	0	0,16	0	0	1,007
72		2014	HYUNDAI	ACCEN T	1400	279058	20	45	X	14,4	0,71	1,08	0,7	162	1,023	15,1	0,56	1,37	0,53	242	1,036
73		2014	CHEVROLET	AVEO FAMIL Y	1600	98254	20	45	X	7,6	2,95	1,98	4,17	400	0,982	6,1	2,66	2,67	4,56	1140	0,996
74		2023	GREAT WALL	WINGL E 7	2378	13729	20	45	X	15,9	0	0,4	0	0	1,005	16,3	0	0,16	0	0	1,007
75	taxi	2017	CHEVROLET	SAIL	1398	117677	200	45	X	15,3	0,02	0,31	0,02	24	1,013	16,1	0,03	0,16	0,03	13	1
76	taxi	2019	CHEVROLET	AVEO FAMIL Y	1498	347886	200	45	X	11,1	3,03	2,19	3,22	197	1	13,4	0,78	2,3	0,83	86	1,086
77	taxi	2013	CHEVROLET	AVEO FAMIL Y	1500	606876	200	45	X	13,4	2,38	0,71	2,26	229	0,956	14,4	0,8	1,65	0,78	154	1,047

78		2022	SHINERAY	JEEP	1498	33269	20	45	X	15,2	0	0,49	0	24	1,022	15,8	0	0,23	0	24	1,009
79		2021	KIA	RIO LX	1368	33608	20	45	X	15,3	0,19	0,21	0,18	32	1,003	15,4	0,25	0,13	0,24	99	0,995
80		2009	CHEVROLET	GRAND VITAR A	2000	291682	20	45	X	10,6	0,23	5,46	0,32	110	1,336	11,6	0,23	4,48	0,29	125	1,249
81		2014	KIA	SPORT AGE	2000	309243	20	45	X	15,7	0	0,23	0	9	1,01	16	0	0,17	0	19	1,007
82		2013	KIA	SPORT AGE	2000	172937	20	45	X	14,8	0,07	0,33	0,07	0	1,013	16	0	0,2	0	7	1,009
83		2018	CHEVROLET	SPARK GT	1500	7138	20	45	X	14	0	0,47	0	23	1,022	15,4	0	0,37	0	1	1,017
84		2014	SUZUKI	GRAND VITAR A	2000	176242	20	45	X	14,9	0,15	0,3	0,15	66	1,007	15,5	0,1	0,21	0,09	86	1,004
85	taxi	2015	KIA	RIO LX	1400	177142	200	45	X	14,7	0,26	0,8	0,26	119	1,025	15	0,27	0,76	0,27	128	1,022
86	taxi	2014	KIA	RIO LX	1400	265259	200	45	X	12,6	0,78	1,15	0,88	444	1,014	13	0,8	1,14	0,87	406	1,014
87	taxi	2014	KIA	RIO	1400	321102	200	45	X	13	0,22	0,43	0,25	20	1,015	14,6	0,23	0,48	0,23	25	1,015
88		2020	CHERY	ARRIZO 3	1497	59470	40	45	X	14,9	0	1,54	0	34	1,071	15	0	1,02	0	39	1,046
89		2008	HYUNDAI	VERAC RUZ	2000	394269	40	45	X	15	0,37	0,87	0,36	151	1,023	15,2	0,36	0,9	0,35	156	1,028
90		2011	DONG FENG	RICH 6	2400	8430	10	45	X	15,4	0	0,72	0	11	1,03	16	0	0,63	0	6	1,028
91		2021	CITROËN	C ELYSEE	1600	7560	40	45	X	15	0,35	1,1	0,34	277	1,03	15,8	0,16	0,53	0,15	215	1,011
92		2017	GREAT WALL	M4 LUXURY	1497	154801	40	45	X	15,6	0	0,26	0	30	1,011	16,4	0,01	0,16	0,01	36	1,005
93	taxi	2017	CHEVROLET	AVEO EMOTION	1598	462016	250	45	X	15	0,19	0,6	0,19	63	1,02	15,6	0,16	0,65	0,15	86	1,021
94		1999	CHEVROLET	RODEO	3200	519097	40	45	X	8,7	0,1	9,37	0,18	215	1,333	7,2	0,06	9,19	0,13	230	1,333
95	taxi	2012	CHEVROLET	AVEO FAMILY	1500	999999	300	45	X	6,9	0,1	5,57	0,22	135	1,333	7,1	0,2	5,27	0,2	178	1,333

ANEXO B. ANÁLISIS DE LOS VEHÍCULOS



Figura 77 Recolección de muestras



Figura 78 Analizador de Gases de escape portátil



Figura 79 Recolección de datos del vehículo



Figura 80 Colocar la sonda en el tubo de escape



Figura 81 Estabilización de datos

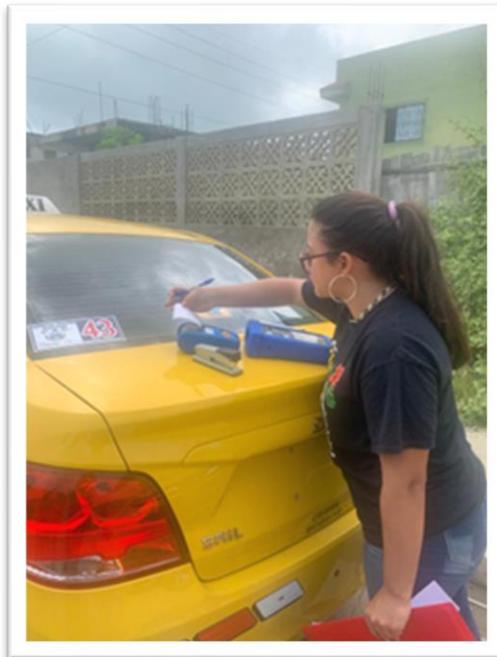


Figura 82 Imprimir resultados