



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO
AUTOMOTRIZ**

**TEMA: ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE
DE UN MOTOR ELECTRÓNICO A GASOLINA A DIFERENTES
ALTURAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR**

AUTOR: BELTRÁN ANRADE CRISTIAN FELIPE

DIRECTOR: ING. IGNACIO BENAVIDES, MSc.

Ibarra, septiembre 2020

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR


En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE DE UN MOTOR ELECTRÓNICO A GASOLINA A DIFERENTES ALTURAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR", presentado por el señor: BELTRÁN ANRADE CRISTIAN FELIPE con número de cédula 100297992-8, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 30 días del mes de septiembre del 2020.

Atentamente:



Ing. Ignacio Benavides, MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100297992-8		
APELLIDOS Y NOMBRES:	BELTRÁN ANDRADE CRISTIAN FELIPE		
DIRECCIÓN:	ATUNTAQUI, RÍO AMAZONAS 16-53 Y ATAHUALPA		
EMAIL:	cris25049@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	2906481	TELÉFONO MÓVIL:	0997122051

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE DE UN MOTOR ELECTRÓNICO A GASOLINA A DIFERENTES ALTURAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR
AUTOR (ES):	BELTRAN ANDRADE CRISTIAN FELIPE
FECHA: DD/MM/AAAA	30/09/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	ING. IGNACIO BAYARDO BENAVIDES CEVALLOS, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 30 días del mes de septiembre del 2020.

EL AUTOR:

Nombre: CRISTIAN FELIPE BELTRÁN ANDRADE

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, doy gracias a Dios por permitirme disfrutar cada momento de mi vida al lado de mi familia, agradezco a la vida por permitirme tener tan excelentes padres y hermanos. Hoy concluye todo el esfuerzo y dedicación que demandó la realización de esta tesis, pero el camino continúa por la vida, y dentro de este camino, tengo claridad y certeza de que mi familia me apoyarán y querrán lo mejor para mi hasta el último día de sus vidas.

Gracias mamá, papá y hermanos.

Cristian Beltrán.

AGRADECIMIENTO

Quiero darles las gracias por haberme dado educación, un hogar donde crecer, equivocarme, desarrollarme, aprender, y donde adquirí los valores que hoy definen mi vida, que a pesar que cometí errores y tomé algunas decisiones que no fueron las mejores, siempre las únicas personas que estuvieron y permanecieron a mi lado fueron mi familia, ellos me permitieron darme cuenta que realmente son mi compañía indispensable, a través de ellos pude entender y comprender el tamaño y alcance de su amor, su entrega, y confianza en mí.

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica del Norte, institución que me ha brindado sólidos conocimientos para desempeñarme en el campo profesional. Así como, a todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, que me han transmitido su sabiduría y experiencias en el transcurso del día a día.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
GLOSARIO DE TÉRMINOS	xviii
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	xix
1.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.1.1 Objetivo general	1
1.1.2 Objetivos específicos	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	1
1.3 ALCANCE	2
1.4 ANTECEDENTES	3
1.5 EL VEHÍCULO Y EL AMBIENTE	4
1.6 GASES EMITIDOS POR MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	5
1.6.1 Gases tóxicos	6
1.6.2 Gases no tóxicos	7
1.7 SISTEMA DE INYECCIÓN DIRECTA	7
1.7.1 Sistema de admisión	8
1.7.1.1 Acelerador electrónico	9
1.7.1.2 Circuito de la chapaleta en el colector de admisión	10
1.7.1.3 Sensor de masa de aire con IAT	11
1.7.1.4 Sensor de presión en el colector de admisión	12
1.7.2 Sistema de combustible de baja presión	12
1.7.2.1 Electrobomba de combustible	13
1.7.2.2 Sensor de baja presión	13
1.7.3 Sistema de combustible de alta presión	14
1.7.3.1 Bomba de combustible de alta presión	14
1.7.3.2 Sensor de alta presión	16
1.7.3.3 Inyectores de alta presión	16
1.7.3.4 Válvula reguladora de presión de combustible	18

1.7.3.5	Válvula dosificadora de combustible	19
1.7.4	Sistema de escape	19
1.7.4.1	Sonda lambda de banda ancha	20
1.7.4.2	Catalizador de tres vías	21
1.7.4.3	Sensor de temperatura de los gases de escape	21
1.7.4.4	Catalizador-acumulador de NOx	22
1.7.4.5	Sensor de NOx	23
1.7.5	Emisiones	24
1.7.6	Modos de funcionamiento	25
1.7.6.1	Modo estratificado	26
1.7.6.2	Modo homogéneo-pobre	27
1.7.6.3	Modo homogéneo	28
1.8	NORMAS INEN PARA EMISIONES DE GASES	29
1.8.1	Límites máximos de emisiones en marcha mínima (prueba estática)	30
1.8.2	Límites máximos de emisiones ciclos ftp-75 (prueba dinámica)	30
1.8.3	Límites máximos de emisiones (prueba dinámica)	31
	2.MATERIALES Y MÉTODOS	32
2.1	DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	32
2.2	EQUIPOS	32
2.2.1	Sensor barométrico	32
2.2.2	Cuenta revoluciones MGT300	33
2.2.3	Analizador de gases Brain Bee AGS-688	34
2.2.4	Vehículo	35
2.3	METODOLOGÍA	36
2.3.1	Especificación de lugares a diferentes alturas	37
2.3.1.1	Localidad de las Peñas-Esmeraldas 20 m s n. m.	37
2.3.1.2	Localidad de Ibarra-Imbabura 2175 m s n. m.	38
2.3.1.3	Localidad de Zuleta-Imbabura 2755 m s n. m.	38
2.3.2	Método de medición	39
2.3.3	Preparación del analizador de gases de escape	39
2.4	MEDIDAS DE GASES DE ESCAPE	42
2.4.1	Pruebas a 20 m s n. m. en Las Peñas-Esmeraldas	42

2.4.2	Pruebas a 2175 m s n. m. en Ibarra-Imbabura	44
2.4.3	Pruebas a 2755 m s n. m. en Zuleta-Imbabura	47
3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN		50
3.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS	50
3.2	EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)	50
3.2.1	Comparación de emisiones del dióxido de carbono (CO ₂) a 700 rpm	51
3.2.2	Comparación de emisiones del dióxido de carbono (CO ₂) a 1500 rpm	51
3.2.3	Comparación de emisiones del dióxido de carbono (CO ₂) a 2500 rpm	52
3.2.4	Comparación de emisiones del dióxido de carbono (CO ₂) a 4000 rpm	53
3.3	EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	54
3.3.1	Comparación de emisiones del monóxido de carbono (CO) a 700 rpm	54
3.3.2	Comparación de emisiones del monóxido de carbono (CO) a 1500 rpm	55
3.3.3	Comparación de emisiones del monóxido de carbono (CO) a 2500 rpm	56
3.3.4	Comparación de emisiones del monóxido de carbono (CO) a 4000 rpm	57
3.4	EMISIONES DE HIDROCARBUROS (HC)	58
3.4.1	Comparación de emisiones de hidrocarburos (HC) a 700 rpm	58
3.4.2	Comparación de emisiones de hidrocarburos (HC) a 1500 rpm	59
3.4.3	Comparación de emisiones de hidrocarburos (HC) a 2500 rpm	60
3.4.4	Comparación de emisiones de hidrocarburos (HC) a 4000 rpm	61
3.5	DIAGNÓSTICO DEL MOTOR EN BASE A LOS RESULTADOS DE EMISIONES DE GASES DE ESCAPE	62
4.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		66
4.1	CONCLUSIONES	66
4.2	RECOMENDACIONES	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		69
ANEXOS		72

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.1	Composición de los gases de combustión	5
1.2	Composición de los gases contaminantes	6
1.3	Sistema de inyección directa	8
1.4	Sistema de admisión	9
1.5	Funcionamiento acelerador electrónico	9
1.6	Funcionamiento chapaleta del colector de admisión	10
1.7	Sensor de masa de aire	11
1.8	Sensor de presión en el colector	12
1.9	Sistema de combustible de baja presión	13
1.10	Circuito de combustible sin sensor de baja presión	14
1.11	Bomba de alta presión	15
1.12	Efectos en las oscilaciones de la presión con diferentes levas	15
1.13	Generación de tensión en el sensor de alta presión	16
1.14	Corriente de mando del inyector	17
1.15	Sección del inyector y señal característica	17
1.16	Elementos del circuito de alta presión	18
1.17	Válvula reguladora de presión	18
1.18	Válvula dosificadora de combustible	19
1.19	Sistema de escape	19
1.20	Sonda lambda	20
1.21	Funcionamiento sonda lambda	20
1.22	Catalizador de tres vías	21
1.23	Sensor de temperatura de gases de escape	22
1.24	Catalizador-acumulador de NO _x	22
1.25	Sensor NO _x	23
1.26	Reacciones de la fase de acumulación	24
1.27	Sistema de escape con catalizador de tres vías	25
1.28	Modos de funcionamiento	26
1.29	Fase de admisión, inyección y combustión en modo estratificado	27
1.30	Fase de admisión, inyección y combustión en el modo homogéneo-pobre	28
1.31	Fase de admisión, inyección y combustión en el modo homogéneo	29
2.1	Sensor barométrico.	33

2.2	Equipo cuenta revoluciones.	33
2.3	Analizador de gases de escape Brain Bee.	34
2.4	Vehículo Mazda CX-5.	36
2.5	Localización y altura de las Peñas-Esmeraldas.	37
2.6	Localización y altura de Ibarra-Imbabura.	38
2.7	Localización y altura de Zuleta-Imbabura.	38
2.8	Instalación del cuenta revoluciones	39
2.9	Instalación del analizador de gases	40
2.10	Proceso de preparación del equipo analizador de gases	40
2.11	Purga del filtro de agua	41
2.12	Instalación de la sonda del analizador de gases de escape	41
2.13	Datos de emisiones a 2500 rpm	42
2.14	Emisiones de CO – Las Peñas	43
2.15	Emisiones de CO ₂ – Las Peñas	44
2.16	Emisiones de HC – Las Peñas	44
2.17	Datos de emisiones a 1500 rpm	44
2.18	Emisiones de CO - Ibarra	46
2.19	Emisiones de CO ₂ - Ibarra	46
2.20	Emisiones de HC - Ibarra	46
2.21	Datos de emisiones a 4000 rpm	47
2.22	Emisiones de CO - Zuleta	48
2.23	Emisiones de CO ₂ - Zuleta	49
2.24	Emisiones de HC - Zuleta	49
3.1	Variación de emisiones de CO ₂ a ralentí (700 rpm)	51
3.2	Variación de emisiones de CO ₂ a 1500 rpm.	52
3.3	Variación de emisiones de CO ₂ a 2500 rpm.	53
3.4	Variación de emisiones de CO ₂ a 4000 rpm.	54
3.5	Variación de emisiones de CO a ralentí (700 rpm).	55
3.6	Variación de emisiones de CO a 1500 rpm.	56
3.7	Variación de emisiones de CO a 2500 rpm.	57
3.8	Variación de emisiones de CO a 4000 rpm.	58
3.9	Variación de emisiones de HC a ralentí (700 rpm).	59
3.10	Variación de emisiones de HC a 1500 rpm.	60
3.11	Variación de emisiones de HC a 2500 rpm.	61
3.12	Variación de emisiones de HC a 4000 rpm.	61
3.13	Comparación de emisiones de CO.	62

3.14	Comparación de emisiones de HC.	63
3.15	Comparación de emisiones de CO ₂ .	63
AI.1	Analizador de gases AGS-688	710
AI.2	Sonda para medición de gases de escape en motores gasolina	710
AII.1	Emisiones a 20 m s n. m. a ralentí (700 rpm)	721
AII.2	Emisiones a 20 m s n. m. a 1500 rpm	721
AII.3	Emisiones a 20 m s n. m. a 2500 rpm	732
AII.4	Emisiones a 20 m s n. m. a 4000 rpm	732
AIII.1	Emisiones a 2175 m s n. m. a ralentí (700 rpm)	743
AIII.2	Emisiones a 2175 m s n. m. a 1500 rpm	743
AIII.3	Emisiones a 2175 m s n. m. a 2500 rpm	754
AIII.4	Emisiones a 2175 m s n. m. a 4000 rpm	754
AIV.1	Emisiones a 2755 m s n. m. a ralentí (700 rpm)	765
AIV.2	Emisiones a 2755 m s n. m. a 1500 rpm	765
AIV.3	Emisiones a 2755 m s n. m. a 2500 rpm	776
AIV.4	Emisiones a 2755 m s n. m. a 4000 rpm	776

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.1	Parámetros de funcionamiento	8
1.2	Rangos de funcionamiento acelerador electrónico	10
1.3	Funcionamiento de la chapaleta	10
1.4	Rangos de funcionamiento sensor IAT y MAF	11
1.5	Variación de voltaje del sensor de presión	12
1.6	Funcionamiento catalizador de tres vías	21
1.7	Funcionamiento catalizador-acumulador	23
1.8	Funcionamiento sensor NOx	24
1.9	Modos de funcionamiento	26
1.10	Características modo estratificado	27
1.11	Características modo homogéneo-pobre	28
1.12	Características modo homogéneo	29
1.13	Promedio de emisiones en marcha mínima	30
1.14	Promedio de emisiones ciclos FTP-75	30
1.15	Promedio de emisiones prueba dinámica	31
2.1	Especificaciones técnicas cuenta revoluciones MGT300.	34
2.2	Especificaciones técnicas analizador Brain Bee	35
2.3	Información técnica del vehículo	36
2.4	Rangos de RPM	39
2.5	Datos de emisiones en ralentí (700 rpm) a 20 m s n. m.	42
2.6	Datos de emisiones en 1500 rpm a 20 m s n. m.	43
2.7	Datos de emisiones en 2500 rpm a 20 m s n. m.	43
2.8	Datos de emisiones en 4000 rpm a 20 m s n. m.	43
2.9	Datos de emisiones en ralentí (700 rpm) a 2175 m s n. m.	45
2.10	Datos de emisiones en 1500 rpm a 2175 m s n. m.	45
2.11	Datos de emisiones en 2500 rpm a 2175 m s n. m.	45
2.12	Datos de emisiones en 4000 rpm a 2175 m s n. m.	45
2.13	Datos de emisiones en ralentí (700 rpm) a 2755 m s n. m.	47
2.14	Datos de emisiones en 1500 rpm a 2755 m s n. m.	47
2.15	Datos de emisiones en 2500 rpm a 2755 m s n. m.	48
2.16	Datos de emisiones en 4000 rpm a 2755 m s n. m.	48
3.1	Promedio de emisiones de CO ₂	50
3.2	Promedio de emisiones de CO ₂	51

3.3	Promedio de emisiones de CO ₂	52
3.4	Promedio de emisiones de CO ₂	52
3.5	Promedio de emisiones de CO ₂	53
3.6	Promedio de emisiones de CO	54
3.7	Promedio de emisiones de CO	55
3.8	Promedio de emisiones de CO	55
3.9	Promedio de emisiones de CO	56
3.10	Promedio de emisiones de CO	57
3.11	Promedio de emisiones de HC	58
3.12	Promedio de emisiones de HC	59
3.13	Promedio de emisiones de HC	59
3.14	Promedio de emisiones de HC	60
3.15	Promedio de emisiones de HC	61
3.16	Interpretación de averías mediante gases de escape 614	
3.17	Análisis de gases de escape en Las Peñas	61
3.18	Análisis de gases de escape en Ibarra	61
3.19	Análisis de gase de escape en Zuleta	61

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.	Equipos de medición de gases de escape	71
2.	Emisiones de gases en la localidad de las Peñas	72
3.	Emisiones de gases en la localidad de Ibarra	74
4.	Emisiones de gases en la localidad de Zuleta	766
5.	Norma técnica Ecuatoriana INEN NTE 2204	76
6.	Propiedades físico-químicas de la gasolina super	79

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Bares. Es una unidad de presión, equivalente a un millón de barias, aproximadamente igual a una atmósfera (1 atm).

Bujía. Es el elemento que produce el encendido de la mezcla de combustible y oxígeno en los cilindros, mediante una chispa, en un motor de combustión interna de encendido provocado.

Catalizador. Es un componente del motor de combustión interna alternativo que sirve para el control y reducción de los gases nocivos expulsados por el motor de combustión interna.

Caudal. Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto por unidad de tiempo.

Combustión. Reacción química que se produce entre el oxígeno y un material oxidable, que va acompañada de desprendimiento de energía y habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama.

Dióxido de carbono (CO₂). Gas inodoro e incoloro que se desprende en la respiración, en las combustiones y en algunas fermentaciones.

Electrobomba. Es un dispositivo utilizado para producir el movimiento o desplazamiento de un fluido en contra de la presión a través de tuberías o mangueras.

Electroválvula. Es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería. La válvula se mueve mediante una bobina solenoide.

Emisiones. Son todos los fluidos gaseosos, puros o con sustancias en suspensión; así como toda forma de energía radioactiva, electromagnética o sonora, que emanen como residuos o productos de la actividad humana y o natural.

Estanqueidad. Cualidad de las cámaras, depósitos, válvulas y cerramientos en general, por la que éstos resultan impermeables a los flujos fluidos y, naturalmente, a las partículas sólidas, con lo que se evitan las fugas de los elementos que conviene retener.

Factor lambda. El factor lambda, comúnmente designado con la letra griega " λ ", designa la proporción aire / combustible (en peso) en forma de mezcla que entra al cilindro de un motor de ciclo Otto, comparada con la proporción estequiométrica de la mezcla ideal.

Gas licuado del petróleo (GLP). Es la mezcla de gases licuados presentes en el gas natural o disuelto en el petróleo.

Hidrocarburos (HC). Son compuestos orgánicos cuya estructura molecular se forma de la unión entre átomos de hidrógeno y carbono.

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Entidad nacional encargada de formular las Normas Técnicas Ecuatorianas teniendo como concepto básico satisfacer las necesidades locales y facilitar el comercio nacional e internacional.

Inyector. Es un elemento del sistema de inyección de combustible cuya función es introducir una determinada cantidad de combustible en la cámara de combustión en forma pulverizada, distribuyéndolo lo más homogéneamente posible dentro del aire contenido en la cámara.

Monóxido de carbono (CO). Es un gas sin olor ni color pero muy peligroso, puede causar súbitamente una enfermedad y la muerte.

Óxidos de nitrógeno (NO_x). Compuestos químicos binarios gaseosos formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno.

Oxígeno (O₂). Elemento químico gaseoso, símbolo O, número atómico 8 y peso atómico 15.9994.

Potencia. Es la magnitud física escalar que caracteriza o mide la rapidez con que el cuerpo realiza trabajo o intercambia energía con otro cuerpo.

Recirculación de gases de escape (EGR). Es un sistema utilizado desde principios del 1970, que consiste en redirigir una parte de los gases de escape de los motores de combustión hacia el colector de admisión, para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno.

Régimen. Régimen de giro es el número de vueltas que da por unidad de tiempo, en general, revoluciones por minuto.

Sensor. Es todo aquello que tiene una propiedad sensible a una magnitud del medio, y al variar esta magnitud también varía con cierta intensidad la propiedad, es decir, manifiesta la presencia de dicha magnitud, y también su medida.

Sensor de flujo de aire (MAF). Es un sensor utilizado para determinar la tasa de flujo másico de aire que ingresa a un motor de combustión interna con inyección de combustible.

Sensor de temperatura de aire de entrada (IAT). El sensor de temperatura de aire de entrada se trata de un termistor, es decir una resistencia que transmite señales variables de acuerdo a la temperatura.

Unidad electrónica de control (ECU). Es una unidad de control que administra varios aspectos de la operación de combustión interna del motor.

RESUMEN

En la presente investigación se realiza el análisis de las emisiones de los gases de escape de un motor electrónico a gasolina de inyección directa a diferentes alturas sobre el nivel del mar con la finalidad de conocer el porcentaje de emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e hidrocarburos (HC) emanados por el motor GDi en las siguientes localidades: Las Peñas (20 m s n. m.), Ibarra (2175 m s n. m.) y Zuleta (2755 m s n. m.). Para este tipo de investigación se utilizó los métodos prácticos de medición, analítico sintético y análisis de datos. Mediante el método de medición se obtienen los datos de los valores de gases de escape emitidos por el motor a las diferentes alturas establecidas, el método analítico sintético es aplicado para la obtención de información de diferentes fuentes bibliográficas como libros, internet, manuales, que servirán de apoyo para la elaboración del proyecto, y finalmente a través del método de análisis de datos, se podrá determinar las alturas en las que el motor seleccionado tiene menores o mayores valores de emisión de gases de escape con el sistema de inyección directa a gasolina. Luego de realizar los procesos de medición y el análisis de emisiones de gases contaminantes, los resultados indican una disminución de CO₂ del 15.7 % al 15.38 %; un aumento en los CO del 0.014 % al 0.05 % y de igual forma un aumento en las emisiones de HC de 54.8 ppm a 109.55 ppm, a medida que la altura incrementa de los 20 a 2755 m s n. m. Además, al realizar la comparación del porcentaje de gases contaminantes emitidos en la Costa y Sierra Ecuatoriana se obtiene que a diferencia del CO₂ existe una menor emisión de CO y HC en la Costa, mientras que las emisiones de CO y HC son mayores en la Sierra con un porcentaje del 39.78 % y 22.31 %, respectivamente; pero, las emisiones del CO₂ son menores en un 0.72 %.

ABSTRACT

In the present investigation, the analysis of the exhaust gas emissions of a direct injection gasoline electronic engine at different heights above sea level is carried out in order to know the percentage of carbon monoxide (CO) emissions, carbon dioxide (CO₂) and hydrocarbons (HC) emanating from the GDi engine in the following locations: Las Peñas (20 m s n. m.), Ibarra (2175 m s n. m.) and Zuleta (2755 m s n. m.). For this type of research, the practical methods of measurement, synthetic analytics and data analysis were used. By means of the measurement method, the data of the exhaust gas values emitted by the engine at the different established heights are obtained, the synthetic analytical method is applied to obtain information from different bibliographic sources such as books, internet, manuals, which will serve of support for the elaboration of the project, and finally through the data analysis method, it will be possible to determine the heights in which the selected engine has lower or higher exhaust gas emission values with the direct gasoline injection system. After carrying out the measurement processes and the analysis of polluting gas emissions, the results indicate a decrease in CO₂ from 15.7 % to 15.38 %; an increase in CO from 0.014 % to 0.05 % and likewise an increase in HC emissions from 54.8 ppm to 109.55 ppm, as the height increases from 20 to 2755 m s n. m. In addition, when comparing the percentage of polluting gases emitted in the Ecuadorian Coast and Sierra, it is obtained that, unlike CO₂, there is a lower emission of CO and HC on the Coast, while CO and HC emissions are higher in the Sierra with a percentage of 39.78 % and 22.31 %, respectively; but, CO₂ emissions are less by 0.72 %.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se ha buscado estrategias o sistemas que permitan la reducción de consumo de combustible y con ello la emisión de gases contaminantes ocasionados por la combustión de la mezcla aire-combustible, de esta manera, el sistema de inyección directa a gasolina es una de las alternativas que gracias a su implementación permite mejorar notablemente el consumo y emisión de gases.

En el presente estudio se analiza las emisiones de gases contaminantes como el monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarburos emanados del motor de inyección directa, en Las Peñas (20 m s n. m.), Ibarra (2175 m s n. m.) y Zuleta (2755 m s n. m.). El proyecto se divide en cuatro capítulos detallados a continuación:

El primer capítulo detalla el objetivo principal y los específicos, la justificación y alcance de la investigación, así como el marco contextual del problema, conceptos, funcionamiento y elementos constitutivos de un motor de inyección directa a gasolina.

En el segundo capítulo se describe la metodología aplicada en el desarrollo de la investigación, así como los equipos utilizados para su ejecución y el procedimiento seguido para la obtención de los valores de gases de escape emitidos por el motor en las diferentes alturas y régimen determinado.

En el tercer capítulo se realiza la comparación de los resultados obtenidos en la medición de gases de escape del motor de inyección directa con la finalidad de conocer las características que presenta esta tecnología en la reducción de emisiones de gases contaminantes. Además, se realiza un análisis comparativo de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC) en las alturas de 20, 2175 y 2755 m s n. m., mismos que permitirán realizar un diagnóstico del estado del motor.

Finalmente, en el cuarto capítulo se detalla las conclusiones y recomendaciones del proyecto realizado, en relación a las emisiones de gases de escape emitidos por el motor de inyección directa en las diferentes alturas de funcionamiento.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar las emisiones de los gases de escape de un motor electrónico a gasolina a diferentes alturas sobre el nivel del mar.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar y comparar la cantidad de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e hidrocarburos (HC) emanados por el motor de inyección directa, en las Peñas (20 m s n. m.), Ibarra (2175 m s n. m.) y Zuleta (2755 m s n. m.).
- Diagnosticar el funcionamiento del motor por medio del análisis de los gases de escape.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Al realizar el análisis de los gases de escape a diferentes alturas sobre el nivel del mar, aportará información sobre la cantidad de monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarburos emanados por el motor GDi, funcionando a diferentes regímenes de giro, lo que permitirá realizar un diagnóstico del estado de funcionamiento del mismo.

El estado de los elementos electrónicos que constituyen el motor con sistema de inyección electrónica influye de manera directa en las emisiones de gases de escape, es decir, si algún elemento se encuentra en malas condiciones de funcionamiento no permitirá obtener una correcta formación de la mezcla y posterior combustión, ocasionando mucha variación en los valores de los gases de escape como CO, CO₂ y HC.

Mediante los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo el proyecto se relaciona con el siguiente artículo “3.4 Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la

contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global” (Plan Nacional de Desarrollo, 2017-2021).

Ecuador se proyecta con una gestión ambiental proactiva hacia el campo de las relaciones internacionales para ser un referente regional en la agenda ambiental global, y de forma práctica, llevar propuestas de instrumentos económicos y regulatorios para frenar las emisiones de gases de efecto invernadero en los países emisores.

Luego de realizar estos análisis se podrá considerar algunas soluciones adecuadas para disminuir el problema de contaminación mejorando los controles y convirtiéndolos en métodos más eficaces y modernos en la administración de nuestros recursos naturales, de esta forma evitar que las futuras generaciones corran riesgos en la salud por efecto de la contaminación.

1.3 ALCANCE

El presente trabajo de grado fue de carácter descriptivo y constructivo, en el que se analizó la cantidad de gases de escape emitidos por el motor a diferentes alturas para comparar las normativas y protocolos de ensayo que se trabajan con las normas INEN en vehículos livianos y que sirvan de aporte para la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica Del Norte, así también, se estableció el equipamiento y la metodología a implementar para el análisis de gases de escape emitidos por el motor con sistema de inyección directa.

A través de la información recopilada en el presente proyecto se abordó información detallada acerca de:

- Elaborar un análisis para verificar el correcto funcionamiento del motor.
- Realizar una comparación de gases contaminantes que son producidos por un vehículo liviano a diferentes alturas.
- Determinar el porcentaje de gases contaminantes que emana un vehículo.

El proyecto se realizó en las regiones; sierra y costa, obteniendo como resultado la información necesaria para la elaboración de un análisis y comparación de datos.

1.4 ANTECEDENTES

Mediante el constante cambio climático que ha venido surgiendo en las últimas décadas, se ha podido observar varios factores que afectan no solo a los habitantes, sino al medio ambiente, la principal fuente de contaminación es producida a través del transporte vehicular, debido a que el uso del mismo ha provocado que la fuente de emisiones de gases contaminantes aumente notablemente.

Los vehículos son principales generadores de gases de efecto invernadero, estos gases se encuentran de forma natural en la capa atmosférica, los mismos que tienen la función de regular la temperatura del planeta, pero el aumento del parque automotor ha provocado grandes consecuencias en el cambio climático (Benavides Ballesteros & León Aristizabal, 2007)

Los gases productos de la combustión como el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), son causantes de serios problemas en la salud del ser humano, ocasionando diferentes complicaciones médicas, como: problemas respiratorios, cardiovasculares, cáncer, entre otras enfermedades (El Tiempo, 2013). El incremento considerable de estos tipos de gases ha generado que aumenten los índices de temperatura en comparación a años anteriores, el CO₂ es el más contribuyente al cambio climático, supone el 80 % de las emisiones totales, a través de la incineración de combustibles fósiles como el petróleo (PNUMA, ORGANIZACION MUNDIAL DEL COMERCIO, 2009).

Entre los fenómenos económicos de mayor preocupación a nivel continental y mundial se encuentra la contaminación del aire provocados por las distintas fuentes industriales y en particular por las emisiones de gases de escape que provienen de los vehículos, afectando a los centros urbanos (Ellinger, 1992).

Según estadísticas internacionales permiten conocer que, en las grandes ciudades de Latinoamérica, la contaminación producida en el aire por vehículos particulares y de transporte público es del 75 %, además de otras fuentes de contaminación como las industriales con 6 %, la generación de energía termoeléctrica con 4 % y otras fuentes como la descomposición de la basura con un 15 %. Según estos datos se llega a la conclusión que Latinoamérica es el mayor causante de contaminación comparado con Europa, que tiene aportes de contaminantes por automotores de solo el 55 % (Delgadillo, 2003).

En los últimos años, la industria automovilística ha sufrido un gran incremento debido a la expansión demográfica, la reducción de costos en la producción por competencias tecnológicas y la apertura de grandes mercados en los países del tercer mundo para los vehículos usados particularmente en Latinoamérica y notoriamente en Ecuador.

Los vehículos funcionan en base a varios factores energéticos y combustibles entre los cuales el más utilizado en el medio local es la gasolina, seguido por el diésel, existiendo además combustibles alternativos como el GLP, etanol, gas natural, metanol, hidrógeno, etc., que provienen de fuentes fósiles y que tiene como finalidad reducir las emisiones contaminantes, sin embargo en el Ecuador este tipo de combustibles alternativos aún no se desarrollan potencialmente (Ortiz, 2003).

Las emisiones de gases contaminantes producidas por el sector del transporte afectan notablemente en la salud de las personas afligiendo principalmente al sistema respiratorio, por tal motivo, el programa de Transporte, Salud y Medio Ambiente copatrocinado por la Organización Mundial de Salud ha desarrollado un modelo de cooperación multisectorial y regional entre los Estados miembros, elaborando directrices sobre la calidad del aire y recomendando límites máximos de exposición a sus principales factores contaminantes que giran alrededor del sector de transporte (Guías de calidad, 2005).

1.5 EL VEHÍCULO Y EL AMBIENTE

El transporte es el principal medio de contaminación en las diferentes ciudades, tanto por los gases emitidos como por el ruido generado. El sector del transporte es el único campo que ha registrado valores importantes de incremento de CO₂ en los últimos años, además de otros contaminantes específicos como: vapor de agua, CH₄, N₂O, O₃, hidrocarburos no quemados y así también compuestos orgánicos volátiles (Lina Manjarrez, 2011, pág. 29).

La mayor parte de los elementos de la quema de combustibles derivados del petróleo en el motor de combustión interna son emitidos a través del sistema de gases de escape y constituyen una de las principales fuentes de contaminación en el medio ambiente. Si en la etapa de la combustión, la mezcla estequiométrica aire/combustible es quemada en su totalidad se obtuviera únicamente CO₂, H₂O y N₂, que son considerados como elementos no contaminantes; pero un motor durante su funcionamiento depende de varios factores como

el tipo de gasolina, cantidad de aire que ingresa a la admisión, no se puede obtener una combustión completa por lo que se forman otros gases que llegan a ser considerados altamente tóxicos (Lina Manjarrez, 2011, pág. 31).

A causa de su elevado grado de industrialización en países desarrollados, la cantidad de vehículos que circulan son los responsables del 30 % - 90 % de la totalidad de gases contaminantes producidos por sus motores, que además de los gases mencionados, existe la emisión de pequeñas cantidades de dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno y compuestos de plomo que afectan a la calidad del aire (Fernández, 2005, pág. 98).

1.6 GASES EMITIDOS POR MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

El motor de combustión interna durante su funcionamiento, no tiene la capacidad de quemar en su totalidad el combustible en los cilindros. Pero si la combustión incompleta no es regulada en el motor, mayor será la cantidad de gases contaminantes expulsados a través del sistema de escape hacia la atmósfera (Carreras, Álvarez Flórez, & Callejón , 2005, pág. 338).

Dentro de los gases producidos en la combustión, existen algunos que son nocivos para la salud.

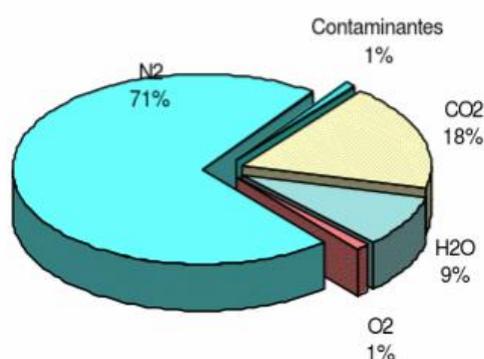


Figura 1.1 Composición de los gases de combustión
(Carreras, Álvarez Flórez, & Callejón , 2005, pág. 339)

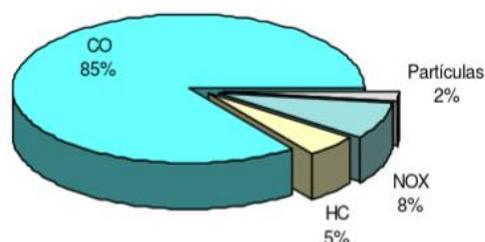


Figura 1.2 Composición de los gases contaminantes
(Carreras, Álvarez Flórez, & Callejón , 2005, pág. 340)

1.6.1 GASES TÓXICOS

Este grupo de contaminantes está formado principalmente por los siguientes compuestos:

- **Monóxido de carbono.** Este compuesto en concentraciones altas y en largos tiempos de exposición puede ocasionar en la sangre la transformación irreversible de la molécula Hemoglobina, que es la encargada de transportar el oxígeno hacia las diferentes células del organismo. Por esta razón las concentraciones de CO mayores al 0,3 % resultan mortales para el ser humano (Carreras, Álvarez Flórez, & Callejón , 2005, pág. 341).
- **Los hidrocarburos.** Dependiendo de la estructura molecular de este compuesto presenta varios efectos nocivos, como es el caso del Benceno, que es un compuesto venenoso por sí mismo y la exposición a este tipo de gas puede provocar irritaciones en la piel, conductos respiratorios y ojos, incluso llegando a provocar mareos, depresiones, dolores de cabeza. La presencia de este compuesto se debe a los componentes no quemados de la mezcla o a las reacciones intermedias realizadas en el proceso de la combustión. La presencia simultánea de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y rayos ultravioleta conducen a la formación del smog, que trae consecuencias graves en la salud de los seres vivos.
- **Óxidos de nitrógeno.** Este compuesto no solo irrita la mucosa sino que al combinarse con los hidrocarburos presentes en el smog y la humedad del aire, producen ácidos nitrosos, que luego caen a la tierra en forma de lluvia ácida contaminando grandes áreas situadas muchas veces a kilómetros del lugar de origen de la contaminación (Carreras, Álvarez Flórez, & Callejón , 2005, pág. 341).

1.6.2 GASES NO TÓXICOS

Este grupo de contaminantes está formado principalmente por los siguientes compuestos:

- **Nitrógeno.** Es un tipo de gas inerte que está presente en una concentración del 79 % en el aire que respiramos. Por las altas temperaturas generadas en el motor, este elemento se oxida formando cantidades pequeñas de óxido de nitrógeno.
- **Oxígeno.** Es uno de los principales elementos para producir la combustión y se encuentra en el aire a una concentración del 21 %. Si la mezcla que ingresa al motor es demasiada rica o pobre, el oxígeno no podrá oxidar los enlaces de hidrocarburos, siendo expulsado con los demás gases de escape (Carreras, Álvarez Flórez, & Callejón, 2005, pág. 340).
- **Vapor de agua.** Se produce por la combustión, mediante la oxidación del hidrógeno y es liberado con los gases de escape.
- **Dióxido de carbono.** Este compuesto se produce por la combustión completa del carbono y no resulta nocivo para el ser humano, además de ser una fuente de alimentación para las plantas gracias al proceso de la fotosíntesis. Este compuesto es consecuencia de la combustión, es decir, cuanto mayor sea su concentración mejor es la combustión.

1.7 SISTEMA DE INYECCIÓN DIRECTA

En la actualidad se ha buscado estrategias o sistemas que permitan la reducción de consumo de combustible y con ello la emisión de gases contaminantes ocasionados por la combustión de la mezcla. Los motores a gasolina han disminuido drásticamente el consumo y la cantidad de gases emitidos, gracias a la implementación del sistema de inyección directa de gasolina que permite la reducción del consumo de un 20 %, e incluso llegar hasta el 40 % de reducción en 700 rpm (Pardiñas, 2012, pág. 186).

En el sistema de inyección directa, el combustible es inyectado directamente en la cámara de combustión, a una presión muy elevada debido a la alta presión suministrada a un riel común en el que se encuentran los inyectores. La presión del combustible puede oscilar entre los 30 y 150 bares (Pardiñas J., 2012, pág. 186).

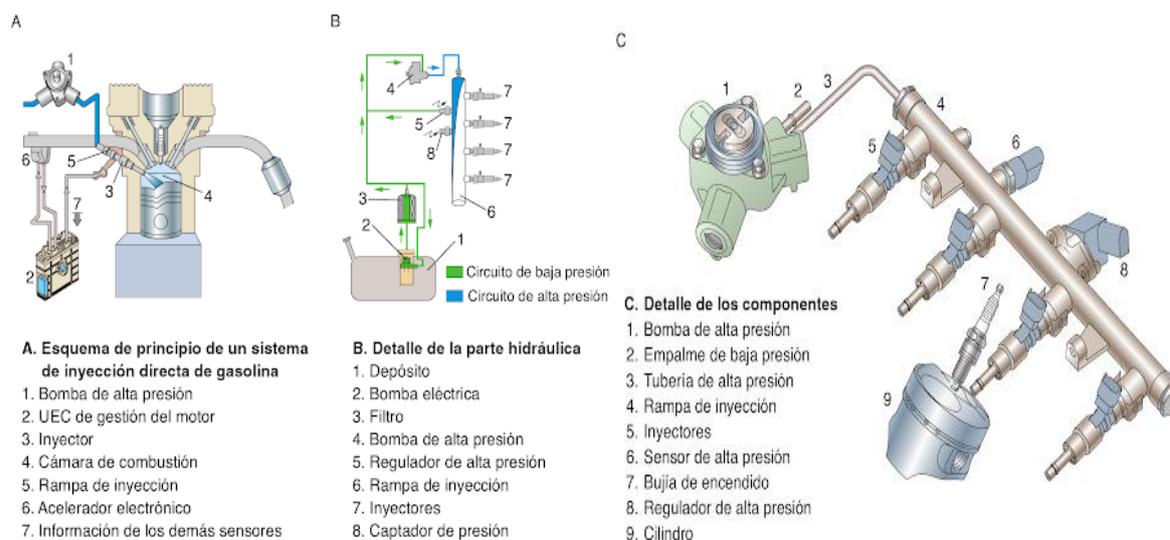


Figura 1.3 Sistema de inyección directa
(Pardiñas J. , 2012, pág. 186)

El tiempo de la inyección, el inicio y la presión de la misma son determinados constantemente por la unidad electrónica de control en función del régimen del motor, apertura de la mariposa de aceleración, temperatura del motor. El sistema electrónico a través de la ECU regula el funcionamiento del motor y para la entrega de par existe parámetros de orden interior y de exterior para una excelente operación del sistema y del vehículo (Riesco-Ávila, 2009, pág. 35). Estos parámetros se muestran en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Parámetros de funcionamiento

Parámetros de funcionamiento	
Orden interior	Orden exterior
Arranque del motor	Tipo de manejo del conductor
Calefacción del catalizador	Cambio automático
Regulación de 700 rpm	Sistema de frenos (regulación antideslizamiento de la tracción, regulación del par de inercia del motor)
Limitación de potencia	
Limitación del régimen	
Regulación lambda	

Fuente: (Milla, 2016)

1.7.1 SISTEMA DE ADMISIÓN

El sistema de admisión ha sido adoptado de acuerdo a las necesidades del motor de inyección directa, en especial a que este sistema influye en forma especial en el flujo de aire en el cilindro de acuerdo al modo de funcionamiento. En este sistema se cuenta con las siguientes modificaciones:

- 1) Medidor de flujo de aire por película caliente con sensor de temperatura de aire.
- 2) Sensor de presión en el colector de admisión para el cálculo de los gases a

recircular.

- 3) Control para las chapaletas en el colector de admisión.
- 4) Electroválvula de recirculación de gases de escape.
- 5) Sensor de presión para el servofreno con la finalidad de regular la depresión de frenado.
- 6) Unidad de mando de la mariposa.
- 7) Depósito de carbón activo.

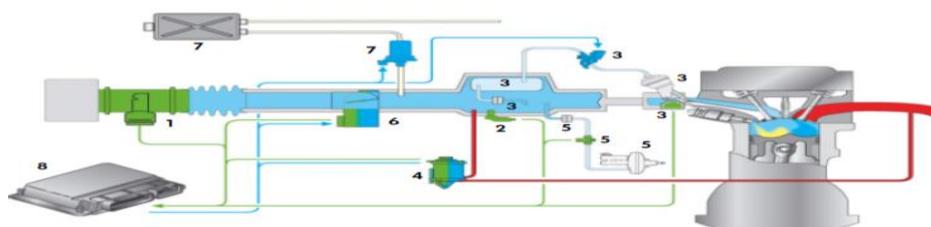


Figura 1.4 Sistema de admisión
(Volkswagen, 2002, pág. 21)

1.7.1.1 Acelerador electrónico

El funcionamiento de este elemento permite regular la válvula de la mariposa de forma independiente a la posición del pedal del acelerador y en los modos de operación estratificado y homogéneo-pobre es posible abrirla a mayor magnitud. La mayor ventaja que presenta son las pérdidas por estrangulamiento permitiendo que el motor aspire aire con menor resistencia y de esta forma reduciendo el consumo de combustible (Rovira de Antonio & Muñoz Domínguez, 2015, pág. 54). En la figura 1.5 se puede observar la forma de funcionamiento de la mariposa de aceleración en los diferentes modos de operación.

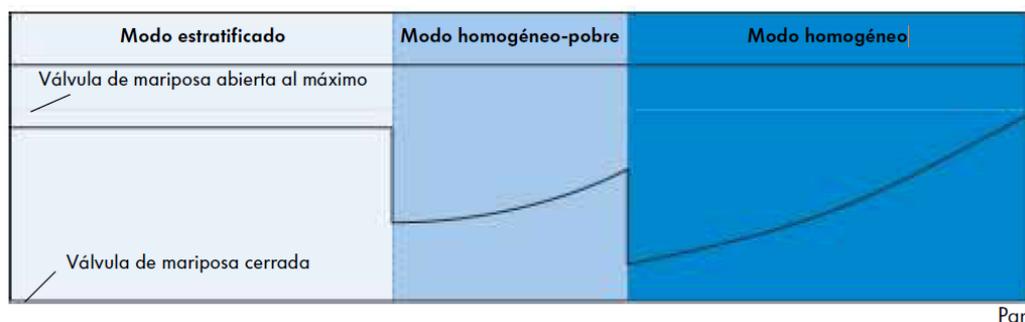


Figura 1.5 Funcionamiento acelerador electrónico
(Volkswagen, 2002, pág. 23)

Los rangos de funcionamiento en el motor son registrados a través de los sensores de posición del acelerador y son transmitidos a la unidad de control, además, estas señales

permiten calcular el par necesario para implementarlo a través de los actuadores. En la tabla 1.2 se observa los rangos de funcionamiento del sensor del acelerador electrónico.

Tabla 1.2 Rangos de funcionamiento acelerador electrónico

Elemento	Condición de inspección		Condición normal de funcionamiento
Sensor de posición del acelerador	Encendido switch: "prendido"	Acelerador inactivo	0.335V – 0.935V
		Acelerador completamente abierto	4.4V – 5.3V

Fuente: (Mitsubishi, 2003, pág. 36)

1.7.1.2 Circuito de la chapaleta en el colector de admisión

Es utilizado para gestionar el flujo de aire en el cilindro de acuerdo al modo operativo del motor y se encuentran en los elementos inferior y superior del colector de admisión. En la siguiente figura se muestra el margen en el que se encuentra accionada la chapaleta del colector de admisión de acuerdo al modo de operación (Volkswagen, 2002, pág. 24).

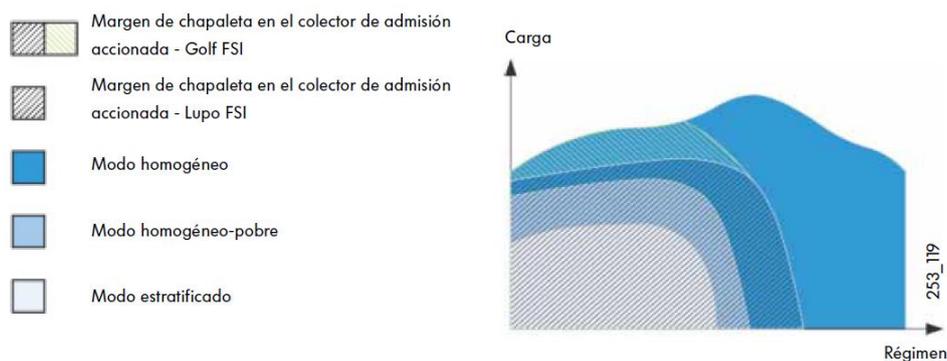


Figura 1.6 Funcionamiento chapaleta del colector de admisión (Volkswagen, 2002, pág. 24)

Se tiene diferentes formas de funcionamiento de la chapaleta del colector de admisión permitiendo mejoras en los distintos modos de operación. En la tabla 1.3 se muestra el funcionamiento con la chapaleta accionada y sin accionar.

Tabla 1.3 Funcionamiento de la chapaleta

Chapaleta del colector de admisión		
Accionamiento	Modo de operación	Descripción
Accionada	Estratificado y homogéneo-pobre	El aire fluye únicamente por el conducto superior aumentando la velocidad de flujo y mejoras en la formación de la mezcla.
No Accionada	Cargas y regímenes superiores en el modo homogéneo	El aire fluye por los dos conductos permitiendo la entrega de un par más intenso y una alta potencia.

Fuente: (Volkswagen, 2002, pág. 24)

1.7.1.3 Sensor de masa de aire con IAT

Los dos sensores se encuentran ubicados en el trayecto de la admisión y se encarga de medir la cantidad de aire aspirado debido a la apertura y cierre de las válvulas de admisión, además, la temperatura del aire es utilizado como valor de corrección (Rodríguez, 2012, pág. 56).

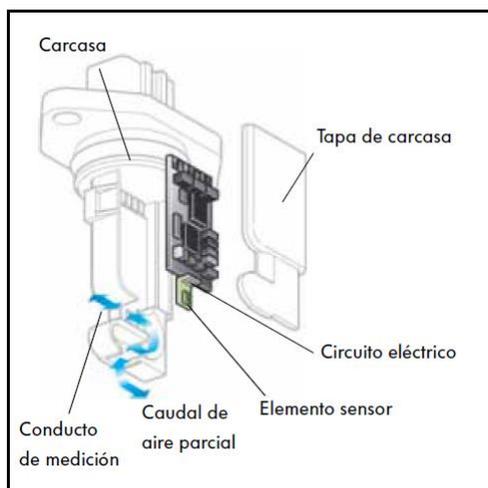


Figura 1.7 Sensor de masa de aire
(Volkswagen, 2002, pág. 25)

Las señales del sensor se utilizan para el cálculo del tiempo de inyección, momento de encendido y el sistema de depósito de carbón activo. El sensor está estructurado por una película caliente y un conducto de material plástico y se encarga de transmitir la señal a la unidad electrónica de control. En la tabla 1.4 se muestra los rangos de funcionamiento del sensor IAT y MAF.

Tabla 1.4 Rangos de funcionamiento sensor IAT y MAF

Artículo	Condición de inspección	Condición normal de funcionamiento	
Sensor de temperatura del aire de admisión	Switch encendido: "ON"	Temperatura del aire de admisión es -20°C (-4°F)	3.8V – 4.4V
		Temperatura del aire de admisión es 0°C (32°F)	3.2V – 3.8V
		Temperatura del aire de admisión es 20°C (68°F)	2.3V – 2.9V
		Temperatura del aire de admisión es 40°C (104°F)	1.5V – 2.1V
		Temperatura del aire de admisión es 60°C (140°F)	0.8V - 1.4V
		Temperatura del aire de admisión es 80°C (176°F)	0.4V – 1V
Sensor de volumen de flujo de aire	Motor: inactivo	2.2V – 3.2V	
	Motor: 2500 r/min		

Fuente: (Mitsubishi, 2003, pág. 38)

1.7.1.4 Sensor de presión en el colector de admisión

Se encuentra en la parte superior del colector de admisión y se encarga de medir la presión en el colector para transmitir la señal correspondiente a la unidad de control del motor. A través de este sensor se detecta la presión y la carga durante el arranque del motor debido a que en esos momentos las señales del medidor de masa de aire son demasiadas inexactas (Volkswagen, 2002, pág. 42).

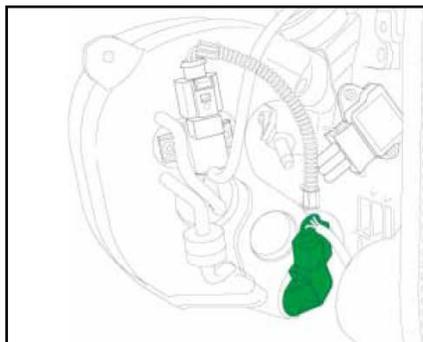


Figura 1.8 Sensor de presión en el colector
(Volkswagen, 2002, pág. 25)

La medida de la presión se realiza con la ayuda de una membrana de cristales de silicio con resistencias extenso métricas, cuyo valor de resistencia varía de acuerdo a la deformación de la membrana, además, el vacío de referencia es utilizado para la comparación de presiones y con la variación de la tensión de las señales la ECU detecta la presión en el colector de admisión. En la tabla 1.5 se indica la variación de voltaje del sensor de presión.

Tabla 1.5 Variación de voltaje del sensor de presión

Artículo	Condición de inspección		Condición normal de funcionamiento
Sensor de presión del colector	Encendido switch: "Prendido"	Cuando la altitud es 0 m (0 ft)	3.7V – 4.3V
		Cuando la altitud es 600 m (1,969 ft)	3.4V – 4.0V
		Cuando la altitud es 1200 m (3,937 ft)	3.2V – 3.8V
		Cuando la altitud es 1800 m (5,906 ft)	2.9V – 3.5V

Fuente: (Mitsubishi, 2003, pág. 39)

1.7.2 SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE BAJA PRESIÓN

En el funcionamiento de este sistema, la presión oscila entre 0,5 a 5 bares, y en el momento del arranque aumenta hasta los 6,5 bares. El aumento de presión en el arranque del motor también se traduce en un aumento de presión en el sistema de alta, lo que produce una mejor preparación de la mezcla obteniendo un arranque más rápido en frío, y en caliente se

impide la formación de burbujas de vapor en la bomba de alta (Pardiñas J. , 2012, pág. 195). El sistema de baja presión consta de los siguientes elementos:

- a) Unidad de control de la bomba de combustible.
- b) Electrobomba de combustible.
- c) Depósito de combustible.
- d) Sensor de baja presión de combustible
- e) Filtro de combustible y válvula limitadora de presión de 6,8 bares.

1.7.2.1 Electrobomba de combustible

Es el elemento encargado de impulsar el combustible hacia la bomba de alta presión, se encuentra ubicada en el depósito de combustible formando un solo componente con el sensor de nivel. La electrobomba es excitada por la unidad de control de la bomba de combustible que va instalada en la cubierta del mismo elemento a través de una señal PWM, regulando la presión entre 0,5 y 5 bares, así como 6,5 bares en la fase de arranque (Pardiñas J. , 2012, pág. 196).

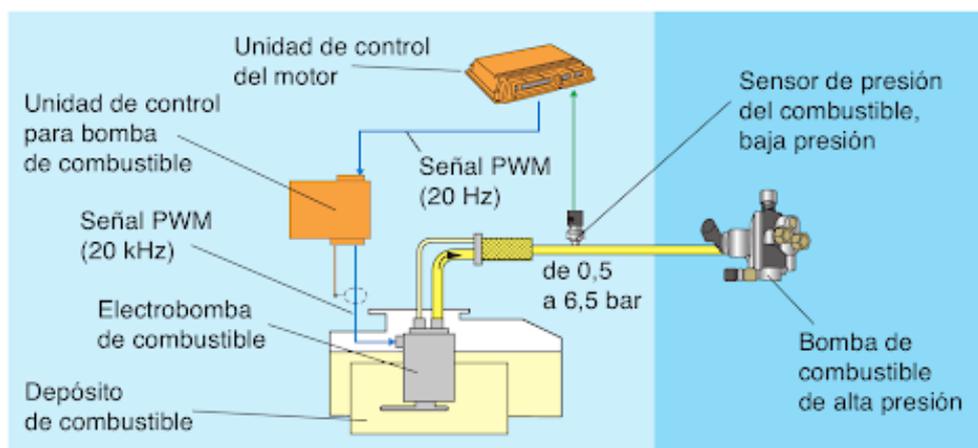


Figura 1.9 Sistema de combustible de baja presión
(Pardiñas J. , 2012, pág. 196)

1.7.2.2 Sensor de baja presión

El sensor de baja presión informa a la unidad de control del motor sobre la presión de combustible y si esta difiere de la presión teórica, ésta transmite una señal a la ECU de la electrobomba hasta que la presión coincida con la programada. Si por algún motivo existen averías en la unidad de control de la electrobomba, el motor no funciona.

Algunos motores no disponen del sensor de baja presión por lo que se utiliza una

programación especial de la ECU del motor, permitiendo adaptar la alimentación eléctrica de la electrobomba a los diferentes estados del circuito. En la calibración la ECU del motor disminuye la velocidad de giro de la bomba a través de la señal que envía la ECU de la electrobomba hasta verificar la disminución de presión en el circuito de alta (Pardiñas J. , 2012, pág. 197).

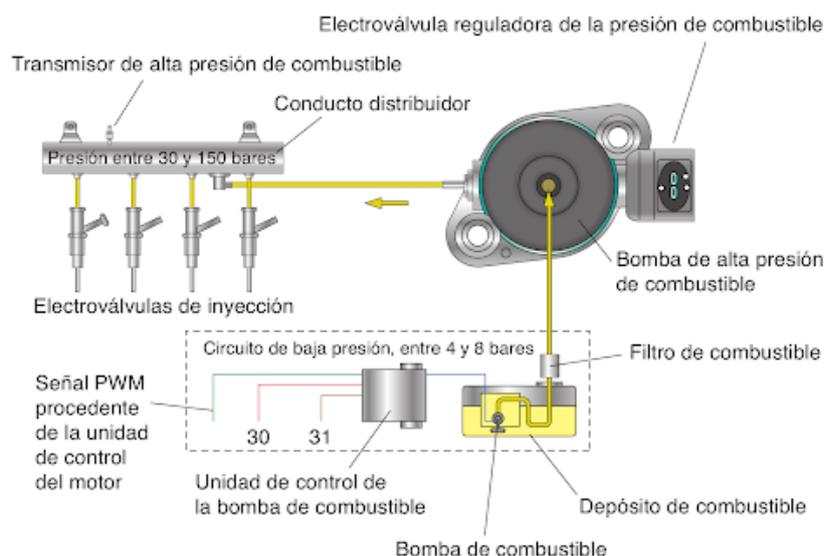


Figura 1.10 Circuito de combustible sin sensor de baja presión
(Pardiñas J. , 2012, pág. 197)

1.7.3 SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE ALTA PRESIÓN

En el sistema de alta presión, el combustible se encuentra sometido entre 30 y 150 bares, aunque este valor puede cambiar de un motor a otro. Este sistema consta de los siguientes elementos:

- a) Bomba de combustible de alta presión.
- b) Válvula reguladora de presión de combustible.
- c) Válvula dosificadora de combustible.
- d) Sensor de alta presión.
- e) Inyectores.

1.7.3.1 Bomba de combustible de alta presión

La bomba de combustible de alta presión está formada con un cilindro único y dosificación regulada que se encarga de generar la presión de combustible de 30 a 150 bares en el sistema de alta presión. Esta presión se ajusta a través de la electroválvula reguladora de

presión que se encuentra ubicada en la propia bomba (Pardiñas J. , 2012, pág. 198).

La unidad de control del motor conoce en todo momento la presión de combustible gracias a la información del sensor de alta, de esta manera puede controlar la electroválvula y ajustar las presiones en el sistema de alta. La bomba de alta presión es accionada por una leva cuádruple ubicada en el extremo del árbol de levas, y por cada vuelta de este elemento se realizan cuatro carreras de la bomba y por lo tanto cuatro inyecciones de combustible (Pardiñas J. , 2012, pág. 198).



Figura 1.11 Bomba de alta presión
(Pardiñas J. , 2012, pág. 198)

Al utilizar una leva cuádruple se permite la reducción de altura de leva disminuyendo la carrera del émbolo y volumen de caudal, de esta manera se reduce el tamaño de la bomba y el sistema se presuriza de forma más rápida con menos fluctuaciones de presión, mejorando la fase de arranque y aceleración. En la siguiente figura se observa las ventajas del progresivo aumento de levas en motores de inyección directa en lo que se refiere a oscilaciones de presión en el circuito (Pardiñas J. , 2012, pág. 198).

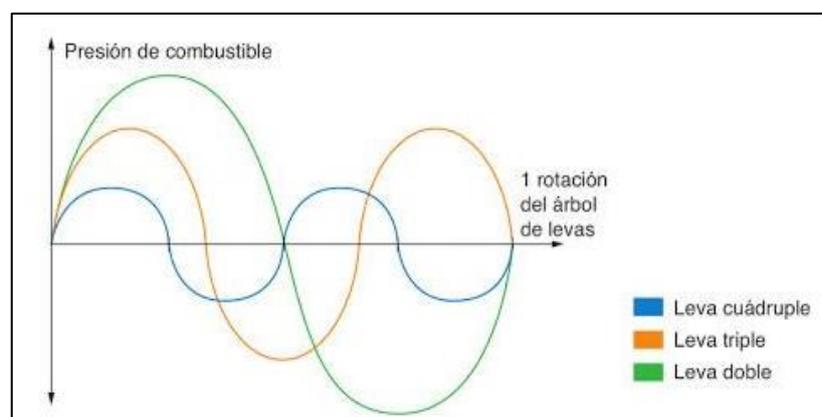


Figura 1.12 Efectos en las oscilaciones de la presión con diferentes levas
(Pardiñas J. , 2012, pág. 198)

1.7.3.2 Sensor de alta presión

Este elemento se encuentra atornillado en el tubo distribuidor y se encarga de medir la presión e informar de la misma a la unidad de control del motor. El sensor registra la presión a través de resistencias piezorresistivas que se encuentran en una membrana de acero. El sensor de presión se encuentra alimentado con 5 voltios y genera una oscilación de tensión de acuerdo a la presión existente que va de 0,5 a 4,8 voltios (Volkswagen, 2002, pág. 30).

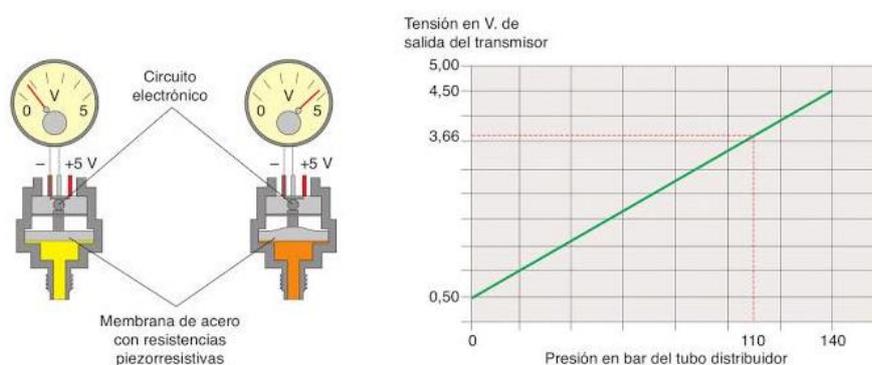


Figura 1.13 Generación de tensión en el sensor de alta presión
(Pardiñas J. , 2012, pág. 201)

La forma de funcionamiento del sensor radica en la flexión de la membrana de acero que se realiza por la acción de la presión de combustible, de esta manera, con presiones altas la membrana tiene más deformación provocando reducción en el valor de las resistencias y por consecuencia un aumento en la tensión de salida. Si la presión es menor ocurre lo contrario (Pardiñas J. , 2012, pág. 201).

1.7.3.3 Inyectores de alta presión

Se encuentran ubicados en la rampa con un pequeño desplazamiento lateral hacia la cámara de combustión y alimentados por la unidad de control electrónica del motor trabajando en las fases de precarga, inicio y mantenimiento. Se encuentran reforzados mecánicamente, debido a que trabajan con elevadas presiones y temperaturas en la cámara de combustión (Pardiñas J. , 2012, pág. 202).

En la fase de precarga, el inyector se prepara para su apertura por lo que la corriente eléctrica en su interior debe ser insuficiente para iniciar el levantamiento de la aguja. Se trabaja con 12 voltios de alimentación a 1 amperio aproximadamente. En la fase de inicio,

la aguja debe subir rápidamente por lo que se alimenta con 75 voltios con una corriente de aproximadamente 12 amperios. Por último, en la fase de mantenimiento se permite continuar con la alimentación a las bobinas del inyector para limitar la potencia eléctrica consumida y la alimentación se produce con una tensión de 12 voltios a 2,5 amperios (Pardiñas J. , 2012, pág. 202).

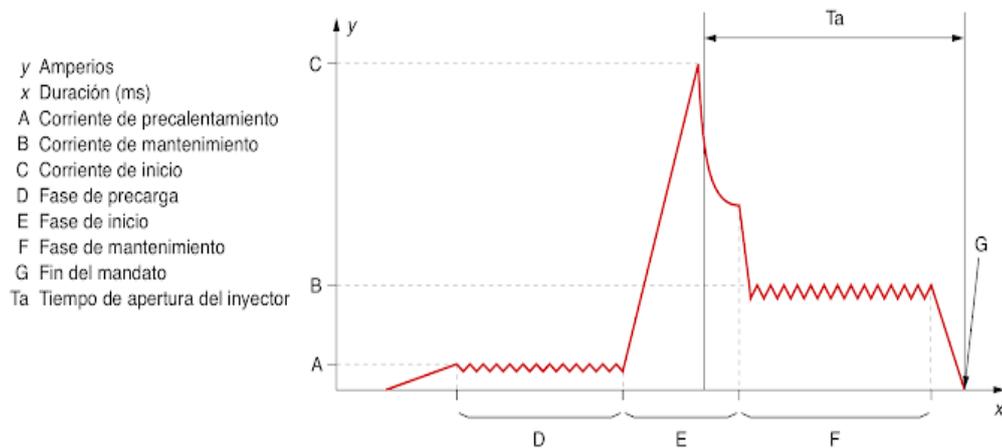


Figura 1.14 Corriente de mando del inyector
(Pardiñas J. , 2012, pág. 202)

Existen inyectores que necesitan otros valores de voltaje para la apertura y este funcionamiento se indica en la siguiente figura con la señal correspondiente.

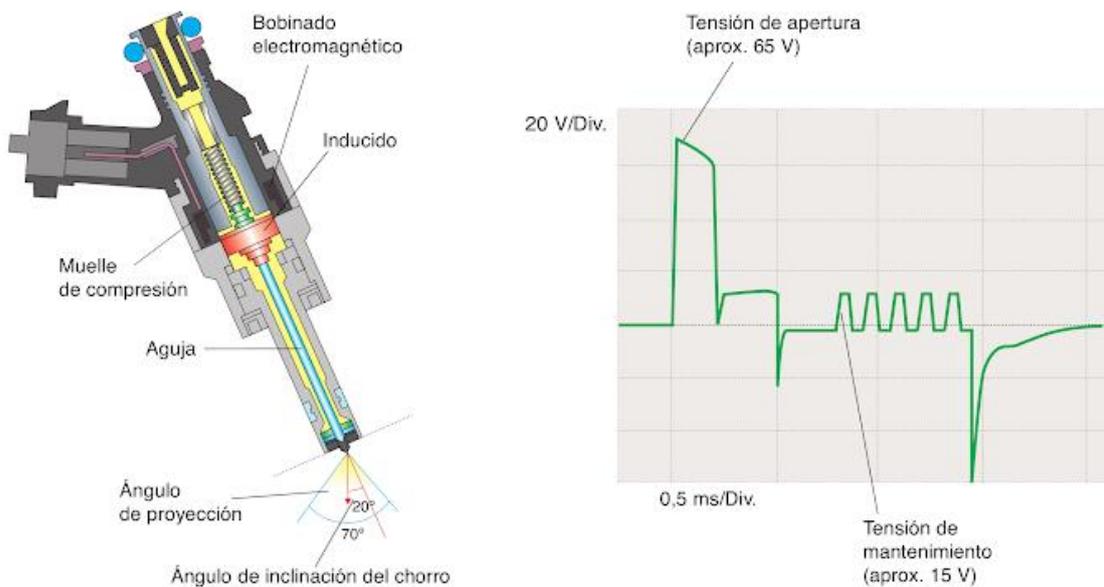


Figura 1.15 Sección del inyector y señal característica
(Pardiñas J. , 2012, pág. 203)

En la figura 1.16 se realiza una explicación del circuito de alta presión del sistema de inyección directa a gasolina con sus diferentes elementos.

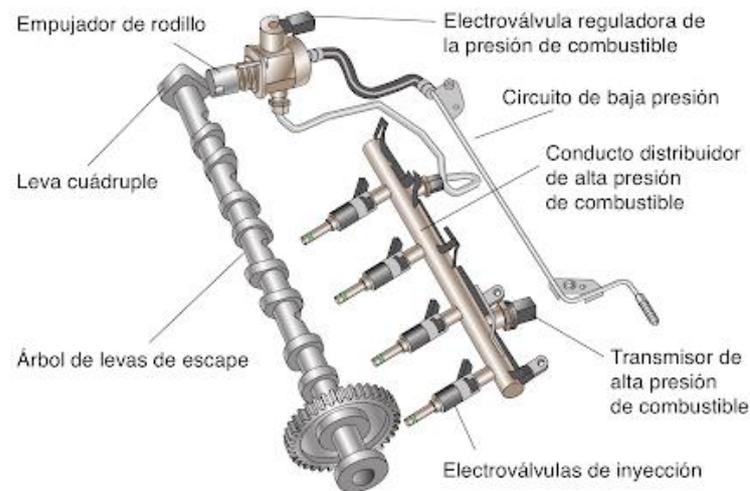


Figura 1.16 Elementos del circuito de alta presión
(Pardiñas J. , 2012, pág. 203)

1.7.3.4 Válvula reguladora de presión de combustible

La válvula reguladora se encuentra ubicada entre el tubo distribuidor de combustible y el retorno hacia el depósito. Este elemento se encarga de establecer la presión en el tubo distribuidor, independiente de la cantidad de combustible inyectada y la enviada por la bomba (Volkswagen, 2002, pág. 35).

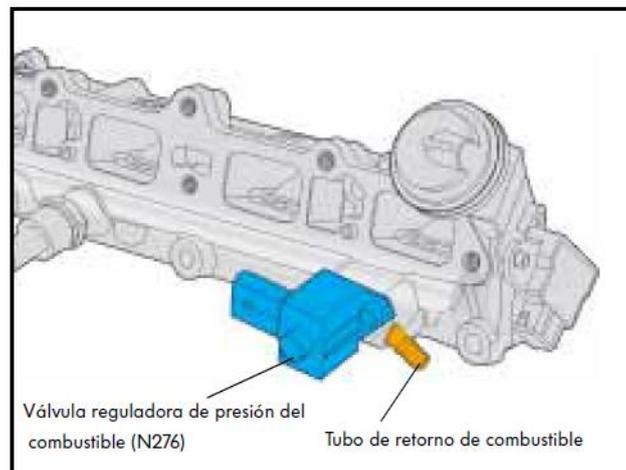


Figura 1.17 Válvula reguladora de presión
(Volkswagen, 2002, pág. 35)

En el funcionamiento si existe diferencia con respecto a la presión teórica en el tubo distribuidor, la unidad de control del motor envía una señal modulada en ancho de pulsos con la finalidad de excitar la válvula reguladora de presión y de esta forma dar paso hacia el retorno regulando a la presión de combustible correspondiente. La válvula abre paso al tener el combustible una presión de 120 bares (Volkswagen, 2002, pág. 36).

1.7.3.5 Válvula dosificadora de combustible

Se encuentra ubicada en el tubo de alimentación hacia la bomba de combustible de alta presión y hacia el regulador de presión de combustible, fijada en la torreta de la suspensión.

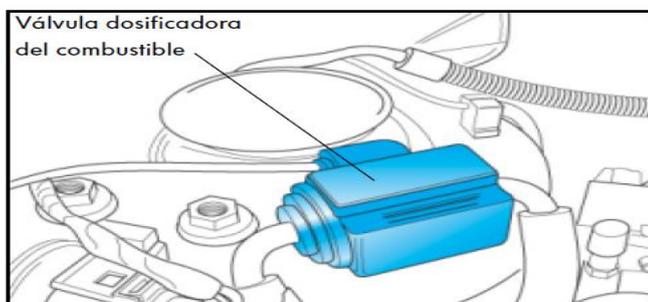


Figura 1.18 Válvula dosificadora de combustible
(Volkswagen, 2002, pág. 36)

En el funcionamiento normal la válvula se encuentra abierta permitiendo el paso de combustible hacia el regulador de presión. Durante el arranque del motor si la temperatura del líquido refrigerante se encuentra mayor a los 110 °C y la temperatura del aire aspirado a 50 °C se trata de un arranque en caliente, lo que hace que la válvula sea excitada durante 50 segundos cerrando el paso hacia el regulador de presión de combustible garantizando una alta presurización en el sistema (Volkswagen, 2002, pág. 36).

1.7.4 SISTEMA DE ESCAPE

El sistema de gases de escape ha sido adoptado a las exigencias de un motor de inyección directa de gasolina, debido a que con un catalizador de tres vías convencional no es posible alcanzar los límites de emisiones de óxidos nítricos en los modos estratificado y homogéneo-pobre (Milla, 2016, pág. 48).

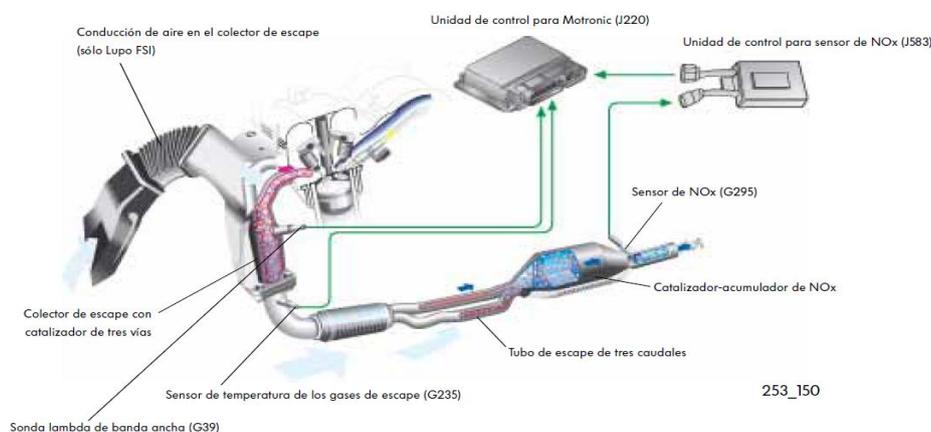


Figura 1.19 Sistema de escape
(Volkswagen, 2002, pág. 41)

Por tal motivo en estos sistemas se ha incorporado un catalizador-acumulador de NOx que se encarga de almacenar los óxidos nítricos en los modos de operación anteriormente indicados. Al momento que el acumulador se llena comienza un modo de regeneración con la finalidad de desprender los óxidos nítricos y transformarlos en nitrógeno.

1.7.4.1 Sonda lambda de banda ancha

Este elemento va atornillado en el colector de escape y es utilizado para determinar la cantidad de oxígeno residual en los gases de escape. Con la sonda lambda de banda ancha se puede determinar de manera más exacta la relación aire combustible, incluso cuando este valor difiere de 1 (Volkswagen, 2002, pág. 43).

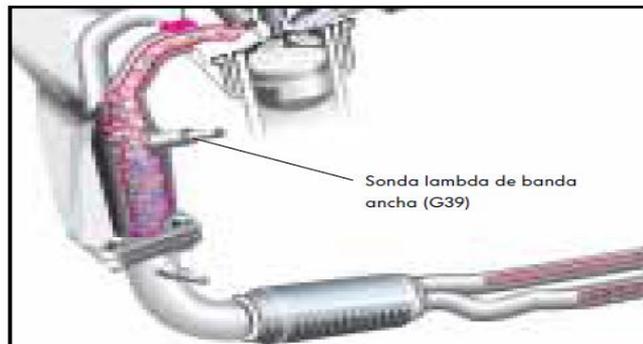


Figura 1.20 Sonda lambda
(Volkswagen, 2002, pág. 43)

En el modo homogéneo pobre es posible establecer de esta forma un valor de lambda de 1,55 y en el modo estratificado determinar por cálculo su valor debido a que son demasiadas inexactas en este sector. Con la señal recibida es posible la regulación del valor lambda teórico a través de la cantidad de combustible inyectado.

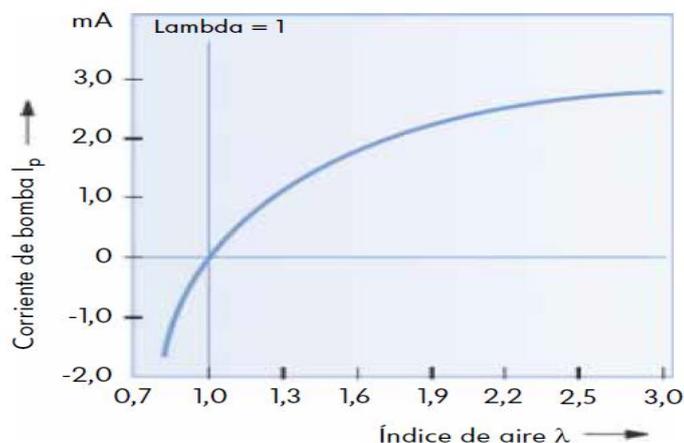


Figura 1.21 Funcionamiento sonda lambda
(Volkswagen, 2002, pág. 43)

1.7.4.2 Catalizador de tres vías

Se encuentra ubicado en el colector de escape y debido a su posición es posible alcanzar rápidamente su temperatura de servicio de alrededor de 700 °C y empieza con la depuración de los gases de escape, permitiendo de esta forma alcanzar los valores permitidos a las emisiones de gases (Milla, 2016, pág. 50).

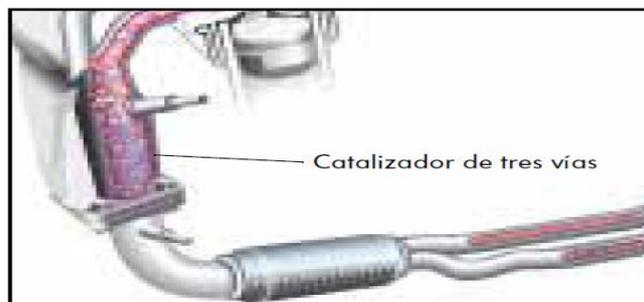


Figura 1.22 Catalizador de tres vías
(Volkswagen, 2002, pág. 44)

El catalizador se encarga de transformar catalíticamente los contaminantes producidos en la combustión a sustancias inofensivas. Su funcionamiento en cada modo de operación se indica en la tabla 1.6.

Tabla 1.6 Funcionamiento catalizador de tres vías

Funcionamiento catalizador de tres vías		
Modo de operación	Valor lambda	Descripción
Modo homogéneo	Igual a 1	Los hidrocarburos y monóxidos de carbono reaccionan con el oxígeno de los NOx, transformándose en agua y dióxido de carbono.
Modo estratificado y homogéneo pobre	Mayor a 1	Los hidrocarburos y monóxidos de carbono reaccionan con el oxígeno abundante en los gases de escape. Los óxidos nítricos pasan hacia el catalizador-acumulador de NOx.

Fuente: (Volkswagen, 2002, pág. 45)

1.7.4.3 Sensor de temperatura de los gases de escape

El sensor se encuentra atornillado en el tubo de escape detrás del pre catalizador y se encarga de medir la temperatura de los gases de escape y transmitir la señal a la unidad electrónica de control para calcular entre otras cosas la temperatura en el catalizador-acumulador de NOx (Volkswagen, 2002, pág. 47).

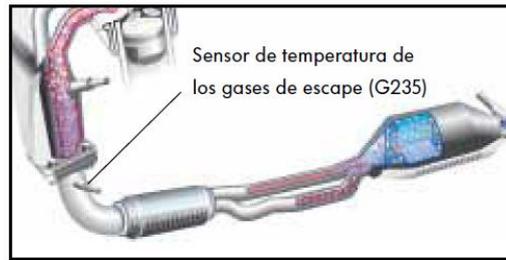


Figura 1.23 Sensor de temperatura de gases de escape
(Volkswagen, 2002, pág. 45)

En el sensor se encuentra una resistencia de coeficiente negativo, lo que significa que a medida que aumenta la temperatura se reduce el valor de la resistencia y la tensión de la señal aumenta. Esto resulta necesario por los siguientes motivos:

- El catalizador-acumulador únicamente puede almacenar los óxidos nítricos a una temperatura de funcionamiento entre 250 °C y 500 °C.
- Para desprender el azufre es necesario que la temperatura en el catalizador-acumulador sea como mínimo de 650 °C.

1.7.4.4 Catalizador-acumulador de NOx

Se encuentra instalado en el mismo lugar que un catalizador de tres vías de tipo convencional desempeñando sus mismas funciones y adicionalmente almacena los óxidos nítricos. En el modo homogéneo el catalizador-acumulador trabaja como un catalizador convencional, por otra parte en el modo estratificado y homogéneo-pobre ya no puede efectuar la conversión de los óxidos nítricos, por lo que los almacena y una vez agotado el espacio de almacenamiento se efectúa el ciclo de regeneración (Milla, 2016, pág. 52).

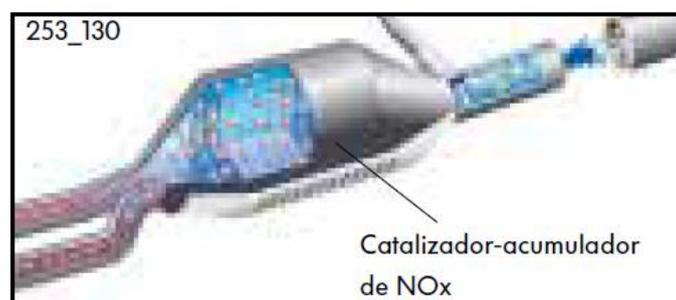


Figura 1.24 Catalizador-acumulador de NOx
(Volkswagen, 2002, pág. 46)

Además de los tres materiales estratificados de platino, rodio y paladio, en el catalizador-acumulador existe una cuarta capa de óxido de bario que permite almacenar los NOx

durante el funcionamiento del motor con mezcla pobre. En la tabla 1.7 se indica la descripción de las fases de acumulación y regeneración que se realizan en el catalizador-acumulador.

Tabla 1.7 Funcionamiento catalizador-acumulador

Funcionamiento catalizador-acumulador		
Fases	Valor lambda	Descripción
Acumulación	Mayor a 1	Los óxidos nítricos se oxidan en el estrato de platino, formando dióxido nítrico y al reaccionar con el óxido de bario forma nitrato bórico.
Desacumulación (regeneración)	Menor a 1	Se reduce el nitrato bórico a óxido de bario al reaccionar con el monóxido de carbono. La presencia de rodio y platino reduce los óxidos nítricos a nitrógeno y convierte el monóxido de carbono a dióxido de carbono.

Fuente: (Volkswagen, 2002, pág. 25)

1.7.4.5 Sensor de NOx

Se encuentra atornillado en el tubo de escape detrás del catalizador-acumulador de NOx y tiene la función de determinar los óxidos nítricos y la cantidad de oxígeno en los gases de escape para transmitir esa señal a unidad electrónica de control (THIESSEN, 2000, pág. 33). Con las señales del sensor se puede comprobar:

- El funcionamiento correcto del catalizador.
- El punto correcto de regulación lambda igual a 1 de la sonda lambda de banda ancha.
- La capacidad de almacenamiento en el catalizador-acumulador de NOx.
- El momento de inicio del ciclo de regeneración de NOx o de azufre.

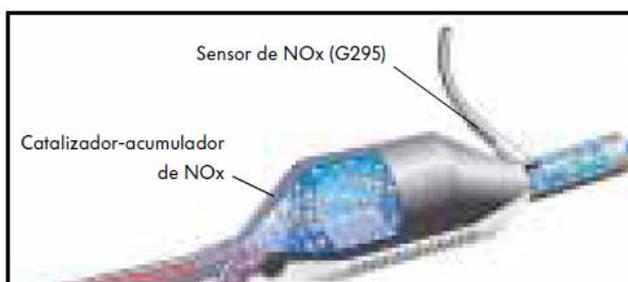


Figura 1.25 Sensor NOx
(Volkswagen, 2002, pág. 48)

El sensor consta de dos cámaras, dos celdas de bomba, varios electrodos y una calefacción, además de dióxido de circonio que, al tener una tensión aplicada, los iones negativos de oxígeno en el electrodo negativo se trasladan hacia el positivo. El funcionamiento de basa en la medición de oxígeno y se indica en la tabla 1.8.

Tabla 1.8 Funcionamiento sensor NOx

Funcionamiento sensor NOx			
# de cámara	Actividad	Regulación de tensión	Descripción
Primera cámara	Determinación del factor lambda	425 mV	Se mide la cantidad de oxígeno en los gases de escape y si el factor lambda no es igual a 1, se extrae o introduce oxígeno.
Segunda cámara	Determinación del contenido de NOx	450 mV	Las moléculas de NOx de los gases de escape exentos de oxígeno se disocian en un electrodo especial, produciendo N ₂ y O ₂ .

Fuente: (Volkswagen, 2002, pág. 49)

1.7.5 EMISIONES

En el funcionamiento del motor con mezcla pobre se produce una mayor cantidad de NOx a comparación de un motor de inyección indirecta, por lo tanto, se instala un nuevo catalizador de NOx, por detrás del catalizador convencional, que se encarga de almacenar los NOx en forma de nitrato (Rovira de Antonio & Muñoz Domínguez, 2015, pág. 58). En la figura 1.26 indica las reacciones de la fase de acumulación, desacumulación y transformación de NOx.

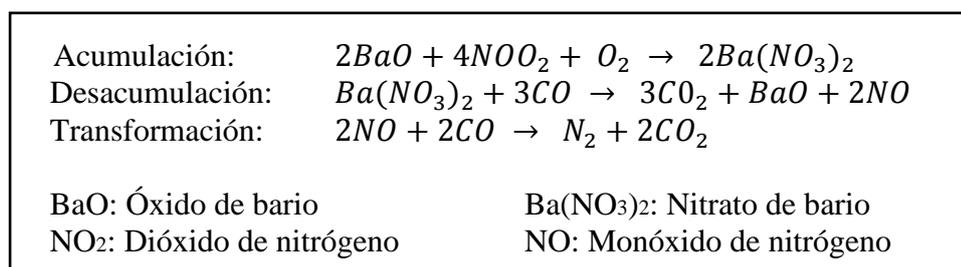


Figura 1.26 Reacciones de la fase de acumulación

(Pardiñas J. , 2012, pág. 188)

Al momento de alcanzar la cantidad permitida de nitratos, la ECU se encarga de gestionar que el motor funcione con mezcla rica durante aproximadamente 3 segundos para que los nitratos se transformen en nitrógeno, por el aporte de hidrocarburos. Al eliminar los

nitratos, el motor puede volver a funcionar con mezcla pobre, es así que el ciclo de almacenamiento y eliminación de los NOx puede llegar a realizarse aproximadamente cada minuto durante el funcionamiento del motor con mezcla pobre (Pardiñas J. , 2012, pág. 188).

En lo que se refiere al catalizador de tres vías se encarga de reducir los NOx generados por las altas temperaturas y presiones que se producen en la cámara de combustión. A continuación, se indica el sistema de escape de un catalizador de tres vías utilizado en el sistema de inyección directa.

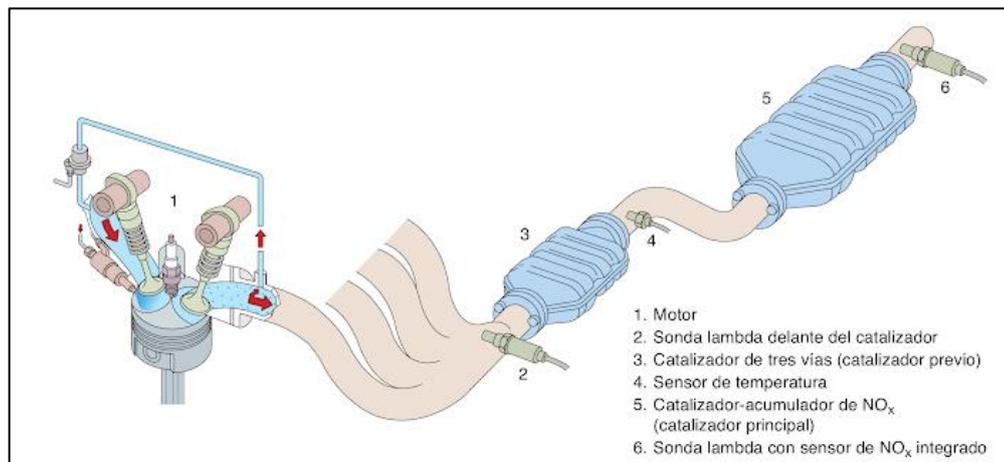


Figura 1.27 Sistema de escape con catalizador de tres vías
 (Pardiñas J. , 2012, pág. 189)

1.7.6 MODOS DE FUNCIONAMIENTO

En el sistema GDi la inyección de combustible se realiza directamente en el interior del cilindro. La selección de una u otra forma de funcionamiento depende del régimen de carga y temperatura del motor, aunque se puede encontrar algunos motores que utilicen solo una de estas formas o dos, combinándolas según convenga (Volkswagen, 2002, pág. 8).

El motor con inyección directa funciona con la mezcla aire-combustible con una proporción aproximada de 14,7:1, lo que se denomina mezcla estequiométrica con coeficiente lambda igual a 1. Esta mezcla puede ser modificada en cierta cantidad en cuanto a la riqueza, sobre todo convirtiéndola en más pobre, proporcionando ventajas en reducción de emisiones y consumo.

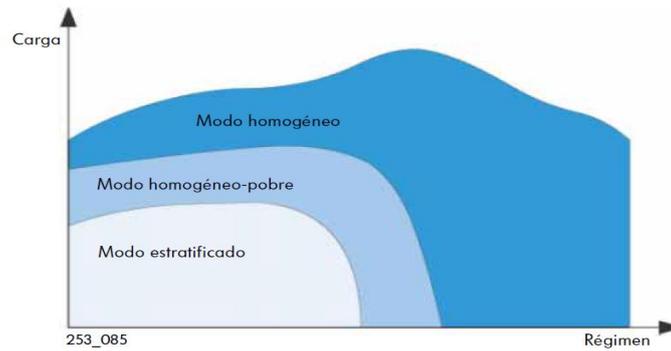


Figura 1.28 Modos de funcionamiento
(Volkswagen, 2002, pág. 8)

En estos sistemas se puede observar tres diferentes formas de funcionamiento: modo estratificado, modo homogéneo y modo homogéneo pobre.

Tabla 1.9 Modos de funcionamiento

Modos de funcionamiento	Regímenes del motor	Relación λ
Modo estratificado	Regímenes medios de carga y revoluciones	Aproximadamente de 1,6 hasta 3
Modo homogéneo-pobre	Transición entre el modo estratificado y el homogéneo	Aproximadamente de 1,55
Modo homogéneo	Cargas y regímenes superiores	Igual a 1

Fuente: (Volkswagen, 2002, pág. 8)

1.7.6.1 Modo estratificado

Este modo del sistema de inyección directa consiste en concentrar la mezcla aire-gasolina cerca de la bujía, a través de un diseño especial en los conductos de la admisión, como también de la cabeza de los pistones y de esta manera llenar la cámara de compresión con aire y gases admitidos por la válvula EGR (Pardiñas J. , 2012, pág. 187). Para que el motor cambie al modo estratificado se deben dar las siguientes premisas importantes:

- El motor debe encontrarse en el régimen de carga y revoluciones correspondientes.
- La temperatura del refrigerante supera los 50 °C.
- El sensor NOx se encuentra dispuesto para el funcionamiento.
- La temperatura del acumulador de NOx se encuentra entre 250 °C y 500 °C.

Con este funcionamiento el motor ofrece una reducción en el consumo de combustible muy significativo y la gasolina se inyecta en la fase de compresión justo antes del momento de encendido. Las fases de este modo de funcionamiento se indican en la figura 1.29.

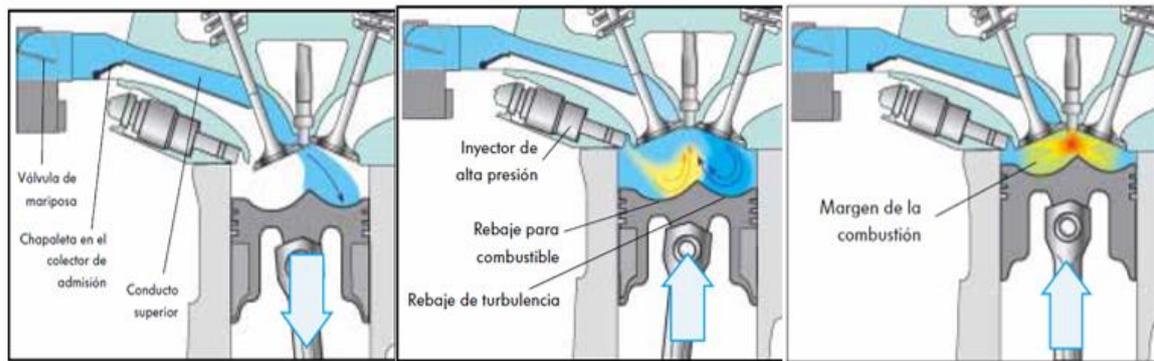


Figura 1.29 Fase de admisión, inyección y combustión en modo estratificado (Volkswagen, 2002, pág. 12)

El control de la carga del motor se realiza a través de la variación del caudal de combustible inyectado, con la mariposa de aceleración abierta aunque el pedal del acelerador no se encuentre accionado, consiguiendo de esta forma llenar el cilindro de forma que el aire que no se consume ayude a incrementar la presión de compresión, incrementando el rendimiento del motor (Pardiñas J. , 2012, pág. 188). En la tabla 1.10 se muestra las características de funcionamiento del modo estratificado.

Tabla 1.10 Características modo estratificado

Modo estratificado	
Admisión	La mariposa se abre lo más posible para reducir pérdidas por estrangulamiento y el aire fluye describiendo un torbellino cilíndrico.
Inyección	Se realiza en el último tercio de la fase de compresión. Comienza a 60° y finaliza a 45° antes del PMS.
Formación de la mezcla	Para la formación de la mezcla se dispone de un ángulo del cigüeñal de 40° a 50° con una buena capacidad inflamable en el centro de la cámara de combustión.
Combustión	En la combustión se inflama la nube de mezcla y los gases restantes actúan como un estrato aislante para reducir pérdidas de calor en las paredes del cilindro y aumentar el rendimiento térmico del motor.
Emisiones	Los HC y CO tienen una reacción con el O ₂ de los NO _x y se transforman en H ₂ O, CO ₂ y N ₂ y el catalizador de NO _x trabaja de forma normal como un catalizador de tres vías.

Fuente: (Volkswagen, 2002, pág. 13)

1.7.6.2 Modo homogéneo-pobre

El motor trabaja en este modo durante la transición del modo estratificado pobre y mezcla homogénea. La relación de la mezcla aire y combustible es aproximadamente $\lambda=1,55$, rigiendo las mismas premisas que el modo estratificado (Pardiñas J. , 2012, pág. 190). Se realizan las siguientes etapas de funcionamiento:

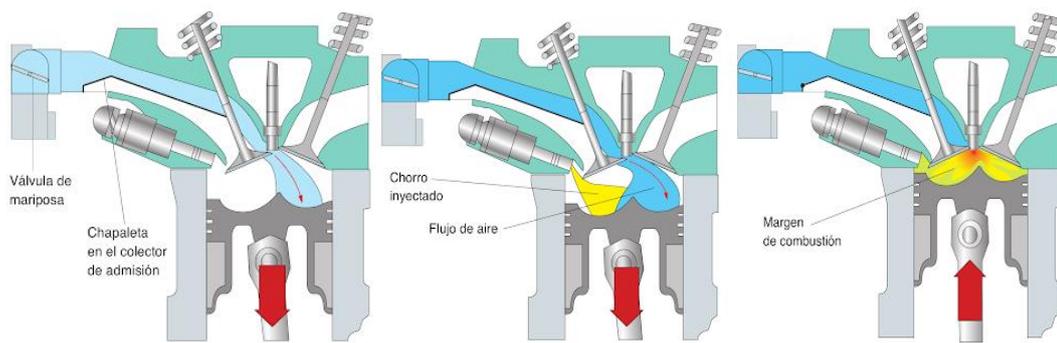


Figura 1.30 Fase de admisión, inyección y combustión en el modo homogéneo-pobre (Pardiñas J. , 2012, pág. 190)

La inyección de combustible se realiza directamente en el cilindro alrededor de unos 300 °C antes del punto muerto superior durante la etapa de admisión. La unidad de control electrónica se encarga de la regulación en la cantidad de combustible inyectado de modo que el factor lambda se aproxime a $\lambda=1,55$, reduciendo el consumo de combustible en relación a $\lambda=1$ con recirculación de gases de escape (Milla, 2016, pág. 34).

Tabla 1.11 Características modo homogéneo-pobre

Modo homogéneo pobre	
Admisión	La mariposa se abre lo más posible para reducir pérdidas por estrangulamiento y existe un flujo intenso de aire en el cilindro.
Inyección	Se realiza la inyección directamente en el cilindro a 300° antes del PMS durante el ciclo de admisión.
Formación de la mezcla	El temprano momento de admisión permite la mejor formación de la mezcla hasta llegar el momento del encendido, obteniendo un reparto homogéneo en la cámara de combustión.
Combustión	Es posible elegir el momento de encendido debido al reparto homogéneo de la mezcla y es posible realizar la combustión en toda la cámara.
Emisiones	Los HC y CO tienen una reacción con el O ₂ de los NOx y se transforman en H ₂ O, CO ₂ y N ₂ y el catalizador de NOx trabaja de forma normal como un catalizador de tres vías.

Fuente: (Volkswagen, 2002, pág. 15)

1.7.6.3 Modo homogéneo

El funcionamiento del modo homogéneo es comparable con el de un motor con sistema de inyección en el colector de admisión, con la diferencia esencial que el combustible es inyectado directamente en el cilindro. El par motor viene determinado por el tiempo de encendido y la masa de aire aspirada, obteniendo de esta forma un factor lambda igual a 1 (Milla, 2016, pág. 31). Las fases de este modo de funcionamiento se indican en la figura 1.31.

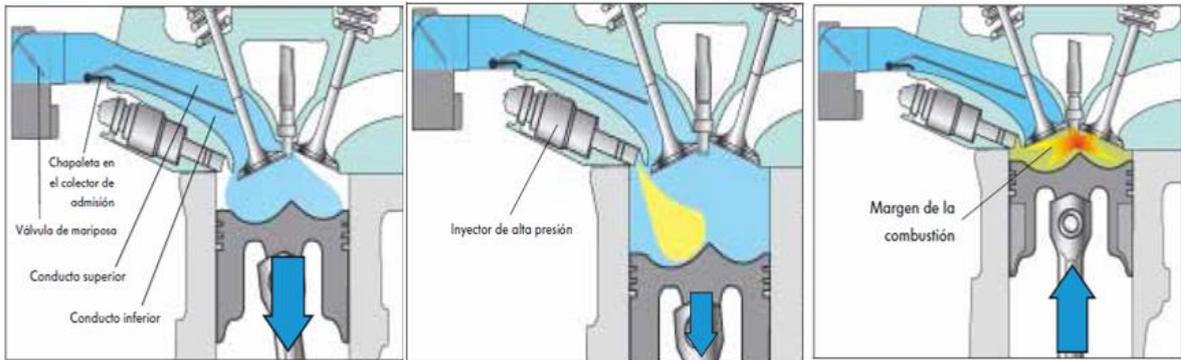


Figura 1.31 Fase de admisión, inyección y combustión en el modo homogéneo
(Volkswagen, 2002, pág. 15)

Este funcionamiento se realiza a cargas y regímenes altos, además, el combustible es inyectado en el cilindro durante el ciclo de admisión para mezclarse uniformemente con el aire aspirado de igual forma como se realiza en los sistemas de inyección en el colector de admisión.

Tabla 1.12 Características modo homogéneo

Modo homogéneo	
Admisión	La mariposa se abre en función del pedal del acelerador, a medida que aumenta la carga y régimen del motor la chapaleta del colector de admisión se abre con la finalidad de dar mayor paso de aire.
Inyección	Se realiza la inyección directamente en el cilindro a 300° antes del PMS durante el ciclo de admisión.
Formación de la mezcla	El temprano momento de admisión permite la mejor formación de la mezcla hasta llegar el momento del encendido, obteniendo un reparto homogéneo en la cámara de combustión, llegando a una relación lambda igual a 1.
Combustión	Con el momento de encendido se influye directamente en el par motor, consumo de combustible y emisiones de gases de escape.
Emisiones	Los HC y CO tienen una reacción con el O ₂ de los NO _x y se transforman en H ₂ O, CO ₂ y N ₂ y el catalizador de NO _x trabaja de forma normal como un catalizador de tres vías.

Fuente: (Volkswagen, 2002, pág. 17)

1.8 NORMAS INEN PARA EMISIONES DE GASES

Según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2204, de los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestre que emplean gasolina, establece los valores máximos permitidos de emisiones de gases para los vehículos en pruebas estáticas o dinámicas que se indican a continuación (INEN, 2017, pág. 1).

1.8.1 LÍMITES MÁXIMOS DE EMISIONES EN MARCHA MÍNIMA O 700 RPM (PRUEBA ESTÁTICA)

Toda fuente móvil con motor de combustión a gasolina, durante la etapa de funcionamiento en condiciones de marcha mínima o 700 rpm, a temperatura normal de funcionamiento, no debe emitir al ambiente monóxido de carbono (CO) como hidrocarburos (HC) en cantidades mayores a las establecidas en la tabla 1.13 (INEN, 2017, pág. 3).

Tabla 1.13 Promedio de emisiones en marcha mínima

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	5,5	6,5	1000	1200

^a Volumen
^b Altitud=metros sobre el nivel del mar (m s n. m.)

Fuente: (INEN, 2017, pág. 3)

1.8.2 LÍMITES MÁXIMOS DE EMISIONES CICLOS FTP-75 (PRUEBA DINÁMICA)

Toda fuente móvil con motor de combustión a gasolina, durante la etapa de funcionamiento en condiciones de marcha mínima o 700 rpm, a temperatura normal de funcionamiento, no debe emitir al ambiente monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (THC), hidrocarburos diferentes al metano (NMHC), óxidos de nitrógeno (NOx) en cantidades mayores a las establecidas en la 1.14 tabla (INEN, 2017, pág. 4).

Tabla 1.14 Promedio de emisiones ciclos FTP-75

Categoría	Clase	Peso de referencia (PR) kg	CO g/km	HC g/km	HC+NOx g/km	NOx	Ciclo de prueba
M ^a	-	Todas	2,3	0,2	-	0,15	ECE+EUDC (también conocido como MVEG-A)
N1 ^b	I	PR≤1305	2,3	0,2	-	0,15	
	II	1305<PR≤1760	4,17	0,25	-	0,18	
	III	1760<PR	5,22	0,29	-	0,21	

^a Salvo los vehículos cuyo peso máximo sobrepase 2500 kg.
^b Y los vehículos de la categoría M que sobrepasen 2500 kg.

Fuente: (INEN, 2017, pág. 4)

1.8.3 LÍMITES MÁXIMOS DE EMISIONES (PRUEBA DINÁMICA)

Toda fuente móvil con motor de combustión a gasolina, durante la etapa de funcionamiento en condiciones de marcha mínima o 700 rpm, a temperatura normal de funcionamiento, no debe emitir al ambiente monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y emisiones evaporativas en cantidades mayores a las establecidas en la tabla 1.15 (INEN, 2017, pág. 4).

Tabla 1.15 Promedio de emisiones prueba dinámica

Categoría	50,000 millas/5 años				100,000 millas/10 años			
	CO g/mi	THC g/mi	NMHC g/mi	NOx g/mi	CO g/mi	THC g/mi	NMHC g/mi	NOx g/mi
Vehículos de pasajeros	3,4	0,41	0,25	0,4	4,2	-	0,31	0,6
LLDT,LVW<3750 lbs	3,4	-	0,25	0,4	4,2	0,80	0,31	0,6
LLDT,LVW<3750 lbs	4,4	-	0,32	0,7	5,5	0,80	0,40	0,97
HLDT,ALVW<5750 lbs	4,4	0,32	-	0,7	6,4	0,80	0,46	0,98
HLDT,ALVW<5750 lbs	5,0	0,39	-	1,1	7,3	0,80	0,56	1,53

Fuente: (INEN, 2017, pág. 4)

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se analiza la cantidad de gases de escape emitidos por el motor con sistema de inyección directa a diferentes alturas sobre el nivel del mar para comparar con los valores vigentes establecidas por las normas INEN en vehículos livianos. Para las pruebas de emisión de gases se utilizó un motor de inyección directa y el análisis se realizó en los siguientes lugares: Las Peñas (Esmeraldas), Ibarra (Imbabura) y Zuleta (Imbabura).

Para este tipo de investigación se utilizó los métodos prácticos de medición, analítico sintético y análisis de datos. Mediante el método de medición se obtuvo los datos de los valores de gases de escape emitidos por el motor a las diferentes alturas establecidas, el método analítico sintético se aplicó para la obtención de información de diferentes fuentes bibliográficas como libros, internet, manuales, que sirvieron de apoyo para la elaboración del proyecto, y finalmente a través del método de análisis de datos, se determinó las alturas en las que el motor seleccionado tiene menor o mayor valores de emisión de gases de escape con el sistema de inyección directa instalado.

2.2 EQUIPOS

Los equipos utilizados ayudaron a obtener valores correctos de las emisiones de gases de escape y los diferentes parámetros a utilizar en los diferentes lugares de medición, estos son: sensor barométrico, cuenta revoluciones, analizador de gases y el vehículo.

2.2.1 SENSOR BAROMÉTRICO

El sensor de presión barométrico está diseñado para obtener la presión atmosférica en el lugar en el que se encuentra y de esta forma estimar la altura sobre el nivel del mar. La presión atmosférica se define como a la fuerza que ejerce el aire, es decir, la atmósfera sobre la superficie de la tierra. La presión se modifica con el valor de la temperatura y la altitud, de esta forma estas dos variables son las más representativas para la variación en la

presión. Los factores como la humedad relativa y así como la velocidad del viento también influyen en el valor de la presión atmosférica en menor forma y pueden de cierta forma ser obviados. Lo que mide el sensor barométrico es la presión absoluta y la temperatura, para así determinar con mayor exactitud la altitud de diferentes lugares. En este caso el sensor barométrico utilizado es el que viene integrado en los teléfonos Android, como se muestra en la Figura 2.1.



Figura 2.1 Sensor barométrico.

2.2.2 CUENTA REVOLUCIONES MGT300

Este equipo indica las revoluciones del motor (RPM) obtenidos por el giro del cigüeñal y su valor difiere de acuerdo al funcionamiento del vehículo que es necesario mantenerse dentro de los intervalos de operación para un buen desempeño del mismo (Associates, 2005, pág. 22).

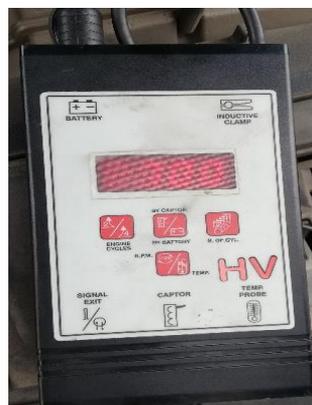


Figura 2.2 Equipo cuentarrevoluciones.

El cuentarrevoluciones digital empleado debe ser instalado a través de la alimentación de la batería del vehículo y el captador de RPM es colocado en la parte superior del cabezote del motor, mismo que permitirá la lectura de las revoluciones del motor. En la Tabla 2.1 se indica las especificaciones del equipo utilizado.

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas cuentarrevoluciones MGT300.

Especificaciones técnicas cuentarrevoluciones MGT300	
Fuente de alimentación	10 – 16 V CC
Pantalla	4 dígitos
Comunicaciones	Transferencia de datos por interfaz RS232 / RS485
Rango de medición	200-19990 rpm
Precisión	10
Temperatura	0-200 °C
Dimensiones	200x110x45 mm
Peso	0.5 kg

Fuente: (CISE-Electrónica, 2019)

2.2.3 ANALIZADOR DE GASES BRAIN BEE AGS-688

Es un equipo de marca americana para medir gases de escape producidos en la combustión y este equipo puede ser ajustado a los límites de gases establecidos por la CORPAIRE. Está constituido por una sonda para medir los gases de escape producidos por el motor, una pantalla de información, filtros de protección, impresora, sensor de oxígeno, entradas para cuenta revoluciones y un cable de datos USB (Ortega Lenin & Puedmag Andrés, 2015, pág. 28).



Figura 2.3 Analizador de gases de escape Brain Bee.

Las funciones que realiza este equipo son las siguientes:

- Medir gases de escape como: CO, CO₂, O₂, HC.
- Medir el factor lambda que indica si la mezcla es rica o pobre.
- Diagnóstico de gases del motor.
- Eficiencia del catalizador.
- Estanqueidad de la empaquetadura de la culata.
- Control automático del flujo mínimo.
- Determina el estado del catalizador.
- Verifica el real estado de la carburación en los vehículos con carburador.
- Determina los componentes causantes de la falla del motor.

En la Tabla 2.2 se indica las especificaciones técnicas del analizador de gases Brain Bee.

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas analizador Brain Bee

Especificaciones técnicas analizador Brain Bee		
Características	Alimentación	12 - 15 DC
	Consumo	1.5 A
	Temperatura de funcionamiento	5 - 40 °C
	Dimensiones	434x190x291 mm
	Peso	5 kg
Campos de medición	CO	0 – 9.9 % vol
	CO ₂	0 – 19.9 % vol
	HC	0 – 9999 ppm vol
	O ₂	0 – 25 % vol
	NO _x	0 – 5000 ppm vol
	Lambda	0.5 - 5
	Temperatura del aceite	20-150 °C

Fuente: (Brain-Bee, 2014, pág. 2)

2.2.4 VEHÍCULO

El vehículo utilizado es de marca Mazda, modelo CX-5, año modelo 2015, que cuenta con un motor electrónico con sistema de inyección directa, el cual fue sometido a pruebas de análisis de gases de escape a diferentes alturas.



Figura 2.4 Vehículo Mazda CX-5.

La información técnica del vehículo Mazda CX-5 con sistema de inyección directa se indica en la tabla 2.13:

Tabla 2.3 Información técnica del vehículo

VEHÍCULO	
Marca	Mazda
Modelo	CX-5
Año	2015
MOTOR	
Cc	2000
Relación de compresión	13:1
Válvulas de admisión y escape	16
Cilindros	4
Combustible	Gasolina
Posición del motor	Frontal, transversalmente
Distribución de los cilindros	En línea
Válvulas por cilindro	4
Inyección	Directa
Potencia máxima (HP)	168,3
Régimen de potencia máxima	6000
Par máximo (Nm)	200
Régimen de par máximo	3500

Fuente: (Mazda, 2015, pág. 2)

2.3 MÉTODO

En el desarrollo de la investigación como primer punto se especificó los lugares a diferentes alturas para identificar la influencia de este factor en las emisiones de gases contaminantes. Las pruebas de gases de escape se realizaron a través del uso de equipos de medición automotriz (analizador de gases de escape, cuenta revoluciones), en los estados de ralentí (700 rpm), 1500 rpm, 2500 rpm y 4000 rpm y con el vehículo funcionando con gasolina super (octanaje de 92 RON).

El análisis estadístico de los resultados obtenidos se realizó mediante la aplicación del

software Excel, con la finalidad de obtener la variación de los valores de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos no quemados (HC), en las localidades seleccionadas a diferentes alturas sobre el nivel del mar. Los valores obtenidos permitieron realizar un diagnóstico del estado del motor a través del análisis de gases de escape.

2.3.1 ESPECIFICACIÓN DE LUGARES A DIFERENTES ALTURAS

La obtención de datos se inició a partir de la altura mínima hacia la máxima con la finalidad de seguir un orden durante la ejecución de las pruebas realizadas. Los lugares seleccionados según las alturas establecidas fueron las Peñas que se encuentra a una altitud de 20 m s n. m., luego Ibarra a 2220 m s n. m. y por último el sector de Zuleta a 2755 m s n. m., siendo la altura más alta para la investigación.

El análisis de gases en los lugares seleccionados se realizó en campo abierto con la finalidad de evitar errores en las mediciones, además, es necesario ejecutar las pruebas cerca a poblaciones que tengan acceso a energía eléctrica debido a que es necesaria para la alimentación de los diferentes equipos de medición.

La selección y definición de los lugares de medición se realizó según las alturas establecidas para la adquisición de datos, y esto se obtiene a través de la utilización de Google Maps y el sensor barométrico.

2.3.1.1 Localidad de las Peñas-Esmeraldas 20 m s n. m.

Las mediciones de gases de escape se obtienen en la localidad de las Peñas perteneciente a la provincia de Esmeraldas, a una altura de 20 m s n. m., información que se obtuvo mediante la utilización del sensor barométrico y el lugar se establece mediante el uso de la aplicación de Google Maps.

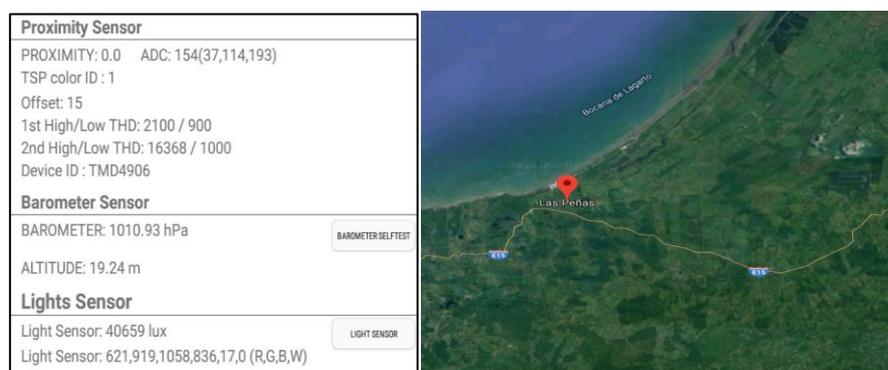


Figura 2.5 Localización y altura de las Peñas-Esmeraldas.

2.3.1.2 Localidad de Ibarra-Imbabura 2175 m s n. m.

Las mediciones de gases de escape se obtienen en la localidad de Ibarra perteneciente a la provincia de Imbabura, a una altura de 2175 m s n. m., información que se obtuvo mediante la utilización del sensor barométrico y el lugar se establece mediante el uso de la aplicación de Google Maps.

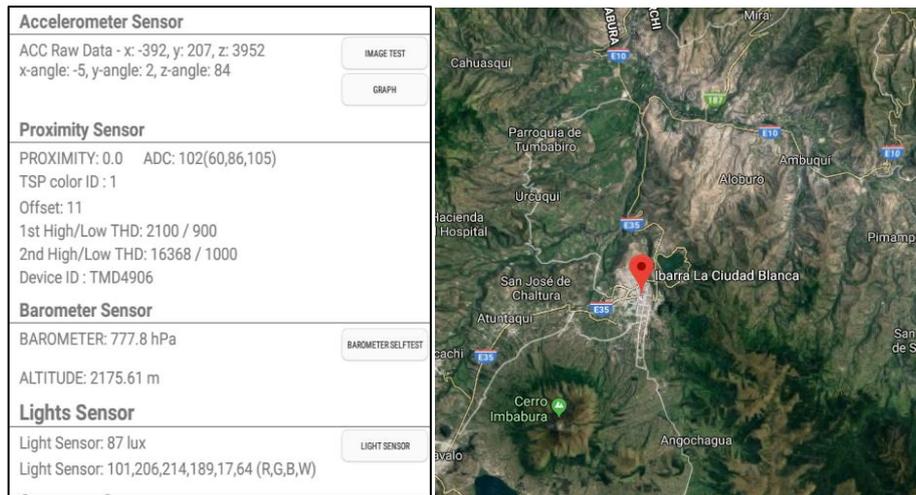


Figura 2.6 Localización y altura de Ibarra-Imbabura.

2.3.1.3 Localidad de Zuleta-Imbabura 2755 m s n. m.

Las mediciones de gases de escape se obtienen en la localidad de Zuleta perteneciente a la provincia de Imbabura, a una altura de 2755 m s n. m., información que se obtuvo mediante la utilización del sensor barométrico y el lugar se establece mediante el uso de la aplicación de Google Maps.

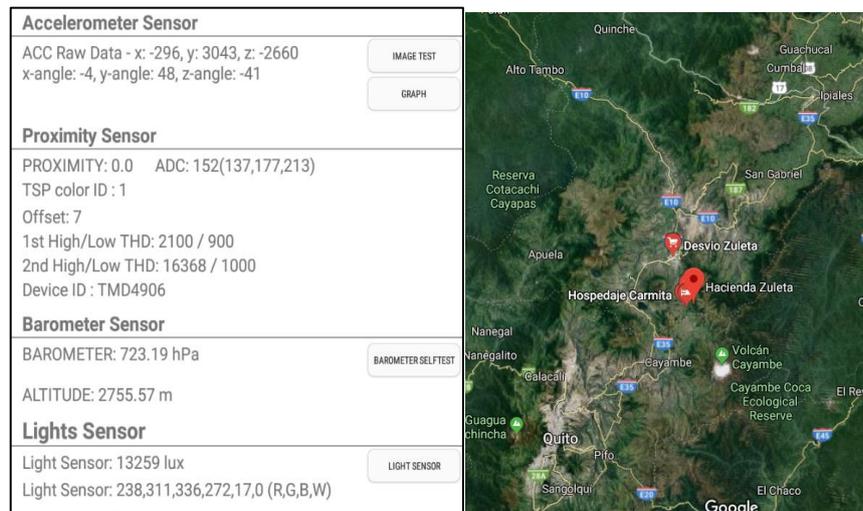


Figura 2.7 Localización y altura de Zuleta-Imbabura.

2.3.2 MÉTODO DE MEDICIÓN

Las pruebas de gases de escape se realizaron con el vehículo sin acelerar y acelerado, con la finalidad de conocer la variación en los valores de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos (HC), al aumentar el régimen de giro del motor. Para ello se definieron los rangos de rpm que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 2.4 Rangos de RPM

Rangos de RPM	
Estado de vehículo	Valor de RPM
Ralentí	700 rpm
Acelerado	1500 rpm
	2500 rpm
	4000 rpm

Para realizar las pruebas es indispensable que el motor se encuentre a la temperatura normal de funcionamiento de 85 °C. Además, durante el proceso de obtención de datos es necesario mantener estable el vehículo a las RPM establecidas durante aproximadamente 30 segundos hasta que el equipo analizador mida y precise. Este procedimiento se repitió cinco veces con la finalidad de disminuir el error en la toma de datos en las diferentes localidades establecidas.

2.3.3 PREPARACIÓN DEL ANALIZADOR DE GASES DE ESCAPE

Para la medición de gases de escape se instaló el cuentarrevoluciones, para la mejor visualización de las RPM del motor, con la finalidad de mantener al vehículo estable en las revoluciones determinadas para las distintas mediciones. La instalación del cuentarrevoluciones se realizó a través de la alimentación de la batería del vehículo y el captador de RPM es colocado en la parte superior del cabezote del motor.



Figura 2.8 Instalación del cuentarrevoluciones

Una vez instalado el cuentarrevoluciones y que el motor se encuentre a la temperatura normal de funcionamiento de 80°C y 85°C, con la finalidad de obtener valores correctos de los diferentes componentes de los gases de escape, se procedió a realizar todas las conexiones de alimentación al analizador de gases AGS-688 Brain Bee.



Figura 2.9 Instalación del analizador de gases

Luego de realizar todas las conexiones de alimentación se procede a preparar el equipo analizador de gases de escape, siguiendo el procedimiento que se indica en la Figura 2.10.

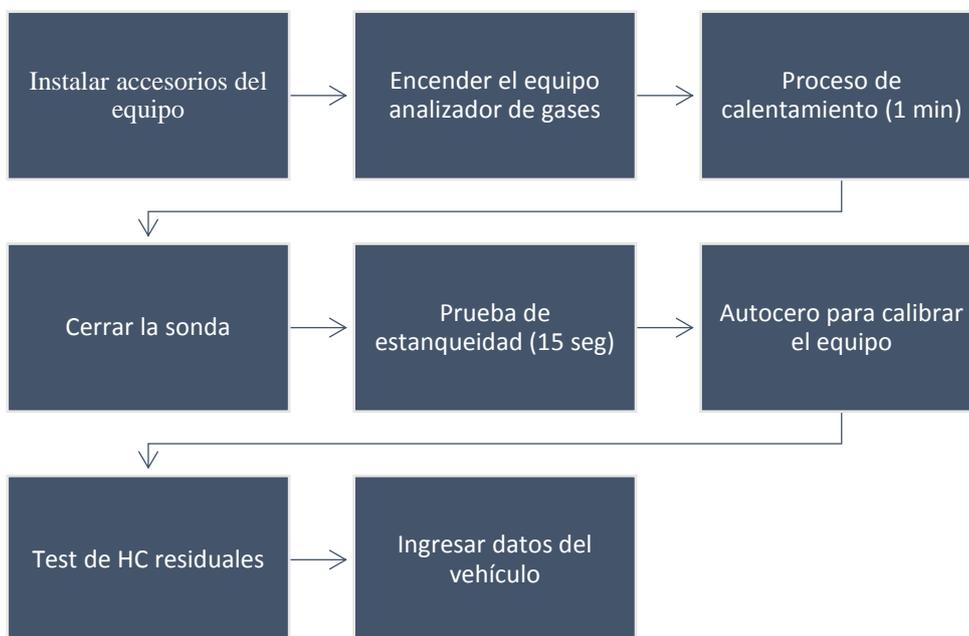


Figura 2.10 Proceso de preparación del equipo analizador de gases

Antes de iniciar el análisis de gases de escape, es recomendable purgar el filtro de agua que se encuentra en la línea de la sonda del analizador Brain Bee con la finalidad de obtener valores correctos en las diferentes mediciones.



Figura 2.11 Purga del filtro de agua

Una vez verificado las conexiones de los diferentes equipos y su correcto funcionamiento, se procedió a introducir la sonda del analizador de gases en el tubo de escape del vehículo para la obtener los valores en los diferentes rpm establecidas.



Figura 2.12 Instalación de la sonda del analizador de gases de escape

La investigación se realizó para conocer la variación de los valores de los gases de escape producidos por un motor de inyección directa y que son perjudiciales para el medio ambiente y la salud del ser humano a diferentes alturas sobre el nivel del mar. Por tal motivo, se realizó las mediciones de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), en las localidades de Las Peñas, Ibarra y Zuleta.

2.4 MEDIDAS DE GASES DE ESCAPE

Con los equipos debidamente instalados y la metodología descrita anteriormente se procedió a la obtención de los valores de gases de escape en las RPM establecidas para la experimentación de ralentí (700 rpm), 1500 rpm, 2500 rpm y 4000 rpm, en cada uno de los lugares seleccionados. Los valores obtenidos se presentan a continuación.

2.4.1 PRUEBAS A 20 m s n. m. EN LAS PEÑAS-ESMERALDAS

Para la obtención de los valores de gases de escape en la localidad de Las Peñas, provincia de Esmeraldas, se obtuvo primeramente la temperatura ambiente de 22°C y el valor de la presión atmosférica de 101.09 kPa, debido a que estos factores afectan directamente en los resultados obtenidos a través del analizador.



Figura 2.13 Datos de emisiones a 2500 rpm

Se realizaron cinco repeticiones en cada uno de los rangos de RPM para obtener valores más confiables en las distintas mediciones. Los valores obtenidos en ralentí (700 RPM) se presentan en la Tabla 2.5, mismos que presentan un promedio de 0.024 % emisiones de CO, el valor de CO₂ es de 15.5 % y los HC no quemados fue de 104.4 ppm.

Tabla 2.5 Datos de emisiones en ralentí (700 rpm) a 20 m s n. m.

Ralentí (700 RPM)						
# Prueba	1	2	3	4	5	Promedio
CO (% vol)	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.024
CO ₂ (% vol)	15.5	15.5	15.4	15.6	15.5	15.5
HC (ppm vol)	102	104	105	105	106	104.4

Los resultados obtenidos en el rango de 1500 RPM son de 0.018 % de CO, 15.74 % de CO₂, y 65.8 ppm de HC no quemados, estos valores se indican en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Datos de emisiones en 1500 rpm a 20 m s n. m.

1500 RPM						
# Prueba	1	2	3	4	5	Promedio
CO (% vol)	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01	0.018
CO ₂ (% vol)	15.8	15.7	15.8	15.6	15.8	15.74
HC (ppm vol)	70	62	68	59	70	65.8

A 2500 RPM se puede observar en la Tabla 2.7 que el valor de CO disminuye a 0.012 %, el CO₂ se mantiene en 15.8 %, y los HC no quemados se encuentran en 31 ppm.

Tabla 2.7 Datos de emisiones en 2500 rpm a 20 m s n. m.

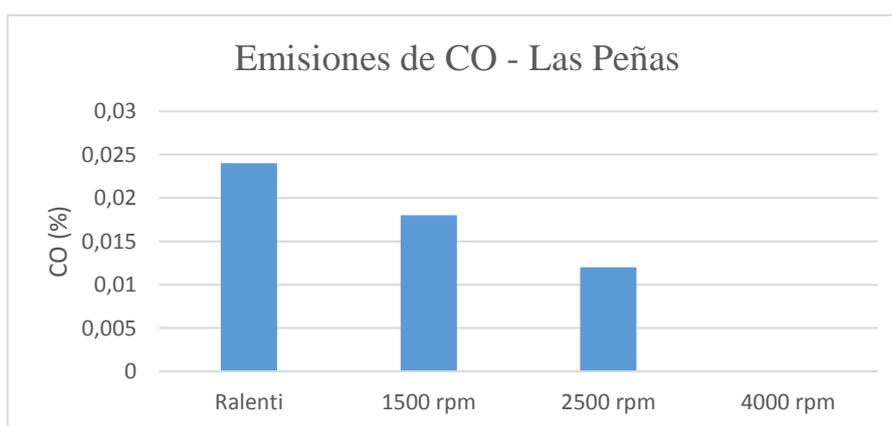
2500 RPM						
# Prueba	1	2	3	4	5	Promedio
CO (% vol)	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.012
CO ₂ (% vol)	15.9	15.7	15.7	15.8	15.9	15.8
HC (ppm vol)	28	30	31	35	31	31

Los resultados obtenidos en el rango de 4000 RPM son de 0.00 % de CO, 15.84 % de CO₂, y 18 ppm de HC no quemados, estos valores se indican en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Datos de emisiones en 4000 rpm a 20 m s n. m.

4000 RPM						
# Prueba	1	2	3	4	5	Promedio
CO (% vol)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂ (% vol)	16	16	15.6	15.8	15.8	15.84
HC (ppm vol)	15	18	19	19	19	18

En la Figura 2.14 se indica la variación de emisiones de CO de acuerdo a las RPM de funcionamiento del motor, donde se observa que los valores de CO disminuyen a medida que se incrementa de 700 rpm hasta 4000 rpm.

**Figura 2.14** Emisiones de CO – Las Peñas

La variación de emisiones de CO₂ según el valor de RPM se indica en la Figura 2.15, donde se puede observar un incremento en las emisiones al aumentar el giro del motor del ralenti (700 rpm) a las 4000 rpm, obteniendo un valor final de 15.84 %.

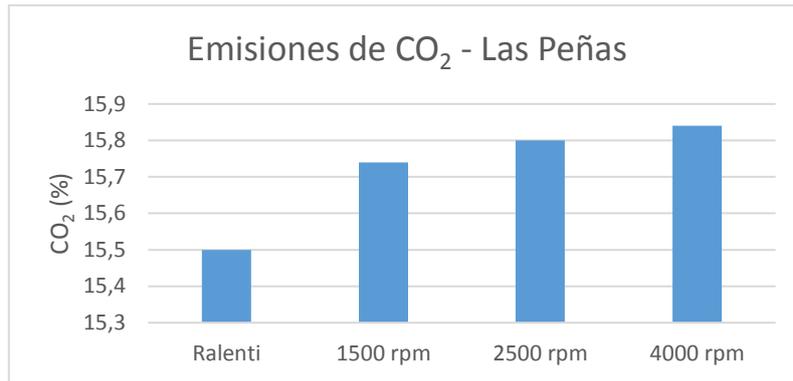


Figura 2.15 Emisiones de CO₂ – Las Peñas

En la Figura 2.16 se indica la variación de emisiones de HC de acuerdo a las RPM del motor, donde se puede observar que existe una tendencia a disminuir los valores de HC a medida que se aumenta las RPM del ralenti (700 rpm) a 4000 rpm, lo que indica que existe una mejor combustión de la mezcla a máximos regímenes de funcionamiento.

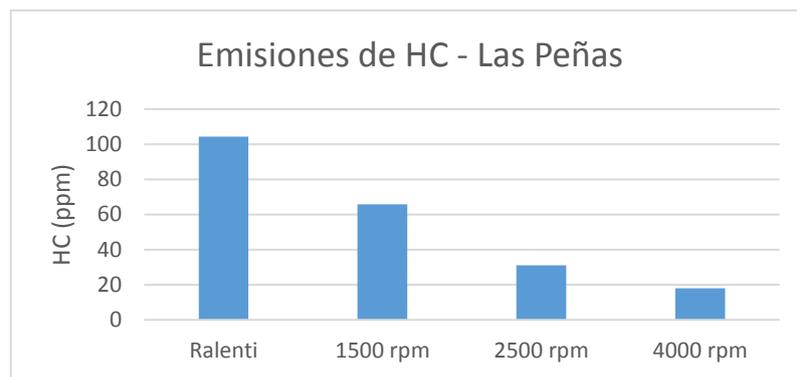


Figura 2.16 Emisiones de HC – Las Peñas

2.4.2 PRUEBAS A 2175 m s n. m. EN IBARRA-IMBABURA

Para la obtención de los valores de gases de escape en la localidad de Ibarra, provincia de Imbabura, se obtuvo la temperatura ambiente de 18°C y el valor de la presión atmosférica de 77.7 kPa, debido a que estos factores afectan directamente en los resultados obtenidos a través del analizador.



Figura 2.17 Datos de emisiones a 1500 rpm

Se realizaron cinco repeticiones en cada uno de los rangos de RPM para obtener valores más confiables en las distintas mediciones. Los valores obtenidos en ralentí (700 rpm) se presentan en la Tabla 2.9, mismos que presentan un promedio de 0.046 % de emisiones de CO, el valor de CO₂ es de 15.38 %, y los HC no quemados fue de 135 ppm.

Tabla 2.9 Datos de emisiones en ralentí (700 rpm) a 2175 m s n. m.

Ralentí (700 RPM)						
# Prueba	1	2	3	4	5	Promedio
CO (% vol)	0.03	0.05	0.06	0.04	0.05	0.046
CO₂ (% vol)	15.5	15.3	15.3	15.3	15.5	15.38
HC (ppm vol)	129	132	137	138	139	135

Los resultados obtenidos en el rango de 1500 RPM son de 0.028 % de CO, 15.44 % de CO₂, y 96.8 ppm de HC no quemados, estos valores se indican en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10 Datos de emisiones en 1500 rpm a 2175 m s n. m.

1500 RPM						
# Prueba	1	2	3	4	5	Promedio
CO (% vol)	0.05	0.03	0.02	0.03	0.01	0.028
CO₂ (% vol)	15.3	15.4	15.5	15.4	15.6	15.44
HC (ppm vol)	110	95	90	102	87	96.8

A 2500 RPM se puede observar en la Tabla 2.11 que el valor de CO disminuye a 0.02 %, el CO₂ se mantiene en 15.52 %, y los HC no quemados se encuentran en 64.4 ppm.

Tabla 2.11 Datos de emisiones en 2500 rpm a 2175 m s n. m.

2500 RPM						
# Prueba	1	2	3	4	5	Promedio
CO (% vol)	0.04	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02
CO₂ (% vol)	15.4	15.6	15.6	15.4	15.6	15.52
HC (ppm vol)	65	63	69	65	60	64.4

Los resultados obtenidos en el rango de 4000 RPM son de 0.016 % de CO, 15.6 % de CO₂, y 25.2 ppm de HC no quemados, estos valores se indican en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12 Datos de emisiones en 4000 rpm a 2175 m s n. m.

4000 RPM						
# Prueba	1	2	3	4	5	Promedio
CO (% vol)	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.016
CO₂ (% vol)	15.5	15.7	15.7	15.6	15.5	15.6
HC (ppm vol)	25	23	23	28	27	25.2

En la Figura 2.18 se indica la variación en las emisiones de CO, en la que se observa una tendencia a disminuir el valor de CO desde el ralentí (700 rpm) hasta las 4000 rpm, hasta alcanzar un valor de 0.016 % de CO a máximas rpm.

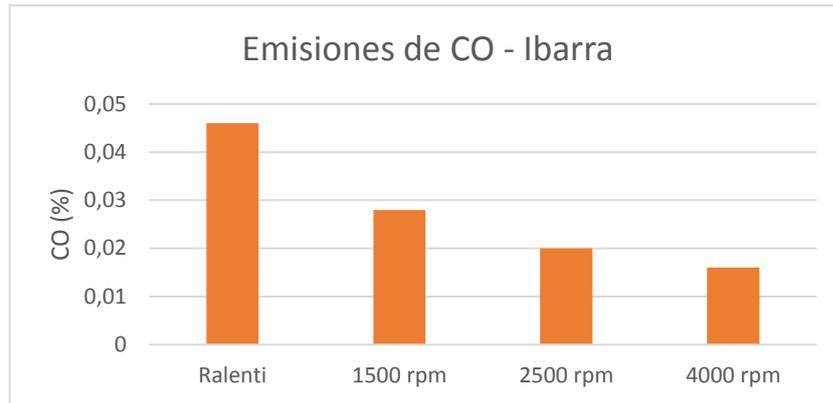


Figura 2.18 Emisiones de CO - Ibarra

La variación de emisiones de CO₂ se indica en la Figura 2.19, en la que se puede observar una tendencia a aumentar los valores de CO₂ desde el ralenti (700 rpm) a las 4000 rpm, obteniendo valores de 15.38 % al 15.6 %.

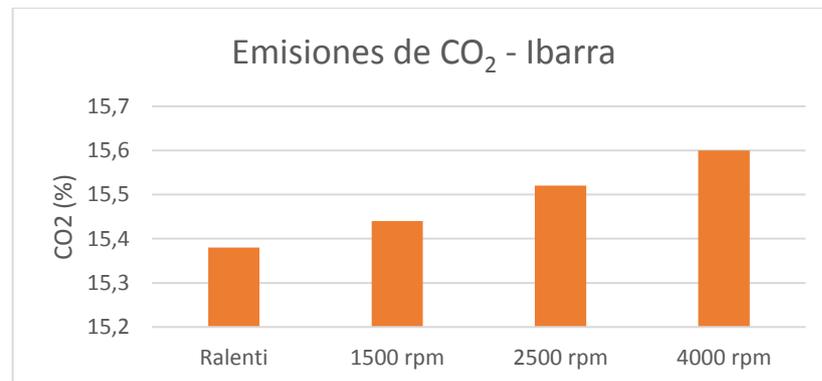


Figura 2.19 Emisiones de CO₂ - Ibarra

En la Figura 2.20 se presenta las emisiones de HC y su variación según el valor de RPM del motor, en la que se puede evidenciar una disminución de HC del ralenti (700 rpm) a 4000 rpm, llegando a 25.2 ppm de hidrocarburos.

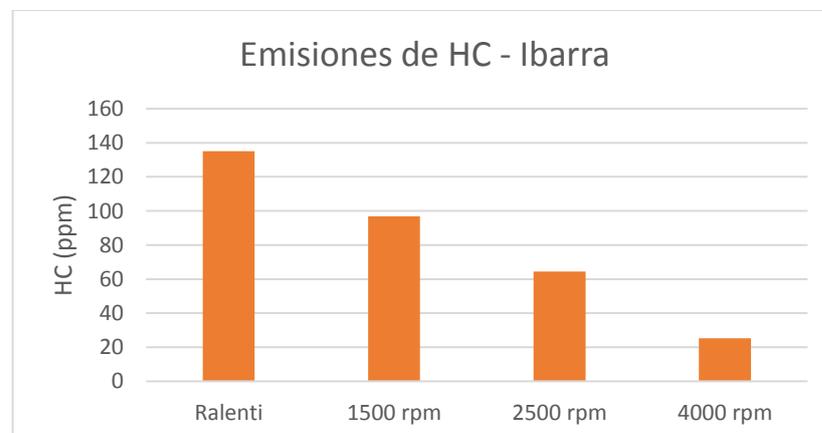


Figura 2.20 Emisiones de HC – Ibarra

2.4.3 PRUEBAS A 2755 m s n. m. EN ZULETA-IMBABURA

Para la obtención de los valores de gases de escape en la localidad de Zuleta, provincia de Imbabura, se obtuvo primeramente la temperatura ambiente de 15°C y el valor de la presión atmosférica de 72.3 kPa, debido a que estos factores afectan directamente en los resultados obtenidos a través del analizador.



Figura 2.21 Datos de emisiones a 4000 rpm

Se realizaron cinco repeticiones en cada uno de los rangos de RPM para obtener valores más confiables en las distintas mediciones. Los valores obtenidos en ralentí (700 rpm) se presentan en la Tabla 2.13, mismos que presentan un promedio de 0.102 % de emisiones de CO, el valor de CO₂ es de 15.24 %, y los HC no quemados fue de 183.8.

Tabla 2.13 Datos de emisiones en ralentí (700 rpm) a 2755 m s n. m.

Ralentí (700 RPM)						
# Prueba	1	2	3	4	5	Promedio
CO (% vol)	0.11	0.13	0.08	0.1	0.09	0.102
CO ₂ (% vol)	15.2	15.2	15.2	15.3	15.3	15.24
HC (ppm vol)	188	180	183	187	181	183.8

Los resultados obtenidos en el rango de 1500 RPM son de 0.04 % de CO, 15.32 % de CO₂, y 139.6 ppm de HC no quemados, estos valores se indican en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14 Datos de emisiones en 1500 rpm a 2755 m s n. m.

1500 RPM						
# Prueba	1	2	3	4	5	Promedio
CO (% vol)	0.04	0.03	0.03	0.06	0.04	0.04
CO ₂ (% vol)	15.3	15.2	15.4	15.3	15.4	15.32
HC (ppm vol)	133	139	143	145	138	139.6

A 2500 RPM se puede observar en la Tabla 2.15 que el valor de CO disminuye a 0.032 %, el CO₂ se mantiene en 15.46 %, y los HC no quemados se encuentran en 80.2 ppm.

Tabla 2.15 Datos de emisiones en 2500 rpm a 2755 m s n. m.

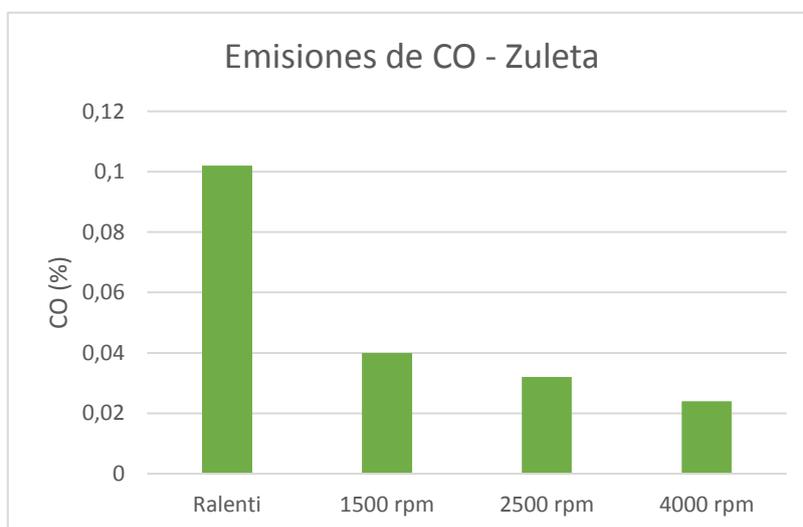
2500 RPM						
# Prueba	1	2	3	4	5	Promedio
CO (% vol)	0.03	0.03	0.04	0.04	0.02	0.032
CO ₂ (% vol)	15.5	15.5	15.4	15.4	15.5	15.46
HC (ppm vol)	75	77	84	85	80	80.2

Los resultados obtenidos en el rango de 4000 RPM son de 0.024 % de CO, 15.52 % de CO₂, y 34.6 ppm de HC no quemados, estos valores se indican en la Tabla 2.16.

Tabla 2.16 Datos de emisiones en 4000 rpm a 2755 m s n. m.

4000 RPM						
# Prueba	1	2	3	4	5	Promedio
CO (% vol)	0.01	0.04	0.01	0.02	0.04	0.024
CO ₂ (% vol)	15.6	15.4	15.6	15.5	15.5	15.52
HC (ppm vol)	27	32	36	38	40	34.6

La variación de emisiones de CO se indica en la Figura 2.22, en la que se puede observar una disminución del 0.102 % al 0.024 %, al pasar del ralenti (700 rpm) a 4000 rpm; respectivamente.

**Figura 2.22** Emisiones de CO - Zuleta

En la Figura 2.23 se indica la variación del CO₂ según las RPM del motor, en este caso se puede observar una tendencia a aumentar el valor de 15.24 % al 15.52 % a medida que se incrementa las rpm del motor.

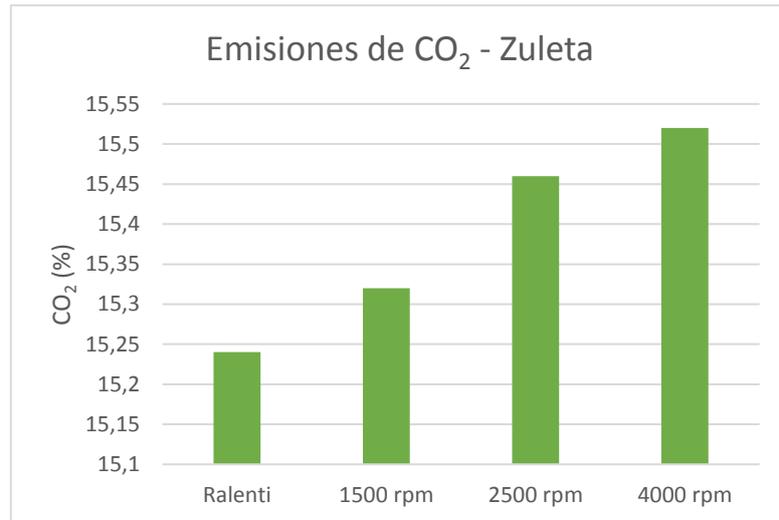


Figura 2.23 Emisiones de CO₂ - Zuleta

La Figura 2.24 presenta los datos de las emisiones de HC, en la que se puede observar una disminución de 183.8 ppm a 34.6 ppm, al pasar del ralenti (700 rpm) a 4000 rpm; respectivamente.

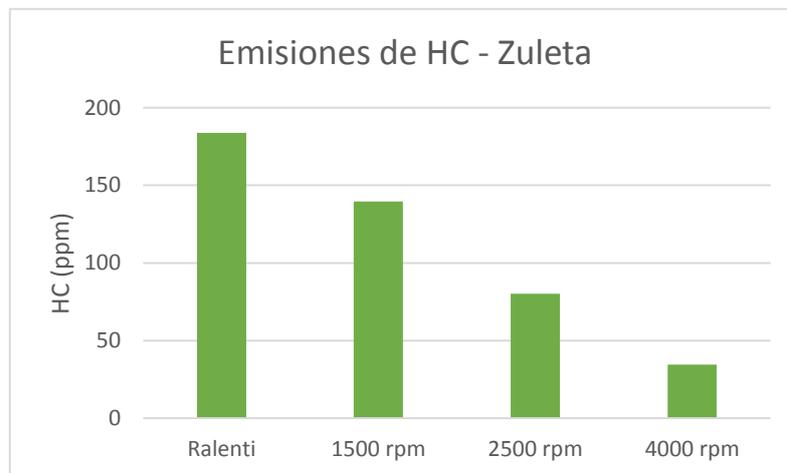


Figura 2.24 Emisiones de HC - Zuleta

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se presenta la comparación de los resultados obtenidos en la medición de gases de escape del motor de inyección directa con la finalidad de conocer las características que presenta esta tecnología en la reducción de emisiones de gases contaminantes.

Para la presentación de estos datos se realizó un promedio total de los valores obtenidos en cada uno de los rangos de rpm, para la comparación de los gases de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no quemados (HC), en las diferentes alturas de funcionamiento, además, estos promedios se representan en porcentajes con la finalidad de conocer la variación entre una y otra altura de cada una de las localidades seleccionadas.

Finalmente, con los datos obtenidos se realiza un diagnóstico del estado de funcionamiento del motor, comprobando en primer lugar que los valores de CO y HC se encuentren dentro de los establecidos por la norma INEN 2204, y si algunos de estos se encuentran fuera de rango detallar las posibles causas que podrían provocar esta variación.

3.2 EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

En la Tabla 3.1 se observa el comportamiento de las emisiones de dióxido de carbono en las alturas de 20, 2175 y 2755 m s n. m., obteniendo un porcentaje de variación de 0.5 % entre la altura de 20 y 2175 m s n. m., una variación de 0.22 % entre la altura de 2175 y 2755 m s n. m. Se observa que a medida que la altura aumenta, las emisiones de CO₂ disminuyen, lo que puede ser ocasionado por la presencia de menor cantidad de oxígeno en el ambiente.

Tabla 3.1 Promedio de emisiones de CO₂

Altura m s n. m.	CO ₂ (%Vol)					
	700 rpm	1500 rpm	2500 rpm	4000 rpm	Promedio	%
20	15.5	15.74	15.8	15.84	15.7	33.74
2175	15.38	15.44	15.52	15.6	15.49	33.24
2755	15.24	15.32	15.46	15.52	15.38	33.02

3.2.1 COMPARACIÓN DE EMISIONES DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) A RALENTÍ (700 RPM)

En la Tabla 3.2 se indica el comportamiento en las emisiones de dióxido de carbono en las alturas de 20, 2175 y 2755 m s n. m. En el análisis de los resultados se observa que el porcentaje de emisiones disminuyen al pasar de 20 a 2755 m s n. m., obteniendo una diferencia del 0.57 % entre la mínima y máxima altura.

Tabla 3.2 Promedio de emisiones de CO₂

Altura m s n. m.	Ralentí (700 rpm)	
	CO ₂ (% Vol)	%
20	15.5	33.61
2175	15.38	33.35
2755	15.24	33.04

En la Figura 3.1 se indica el comportamiento del dióxido de carbono con el motor de inyección directa a ralentí (700 rpm), en el que se puede observar que a medida que se incrementa la altura disminuye la cantidad de emisiones del CO₂, con una disminución del 0.57 % entre la mínima y máxima altura.

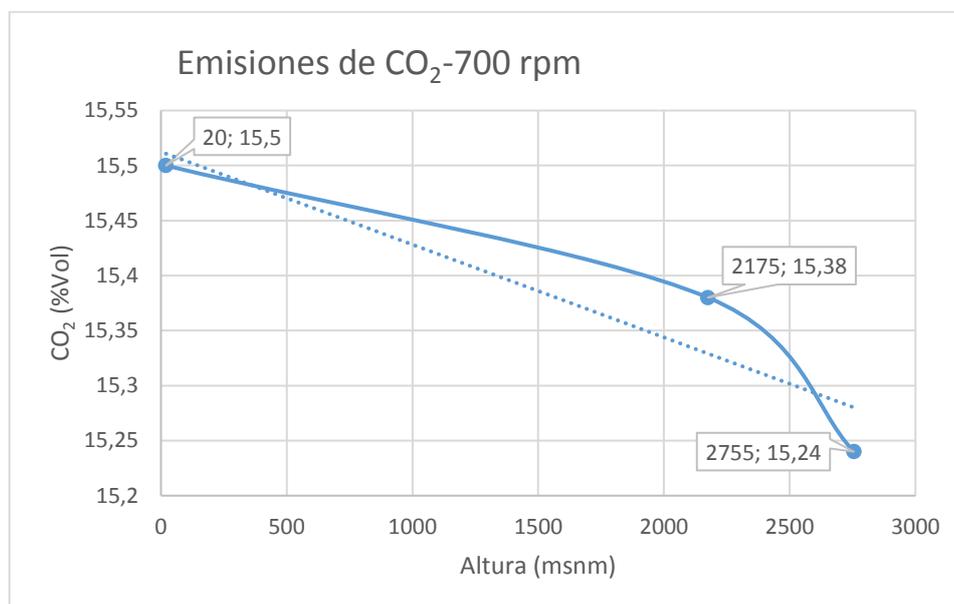


Figura 3.1 Variación de emisiones de CO₂ a ralentí (700 rpm).

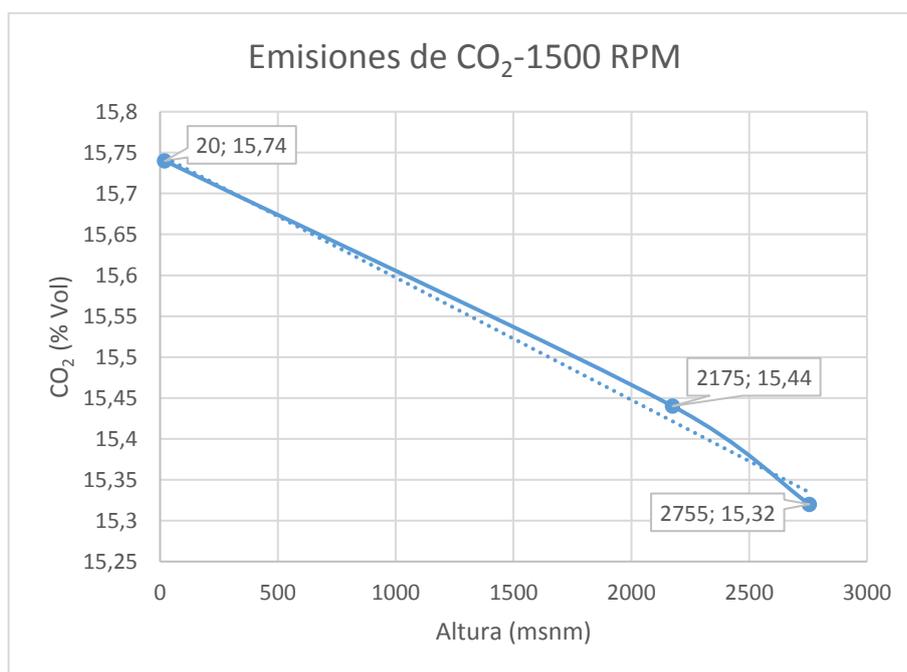
3.2.2 COMPARACIÓN DE EMISIONES DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) A 1500 RPM

En la Tabla 3.3 se muestra el comportamiento del dióxido de carbono a 1500 RPM, con una variación de 0.65 % entre la altura de 20 y 2175 m s n. m., mientras que entre las alturas de 2175 y 2755 m s n. m. se tiene una diferencia del 0.25 %, se puede observar que se obtiene una diferencia del 0.9 % entre la mínima y máxima altura.

Tabla 3.3 Promedio de emisiones de CO₂

Altura m s n. m.	1500 RPM	
	CO ₂ (% Vol)	%
20	15.74	33.85
2175	15.44	33.20
2755	15.32	32.95

En la Figura 3.2 la línea de tendencia muestra la disminución en las emisiones de dióxido de carbono a medida que la altura aumenta desde 20 a 2755 m s n. m. para el rango de 1500 RPM.

**Figura 3.2** Variación de emisiones de CO₂ a 1500 RPM.

3.2.3 COMPARACIÓN DE EMISIONES DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) A 2500 RPM

La Tabla 3.4 indica la variación del dióxido de carbono para 2500 RPM con una variación del 0.6 % entre 20 y 2175 m s n. m., una diferencia del 0.13 % entre la altura del 2175 y 2755 m s n. m., mientras que entre la mínima y máxima altura se tiene una disminución del 0.73 % en las emisiones del CO₂.

Tabla 3.4 Promedio de emisiones de CO₂

Altura m s n. m.	2500 RPM	
	CO ₂ (% Vol)	%
20	15.8	33.78
2175	15.52	33.18
2755	15.46	33.05

La Figura 3.3 indica el comportamiento de las emisiones de dióxido de carbono en las diferentes alturas, en la que se observa que en el aumento de la altura de 20 a 2755 m s n. m. existe una disminución en el porcentaje de emisiones.

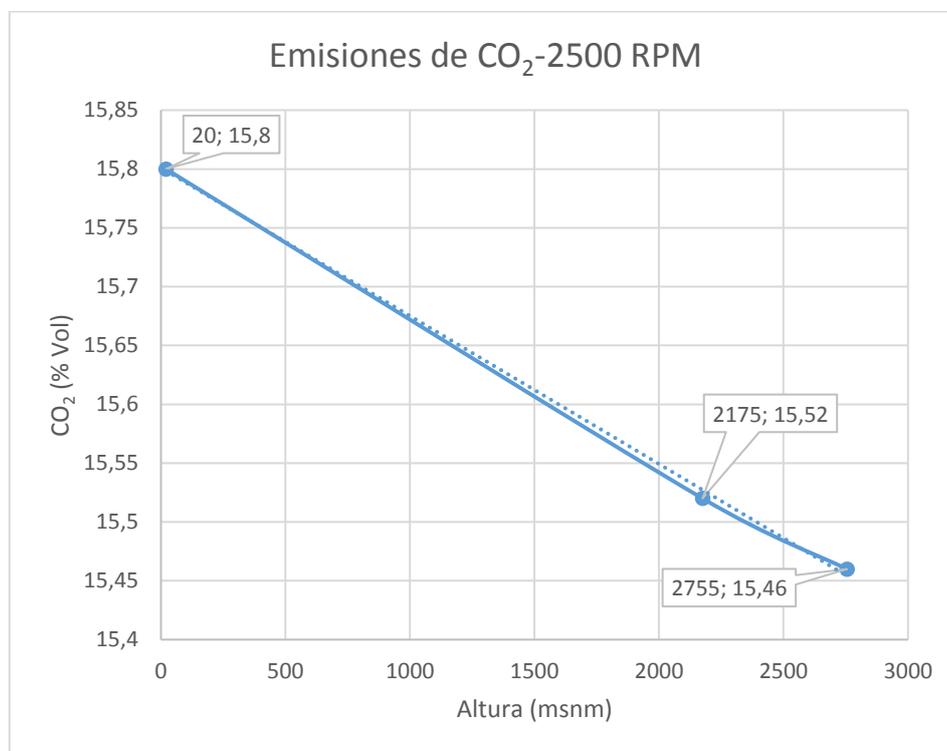


Figura 3.3 Variación de emisiones de CO₂ a 2500 RPM.

3.2.4 COMPARACIÓN DE EMISIONES DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) A 4000 RPM

En la Tabla 3.5 se observa la variación en las emisiones de dióxido de carbono a 4000 RPM de 20 a 2755 m s n. m. Los resultados muestran que el porcentaje de emisiones varía 0.51 % entre las alturas de 20 y 2175 m s n. m., entre la media altura y 2755 m s n. m. se tiene una variación del 0.17 % y una disminución del 0.68 % entre 20 y 2755 m s n. m.

Tabla 3.5 Promedio de emisiones de CO₂

Altura m s n. m.	4000 RPM	
	CO ₂ (% Vol)	%
20	15.84	33.73
2175	15.6	33.22
2755	15.52	33.05

En la Figura 3.4 se indica el comportamiento del dióxido de carbono con el motor a 4000 RPM, en la que se puede observar que a medida que se incrementa la altura de 20 a 2755 m s n. m. la cantidad de emisiones del CO₂ tiene una disminución del 0.68 %.

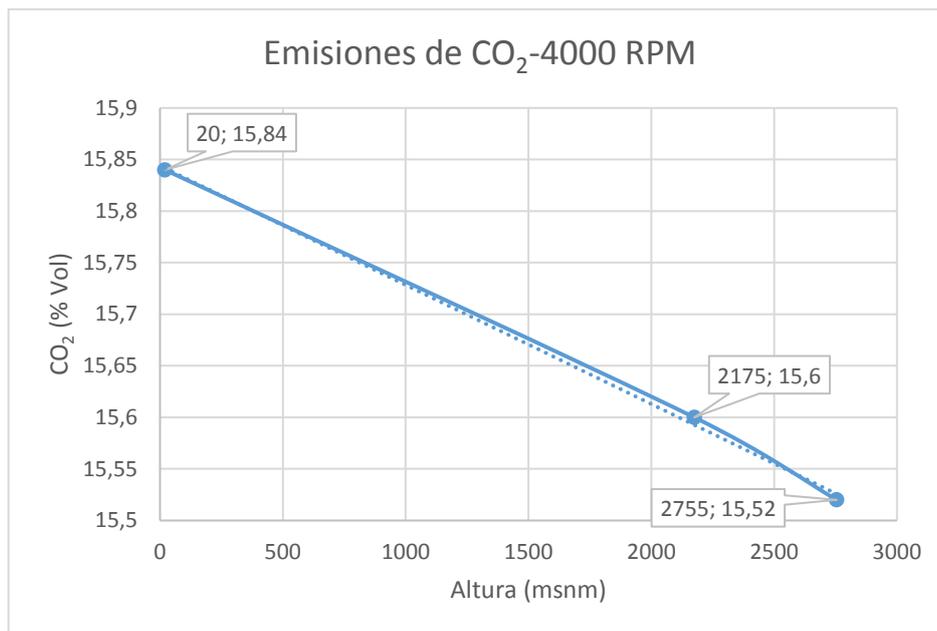


Figura 3.4 Variación de emisiones de CO₂ a 4000 RPM.

3.3 EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

En la Tabla 3.6 se muestra la variación del monóxido de carbono de 15.47 % a medida que la altura aumenta de 20 a 2175 m s n. m., un aumento de 24.31 % de 2175 a 2755 m s n. m. En los resultados obtenidos se observa que existe un incremento de 39.78 % de 20 a 2755 m s n. m., variación que puede ser ocasionada por las condiciones climáticas del lugar como de igual forma la presencia de menor cantidad de oxígeno.

Tabla 3.6 Promedio de emisiones de CO

Altura m s n. m.	CO (%Vol)					%
	700 rpm	1500 rpm	2500 rpm	4000 rpm	Promedio	
20	0.024	0.018	0.012	0.00	0.014	14.92
2175	0.046	0.028	0.02	0.016	0.028	30.39
2755	0.102	0.04	0.032	0.024	0.05	54.7

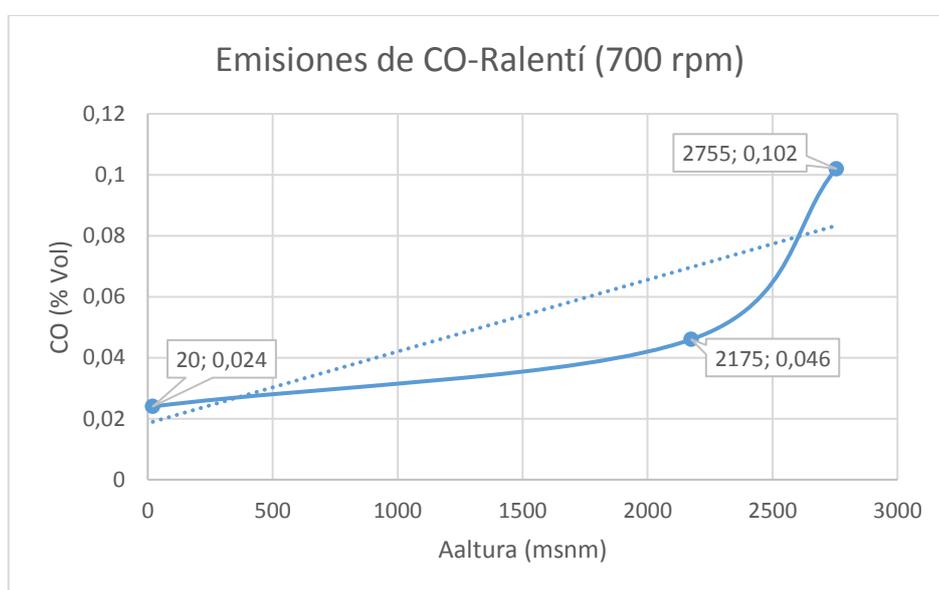
3.3.1 COMPARACIÓN DE EMISIONES DEL MONÓXIDO DE CARBONO (CO) A RALENTÍ (700 RPM)

En la Tabla 3.7 se muestra el comportamiento en las emisiones de monóxido de carbono en las alturas de 20, 2175 y 2755 m s n. m. En el análisis de los resultados se puede observar que el porcentaje de CO aumenta en 12.79 % entre las alturas de 20 y 2175 m s n. m., mientras que en la máxima altura de 2755 m s n. m. se tiene un aumento del 45.35 % en relación a la mínima altura.

Tabla 3.7 Promedio de emisiones de CO

Altura m s n. m.	Ralentí (700 rpm)	
	CO (% Vol)	%
20	0.024	13.95
2175	0.046	26.74
2755	0.102	59.30

En la Figura 3.5 se puede observar el comportamiento del monóxido de carbono con el motor a ralentí (700 rpm), mediante la gráfica se puede concluir que a medida que se incrementa la altura aumenta la cantidad de emisiones del CO al ambiente del 45.35 % en relación a 20 y 2755 m s n. m.

**Figura 3.5** Variación de emisiones de CO a ralentí (700 rpm).

3.3.2 COMPARACIÓN DE EMISIONES DEL MONÓXIDO DE CARBONO (CO) A 1500 RPM

En la Tabla 3.8 se indica la variación del monóxido de carbono a 1500 RPM, con una diferencia de 11.63 % entre la altura de 20 y 2175 m s n. m., en las alturas de 2175 y 2755 m s n. m. se tiene una disminución del 13.95 %, y entre la mínima y máxima altura se puede observar que se obtiene un incremento del 25.58 %.

Tabla 3.8 Promedio de emisiones de CO

Altura m s n. m.	1500 RPM	
	CO (% Vol)	%
20	0.018	20.93
2175	0.028	32.56
2755	0.04	46.51

En la Figura 3.6 se puede observar que, con los valores obtenidos a 1500 RPM, la línea de

tendencia muestra un aumento en las emisiones del monóxido de carbono a medida que la altura se incrementa desde 20 a 2755 m s n. m.

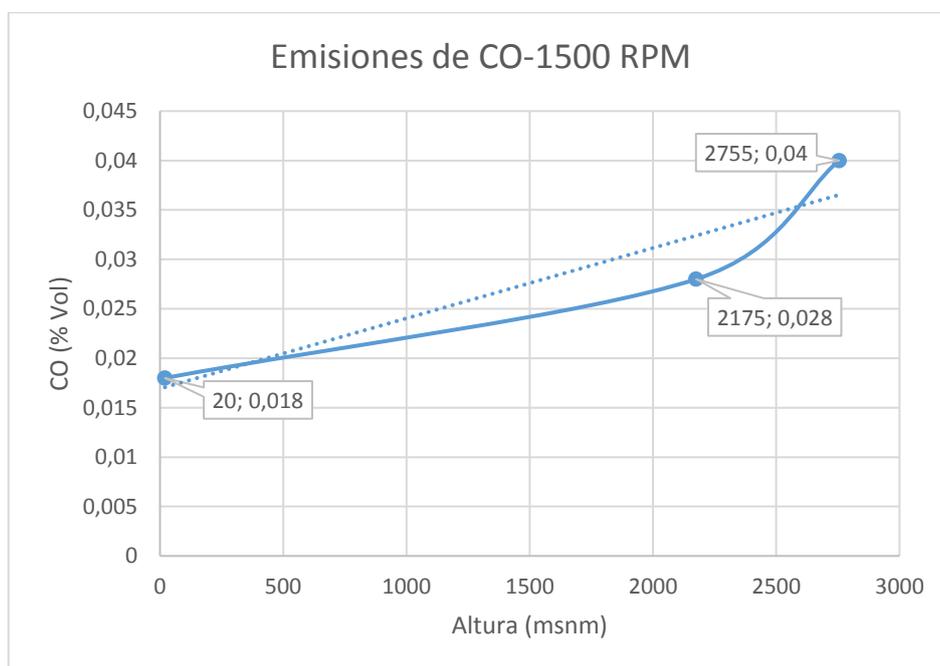


Figura 3.6 Variación de emisiones de CO a 1500 RPM.

3.3.3 COMPARACIÓN DE EMISIONES DEL MONÓXIDO DE CARBONO (CO) A 2500 RPM

La Tabla 3.9 muestra la variación del monóxido de carbono para el rango de 2500 RPM con una diferencia del 12.5 % entre 20 y 2175 m s n. m., un aumento del 18.75 % entre la altura del 2175 y 2755 m s n. m., mientras que entre la mínima y máxima altura se tiene un incremento de aproximadamente 31.25 % en las emisiones del CO.

Tabla 3.9 Promedio de emisiones de CO

Altura m s n. m.	2500 RPM	
	CO (% Vol)	%
20	0.012	18.75
2175	0.02	31.25
2755	0.032	50

La Figura 3.7 se puede observar el comportamiento de las emisiones del monóxido de carbono en las diferentes alturas, por medio de la cual se puede determinar que entre la altura de 20 a 2755 m s n. m. existe un incremento en el porcentaje de emisiones del CO para 2500 RPM del 31.25 %.

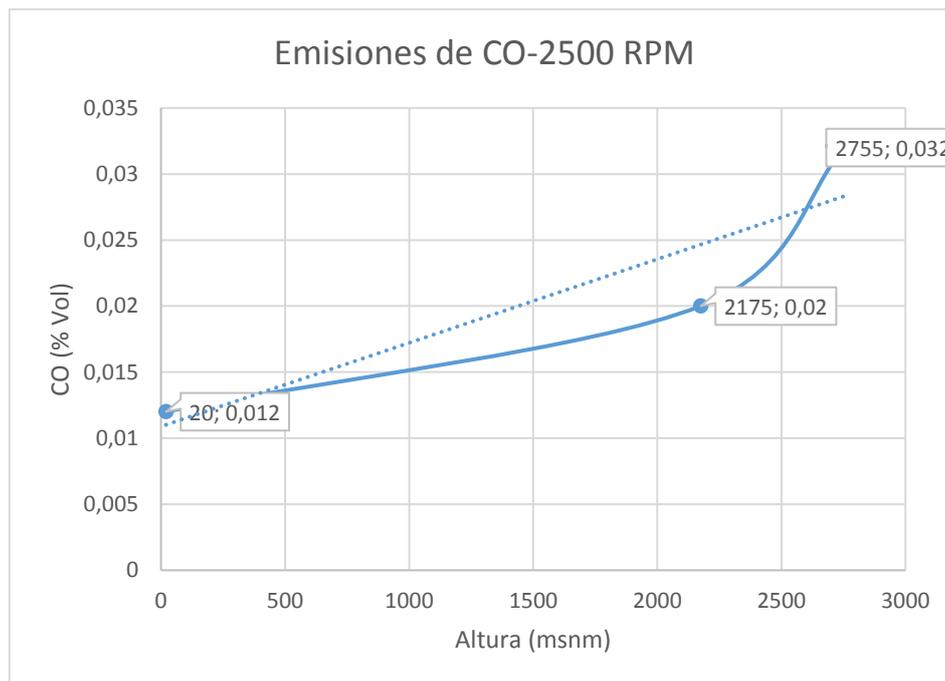


Figura 3.7 Variación de emisiones de CO a 2500 RPM.

3.3.4 COMPARACIÓN DE EMISIONES DEL MONÓXIDO DE CARBONO (CO) A 4000 RPM

La Tabla 3.10 muestra la variación en las emisiones de monóxido de carbono a 4000 RPM en las alturas de 20, 2175 y 2755 m s n. m. El análisis de resultados permite determinar que el porcentaje de emisiones varía 40.0 % entre las alturas de 20 y 2175 m s n. m., entre 2175 y 2755 m s n. m. se tiene una variación del 20.0 % y un aumento del 60.0 % entre 20 y 2755 m s n. m., además, se concluye que en este rango de RPM no existe emisiones de CO a 20 m s n. m.

Tabla 3.10 Promedio de emisiones de CO

Altura m s n. m.	4000 RPM	
	CO (% Vol)	%
20	0.00	0
2175	0.016	40.0
2755	0.024	60.0

La Figura 3.8 muestra la variación del monóxido de carbono con el motor a 4000 RPM, en la que se puede observar que a medida que se incrementa la altura de 20 a 2755 m s n. m. la cantidad de emisiones del CO tiene un aumento del 60.0 %.

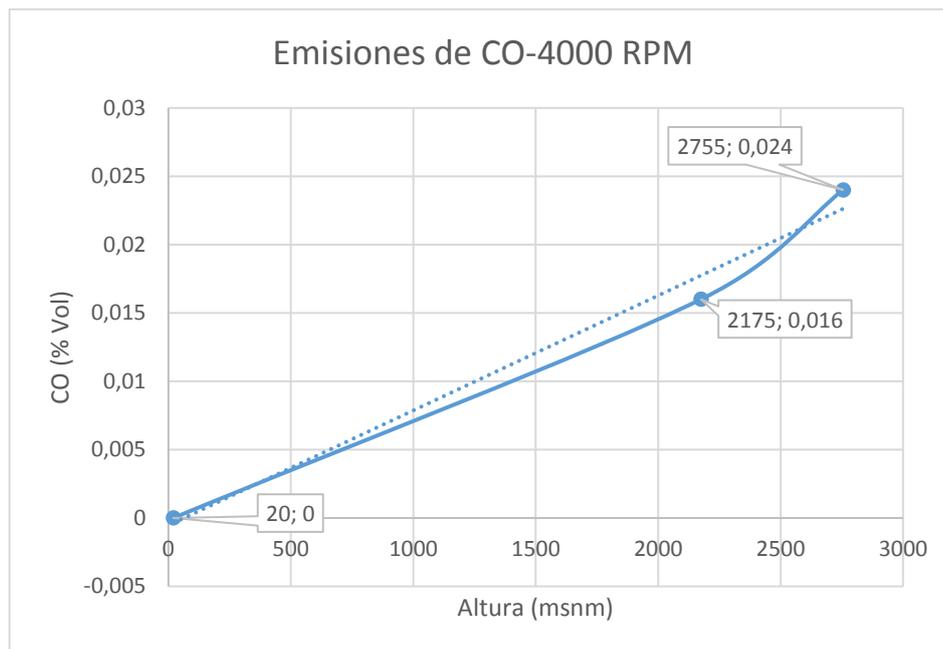


Figura 3.8 Variación de emisiones de CO a 4000 RPM.

3.4 EMISIONES DE HIDROCARBUROS (HC)

La Tabla 3.11 indica los valores alcanzados en las emisiones de hidrocarburos con un porcentaje de variación de 10.45 % entre las alturas de 20 y 2175 m s n. m., un aumento de 11.93 % entre las alturas de 2175 y 2755 m s n. m., mientras que entre las alturas de 20 y 2755 m s n. m. se tiene un aumento del 22.31 %. En los resultados se observa una tendencia a aumentar las emisiones de HC a medida que se incrementa la altura, lo que puede ser ocasionado por la presencia de menor cantidad de oxígeno en el ambiente y las condiciones climáticas del lugar.

Tabla 3.11 Promedio de emisiones de HC

Altura m s n. m.	HC (ppm)					%
	700 rpm	1500 rpm	2500 rpm	4000 rpm	Promedio	
20	104.4	65.8	31	18	54.8	22.39
2175	135	96.8	64.4	25.2	80.35	32.84
2755	183.8	139.6	80.2	34.6	109.55	44.77

3.4.1 COMPARACIÓN DE EMISIONES DE HIDROCARBUROS (HC) A RALENTÍ (700 RPM)

En la Tabla 3.12 se puede observar el comportamiento en las emisiones de hidrocarburos y del análisis se determina que el porcentaje de emisiones aumenta en 7.23 % en las alturas de 20 y 2175 m s n. m., y 11.53 % entre 2175 y 2755 m s n. m., obteniendo una diferencia

del 18.76 % entre la mínima y máxima altura.

Tabla 3.12 Promedio de emisiones de HC

Altura m s n. m.	Ralentí (700 rpm)	
	HC (ppm)	%
20	104.4	24.67
2175	135	31.9
2755	183.8	43.43

En la Figura 3.9 se indica la variación de hidrocarburos con el motor a ralentí (700 rpm), en el que se puede determinar que a medida que se incrementa la altura de 20 a 2175 m s n. m. se tiene un aumento del 18.76 % en la cantidad de emisiones de HC.

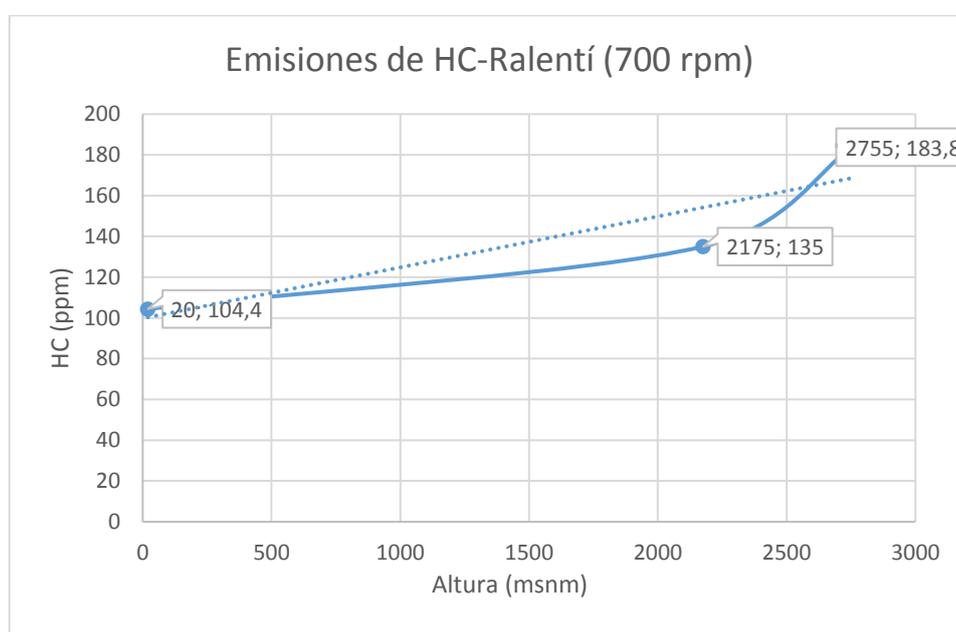


Figura 3.9 Variación de emisiones de HC a ralentí (700 rpm).

3.4.2 COMPARACIÓN DE EMISIONES DE HIDROCARBUROS (HC) A 1500 RPM

La Tabla 3.13 muestra el comportamiento de hidrocarburos a 1500 RPM, con un aumento de 10.26 % entre la altura de 20 y 2175 m s n. m., mientras que entre las alturas de 2175 y 2755 m s n. m. se tiene una diferencia del 14.16 %, además, se puede determinar que existe un aumento promedio de emisiones de HC aproximadamente del 24.42 %.

Tabla 3.13 Promedio de emisiones de HC

Altura m s n. m.	1500 RPM	
	HC (ppm)	%
20	65.8	21.77
2175	96.8	32.03
2755	139.6	46.19

En la Figura 3.10 se observa que la línea de tendencia muestra un aumento en las emisiones de hidrocarburos a medida que la altura aumenta desde 20 a 2755 m s n. m. para el rango de 1500 RPM, con un aumento del 24.42 % entre la mínima y máxima altura.

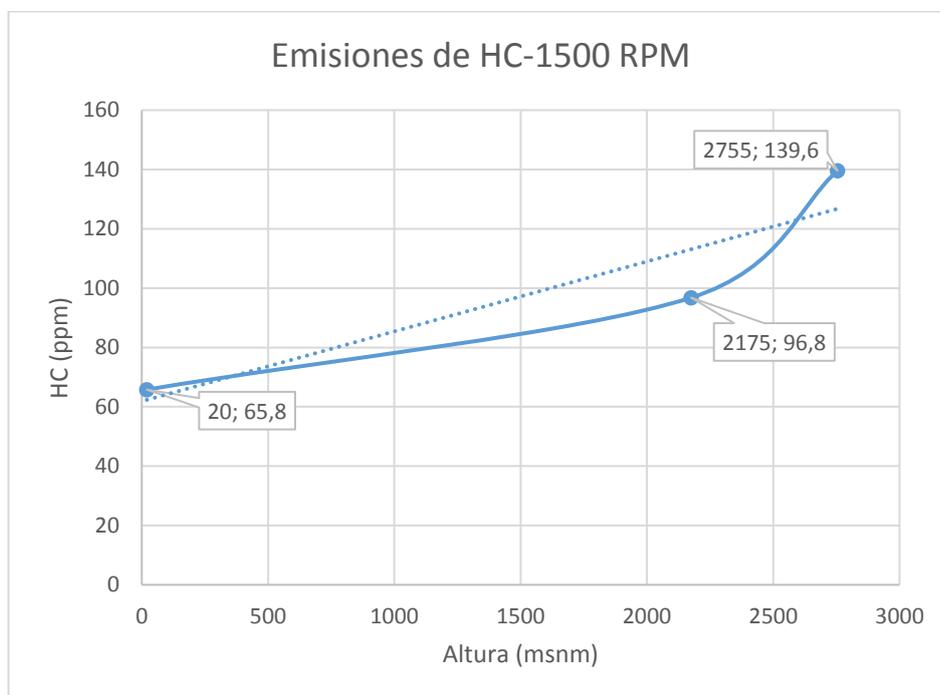


Figura 3.10 Variación de emisiones de HC a 1500 RPM.

3.4.3 COMPARACIÓN DE EMISIONES DE HIDROCARBUROS (HC) A 2500 RPM

En la Tabla 3.14 se indica la variación de hidrocarburos con el motor a 2500 RPM con una diferencia del 19.02 % entre 20 y 2175 m s n. m., y una variación del 9.0 % entre la altura del 2175 y 2755 m s n. m., mientras que se tiene un aumento del 28.02 % entre 20 y 2755 m s n. m.

Tabla 3.14 Promedio de emisiones de HC

Altura m s n. m.	2500 RPM	
	HC (ppm)	%
20	31	17.65
2175	64.4	36.67
2755	80.2	45.67

En la Figura 3.11 se puede observar que en el aumento de la altura de 20 a 2755 m s n. m. existe un aumento en el porcentaje de emisiones de hidrocarburos de aproximadamente 28.02 % desde la mínima y mayor altura.

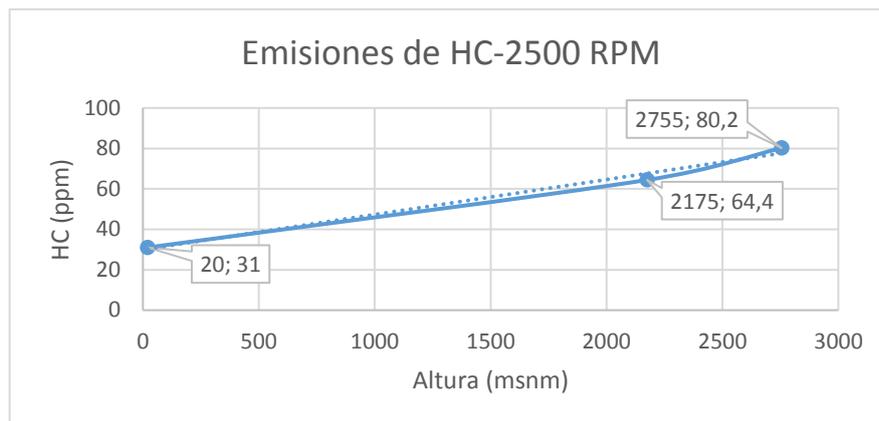


Figura 3.11 Variación de emisiones de HC a 2500 RPM.

3.4.4 COMPARACIÓN DE EMISIONES DE HIDROCARBUROS (HC) A 4000 RPM

En la Tabla 3.15 se muestra la variación en las emisiones de hidrocarburos a 4000 RPM de 20 a 2755 m s n. m. Los resultados muestran que el porcentaje de emisiones varía en 9.25 % entre las alturas de 20 y 2175 m s n. m., una diferencia del 12.08 % entre la media altura y 2755 m s n. m. se tiene y un aumento del 21.33 % entre 20 y 2755 m s n. m.

Tabla 3.15 Promedio de emisiones de HC

Altura m s n. m.	4000 RPM	
	HC (ppm)	%
20	18	23.14
2175	25.2	32.39
2755	34.6	44.47

En la Figura 3.12 se indica el comportamiento de los hidrocarburos con el motor a 4000 RPM, en la que se puede observar que a medida que se incrementa la altura de 20 a 2755 m s n. m. la cantidad de emisiones de HC tiene un aumento promedio de 21.33 %.

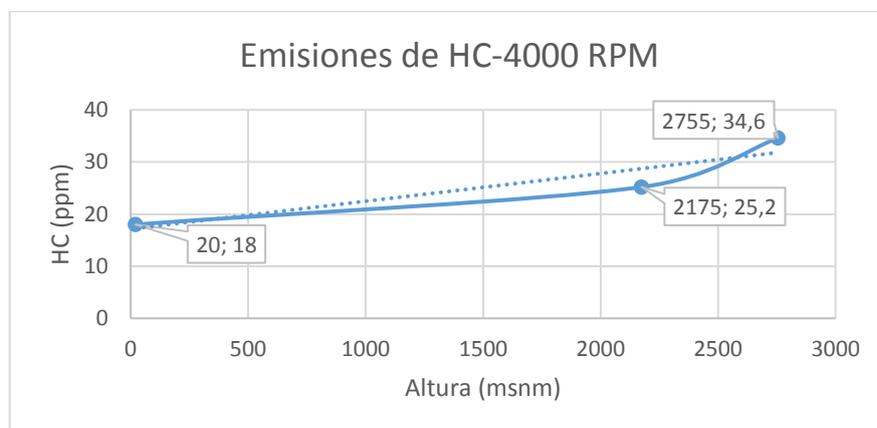


Figura 3.12 Variación de emisiones de HC a 4000 RPM.

3.5 DIAGNÓSTICO DEL MOTOR EN BASE A LOS RESULTADOS DE EMISIONES DE GASES DE ESCAPE

El análisis de los valores obtenidos en las pruebas de gases de escape ejecutadas en el vehículo Mazda CX-5 de inyección directa, permiten realizar un diagnóstico del estado de funcionamiento del motor. De esta manera, se realiza una comparación de los valores obtenidos en cada una de las RPM establecidas y lugares seleccionados, con los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestre que emplean gasolina establecidos por la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2204.

En la Figura 3.13 y 3.14 se presenta la comparación realizada en las emisiones de CO y HC, respectivamente, mismas que permiten conocer si el vehículo se encuentra en óptimas condiciones para aprobar la revisión técnica vehicular. En las emisiones de CO se observa que los valores obtenidos en los diferentes lugares se encuentran dentro de los permitidos por la norma INEN, lo que indica que el vehículo se encuentra en óptimas condiciones con respecto al análisis del monóxido de carbono.

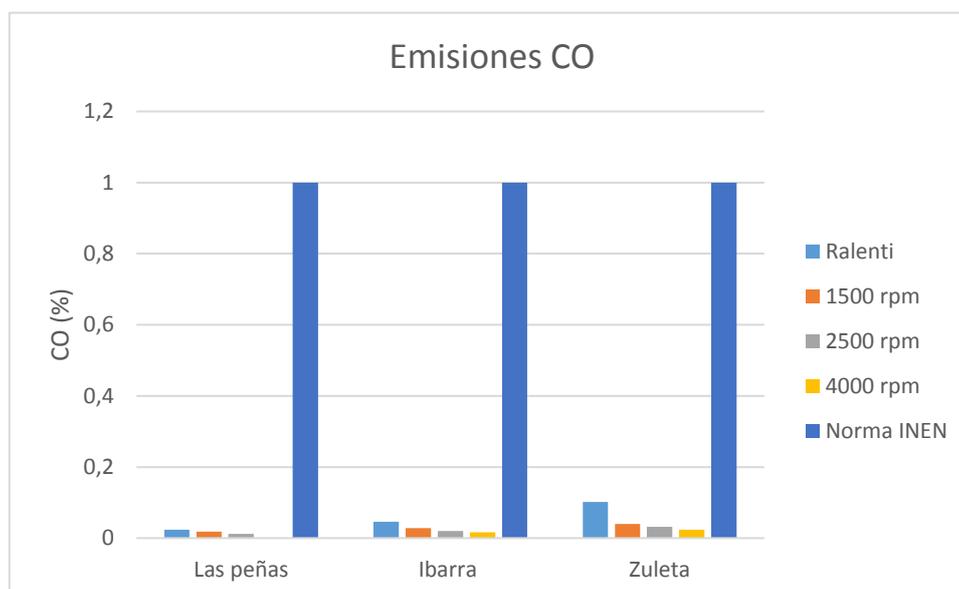


Figura 3.13 Comparación de emisiones de CO.

En la Figura 3.14 se indica la comparación de Hidrocarburos con la norma INEN, en la que se observa que en las diferentes localidades los valores obtenidos se encuentran dentro de los permitidos para la aprobación de la revisión técnica vehicular. Además, se puede concluir que los valores de HC disminuyen a medida que se incrementa las rpm del motor y a la vez disminuyen según se aumenta la altura.

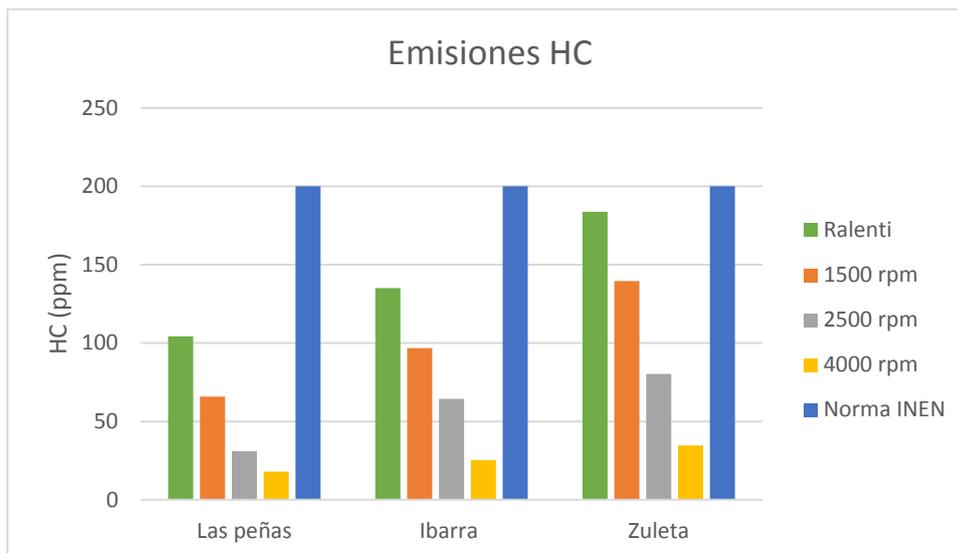


Figura 3.14 Comparación de emisiones de HC.

Del análisis realizado se observa que en todos los lugares seleccionados y RPM establecidas, los valores de CO y HC se encuentran dentro de los establecidos por la norma INEN 2204, lo que indica que el vehículo Mazda CX-5 aprueba sin dificultad la Revisión Técnica Vehicular.

En la Figura 3.15 se indica una comparación de las emisiones de CO₂ entre los lugares de Las Peñas, Ibarra y Zuleta debido a que estos valores no son contemplados dentro de la norma INEN. En los resultados se observa una tendencia a disminuir las emisiones de CO₂ a medida que aumenta la altura de cada lugar seleccionado y los valores se encuentran sobre el 13.5 %, lo que indica que el motor del vehículo Mazda es eficiente.

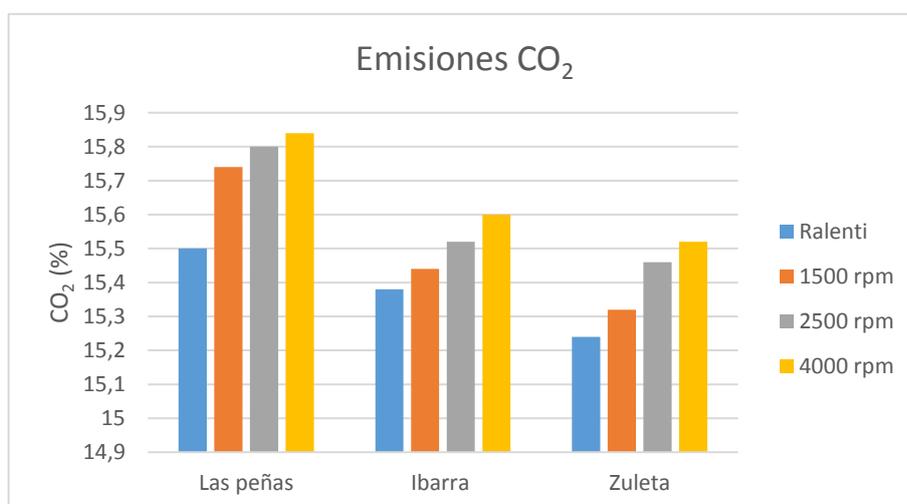


Figura 3.15 Comparación de emisiones de CO₂.

A continuación, en la Tabla 3.16 se indica las causas que pueden ocasionar un aumento en las emisiones de gases de escape y las posibles soluciones para mantener los valores correctos para un excelente funcionamiento del vehículo.

Tabla 3.16 Interpretación de averías mediante gases de escape.

Tipo de Gas	Descripción	Posibles causas	Posibles soluciones	Valores correctos
CO	Mezcla parcialmente quemada, combustión incompleta	-Alta presión en el riel de combustible. -Inyectores en mal estado. -Filtro de aire tapado. -ECU no corrige la mezcla.	Inspección y mantenimiento del sistema de combustible e inyección.	Menor de 0.2 %
HC	Combustible sin quemar.	-Avance de encendido incorrecto. -Problema en el sistema de ignición. -Sensores relacionados con el ajuste de combustible.	Inspección y mantenimiento del sistema de ignición e inyección.	Menor de 100 ppm
CO ₂	Mezcla completamente quemada	Motor en perfectas condiciones.	Sin problema.	Mayor de 13.5 %

Fuente: (Rodríguez Melchor, 2012, pág. 310)

En la Tabla 3.17 se realiza la comparación de gases de escape en la localidad de Las Peñas con los valores indicados en la tabla anterior. De los resultados obtenidos se observa que el promedio de CO, HC y CO₂ se encuentran dentro de los valores para un correcto funcionamiento del vehículo, lo que indica que no existe alguna avería en los sistemas auxiliares del motor.

Tabla 3.17 Análisis de gases de escape en Las Peñas.

Interpretación de gases de escape en Las Peñas						
Tipo de Gas	Valores correctos promedio	Valores obtenidos				
		Ralentí (700 rpm)	1500 rpm	2500 rpm	4000 rpm	Promedio
CO	Menor de 0.2 %	0.024	0.018	0.012	0.00	0.014
HC	Menor de 100 ppm	104.4	65.8	31	18	54.8
CO ₂	Mayor de 13.5 %	15.5	15.74	15.8	15.84	15.72

En la Tabla 3.18 se realiza el análisis de gases en Ibarra, donde se observa que los valores de CO, HC y CO₂ se encuentran dentro de los valores para un buen funcionamiento del vehículo Mazda, lo que indica que no existen averías en los sistemas del motor.

Tabla 3.18 Análisis de gases de escape en Ibarra.

Interpretación de gases de escape en Ibarra						
Tipo de Gas	Valores correctos promedio	Valores obtenidos				
		Ralentí (700 rpm)	1500 rpm	2500 rpm	4000 rpm	Promedio
CO	Menor de 0.2 %	0.046	0.028	0.02	0.016	0.03
HC	Menor de 100 ppm	135	96.8	64.4	25.2	80.35
CO ₂	Mayor de 13.5 %	15.38	15.44	15.52	15.6	15.49

Finalmente en la Tabla 3.19 se presenta el análisis de gases de escape en Ibarra, donde se observa que los valores de CO y CO₂ se encuentran dentro de los valores correctos promedio. Por otro lado, existe un aumento en los valores de HC, que son producidos por el combustible sin combustionar en una condición de mezcla rica.

Tabla 3.19 Análisis de gases de escape en Zuleta.

Interpretación de gases de escape en Zuleta						
Tipo de Gas	Valores correctos promedio	Valores obtenidos				
		Ralentí (700 rpm)	1500 rpm	2500 rpm	4000 rpm	Promedio
CO	Menor de 0.2 %	0.102	0.04	0.032	0.024	0.05
HC	Menor de 100 ppm	183.8	139.6	80.2	34.6	109.55
CO ₂	Mayor de 13.5 %	15.24	15.32	15.46	15.52	15.38

Del análisis realizado y como se observa en la Figura 3.16, se concluye que en la localidad de Zuleta existe un aumento de HC a un valor de 109.55 ppm, superando las 100 ppm que indican un buen funcionamiento de los sistemas auxiliares del motor. Este incremento en las emisiones es ocasionado por problemas en los sensores relacionados con el ajuste de combustible (MAP, MAF, Presión de riel), fallas en los inyectores y obstrucción en el filtro de aire, lo que impide que se realice una correcta formación de la mezcla ocasionando una combustión incompleta, por lo que es necesario realizar una inspección y mantenimiento de los elementos que constituyen el sistema de admisión e inyección.

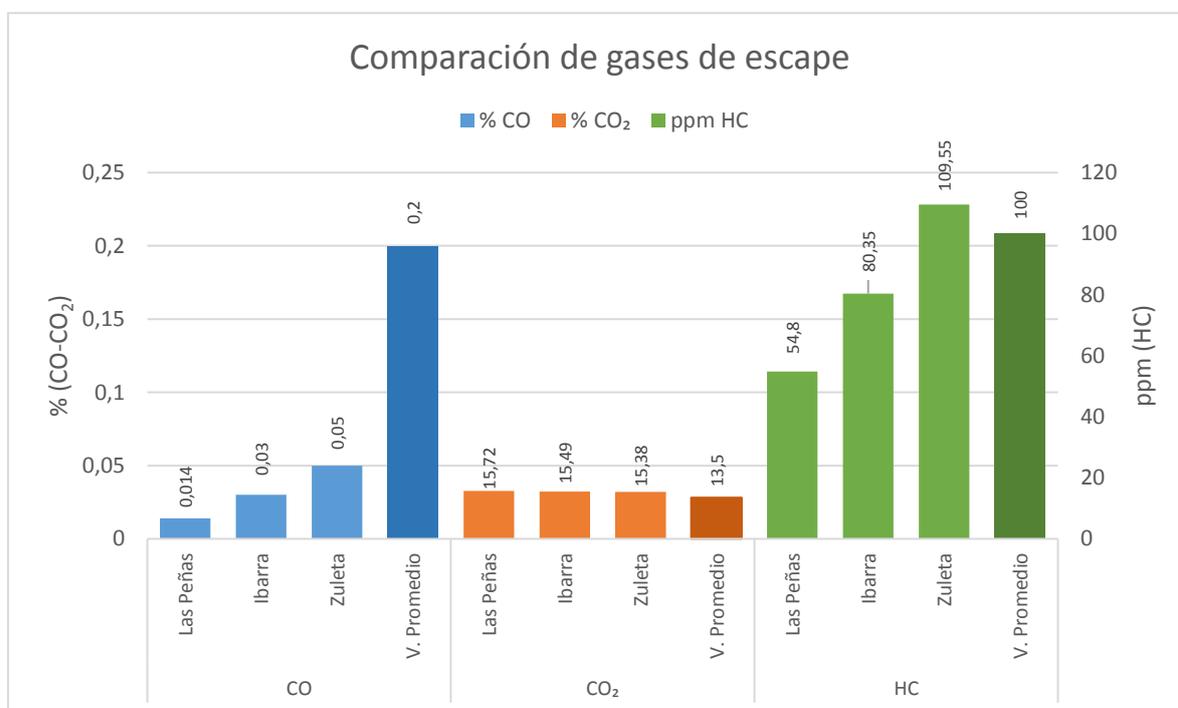


Figura 3.16 Comparación de gases de escape

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El estudio se realizó en un vehículo Mazda CX-5 año 2015 de inyección directa con el uso de gasolina super (92 RON) en las alturas de 20, 2175 y 2755 m s n. m., en diferentes regímenes de funcionamiento (700, 1500, 2500 y 4000 rpm). El análisis de emisiones de gases contaminantes indica una disminución de CO₂ del 15.7 % al 15.38 %; un aumento del 0.014 % al 0.05 % en CO y de 54.8 ppm a 109.55 ppm en las emisiones de HC a medida que la altura incrementa de 20 a 2755 m s n. m.
- Los resultados de las emisiones de gases de escape indican una disminución de 0.72 % de dióxido de carbono, un incremento del 39.78 % en monóxido de carbono y 22.31 % de hidrocarburos según se incrementa la altura de 20 a 2755 m s n. m. De esta manera se concluye que existe una disminución de CO₂ y aumento en las emisiones de CO y HC a medida que se incrementa la altura, esto debido a la deficiencia de aire para la mezcla que ingresa por la admisión del motor.
- Al realizar el análisis y comparación del porcentaje de gases contaminantes emitidos por el motor en la Costa y Sierra Ecuatoriana se obtiene que a diferencia del CO₂ existe una menor emisión de CO y HC en la Costa. Las emisiones de CO y HC son mayores en la Sierra con un porcentaje del 39.78 % y 22.31 %, respectivamente; mientras que las emisiones de CO₂ son menores en un 0.72 %, variación que puede ser ocasionada por la cantidad de oxígeno presente en el ambiente, es decir, al nivel del mar ingresa más gramos por segundo de aire a la admisión de un motor de combustión interna, independientemente del sistema de inyección que posea, esto en comparación a ciudades de altura.
- Al realizar el diagnóstico del motor se observa que los valores de CO, HC y CO₂ se encuentran bajo el 0.2 %, 100 ppm y sobre el 13.5 % respectivamente, en las localidades de Las Peñas e Ibarra. En Zuleta se observa que los valores de HC se

encuentran en un promedio de 109.55 ppm, superando las 100 ppm, esto debido a la falta de aire para alcanzar una mezcla estequiométrica, la cual podría deberse a una obstrucción en la admisión de aire, dicho aumento es producido por el combustible sin combustionar en una condición de mezcla rica, es decir valores lambda inferiores a 1.

- El análisis de gases para el diagnóstico del motor indica que existe un aumento de HC en la localidad de Zuleta, que es ocasionado por problemas en los sensores relacionados con el ajuste de combustible (MAP, MAF, Presión de riel), fallas en los inyectores y obstrucción en el filtro de aire. La falta de limpieza en los sensores produce una medición errónea ocasionando pérdida de señal y sensibilidad del sensor, así como el filtro en mal estado impide la entrada de aire necesaria para una correcta combustión, por lo que es indispensable realizar una inspección y mantenimiento de los elementos que constituyen el sistema de admisión e inyección.
- En relación a los gases de escape se obtiene un aumento de los hidrocarburos (HC) hasta un valor de 109.55 ppm que se produce principalmente por una condición de mezcla rica, lo que puede ser ocasionado por elementos defectuosos en el sistema de encendido como bujías, cables de bujías, bobinas que pueden estar defectuosas o en malas condiciones de funcionamiento. En las emisiones de CO se observa un aumento de hasta el 0.05 %, que puede ser causado por obstrucción en el filtro de aire, presión excesiva de la bomba de combustible, obstrucción en la válvula. Por su parte, en el CO₂ se obtiene valores superiores al 13.5 % lo que indica que el funcionamiento del motor es eficiente.

4.2 RECOMENDACIONES

- En investigaciones posteriores se recomienda realizar pruebas experimentales a diferentes alturas sobre el nivel del mar, con la finalidad de determinar la respuesta de la ECU y los parámetros de funcionamiento de sensores y actuadores para controlar las emisiones contaminantes.

- Realizar un estudio de las emisiones de óxidos de nitrógenos (NOx) del motor de inyección directa a distintas alturas sobre el nivel del mar con la finalidad de analizar la variación en las emisiones y la eficiencia del catalizador-acumulador con el uso de naftas de diferente octanaje.
- Se recomienda realizar un análisis del consumo de combustible en ruta, con la finalidad de conocer el porcentaje de ahorro de combustible que proporciona el sistema de inyección directa con respecto al sistema de inyección indirecta en diferentes alturas.
- Es recomendable realizar un estudio sobre la influencia de la gasolina extra y super en el funcionamiento y porcentaje de emisiones de gases contaminantes del motor de inyección directa e indirecta a diferentes alturas, esto con el fin precisar los intervalos de mantenimiento.
- Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo al vehículo Mazda CX-5, en vista que en las pruebas realizadas se obtienen elevadas emisiones de HC, lo que indica que existe elementos defectuosos principalmente en el sistema de encendido como bujías defectuosas o desgastadas y elementos de la admisión como podría ser la obstrucción del filtro de aire, además se recomendaría realizar una limpieza del todo el cuerpo de aceleración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Benavides Ballesteros , H. O., & León Aristizabal, G. E. (2007). INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO.
2. Bosch. (2003). Técnica de gases de escape para motores de gasolina. Postfach: GmbH.
3. Carreras, R., Álvarez Flórez, J., & Callejón , A. (2005). Motores alternativos de combustión interna. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
4. D. Gonzáles Callejas. (2011). Motores. Madrid: Paraninfo, SA.
5. Delgadillo, W. L. (2003). Verificación y Cuantificación de gases contaminantes producidos por automóviles en la Ceja de el Alto. La Paz-Bolivia.
6. ECUADORINMEDIATO.COM. (10 de AGOSTO de 2008). Obtenido de ECUADORINMEDIATO.COM:http://www.ecuadorinmediato.com/Noticia/s/news_user_view/corpaire_asegura_que_aire_de_quito_esta_menos_contaminado--84758
7. El Tiempo. (19 de Abril de 2013). Obtenido de El Tiempo Casa Editorial: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12750994>
8. ELLINGER, H. (1992). Ajuste de Motores y Control de Emisiones. México: Prentice-Hall.
9. Fernández, R. V. (2005). Gestión ambiental de tránsito: cómo la ingeniería de transporte puede contribuir a la mejoría del ambiente urbano. .
10. Guías de calidad. (2005). Revista Organización Mundial de la salud "Calidad del aire (exterior) y salud", 25.
11. INEN, N. (2017). Gestión ambiental, aire, vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que emplean gasolina. Quito, Ecuador.
12. L. Robles y J. Martínez. (2010). Estudio del comportamiento de las variables de un motor de inyección electrónica respecto a la altura sobre el nivel del mar. Quito.
13. Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial. (2014).
14. Lina Manjarrez, P. R. (2011). Transporte urbano, movilidad cotidiana y ambiente en el modelo de ciudad sostenible: bases conceptuales. México, D.F: Plaza y

Valdés, S.A.

15. Mazda. (2015). Ficha técnica Mazda CX-5. Japón.
16. Mazda. (2013). Workshop Manual Engine. USA.
17. Milla, J. C. (2016). Estudio del funcionamiento de un motor de inyección electrónica directa a gasolina en diferentes alturas con respecto al nivel del mar. Quito.
18. Mitsubishi. (2003). Manual de taller Mitsubishi Lancer Cedia. Tokio.
19. Ortiz, S. (2003). BUSCANDO COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS BIOETANOL. España.
20. Pardiñas, J. (2012). Sistemas auxiliares del motor. España: Editorial Editex.
21. Plan Nacional de Desarrollo. (2017-2021).
22. PNUMA, ORGANIZACION MUNDIAL DEL COMERCIO. (2009). El comercio y el cambio climático . Suiza: Secretaría de la OMC.
23. Pruebaderuta.com. (s.f.). Obtenido de Mantenimiento del motor: <https://talleresyrepuestos.com/documentacion-tecnica/mantenimiento-del-motor/455-la-relacion-de-la-altura-con-la-potencia-del-motor>
24. Riesco-Ávila, J. G.-M.-S. (2009). Procesos alternativos de combustión en motores de combustión interna. Universidad de Guanajuato, 37-54.
25. Rodríguez, M. J. (2012). Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo otto. España: IC Editorial.
26. Rovira de Antonio, A., & Muñoz Domínguez, M. (2015). Motores de Combustión Interna. Madrid: UNED.
27. Sánchez, G. M. (2012). Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos. España: IC Editorial.
28. THIESSEN. (2000). Manual de Sistemas de Inyección Directa. México: Prentice-Hall.
29. Volkswagen. (2002). Inyección directa de gasolina con Bosch Monotronic MED 7. Wolfsburg: Robert Bosch GmbH.
30. Winston, P. C. (2006). Estimación de las emisiones contaminantes por fuentes móviles a nivel nacional y formulación de lineamientos técnicos paara el ajuste de normas. Bogotá, D.C.

ANEXOS

ANEXO I

EQUIPOS DE MEDICIÓN DE GASES DE ESCAPE



FIGURA AI.1. Analizador de gases AGS-688



FIGURA AI.2. Sonda para medición de gases de escape en motores gasolina

ANEXO II

EMISIONES DE GASES EN LA LOCALIDAD DE LAS PEÑAS



FIGURA AII.1. Emisiones a 20 m s n. m. a ralentí (700 rpm)



FIGURA AII.2. Emisiones a 20 m s n. m. a 1500 rpm

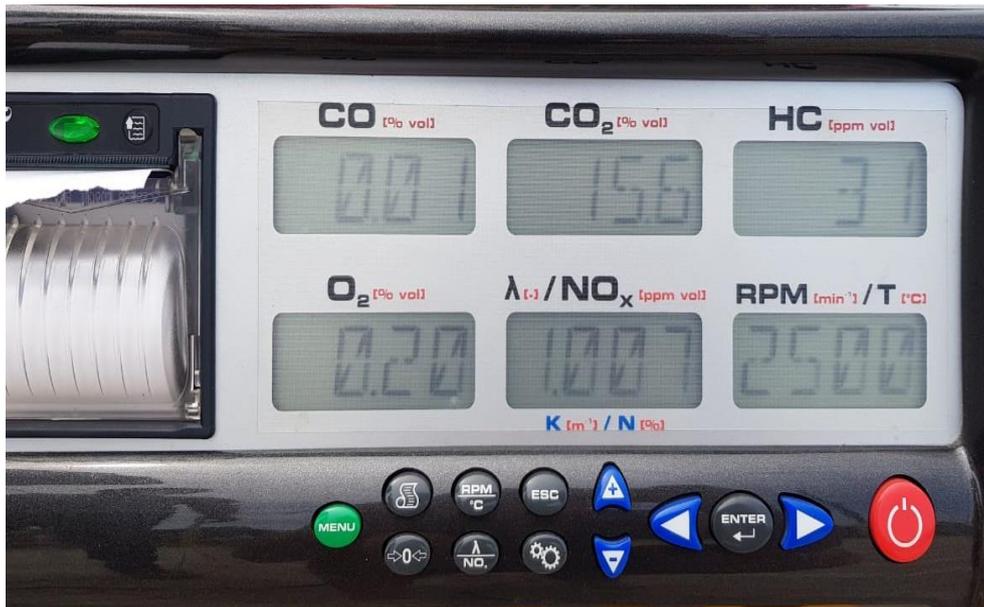


FIGURA AII.3. Emisiones a 20 m s n. m. a 2500 rpm



FIGURA AII.4. Emisiones a 20 m s n. m. a 4000 rpm

ANEXO III

EMISIONES DE GASES EN LA LOCALIDAD DE IBARRA



FIGURA AIII.1. Emisiones a 2175 m s n. m. a ralentí (700 rpm)



FIGURA AIII.2. Emisiones a 2175 m s n. m. a 1500 rpm



FIGURA AIII.3. Emisiones a 2175 m s n. m. a 2500 rpm



FIGURA AIII.4. Emisiones a 2175 m s n. m. a 4000 rpm

ANEXO IV

EMISIONES DE GASES EN LA LOCALIDAD DE ZULETA



FIGURA AIV.1. Emisiones a 2755 m s n. m. a ralenti (700 rpm)



FIGURA AIV.2. Emisiones a 2755 m s n. m. a 1500 rpm

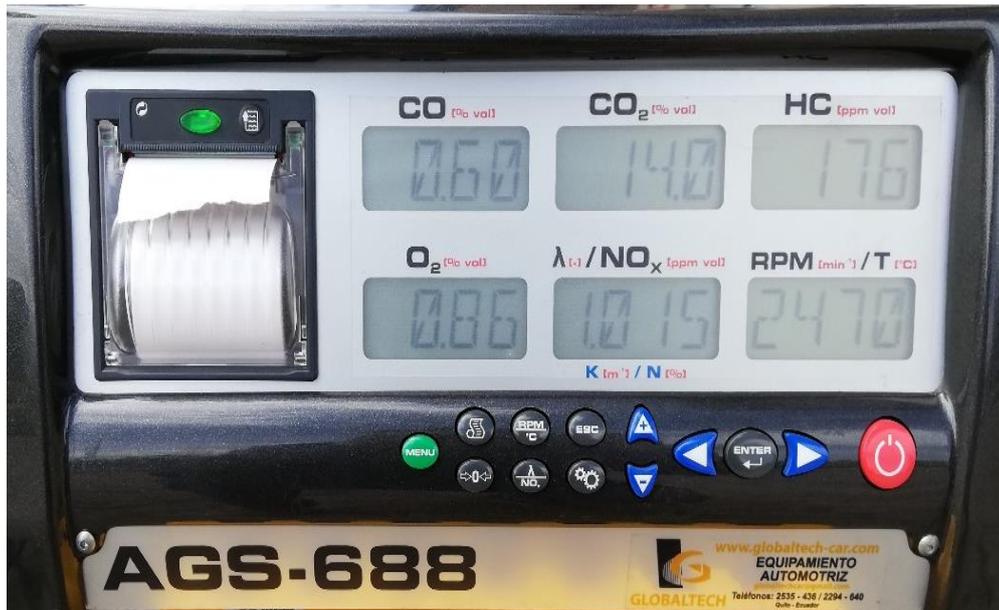


FIGURA AIV.3. Emisiones a 2755 m s n. m. a 2500 rpm



FIGURA AIV.4. Emisiones a 2755 m s n. m. a 4000 rpm

ANEXO V

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2204

Límites máximos de emisiones en marcha mínima o 700 rpm (Prueba estática)

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	5,5	6,5	1000	1200

^a Volumen^b Altitud=metros sobre el nivel del mar (m s n. m.)

Fuente: (INEN, 2017, pág. 3)

Límites máximos de emisiones ciclos ftp-75 (Prueba dinámica)

Categoría	Clase	Peso de referencia (PR) kg	CO g/km	HC g/km	HC+NOx g/km	NOx	Ciclo de prueba
M ^a	-	Todas	2,3	0,2	-	0,15	ECE+EUDC (también conocido como MVEG-A)
N1 ^b	I	PR≤1305	2,3	0,2	-	0,15	
	II	1305<PR≤1760	4,17	0,25	-	0,18	
	III	1760<PR	5,22	0,29	-	0,21	

^a Salvo los vehículos cuyo peso máximo sobrepase 2500 kg.^b Y los vehículos de la categoría M que sobrepasen 2500 kg.

Fuente: (INEN, 2017, pág. 4)

Límites máximos de emisiones (Prueba dinámica)

Categoría	50,000 millas/5 años				100,000 millas/10 años			
	CO g/mi	THC g/mi	NMHC g/mi	NOx g/mi	CO g/mi	THC g/mi	NMHC g/mi	NOx g/mi
Vehículos de pasajeros	3,4	0,41	0,25	0,4	4,2	-	0,31	0,6
LLDT,LVW<3750 lbs	3,4	-	0,25	0,4	4,2	0,80	0,31	0,6
LLDT,LVW<3750 lbs	4,4	-	0,32	0,7	5,5	0,80	0,40	0,97
HLDT,ALVW<5750 lbs	4,4	0,32	-	0,7	6,4	0,80	0,46	0,98
HLDT,ALVW<5750 lbs	5,0	0,39	-	1,1	7,3	0,80	0,56	1,53

Fuente: (INEN, 2017, pág. 4)

ANEXO VI

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LA GASOLINA SUPER

Propiedades físico-químicas de la gasolina super

Fórmula química	C ₅ H ₁₂ a C ₁₀ H ₂₂	
Estado físico	Líquido a temperatura ambiente	
Color y apariencia	Amarillo y brillante	
Olor	Característico	
Calor de combustión	19277 BTU/lb	
Punto de ebullición	Inicial	35 °C
	Final	210 °C aproximadamente
Punto de inflamación	-42 °C	
Presión de vapor	6 a 10 kPa a 20°C	
Densidad de vapor	3-4 (aire=1)	
Densidad relativa a 15 °C	0,7174	
Temperatura de autoignición	>280°C	
Temperatura de autoinflamación	200 °C	
Solubilidad	En agua	Solubilidad en agua 0-003-0.010 kg/m ³
Límite de inflamabilidad	Superior	7.4 %
	Inferior	1.4 %

Fuente: (Quimbita Panchi & Guallichico Suntasig, 2017, pág. 24)