



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRÍZ**

TEMA:

**EVALUAR EL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR CON
SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA CRDI CON Y SIN
RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE**

AUTOR:

JORGE HERNÁN CHICAIZA CHISAGUANO

DIRECTOR:

ING. CARLOS NOLASCO MAFLA YEPÉZ M.Sc.

IBARRA, MAYO 2019



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 Concejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es **“Evaluar el funcionamiento de un motor con sistema de inyección electrónica CRDI con y sin recirculación de gases de escape”** presentado por el señor **Jorge Hernán Chicaiza Chisaguano** con número de cédula 10030940735, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes antes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 17 días del mes de mayo del 2019.

Atentamente

Ing. Mafla Carlos 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:	DE	1003094073	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Chicaiza Chisaguano Jorge Hernán	
DIRECCIÓN:		Otavalo-Imbabuela	
EMAIL:		jhernancito1988@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	062928484	TELÉFONO MÓVIL:	0969870381

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Evaluar el funcionamiento de un motor con sistema de inyección electrónica CRDi con y sin recirculación de gases de escape.
AUTOR (ES):	Chicaiza Chisaguano Jorge Hernán
FECHA:	17 de mayo del 2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mantenimiento Automotriz
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Nolasco Mafla Yepéz

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta 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 el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 17 días del mes de mayo de 2019

EL AUTOR:



Chicaiza Chisaguano Jorge Hernán



CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR
TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **Jorge Hernán Chicaiza Chisaguano** con cédula de identidad Nro.1003094073, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado “ **Evaluar el funcionamiento de un motor con sistema de inyección electrónica CRDi con y sin recirculación de gases de escape**” Que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRÍZ** en la Universidad Técnica del Norte quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi Condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

AUTOR

Firma

Jorge Hernán Chicaiza Chisaguano

1003094073

Ibarra, a los 17 días del mes de mayo del 2019

DEDICATORIA

La presente investigación está dedicada para mis padres Manuel y Dolores, que son el motivo de mi superación diaria, a mi hermana Rosario y Mayra, mi hermano Abelardo que con esfuerzo y sacrificio me acompañaron a concluir una etapa más en mi vida profesional, quienes son mi ejemplo y la razón principal de mi esfuerzo y dedicación. Dedicado para mi pequeña Aithana que llena mis días de luz y alegría.

Jorge Hernán Chicaiza Chisaguano

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios mi padre celestial que guía mi vida, por bendecirme y llenarme de salud y vida todos los días de mi existencia, a mis padres y hermanos por sus consejos y enseñanzas, a mi compañera de vida Daniela que siempre estuvo a mi lado apoyándome en este trayecto de vida.

Mi gratitud a la Universidad Técnica del Norte y a todos los Docentes que contribuyeron en mi formación académica y profesional. Mis más sinceros agradecimientos al Ing. Carlos Mafla MSc, Director de Tesis, al Ing. Ignacio Benavides MSc, al personal del laboratorio Diésel SID en especial a mi buen amigo Freddy, quienes me brindaron las enseñanzas y apoyo con material teórico y práctico para el desarrollo de la presente investigación.

Jorge Hernán Chicaiza Chisaguano

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPÍTULO I	12
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	12
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivo general.	12
1.1.2 Objetivos específicos.	12
1.2 JUSTIFICACIÓN	13
1.3 ALCANCE	13
1.4 ANTECEDENTES	14
1.5 SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES VEHICULARES	15
1.5.1 Tipos de gases de escape de los motores diesel	15
1.5.2 Normativa EURO	16
1.5.3 Norma tecnica ecuatoriana para emisiones Diésel	17
1.5.4 Principales sistemas de control de emisiones	18
1.5.4.1 Sistema de ventilación positiva del cárter (PCV)	19
1.5.4.2 Sistema de control de emisiones evaporativas (EVAP)	19
1.5.4.3 Sistema de control de emisiones en el tubo de escape	20
1.6 SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE GASES (EGR)	21
1.6.1 Funcionamiento del sistema de recirculación de gases	22
1.6.2 Cómo el pcm controla el flujo del sistema EGR	23
1.6.3 Cómo se controla el flujo del sistema EGR	24
1.6.4 Tipos de sistemas de recirculación de gases de escape	25
1.6.4.1 Sistema de recirculación de gases neumático	25
1.6.4.2 Sistema de recirculación de gases electrónico	26
1.6.4.3 Sistema EGR con actuador EGR eléctrico de motor pasó a paso	27
1.7 VÁLVULA DE RECIRCULACIÓN DE GASES (EGR)	27

1.7.1 Principales características de la válvula EGR	29
1.8 TIPOS DE VÁLVULA DE RECIRCULACIÓN DE GASES (EGR)	29
1.8.1 Válvula de recirculación de gases neumática	29
1.8.2 Válvula de recirculación de gases electrónica	30
1.9 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA TEMPERATURA DE LA EGR	31
1.9.1 EGR caliente	31
1.9.2 EGR frío	32
1.10 SINTOMAS Y AVERÍAS DE LA VÁLVULA EGR	32
1.10.1 Síntomas de válvula EGR defectuosa	32
1.10.2 Averías de la válvula EGR	32
CAPÍTULO II	34
2. MATERIALES Y MÉTODOS	34
2.1 MATERIALES Y EQUIPOS	34
2.1.1 Materiales	34
2.1.1.1 Motor Mazda BT50 2.5 CRDi 2013	34
2.1.1.2 Válvula EGR Mazda BT50 CRDi 2013	35
2.1.1.3 Desoxidante WURTH Rost Off	35
2.1.2 Equipos	35
2.1.2.1 Vacuómetro	35
2.1.2.2 Multímetro Trisco DA-830	36
2.1.2.3 Medidor de Opacidad Brain Bee (OPA 100)	37
2.1.2.4 Analizador de gases Kane	37
2.1.2.5 El scanner automotriz	38
2.2 MÉTODOLÓGÍA	38
2.2.1 Método descriptivo	39
2.2.1.1 Mantenimiento preventivo motor Mazda BT50WL-C2.5CRDi	39
2.2.1.2 instalación del sistema de recirculación de gases (EGR)	40
2.2.2 Método experimental	41
2.2.2.1 Mediciones de opacidad de gases de escape del Motor Mazda BT50 CRDi con la válvula EGR conectada	41
2.2.2.2 Mediciones de opacidad de gases de escape del Motor Mazda BT50 CRDi sin conexión de la válvula EGR	43

2.2.2.3 Análisis de gases de escape del Motor Mazda BT50 CRDi con la válvula EGR conectada	44
3 RESULTADOS Y DISCUSION	45
3.1 MANTENIMIENTO DEL MOTOR MAZDA BT50WL-C2.5CRDI	45
3.1.1 Calibración de válvulas	45
3.1.2 Remplazo de cojinetes del cigüeñal del motor	46
3.1.3 Instalación del sistemas de recirculación de gases	46
3.1.3.1 Instalación de la bomba de vacío	46
3.1.3.2 Válvula EGR	47
3.1.3.3 Mantenimiento de la válvula EGR	50
3.2 ANÁLISIS DE MEDICIONES DE OPACIDAD	50
3.2.1 Test 1 con válvula EGR	51
3.2.2 Test 2 con válvula EGR	52
3.2.3 Test 3 con válvula EGR	53
3.2.4 Test 1 sin válvula EGR	54
3.2.5 Test 2 sin válvula EGR	55
3.2.6 Test 3 sin válvula EGR	56
3.3 ANÁLISIS DE GASE DE ESCAPE	57
3.3.1 Con recirculacion de gases	57
3.3.1.1 Tabla	57
3.3.1.2 Gráfico	57
3.3.1.2 Análisis de datos	58
3.3.2 Sin recirculacion de gases	59
3.3.2.1 Tabla	59
3.3.2.2 Gráfico	59
3.3.2.3 Análisis de datos	60
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
4.1 CONCLUSIONES	61
4.2 RECOMENDACIONES	61
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXOS	67

INDICE DE TABLAS

TABLA NUM.	PÁGINA
Tabla 1.1 Normativa EURO para Vehículos diésel	17
Tabla 1.2 Limites de opacidad	17
Tabla 1.3 Límites máximos de emisiones motor de Diésel	18
Tabla 2.1 Especificaciones del motor Mazda BT50	34
Tabla 2.2 Especificaciones Válvula EGR Mazda BT50	35
Tabla 2.3 Componente Desoxidante WURTH Rost Off	35
Tabla 2.4 Especificaciones multímetro Trisco DA-830	36
Tabla 2.5 Especificaciones Opacímetro Brain Bee (OPA 100)	37
Tabla 2.6 Especificaciones Técnica Analizador de Gases KANE	38
Tabla 2.7 Ejemplo de Medición de la opacidad con válvula EGR	42
Tabla 2.8 Ejemplo de Medición de la opacidad sin válvula EGR	43
Tabla 2.9 ejemplo de recopilación de datos KANE	44
Tabla 3.1 Datos de la opacidad test 1	51
Tabla 3.2 Datos de la opacidad Test 2	52
Tabla 3.3 Datos de la opacidad Test 3	53
Tabla 3.4 Datos de la opacidad sin EGR Test 1	54
Tabla 3.5 Datos de la opacidad sin EGR Test 1	55
Tabla 3.6 Datos de la opacidad sin EGR Test 1	56
Tabla 3.7 Análisis de gases de escape con EGR	57
Tabla 3.8 Análisis de gases de escape sin EGR	59

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NUM.	PÁGINA
Figura 1.1 Composición de los gases de escape de los motores Diésel	16
Figura 1.2 Sistemas de control de emisiones	18
Figura 1.3 Funcionamiento de la válvula PCV	19
Figura 1.4 Funcionamiento de la válvula PCV	20
Figura 1.5 Esquema de recirculación de gases de escape en el motor	21
Figura 1.6 Esquema del sistema de recirculación de gases	22
Figura 1.7 Funcionamiento del sistema de recirculación de gases	23
Figura 1.8 Control del flujo de aire por parte del PCM.	24
Figura 1.9 Control del flujo de aire por parte del PCM.	25
Figura 1.10 Sistema de recirculación de gases neumático	26
Figura 1.11 Sistema de recirculación de gases electrónico	27
Figura 1.12 Válvula egr mazda BT-50	28
Figura 1.13 Válvula egr con sensor EVP, MAZDA BT-50	28
Figura 1.14 Sección de una válvula EGR neumática	30
Figura 1.15 Sección de una válvula EGR electrónica	31
Figura 1.16 Válvula egr con acumulación de carbonilla	33
Figura 2.1 Sistema de recirculación de gases EGR	41
Figura 3.1 Calibración de válvulas	45
Figura 1.2 Motor sin bomba generadora de vacío	46
Figura 3.3 Motor con bomba de vacío instalada	47
Figura 3.4 Válvula EGR K5T576	48

Figura 1.5 Motor sin válvula EGR	49
Figura 3.6 Motor con válvula EGR	50
Figura 3.7 Pico de la opacidad test 1	51
Figura 3.8 Pico de la opacidad test 2	52
Figura 3.9 Pico de la opacidad test 3	53
Figura 3.10 Pico de la opacidad sin EGR test 1	54
Figura 3.11 Pico de la opacidad sin EGR test 2	55
Figura 3.12 Pico de la opacidad sin EGR test 3	56
Figura 3.13 Análisis de gases de escape con EGR	57
Figura 3.13 Análisis de gases de escape con EGR	59
Figura AI.1 Válvula EGR obstruida	68
Figura AII.2 Colocación de desoxidante	69
Figura AIII.3 Remoción de carbonilla	70
Figura AIV.4 Válvula desgatada	71
FiguraAV.5 Válvula limpia	72
Figura AVI.6 Medición de vacío	73

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de evaluar el funcionamiento de un motor con sistema de inyección electrónico CRDI con y sin recirculación de gases de escape, así como también la instalación y el correcto funcionamiento del sistema de recirculación de gases. El trabajo tiene sustento en la investigación descriptiva, la misma que permitió la recolección de la información en libros, revistas, manuales y la obtención y conocimiento de la normativa ambiental vigente, además se utilizó la investigación experimental ya que se realizó pruebas de medición de opacidad y análisis de gases en tiempo real y manipulando factores como la temperatura, el tiempo y las revoluciones del motor. Se realizó la instalación del sistema de recirculación de gases EGR en el Motor Mazada BT50 CRDi que posee la universidad Técnica del Norte, esta actividad se efectuó en los talleres SID. La medición de opacidad y análisis de gases tanto con el Sistema EGR como sin el sistema EGR, se realizó con instrumentos que posee la Universidad Técnica del Norte las mismas que se encuentran actualizadas y en perfecto funcionamiento. Los datos reflejados tanto por el opacímetro y el analizador de gases Kane nos demuestra la diferencia que existe cuando un motor diésel CRDi está funcionando con EGR o sin EGR. La medición de la opacidad se realizó en un mínimo de tres test con EGR y tres test sin EGR para poder tener datos exactos y el análisis de gases un test con EGR y un test sin EGR en un tiempo de 120 segundos. Como datos relevantes se observó un aumento del porcentaje de opacidad cuando está conectada la válvula EGR y en el análisis de gases se observó un aumento de NOx (ppm) en un 40 % relativamente cuando la válvula EGR esta desconectada. Aun cuando el porcentaje de NOx (ppm) es elevado, el motor Mazda BT50 CRDi está en condiciones de acoplarse a la normativa EURO 3 ya que su máximo de NOx es de 259 ppm. Cabe indicar que el alto índice de opacidad de los vehículos es causante de la polución que existe en Países desarrollados por lo que es necesario mantener el motor en perfecto estado y a la vez realizar un mantenimiento a la válvula EGR.

ABSTRACT

This research work was carried out in order to evaluate the operation of an engine with CRDI electronic injection system with and without exhaust gas recirculation, as well as the installation and correct operation of the exhaust gas recirculation system. This work is supported by a descriptive research, which allowed the collection of information from books, journals, manuals and current environmental regulations, in addition experimental research was used since opacity measurement tests were conducted and gas analysis in real time by manipulating factors such as temperature, time and engine revolutions. The installation of the EGR gas recirculation system was carried out in a BT50 CRDi Mazda engine, owned by Técnica del Norte University, in the SID workshops. The measurement of opacity and gas analysis, both with the EGR System and without the EGR system, was carried out with instruments the university has, which are updated and in perfect operation. The data reflected by both the opacimeter and the Kane gas analyser show the difference that exists when a CRDi diesel engine is running with EGR or without EGR. The opacity was measured in a minimum of three tests with EGR and three tests without EGR to be able to obtain accurate data and the analysis of gases a test with EGR and a test without EGR within a timeframe of 120 seconds. As relevant data, an increase in the percentage of opacity was observed when the EGR valve was connected and in the gas analysis an increase of NO_x (ppm) was observed in a 40% when the EGR valve is disconnected. Even though the percentage of NO_x (ppm) is high, the Mazda BT50 CRDi engine is able to comply with the EURO 3 norm since its NO_x maximum is 259 ppm. It should be noted that the high opacity of vehicles is the cause of the pollution that exists in developed countries so it is necessary to keep the engine in perfect condition and at the same time perform maintenance of the EGR valve.

INTRODUCCIÓN

Los motores de combustión interna están implementados por sistemas que permiten el funcionamiento eficiente del mismo y además permiten ser analizados independientemente. En este contexto en el motor existen sistemas de alimentación que son capaces de regular la dosificación de combustible dentro del cilindro además existen sistemas necesarios para mantener la temperatura de trabajo del motor como el sistema de refrigeración, pero de la misma manera existen sistemas como el sistema de recirculación de gases EGR que están implementados para reducir las emisiones de gases contaminantes que perjudican al medio ambiente.

La reseña histórica del sistema de recirculación de gases EGR empieza desde 1970 cuando fue creada para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno y fue implementada en 1996 por los fabricantes europeos para adaptarse a la normativa europea EURO 2. Hoy en día el sistema EGR es común en los vehículos, pero sin embargo existen países donde no existe normativa para reducir las emisiones de gases en vehículos. El sistema EGR permite reducir las emisiones de NOx que es uno de los gases más contaminantes que se producen dentro de un vehículo de combustión interna y de esta forma ayuda a preservar el medio ambiente y en especial la salud de la población a nivel mundial

En la actualidad en el Ecuador se implementó la normativa EURO 3 lo que significa que las casas comerciales de vehículos deben equipar a los motores vehiculares con sistemas de control de emisiones tales como la EGR. Sin duda es un precedente importante para el Ecuador ya que desde 1996 se mantenía en vigencia la normativa EURO 2.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

1.1 OBJETIVOS.

1.1.1 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar el funcionamiento de un motor con sistema de inyección electrónica CRDi con y sin recirculación de gases de escape

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Investigar los diferentes sistemas de control de emisiones que se implementan en los vehículos, haciendo énfasis en el sistema de recirculación de gases (EGR).

Implementar el sistema de recirculación de gases (EGR) en el Motor Mazda BT50WL-C2.5CRDi, perteneciente a la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica del Norte.

Realizar pruebas de funcionamiento y emisiones de gases producto de la recirculación de gases del Motor Mazda BT50WL-C2.5CRDi.

Determinar la eficacia del sistema de recirculación de gases de escape del Motor Mazda BT50WL-C2.5CRDi.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

El presente proyecto de tesis se realiza debido a la importancia del sistema de recirculación de gases de escape EGR, para el funcionamiento de los vehículos, el medio ambiente y sobre todo para evaluar su funcionamiento y aporte a la disminución de la emisión de gases peligrosos producto de la combustión. Además, es una base fundamental para los estudiantes y catedráticos de la Universidad Técnica del Norte en especial para los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento automotriz ya que en la actualidad no se posee una investigación sobre la influencia del sistema de recirculación de gases (EGR).

Por otro lado, los catedráticos de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz tendrán el material didáctico en el que podrán impartir las clases teóricas y a la vez pondrán poner en práctica su amplio conocimiento sobre el tema. Finalmente, la carrera de Ingeniería En Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica Del Norte podrá entregar a la sociedad ecuatoriana y del mundo, profesionales con amplio conocimiento sobre el sistema de recirculación de gases EGR para incentivar de esta manera a la preservación del medio ambiente mediante la reducción de emisiones contaminantes ya que ellos serán los portavoces de la importancia del uso de la EGR.

1.3 ALCANCE.

Investigar los diferentes sistemas de control de emisiones que se implementan en los vehículos, haciendo énfasis en el sistema de recirculación de gases (EGR).

- Se recopilará información sobre sistemas de control de emisiones en vehículos.
- Se investigará la definición, clasificación y componentes del sistema de recirculación de gases.

Implementar el sistema de recirculación de gases (EGR) en el Motor Mazda BT50WL-C2.5CRDi de cuatro cilindros perteneciente carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica del Norte.

- Se instalará el sistema de recirculación de gases EGR.

- Se realizará pruebas de funcionamiento del sistema

Realizar pruebas de funcionamiento y emisiones de gases producto de la recirculación de gases del Motor Mazda BT50WL-C2.5CRDi.

- Se realizará medición de la opacidad con el funcionamiento del sistema EGR y sin funcionamiento de la EGR.
- Se realizará pruebas de análisis de gases de escape con el funcionamiento del sistema EGR y sin funcionamiento del sistema EGR.

Determinar la eficacia del sistema de recirculación de gases de escape del Motor Mazda bt50wl-c2.5CRDi de cuatro cilindros.

- Se obtendrá tablas de datos y gráficos de la opacidad.
- Se obtendrá tabla de datos y gráficos de análisis de gases.
- Se realizará el análisis de las tablas y gráficos antes mencionados

1.4 ANTECEDENTES.

Han pasado muchos años desde que el ingeniero Alemán Rudolf Diésel en busca de reemplazar viejos motores de vapor que eran, pesados, robustos y utilizaban gasolina como combustible, invento, el motor Diésel, el mismo que en principio funciona con un aceite liviano llamado fueloil. Este motor a su vez durante estos años ha implementado varios cambios en sus sistemas los mismos que buscan acoplarse a la necesidad ecológica mundial y de la misma manera satisfacer las exigencias de los usuarios de automóviles.

Cuando hablamos de un cambio en los sistemas del motor Diésel nos referimos a la búsqueda por elevar la eficiencia y disminuir el consumo de combustible sin perder el rendimiento del motor. Estos cambios se los puede apreciar principalmente en los sistemas de alimentación de combustible ya que los tradicionales carburadores fueron sustituidos por novedosos sistemas de inyección de combustible controlados mecánicamente y en la actualidad comandados por medios electrónicos los mismos que

están orientados a disminuir el consumo de combustible para de esta manera preservar el medio ambiente.

Sin duda el cuidado del medio ambiente es una obligación de todos los seres humanos y por lo tanto a nivel mundial se han implementado en los vehículos sistemas anticontaminantes los mismos que obedecen a normativas y estándares de fabricación, los mismos que exigen que los vehículos de combustión interna incorporen sistemas que permitan reducir las emisiones de gases contaminantes tales como: hidrocarburos, dióxidos de carbono, monóxidos de carbono y los NOx. Uno de los sistemas anticontaminantes para lograr esto es conocido como sistema de recirculación de gases de escape (Exhaust Gases Recirculation, EGR) y es el encargado de recircular una pequeña cantidad de gases producto de la combustión hacia el múltiple de admisión con la finalidad de reducir los gases antes descritos.

1.5 SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES VEHICULARES

En un esfuerzo conjunto por preservar el medio ambiente podemos definir a los sistemas de control de emisiones o más conocidos como sistemas anticontaminantes instalados en los vehículos como, todas las nuevas tecnologías diseñadas para disminuir las emisiones de gases contaminantes producto de la combustión producida en los motores de combustión interna de los vehículos. Estos sistemas están diseñados principalmente para reducir las emisiones de gases nocivos para el medio ambiente y por lo tanto están dispuestas en determinadas ubicaciones dependiendo la función que vayan a cumplir. En el presente trabajo de investigación estudiaremos el sistema de recirculación de gases de escape EGR.

1.5.1 TIPOS DE GASES DE ESCAPE DE LOS MOTORES DIÉSEL

El aire está compuesto básicamente por dos gases: nitrógeno (N₂) y oxígeno (O₂). En un volumen determinado de aire se encuentra una proporción de nitrógeno (N₂) del 79 % mientras que el contenido de oxígeno es aproximadamente de un 21 %.

El nitrógeno durante la combustión, en principio, no se combina con nada y tal como entra en el cilindro es expulsado al exterior sin modificación alguna, excepto en pequeñas

cantidades, para formar óxidos de nitrógeno (NO_x). El oxígeno es el elemento indispensable para producir la combustión de la mezcla (Aficionados a la Mecánica, 2014).

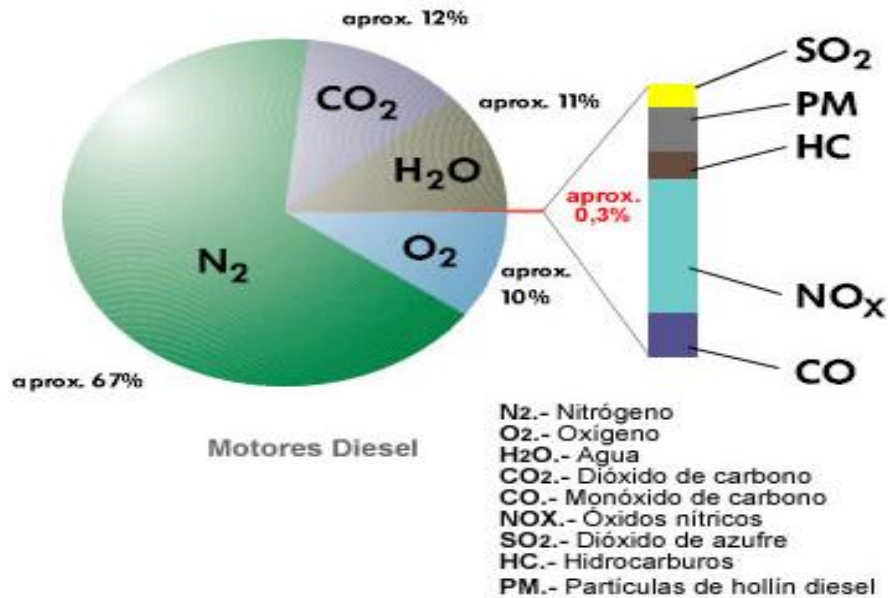


Figura 1.1 Composición de los gases de escape de los motores Diésel
(Aficionados a la Mecánica, 2014)

1.5.2 NORMATIVA EURO

En los años 90 la Unión Europea respondió con las normas EURO a la preocupación medioambiental de los europeos, creando la norma EURO que limitaba las emisiones contaminantes de los vehículos. Fue la norma EURO 0. Esta norma diferenciaba los límites en los vehículos de gasolina y diésel, dentro de estos últimos se establecían límites para los vehículos diésel ligeros y pesados (Total, 2019).

La normativa EURO con el fin de reducir gases contaminantes viene actualizándose cada determinado tiempo según las reformas medio ambientales y hoy en día en Europa se maneja el EURO 6 para vehículos pesados y EURO VI para vehículos ligeros.

Tabla 1.1 Normativa EURO para Vehículos diésel

Estándar	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
Óxido de nitrógeno (NOX)	–	–	500	250	180	80
Monóxido de carbono (CO)	2720	1000	640	500	500	500
Hidrocarburos (HC)	–	–	–	–	–	–
HC + NOX	970	900	560	300	230	170
Partículas (PM)	140	100	50	25	5	5

Fuente: (Mecarun)

El 10 de enero del 2016 se publicó en el suplemento del Registro Oficial la Resolución 16529 del Ministerio de Industrias. Esta contiene el reglamento técnico 17 sobre control de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres. Con ello, los motores de los vehículos ensamblados e importados en el país deben cumplir con Euro 3 (El Comercio, 2017).

1.5.3 NORMA TÉCNICA ECUATORIANA PARA EMISIONES DIÉSEL

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2207:2002 es la que establece los límites permitidos de opacidad que rigen para los vehículos no solamente de transporte público sino a todos los vehículos motorizados a Diésel que circulan a nivel nacional (Secretaría de Ambiente, 2017, pág. 3).

Los límites permitidos de opacidad y que se incluyen en esta Norma Técnica son los siguientes:

Tabla 1.2 Límites de opacidad

Año Modelo	% Opacidad
2000 Y Posteriores	50
1999 Y Posteriores	60

Fuente: (Secretaría de Ambiente, 2017)

Toda fuente móvil con motor de diésel no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas, en cantidades superiores a las indicadas en la tabla 2 (INEN, 2016, p. 4)

Tabla 1.3 Límites máximos de emisiones motor de Diésel

Categoría	Peso bruto del vehículo Kg	CO g/km	HC g/km	NOx g/Km	HC + NOx g/km	Partículas g/km	Ciclos de prueba
M1		0,64		0,5	0,56	0,05	ECE - 15 + EUDC
	CL1 ≤ 1305	0,64	-	0,5	0,56	0,05	
	CL2 1350 – 1760	0,8	-	0,65	0,72	0,07	
	CL3 > 1760	0,95	-	0,78	0,86	0,1	
N2, N3, M2 M3 (a)	> 3 500	2,1	0,66	5	-	0,10 0,13(b)	ESC & ELR

* Prueba realizada a nivel del mar.
(a) Unidades en g/kW.
(b) Para los motores de menos de 0,75 dm³ de cilindrada por cilindro y una potencia nominal a velocidad mayor de 3000 rpm.

Fuente: (INEN, 2016)

1.5.4 PRINCIPALES SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES

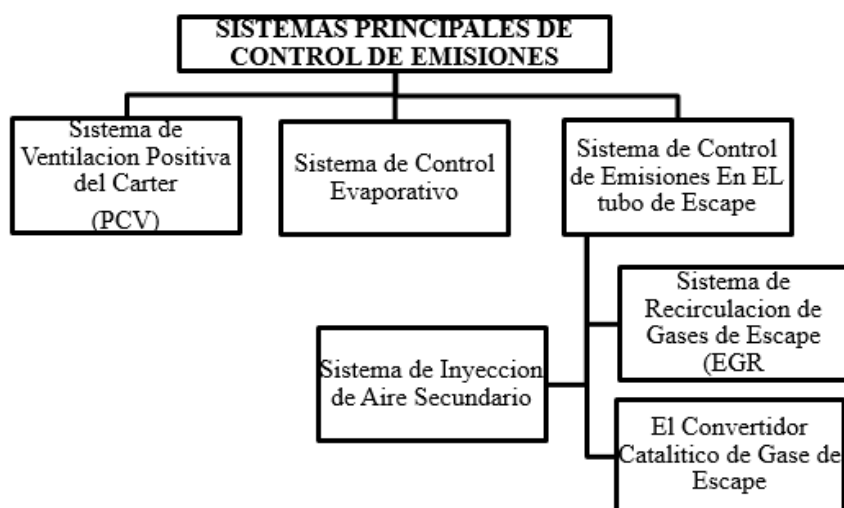


Figura 1.2 Sistemas de control de emisiones
(Quimis Morales, 2013pag.2)

En la figura anterior se describe los principales sistemas de control de emisiones de Gases instalados en los vehículos, los mismos que pueden ir dispuestos en un vehículo de acuerdo a la necesidad y normativa ambiental del país donde circula el automotor y el modelo del fabricante.

1.5.4.1 Sistema de ventilación positiva del cárter (PCV)

La válvula PCV absorbe los vapores residuales hacia el colector de entrada de forma que los vapores no salen a la atmósfera. Uno de los efectos beneficiosos de las PCV, además de eliminar las emisiones residuales, es que saca la humedad de la cámara y extiende la vida del aceite. La humedad puede formar ácidos y sedimentos que pueden causar un daño enorme al motor. Así que si la válvula PCV o el tubo se obstruyen, aparecerá una humedad rápidamente y puede acabar en un daño en el aceite (Miac, 2017).

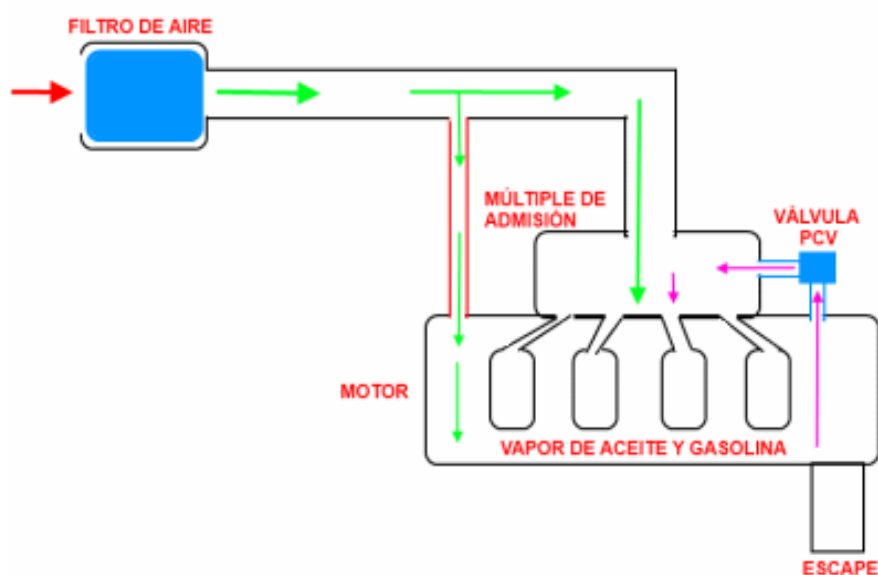


Figura 1.3 Funcionamiento de la válvula PCV
(autodaewoospark, 2016)

1.5.4.2 Sistema de control de emisiones evaporativas (EVAP)

La función del sistema EVAP es permitir la apropiada ventilación del sistema de combustible y evitar que las evaporaciones se descarguen a la atmósfera, es decir se debe retener y almacenar los vapores durante el motor está apagado, que es cuando se da la

mayor cantidad de evaporación. Cuando el motor se arranca dichos vapores deben ser "desalmacenados" y quemados en los cilindros. En la mayoría de los sistemas el almacenamiento se da en un depósito de carbón activado, comúnmente llamado Cánister (Barrios).

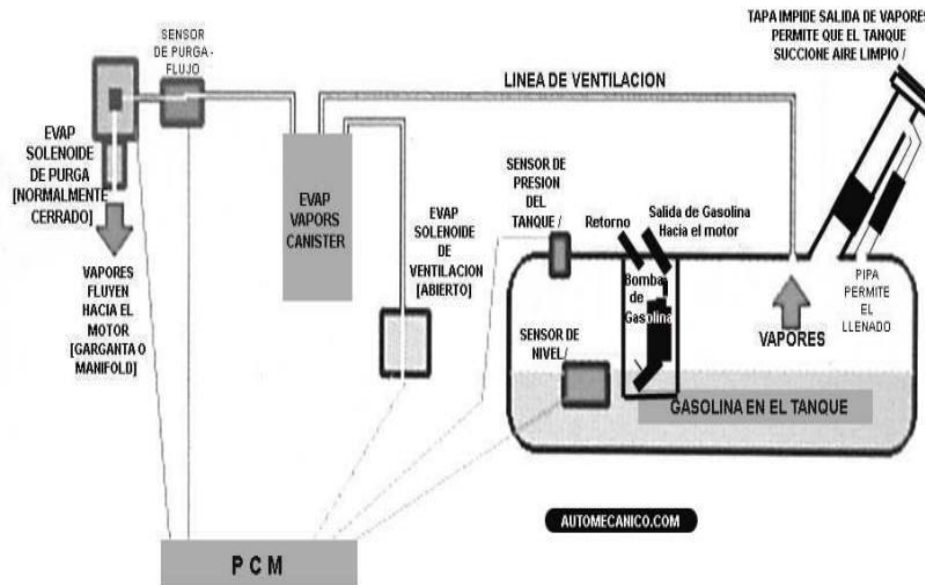


Figura 1.4 Funcionamiento de la válvula PCV
(automovilmecanica, 2011)

1.5.4.3 Sistema de control de emisiones en el tubo de escape

Las emisiones del escape (CO, HC, NOx) se controlan a través de una combinación de modificaciones del motor y la adición de especiales componentes de control. Las modificaciones a las cámaras de combustión, colector de admisión, eje de levas y sistemas de encendido constituyen el sistema básico de control. Estos sistemas han sido integrados en un sistema muy efectivo que controla las emisiones de escape y a la vez mantiene una buena conducción y economía del combustible (mecanicoautomotriz, 2016, p. 12)

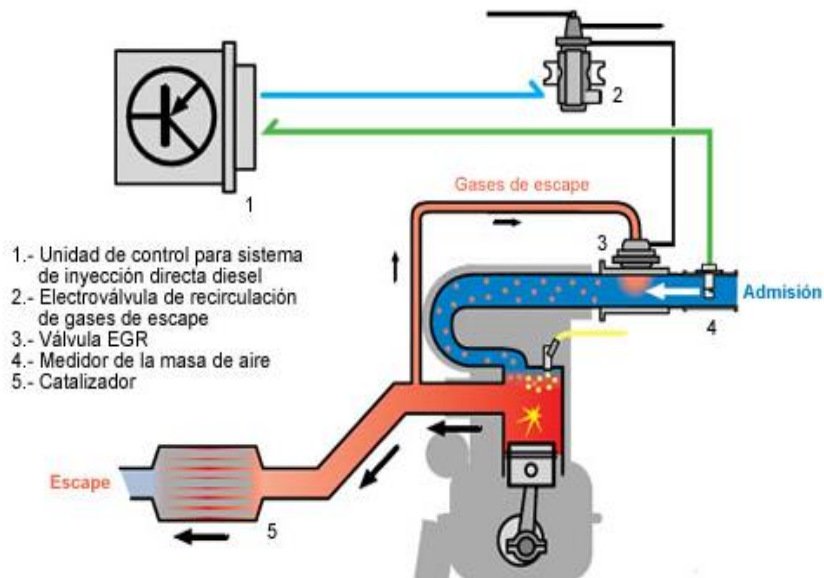


Figura 1.5 Esquema de recirculación de gases de escape en el motor
 (Aficionados a la Mecánica, 2014)

En la figura anterior se observa el lugar donde se encuentra alojada la Válvula EGR y como realiza la recirculación de gases de escape hacia una nueva combustión en el múltiple de admisión de aire.

1.6 SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE GASES (EGR)

El sistema EGR reduce la producción de NO_x al recircular pequeñas cantidades de gases de escape en el múltiple de admisión donde se mezcla con la carga entrante de aire y combustible. Al diluir la mezcla de aire/combustible bajo estas condiciones, las temperaturas pico de combustión y las altas presiones dentro de la cámara se reducen, lo cual resulta en una reducción general de la producción de Gas NO_x ((Booster, 2016, pag. 2).

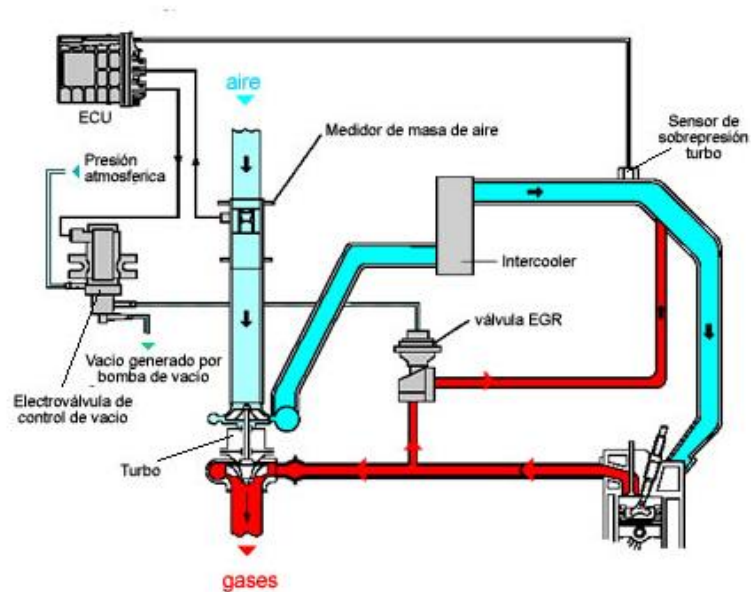


Figura 1.6 Esquema del Sistema de Recirculación de Gases
(Aficionados a la Mecánica, 2014)

La recirculación de los gases de escape (EGR) es un método para modificar el aire de entrada para reducir las emisiones de NOx en la fuente, un enfoque ampliamente utilizado con éxito en aplicaciones automotrices. Algunos de los gases de escape se enfrían y se limpian antes de la recirculación hacia el lado del aire de barrido. Su efecto en la formación de NOx se debe en parte a una reducción de la concentración de oxígeno en la zona de combustión, y en parte se debe al contenido de agua y dióxido de carbono en los gases de escape. Las mayores capacidades de calor molar del agua y el dióxido de carbono disminuyen la temperatura de combustión máxima, lo que, a su vez, frena la formación de NOx (Woodyard, 2009).

1.6.1 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE GASES

La recirculación está regulada por una válvula o mariposa, la cual, en función de su posición, permitía la entrada de aire a los cilindros procedente del exterior, o del conducto de escape (InfoTaller, 2016,).

El sistema EGR reduce la temperatura de combustión, desviando una pequeña porción de los gases de escape hacia el múltiple de admisión. ¿Cómo funciona? Los gases de escape

no son combustibles. Diluir el aire de admisión con los gases de escape hace que la carga de aire/combustible menos combustible. No todos los vehículos están equipados con un sistema de recirculación; muchos coches más nuevos utilizan una distribución variable de válvulas y otros medios para controlar las temperaturas de combustión y las emisiones de NOx (samaris, 2018).

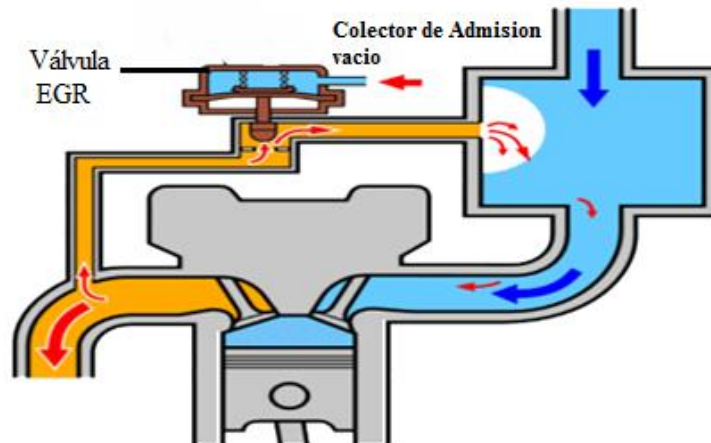


Figura 1.7 Funcionamiento del Sistema de Recirculación de Gases (e-Auto)

La mayoría de los sistemas EGR más antiguos utilizan una válvula EGR regulada por vacío, mientras que los vehículos más nuevos tienden a tener una válvula EGR electrónica para controlar la recirculación de los gases de escape. Cuando el motor está al ralentí, la válvula de EGR está cerrada y no hay flujo de EGR en el múltiple. La válvula EGR permanece cerrada hasta que el motor se calienta y funciona bajo carga. A medida que aumenta la carga y las temperaturas de combustión comienzan a subir, la válvula de EGR se abre y comienza a filtrar el escape hacia el múltiple de admisión. Esto tiene un efecto de enfriamiento que reduce las temperaturas de combustión y reduce la formación de NOx (e-Auto).

1.6.2 CÓMO EL PCM CONTROLA EL FLUJO DEL SISTEMA EGR

La computadora del motor PCM se abre o cierra la válvula EGR para controlar el flujo dentro del sistema EGR. La válvula EGR conecta el colector de escape al colector de admisión. Normalmente se cierra la válvula EGR. Hay o no hay flujo de los gases de escape cuando el motor está frío, el motor al ralentí, o durante la aceleración duro. El flujo de los

gases de escape está en su apogeo durante el cruce constante bajo carga moderada. En algunos coches, la válvula EGR es operada por un actuador de vacío, como en el primer diagrama. Los coches modernos tienen una válvula EGR eléctrica con un motor de paso (samaris, 2018)

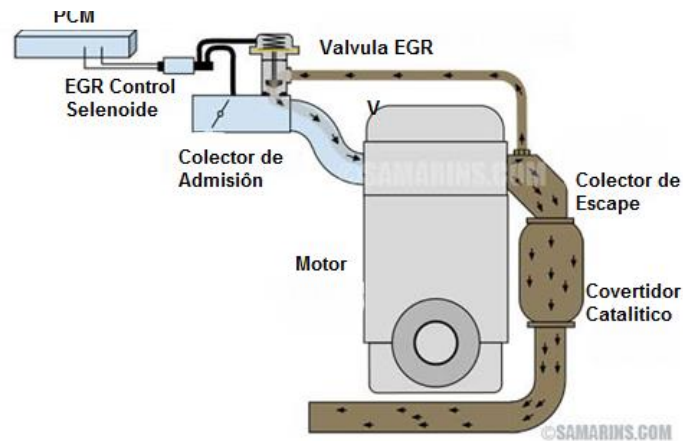


Figura 1.8 Control del flujo de aire por parte del PCM.
(samaris, 2018)

En el gráfico se puede apreciar la comunicación existente entre la computadora del motor PCM y la válvula EGR, por lo tanto, la PCM recibe datos a través de sensores y analiza el trabajo del motor y envía la señal para la apertura o cierre Válvula EGR.

1.6.3 CÓMO SE CONTROLA EL FLUJO DEL SISTEMA EGR

El PCM prueba periódicamente el sistema EGR junto con otros sistemas de control de emisiones. Si el flujo es más o menos de lo esperado, el PCM detecta una falla y se enciende la luz del motor del cheque en el panel de instrumentos. Hay diferentes maneras de controlar el flujo EGR. Algunos coches utilizan un sensor de temperatura EGR instalado en la parte de entrada del sistema EGR. Cuando la válvula EGR se abra, se levanta la temperatura en el lado de admisión de los gases de escape calientes (samaris, 2018).

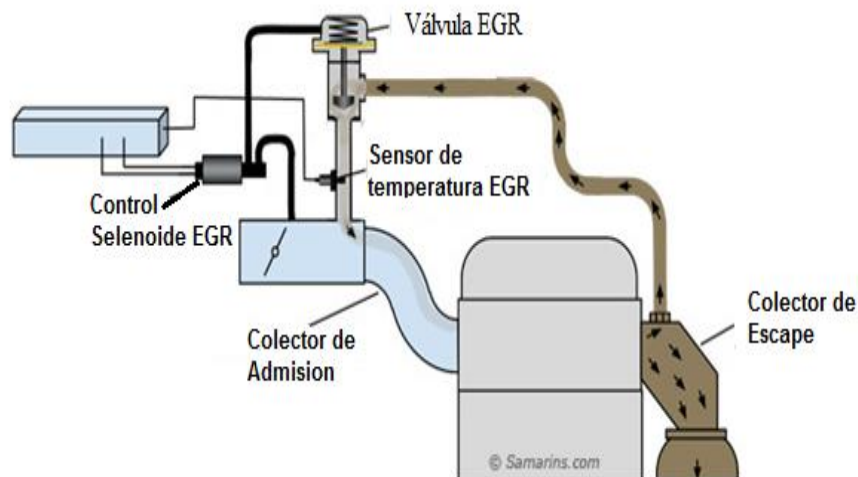


Figura 1.9 Control del flujo de aire por parte del PCM.
(samaris, 2018)

En este gráfico podemos observar que el flujo está controlado por la PCM gracias a la señal que recibe del sensor de temperatura de la EGR.

1.6.4 TIPOS DE SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE

Los tipos de sistemas de recirculación de gases según el método de accionamiento de la válvula son:

1. Sistema de recirculación de gases neumático.
2. Sistema de recirculación de gases electrónico.
3. Sistema EGR con actuador EGR eléctrico de motor pasó a paso.

1.6.4.1 Sistema de recirculación de gases neumático

Los primeros sistemas fueron controlados por una válvula de obturador que se abre o se cierra por una celda de vacío (accionamiento neumático). En este contexto, la presión de la pipa de inducción sirvió como una variable de control para la celda de vacío. Como tal, la posición de la válvula de esta era dependiente del estado de funcionamiento del motor (Hella, 2016).

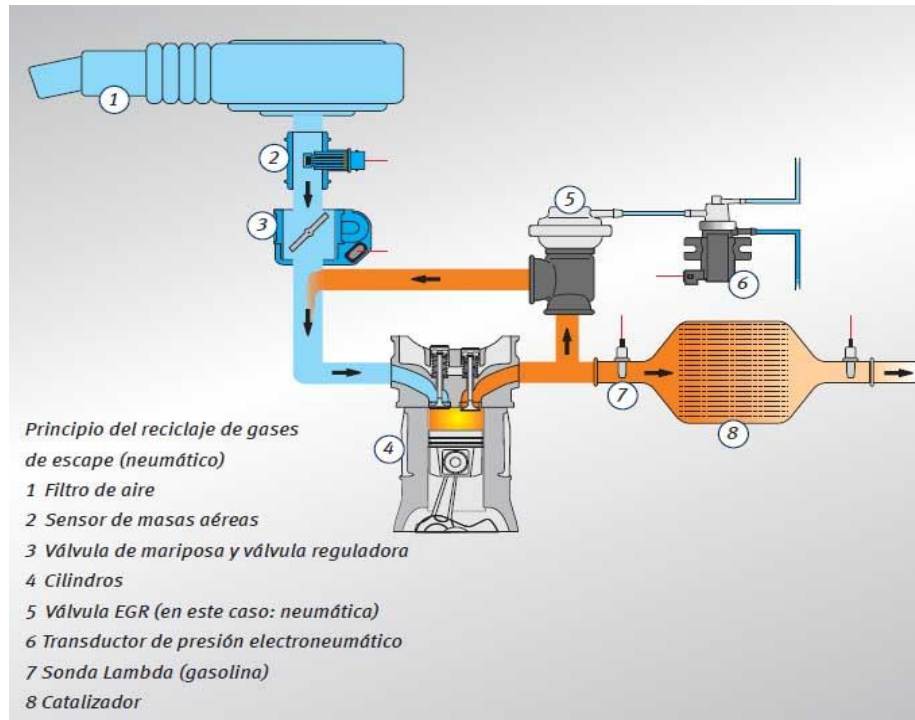


Figura 1.10 Sistema de recirculación de gases neumático
(Testcoches, 2019)

1.6.4.2 Sistema de recirculación de gases electrónico

La válvula EGR se activa mediante un motor paso a paso eléctrico y no utiliza vacío para controlar el Movimiento físico de la válvula. No se utiliza diafragma de vacío. No se utiliza sensor de realimentación de presión diferencial EGR (DPFE). No se utiliza ningún tubo / conjunto de orificio. No se utiliza ningún solenoide regulador de vacío EGR. El refrigerante del motor se encamina a través del ensamblaje en algunas aplicaciones de vehículos. Las aplicaciones son refrigeradas por aire (Juchems, 2006, p. 2).

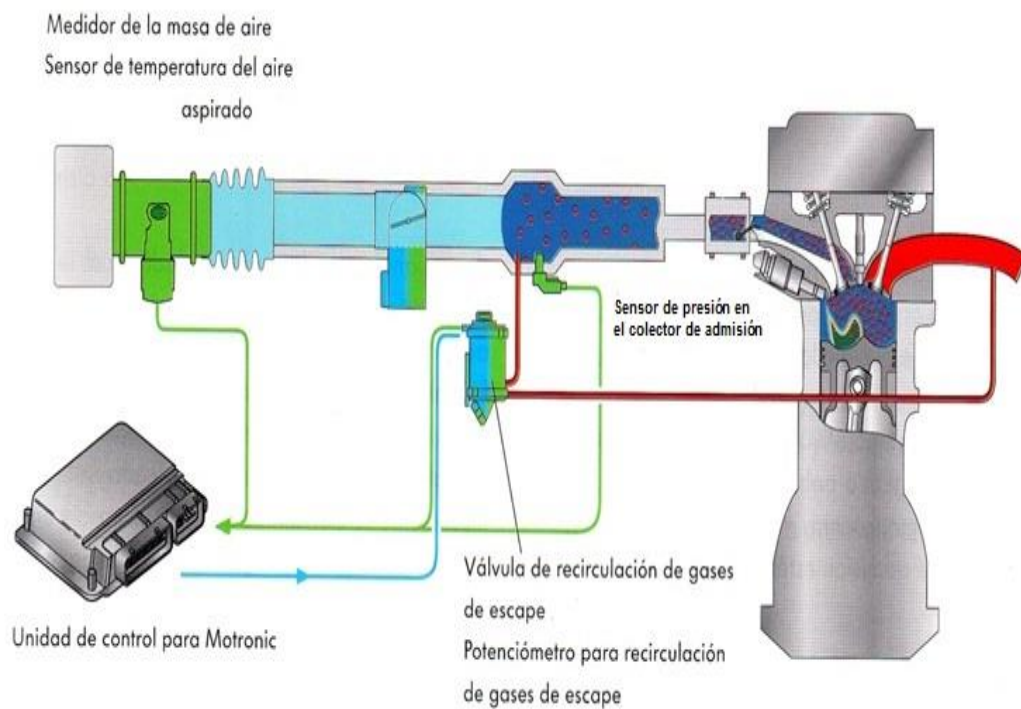


Figura 1.11 Sistema de recirculación de gases electrónico
(Barbadillo, 2011)

1.6.4.3 Sistema EGR con actuador EGR eléctrico de motor pasó a paso

Este sistema utiliza una válvula eléctrica que opera bajo la función de un motor paso a paso que consta de 4 bobinas internamente y depende de la conexión interna para tener 5 o 6 terminales lo cual significa que el motor que opera es un motor paso a paso bipolar (Quimis Morales, 2013, p. 33).

1.7 VÁLVULA DE RECIRCULACIÓN DE GASES (EGR)

La válvula de recirculación de los gases de escape es el componente más importante del sistema. Constituye la unión entre el tubo de escape y el tramo de admisión. Según la activación, libera la apertura de la válvula y deja fluir los gases de escape al colector de aspiración (Mecanico Automotriz, 2017).



Figura 1.12 Válvula EGR Mazda BT-50
(Chicaiza, 2019)

La válvula EGR tiene una misión que es, reducir las altas temperaturas en la cámara de combustión, y al conseguirse esto, también se reducen los óxidos de nitrógeno (NOx). Esto lo consigue al recircular los gases de escape hacia la admisión. Es decir, reintroduce el humo de la combustión del motor en los cilindros. Al entrar menos cantidad de aire con oxígeno, la explosión es menor y se generan menos gases tóxicos. Esta válvula se abre o se cierra dependiendo de los datos recogidos del motor y la aceleración a través de varios sensores. Estos pasan al módulo ECU, que los analiza para hacer que la válvula EGR se abra o se cierre (ABC, 2018).

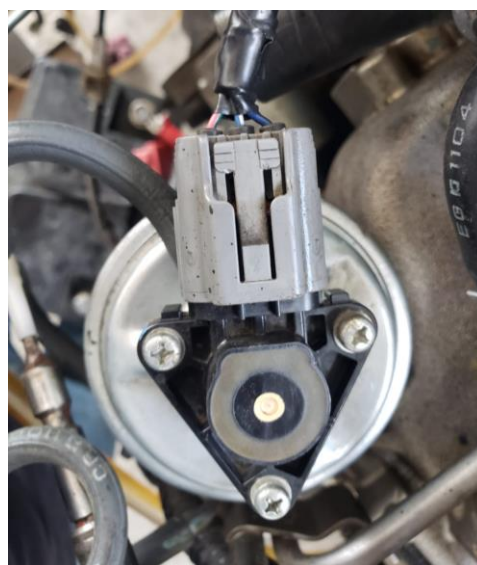


Figura 1.13 Válvula EGR con sensor EVP, Mazda BT-50
(Chicaiza, 2019)

Existen modelos de automóviles en donde se complementa el sistema EGR con el sensor EVP (posición del vástago de la válvula EGR). Mismo que viene montado en la parte superior de la válvula EGR y consta de tres cables en su conexión eléctrica: Voltaje de referencia, masa y señal, su posición.

1.7.1 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA VÁLVULA EGR

(Gonzalez, 2012), señalo que las principales características de la válvula EGR son:

- a) La válvula EGR, regula la cantidad de gases de escape que entran al múltiple de admisión
- b) La recirculación del gas de escape reduce la formación de NOx.
- c) Las válvulas EGR, llevan el pasaje u orificio calibrado en concordancia con el motor o vehículo, donde está instalado.

1.8 TIPOS DE VÁLVULA DE RECIRCULACIÓN DE GASES (EGR)

1.8.1 VÁLVULA DE RECIRCULACIÓN DE GASES NEUMÁTICA

Las primeras EGR eran unas válvulas neumáticas que se accionaban a través de una electroválvula controlada por la unidad electrónica de motor utilizando el vacío del colector de admisión en motores de gasolina y de la bomba de vacío en los Diésel. La unidad de control cuando se dan las condiciones establecidas en su cartografía activa la electroválvula a través de alimentación todo o nada o variando la frecuencia de masa para conseguir apertura parcial. El vacío pasa a través de la electroválvula y abre la EGR para que pasen los gases quemados del escape a la admisión. Este tipo de válvulas era muy fiable y se puede anular simplemente obstruyendo el tubo de la electroválvula a la EGR (Sanchez, 2011, p. 1).

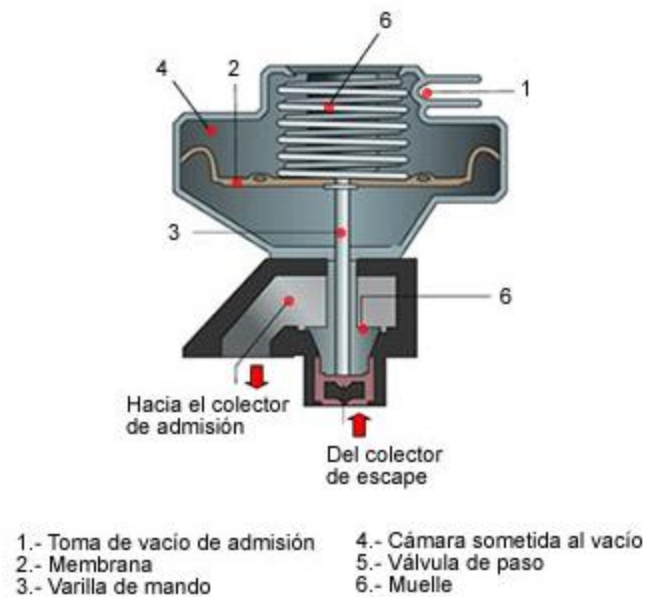


Figura 1.14 Sección de una válvula EGR Neumática
 (Jiménez, 2016)

En la figura 1.13 se puede apreciar los componentes de la válvula EGR neumática que funciona gracias a una electroválvula de vacío la misma que permite la apertura y cierre de la válvula EGR.

1.8.2 VÁLVULA DE RECIRCULACIÓN DE GASES ELECTRÓNICA

En las válvulas electrónicas la apertura o cierre de la válvula que deja pasar los gases en una determinada proporción es regulada electrónicamente por la centralita del coche en base a unos parámetros determinados. A diferencia de las mecánicas las electrónicas no funcionan mediante bombas de vacío, utilizan sensores que miden la velocidad, la temperatura, la carga, cantidad combustible, etc. y que responden a las concentraciones de oxígeno para regular la entrada de aire y recirculación de gases (conservatucoche.com, 2015)

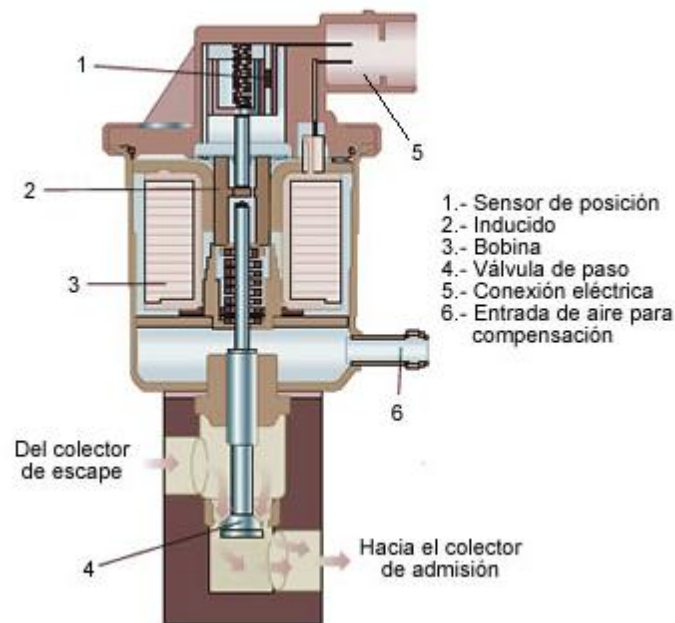


Figura 1.15 Sección de una válvula EGR Electrónica
 (Jiménez, 2016)

1.9 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA TEMPERATURA DE LA EGR

1.9.1 EGR CALIENTE

Este tipo de sistema es aquel que no emplea ningún tipo de enfriamiento del gas recirculado. Es por ello que los sistemas de EGR interno pertenecen a este tipo de sistema de EGR caliente debido a que no permite el enfriamiento del gas. En este sistema la recirculación de gases de escape (EGR) actúan sobre la temperatura de admisión incrementándola, efecto negativo, puesto que el incremento de temperatura afecta en el incremento de emisiones de NOx. Por otro lado, el incremento de temperatura favorece el inicio de combustión y disminuye la dispersión cíclica del motor en ciertas circunstancias como es el arranque en frío (León & Romero, 2015, pág. 9)

1.9.2 EGR FRÍO

El gas de escape es enfriado completamente antes de mezclarse con el aire fresco de la admisión, este gas se enfría usando un intercambiador de calor agua-agua. En este caso, la humedad presente en el gas de escape puede condensarse y el resultado de estas las gotas de agua pueden causar efectos indeseables en el interior del cilindro del motor (CALDERÓN & ARCOS, 2008, pág. 96)

1.10 SÍNTOMAS Y AVERÍAS DE LA VÁLVULA EGR

1.10.1 SÍNTOMAS DE VÁLVULA EGR DEFECTUOSA

(Denso, 2018), señalo que “Una válvula EGR defectuosa no presenta ningún peligro para la vida, pero podría acortar la vida útil del motor, aumentar las emisiones nocivas y causar problemas de conducción, tales como”:

- a) Ralentí irregular
- b) Dificultad en el arranque
- c) Calado del motor
- d) Problemas de conducción: Oscilación durante la aceleración o detonación anormal.
- e) Aumento de las emisiones: Altas emisiones de NOx e incluso altas emisiones de hidrocarburos (HC) en los gases de escape.

1.10.2 AVERÍAS DE LA VÁLVULA EGR

En resumen podríamos decir que el 95% de los problemas en la EGR se deben a una acumulación excesiva de carbonilla, hollín y al exceso de temperatura, que finalmente provocan que esta se quede parcial o totalmente obstruida, quedándose abierta o cerrada por el exceso de suciedad (conservatucoche.com, 2015).

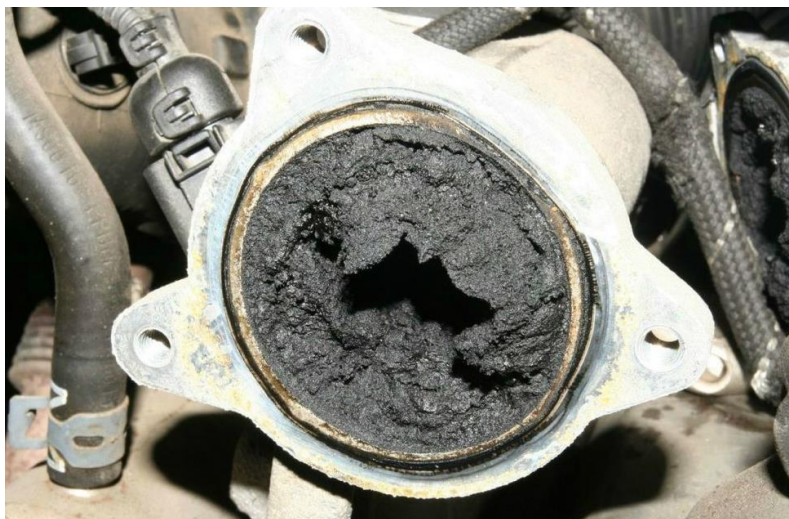


Figura 1.16 Válvula EGR con acumulación de carbonilla
(Álvarez)

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES Y EQUIPOS

2.1.1 MATERIALES

A continuación, se detalla en orden de importancia todos los materiales que nos sirvieron de apoyo para poder culminar con éxito el siguiente trabajo de investigación.

2.1.1.1 Motor Mazda BT50 2.5 CRDi 2013

En la elaboración del presente trabajo de investigación, se utilizó como objeto de estudio el motor de un Vehículo Mazda BT50 CRDi del año 2013, activos fijos de la Universidad Técnica del Norte el mismo que se encontraba en regular estado. El mismo que fue sometido a un mantenimiento preventivo y diagnóstico de código de fallas.

Tabla2.1 Especificaciones del motor Mazda BT50

MOTOR	
Cilindrada	2,499
Número de cilindros	4
Número de válvulas	12
Potencia máxima (HP@RPM)	115/3500
Torque máximo (Nm @RPM)	285/2,000
Relación de compresión	19,8:1
Alimentación de combustible	TURBO DIESEL INTERCOOLER
Capacidad del tanque de combustible	60 litros
Tipo de Combustible	D2
Norma de emisión de gases	Euro 4

Fuente: (Todoautos)

2.1.1.2 Válvula EGR Mazda BT50 CRDi 2013

La válvula EGR utilizada en esta investigación cuenta con las siguientes características:

Tabla2.2 Especificaciones Válvula EGR Mazda BT50

Válvula EGR Mazda BT50 CRDi 2013	
Serie	K5T576
Tipo	electrónica
Modelo	EVP incorporado
Vacío	si

Fuente: (TALLERES SID, 2018)

2.1.1.3 Desoxidante WURTH Rost Off

Es un desoxidante con el 98% de material activo con acción anticorrosiva. Este material anticorrosivo fue utilizado para la remover la carbonilla de las paredes interiores de la válvula EGR y además para realizar la limpieza del tubo que conecta el enfriador del Sistema EGR con la válvula EGR.

Tabla2.3 Componente Desoxidante WURTH Rost Off

Nombre químico	Clasificación	Concentración(% w/w)
Hidrocarburos, C9-C10, n-alcanos, iso-alcanos, cíclicos, <2%	Flam. Liq.3; H226STOT SE3; H336	>=70-<90

Fuente: (Wurth, 2019, p. 2)

2.1.2 EQUIPOS

2.1.2.1 Vacuómetro

El Vacuómetro es un instrumento destinado para medir presiones inferiores a la presión atmosférica. La medida del Vacuómetro no tiene más significado que valorar la caída de presión que se produce en los colectores (antes de la tarea de presión) en función de la abertura de la mariposa y del número de revoluciones (Cairo, 2015, p. 619). Para la realizar

las mediciones de vacío en todo el sistema de recirculación de gases se utilizó el Vacuómetro Mitybac el mismo que posee una presión de vacío hasta 30 in Hg (-100Kpa).

2.1.2.2 Multímetro Trisco DA-830

El multímetro es el instrumento más útil y versátil que se utiliza para las mediciones eléctricas, ya que combina la capacidad de medir voltajes, corrientes y resistencias en un solo instrumento (Figeroa & Sánchez, 2006, p. 1).

Tabla2.4 Especificaciones multímetro Trisco DA-830

Funciones típicas	Funciones especiales:
RPM: tacómetro para encendido convencional y DIS (300 - 12000RPM)	AUTO-RANGO en todas las escalas
DWELL: para 4, 6, 8 cilindros	MÁX/MIN: memoria que almacena los valores máximo y mínimo de cada medición
DUTY %: porcentaje de duración del ciclo de trabajo	REL: calcula el incremento entre dos medidas
PULSE WIDTH (ms.) mide el tiempo de inyección en milisegundos (0 - 40mS)	HOLD: congela la lectura
KV: escala especial para medir kilovoltios en secundario de bobina, cables de bujía (0 - 40KV)	LIGHT: luz de fondo para la pantalla
HZ: medición de frecuencia (4KHz - 40MHz)	TRIG+/- cambia el disparo de positivo a negativo y viceversa
LOGIC PROBE: sonda lógica	BARGRAPH: barra gráfica
TPS/MAF: escala especial para chequeo de TPS y MAF O2: escala especial para chequeo de la sonda de oxígeno	AUTO POWER OFF: apaga automáticamente el equipo para prolongar la vida útil de las baterías RS232: Puerto y cable especial para comunicación con PC incluye software para graficar y almacenar las lecturas en formato Windows.
TEMPERATURA: en grados centígrados y Fahrenheit	
AMPERAJE: en AC y DC hasta 20 AMP.	
PROBADOR DE DIODOS RESISTENCIA: hasta 40 Mega ohmios y pito en continuidad	
VOLTAJE: hasta 500V. AC y DC.	

Fuente: (Taaet Electronics, 2019)

El multímetro Trisco DA-830 fue utilizado en las mediciones de voltaje, resistencia, continuidad realizadas al sensor de posición de la válvula EGR (EVP) así como también para verificar la continuidad de la corriente desde la EVP hasta la Unidad de Control. Su alta impedancia (10 mega ohmios) permite hacer mediciones sin afectar la ECU.

2.1.2.3 Medidor de Opacidad Brain Bee (OPA 100)

Opacómetro Automotriz Analizador Brain Bee. Mide el nivel de opacidad del humo expulsado por los motores Diésel. El aparato permite realizar mediciones estabilizadas y en aceleración. Durante un ensayo de aceleración, el dispositivo registra las revoluciones del motor, los valores punta del nivel de humo y el tiempo de aceleración (Auto Avance).

Tabla2.5 Especificaciones Opacómetro Brain Bee (OPA 100)

OPACIDAD	0-99.9%	0.1
OPACIDAD	0-9.99m-1	0.01
TEMP.HUMO	20-400°C	1

Fuente: (Auto Avance, 2017)

El opacómetro Brain Bee fue utilizado para realizar el análisis de opacidad del motor Mazda BT50 CRDi y poder observar cómo influye el sistema EGR en el Motor y verificar si la opacidad aumenta o disminuye.

2.1.2.4 Analizador de gases Kane

Un analizador de gases de combustión es un equipo que a través de una muestra realiza un escaneo de las sustancias químicas de que conforman los gases de combustión, estos equipos suelen tener una cámara en la que ingresa una muestra del gas de combustión desde el tubo de escape a través de una sonda de toma, una vez la muestra se encuentra en el interior de la cámara del equipo, éste procede con el análisis un ejemplo de lo que un analizador de gases puede detectar (Avanti, 2017).

Tabla 2.6 Especificaciones Técnica Analizador de Gases KANE

VARIABLE	RANGO DE MEDICIÓN	SISTEMA
Monóxido de carbono (CO)	0 - 10%	sistema infrarrojo
Dióxido de carbono	0 - 16%	sistema infrarrojo
Hidrocarburos (HC)	0 - 5000 ppm	sistema infrarrojo
Oxígeno (O ₂)	0 - 21%	celda electro-química
Óxido de nitrógeno (NO _x)	0 - 5000 ppm	con sensor
Lambda (λ)	0,8 - 1,2	
Temperatura	5°C - 45°C	
Humedad relativa	10% - 90%	

Fuente: (Globaltech, 2018)

El analizador de Gases Kane fue seleccionado para realizar las pruebas de emisiones del Motor Mazda BT50 CRDi tanto con el funcionamiento de la válvula EGR, como sin el funcionamiento de la Válvula EGR. Además, este Analizador de gases de escape es equipo actualizado que se implementó en la Universidad Técnica del Norte lo que permite tener acceso para realizar las pruebas de campo.

2.1.2.5 El scanner automotriz

El scanner automotriz es una herramienta empleada en el diagnóstico de las fallas registradas en el área electrónica de un auto específicamente en la computadora del mismo, computadora en la cual se manejan y detectan señales indebidas quedando registradas con un código de error. Esta herramienta accede a la información registrada en la computadora leyendo los códigos registrados y reportándolos. El manual del modelo y la marca del vehículo o el propio sistema del scanner muestra a qué lugar o componente se refiere el código de error (Auto Diagnostico, 2018).

2.2 MÉTODOLÓGÍA

Para la realización del presente trabajo de grado se utilizó el método descriptivo y experimental ya que son los que más se ajustan a la investigación sobre la evaluación del funcionamiento del sistema de recirculación de gases (EGR), en el motor Mazda BT50wl-C2.5CRDi de cuatro cilindros.

2.2.1 MÉTODO DESCRIPTIVO

Es el tipo de estudio más usual en los trabajos de tesis universitarios, buscan especificar las propiedades, características y los perfiles importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis (Hernández, Fernández, & Baptista., 2014).

Se utilizó el método descriptivo ya que nos permitió investigar definiciones, características y clasificación sobre los sistemas de control de emisiones y principalmente sobre el sistema de recirculación de gases de EGR.

2.2.1.1 Mantenimiento preventivo motor Mazda BT50WL-C2.5CRDi

Dentro de las actividades realizadas en el presente trabajo de investigación sobre la evaluación del funcionamiento del sistema de recirculación de gases (EGR), en el motor Mazda BT50WL-C2.5CRDi de cuatro cilindros, es importante que todos los sistemas se encuentren funcionando de manera óptima ya que de esta forma podremos evidenciar los cambios que existen al momento de realizar la prueba de opacidad y el análisis de gases de escape.

Actividades

Diagnóstico de código fallas

1. Desconectar la batería en el Motor.
2. Colocar la llave de encendido en la posición IGNITION o en contacto como se lo conoce comúnmente.
3. Insertar el conector del escáner en el pin de la UCE.
4. Selección de diagnóstico de fallas en el escáner, del Motor Mazda BT50 CRDi 2013 vehículo.
5. Observar los diferentes códigos de falla del Motor.
6. Registrar los códigos de falla para su posterior análisis y solución.

Medición de niveles de combustible, aceite, agua y refrigerante

Con el motor apagado

1. Revisar el nivel de aceite del motor mediante la bayoneta.
2. Inspeccionar el nivel del agua del radiador.
3. Revisar el nivel del refrigerante del motor.
4. Observar el nivel del combustible Diésel

Inspección del estado del cilindro, pistones y chaquetas

1. Desarmar la tapa de válvulas.
2. Desmontar la culata del motor
3. Revisar el estado del de los pistones y del cilindro.
4. Desarmar la culata del motor.
5. Observar el desgaste de las chaquetas de biela y bancada
6. Montaje de las diferentes piezas.

2.2.1.2 instalación del sistema de recirculación de gases (EGR)

1. Colocar el enfriador de la EGR en la salida del múltiple de admisión.
2. Instalar el tubo de conexión de la EGR en el enfriador.
3. Inspeccionar las conexiones de vacío y conector de la válvula solenoide de control de la EGR.
4. Ubicar la válvula EGR en el tubo de la EGR y en el múltiple de Admisión.
5. Colocar la manguera de vacío en la válvula EGR.
6. Insertar el conector del sensor de posición (EVP) de la Válvula EGR.
7. Instalar la bomba de vacío.

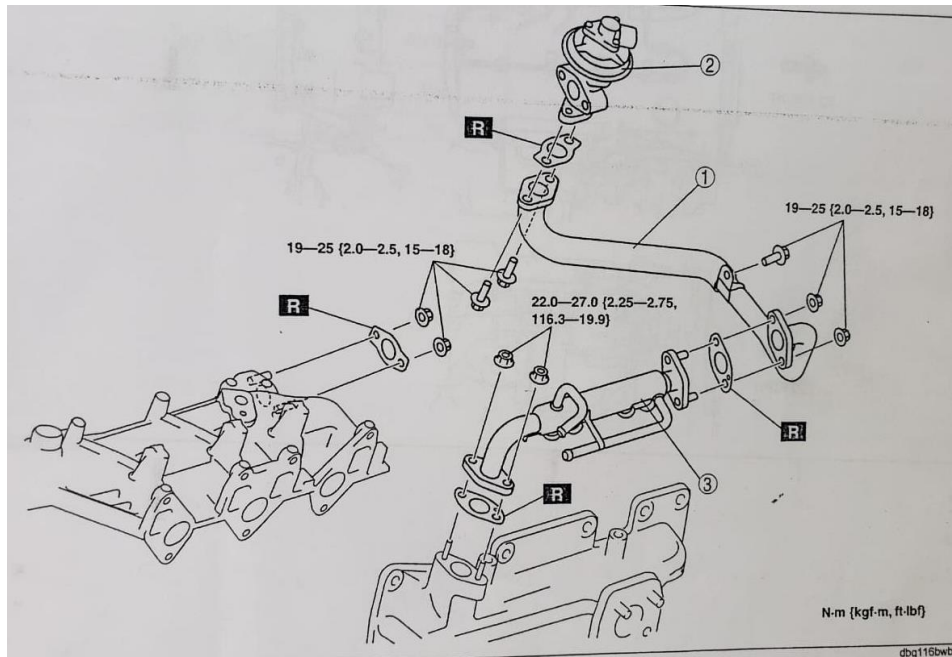


Figura 2.1 Sistema de recirculación de gases EGR

(TALLERES SID, 2018)

2.2.2 MÉTODO EXPERIMENTAL

El método experimental es un tipo de método de investigación en el que el investigador controla deliberadamente las variables para delimitar relaciones entre ellas y está basado en la metodología científica (Glosarios, 2019). Se utilizó el método Experimental para obtener datos del funcionamiento del sistema EGR manipulando el régimen de trabajo del Motor Mazda BT50 CRDi de cuatro cilindros.

2.2.2.1 Mediciones de opacidad de gases de escape del Motor Mazda BT50 CRDi con la válvula EGR conectada

Para la medición de la opacidad de los gases de escape del motor Mazda BT50 CRDi Se debe tomar en cuenta los niveles aprobados para los motores Diésel, establecidos en la norma INEN 2207:2002 y que se dan a conocer en este trabajo de investigación en la tabla 1.2.

Actividades

1. Instalar el Medidor de Opacidad Brain Bee (OPA 100).
2. Ingresar los datos del motor y la temperatura de trabajo para la práctica.
3. Encender el motor y esperar que su temperatura y sus RPM se estabilicen.
4. Ubicar el contador de revoluciones del opacímetro en el block del motor
5. Insertar la sonda lambda en el interior del escape del vehículo.
6. Realizar aceleraciones progresivas hasta completar las 5 repeticiones.
7. Terminada las repeticiones, retirar la sonda.
8. Guardar los resultados reflejados en la computadora.

Nota: para obtener una medición exacta sobre la opacidad de los gases de escape se debe realizar esta actividad por un mínimo de tres repeticiones.

Resultados

Tabla 2.7 Ejemplo de Medición de la opacidad con válvula EGR

TEST 1			
Temperatura: 80C			
Aceleración	Pico opacidad [%]	RPM ralentí [1/min]	RPM máx. [1/min]
Aceleración 1	6.0	710	2750
Aceleración 2	5.1	710	2520
Aceleración 3	5.8	710	2590
Aceleración 4	6.1	720	2719
Aceleración 5	6.5	710	2820
RESULTADOS			
Valor diferencia de la opacidad		1.4	
Valor promedio de la opacidad		5.9	

Fuente: (Opacímetro Brain bee, 2019)

2.2.2.2 Mediciones de opacidad de gases de escape del Motor Mazda BT50 CRDi sin conexión de la válvula EGR

Para realizar la medición de opacidad con la válvula EGR desconectada simplemente se desconecta la entrada de vacío a la válvula, de esta forma la válvula queda cerrada y el sensor de posición de la válvula registrar a la UCE la falla sin afectar al funcionamiento del motor, pero la emisión de carbonilla será menor.

Actividades

1. Desconectar el vacío de la válvula EGR
2. Instalar el Medidor de Opacidad Brain Bee (OPA 100).
3. Ingresar los datos del motor y la temperatura de trabajo para la práctica.
4. Encender el motor y esperar que su temperatura y sus RPM se estabilicen.
5. Ubicar el contador de revoluciones del opacímetro en el block del motor
6. Insertar la sonda lambda en el interior del escape del vehículo.
7. Realizar aceleraciones progresivas hasta completar las 5 repeticiones.
8. Terminada las repeticiones, retirar la sonda.
9. Guardar los resultados reflejados en la computadora.

Resultados

Tabla 2.8 Ejemplo de Medición de la opacidad sin válvula EGR

TEST 1			
Temperatura: 80C			
Aceleración	Pico opacidad [%]	RPM ralentí [1/min]	RPM máx. [1/min]
Aceleración 1	4.8	710	2959
Aceleración 2	4.2	710	2260
Aceleración 3	5.0	710	2510
Aceleración 4	5.6	730	2640
Aceleración 5	4.7	720	2240
RESULTADOS			
Valor diferencia de la opacidad	1.4		
Valor promedio de la opacidad	4.9		

Fuente: (Opacímetro Brain bee, 2019)

2.2.2.3 Análisis de gases de escape del Motor Mazda BT50 CRDi con la válvula EGR conectada

Para realizar la medición de opacidad con la válvula EGR debemos asegurarnos que la válvula EGR y todos sus componentes estén conectados

Actividades

1. Conectar la válvula EGR
2. Instalar el analizador de gases KANE
3. Ingresar los datos del motor y la temperatura de trabajo para la práctica.
4. Encender el motor y esperar que su temperatura y sus RPM se estabilicen.
5. Insertar la sonda lambda en el interior del escape del vehículo.
6. Presionar STAR y poner el cronometro a 120 segundos
7. Terminada las repeticiones, retirar la sonda.
8. Guardar los resultados reflejados en la computadora.

NOTA: el analizador de gases de escape KANE nos refleja 500 datos en formato EXCEL enumerados desde el 0 hasta el 499 en un tiempo de 120 segundos.

Tabla 2.9 ejemplo de recopilación de datos KANE

TEST 1 CON EGR					
RPM: 750 RELANTI	GASES DE ESCAPE				
TEMP: 50 C					
TIEMPO (seg.)	CO2 %	CO%	O2%	HC(ppm)	NO(ppm)
0	0.4	0,2	21,68	0	0
30	0,7	0	20,59	0	35
60	0,8	1	20,04	0	102
90	1,9	1,2	17,64	2	159
120	0	0	20,92	0	1116

Fuente: (Analizador de gases KANE, 2019)

3 RESULTADOS Y DISCUSION

En el presente capítulo de esta investigación que busca evaluar el funcionamiento de la válvula EGR en los motores CRDi, se realizó actividades necesarias para que la válvula EGR pueda trabajar de manera óptima y se obtengan mediciones y conclusiones sobre la importancia de utilizar este sistema de recirculación de gases de escape en los vehículos a fin de minimizar las emisiones de gases contaminantes que deterioran la capa de ozono.

3.1 MANTENIMIENTO DEL MOTOR MAZDA BT50WL-C2.5CRDI

El buen funcionamiento del motor es importante para disminuir las emisiones de gases de escape, dentro de este contexto enumeraremos las actividades realizadas para obtener un buen funcionamiento del motor.

3.1.1 CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS

Se realizó la calibración de válvulas de escape y admisión de acuerdo a las especificaciones obtenidas en el taller de Sistemas Diésel SID, para de esta manera estar seguros que todas las válvulas están realizando su trabajo lineal de permitir que ingrese el aire exacto y la rápida evacuación de gases producto de la combustión.



Figura 3.1 Calibración de válvulas
(TALLERES SID, 2018)

Los parámetros de calibración con referencia al frente del motor son:

IN: 0.10; 16 mm 0.004; 0.0062 in)

EX: 017; 023 mm (00.67; 0.0090 in

3.1.2 REMPLAZO DE COJINETES DEL CIGÜEÑAL DEL MOTOR

Se procedió a realizar el cambio de cojinetes de biela y bancada del cigüeñal debido a que se registró desgaste en los mismos, se recomienda tomar en cuenta los anillos axiales que se encuentra en la bancada central del cigüeñal, estos impiden el movimiento longitudinal y axial del eje. Este juego axial no debe ser superior a 01 mm. Si el juego es superior debemos remplazar los aros axiales.

3.1.3 INSTALACIÓN DEL SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DE GASES

3.1.3.1 Instalación de la bomba de vacío

La instalación de la bomba generadora de vacío del motor se realizó debido a que el motor no poseía una bomba de vacío para generar la depresión que es necesaria para activar La válvula solenoide de la EGR y la válvula EGR, esta bomba es importante para que el sistema funcione correctamente y la válvula EGR pueda abrir y cerrar el paso de gases hacia el múltiple de admisión.



Figura 1.2 Motor sin bomba generadora de vacío
(TALLERES SID, 2018)

La figura 1.2 se observa en el block del motor un orificio donde va situada la bomba generadora de vacío, el motor puede funcionar sin problema pero los sistemas tales como el turbo y la válvula no podrán funcionar correctamente.

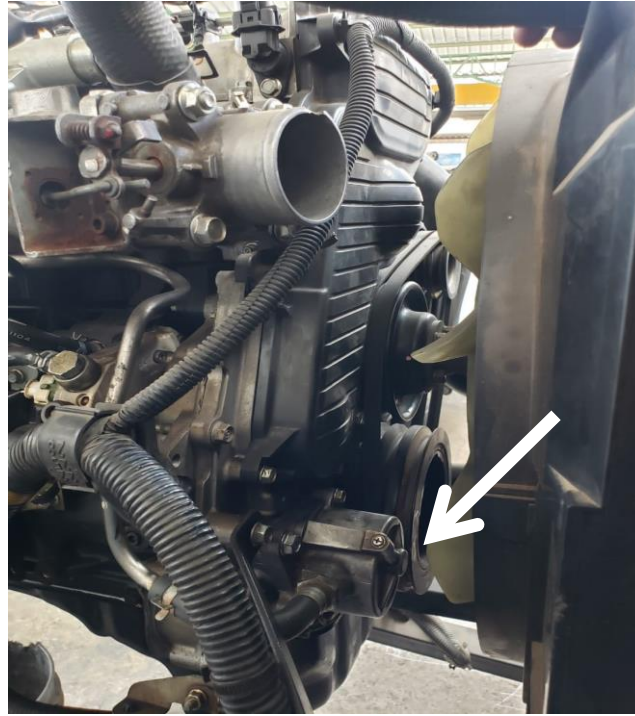


Figura 3.3 Motor con bomba de vacío instalada
(TALLERES SID, 2018)

En la figura 1.3 se observa el motor con la bomba generadoras de vacío instalada correctamente, la misma que permitirá el funcionamiento de la válvula EGR y el sistema en general.

3.1.3.2 Válvula EGR

La válvula EGR que se implementó en este motor es una válvula de vacío electrónica, con sensor deposición de la válvula EVP, además esta válvula está dentro de la clasificación de las válvulas EGR de alta presión ya que se conecta directamente desde el múltiple de escape. Los gases de escape bajan su temperatura a través del enfriador de la válvula EGR y direcciona los gases a través del tubo del sistema de recirculación de gases hasta llegar a la válvula EGR. Para permitir el ingreso de los gases el vacío procedente del circuito de vacío debe activarse y bajar la membrana de la válvula.

El sensor de posición de la EGR (EVP), se encarga de transmitir datos sobre la posición de la válvula para que esta controle los sistemas adyacentes tales como flujo de aire, presión de aire e inyección de combustible.



Figura 3.4 Válvula EGR K5T576
(TALLERES SID, 2018)

En la figura 3.4 se aprecia la válvula EGR que será instalada en el Motor Mazda BT50 CRDi, además se puede observar los componentes mencionados en el párrafo anterior. Si bien es cierto la válvula EGR nos permite reducir las emisiones de gases contaminantes emitidas por la combustión de los motores en especial el NOx, se debe tomar en cuenta que cuando se produce la recirculación de gases también se introducen dentro del cilindro del motor residuos de la combustión los mismos que son perjudiciales para la vida útil del motor.

Es recomendable realizar un mantenimiento preventivo de todo el sistema de recirculación de gases para evitar daños en los componentes y además para evitar que la válvula se quede atascada debido a la acumulación de carbonilla en la válvula EGR.

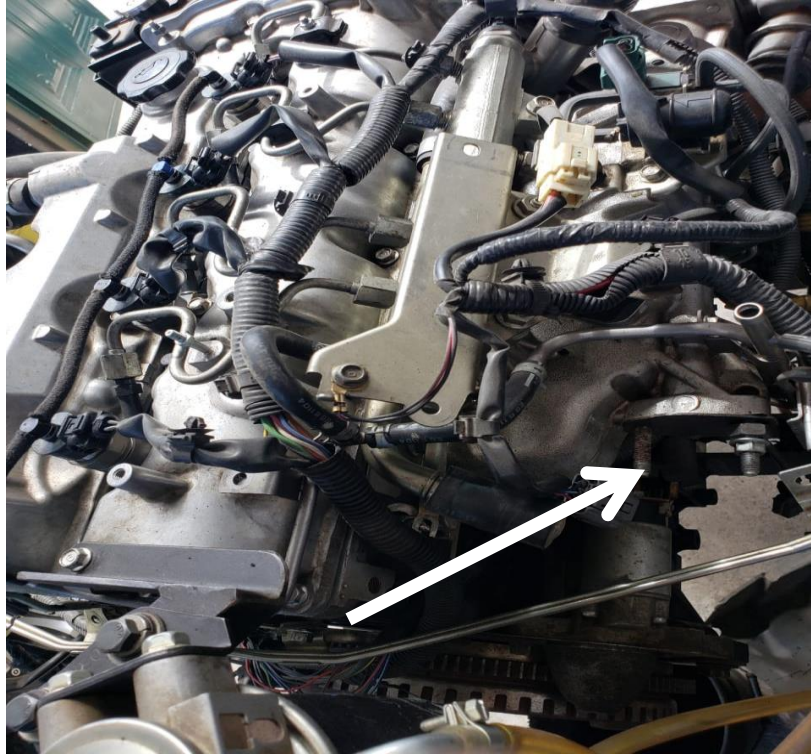


Figura .5 Motor sin válvula EGR

(TALLERES SID, 2018)

En la figura 3.5 se observa el motor sin la válvula EGR y sin la tubería el sistema de recirculación de gases y debido a la falta del sistema se registraba baja opacidad, pero altas emisiones de gases.

En la figura 3.6 se observa la válvula EGR correctamente instalada en el múltiple de admisión. Es importante mencionar que el conector del sensor de posición de la válvula EGR posee tres terminales, uno que va conectado al terminal 110 de la PCM y realizando la medición de voltaje nos da como resultado menos de 1 voltio. El cable que va al terminal 106 cuando el motor esta encendido debe tener un voltaje constante de aproximadamente 5 voltios. El terminal que envía la señal de posición de la EGR, con el motor encendido da menos de 1 voltio y cuando la válvula está abierta un 40% aproximadamente 1 voltio.

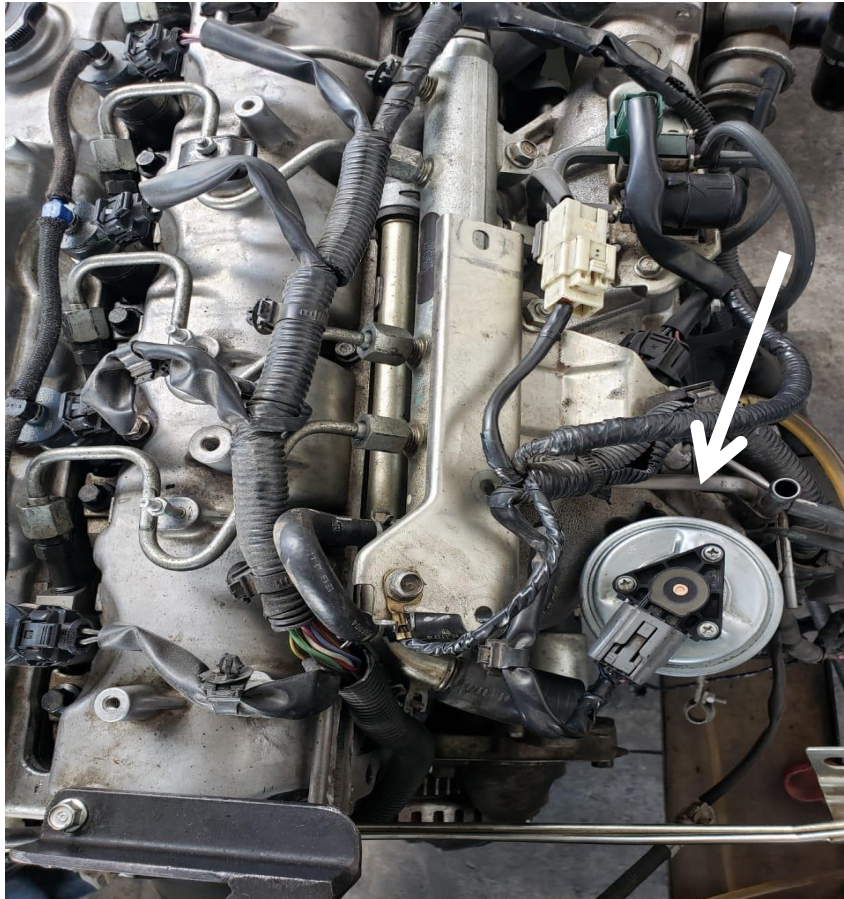


Figura 3.6 Motor con válvula EGR

(TALLERES SID, 2018)

3.1.3.3 Mantenimiento de la válvula EGR

La válvula EGR está expuesta a altas temperaturas debido a la recirculación de gases de escape por su interior y debido a esto el mayor problema es la formación de carbonilla en las paredes internas de la misma.

3.2 ANÁLISIS DE MEDICIONES DE OPACIDAD

La medición de opacidad se realizó a un rango máximo de 300 RPM y a una temperatura de 80 C y como resultado de las pruebas realizadas con el opacímetro Brain Bee (OPA 100) al Motor Mazda BT50 CRDI se obtuvo los siguientes resultados:

3.2.1 TEST 1 CON VÁLVULA EGR

Tabla 3.1 Datos de la opacidad test 1

TEST 1			
Temperatura: 80%			
Aceleración	Pico opacidad [%]	RPM ralentí [1/min]	RPM máx. [1/min]
Aceleración 1	6.0	710	2750
Aceleración 2	5.1	710	2520
Aceleración 3	5.8	710	2590
Aceleración 4	6.1	720	2719
Aceleración 5	6.5	710	2820
RESULTADOS			
Valor diferencia de la opacidad		1.4	
Valor promedio de la opacidad		5.9	

Fuente: (Opacímetro Brain bee, 2019)

En la figura 3.7 se evalúa la incidencia de la válvula EGR en la opacidad de los gases de escape en este contexto observamos que se registra en la aceleración 5, la mayor opacidad (6.5%), cuando el motor llega a 2820 RPM y un mínimo de opacidad (5.1%) en la aceleración 2, cuando el motor registra 2520 RPM, que es la RPM mínima de este test.

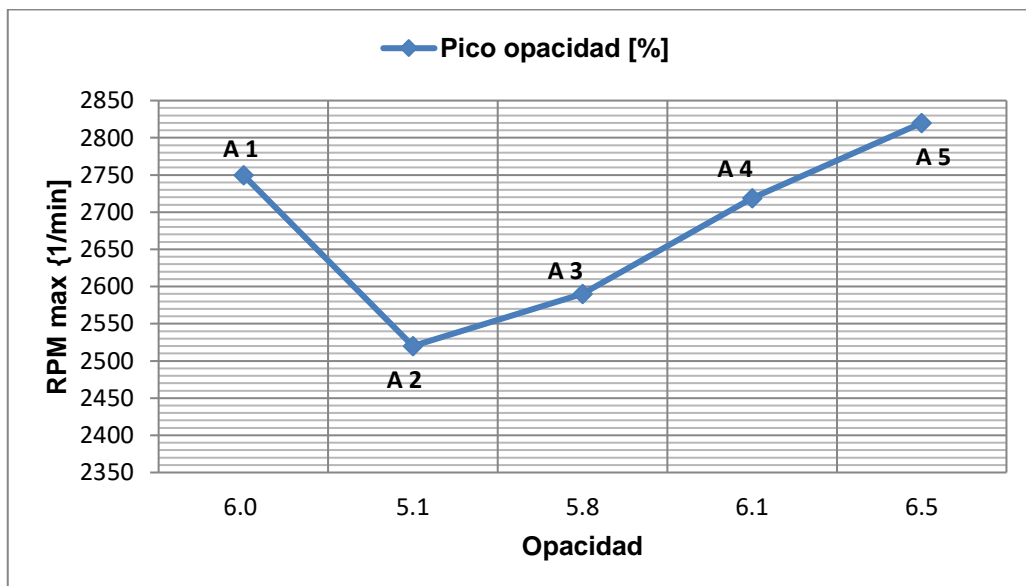


Figura 3.7 Pico de la opacidad Test 1

3.2.2 TEST 2 CON VÁLVULA EGR

Tabla 3.2 Datos de la opacidad Test 2

TEST 2			
Temperatura: 80 C			
Aceleración	Pico opacidad [%]	RPM ralentí [1/min]	RPM máx. [1/min]
Aceleración 1	4.5	710	2200
Aceleración 2	5.4	720	2660
Aceleración 3	6.0	730	2650
Aceleración 4	5.8	720	2550
Aceleración 5	7.0	710	2710
Valor diferencia de la opacidad		2.5	
Valor promedio de la opacidad		5.7	

Fuente: (Booster, 2016)

En la Figura 3.8 el máximo de opacidad (7.0%) se registra en la aceleración 5 con un rango de 2719 RPM y el mínimo de opacidad (4.5) en la aceleración 1 con un rango de 2200 RPM. A diferencia del Test 1 podemos observar que la opacidad aumenta en (0.5%) a pesar que se tiene una diferencia de 101 RPM entre sus máximas aceleraciones.

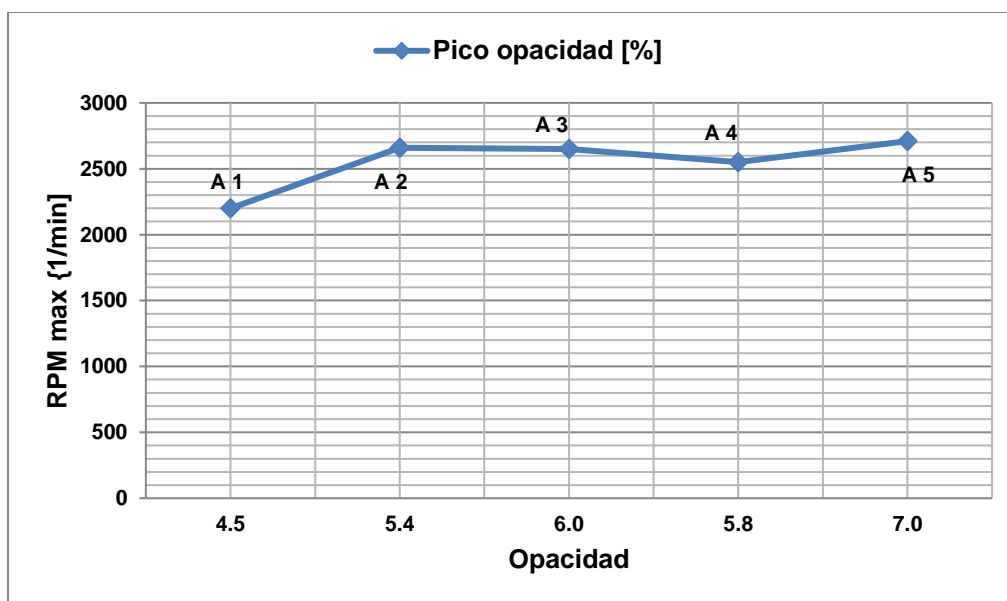


Figura 3.8 Pico de la opacidad Test 2

3.2.3 TEST 3 CON VÁLVULA EGR

Tabla 3.3 Datos de la opacidad Test 3

TEST 3			
Temperatura: 80 C			
Aceleración	Pico opacidad [%]	RPM ralentí [1/min]	RPM máx. [1/min]
Aceleración 1	4.5	720	2670
Aceleración 2	4.5	710	2680
Aceleración 3	4.9	710	2840
Aceleración 4	5.2	710	2770
Aceleración 5	5.5	720	2810
Valor diferencia de la opacidad		1.0	
Valor promedio de la opacidad		4.9	

Fuente: (Booster, 2016)

En la Figura 3.9 se distingue que la opacidad máxima (5.5) se registra en la aceleración 5 y además es la segunda con mayor RPM (2810). A pesar que la aceleración 3 posee la mayor RPM (2840) registra una diferencia de opacidad de (0.6%) con respecto a la aceleración antes mencionada. Este grafico también nos da a conocer el mínimo de opacidad (4.5) a 2670 RPM y 2680 respectivamente y aunque sus aceleraciones tienen una diferencia de 10 RPM su opacidad es la misma.

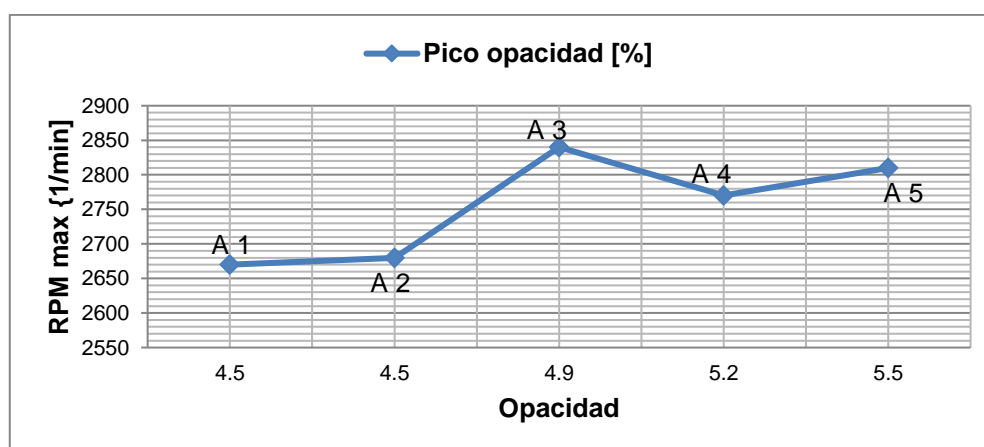


Figura 3.9 Pico de la opacidad Test 3

3.2.4 TEST 1 SIN VÁLVULA EGR

Tabla 3.4 Datos de la opacidad sin EGR Test 1

TEST 1			
Temperatura: 80%			
Aceleración	Pico opacidad [%]	RPM ralentí [1/min]	RPM máx. [1/min]
Aceleración 1	4.8	710	2959
Aceleración 2	4.2	710	2260
Aceleración 3	5.0	710	2510
Aceleración 4	5.6	730	2640
Aceleración 5	4.7	720	2240
RESULTADOS			
Valor diferencia de la opacidad		1.4	
Valor promedio de la opacidad		4.9	

Fuente: (Opacímetro Brain bee, 2019)

En la Figura 3.10 se observa un cambio de comportamiento en la opacidad ya que a pesar que las revoluciones aumentan como es el caso de la aceleración 1 con 2959 RPM, la opacidad disminuye a (4.8%). En otro caso particular en la aceleración 4 se registra la mayor opacidad (5.6%) aun cuando registra 2640 RPM. Realizando un análisis breve se determina la tendencia a la disminución de la opacidad que es lo que se intenta comprobar.

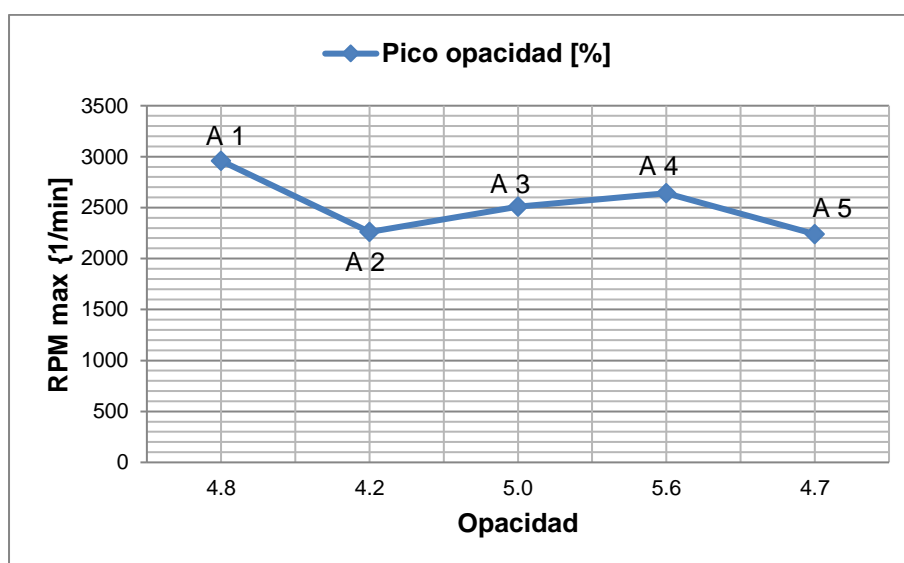


Figura 3.10 Pico de la opacidad sin EGR Test 1

3.2.5 TEST 2 SIN VÁLVULA EGR

Tabla 3.5 Datos de la opacidad sin EGR Test 1

TEST 2			
Temperatura: 80%			
Aceleración	Pico opacidad [%]	RPM ralentí [1/min]	RPM max [1/min]
Aceleración 1	3.6	730	2690
Aceleración 2	2.7	720	2440
Aceleración 3	3.2	710	2570
Aceleración 4	3.8	710	2670
Aceleración 5	3.0	700	2210
RESULTADOS			
Valor diferencia de la opacidad		1.1	
Valor promedio de la opacidad		3.3	

Fuente: (Opacómetro Brain bee, 2019)

En la Figura 3.11 el pico de la opacidad disminuye favorablemente registrando un mínimo de (2.7%) a 2440 RPM en la aceleración 2 y el máximo de opacidad (3.8%) en la aceleración 4. A pesar que las revoluciones son altas la opacidad se mantiene en un rango moderado y no sobrepasa el (4%) lo que da a entender que la recirculación de gases es decir el uso de la válvula EGR aumenta la opacidad notablemente.

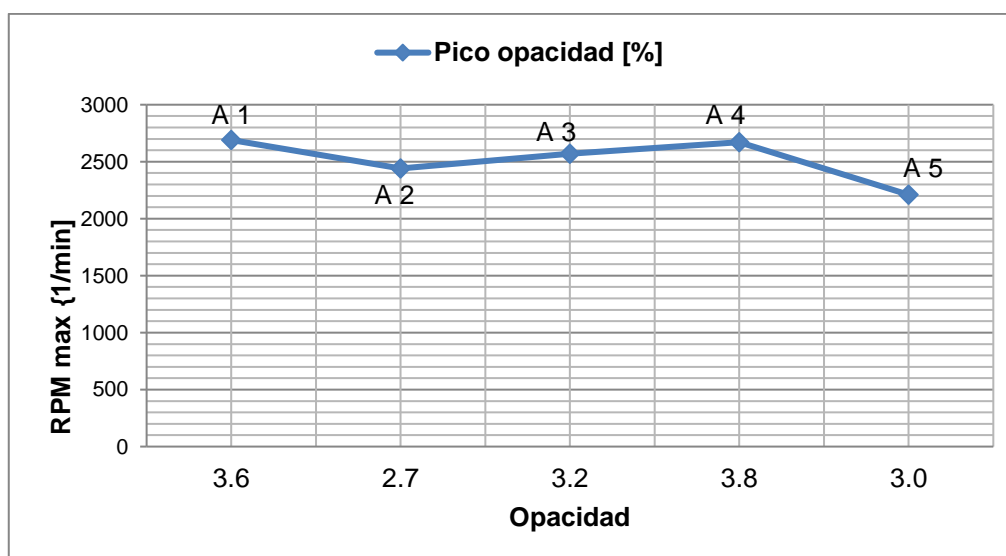


Figura 3.11 Pico de la opacidad sin EGR Test 2

3.2.6 TEST 3 SIN VÁLVULA EGR

Tabla 3.6 Datos de la opacidad sin EGR Test 1

TEST 3			
Temperatura: 80%			
Aceleración	Pico opacidad [%]	RPM ralentí [1/min]	RPM máx. [1/min]
Aceleración 1	4.9	710	2660
Aceleración 2	5.4	720	2810
Aceleración 3	5.3	710	2700
Aceleración 4	5.5	710	2640
Aceleración 5	5.3	710	2490
RESULTADOS			
Valor diferencia de la opacidad	0.6		
Valor promedio de la opacidad	5.3		

Fuente: (Opacómetro Brain bee, 2019)

Para finalizar el análisis de la opacidad sin EGR observamos que en la Figura 3.12 se registra un aumento de opacidad al (5.5%) en 2640 RPM, pero sin embargo a 2700 RPM tenemos (5.3%) de opacidad. Estos resultados reflejan la disminución de la opacidad de gases de escape a pesar de las Altas revoluciones.

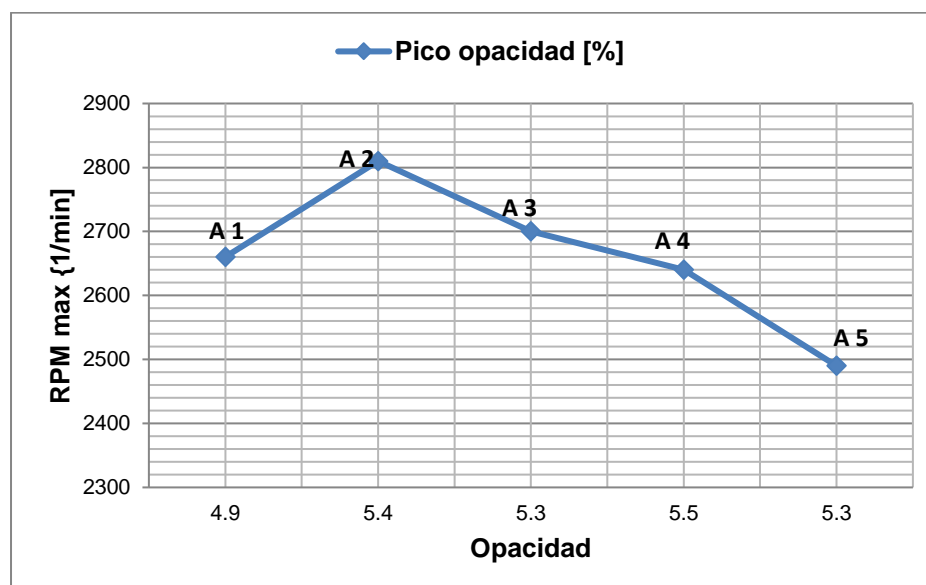


Figura 3.12 Pico de la opacidad sin EGR Test 3

3.3 ANÁLISIS DE GASE DE ESCAPE

3.3.1 CON RECIRCULACIÓN DE GASES

3.3.1.1 Tabla

Tabla 3.7 Análisis de gases de escape con EGR

TEST 1 CON EGR					
RPM: 750 RELANTI	GASES DE ESCAPE				
TEMP: 50 C					
TIEMPO (seg.)	CO2 %	CO%	O2%	HC(ppm)	NO(ppm)
0	0,4	0,2	21,68	0	0
30	0,7	0	20,59	0	35
60	0,8	1	20,04	0	102
90	1,9	1,2	17,64	2	159
120	0	0	20,92	0	116

Fuente: (Analizador de gases KANE,2019)

3.3.1.2 Gráfico

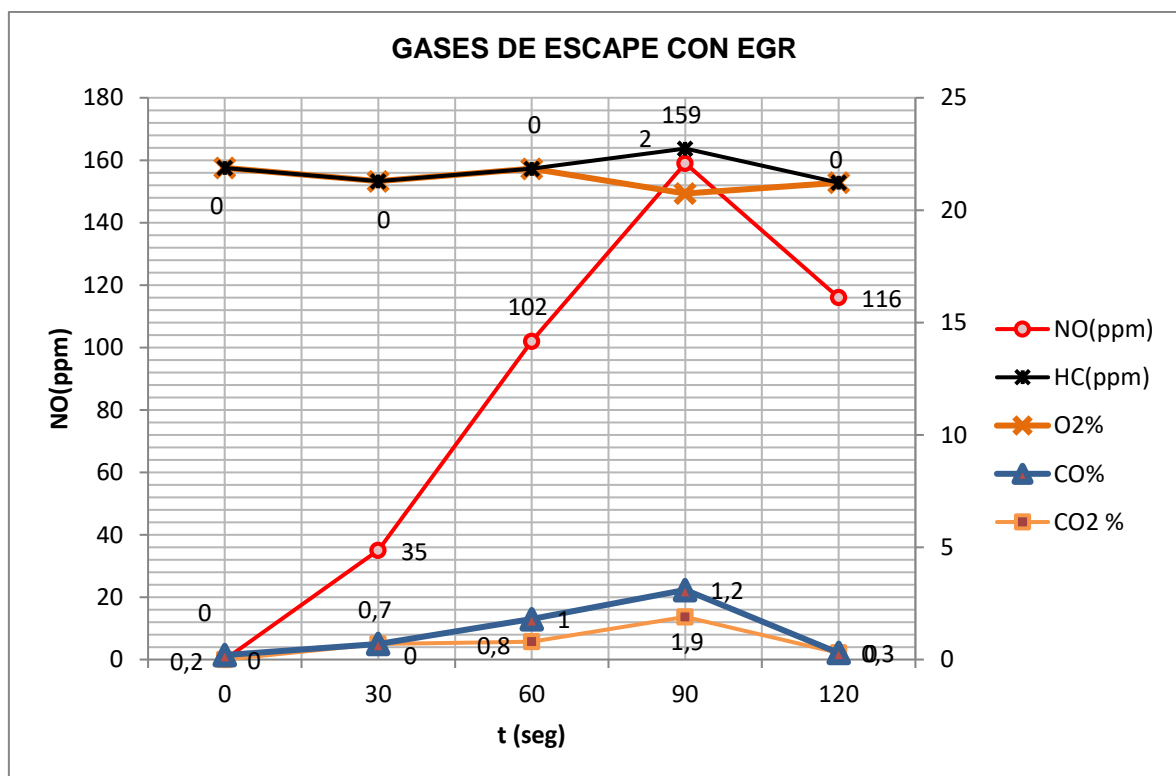


Figura 3.13 Análisis de gases de escape con EGR

3.3.1.2 Análisis de datos

El analizador de gases de escape KANE proporciona 500 datos en un tiempo de 120 segundos, el procesamiento de la información se obtuvo realizando una elección de datos cada 30segundos (0seg, 30seg, 60seg, 90seg, 120sg,) esto debido a la cantidad de datos reflejados. Con la aplicación de esta elección de datos en determinado tiempo y a 750 RPM es decir en ralentí, se reflejó la tabla de datos 3.7 y en base a esto, se realizó el análisis grafico de la cantidad de gases de escape que se muestra en la Figura 3.13.

La tabla 3.7 proporciona información sobre la emisión de gases [CO₂ %, CO%, O₂%, HC (ppm), NO_x (ppm)] en función del tiempo, además no entrega datos de la temperatura de trabajo que es de 50C y las RPM en este caso en ralentí (750 RPM). El grafico nos demuestra los rangos máximos y mínimos a los que llegan cada tipo de gas en un determinado tiempo.

Al analizar el grafico se puede deducir que los NO_x llegan a un máximo en la tercera parte del tiempo del ciclo, es decir cuando los NO_x poseen 159 (ppm) ha transcurrido 90 segundos y posterior se registra una caída de los NO_x, esto puede ser debido a que el instrumento de medición está cumpliendo el ciclo de prueba en 120 segundos. Cabe recalcar que la cantidad de NO_x emitidas por el motor Mazda BT50 CRDi se ajusta a la normativa INEN vigente para motores diésel que se menciona en el capítulo anterior.

Con relación a los otros gases de escape producto de la combustión podemos observar que sus rangos y porcentajes es mínimo y aunque no son peligrosos como los NO_x también provocan el deterioro de la capa de ozono cuando se mezclan con otros gases. El porcentaje de O₂ se mantiene en un rango de mínimo 17,64 % y un máximo de 21,68.

3.3.2 SIN RECIRCULACION DE GASES

3.3.2.1 Tabla

Tabla 3.8 Análisis de gases de escape sin EGR

TEST 1 SIN EGR					
RPM: 750 RELANTI	GASES DE ESCAPE				
TEMP: 80 C	CO2 %	CO%	O2%	HC(ppm)	NO(ppm)
TIEMPO (seg)	CO2 %	CO%	O2%	HC(ppm)	NO(ppm)
0	0,4	0	21,68	0	0
30	0,1	0	20,74	0	171
60	0,8	0	20,04	0	259
90	1,9	0,07	17,64	2	228
120	0	0	20,92	0	208

Fuente: (Analizador de gases KANE,2019)

3.3.2.2 Gráfico

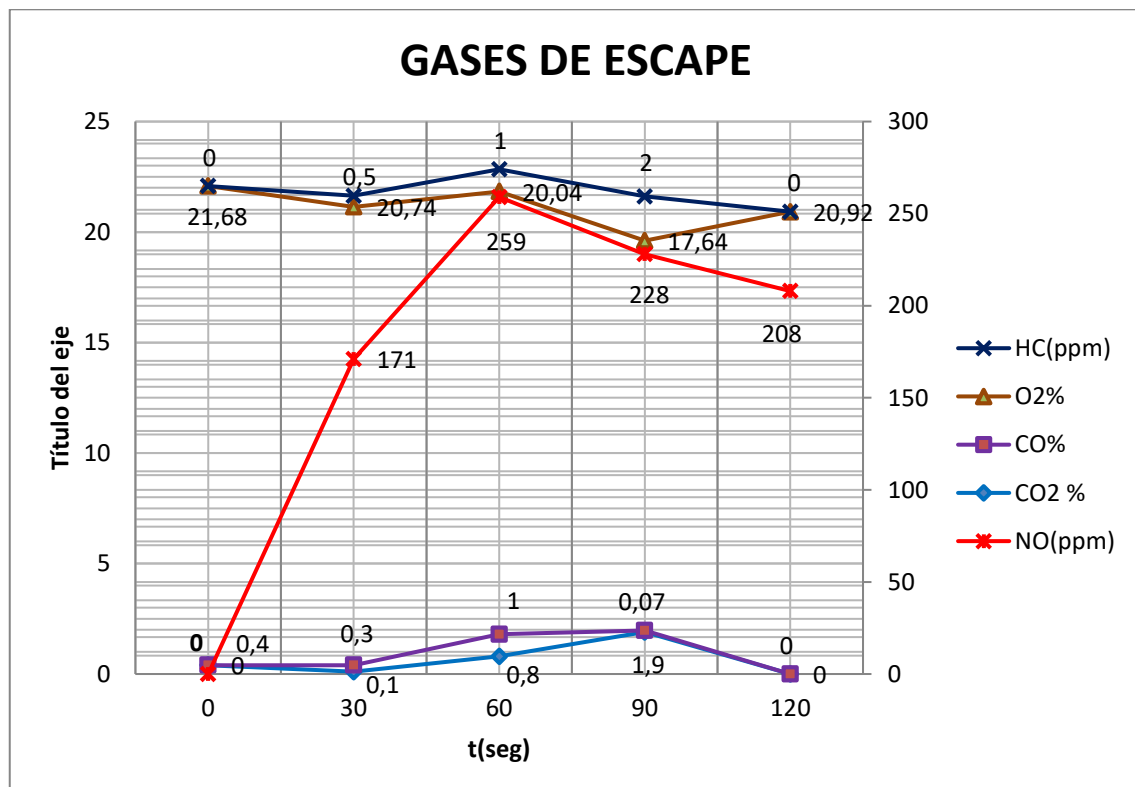


Figura 3.13 Análisis de gases de escape con EGR

3.3.2.3 Análisis de datos

La tabla 3.8 nos proporciona los datos obtenidos con el analizador de gases y realizando el análisis respectivo del mismo podemos concluir lo siguiente:

Los gases NO_x tiene un máximo en la mitad del tiempo de la prueba, es decir a los 60 segundos los NO_x alcanzan 259 ppm. Y su tendencia al final de la prueba es a disminuir, aunque se sigue manteniendo entre las 200 ppm de NO_x. Este resultado nos refleja la importancia de utilizar el sistema de recirculación de gases de escape EGR y a pesar que se está cumpliendo con la normativa INEN vigente en el Ecuador para Motores a Diésel, representa un gran contaminante del medio ambiente.

Los HC se mantienen en rangos maderables en cuanto a las emisiones y solo alcanza 2 ppm. A los 60 segundos de la prueba, esto puede ser debido al cambio de RPM o al aumento o disminución de la temperatura del Motor. De la misma manera se observa que el O₂ se mantiene en rangos de 17,92 % a 21,68 %. Los CO₂ y CO no representan un aumento a diferencia de la prueba con la válvula EGR.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

La utilización del sistema de recirculación de gases EGR eleva el porcentaje de la opacidad de los gases de escape, ya que se recirculan gases de escape nuevamente hacia la cámara de combustión. Esta recirculación provoca desgaste de los elementos mecánicos (cabeza del pistón, paredes del cilindro, culata, válvulas e inyectores) ya que existen partículas de carbonilla que al producirse la combustión salen proyectados contra estos elementos.

El uso del sistema de recirculación de gases EGR es indispensable para disminuir las emisiones de gases contaminantes en especial los NOx. Este sistema permite disminuir en un 40 % las emisiones de NOx como podemos evidenciar al analizar la Figura 3.12 y 3.13, en las cuales se detalla que, con la válvula EGR, el máximo de NOx es de 159 ppm y sin la válvula EGR el máximo de NOx es de 259 ppm respectivamente.

La opacidad y las emisiones de gases van aumentando en función de la cantidad de RPM del motor, pero sin embargo con la utilización del sistema EGR se puede lograr una disminución de gases contaminantes que a la postre será de beneficio para el medio ambiente y todos los que habitamos en ella.

4.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda fomentar la investigación sobre los diferentes sistemas de control de emisiones para obtener datos reales sobre las ventajas y desventajas para el medio ambiente y para el correcto funcionamiento del motor.

Se recomienda ampliar el conocimiento de los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Automotriz, sobre nuevas tecnologías para la disminución de emisiones de gases contaminantes.

Se recomienda realizar una campaña de concientización a nivel de talleres mecánicos, autoservicios y cooperativas de transporte público que prestan su contingente en la ciudad de Ibarra-Ecuador sobre el uso del sistema EGR y las ventajas para el medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIGRÁFICAS

1. Secretaría de Ambiente. (2017). *Reforma OM 213*. Informe Técnico, Quito. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Sesiones%20del%20Concejo/2017/Sesi%C3%B3n%20Extraordinaria%202017-06-27/Continuaci%C3%B3n%20Primer%20debate/Informe%20T%C3%A9cnico%20-%20Secretar%C3%ADa%20de%20Ambiente.pdf
2. ABC. (17 de diciembre de 2018). *ABC Reportajes*. Obtenido de https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-valvula-y-estropea-201805041444_noticia.html
3. Aficionados a la Mecanica. (2014). *Aficionados a la Mecanica*. Obtenido de http://www.aficionadosalamecanica.com/sistema_egr.htm
4. Álvarez, S. (s.f.). *Diario Motor*. Recuperado el 10 de mayo de 2019, de <https://www.diariomotor.com/consejos/sintomas-egr-estropeada-diesel/>
5. Auto Avance. (2017). *Auto Avance*. Recuperado el 22 de febrero de 2019, de <https://www.autoavance.co/equipos-diagnostico-automotriz/opacimetro-automotriz-analizador-brain-bee/>
6. Auto Diagnostico. (28 de Marzo de 2018). *Auto Diagnostico*. Recuperado el 17 de enero de 2019, de <http://autodiagnostico.pe/blog/scanner-computadora-auto-usado/>
7. autodaewospark. (2016). *autodaewospark*. Obtenido de <https://www.autodaewospark.com/valvula-pcv-sistema-ventilacion-positiva-carter.php>
8. *automovilmecanica*. (2011). Obtenido de <http://automovilmecanica.blogspot.com/>
9. *automovilmecanica*. (2011). *automovil y mecanica*. Obtenido de <http://automovilmecanica.blogspot.com/>
10. Avanti, A. (20 de julio de 2017). *Ariel*. Recuperado el 22 de abril de 2019, de <http://arielavanti.com/que-es-un-analizador-de-gases/>
11. Barbadillo, F. (2011). *fbelectronica*. Obtenido de <http://fbelectronica.com/Formacion-1/Curso-FSI.htm>

12. Barrios, J. A. (s.f.). *mailxmail*. Obtenido de <http://www.mailxmail.com/curso-emision-gases/sistema-control-evaporaciones-gases-evap>
13. Booster, B. (2016). *Manual de Sistema EGR- Mecanismo e Inspeccion*.
14. Cairo, L. G. (2015). *Organización Dirección y Operaciones Fundamentales en el Laboratorio de Química*. La Habana : Pueblo y Educación.
15. CALDERÓN, J. D., & ARCOS, G. M. (2008). “ANÁLISIS DE LOS GASES DE ESCAPE MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DEL MOTOR ISUZU DEL LABORATORIO DE MOTORES DIESEL-GASOLINA”. Latacunga.
16. Chicaiza, J. (2019). valvula EGR.
17. conservatucoche.com. (2015). *conservatucoche.com*. Obtenido de <https://www.conservatucoche.com/es/motor/valvula-egr-que-es-y-como-funciona-32.html>
18. Denso. (2018). *Denso*. Recuperado el 10 de mayo de 2019, de <https://www.denso-am.es/productos/automotive-aftermarket/sistemas-de-gestion-de-motor/v%C3%A1lvulas-egr/instalacion-y-localizacion-de-aver%C3%ADas/>
19. e-Auto. (s.f.). *e-Auto*. (e-Auto, Productor) doi:e_auto
20. El Comercio. (9 de Marzo de 2017). *elcomercio*. Recuperado el 10 de Enero de 2019, de <https://www.elcomercio.com/actualidad/ajuste-motores-reglaambiental-autos.html>
21. Figeroa, D., & Sánchez, A. (2006). *Laboratorio 2 de Física* (Primera ed.). caracas, caracas, venezuela: Equinoccio.
22. Flex Fuel. (2018). *FLEX FUEL*. Obtenido de <https://www.flexfuel-company.com/egr-valve?lang=en>
23. Globaltech. (2018). *Globaltech*. Recuperado el 23 de Abril de 2019, de <https://www.globaltechla.com/product/analizador-de-gases-portatil-kane/>
24. Glosarios. (27 de Enero de 2019). *Glosarios*. Recuperado el 12 de Mayo de 2019, de <https://glosarios.servidor-alicante.com/psicologia/metodo-experimental>
25. Gonzalez, A. F. (31 de Mayo de 2012). *Blogspot.com*. Obtenido de <http://valvulaysensoregr.blogspot.com/2012/05/valvula-egr-la-valvula-egr-se-usa-para.html>
26. Hella. (2016). *hella*. Obtenido de <https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Car-electronics-and-electrics/Exhaust-gas-recirculation-3491/>

27. Hernández, Fernández, & Baptista. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGraw-Hill.
28. INEN. (2016). *GESTIÓN AMBIENTAL, AIRE, VEHÍCULOS AUTOMOTORES, LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR AMBIENTAL*, SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACION.
29. InfoTaller. (25 de julio de 2016). *InfoTaller*. Obtenido de https://www.infotaller.tv/blogs/indave/sistema-EGR-recirculacion-camino-regreso_7_1020867904.html
30. Jiménez, J. (2016). *ro-des.com*. Obtenido de <https://www.ro-des.com/mecanica/valvula-egr-tipos-y-funcionamiento/>
31. Juchems. (2006). *juchems*. Obtenido de <http://juchems.com/ServiceManuals/viewfilef3ac.pdf>
32. León, C. A., & Romero, J. C. (2015). “*ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA APERTURA DE LA VÁLVULA EGR EN LA COMBUSTIÓN DE UN MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN CRDI, MEDIANTE EL USO DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA*”. Cuenca.
33. Mecanico Automotriz. (2017). *Manual de Electrónica, Sistema de Gases EGR, Regulación EDC y Estabilidad ESP*. Obtenido de <https://www.mecanicoautomotriz.org/1865-manual-electronica-sistema-gases-egr-regulacion-edc-estabilidad-esp>
34. mecanicoautomotriz. (2016). Manual de Sistema de Control de Emisiones de Hyundai Atos .
35. Mecarun. (s.f.). *Mecarun*. Recuperado el 12 de Marzo de 2019, de <https://www.mecarun.es/norma-euro-3-4-5-y-6/>
36. Miac. (2017). *Miac*. Obtenido de <http://www.dacarsa.net/basic/divulgacion/ControlEmision.php>
37. Opacímetro Brain bee. (2019). *Medicion de opacidad humo*. Universidad Técnica del Norte.
38. Quimis Morales, T. F. (2013). Análisis de operación e incidencia en el rendimiento del motor en función de sistemas EGR, EVAP y EVR. *Articulo científico*, 33.
39. samaris. (19 de diciembre de 2018). *samaris*. Obtenido de <https://www.samarins.com/glossary/egr-system.html>

40. Sanchez, E. J. (15 de Marzo de 2011). *valvula EGR funcion y tipos*. Obtenido de es.scribd.com: <https://es.scribd.com/document/50808466/valvula-EGR-funcion-y-tipos>
41. Taaet Electronics. (2019). *Taaet electronis*. Recuperado el 17 de Febrero de 2019, de <http://www.taaet.com/multimetros/78-multimetro-automotriz-trisco-da-830.html>
42. TALLERES SID. (2018). *Mazda BT50 Diesel CRDi*. Ibarra.
43. Testcoches. (6 de mayo de 2019). *Testcoches.es*. Obtenido de <https://testcoches.es/ayuda/valvula-egr-diesel/attachment/esquema-valvula-egr/>
44. *Todoautos*. (s.f.). Recuperado el 22 Enero , de <http://www.todoautos.com.pe/portal/mazda/bt50-2012/5258-camionetas>
45. Total. (2019). *Total.com*. Recuperado el 14 de Abril de 2019, de <https://www.total.es/nuestros-productos/tecnologia-e-innovacion/las-normas-euro-de-control-de-emisiones-contaminantes>
46. Woodyard, D. (2009). *Motores diésel y turbinas de gas marinos de Pound* (novena ed.).
47. Wurth. (7 de Marzo de 2019). *Wurth.es*. Recuperado el 17 de enero de 2019, de <https://ehs.wuerth.com/ehs4customers/export/02389980.PDF>

ANEXOS

ANEXO I

DESCARBONIZACIÓN DE LA VALVULA EGR



Figura A1.1 Válvula EGR Obstruida

ANEXO II

MANEJO DE DESOXIDANTE



Figura A11.2 Manejo de desoxidante

ANEXO III

REMOCIÓN DE CARBONILLA



Figura A1II.3 remoción de carbonilla

ANEXO V

VÁLVULA DESGASTADA



Figura A1V.4 Válvula desgastada

ANEXO VI

VÁLVULA LIMPIA



Figura AV.5 Válvula Limpia

ANEXO VI

MEDICION DE VACIO

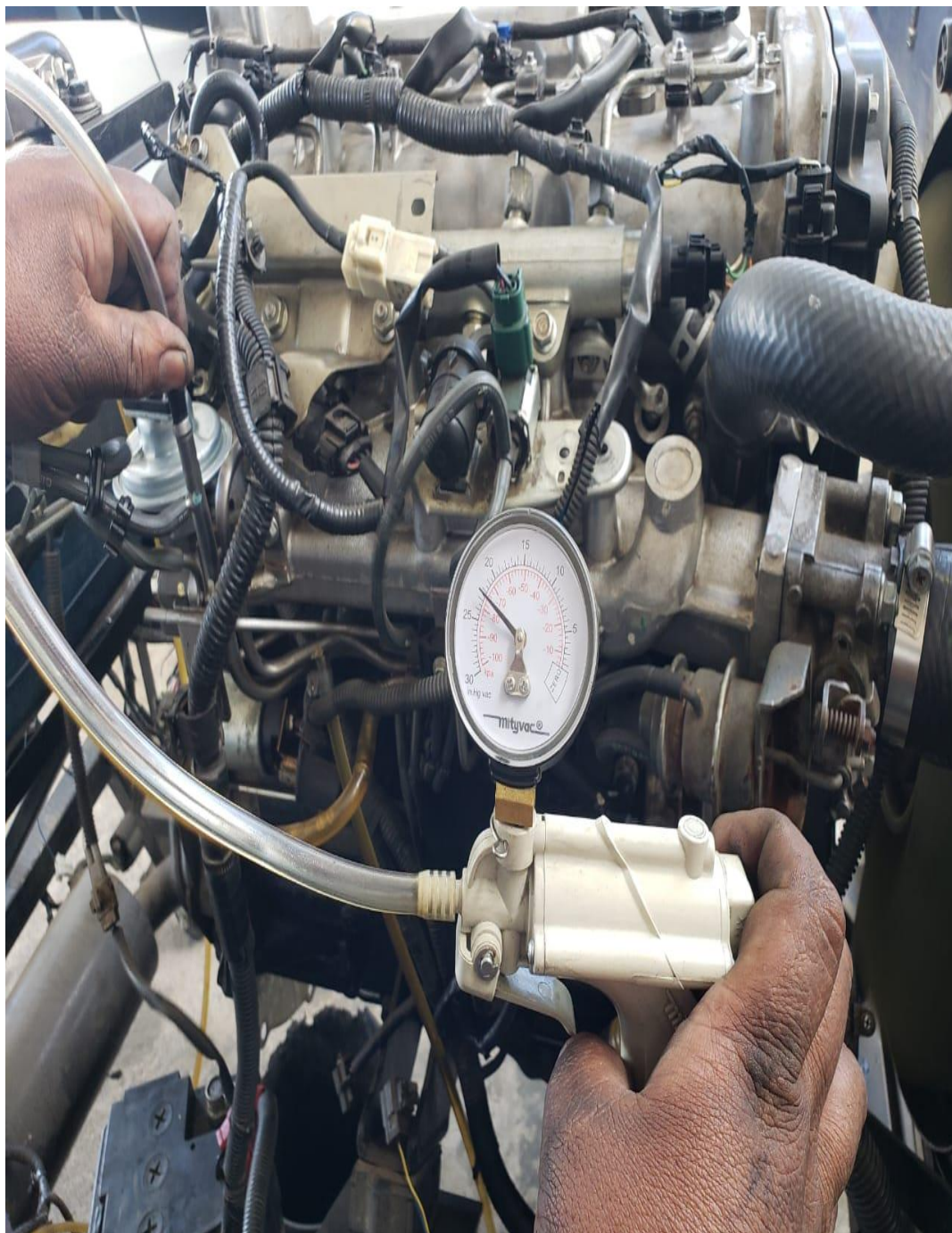


Figura AVI.6 medición de vacío

ANEXO VII

CUADRO COMPARATIVO DE OPACIDAD

CUADRO COMPARATIVO DE OPACIDAD					
CON EGR(X)			SIN EGR(Y)		
Cálculo de la RPM promedio de cada aceleración Formula: $RPM Xx = \frac{A1 + A2 + \dots + An}{\#A}$			Cálculo de la RPM promedio de cada aceleración Formula: $RPM Yx = \frac{A1 + A2 + \dots + An}{\#A}$		
RPM Xx		VALOR PROMEDIO OPACIDAD(%)	PRMYx		VALOR PROMEDIO OPACIDAD (%)
RPMX1	2679,8	5.9	RPM Y1	2601,8	4.9
RPMX2	2554	5.7	RPM Y2	2516	3.3
RPMX3	2754	4.9	RPM Y3	2660	5.3
NOTA: los datos de las RPM Xx y el valor promedio de la opacidad son obtenidos de la tabla (3.1); (3.2); (3.3) .			NOTA: los datos de las RPM Yx y el valor promedio de la opacidad son obtenidos de la tabla (3.4); (3.5); (3.6) .		
Mayor opacidad			Menor opacidad		
El aumento de la opacidad es relativa a las RPM			Mantiene la opacidad aun elevando las RPM		
Deteriora los componentes mecánicos (cilindro, culata, pistón)			Los componentes (cilindro, culata, pistón) se mantienen por mayor tiempo.		

Figura AVII.7 Cuadro comparativo de opacidad.

ANEXO VIII

CUADRO COMPARATIVO DE ANALISIS DE GASES

CUADRO COMPARATIVO DE ANÁLISIS DE GASES											
TEST CON EGR						TEST SIN EGR					
RPM: 750 RELANTI		GASES DE ESCAPE				RPM: 750 RELANTI		GASES DE ESCAPE			
TEMP: 50 C						TEMP: 50C					
TIEMPO (seg.)	CO2 %	CO%	O2%	HC(ppm)	NO(ppm)	TIEMPO (seg)	CO2 %	CO%	O2%	HC(ppm)	NO(ppm)
0	0.4	0,2	21,68	0	0	0	0,4	0	21,68	0	0
30	0,7	0	20,59	0	35	30	0,1	0	20,74	0	171
60	0,8	1	20,04	0	102	60	0,8	0	20,04	0	259
90	1,9	1,2	17,64	2	159	90	1,9	0,07	17,64	2	228
120	0	0	20,92	0	116	120	0	0	20,92	0	208
disminuye las emisiones de NOx en un 40 %						Aumentan las emisiones de NOx					
Los gases vuelven a ingresar a la camara de combustión						Los gases contaminantes salen directo hacia la atmosfera					
En la posicion de relanti no varia la emision de NOx						Cuando hay un cambio de carga del motor existe mayor emision de NOx					

Figura AVIII.8 Cuadro comparativo de análisis de gases.

ANEXO X

GRÁFICO COMPARATIVOS DE ANÁLISIS DE GASES

