



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL DESEMPEÑO Y EMISIONES DE  
UN VEHÍCULO CON ECU PROGRAMABLE BAJO EL CICLO DE  
CONDUCCIÓN DE RIOBAMBA”**

**Trabajo de integración curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:**

**BRYAN FERNANDO MANYA OCAÑA**

**JOSÉ HELEODORO SANTILLÁN YAULEMA**

Riobamba-Ecuador

2021



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL DESEMPEÑO Y EMISIONES  
DE UN VEHÍCULO CON ECU PROGRAMABLE BAJO EL CICLO DE  
CONDUCCIÓN DE RIOBAMBA”**

**Trabajo de integración curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:** BRYAN FERNANDO MANYA OCAÑA

JOSÉ HELEODORO SANTILLÁN YAULEMA

**DIRECTOR:** Ing. PAUL ALEJANDRO MONTUFAR PAZ Mtro.

Riobamba-Ecuador

2021

**© 2021, Bryan Fernando Manya Ocaña & José Heleodoro Santillán Yaulema**

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

Nosotros, BRYAN FERNANDO MANYA OCAÑA y JOSÉ HELEODORO SANTILLÁN YAULEMA, declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, noviembre 25 de 2021



**Bryan Fernando Manya Ocaña**

**060489010-3**



**José Heleodoro Santillán Yaulema**

**060352970-2**

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

El Tribunal del trabajo de integración curricular certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: proyecto técnico, **ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL DESEMPEÑO Y EMISIONES DE UN VEHÍCULO CON ECU PROGRAMABLE BAJO EL CICLO DE CONDUCCIÓN DE RIOBAMBA**, realizado por los señores: **BRYAN FERNANDO MANYA OCAÑA Y JOSÉ HELEODORO SANTILLÁN YAULEMA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de integración curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	Firma	Fecha
Ing. Juan Carlos Castelo Valdivieso MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021-11-25
Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz Mtro. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	_____	2021-11-25
Ing. Rodrigo Rigoberto Moreno Pallares MSc. <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>	_____	2021-11-25

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación, es la muestra de trabajo, dedicación y sacrificio durante varios años, primero dedicar a Dios por siempre darme sabiduría y fuerza necesaria en los momentos más difíciles que se atraviesa a lo largo de la vida estudiantil y poder culminar la carrera de la mejor manera posible, a mis abuelitos que siempre han estado presentes en todo momento especialmente a mi abuelito Antonio que desde el cielo siempre se ha sabido guiar y cuidar evitando que tropiece a lo largo de mi vida, a mis padres que siempre han sido un apoyo incondicional en mis aciertos y desaciertos.

**Bryan**

El presente trabajo de titulación se lo dedico principalmente a Dios y a mi madre Dolorosa por bendecirme y guiarme en cada paso de mi vida, a mi abuelita Zenaida porque sé que desde el cielo me ha protegido siempre, a mis padres que nunca en la vida me han hecho faltar y han sido el mejor ejemplo y a los cuales voy a estar agradecido toda la vida, a mi hermana que ha sido otra madre para mí, a mi hijo Ignacio y a mi esposa Karla que son mi felicidad y la razón para ser mejor cada día y a toda mi familia y amigos que han sido un apoyo en esta etapa de mi vida

**José**

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
RESUMEN .....	xii
SUMMARY .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	2
1 <b>DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA</b> .....	2
1.1 <b>Antecedentes</b> .....	2
1.2 <b>Planteamiento del problema</b> .....	2
1.3 <b>Justificación del proyecto</b> .....	3
1.4 <b>Objetivos</b> .....	3
1.4.1 <i>Objetivo general</i> .....	3
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.5 <b>Alcance</b> .....	4
CAPÍTULO II .....	5
2 <b>REVISIÓN DE LA LITERATURA</b> .....	5
2.1 <b>Marco Teórico</b> .....	5
2.1.1 <i>Antecedentes</i> .....	5
2.1.1.1 <i>Historia de la Inyección Electrónica</i> .....	5
2.1.2 <i>Principales procesos y componentes en un motor de combustión interna</i> .....	6
2.1.3 <i>Sensores</i> .....	9
2.1.3.1 <i>Clasificación según su principio de operación</i> .....	9
2.1.4 <i>Emisiones contaminantes</i> .....	18
2.1.5 <i>Características de los gases contaminantes</i> .....	20
2.1.6 <i>Límites de emisiones contaminantes aceptadas en el Ecuador</i> .....	24
2.1.6.1 <i>Normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 2204:2002</i> .....	24
2.1.6.2 <i>Normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 2207:2002</i> .....	25
2.1.7 <i>Factores principales en la incidencia de emisiones</i> .....	26

2.1.7	<i>Sistema de alimentación de un motor a gasolina</i>	29
2.1.8	<i>Inyección de combustible</i>	30
2.2	<b>Características topográficas y de tráfico vehicular en Riobamba</b>	32
2.2.1	<i>Características topográficas de Riobamba</i>	32
2.2.2	<i>Tráfico vehicular</i>	32
<b>CAPÍTULO III</b>		35
3	<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	35
3.1	<b>Materiales utilizados</b>	35
3.1.2	<i>Cinta aislante</i>	35
3.1.3	<i>Relevadores automotrices</i>	36
3.1.4	<i>Terminales para cable</i>	36
3.1.5	<i>Cable eléctrico</i>	37
3.2	<b>Herramientas y Máquinas</b>	37
3.2.1	<i>Destornilladores</i>	37
3.2.2	<i>Pelacables</i>	38
3.2.3	<i>Multímetro</i>	38
3.2.4	<i>Unidad de control programable</i>	38
3.3	<b>Vehículo en estudio</b>	39
3.3.1	<i>Volkswagen Polo 2.0</i>	39
3.4	<b>Tareas realizadas por cada componente</b>	40
3.4.1	<i>Arnés de cables</i>	40
3.4.2	<i>Cinta aislante</i>	40
3.5	<b>Proceso de Construcción</b>	41
3.5.1	<i>Selección del vehículo</i>	41
3.5.2	<i>Obtener datos de fábrica del vehículo</i>	41
3.5.3	<i>Selección de la unidad de control</i>	42
3.5.4	<i>Adaptación de sensores necesarios para el funcionamiento de la unidad de control programable</i>	43
3.5.5	<i>Instalación de la unidad de control programable</i>	43
3.5.6	<i>Configuración de arranque</i>	46
3.5.7	<i>Características del inyector</i>	46
3.5.8	<i>Configuración de la rueda de desencadenador</i>	47



3.5.9	<i>Ancho de pulso de cebado</i> .....	48
3.5.10	<i>Porcentaje de enriquecimiento después de empezar</i> .....	48
3.5.11	<i>Desplazamiento de avance de encendido en frío</i> .....	49
3.5.11	<i>Definición de parámetros para el corte de combustible en desaceleraciones</i> .....	50
3.6	<b>Ruta determinada para el estudio</b> .....	50
4	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS</b> .....	52
4.1	<b>Resultados obtenidos de los equipos</b> .....	52
4.1.1	<i>Resultados promedios del escáner ELM327</i> .....	52
4.2	<b>Resultados obtenidos antes de la instalación de la ECU programable</b> .....	55
4.2.1	<i>Concentración de emisiones</i> .....	55
4.2.2	<i>Factores de gases contaminantes</i> .....	59
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	65
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	67
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Elementos básicos del MCI .....	7
<b>Tabla 2-2:</b> Cotas en el reglaje de la distribución .....	8
<b>Tabla 3-2:</b> Características de los gases contaminantes .....	20
<b>Tabla 4-2:</b> Porcentaje máximos de emisión para fuentes móviles impulsados a gasolina (prueba dinámica).....	25
<b>Tabla 5-2:</b> Límites de emisiones para automotores propulsados con motor a diésel (prueba dinámica) .....	26
<b>Tabla 1-3:</b> Especificación vehicular .....	39
<b>Tabla 2-3:</b> Consumo de combustible .....	39
<b>Tabla 1-4:</b> Resultados obtenidos del escáner .....	53
<b>Tabla 2-4:</b> Resultados obtenidos del analizador de gases .....	53
<b>Tabla 3-4:</b> Resultados obtenidos del escáner para consumo de combustible .....	54
<b>Tabla 4-4:</b> Resultados obtenidos de porcentaje de volumen de gases contaminantes .....	55
<b>Tabla 5-4:</b> Resultados obtenidos del cálculo para gases contaminantes en gr/km .....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Componentes principales de un MCIA.....	6
<b>Figura 2-2:</b> Diagrama teórico (izquierda) y diagrama práctico (derecho) .....	8
<b>Figura 3-2:</b> Relación temperatura-resistencia de los termistores ptc y ntc. ....	11
<b>Figura 4-2:</b> Curva resistencia-temperatura del sensor rtd.....	11
<b>Figura 5-2:</b> Cadena Logística.....	12
<b>Figura 6-2:</b> Encoder magnético con imán móvil. ....	13
<b>Figura 7-2:</b> Encoder magnético con imán fijo.....	14
<b>Figura 8-2:</b> Arquitectura usada en tacogeneradores .....	14
<b>Figura 9-2:</b> Sensor de presión basado en el principio de variación de resistencia. ....	15
<b>Figura 10-2:</b> Principio de transducción piezoeléctrico usado en sensores de presión. a) Configuración de disco. b) Configuración de tira. ....	16
<b>Figura 11-2:</b> Sensor de presión basado en el principio de fuelle-vibración.....	17
<b>Figura 12-2:</b> Sensor electromagnético de flujo.....	18
<b>Figura 13-2:</b> Composición de los gases de combustión en un mep .....	19
<b>Figura 14-2:</b> Concentraciones de los contaminantes de un MEP .....	23
<b>Figura 15-2:</b> Diferencias topográficas entre Riobamba y Ambato .....	32
<b>Figura 16-2:</b> Relevador automotriz .....	33
<b>Figura 1-3:</b> Arnés de cableado.....	35
<b>Figura 2-3:</b> Cinta aislante.....	35
<b>Figura 3-3:</b> Relevador automotriz .....	36
<b>Figura 4-3:</b> Terminales para cable.....	36
<b>Figura 5-3:</b> Cable eléctrico.....	37
<b>Figura 6-3:</b> Destornillador.....	37
<b>Figura 7-3:</b> Pelacables.....	38
<b>Figura 8-3:</b> Multímetro .....	38
<b>Figura 9-3:</b> Unidad de control electrónica programable .....	39
<b>Figura 10-3:</b> Volkswagen Polo 2.0.....	39
<b>Figura 11-3:</b> Volkswagen Polo 2000cc .....	41
<b>Figura 12-3:</b> Dinamómetro .....	42
<b>Figura 13-3:</b> Analizador de gases.....	42
<b>Figura 14-3:</b> Unidad de control programable Megasquirt .....	43

<b>Figura 15-3:</b> Toma de agua fabricada .....	43
<b>Figura 16-3:</b> Arnés de cableado .....	44
<b>Figura 17-3:</b> Diagrama de conexión Megasquirt.....	44
<b>Figura 18-3:</b> Conexiones de cableado .....	45
<b>Figura 19-3:</b> Conexión de bluetooth .....	45
<b>Figura 20-3:</b> Configuración de arranque .....	46
<b>Figura 21-3:</b> Características de los inyectores.....	47
<b>Figura 22-3:</b> Características de los inyectores.....	47
<b>Figura 23-3:</b> Ancho de pulso de cebado.....	48
<b>Figura 24-3:</b> Porcentaje de enriquecimiento después de empezar. ....	49
<b>Figura 25-3:</b> Desplazamiento de avance de encendido en frío. ....	49
<b>Figura 26-3:</b> Parametros para el corte de combustible en desaceleracion.....	50
<b>Figura 27-3:</b> Distancia recorrida .....	50

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-4:</b> Concentración de emisiones de CO con respecto a la velocidad del vehículo .....	56
<b>Gráfico 2-4:</b> Concentración de emisiones de O con respecto a la velocidad del vehículo .....	57
<b>Gráfico 3-4:</b> Concentración de emisiones de CO con respecto a la velocidad del vehículo .....	57
<b>Gráfico 4-4:</b> Concentración de emisiones de CO <sub>2</sub> y HC con respecto a la velocidad del vehículo antes de instalar la ECU programable.....	58
<b>Gráfico 5-4:</b> Concentración de emisiones de CO <sub>2</sub> y HC con respecto a la velocidad del vehículo después de instalar la ECU programable .....	59
<b>Gráfico 6-4:</b> Emisiones de gases contaminantes en kg/km .....	60
<b>Gráfico 7-4:</b> Comportamiento del gas contaminante CO en gr/km durante las pruebas antes de instalar la ECU programable y después .....	61
<b>Gráfico 8-4:</b> Comportamiento del gas contaminante CO <sub>2</sub> en gr/km durante las pruebas antes de instalar la ECU programable y después .....	61
<b>Gráfico 9-4:</b> Comportamiento del gas contaminante HC en gr/km durante las pruebas antes de instalar la ECU programable y después .....	62
<b>Gráfico 10-4:</b> Datos obtenidos por el escáner .....	62
<b>Gráfico 11-4:</b> Consumo de combustible .....	63
<b>Gráfico 12-4:</b> Consumo de combustible .....	63
<b>Gráfico 13-5:</b> Torque potencia con ECU programable instalada .....	64
<b>Gráfico 14-4:</b> Comparación de gráficas.....	64
<b>Gráfico 15-4:</b> Comparación de gráficas.....	65
<b>Gráfico 16-4:</b> Comparación de gráficas.....	65

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue modificar los parámetros de la inyección de combustible en el motor mediante la implementación de una unidad de control programable, con el propósito de evitar el despilgajo de combustible, tomando en cuenta que los fabricantes de automóviles no realizan un estudio propio de la zona en la cual va a funcionar el vehículo. Esta modificación tuvo como bases los datos recopilados del funcionamiento del motor en rutas previamente establecida dentro de la ciudad de Riobamba, dentro de dicha ruta se recopiló los datos obtenidos mediante un analizador de gases tomando en cuenta diferentes estados del motor para de esta manera determinar que etapas son eficientes y cuáles no, también se obtuvo las curvas de torque y potencia tanto antes y después de la modificación de los mapas para de esta manera analizar los resultados obtenidos. La unidad de control seleccionada fue Megasquirt 2 Pro, misma que se acopló a los diferentes sensores y actuadores del sistema de inyección del vehículo, se utilizó el software TunerStudio MS para la modificación de los diferentes parámetros de funcionamiento para lograr el objetivo de una optimización del combustible. Como resultado se obtuvo la disminución de consumo de combustible de 0,265 a 0,1786 galones en el transcurso de la ruta y una disminución del 8% en la potencia del motor, los datos obtenidos permitieron generar un nuevo mapa para disminuir el consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes. Se recomienda que el vehículo posea una red de comunicación adecuada para de este modo tener acceso a la gestión electrónica del motor en tiempo real para obtener información. Se recomienda verificar que previo estudio los sistemas electrónicos y mecánicos que intervienen en la gestión del motor se encuentren en óptimas condiciones caso contrario solucionar dichos defectos.

**Palabras clave:** <UNIDAD DE CONTROL PROGRAMABLE> <TUNERSTUDIO MS (SOFTWARE)> <GESTIÓN ELECTRÓNICA> <ANÁLISIS DE GASES> <TACOGENERADORES> <TRÁFICO VEHICULAR> <EMISIONES CONTAMINANTES>



Desarrollado y autorizado por:  
**HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA**

0566-DBRA-UPT-2022

## SUMMARY

The objective of the following investigation was to modify the parameters of the injection of fuel in the motor through the implementation of a programmable control unit. Its purpose was to avoid wasting fuel, taking into consideration that the automotive manufacturers do not perform their studies of the zone where the vehicle will function. This modification had as its base the data gathered on the functioning of the motor in routes previously established within Riobamba city. Within this route, data was collected employing a gas analyzer taking into account different states of the engine so this way it could determine which stages are efficient and which ones are not. The torque and power curves were obtained before and after the maps modification so that this way the obtained results could be analyzed. The controlled, selected unit was Megasquirt 2 Pro. The same adapted to the different sensors and actors of the injection system of the vehicle. The software TunerStudio MS was used for the modification of the different functioning parameters to achieve the objective of fuel optimization. As a result, it was obtained the decrease in fuel consumption from 0,265 to 0,1786 gallons in the course of the route, and decreasing 8% in engine power. The obtained data allowed generating a new map to decrease the consumption of the fuel and contaminating gas emissions. It is recommended that the vehicle possess an adequate communicating system so that this way has access to the electronic management of the motor in real-time to obtain information. It is recommended to verify previous studies of the mechanical and electronic systems that intervene in the management of the motor so that it is in optimal conditions contrary to fixing such defects.

**Keywords:** < PROGRAMMABLE CONTROL UNIT > < TUNERSTUDIO MS (SOFTWARE) > < ELECTRONIC MANAGEMENT > < GAS ANALYSIS> <TACHOGENERATORS> <VEHICULAR TRAFFIC> <POLLUTING EMISSIONS>



## **INTRODUCCIÓN**

En el presente trabajo de titulación analizaremos los parámetros preestablecidos en el módulo de control del motor para determinar su eficiencia en vehículos que tienen su funcionamiento en la ciudad de Riobamba, el primer paso es obtener las curvas de torque y potencia del motor para determinar la influencia de altura y calidad de combustible local en el motor del vehículo, por otra parte, se obtendrá los datos que nos proporciona un analizador de gases al implementarlo en una ruta previamente establecida dentro de la ciudad, misma que toma en cuenta varios aspectos de afluencia vehicular como pendientes más pronunciadas dentro de los límites de estudio.

Con dicho estudio se mostrarán variantes que se pueden implementar en el parque automotor de nuestra ciudad y de este modo obtener una optimización de combustible y disminuir la emisión de gases contaminantes.



# CAPÍTULO I

## 1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes

En la década de los setentas se introdujeron al mercado los primeros autos con motores controlados electrónicamente. Esto con el fin de obtener mejoras en su rendimiento, eficiencia y menor emisión de contaminantes. Inicialmente la electrónica empleada era solo analógica, evolucionando hasta la de hoy en día en donde se combina hardware y software en un control digital con mejores resultados. En el mercado se encuentran vehículos cuyos sistemas no permiten llevar a cabo variaciones en el software de la computadora. Esto con el fin de optimizar el rendimiento del vehículo, ya sea en el área de la potenciación o en situaciones en donde la gasolina es reemplazada por combustibles alternos.

### 1.2 Planteamiento del problema

Los responsables en diseñar y almacenar las programaciones en la ECU de un vehículo toman datos generales de una región teniendo en cuenta diversas condiciones ambientales, desde altas temperaturas situadas en zonas costeras a temperaturas de congelación, presión atmosférica sobre el nivel del mar o ciudades situadas a considerables alturas.

Los diferentes sistemas del vehículo deben adaptarse a estos parámetros tratando de alcanzar un funcionamiento óptimo y confiable, debido a que los estudios previos del fabricante no recopilan datos específicos de una ciudad en particular debe adaptarse a los datos más adyacentes para de esta manera realizar las acciones concernientes en el motor.

Dada esta cadencia de información se vio la necesidad de analizar y optimizar la configuración de fábrica por una específica para las condiciones propias de la ciudad de Riobamba.

### **1.3 Justificación del proyecto**

El actual proyecto técnico se orienta a la reprogramación de ECUs para la creación de un mapa que permita obtener parámetros más eficientes para el funcionamiento de un vehículo en la ciudad de Riobamba.

Este estudio tiene como objetivo renovar la programación de fábrica incorporada en la centralita del vehículo para de esta manera incorporar un mapa que nos permita optimizar las acciones del motor en un lugar en específico.

Según (Romo Vélez, y otros, 2016 p. 20) “En la actualidad, los sistemas de control electrónicos que comandan el funcionamiento de un vehículo tienen una intervención cada vez más importante en el sector automotriz, convirtiéndose en parte fundamental e integral de operaciones”

### **1.4 Objetivos**

#### ***1.4.1 Objetivo general***

Analizar el desempeño vehicular a través de levantamiento de información específica para la optimización del consumo de combustible dentro del ciclo de conducción en la ciudad de Riobamba

#### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Recopilar información confiable referente a la reprogramación y mapeo de ECUs
- Recolectar datos mediante el uso de dinamómetro, ciclos de conducción y obtener los mapas tridimensionales bases
- Desarrollar un mapa tridimensional apropiado para la optimización del motor de combustión interna exclusivo para el funcionamiento dentro de la ciudad de Riobamba.

## **1.5 Alcance**

Respetando normas de contaminación ambiental, se realiza la adaptación de una unidad de control electrónica programable sin poner en riesgo el funcionamiento del motor.

Se utilizará el software TunerStudio MS para variar parámetros del motor disminuyendo el consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes mediante el mapeado de tablas de combustible y avance necesario para el funcionamiento óptimo del motor en un ciclo de conducción en la ciudad de Riobamba.

## CAPÍTULO II

### 2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

#### 2.1 Marco Teórico

##### 2.1.1 *Antecedentes*

###### 2.1.1.1 *Historia de la Inyección Electrónica*

En 1795 Robert Street con el inicio de la carburación logro la gasificación del aceite de alquitrán y la trementina que ocupa un motor atmosférico. Se esperó hasta 1824 que el inventor norteamericano Samuel Morey y el abogado inglés, Erskine Hazard crearon un carburador para este tipo de motor (Lopez, 2020 p. 1).

El científico italiano Luigi de Cristoforis en 1841 construye el primer motor de tipo atmosférico sin pistones, pero con un carburador en la superficie, el carburador estaba equipado en el tanque de combustible el cual mediante una corriente de aire recogía los vapores de combustible (Lopez, 2020).

Nikolaus August Otto en 1885 usando un carburador de superficie mejorado y con una variedad de combustibles de hidrocarburos, como la bencina y la gasolina, finalmente obtuvo los resultados esperados.

En 1901 aparece el primer carburador de dos gargantas inventado por Krastin de nacionalidad estadounidense en el cual no importaba un flujo de aire excesivo para generar buenas mezclas.

La aplicación de la inyección en serie de la aviación se esperó hasta 1937. Para la aplicación de inyección de gasolina en serie en automóviles se esperó hasta 1945. En la carrera de Indianápolis 500 en 1949 participa el primer vehículo equipado con un sistema de inyección de combustible.

A partir de 1954 se usan sistema de inyección de combustible para vehículos en serie de cuatro tiempos.

En 1973 se crea uno de los primeros sistemas de inyección k-Jetronic, la cual era netamente mecánica también conocida como inyección continua esta necesitaba una temperatura de funcionamiento de 80 a 90C°.

En 1982 con la inyección ke-Jetronic se incorpora un sistema de control electrónico para determinadas funciones del motor, pero seguía siendo inyección continua (Lopez, 2020 p. 3).

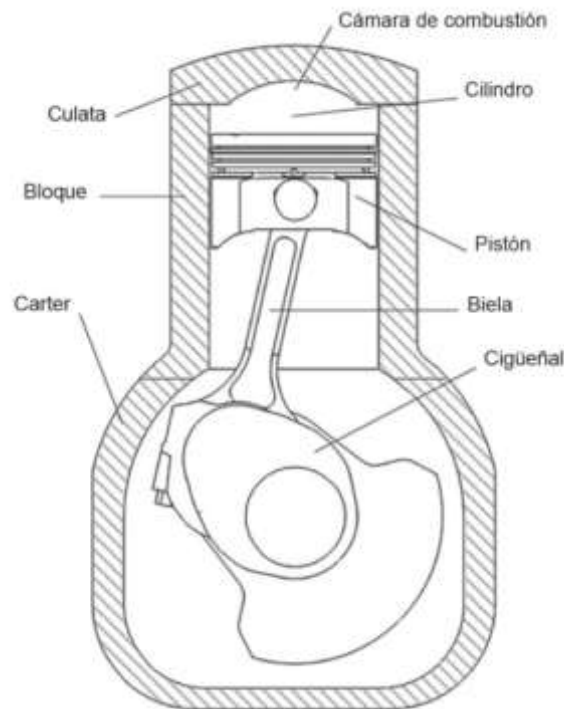
En 1974 se incorpora el primer sistema de inyección de combustible electrónico que comanda los inyectores de combustible y una bobina captora.

La inyección le-Jetronic es la inyección multipunto que tiene un inyector por cada cilindro en la cual se suspende el termo contacto y también el inyector para el arranque en frío (OR, 2021 p. 4).

### **2.1.2 Principales procesos y componentes en un motor de combustión interna**

Los motores de combustión interna son motores volumétricos, el cuales el trabajo se obtiene a través del desplazamiento lineal del embolo de un mecanismo biela-manivela (Botta, y otros, 2011 p. 27).

Se califican de combustión interna ya que el estado térmico se origina en el mismo fluido que evoluciona con el motor. La figura 1.1 representa el esquema básico de los MCI y la tabla 1.1 describe levemente los principales componentes representados en la figura.



**Figura 1-2:** Componentes principales de un MCI.

Fuente (Gutiérrez, 2016).

**Tabla 1-2:** Elementos básicos del MCI

Pistón	Elemento con movimiento rectilíneo alternativo. Aumenta o disminuye el volumen del cilindro
Biela	Principal elemento que convierte el movimiento lineal del pistón en el rotativo del cigüeñal
Cigüeñal	Elemento rotativo que transmite el movimiento hacia la transmisión del vehículo
Cilindro	Elemento en el cual se aloja el pistón, aloja el fluido de trabajo
Cámara de Combustión	Es el volumen que permanece sobre el pistón al finalizar la compresión, en dicho lugar tiene lugar la combustión de mezcla.
Culata	Es la parte superior de los cilindros de un motor de combustión evita que se genere pérdidas de compresión.
Block	Es la parte inferior del motor, misma que aloja los cilindros, así como los soportes de apoyo del cigüeñal.
Cárter	Almacena el lubricante del motor, a la vez funciona como cierre de la parte inferior

**Fuente:** (Rovira, y otros, 2015).

**Realizado por:** Manya, B.; Santillán, J. 2021.

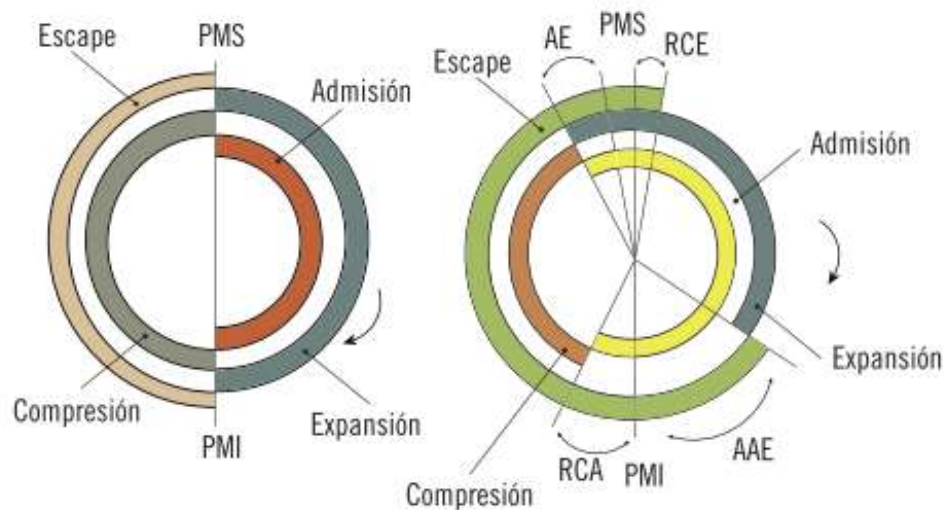
Durante su actividad el motor ejecuta una serie de acciones que se repiten continuamente formando un ciclo termodinámico. Los cinco procesos que tienen dentro del motor son los siguientes:

- Admisión: Es el proceso en el que ingresa la mezcla de aire-combustible.
- Compresión: Proceso en el que se prensa la mezcla para incrementar el rendimiento termodinámico del motor.
- Combustión: Cuando la mezcla se encuentra comprimida en su punto máximo, se produce una chispa que produce que la mezcla arda, mediante las cuales se genera el estado térmico del fluido de trabajo
- Expansión: Proceso en el que los gases resultantes de la combustión se expanden y desplazan al pistón, aumentando el volumen del cilindro. Este cambio de volumen es el responsable de la

producción de trabajo. La presión que ejerce los gases transforma el movimiento lineal en rotativa del cigüeñal

- o Escape: En este último proceso se expulsa los gases resultantes de la combustión para que se pueda iniciar un nuevo proceso de admisión.

En los procesos de compresión, combustión y expansión conforman el ciclo termodinámico del motor y son procesos en los que no existe un intercambio de materia con el ambiente exterior (Rovira, y otros, 2015 p. 32).



**Figura 2-2: Diagrama teórico (izquierda) y diagrama práctico (derecho).**

Fuente: (Gutiérrez, 2016 p. 132).

**Tabla 2-2: Cotas en el reglaje de la distribución**

ABREVIATURA	CONCEPTO	ATRIBUTO
AAA	Avance de la apertura de la válvula de admisión	aumenta el llenado del cilindro y aporta un barrido de los gases de escape residuales
RCA	Retraso en el cierre de la válvula de admisión	Aumenta el llenado del cilindro utilizando la inercia de los gases de la admisión
AAE	avance en la apertura de la válvula de escape	Mejora la liberación de los gases de escape del cilindro

RCE	Retraso en el cierre de la válvula de escape	Produce una leve succión de los gases frescos en el cruce de levas
AE/AI	Adelanto del encendido	Se logra la máxima presión en el PMS, se aprovecha de mejor manera la fuerza de expansión

**Fuente:** (Gutiérrez, 2016).

**Realizado por:** Manya, B.; Santillán, J. 2021.

El ciclo teórico en el motor no puede ocurrir debido a diversos factores: la apertura de válvulas no es instantánea, la mezcla aire-combustible necesita un momento para inflamarse, se presentan pérdidas por rozamiento, etc.

Depende mucho de tipo y diseño del motor que los motores se acerquen al diagrama teórico más que otros.

### **2.1.3 Sensores**

Son componentes que tienen como propósito transformar una característica física de un componente en una señal eléctrica. Dichas señales eléctricas son delegadas a la ECU del vehículo y esta procesará la información recibida y establecerá valores definidos que serán enviados a diversos actuadores para el correcto funcionamiento del motor.

Mientras mayor es la actualidad del vehículo aumenta el número de sensores incorporados en el vehículo, que van recopilando diferente información mientras el vehículo se encuentra en funcionamiento como: temperatura del refrigerante del motor, presiones, niveles de aceite, flujo de aire que ingresa al motor, cantidad de oxígeno presente en el escape, etc.

#### **2.1.3.1 Clasificación según su principio de operación**

Los diferentes sensores que se implementan en el vehículo son tan extensos que no es posible unificar una única clasificación. Se expone a continuación una clasificación en función de su principio de funcionamiento:

- *Sensores de variación de temperatura a energía eléctrica*



Se expresa a la temperatura como la intensidad de calor sobre un objeto. Este modelo de energía calorífica es un promedio de las partículas de la materia de la energía cinética, estas se asocian a movimientos de moléculas del sistema. Lo cual provoca que cuando mayor sea la temperatura, mayor la energía.

Se conoce de varios métodos usados para determinar la magnitud física, la cuales varían de acuerdo al método y las condiciones que se usen para la detección. Para obtener esta información se suministra en unidades de grados en una escala estandarizada como:

Escala Rankine

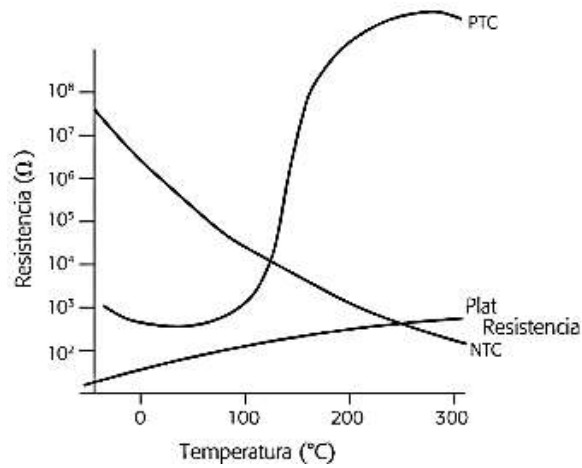
Escala Celsius

Escala Kelvin

Escala Fahrenheit

### **Termistor**

El termistor es una resistencia la cual es construida de material semiconductor que es sensitivo a variaciones de temperatura con la cual cambia su valor resistivo. Se sabe que en un metal puro la resistencia eléctrica aumenta cuando la temperatura aumenta, mientras que en un material semiconductor con el cual se construye el termistor la resistencia disminuirá. Una de las características de un material semiconductor es el incremento de energía cinética en los electrones. El suministro de electrones es alto con el aumento de temperatura, por lo cual da un coeficiente negativo mucho mayor que el positivo, por lo que el termistor tiene sensibilidad alta a cambios pequeños de temperatura. Existe termistores de coeficiente de temperatura positivo que funcionan de una manera muy similar a los materiales puros, los cuales aumentan su resistividad a mayor temperatura (Ramírez, y otros, 2019 p. 175).

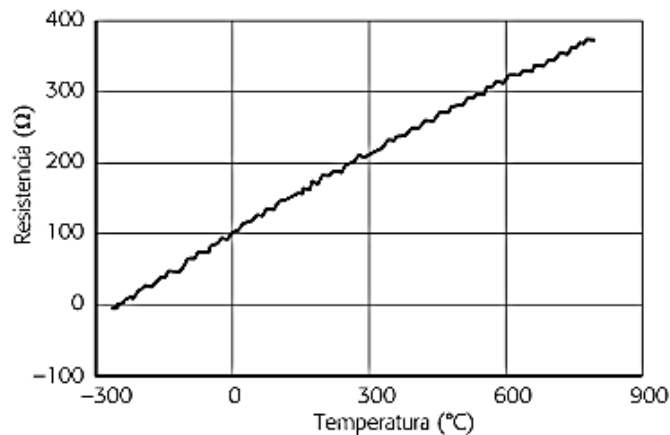


**Figura 3-2:** Relación temperatura-resistencia de los termistores ptc y ntc.

Fuente: (Ramírez, y otros, 2019).

### Sensor de temperatura resistivo

Un sensor de temperatura resistivo rtd, de igual manera que el del coeficiente de temperatura positivo, funciona con el principio de variación en la resistencia eléctrica en metales puros; por lo tanto, a mayor temperatura existe un incremento en la resistencia eléctrica. Esto lo convierte en uno de los sensores más utilizados para medir la variación de temperatura por las características que poseen, en su estabilidad y cambio positivo en un rango lineal en la relación resistencia eléctrica y temperatura, por lo que existe un cambio proporcional en el valor de la magnitud de la temperatura.



**Figura 4-2:** Curva resistencia-temperatura del sensor rtd.

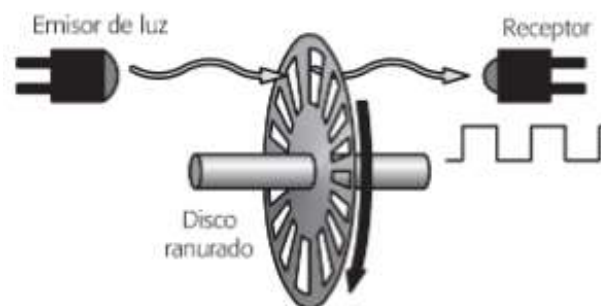
Fuente: (Ramírez, y otros, 2019).

- *Sensores de aceleración, velocidad y posición (CKP CMP)*

Los Sensores son los elementos que más se usan para medición de sistemas rotacionales, conocidos también como tacómetros o decodificadores de posición. Mediante el Sensor se convierte el movimiento rotacional o lineal, a una señal equivalente. Al inicio, en un principio los Sensores tenían compuestos mecánicos, tipo cepillo, el cual rotaba a través de un patrón, cerrando el circuito entre el elemento mecánico y el patrón metálico; por lo que la frecuencia se realizaba este contacto determinaba la velocidad angular del eje en el que estaba unido al cepillo metálico. Hoy en día existe una amplia gama de Sensores ópticos o magnéticos, por lo que los mecánicos ya se consideran obsoletos por sus susceptibles fallas por desalineación mecánica y por su tiempo de vida más corta que los Sensores ópticos o magnéticos.

### **Sensores ópticos**

Frecuentemente un Sensores ópticos tiene un par de dispositivos optoelectrónicos, que están compuestos por el emisor o fuente de luz y un receptor; ampliamente, se utiliza una foto transistor y un par fotodiodo. Entre el fototransistor y el fotodiodo del Sensor óptico lleva un disco oscuro ranurado con ventanas transparentes, este se acopla mecánicamente a un eje que tiene un número  $n$  de ranuras. Por lo tanto, cuando el disco gira a través del par emisor / receptor se genera una señal alternante entre el emisor y el receptor, la velocidad del eje depende de la frecuencia registrada; por lo tanto, a una frecuencia mayor de la señal de la salida mayor la velocidad del eje.

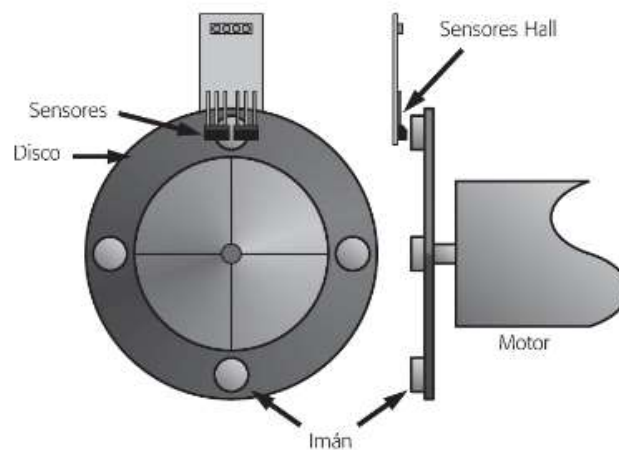


**Figura 5-2:** Cadena Logística.

**Fuente:** (Ramírez, y otros, 2019).

## Sensores magnéticos

De igual manera que los Sensores ópticos, se aplican principalmente para determinar la posición o velocidad de un sistema rotacional, ya que este tipo de Sensores relaciona el cambio de velocidad o posición mediante una señal digital. La señal que los Sensores magnéticos generan es basada en el principio de efecto Hall. Los Sensores magnéticos cuentan con dos posibles configuraciones arquitecturas; en la primera el eje cuenta con imán permanente del cual se desea medir la velocidad angular, mientras el sensor de efecto Hall se encuentra en una parte fija; por lo tanto, cuando el imán pasa frente al sensor de efecto Hall el estado de éste cambia, la velocidad el eje varía proporcionalmente a la frecuencia de este cambio. Con mucha frecuencia se suele mejorar la resolución del sistema colocando más de un imán; los pulsos en la señal digital se dividen entre el número de imanes existentes. En la segunda arquitectura o configuración, tanto el imán como el sensor están en una parte fija, en esta configuración se coloca un disco ranurado; el cambio de estado se registra cada vez que el disco pasa por una ranura obteniendo así la señal digital que describe el estado del motor o eje.



**Figura 6-2:** Encoder magnético con imán móvil.

Fuente: (Ramírez, y otros, 2019).

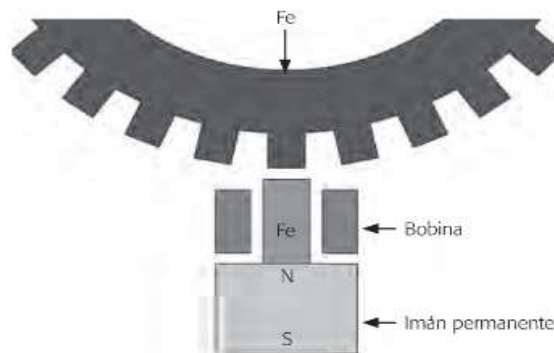


**Figura 7-1:** Encoder magnético con imán fijo.

Fuente: (Ramírez, y otros, 2019).

## Tacogeneradores

Un tacogenerador es un elemento que sirve como transductor entre el voltaje proporcional y la velocidad de un eje. El funcionamiento es la principal diferencia que radica con los Sensores, ya que éste funciona con el principio de transducción de reluctancia variable, la señal que genera un tacogenerador es un voltaje analógico, mientras que un encoder entrega una salida digital. El tacogenerador se aprovecha en que la magnitud de voltaje que induce una bobina depende de la velocidad de rotación de un elemento ferromagnético en un campo magnético. Un imán que se encuentra dentro de un tacogenerador es el encargado de generar un campo magnético fijo. Una rueda dentada es acoplada al eje mecánico la cual gira en medio del campo magnético, generando una corriente proporcional al giro de un motor circulando ésta a través de una bobina, la cual tiene acoplada unas escobillas; la variación de voltaje presente en las escobillas es la salida del sensor.



**Figura 8-2:** Arquitectura usada en tacogeneradores.

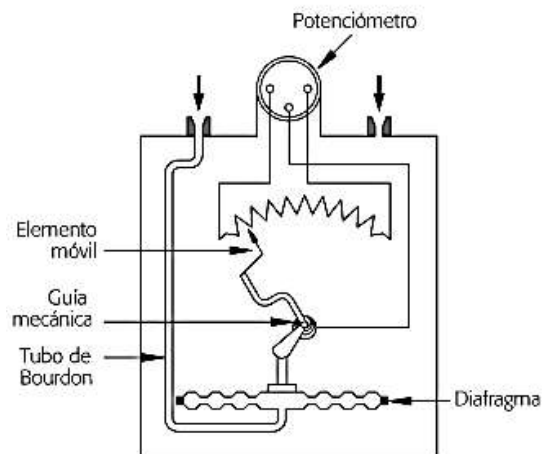
Fuente: (Ramírez, y otros, 2019).

- *Sensores de presión*

Se usa como sensor de presión a un transductor, en general de voltaje, entre una señal eléctrica y un área específica. Por lo que es importante establecer una aplicación específica para un sensor de presión; los sensores de presión a diferencia de los sensores de fuerza convencional cuentan con un elemento llamado diafragma, este es el área efectiva que calcula la fuerza ejercida. Por lo que es posible determinar la fuerza ejercida por unidad de área.

### **Sensores de presión basados en variación de resistencia**

En estos sensores se usa el principio de transducción resistivo por medio de un tubo de Bourdon se encuentra acoplado un potenciómetro móvil de manera mecánica al diafragma sensitivo; por lo que el desplazamiento mecánico que experimenta el diafragma se transmite al elemento móvil del potenciómetro. De acuerdo al cambio eléctrico que experimenta el potenciómetro el voltaje de salida en sus terminales varía de manera proporcional a la variación de presión.



**Figura 9-2:** Sensor de presión basado en el principio de variación de resistencia.

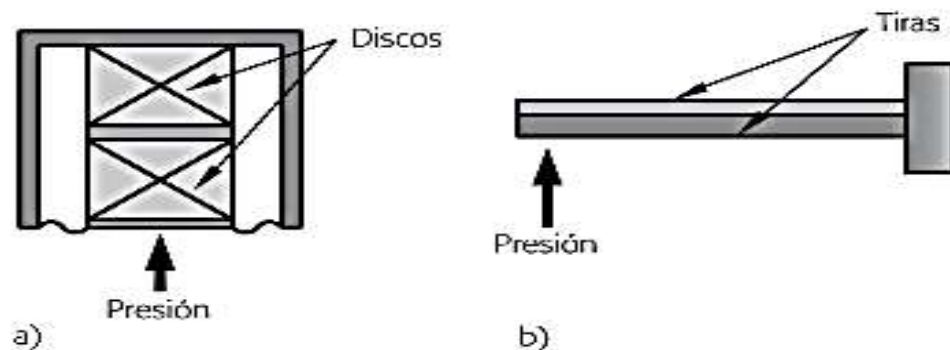
**Fuente:** (Ramírez, y otros, 2019).

### **Sensores de presión con materiales piezoeléctricos**

Estos sensores usan material piezoeléctrico como elemento de detección, ya que un material piezoeléctrico tiene la capacidad de transformar un esfuerzo aplicado en voltaje. Cuenta con el

siguiente principio de aplicación: un área de placa pequeña que cuenta con características piezoeléctricas, es colocada de manera perpendicular a la fuerza que genera la presión que va a hacer detectada, cuando la presión tiende a variar, la placa piezoeléctrica crea un voltaje proporcional a la extensión o compresión de la placa. El voltaje que genera el circuito piezoeléctrico se lo puede leer por medio de electrodos metálicos. El cuarzo, pvd, titanio de bario y sal de Seignette, son los materiales piezoeléctricos más utilizados para este tipo de sensor.

Este tipo de sensores cuenta con dos configuraciones básicas, en la primera es posible incrementar la resolución del sensor interconectando discos de material piezoeléctricos entre sí. En la segunda posible configuración se incrementa el voltaje de salida superponiendo dos láminas de material piezoeléctricas, las mismas que se encuentran colocadas de manera que tengan polaridades opuestas.

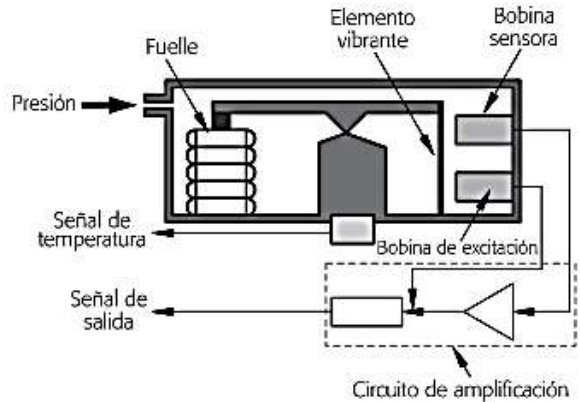


**Figura 10-2:** Principio de transducción piezoeléctrico usado en sensores de presión. a) Configuración de disco. b) Configuración de tira.

Fuente: (Ramírez, y otros, 2019).

### Sensores de fuelle

Este tipo de sensores trabajan con un acople entre un fuelle mecánico y un elemento vibrante, un fuelle es un elemento mecánico encargado de retener aire para después evacuarlo con una dirección y presión específicas. En estos sensores, la vibración del elemento vibrante es traducida mediante el fuelle que capta la presión a detectar. Un circuito magnético tiene un elemento vibrante el cual transduce la vibración inducida por el fuelle a una señal de voltaje que varía en el tiempo. Mediante circuitos amplificadores se transforma la señal de la bobina excitadora de campo magnético en una señal de voltaje. Para compensar las variaciones de presión este sensor tiene un medidor de temperatura embebido.



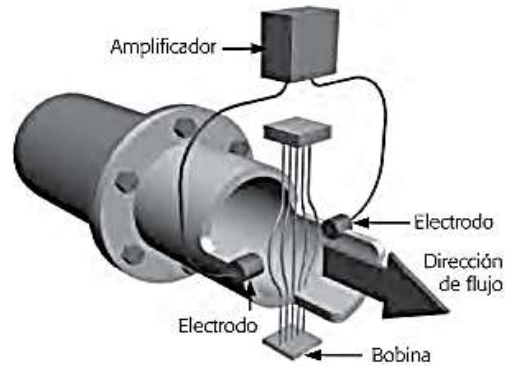
**Figura 11-2:** Sensor de presión basado en el principio de fuelle-vibración.

Fuente: (Ramírez, y otros, 2019).

### Sensores electromagnéticos

La ley de inducción de Faraday es la que se basan los sensores de flujos electromagnéticos la cual dice que cuando un conductor se desplaza de manera perpendicular a un campo magnético, el voltaje inducido será proporcional a la velocidad de desplazamiento del conductor, el fluido a medir es el conductor, la presión, temperatura o viscosidad del fluido es independiente del voltaje inducido. Se mide la velocidad del flujo, seguido se usa el dato de área del conducto, para conocer el flujo volumétrico. Estos sensores tienen dos unidades 1) Unidad de generación de campo magnético, se medirá una fuerte excitación en una bobina que se acopla alrededor de la sección, que al unirse se genera un campo magnético que es necesario para la medición, y 2) Dos electrodos normales al eje de la bobina, que se unen al conjunto para medir el voltaje inducido, estando ya directamente con el fluido en contacto, y una fase de amplificación de señal, por los bajos voltajes inducidos a unos cuantos mv, formando la unidad de medición. Al ser los conductos fabricados con materiales conductores, para tener una buena lectura el voltaje inducido se usa acero inoxidable, y un aislante para que el voltaje inducido no se disipe en las tuberías. Mientras que el recubrimiento de la bobina de los sensores está construido en acero al carbono, para que el campo magnético se concentre dentro de la zona de interés para la medición.





**Figura 12-2:** Sensor electromagnético de flujo.

Fuente: (Ramírez, y otros, 2019).

#### 2.1.4 Emisiones contaminantes

##### Introducción

En los años cincuenta comenzó la inquietud por la contaminación atmosférica, pero realmente se la comenzó a tomar en cuenta en los sesenta, cuando comienza a ser visible esta contaminación en las grandes ciudades. Las evaluaciones en ese entonces dieron como resultado que los principales causantes de estos episodios eran los automóviles, tomando en cuenta la aglomeración que producían y aun se producen en los núcleos urbanos.

Las emisiones contaminantes de un motor de combustión interna pueden derivarse de tres fuentes diferentes:

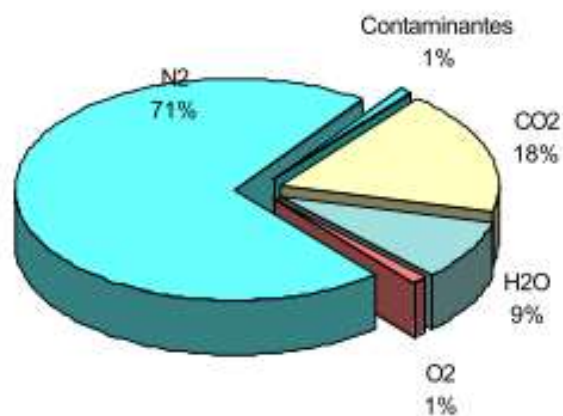
- Gases de Combustión
- Evaporación de combustible
- Emisiones del cárter de lubricante

##### a) Gases de Combustión

La combustión incompleta de un hidrocarburo da como subproductos dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, agua y sustancias contaminantes, es evidente que la combustión generara mayor número de gases nocivos mientras más incompleta sea la combustión.

Si se analiza las sustancias contaminantes, se encuentra los siguientes resultados:

- Hidrocarburos incompletamente quemados:
  - Monóxido de carbono
  - Ácidos carbónicos
  - Aldehídos
  - Cetonas
- Hidrocarburos sin quemar:
  - Parafinas
  - Hidrocarburos aromáticos
- Resultantes del cracking térmico y derivados
  - Partículas sólidas
  - Hidrogeno
  - Acetileno
  - Etileno
- Diferentes resultantes de la combustión
  - Óxidos de nitrógeno
  - Óxidos y halogenuros de plomo
  - Óxidos de azufre
- Derivados de la acción solar:
  - Ozono
  - Peróxidos orgánicos
  - Peróxi-acetil-nitratos



**Figura 13-2:** Composición de los gases de combustión en un MEP.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

## b) Evaporación de combustible

Esta evaporación se da principalmente en el depósito y en el sistema de alimentación, se estima que del total de hidrocarburos sin quemar que emite un motor, el 20% se produce por evaporación.

Se emplea un dispositivo para regular estas evaporaciones y permitir retener, cuando se detiene el motor, los vapores se recolectan en un recipiente el cual contiene carbón activo, y se los redirigen hacia el sistema de alimentación, cuando el motor empieza su funcionamiento.

## c) Emisiones del cárter del lubricante

Están principalmente conformadas por hidrocarburos, incluso se puede encontrar productos procedentes a fugas de estanqueidad en segmentos y guías de válvulas. El 25% del total de hidrocarburos sin quemar que emite el motor, se debe a los gases del cárter.

### 2.1.5 Características de los gases contaminantes

A continuación, se analizarán las principales características de gases contaminantes,

**Tabla 3-2:** Características de los gases contaminantes

Contaminante	Características	Consecuencias
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Generado por la propia combustión  Más pesado que el aire	Sustituye al oxígeno y reduce su proporción  Principal responsable del efecto invernadero.
Monóxido de carbono (CO)	Incoloro e inodoro  Producto de las combustiones incompletas	Es tóxico, reduce la oxigenación de la sangre.  En un 0,3% de volumen es mortal tras 30 minutos de inhalación.
Hidrocarburos (HC)	Producto originario por una combustión incompleta.	Pueden contribuir a la formación de ozono  Se tiene sospecha de ser cancerígenos

Óxidos de nitrógeno (NOx)	Incoloro e inodoro Se genera al reaccionar el oxígeno y nitrógeno bajo efecto de altas temperatura	Altamente toxico, produce problemas respiratorios, dolores de cabeza y tos
Partículas	Formados por partículas de carbono e hidrocarburos.	Posiblemente cancerígeno
Óxidos de azufre (SO <sub>2</sub> )	Generados en combustión de sólidos y fuelóleos	Emite olor Problemas respiratorios Forma parte de la lluvia acida y del smog
Emisiones de plomo	Presente en gasolina fuera de circulación, tanto extra como súper.	Perjudica el sistema nervioso Perturba el desarrollo intelectual de niños pequeños.

Fuente: (Gutiérrez, 2016).

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

### **Monóxido de carbono**

Es un gas de características incoloro e inodoro, al ser aspirado se introduce a la hemoglobina y sustituye al oxígeno, produciendo asfixia.

El monóxido de carbono se crea al quemar sustancias compuestas de carbono con una proporción deficiente de aire. Una cantidad pequeña como de 1/500 puede ser mortal en un lapso menor de 30 minutos. Este gas es el principal elemento del aire contaminado en las zonas urbanas.

Se genera como consecuencia de temperatura y presión elevadas en la cámara de combustión, conjuntamente con una insuficiente cantidad de oxígeno, misma que es necesaria para terminar la oxidación del CO a CO<sub>2</sub>.

En los motores de encendido provocado las emisiones de monóxido de carbono dependen de su mayoría de la relación aire-combustible.

En caso de trabajar con una mezcla rica, el volumen de oxígeno necesario es insuficiente para combustionar completamente los hidrocarburos en CO<sub>2</sub> y como respuesta el porcentaje de monóxido de carbono aumentara drásticamente. Aunque la mezcla en el cilindro sea demasiado pobre siempre va a existir una mínima emisión de este gas debido en parte a la lentitud de la reacción de oxidación de CO a CO<sub>2</sub> y a la combustión incompleta de la mezcla.

## **Hidrocarburos sin quemar**

Los hidrocarburos parcialmente quemados o sin quemar es resultado de que el tiempo de estadía de los hidrocarburos en la cámara de combustión es menor que su tiempo de oxidación completa.

El mínimo valor de estas emisiones se las obtiene con mezclas ligeramente pobres, ya que dichas condiciones de temperatura y presencia de oxígeno permiten la combustión de los hidrocarburos casi en su totalidad.

Si se continúa reduciendo la cantidad de oxígeno presente, la velocidad con la que se propaga la llama es demasiado pequeña y la combustión resulta incompleta incrementando notablemente el porcentaje de hidrocarburos sin quemar en el escape.

De manera similar ocurre si se aumenta la cantidad de combustible en la cámara, si se sobrepasa los niveles establecidos, la velocidad de propagación de la llama empieza a disminuir y al igual que en una mezcla pobre, el porcentaje de emisiones aumentara.

Las emisiones de hidrocarburos, es debida principalmente a tres procesos que se dan en la cámara de combustión:

- Mezcla escasa de combustible
- Porción del combustible suministrado tarde
- Extinción de la llama

Dicho combustible que se encuentra en una mezcla rica será capaz de unirse al oxígeno presente en la cámara quemándose durante la fase correcta de combustión. Por otra parte, si la mezcla es principalmente pobre, con un dosado puntual menor que 0,3 no se combustionará, siendo expulsado fuera de la cámara junto a los gases producto de la combustión.

Como regla general se observa que mientras mayor es el tiempo de retraso mayor es el volumen de combustible sin quemar expulsado al múltiple de escape.

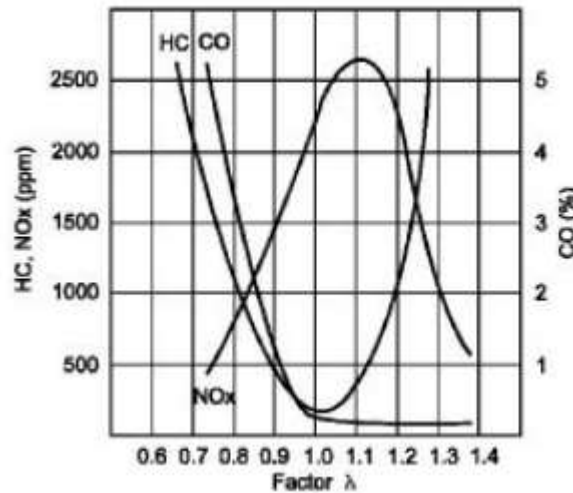
La influencia de este efecto se hace mucho más visible a bajas cargas del motor o en vacío.

Por otro lado, observamos que en condiciones de aceleración del automóvil se puede dar un exceso de inyección de combustible, provocando la emisión de hidrocarburos sin quemar.

Como ultima variante, la llama se apagará al acercarse a las paredes de la cámara como fenómeno de que la evacuación de calor en esta zona específica es mayor, disminuyendo la temperatura de la cámara y perjudicando la combustión. Al aumentar la temperatura en las paredes de un motor de 40 a 90 grados afecta en la reducción del 30% en las emisiones de hidrocarburos.

## Óxidos de nitrógeno

Para la emisión de estos óxidos se necesita por una parte que se llegue a temperaturas muy elevadas dentro de la cámara de combustión y por otro lado que se encuentre presente la cantidad necesaria de oxígeno para la reacción.



**Figura 14-2:** Concentraciones de los contaminantes de un MEP.

Fuente: (Desantes, y otros, 2015).

Son numerosos los factores que influyen en la elevación de la temperatura en la cámara de combustión tales como: punto de encendido, régimen y carga del motor, parámetros de diseño.

## Partículas Sólidas

Los principales generadores de este tipo de contaminación son los motores de encendido por compresión, Estas partículas por lo general tienen un diámetro entre 0.1 y 0.3  $\mu\text{m}$  y están formados por compuestos orgánicos solubles. Generalmente hidrocarburos, carbón y otros compuestos no solubles.

Los principales factores que inciden en su formación son las altas presiones y temperaturas en la cámara de combustión ligado a una cantidad de oxígeno insuficiente para la combustión, lo que da paso a una rotura de la cadena del hidrocarburo y consecuente su deshidrogenación, dando como resultado que el carbono permanezca en forma de partículas sin quemar.

Las partículas sólidas pueden dividirse en dos tipos:

- Partículas secas: mismas que son las causantes del humo negro
- Partículas húmedas: provienen de la combustión de aceites que se depositan sobre un núcleo de carbono unido a hidrocarburos sin quemar.

### **Óxidos de azufre**

Esta formación se debe principalmente a la presencia de azufre en el combustible, su incidencia es muy baja por lo que no existen limitaciones legisladas

### **Aldehídos**

Las características del combustible y de la reacción de combustión definirán su formación, por ejemplo, la oxidación parcial que se genera en el diésel durante la pre reacciones de combustión a una temperatura baja ayudan a la formación de estos compuestos.

Los combustibles alternativos como alcoholes, éteres, etc. que presentan valores inferiores de contaminantes podemos encontrar que dan valores de emisiones de aldehídos muy superiores al compararlos con la gasolina y el diésel

#### ***2.1.6 Límites de emisiones contaminantes aceptadas en el Ecuador***

En nuestro país la norma técnica que rige los límites de emisiones contaminantes se denomina: NTE INEN 2207:2004 dirigida exclusivamente para fuentes móviles terrestres impulsadas por gasolina, mientras que la que rige a fuentes móviles propulsadas por diésel se denomina: NTE INEN 2207:2002.

##### ***2.1.6.1 Normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 2204:2002***

El primordial objetivo de esta norma es la de establecer los delimites de emisiones contaminantes resultantes de la combustión de fuentes terrestres móviles propulsados por gasolina, misma norma es aplicable a motores de vehículos de 3 o más ruedas.

Misma norma instituye que toda fuente móvil impulsada por gasolina ya sea importada o ensamblada en el país no puede emitir al ambiente cantidades de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), Hidrocarburos (HC) y emisiones evaporativas superiores a las indicadas en la tabla 2-4

**Tabla 4-2:** Porcentaje máximos de emisión para fuentes móviles impulsados a gasolina (prueba dinámica)

Categoría	Peso bruto del vehículo en kg	Peso del vehículo cargado en kg	CO en g/km	HC en g/km	NOx en g/km	CICLOS DE PRUEBA
Vehículos Livianos			2,1	0,25	0,62	FTP-75
Vehículos Medianos	≤3860	≤1700	6,2	0,5	0,75	
		>1700 ≤3860	6,2	0,5	1,1	
Vehículos Pesados	>3860 ≤6350		14,4	1,1	5	Trasporte pesado
	>6350		37,1	1,9	5	

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2017).

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

#### 2.1.6.2 Normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 2207:2002

Esta norma tiene como objetivo principal limitar las emisiones contaminantes producidas por vehículos propulsados por diésel que posean más de 3 ruedas o a sus motores

Misma norma dicta que todo vehículo propulsado por diésel sea de procedencia extranjera o ensamblado en el país no puede liberar al ambiente una cantidad de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (HC), hidrocarburos (HC) y material particulado en cantidades iguales o superiores a las indicadas en la tabla 5-2.



**Tabla 5-2:** Límites de emisiones para automotores propulsados con motor a diésel (prueba dinámica)

Categoría	Peso bruto del vehículo en kg	Peso del vehículo cargado en kg	CO en g/km	HC en g/km	NOX en g/km	Material particulado	CICLOS DE PRUEBA
Vehículos Livianos	Todos	Todos	2,1	0,25	0,62	0,12	FTP-75
Vehículos Medianos	≤3860	≤1700	6,2	0,5	0,75	0,16	
		>1700 ≤3860	6,2	0,5	1,1	0,28	
Vehículos Pesados	>3860	Todos	15,5	1,3	5	0,1	Trasporte pesado

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2002 pág. 20).

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

### 2.1.7 Factores principales en la incidencia de emisiones

Del gran número de factores que influyen en las emisiones, los principales son el funcionamiento y diseño del motor. Analizaremos los de mayor incidencia:

#### Encendido en los MEP

Una calibración óptima del punto de encendido nos ayudara a tener una combustión completa de la gasolina cuando la mezcla es apropiada, disminuyendo la cantidad de gases contaminantes.

El exceso de avance no perjudica las emisiones de CO, pero debido a las altas temperaturas y presiones, las emisiones de NOx aumentaran notablemente y en un pequeño porcentaje las de los hidrocarburos.

Por el contrario, si retrasamos el punto de encendido reduciríamos notablemente los contaminantes mencionados, debido a la disminución de la temperatura y presión dentro de la cámara. Pero esta disminución desfavorece la presión media efectiva y por lo tanto el rendimiento del motor, con el consiguiente aumento del consumo específico de combustible.

Otro aspecto a tomar en cuenta a parte del ángulo de encendido es la calidad de la chispa. La mejora de la combustión en general y la mezcla pobre dentro del cilindro hace necesaria la utilización de encendidos eficientes, capaces de proporcionar la tensión necesaria en el secundario de la bobina.

### **Avance de inyección**

Para tener un óptimo rendimiento y mayor potencia, el ángulo en el avance de la inyección debe ser tal que la máxima presión posible se produzca pocos grados a posteriori del PMS.

Si retrasamos el ángulo de inyección las temperaturas y presiones disminuirán, como respuesta las emisiones de óxidos de nitrógeno disminuirán, las emisiones de hidrocarburos no variarán, las emisiones de CO y de material particulado aumentara, así como el consumo específico.

Al proporcionar un avance excesivo en el combustible elevaremos los niveles tanto de temperatura como de presión, y se verá reflejado en el aumento de NOx. Por lo tanto, si queremos disminuir los porcentajes de contaminantes en las emisiones se disminuirá los avances, aunque ello sugna que la mezcla tendrá que formarse en un menor tiempo.

### **Cruce de válvulas**

Al elevar el cruce de las válvulas mejoraremos las características del motor ya que tendremos un mayor rendimiento volumétrico y como resultado una mayor presión media efectiva.

En cambio, si analizamos las emisiones, aumentaría una mayor expulsión de hidrocarburos debido a un mayor barrido de gases, los NOx se elevarán debido al aumento de presión en la cámara de combustión.

En caso de que necesitemos disminuir la emisión de NOx se puede implementar un sistema de escape que produzca un retroceso al final del cruce para reducir el barrido de gases.

### **Relación de compresión**

Al incrementar la relación de compresión tenemos un aumento de la potencia del motor y una reducción del consumo específico.

Bajo el punto de vista de las emisiones contaminantes el aumento ayuda a una combustión más completa de la mezcla disminuyendo las emisiones de hidrocarburos sin quemar, pero en desventaja

existe un aumento en la temperatura y presión dentro de la cámara lo que origina un aumento de emanación de óxidos de nitrógeno.

La reducción en la relación de compresión, ayuda a disminuir las emisiones de contaminantes, pero al igual que con los otros factores, se reduce las prestaciones del motor.

- *Diseño en la cámara de combustión*

El diseño de la cámara de combustión es un principal factor en las emisiones de hidrocarburos sin quemar y óxidos de nitrógeno. Basándonos en las emisiones contaminantes podemos señalar ciertas características principales.

### **1. Turbulencia**

Una turbulencia elevada dentro de la cámara de combustión enriquece la homogenización de la mezcla de aire-combustible, reduciendo las emisiones de hidrocarburos sin quemar.

### **2. Puntos calientes**

La presencia de puntos calientes superficiales origina auto detonaciones, lo que incrementa las emisiones de NOx.

### **3. Relación Volumen-superficie**

Se prioriza una relación volumen-superficie pequeña para conseguir trayectorias cortas del frente de llama y mantener la temperatura más uniforme en todo el cilindro, como beneficio las emisiones de hidrocarburos se reducirá, pero las temperaturas elevadas incrementaran las emisiones de óxidos de nitrógeno.

Por lo contrario que sucede al utilizar cámaras angostas, posibilita que la mezcla cercana a las superficies tanto del pistón, cilindro y culata, disminuya su temperatura y dificulte el frente de llama y elevar los hidrocarburos no quemados.

### **4. Relación diámetro-carrera**

Este parámetro posee efectos similares a los de la relación volumen-superficie, si la relación diámetro carrera es superior reducirá las emisiones de hidrocarburos. Por el contrario, al tener un motor super cuadrado, la relación superficie-volumen se incrementará, por tal motivo se debe buscar un acuerdo entre aumento de emisiones y mayor potencia.

### ***2.1.7 Sistema de alimentación de un motor a gasolina***

#### **Circuito de alimentación de combustible**

La alimentación en estos motores consiste en acondicionar la mezcla de aire y gasolina y hacerla llegar al interior de los cilindros en una proporción óptima para su funcionamiento a diferentes regímenes de trabajo del motor.

Dicha mezcla se la realizaba en épocas pasadas por medio del carburador, mismo que se encuentra en desuso, actualmente la inyección electrónica es la encargada de dicho trabajo.

Para obtener condiciones altas de rendimiento del motor, la mezcla de aire y combustible que llega a la cámara de combustión debe cumplir las siguientes cualidades

- Dosificación correcta
- En estado cercano a gaseoso y completamente vaporizada
- Homogénea
- Lo más equitativa posible

#### **Depósito de combustible**

Es el lugar en donde se almacenará el combustible a utilizarse, en su mayoría son formados por una chapa de metal con capacidad suficiente para una autonomía vehicular de 500km

#### **Bomba de combustible**

Tiene la función de aspirar el combustible y dirigirlo al riel de los inyectores. Tiempo atrás se utilizaba bombas mecánicas accionadas por el giro del motor, hoy en día en su mayoría se utiliza bombas eléctricas.

#### **Filtro de combustible**

Es el encargado de retener impurezas presentes en el depósito de combustible, evitando que las mismas lleguen a los inyectores y obstaculice la atomización de combustible (Barranco Martos, y otros, 2017 p. 14).

### **2.1.8 *Inyección de combustible***

Inicialmente el método de inyectar gasolina en los motores se comenzó a usar en la época de la segunda guerra mundial, adaptados únicamente en los motores de la aviación para mejorar sus prestaciones en batalla disminuyendo la cantidad de combustible utilizado.

Debido a la crisis petrolera existente en los años 60, los ingenieros se vieron obligados a mejorar la inyección de gasolina por medio de la electrónica, viéndose necesario reducir el volumen de los componentes eléctricos y electrónicos para que sea posible su incorporación en el vehículo, otro punto indispensable fue la reducción de costos para cubrir diferentes gamas de vehículos.

La alimentación por inyección radica en la sustitución del carburador por un método de inyección en el cual el combustible es pulverizado directamente sobre el aire succionado por el cilindro en su etapa de admisión, de esta manera se consigue una fórmula casi gaseosa beneficiosa para el proceso de combustión.

La inyección de combustible posee considerables ventajas sobre el carburador, al conseguir una mejor respuesta en aceleraciones y desaceleraciones respondiendo de manera rápida a los cambios de régimen producidos al acelerar. Gracias a que la inercia no influye en la inyección de combustible se obtiene una mayor potencia útil, un par motor equitativo y reducción significativa en el consumo de combustible. Este sistema consigue una mejor saturación en los cilindros y una administración más uniforme de la mezcla en todos los regímenes del motor debido a que inyecta el porcentaje suficiente para un buen funcionamiento.

### **Inyección mono punto y multipunto**

En el sistema mono punto solo se tiene a disposición un inyector ubicado en el múltiple de admisión, mismo que alimentara de combustible a todos los cilindros, mientras que en el sistema multipunto se tiene un inyector por cada cilindro permitiendo al motor proporcionar combustible de un modo más preciso.

### **Inyección Directa e Indirecta**

Se denomina inyección Directa en motores a gasolina cuando el combustible es inyectado directamente en la cámara de combustión o en el cilindro, en cambio en un motor a diésel se denomina directa cuando se inyecta el combustible en una pre cámara de combustión en la mayoría de casos ubicada en la cabeza del pistón.

El abastecimiento de combustible debe estar sincronizado en todo momento a la posición del cigüeñal, misma acción que en años pasados se conseguía gracias a que el eje de la bomba giraba de manera solidaria al cigüeñal. Ahora se logra gracias a la intervención de varios sistemas electrónicos y cálculos de la ECU en el vehículo.

### **Inyectores**

La misión primordial de un inyector es controlar el espacio de inyección, la administración precisa y la preparación del surtidor para formar la mezcla y posteriormente la combustión.

Los sistemas actuales cuentan con electroválvulas de tipo solenoide, magnéticas o piezoeléctricas, los inyectores de nueva generación nos proporcionan una respuesta extremadamente rápida, soportando vibraciones y temperaturas propias de un motor.

### **Adaptación de la inyección a la operación del motor**

Las características de inyección deben adaptarse a las condiciones donde se encuentre el motor, las principales las constituyen el grado de carga y el régimen de revoluciones. De la misma manera existen varios elementos para regular ciertas características como: arranque en frío, ralentí y régimen máximo de giro del motor, por lo que se incluye sistemas de medida de temperatura, presión del colector, presión ambiental, temperatura de combustible. Los más principales se describen brevemente a continuación:

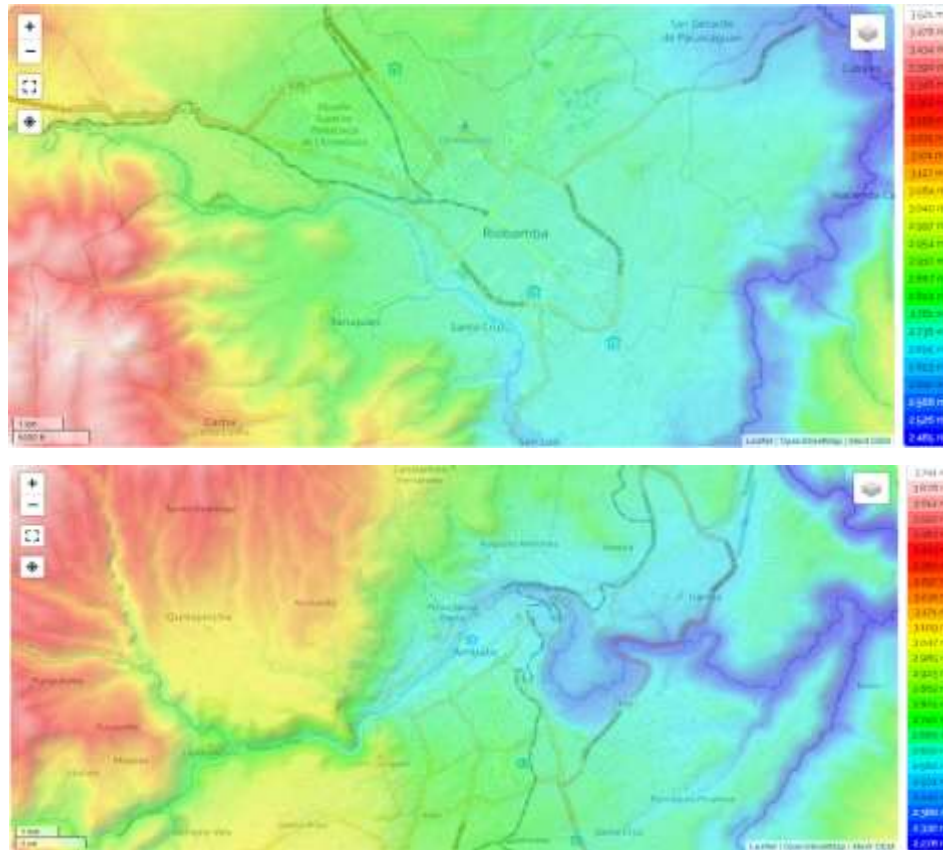
- Régimen de giro: Aunque no es controlado por la inyección, es necesaria una mayor presión al trabajar en regímenes altos.
- Corte de inyección: Gracias a esta acción se limita el régimen de giro del motor cortando el suministro de combustible hacia la cámara, misma acción es impuesto por razones de resistencia mecánica.
- Control de ralentí: Evitan la irregularidad en marcha mínima. Estos métodos aumentan el dosado ante caídas de régimen de giro del motor

## 2.2 Características topográficas y de tráfico vehicular en Riobamba

### 2.2.1 Características topográficas de Riobamba

A pesar de que Riobamba se encuentra ubicada en la cordillera de los Andes es una de las pocas ciudades dentro de la región que en su topografía no se observa cambios bruscos o significativos en altura a lo largo de su extensión territorial, este aspecto es muy beneficioso ya que el vehículo necesita menor fuerza para romper la inercia en el momento de encontrarse detenido.

A continuación, podemos observar las diferencias topográficas entre Riobamba y la ciudad contigua Ambato.



**Figura 15-2:** Diferencias topográficas entre Riobamba y Ambato.

Fuente: (Mapa topográfico Riobamba, 2017 p.30)

### 2.2.2 Tráfico vehicular

#### Características de tráfico de Riobamba

Un problema evidente en las principales ciudades del país, es el considerable aumento del parque automotor y Riobamba no podía ser la excepción, ya que se estima que por las calles y avenidas de la ciudad transitan 50.000 vehículos a diario, generando caos y congestión en varias zonas, principalmente en horas consideradas pico.

### **Computadora programable Megasquirt 2 pro**



**Figura 16-2:** Relevador automotriz.

**Realizado por:** Manya, B.; Santillán, J. 2021.

La computadora Megasquirt 2 permite interferir al usuario para controlar la mayoría de parámetros personalizables. admite hasta 4 cilindros de combustible semi secuencial y 6 controladores de bobinas, comunicación CAN.

Posee una sola placa, con tarjeta de CPU, posee conectores tipo D estándar.

En su hardware incorpora:

- 2 canales de combustible de alta y baja impedancia
- Control paso a paso de 4 salidas
- Control del relé de la bomba de combustible
- Entradas CLT, MAT, TPS
- Incorpora un sensor MAP de 2,5 bares
- Entrada magnética, de efecto hall y tacómetro de puntos
- 1 controlador de bobina de alta corriente
- Comunicación CAN
- Salida de control de electro ventilador
- Salida de tacómetro



#### Funcionamiento de firmware

- Posee un tamaño de tabla de 12x12 o de 16x16
- La resolución de la tabla de combustible es de 1%
- Resolución de rpm de 1%
- Tamaño de tabla para avance de 12x12
- Controlador para 4 cilindros semi secuencial
- 6 salidas para controlador de chispa
- Modo de prueba para: bomba de combustible, inyectores y bobinas
- Posibilidad de incorporar 2 tablas para sustitución inmediata (Murray, 2015).

## CAPÍTULO III

### 3 MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Materiales utilizados

##### 3.1.1 *Arnés de cableado*

Se usa un arnés de cableado para los empalmes necesarios con la centralita programable con los sensores del automóvil.



**Figura 1-3:** Arnés de cableado.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

##### 3.1.2 *Cinta aislante*

Se usa una cinta aislante con el objetivo de evitar cortos eléctricos en el arnés de cables de la unidad de control electrónica programable.



**Figura 2-3:** Cinta aislante.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

### 3.1.3 Relevadores automotrices

El relevador automotriz se usa para la protección de la unidad de control electrónica programable que se usará para el proyecto.



**Figura 3-3:** Relevador automotriz.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

### 3.1.4 Terminales para cable

Los terminales para cables se usaron principalmente para tener una buena conexión con las adaptaciones que necesitan tierra de chasis.



**Figura 4-3:** Terminales para cable.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

### 3.1.5 *Cable eléctrico*

El cable eléctrico se emplea para conexiones de alimentación que necesitará la unidad de control electrónica programable.



**Figura 5-3:** Cable eléctrico.

**Realizado por:** Manya, B.; Santillán, J. 2021.

## 3.2 **Herramientas y Máquinas**

### 3.2.1 *Destornilladores*

Los destornilladores se emplean para montaje y desmontaje de sensores actuadores y nuevas conexiones que se usan.



**Figura 6-3:** Destornillador.

**Realizado por:** Manya, B.; Santillán, J. 2021.

### 3.2.2 *Pelacables*

La función del pelacables es separar el recubrimiento aislante del cobre para realizar empalmes que necesitamos.



**Figura 7-3:** Pelacables.

**Realizado por:** Manya, B.; Santillán, J. 2021.

### 3.2.3 *Multímetro*

El multímetro nos ayuda a tomar valores de voltajes específicos usados por sensores y actuadores del vehículo.



**Figura 8-3:** Multímetro.

**Realizado por:** Manya, B.; Santillán, J. 2021.

### 3.2.4 *Unidad de control programable*

Con la unidad de control programable se realiza variaciones en mapas de inyección electrónica para la optimización del combustible y disminuir los gases contaminantes.



**Figura 9-3:** Unidad de control electrónica programable.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

### 3.3 Vehículo en estudio

#### 3.3.1 Volkswagen Polo 2.0



**Figura 10-3:** Volkswagen Polo 2.0.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

**Tabla 1-3:** Especificación vehicular

<b>Marca</b>	<b>Volkswagen</b>
<b>Modelo</b>	Polo
<b>Versión</b>	2.0 Highline
<b>Potencia</b>	116 cv (85 kw - 114 hp)

<b>Motor</b>	4 cilindros (motor en línea)
<b>Cilindrada</b>	1984 cm <sup>3</sup>
<b>Distribución</b>	8 válvulas
<b>Par máximo</b>	85 Nm (2400 tr/min)
<b>Trasmisión</b>	Tracción delantera, caja de cambios manual
<b>Relación consumo / potencia</b>	14.9 cv/L

Fuente: (MOTEURS, 2020).

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

### 3.4 Tareas realizadas por cada componente

#### 3.4.1 *Arnés de cables*

Uno de los principales componentes al momento de instalar la nueva computadora debido a que la sustitución de la computadora original necesita de igual manera el reemplazo del cableado para de esta manera verificar el correcto funcionamiento de todos los dispositivos que se van a conectar, ya que se debe tener suma precaución para un funcionamiento óptimo de todo el sistema y evitar lecturas erróneas desde algún sensor o algún daño eléctrico tanto en la computadora como en algún sistema específico.

En caso del primer vehículo se realizó la sustitución completa del cableado proveniente de los sistemas que controlan el motor, en caso del segundo vehículo no se la sustitución por completo ya que posee dispositivos externos al motor que son controlados o recibe información de la computadora.

#### 3.4.2 *Cinta aislante*

La presencia de esta cinta la veremos alrededor de todas las instalaciones debido a que existen empalmes que conectan cada uno de los sensores y actuadores del motor con el cableado principal. Se aplicó cinta aislante para cubrir los puntos de suelda de las uniones eléctricas de conectores de los siguientes sensores:

### 3.5 Proceso de Construcción

#### 3.5.1 Selección del vehículo

Para la selección de vehículos se realiza un estudio previo en el cual se determina la constancia de modelos en nuestra ciudad. Para este caso se considera un Volkswagen Polo de una cilindrada considerable de 2000cc.



**Figura 11-4:** Volkswagen Polo 2000cc.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

#### 3.5.2 Obtener datos de fábrica del vehículo

Con el uso de máquinas y equipos se puede obtener los datos de fábrica que tienen los vehículos como el torque, potencia, potencia de transmisión y potencia de motor, mediante el uso de un dinamómetro. Con un scanner que nos permita guardar datos en tiempo real se obtiene datos de revoluciones de motor, carga de motor, presión atmosférica, temperatura del aire, temperatura del refrigerante de motor, tiempo de avances de motor, los datos obtenidos se los guarda para poder comparar con los datos que se obtienen después de haber instalado la centralita programable.





**Figura 12-3:** Dinamómetro.

**Realizado por:** Manyá, B.; Santillán, J. 2021.

Con un analizador de gases obtenemos los datos de gases contaminantes de los vehículos en un ciclo de conducción específico en la ciudad de Riobamba antes de adaptar la centralita programable.



**Figura 13-3:** Analizador de gases.

**Realizado por:** Manyá, B.; Santillán, J. 2021.

### ***3.5.3 Selección de la unidad de control***

Una vez que se obtienen los datos de los vehículos, de una amplia gama de unidades de control programable se tomó la decisión de adquirir una de marca Megasquirt por la factibilidad que esta tiene para el trabajo con los sensores y actuadores de los vehículos.



**Figura 14-3:** Unidad de control programable Megasquirt.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

#### ***3.5.4 Adaptación de sensores necesarios para el funcionamiento de la unidad de control programable***

Para que la unidad de control programable funcione de una manera eficiente es necesario adaptar algunos sensores en este caso en el vehículo Volkswagen Polo 2000cc necesita un sensor de temperatura para obtener datos de temperatura ambiente, otro sensor que es necesario adaptar en este modelo es de temperatura del refrigerante para ello necesitamos fabricar una toma de agua para colocar el sensor de manera adecuada. En el caso del Chevrolet corsa Wind funciona con los mismos sensores que tiene de fábrica.



**Figura 15-3:** Toma de agua fabricada.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

#### ***3.5.5 Instalación de la unidad de control programable***

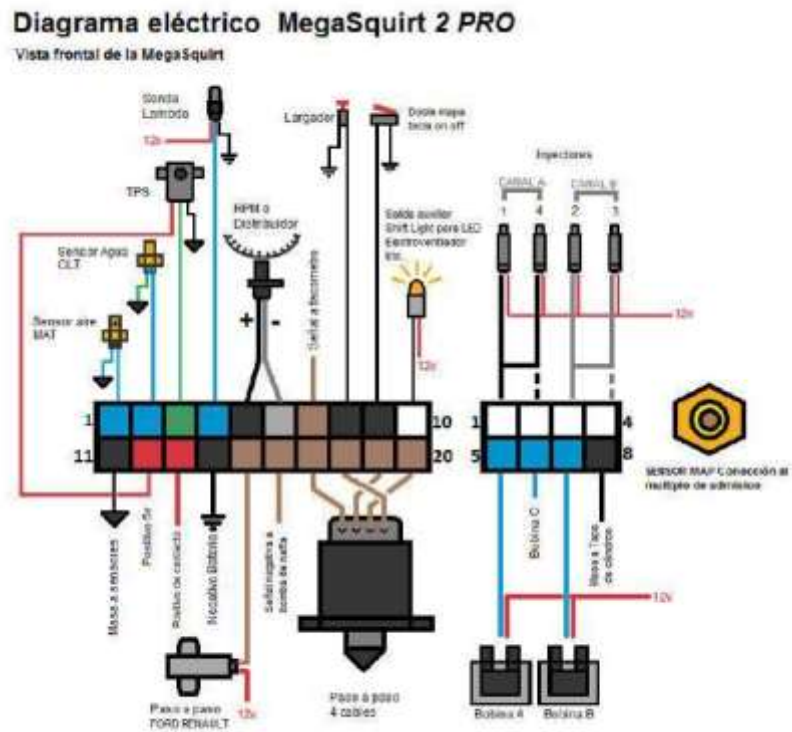
Colocamos el arnés del cableado de la unidad de control electrónica programable por la carrocería de los vehículos hasta que se conecten por medios de sockets a los distintos sensores de los vehículos.



**Figura 16-3:** Arnés de cableado.

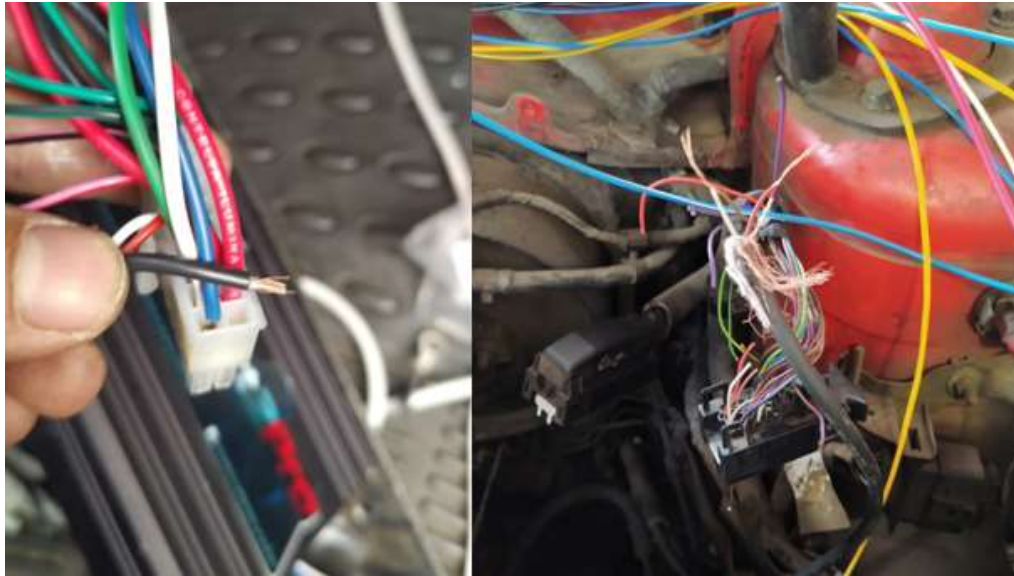
Realizado por: Manyá, B.; Santillán, J. 2021.

Realizamos todas las conexiones de los sensores con la unidad de control electrónica programable de acuerdo a los diagramas.



**Figura 17-3:** Diagrama de conexión Megasquirt.

Realizado por: Manyá, B.; Santillán, J. 2021.



**Figura 18-3:** Conexiones de cableado.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

Se conecta el módulo bluetooth de la unidad de control electrónica programable para una manera más fácil de conectar con la PC portable para programar los parámetros y mapas de optimización de combustible y reducción de gases contaminantes.

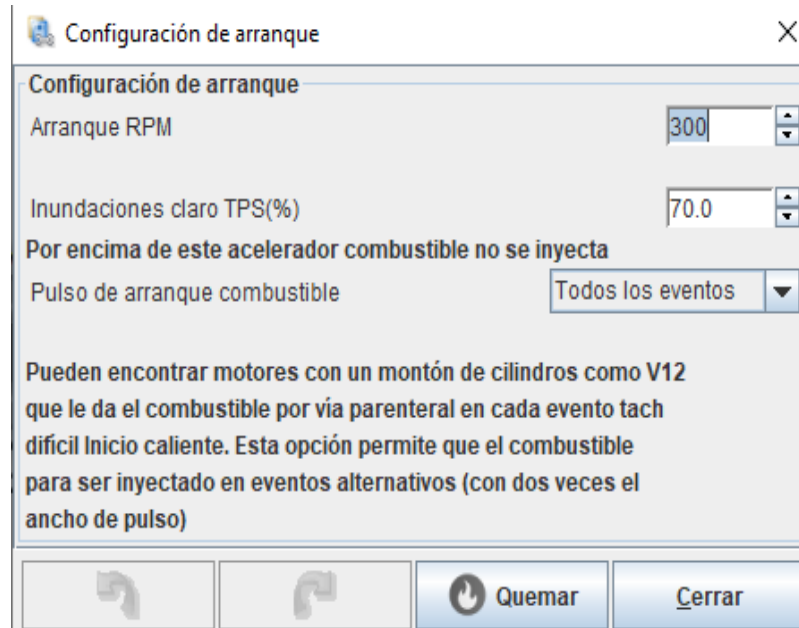


**Figura 19-3:** Conexión de bluetooth.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

### 3.5.6 Configuración de arranque

En la configuración de arranque damos valores generales para que la unidad de control electrónica programable empiece el funcionamiento como 300 rpm para que ya tenga el dato que el motor esta ya girando, también que después de un 70% de registro del sensor TPS ya no inyecte combustible en todos los eventos.

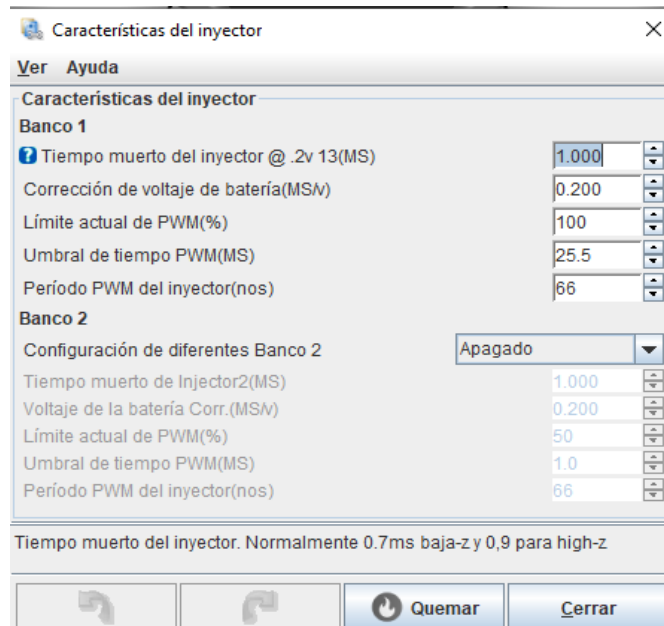


**Figura 20-3:** Configuración de arranque.

**Realizado por:** Manya, B.; Santillán, J. 2021.

### 3.5.7 Características del inyector

Para el buen funcionamiento de la unidad de control electrónica programable es necesario saber las características que tiene el inyector las que se encuentran en el manual.

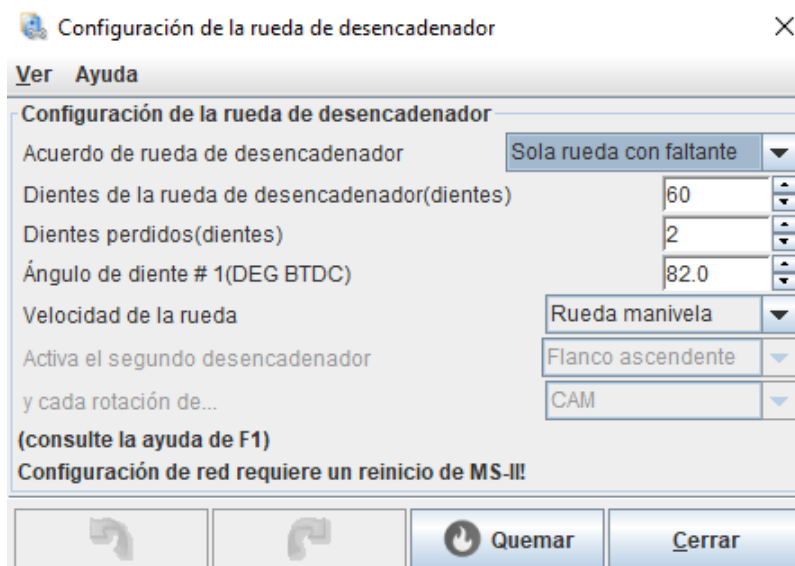


**Figura 21-3:** Características de los inyectores.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

### 3.5.8 Configuración de la rueda de desencadenador

En esta configuración obtenemos datos de la rueda fónica que funciona con el sensor CKP los cuales encontramos en el manual del vehículo, para la sincronización de ignición e inyección electrónica.

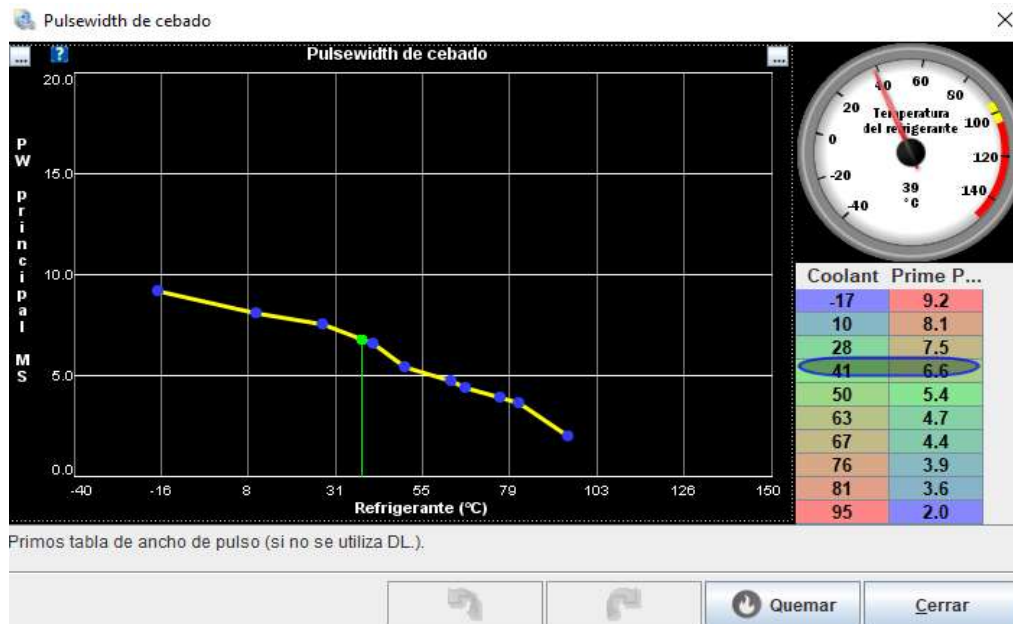


**Figura 22-3:** Características de los inyectores.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

### 3.5.9 Ancho de pulso de cebado

En esta tabla modificamos el ancho de pulso de cebado de acuerdo a las necesidades del motor, para esto realizamos varias pruebas con el motor en frio para un buen funcionamiento, podemos observar que con una temperatura de refrigerante de 41C° tenemos un ancho de pulso de 6.6.

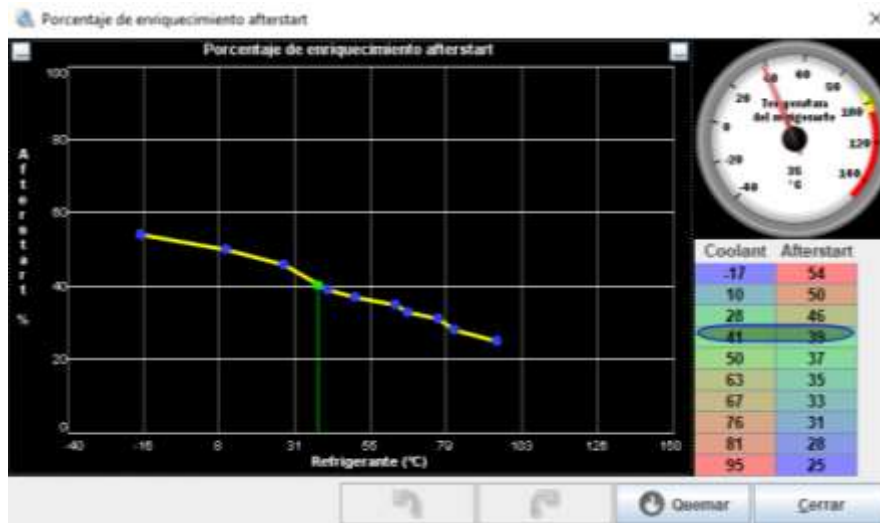


**Figura 23-3:** Ancho de pulso de cebado.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

### 3.5.10 Porcentaje de enriquecimiento después de empezar

Una vez que la unidad de control electrónica programable detecta que el vehículo ya encendió, necesita tener una inyección enriquecida para que el motor llegue a la temperatura de funcionamiento más rápido. En este caso tenemos que a una temperatura de 41C° la inyección se enriquece un 39% más de lo normal.

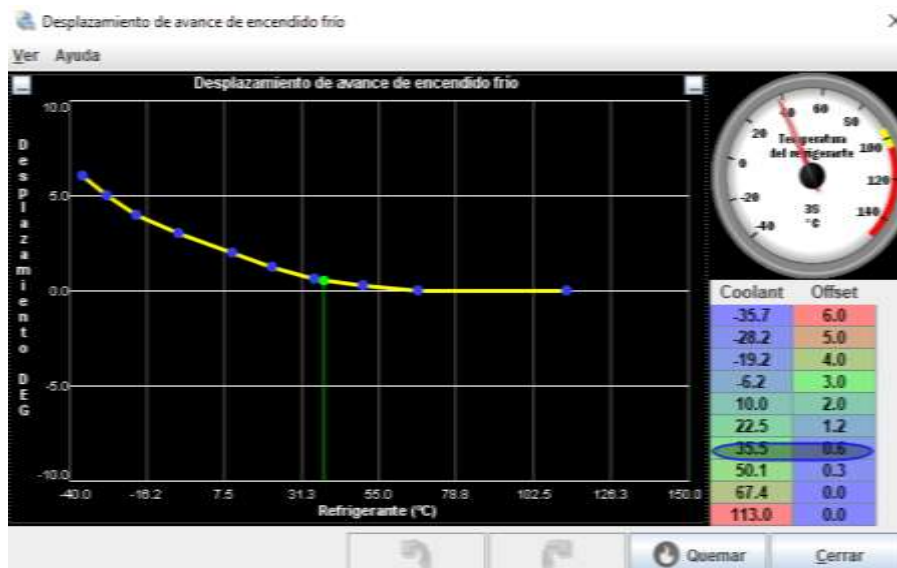


**Figura 24-3:** Porcentaje de enriquecimiento después de empezar.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

### 3.5.11 Desplazamiento de avance de encendido en frio

El desplazamiento del avance de encendido se lo realiza para evitar inestabilidad en motor mientras alcanza las temperaturas optimas de trabajo, estos avances disminuyen el tiempo necesario para alcanzar temperaturas optimas. Se observa que a una temperatura de trabajo de 35.5C° tenemos un avance de 0.6 grados.

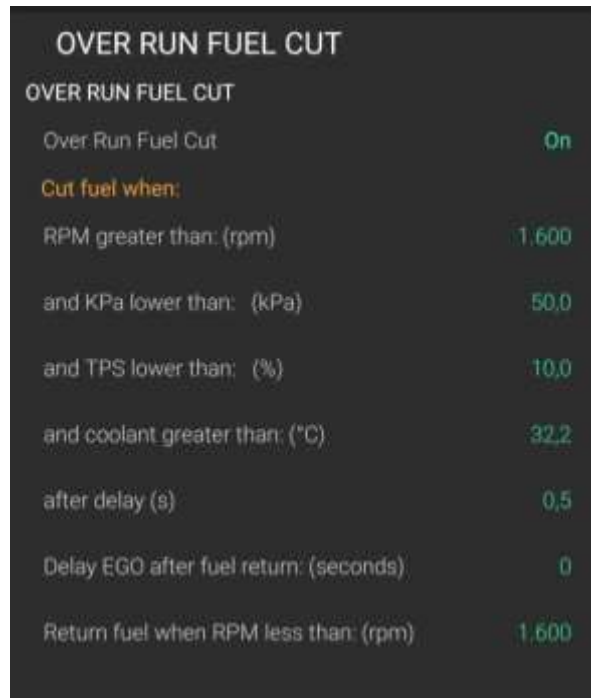


**Figura 25-3:** Desplazamiento de avance de encendido en frio.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.



### 3.5.11 Definición de parámetros para el corte de combustible en desaceleraciones



**Figura 26-3:** Parámetros para el corte de combustible en desaceleración.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

### 3.6 Ruta determinada para el estudio



**Figura 27-3:** Distancia recorrida.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

## Consumo de combustible

**Tabla 2-3:** Consumo de combustible.

Antes	1,26	1,09	1,07
Después	0.87	0,79	0.77

**Fuente:** Investigación

**Realizado por:** Manyá, B.; Santillán, J. 2021.

## CAPÍTULO IV

### 4 MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

Ya concluido los ensayos realizados en un vehículo con una ECU de serie y después remplazar por una Ecu programable en un circuito de la ciudad de Riobamba, se precede a realizar el análisis de los datos obtenidos del analizador de gases y del escáner automotriz ELM327, para lo cual es necesario unir los datos de una manera sincronizada.

El formato en el cual se almacena los datos es CSV, para visualizar dichos datos nos apoyamos en el software de Office Excel.

Con los datos de CO<sub>2</sub> obtenidos por el analizador de gases y el dato de revoluciones por minuto obtenido por el escáner ELM327 y con la ayuda del software Minitab se realiza la correlación de datos por el motivo que los datos obtenidos con el analizador tienen una transición desde el tubo de escape hasta llegar al analizador mientras que los obtenidos por el escáner son de transmisión de datos de alta velocidad, ya realizado el proceso para la sincronización de datos se obtiene un desfase aproximado de 8 segundos de los datos del analizador con respecto a los datos del escáner con esta información ya se puede realizar la sincronización de los datos.

Ya realizado la sincronización de datos se procede a realizar una depuración de datos para eliminar datos inconsistentes, celdas sin valores o errores que genera el analizador de gases por interrupción en la toma de datos o problemas de restablecimiento del analizador.

#### 4.1 Resultados obtenidos de los equipos

Una vez terminado el proceso de recolección de datos mediante el uso de un equipo de analizador de gases y un escáner ELM327 se tiene los siguientes resultados.

##### 4.1.1 *Resultados promedios del escáner ELM327*

En la tabla 1-4 observamos los valores promedio obtenidos mediante el uso del escáner ELM327 en el ciclo de conducción de Riobamba como ejemplo tenemos las revoluciones por minuto de motor

durante el trayecto, la temperatura de funcionamiento del motor en el ciclo de conducción, así como también la distancia de trayecto y el tiempo durante el ciclo de conducción.

**Tabla 1-4:** Resultados obtenidos del escáner

Marca	Modelo	Prueba	Tiempo de Prueba (s)	Velocidad	Revoluciones del motor	Temperatura del refrigerante
Volkswagen	Polo sport	Primera antes de programable	2181	24	1423	92
		Primera después de programable	2164	20,33	693	92,2215
		Segunda antes de programable	2179	20,50	1350,58	92,17
		Segunda después de programable	2172	20,35	1418,5	92,22
		Tercera antes de programable	2191	20,89	1443	92,13
		Tercera después de programable	2174	20,54	1477,95	92,27

Realizado por: Manyá, B.; Santillán, J. 2021.

En la tabla 2-4 observamos los valores que se obtuvo con el analizador de gases a los cuales se le realizó los cálculos de promedio para comparar el comportamiento del motor del auto antes de instalar la ECU programable y después de a ver instalado la ECU programable.

**Tabla 2-4:** Resultados obtenidos del analizador de gases

Marca	Modelo	Prueba	CO % vol.	CO2 % vol.	HC ppm	NO ppm	O2 % vol.
Volkswagen	Polo sport	Primera antes de la programable	0,8790	143	441	91	1,24
		Primera después de la programable	0,1610	139,1	30	0	0,29
		Segunda antes de la programable	1,1035	137	409	-786	1,22
		Segunda después de la programable	0,1595	143,5	20	4750	0,2300
		Tercera antes de la programable	0,7580	133,6000	272	8844,0000	1,0200
		Tercera después de la programable	0,1750	139,1500	59	7690,0000	0,9350

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

En la tabla 3-4 se observa los datos obtenidos por el escáner ELM327 con los cuales se calcula el consumo del combustible por cada una de las pruebas realizadas para lo cual se tomó valores de tiempo total de la prueba el flujo de combustible por hora y litros de combustible por cada 100km.

**Tabla 3-4:** Resultados obtenidos del escáner para consumo de combustible

Marca	Modelo	Prueba	Consumo de combustible	Tiempo total trascendido	Flujo de combustible /hora	Litros/ 100km
Volkswagen	Polo sport	Primera antes de la programable	0,1780	2181	1,3524	8,6125

		Primera después de la programable	0,1774	2164	0,5075	8,5923
		Segunda antes de la programable	0,1458	2179	0,6132	8,6005
		Segunda después de la programable	0,1463	2172	0,5069	8,5595
		Tercera antes de la programable	0,2605	2191	0,6173	8,7564
		Tercera después de la programable	0,1786	2174	0,5613	8,6123

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

## 4.2 Resultados obtenidos antes de la instalación de la ECU programable

### 4.2.1 Concentración de emisiones

En la tala 4-4 tenemos los datos que se obtienen de los equipos usados en las distintas pruebas realizadas antes de la instalación de la ECU programable.

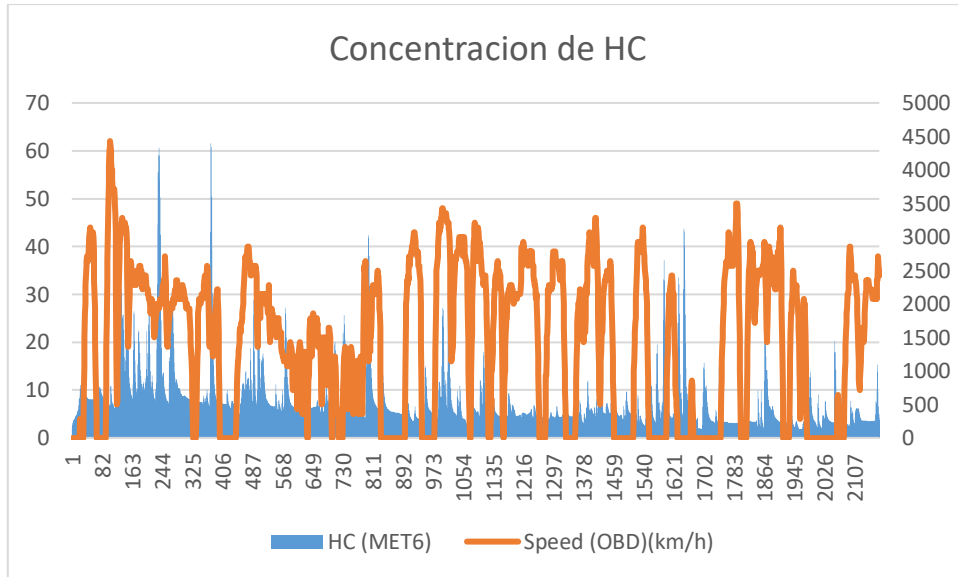
**Tabla 4-4:** Resultados obtenidos de porcentaje de volumen de gases contaminantes

Marca	Modelo	Prueba	CO %vol.	CO2 %vol.	HC ppm	NO ppm	O2 %vol.	Tiempo de Prueba (s)
Volkswagen	Polo sport	Primera prueba	0,8790	139,1	441	91	1,24	2175
		Segunda prueba	1,1035	137	409	-786	1,22	2172

		Tercera prueba	0,7580	133,6000	272	8844	1,02	2185
--	--	----------------	--------	----------	-----	------	------	------

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

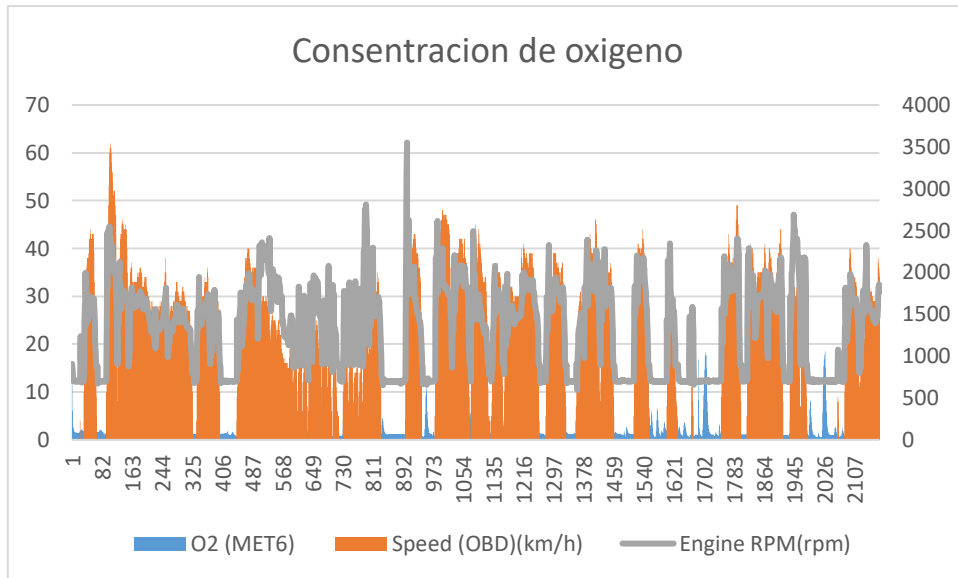
En el grafico 1-4 se observa la concentración que existe de hidrocarburos con respecto a la velocidad del vehículo en la prueba antes de instalar la ECU programable.



**Gráfico 1-4:** Concentración de emisiones de CO con respecto a la velocidad del vehículo

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

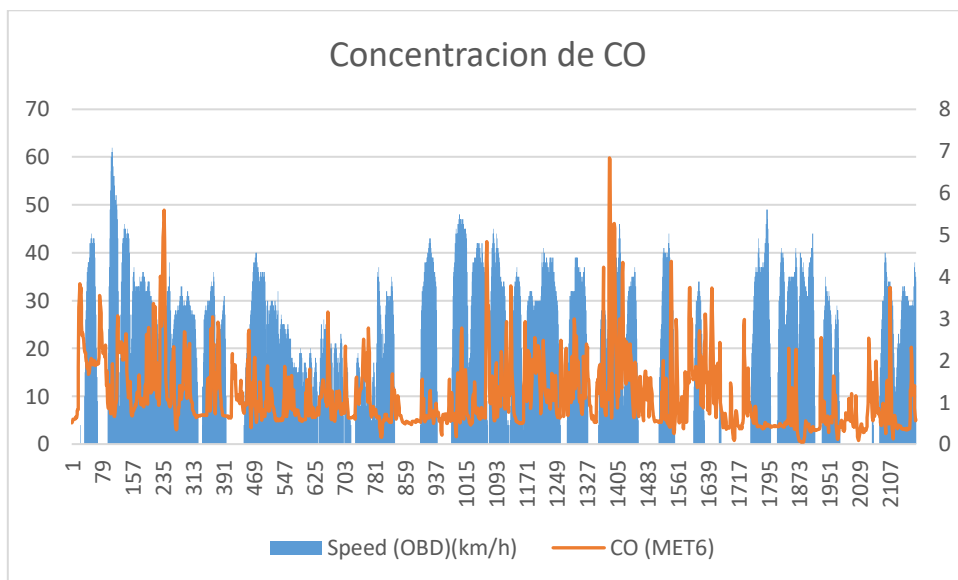
En el grafico 2-4 observamos el comportamiento del oxígeno con respecto a la velocidad y las revoluciones por minuto en la ruta de prueba antes de la instalación de la ECU programable.



**Gráfico 2-4:** Concentración de emisiones de O con respecto a la velocidad del vehículo.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

El gráfico 3-4 nos muestra el comportamiento del CO en la prueba antes de instalar la ECU programable. Se puede visualizar un aumento de monóxido de carbono cuando se incrementan las revoluciones y la velocidad del automóvil.

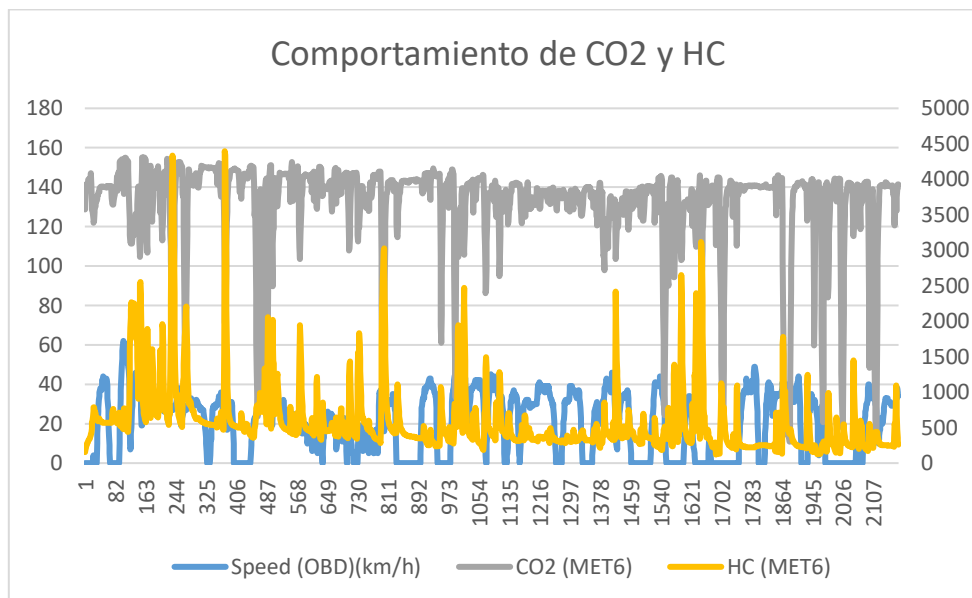


**Gráfico 3-4:** Concentración de emisiones de CO con respecto a la velocidad del vehículo.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.



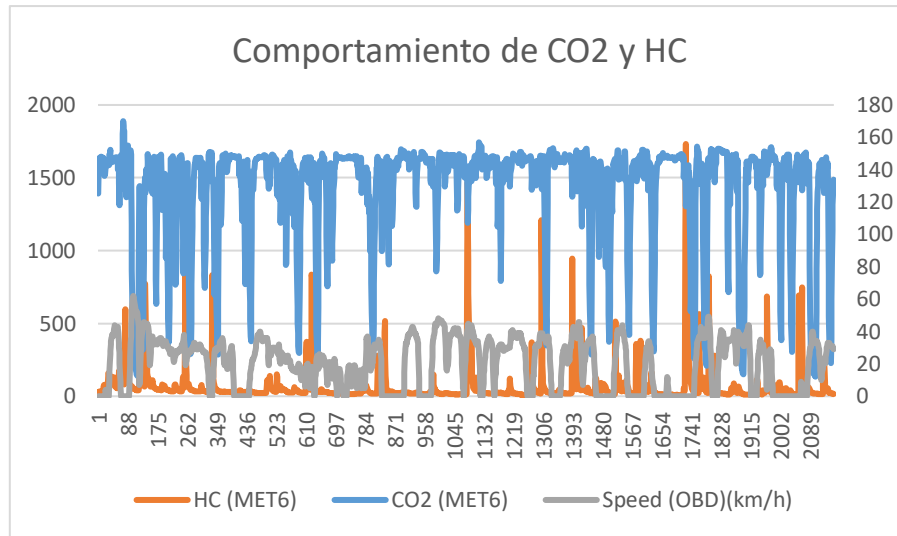
En el grafico 4-4 visualizamos el comportamiento del dióxido de carbono como de los hidrocarburos con respecto a la velocidad el comportamiento de los gases se aprecia que a mayores revoluciones por minuto el dióxido de carbono asciende y los hidrocarburos descienden.



**Gráfico 4-4:** Concentración de emisiones de CO2 y HC con respecto a la velocidad del vehículo antes de instalar la ECU programable.

**Realizado por:** Manyá, B.; Santillán, J. 2021.

El gráfico 5-4 nos permite comprobar el comportamiento del dióxido de carbono y de los hidrocarburos en el que se aprecia que a mayores revoluciones por minuto el dióxido de carbono aumenta y los hidrocarburos disminuyen en este grafico nos muestra después de la instalación de la ECU programable y se visualiza que existe una disminución de gases contaminantes.



**Gráfico 5-4:** Concentración de emisiones de CO2 y HC con respecto a la velocidad del vehículo después de instalar la ECU programable.

Realizado por: Manyá, B.; Santillán, J. 2021.

#### 4.2.2 Factores de gases contaminantes

Al finalizar los cálculos de factor de emisión de gases del vehículo con una ECU estándar y después de a ver instalado una ECU programable, se obtiene los siguientes valores de CO, CO2 y HC.

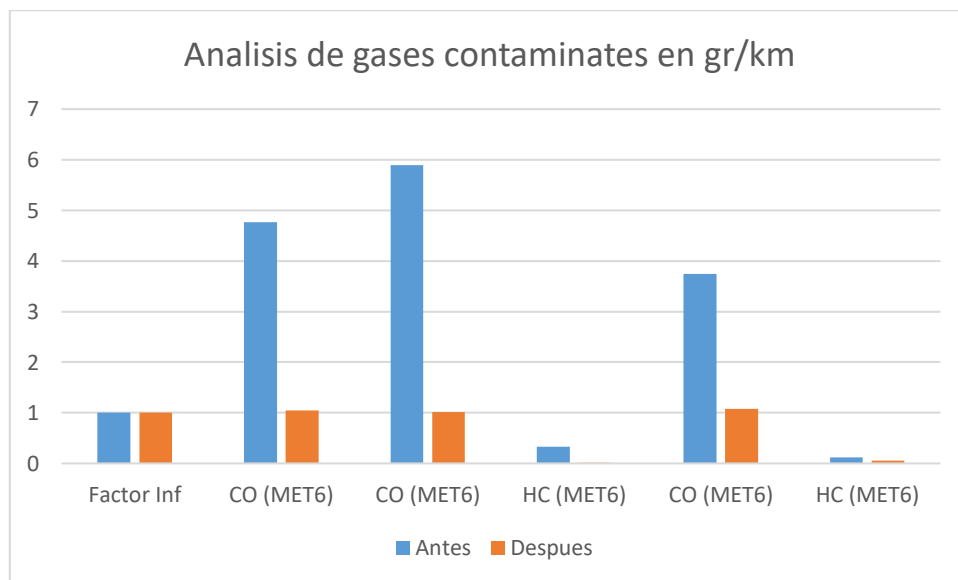
**Tabla 5-4:** Resultados obtenidos del cálculo para gases contaminantes en gr/km

Marca	Modelo	Prueba	FE HC Gr/km	FE CO Gr/km	FE CO2 Gr/km	Galones/hora
Volkswagen	Polo sport	Primera antes de la programable	0,34927631	4,768399836	687,060485	1,3524
		Primera después de la programable	0,02541483	1,04581433	638,510162	0,6128611

		Segunda antes de la programable	0,54800588	5,89885299	676,687868	0,61319042
		Segunda después de la programable	0,01740544	1,01053525	649,193418	0,50695116
		Tercera antes de la programable	3,74401025	3,74401025	725,354427	0,61738851
		Tercera después de la programable	0,05632189	1,0739135	622,080049	0,56132389

Fuente: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

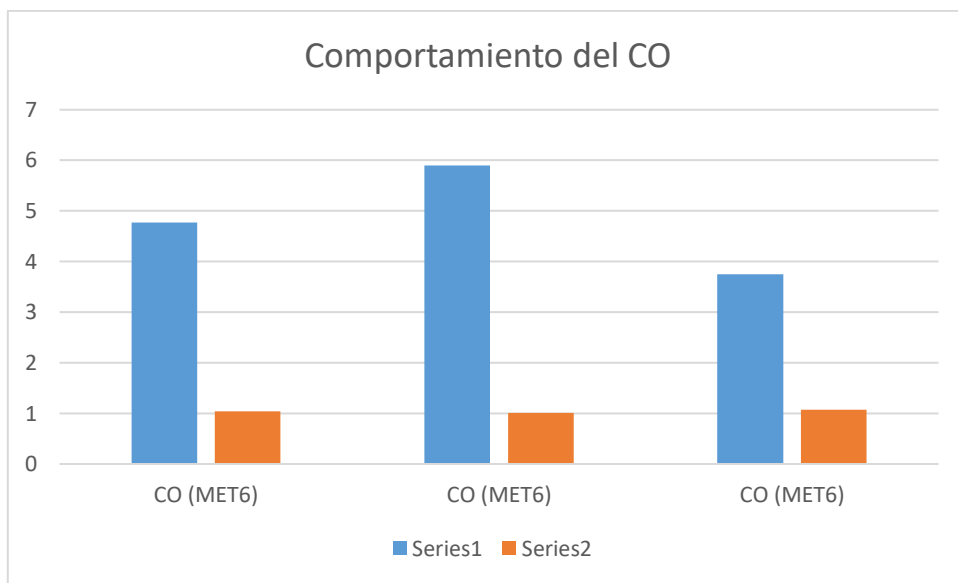
El grafico 6-4 nos muestra el comportamiento de los gases en cada una de las pruebas en unidades de gramo por cada kilómetro antes de la instalación de la ECU programable y después de la instalación.



**Gráfico 6-4:** Emisiones de gases contaminantes en kg/km.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

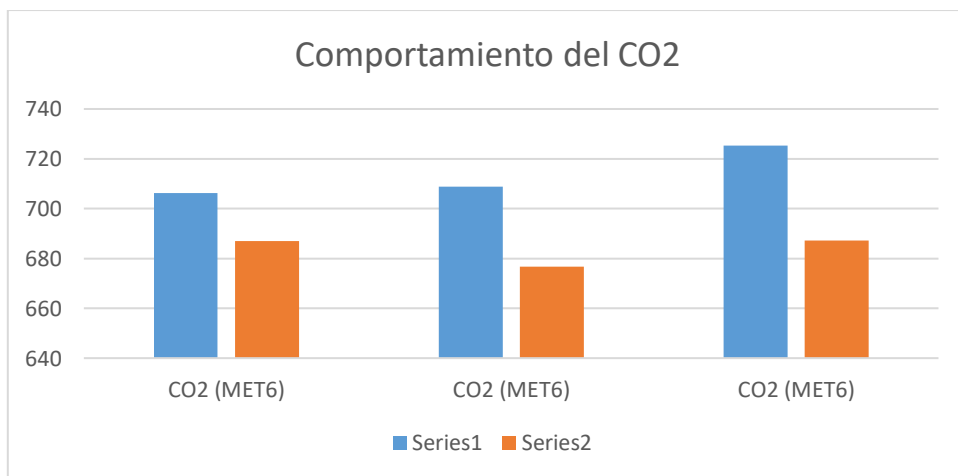
El gráfico 7-4 nos muestra el comportamiento del CO en las distintas pruebas en las cuales se evidencia una reducción de CO después de haber instalado la ECU programable.



**Gráfico 7-4:** Comportamiento del gas contaminante CO en gr/km durante las pruebas antes de instalar la ECU programable y después.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

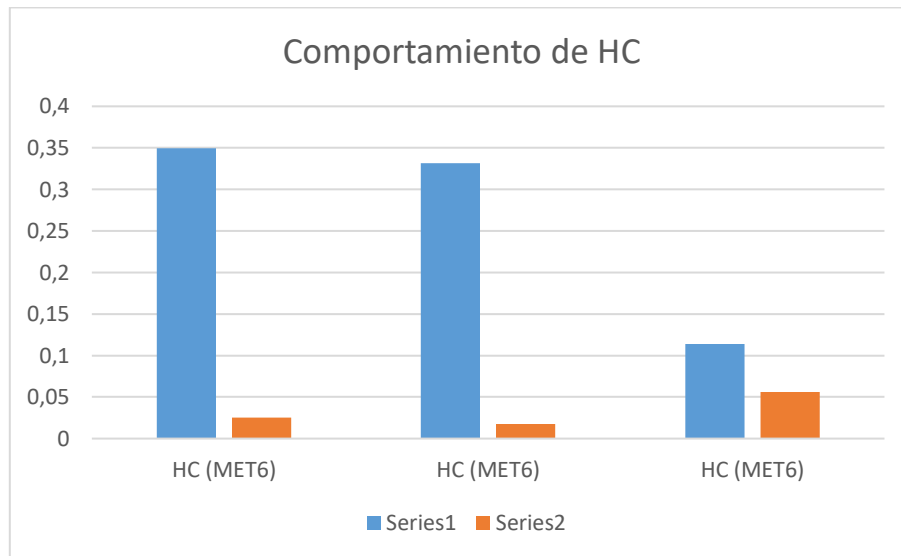
El gráfico 8-4 nos muestra el comportamiento del CO<sub>2</sub> en las distintas pruebas en las cuales se evidencia una reducción de CO<sub>2</sub> después de haber instalado la ECU programable.



**Gráfico 8-4:** Comportamiento del gas contaminante CO<sub>2</sub> en gr/km durante las pruebas antes de instalar la ECU programable y después.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

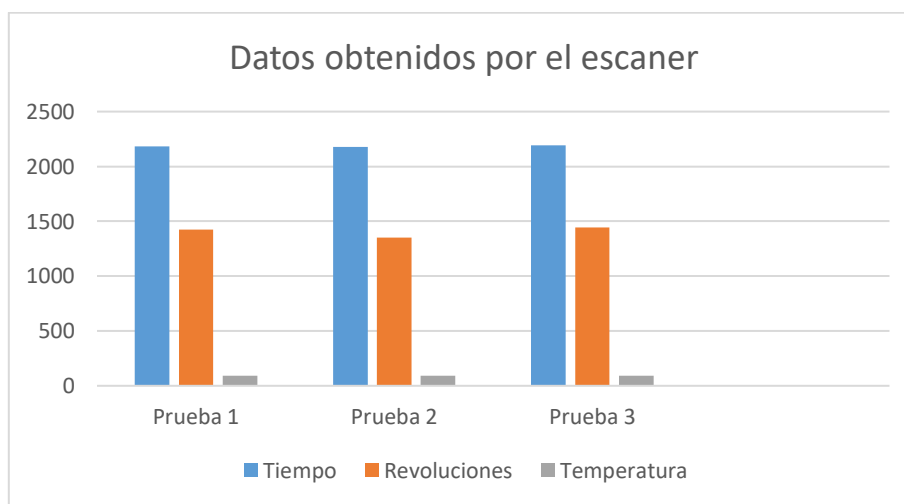
El gráfico 9-4 nos muestra el comportamiento de los hidrocarburos en las distintas pruebas en las cuales se evidencia una reducción significativa de hidrocarburos después de haber instalado la ECU programable.



**Gráfico 9-4:** Comportamiento del gas contaminante HC en gr/km durante las pruebas antes de instalar la ECU programable y después.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

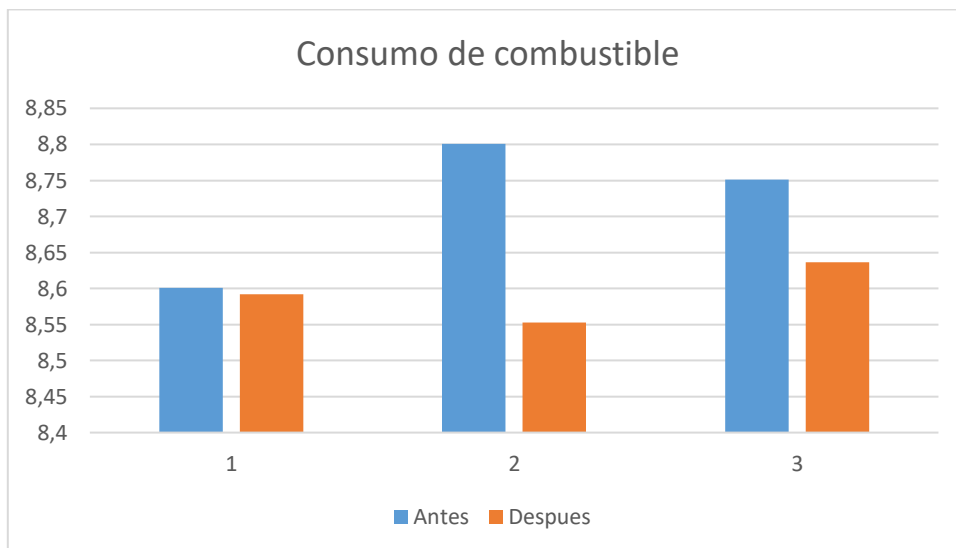
El gráfico 9-5 nos muestra los datos obtenidos por el escáner en cada una de las pruebas antes y después de la instalación de la ECU programable.



**Gráfico 10-4:** Datos obtenidos por el escáner.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

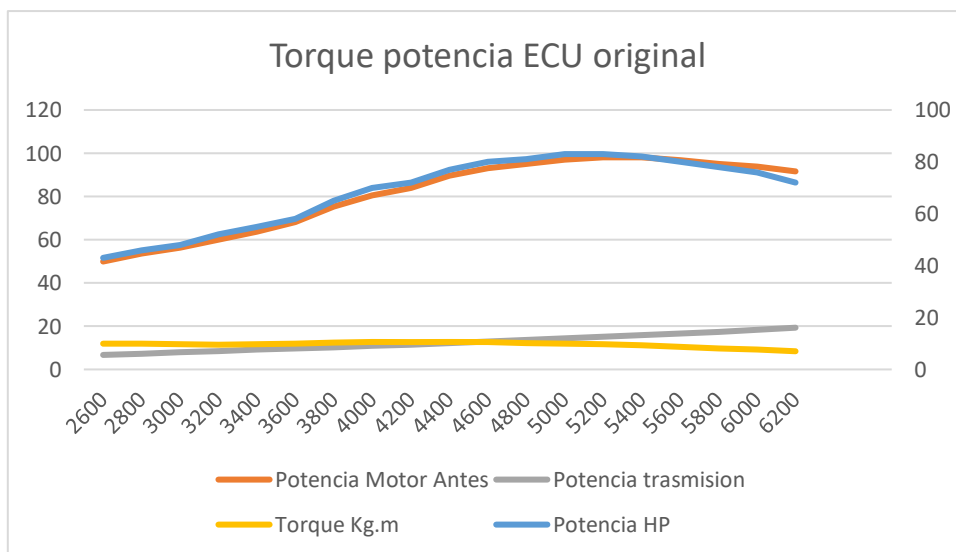
El grafico 11-4 nos muestra el consumo de combustible en litro por cada 100 kilómetros en el cual se aprecia que después de haber instalado la ECU programable hay una significativa disminución de consumo de combustible.



**Gráfico 11-4:** Consumo de combustible.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

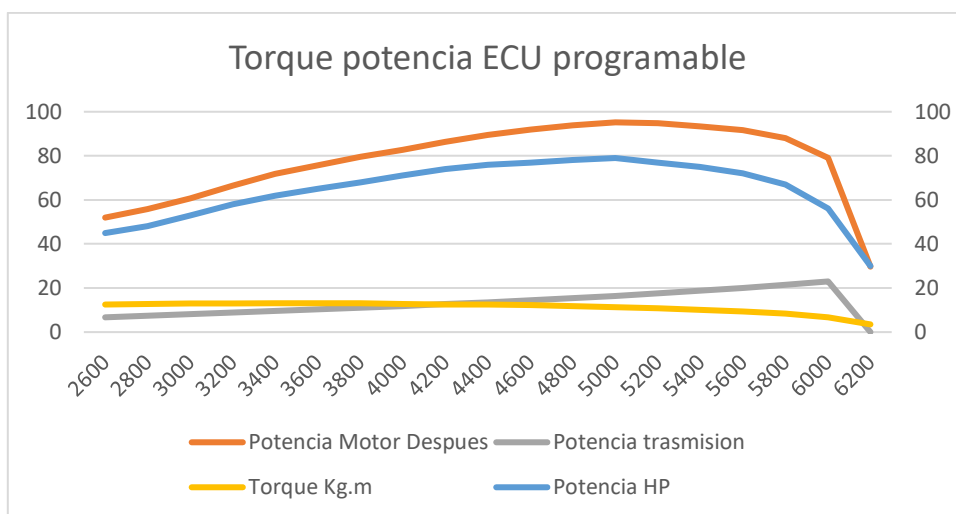
El grafico 12-4 visualizamos las curvas de potencia del motor, potencia de transmisión, torque y potencia obtenidos con la ECU original de automóvil con una potencia máxima de 83hp y una potencia motora de 98,1 a la altura de 2800 metros sobre el nivel del mar.



**Gráfico 12-4:** Consumo de combustible.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

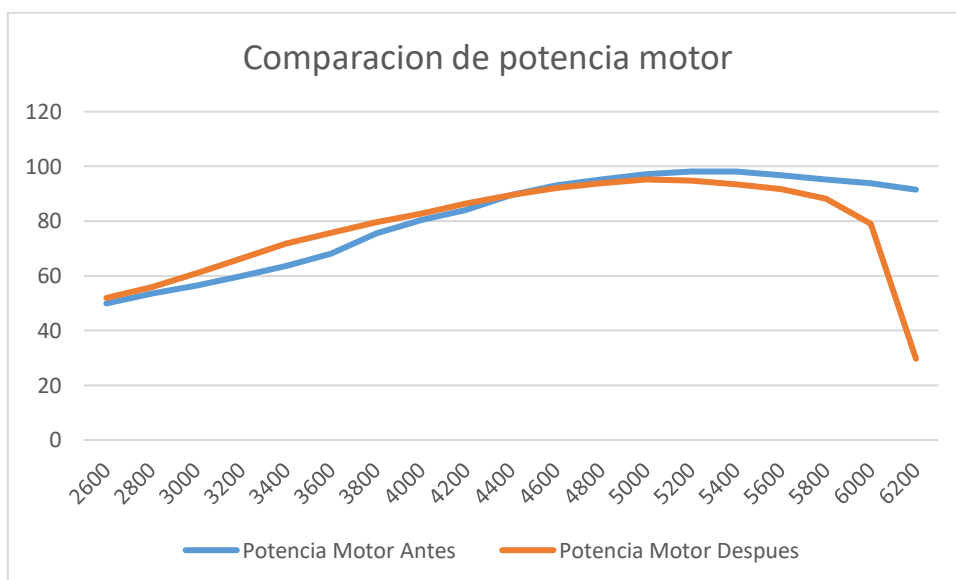
El grafico 13-4 nos muestra el comportamiento de los parámetros de torque potencia con la ECU programable instalada con una potencia máxima de 79 hp y una potencia motor máxima de 95,2 hp



**Gráfico 13-4:** Torque potencia con ECU programable instalada.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

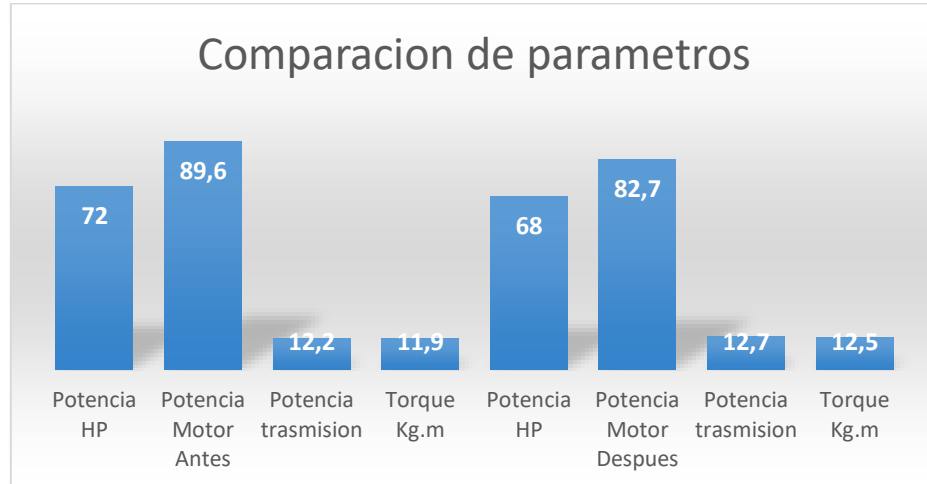
La grafica 14-4 nos muestra la comparación de la gráfica de potencia motor antes y después de la ECU programable haciendo evidente la disminución de potencia con la ECU programable.



**Gráfico 14-4:** Comparación de gráficas.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

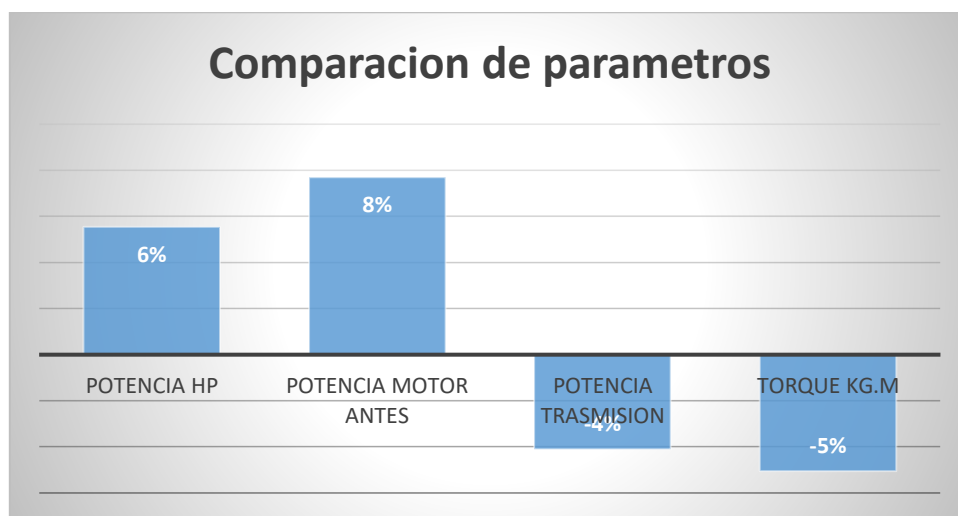
El grafico 15-4 nos muestra la comparación de los datos de los parámetros del motor del vehículo observando que los parámetros de potencia hp, potencia motora disminuyen después de instalar la ECU programable mientras los parámetros de potencia transmisión y torque tienden a subir.



**Gráfico 15-4:** Comparación de gráficas.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.

El grafico 16-4 nos muestra el porcentaje de variación con las dos ECU's, nos demuestra que en el parámetro de potencia hp la ECU original tiene 6% más hp que la ECU programable, el parámetro de potencia motor la ECU original tiene 8% más de hp mientras que la ECU programable tiene 4% más potencia en la transmisión y 5% más torque que la ECU original.



**Gráfico 16-4:** Comparación de gráficas.

Realizado por: Manya, B.; Santillán, J. 2021.



## **CONCLUSIONES**

Los datos obtenidos usando el equipo adecuado en este caso un kees v2 con el software desarrollado por Alientech Ksuite nos permitió obtener los datos de los mapas originales de la ECU para poder tener referencia y mediante la instalación de una ECU programable pudimos realizar un nuevo mapa para disminuir el consumo de combustible y la emisión de gases contaminantes.

El análisis realizado de los parámetros del motor mediante el uso de un dinamómetro despreciando el factor que corrección de altura para obtener los datos adecuados del vehículo a la altura deseada para los análisis obtuvimos que al momento de instalar la ECU programable tiene una disminución de potencia motor del 8% y un aumento de potencia de trasmisión del 4%.

Al obtener una información adecuada de los parámetros que influyen en el funcionamiento del motor verificamos que existe la posibilidad de generar un mapa tridimensional para disminuir tanto el consumo de combustible y la emanación de gases contaminantes.

Con el presente trabajo cumplimos la meta de optimizar el mapa original de gestión electrónica del motor, estos parámetros se pueden utilizar como base para la implementación en vehículos que prestan servicio público ya que estos vehículos tienen una mayor trayectoria a lo largo del día y por lo tanto son los vehículos que más contaminan.

## **RECOMENDACIONES**

Para realizar un proyecto técnico se recomienda usar equipos de seguridad adecuados para el cuidado tanto del personal como de bienes materiales para de esta manera disminuir el riesgo de accidentes a lo largo de la investigación.

Se recomienda que el vehículo posea una red de comunicación adecuada para de este modo tener acceso a la gestión electrónica del motor en tiempo real para obtener información para de este modo obtener resultados confiables.

Es recomendable verificar que previo estudio los sistemas electrónicos y mecánicos que intervienen en la gestión del motor se encuentren en óptimas condiciones caso contrario solucionar dichos defectos

## **BIBLIOGRAFÍA**

**BARRANCO MARTOS, ANTONIO & VARGAS FERNANDEZ, DONATO** . Funcionamiento. [aut. libro] Fernandez. *diagnosis preventiva del vehiculo y mantenimiento de su dotacion material*. Madrid : EDITORIAL CEP S.L., 2017, págs. 46-49.

**BOTTA, DIEGO, y otros**. Efecto de la relación biela-manivela en el comportamiento del motor de ciclo Otto. Argentina : s.n., 2011. págs. 1-16.

**DESANTES, J Y PASTOR, J**. Motore de combustión interna alternativos. [ed.] F Payri y J Desantes. Valencia : Reverté, 2015. pág. 350.

**GUTIÉRREZ, MARIANO SÁNCHEZ**. *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos*. s.l. : ic editorial, 2016.

**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN**. Norma Técnica Ecuatoriana 2207. *Gestión ambiental, Aire, Vehículos automotores, Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que utilizan diesel*. Quito, Ecuador : s.n., 2002.

**LOPEZ, KARLOZ**. PDFCOOKIE. [En línea] 2020. <https://pdfcookie.com/documents/pdfcookie-eyv8r9r7nn21>.

*Mapa topográfico Riobamba. Topografic map. 2017*. 2017, Geophysical Research Letters, Vol. 44, págs. 5844-5853.

**MONKEY MOTOR**. Monkey Motor. [En línea] 2019. [ Consulta 15 agosto 2021 ]. Disponible en: <https://www.monkeymotor.net/2019/06/ficha-tecnica-chevrolet-corsa-1994.html>.

**MOTEURS**. MOTEURS. [En línea] 2020. [ Consulta 19 agosto 2021 ]. Disponible en: <http://www.1001moteurs.com/prestaciones/ficha-Volkswagen-Polo-2-0+Highline-33258.html>.

**MURRAY, JAMES**. msextra. [En línea] 2015. [ Consulta 25 agosto 2021 ]. Disponible en: <https://www.msextra.com/feature-xref.html>.

**OR, JUAN.** HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA INYECCIÓN ELECTRÓNICA. *Historia y evolucion de la inyección electronica.* s.l. : Academia, 2021.

**RAMÍREZ, LEONEL G. CORONA, JIMÉNEZ, GRISELDA S. ABARCA Y JIMÉNEZ, GRISELDA S. ABARCA.** *Sensores y Actuadores.* Ciudad de Mexico : Grupo Editorial Patria, 2019.

**ROMO VÉLEZ, LUIS ALBERTO Y RODRÍGUEZ CUENCA, ÁLVARO DANIEL.** *Optimización del funcionamiento de un motor de combustión interna por medio de la modificación de parámetros de la ECU basados en modelos matemáticos.* Cuenca : s.n., 2016.

**ROVIRA, ANTONIO Y MUÑOZ, MARTA.** *Motores de Combustion Interna.* Madrid : Universidad Nacional de Educacion a Distancia, 2015.

**SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.** Norma Técnica Ecuatoriana 2204. *Gestión Ambiental, Aire, Vehículos automotores, Limites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que emplean gasolina.* Quito, Ecuador : s.n., 2017.