



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

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE DOS ESTRATEGIAS PARA LA  
MEDICIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y VALIDACIÓN  
DE LAS MISMAS EN UN DINAMÓMETRO”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:** KLEBER JEOVANNY AGUIAR ZUMBA

DENNIS JAVIER ROJANO HERRERA

**DIRECTOR:** Ing. PAÚL ALEJANDRO MONTUFAR PAZ MSc

Riobamba – Ecuador

2021



**©2021, Kleber Jeovanny Aguiar Zumba & Dennis Javier Rojano Herrera**

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

Nosotros, Kleber Jeovanny Aguiar Zumba y Dennis Javier Rojano Herrera, 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, 04 de junio de 2021



**Kleber Jeovanny Aguiar Zumba**

**140075037-6**

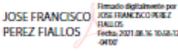


**Dennis Javier Rojano Herrera**

**060357617-4**

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

El tribunal del trabajo de integración curricular certifica que: El trabajo de integración curricular:  
Tipo: Propuesta Tecnológica **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE DOS ESTRATEGIAS PARA LA MEDICIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y VALIDACIÓN DE LAS MISMAS EN UN DINAMÓMETRO.”**, de responsabilidad de los señores: **KLEBER JEOVANNY AGUIAR ZUMBA Y DENNIS JAVIER ROJANO HERRERA Y**, 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.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. José Francisco Pérez Fiallos MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado digitalmente por JOSE FRANCISCO PEREZ FIALLOS Fecha: 2021.06.16 16:08:12 -05'00'	4 de junio de 2021
Ing. Paúl Alejandro Montufar Paz MSc. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 Firmado digitalmente por PAUL ALEJANDRO MONTUFAR PAZ Fecha: 2021.06.16 12:01:46 -05'00'	4 de junio de 2021
Ing. Celín Abad Padilla Padilla MSc. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado digitalmente por CELIN ABAD PADILLA PADILLA Fecha: 2021.06.14 22:55:22 -05'00'	4 de junio de 2021

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de integración curricular se lo dedico a Dios por darme salud, vida, fortaleza para culminar con éxito mi formación profesional. A mis padres principalmente a mi mamá quien con su amor, esfuerzo y apoyo incondicional para afrontar los obstáculos que he presentado durante mi camino profesional y todo mi existir. A mis hermanas que siempre han estado pendiente, brindando su cariño, estando dispuestas a escucharme y apoyándome en todo momento. A mi amada esposa Amarilis, por el amor incondicional brindado durante todos estos años, por su sacrificio, esfuerzo, por creer en mi capacidad, pese a los momentos difíciles me mantuviste en la fe a Dios, y con tu positividad me demostraste que todo en la vida se puede lograr, por enseñarme a soñar y luchar por lograr el éxito. A mi amada Arlette, la niña de mis ojos por ser mi fuente inspiración y motivación para luchar y brindarte un mejor futuro. A mi compañero de tesis por la tolerancia, perseverancia, por compartir su sabiduría, gozos y angustias durante este periodo de carrera profesional, logrando que este sueño se haga realidad.

*Kleber*

El presente trabajo de integración curricular se lo dedico con todo mi amor y cariño a mi amada madre quien, con su esfuerzo y sacrificio, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mi capacidad, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre ha estado brindándome su comprensión, cariño y amor. A mi Tío Edwin que él siempre ha estado a mi lado como mi padre, amigo, hermano por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida me depare un futuro mejor. A mi familia que siempre me daban consejos y me apoyaban en el periodo de mi carrera profesional y no me dejaban decaer para que yo siguiera adelante con mis estudios y cumpla con mis sueños. A mi padrastro Francisco y mi hermano Gustavo que siempre me han acompañado en las buenas y en las malas para seguir adelante y tener un futuro mejor en la vida profesional. A mis compañeros y amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegría y tristezas y a mi padre que en paz descansa que le tengo presente en mi corazón yo sé que desde el cielo me protege y me cuida y gracias a todos que estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que esto se haga realidad.

*Dennis*

## AGRADECIMIENTOS

Lo sueños se hacen realidad cuando nos rodeamos de personas maravillosas, llenas de luz que permiten que se materialice toda aquella idea que surgió de nuestra mente y corazón. A Dios, por ser mi guía en este caminar, por inspirarme, bendecirme en mis objetivos propuestos en mis actos y rodearme de las mejores personas que son ángeles en mi vida. Porque su voluntad es perfecta. Gracias padre amado. A mi madre quien con su amor, ternura y firmeza corrigió mis errores, guiándome por el buen caminar. A mi amada esposa por enseñarme soñar y mantener la fe infinita puesta en Dios, haciendo que mi mente y corazón se enfoquen en un objetivo que es brindarle lo mejor a ti mi amada y a mi bella hija. Ustedes son mi pilar fundamental y agradezco al todo poderoso permitirles ser parte de mi triunfo. A mi compañero de tesis Dennis Rojano y a mi director el Ing. Paul Montufar, por los gozos, angustias, bromas, irritaciones hemos culminado este trabajo investigación con éxito. Gracias infinitas a todos aquellos que me brindaron su apoyo en todo este proceso.

*Kleber*

Primeramente, agradezco a mi Dios por darme salud y permitir estar de pie con la vida y seguir cumpliendo mis sueños para seguir adelante, también agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera, así como también a los docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día. Agradezco también a mi Asesor de Tesis el Ing. Paúl Montufar por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de tesis. Agradezco también al Ing. Celin Padilla por ser parte de miembro de tesis y también me ha sabido guiar en el transcurso del desarrollo de tesis de la cual lo culmine con éxito gracias. Mi agradecimiento también va dirigido al Ingeniero Cristian Vinueza por haberme apoyado en mi tesis con sus conocimientos durante el tiempo de tesis. Y para finalizar agradezco a todos mis compañeros, amigos y familia ya que gracias a la amistad y apoyo moral han aportado un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

*Dennis*

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvi
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT .....	xviii

## CAPÍTULO I

1	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Planteamiento del problema .....	3
1.3	Justificación del proyecto .....	3
1.4	Objetivos .....	4
1.4.1	<i>Objetivo general</i> .....	4
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	4

## CAPÍTULO II

2	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....	5
2.1	Vehículos más comercializados en el Ecuador .....	5
2.2	Motor de combustión interna .....	5
2.2.1	<i>Clasificación según el ciclo de trabajo</i> .....	6
2.2.2	<i>Dos tiempos</i> .....	6
2.2.2.1	<i>Tiempo 1. Admisión – Compresión</i> .....	6
2.2.2.2	<i>Tiempo 2. Combustión – Escape</i> .....	7
2.2.3	<i>Cuatro tiempos</i> .....	7
2.2.3.1	<i>Tiempo 1. Admisión</i> .....	8
2.2.3.2	<i>Tiempo 2. Compresión</i> .....	9
2.2.3.3	<i>Tiempo 3. Explosión</i> .....	9
2.2.3.4	<i>Tiempo 4. Escape</i> .....	10
2.2.4	<i>Clasificación según su tipo de encendido</i> .....	10
2.2.4.1	<i>Ciclo Otto</i> .....	10
2.2.4.2	<i>Ciclo Diésel</i> .....	11

<b>2.3</b>	<b>Parámetros ambientales que influyen en la combustión</b> .....	12
2.3.1	<i>Densidad del aire</i> .....	12
2.3.2	<i>Temperatura ambiente</i> .....	12
2.3.3	<i>Humedad</i> .....	12
2.3.4	<i>Altitud</i> .....	13
<b>2.4</b>	<b>Contaminantes producidos por motores de combustión interna</b> .....	13
2.4.1	<i>Monóxido de carbono (CO)</i> .....	13
2.4.2	<i>Hidrocarburos (HC)</i> .....	13
2.4.3	<i>Óxidos de nitrógeno (NO)</i> .....	13
2.4.4	<i>Material particulado (MP)</i> .....	13
2.4.5	<i>Ozono (O<sub>3</sub>)</i> .....	14
2.4.6	<i>Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)</i> .....	14
<b>2.5</b>	<b>Motores a gasolina</b> .....	14
2.5.1	<i>Generalidades</i> .....	14
2.5.2	<i>Partes estructurales</i> .....	14
2.5.2.1	<i>Bloque</i> .....	15
2.5.2.2	<i>Culata</i> .....	15
2.5.2.3	<i>Cárter</i> .....	16
2.5.3	<i>Sistemas de alimentación</i> .....	17
2.5.3.1	<i>Carburador</i> .....	17
2.5.3.2	<i>Inyección</i> .....	18
2.5.4	<i>Clasificación de los sistemas de alimentación</i> .....	19
2.5.4.1	<i>Por el lugar en el que se inyecta</i> .....	19
2.5.4.2	<i>Por el número de inyectores</i> .....	20
2.5.4.3	<i>Por el número de inyecciones</i> .....	21
2.5.4.4	<i>Por el sistema de control</i> .....	22
2.5.5	<i>Sistema de inyección electrónica multipunto</i> .....	22
2.5.5.1	<i>Funcionamiento</i> .....	23
2.5.5.2	<i>Sensor de Presión Absoluta</i> .....	24
2.5.5.3	<i>Sensor de Temperatura de Aire de Admisión</i> .....	24
2.5.5.4	<i>Sensor de Posición de la Mariposa</i> .....	25
2.5.5.5	<i>Sensor de Temperatura de Refrigerante</i> .....	25
2.5.5.6	<i>Sensor de Posición del Cigüeñal</i> .....	26
2.5.5.7	<i>Sensor de Oxígeno</i> .....	26
2.5.5.8	<i>Depósito de combustible</i> .....	27
2.5.5.9	<i>Bomba eléctrica de combustible</i> .....	27
2.5.5.10	<i>Filtro de combustible</i> .....	27

2.5.5.11	<i>Riel de inyectores</i> .....	28
2.5.5.12	<i>Inyectores</i> .....	28
2.5.5.13	<i>Bobina de encendido</i> .....	29
2.5.5.14	<i>Regulador de presión de combustible</i> .....	29
2.5.5.15	<i>Unidad de Control Electrónico</i> .....	29
<b>2.6</b>	<b>Dinamómetro</b> .....	<b>31</b>
<b>2.6.1</b>	<b><i>Dinamómetro de motor</i></b> .....	<b>31</b>
<b>2.6.2</b>	<b><i>Dinamómetro de chasis</i></b> .....	<b>32</b>
<b>2.7</b>	<b>Arduino</b> .....	<b>32</b>
<b>2.7.1</b>	<b><i>Ventajas</i></b> .....	<b>33</b>
<b>2.7.2</b>	<b><i>Características</i></b> .....	<b>34</b>
<b>2.8</b>	<b>Labview</b> .....	<b>35</b>
<b>2.9</b>	<b>Ciclos de conducción</b> .....	<b>35</b>

### CAPÍTULO III

<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>37</b>
<b>3.1</b>	<b>Recolección de la información</b> .....	<b>37</b>
<b>3.1.1</b>	<b><i>Funcionamiento del sistema de inyectores en el vehículo</i></b> .....	<b>38</b>
<b>3.1.2</b>	<b><i>Presión en el riel de inyectores del vehículo</i></b> .....	<b>39</b>
<b>3.2</b>	<b>Diseño de la estructura del prototipo</b> .....	<b>39</b>
<b>3.3</b>	<b>Selección de componentes</b> .....	<b>41</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Componentes del Sistema de Inyección</i></b> .....	<b>41</b>
<b>3.3.2</b>	<b><i>Componentes del Sistema Electrónico</i></b> .....	<b>42</b>
<b>3.3.2.1</b>	<b><i>Circuito electrónico generador de onda cuadrada</i></b> .....	<b>42</b>
<b>3.3.2.2</b>	<b><i>Circuito electrónico de adquisición de datos</i></b> .....	<b>43</b>
<b>3.3.2.3</b>	<b><i>Fuente de poder</i></b> .....	<b>44</b>
<b>3.3.3</b>	<b><i>Implementación de los componentes</i></b> .....	<b>44</b>
<b>3.4</b>	<b>Diseño del sistema de control electrónico</b> .....	<b>45</b>
<b>3.4.1</b>	<b><i>Programación del circuito generador de pulsos</i></b> .....	<b>45</b>
<b>3.4.2</b>	<b><i>Programación del circuito electrónico de adquisición de datos</i></b> .....	<b>47</b>
<b>3.5</b>	<b>Diseño de la interfaz de usuario</b> .....	<b>48</b>
<b>3.5.1</b>	<b><i>HMI con LabVIEW</i></b> .....	<b>48</b>
<b>3.5.2</b>	<b><i>Comunicación de la tarjeta de desarrollo principal a Labview</i></b> .....	<b>50</b>
<b>3.6</b>	<b>Funcionamiento del sistema de inyectores en el prototipo</b> .....	<b>51</b>
<b>3.7</b>	<b>Pruebas y Resultados</b> .....	<b>52</b>
<b>3.7.1</b>	<b><i>Pruebas realizadas al prototipo</i></b> .....	<b>52</b>

3.7.1.1	<i>Pruebas de volumen con el caudalímetro</i> .....	53
3.7.1.2	<i>Pruebas de volumen con el sistema de tiempos de los inyectores</i> .....	53
3.7.2	<b><i>Pruebas realizadas en el vehículo</i></b> .....	56
3.7.3	<b><i>Pruebas realizadas en el dinamómetro</i></b> .....	60
3.7.3.1	<i>Dinamómetro</i> .....	60
3.7.3.2	<i>Resultados</i> .....	61
3.7.3.3	<i>Cálculo del consumo específico de combustible</i> .....	62
3.7.3.4	<i>Conversión del consumo de combustible a galones por segundo</i> .....	63
3.7.3.5	<i>Consumo de gasolina en las pruebas del dinamómetro con el prototipo</i> .....	65
3.7.4	<b><i>Análisis de resultados</i></b> .....	66
3.7.5	<b><i>Validación de los resultados</i></b> .....	67
3.7.6	<b><i>Validación con el dinamómetro</i></b> .....	71

#### **CAPÍTULO IV**

<b>4</b>	<b>Gestión del proyecto</b> .....	77
<b>4.1</b>	<b>Cronograma</b> .....	77
<b>4.2</b>	<b>Presupuesto</b> .....	77
<b>4.2.1</b>	<b><i>Elementos y materiales</i></b> .....	77
<b>4.2.2</b>	<b><i>Estructuras</i></b> .....	78
<b>4.2.3</b>	<b><i>Herramientas</i></b> .....	78
<b>4.2.4</b>	<b><i>Equipos y dispositivos electrónicos</i></b> .....	78
<b>4.2.5</b>	<b><i>Mano de obra y servicios</i></b> .....	79
<b>4.2.6</b>	<b><i>Costos indirectos</i></b> .....	79
<b>4.2.7</b>	<b><i>Costo total del proyecto</i></b> .....	79

<b>CONCLUSIONES</b> .....	80
---------------------------	----

<b>RECOMENDACIONES</b> .....	81
------------------------------	----

#### **GLOSARIO**

#### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2.</b> Marcas de vehículos más vendidas en Ecuador. ....	5
<b>Tabla 2-2.</b> Características técnicas del hardware de Arduino.....	34
<b>Tabla 3-2.</b> Características técnicas del software de Arduino.....	34
<b>Tabla 1-3.</b> Datos obtenidos en el vehículo. ....	38
<b>Tabla 2-3.</b> Elementos del prototipo del sistema de inyección. ....	41
<b>Tabla 3-3.</b> Potenciómetro Vs. Tiempo de inyección. ....	46
<b>Tabla 4-3.</b> Volumen caudalímetro vs. Probetas de ensayo. ....	53
<b>Tabla 5-3.</b> Datos obtenidos a partir del prototipo. ....	55
<b>Tabla 6-3.</b> Datos de volumen.....	56
<b>Tabla 7-3.</b> Comparación Vol. Ecuación. ....	58
<b>Tabla 8-3.</b> Datos de Origen y Destino del ciclo de conducción. ....	59
<b>Tabla 9-3.</b> Parámetros determinados en el ciclo de conducción.....	60
<b>Tabla 10-3.</b> Datos específicos – dinamómetro. ....	61
<b>Tabla 11-3.</b> Datos generales – dinamómetro.....	61
<b>Tabla 12-3.</b> Datos del dinamómetro obtenidos según RPM.....	63
<b>Tabla 13-3.</b> Consumo de gasolina por tiempo. ....	65
<b>Tabla 14-3.</b> Consumo de gasolina según frecuencia. ....	67
<b>Tabla 15-3.</b> Consumo de gasolina Prototipo - Vehículo 20 Hz vs. Frecuencia. ....	69
<b>Tabla 16-3.</b> Consumo gasolina Prototipo - vehículo vs. Dinamómetro. ....	72
<b>Tabla 17-3.</b> Consumo gasolina Prototipo - vehículo con 30 Hz vs. Dinamómetro. ....	74
<b>Tabla 1-4.</b> Presupuesto de elementos y materiales. ....	77
<b>Tabla 2-4.</b> Presupuesto de herramientas. ....	78
<b>Tabla 3-4.</b> Presupuesto de equipos y dispositivos electrónicos.....	78
<b>Tabla 4-4.</b> Presupuesto de mano de obra y servicios.....	79
<b>Tabla 5-4.</b> Presupuesto de costos indirectos.....	79
<b>Tabla 6-4.</b> Costo total del proyecto. ....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2.</b> Admisión – Compresión.....	6
<b>Figura 2-2.</b> Combustión – Escape.....	7
<b>Figura 3-2.</b> Cuatro tiempos.....	8
<b>Figura 4-2.</b> Admisión.....	8
<b>Figura 5-2.</b> Compresión.....	9
<b>Figura 6-2.</b> Explosión.....	9
<b>Figura 7-2.</b> Escape.....	10
<b>Figura 8-2.</b> Motor a gasolina.....	15
<b>Figura 9-2.</b> Bloque de cilindros.....	15
<b>Figura 10-2.</b> Culata.....	16
<b>Figura 11-2.</b> Junta de la culata.....	16
<b>Figura 12-2.</b> Cáster.....	16
<b>Figura 13-2.</b> Dosificación de la mezcla aire – gasolina.....	18
<b>Figura 14-2.</b> Evolución del sistema de inyección.....	18
<b>Figura 15-2.</b> Sistema de inyección directa.....	19
<b>Figura 16-2.</b> Sistema de inyección indirecta.....	19
<b>Figura 17-2.</b> Inyección Monopunto.....	20
<b>Figura 18-2.</b> Inyección multipunto.....	20
<b>Figura 19-2.</b> Sistema de inyección intermitente.....	21
<b>Figura 20-2.</b> Esquema general de los sistemas de inyección.....	22
<b>Figura 21-2.</b> Esquema funcional de un sistema de inyección.....	23
<b>Figura 22-2.</b> Sensor MAP.....	24
<b>Figura 23-2.</b> Sensor IAT.....	25
<b>Figura 24-2.</b> Sensor TPS.....	25
<b>Figura 25-2.</b> Sensor de CTS.....	26
<b>Figura 26-2.</b> Sensor CKP.....	26
<b>Figura 27-2.</b> Sensor sonda Lambda.....	26
<b>Figura 28-2.</b> Bomba de combustible.....	27

<b>Figura 29-2.</b> Filtro de Combustible.....	27
<b>Figura 30-2.</b> Riel de inyectores.....	28
<b>Figura 31-2.</b> Partes de un inyector.....	28
<b>Figura 32-2.</b> Estructura Bobina de encendido.....	29
<b>Figura 33-2.</b> Sensor de presión Raíl.....	29
<b>Figura 34-2.</b> Diagrama de bloques, Circuito ECU.....	30
<b>Figura 35-2.</b> Diagrama de bloques, Sistema Mono Motronic Bosh.....	30
<b>Figura 36-2.</b> Dinamómetro de motor. (Izq, Dinamómetro. Der, Motor).....	31
<b>Figura 37-2.</b> Dinamómetro de chasis.....	32
<b>Figura 38-2.</b> Tipos de Arduino.....	32
<b>Figura 39-2.</b> Labview.....	35
<b>Figura 1-3.</b> Etapas de la metodología.....	37
<b>Figura 2-3.</b> Señal de la computadora (onda cuadrada).....	38
<b>Figura 3-3.</b> Señal de activación de inyectores.....	39
<b>Figura 4-3.</b> Manómetro en el riel de inyectores del vehículo.....	39
<b>Figura 5-3.</b> Planos de la estructura del prototipo.....	40
<b>Figura 6-3.</b> Perspectiva isométrica de la estructura del prototipo.....	40
<b>Figura 7-3.</b> Diseño general – Circuito Generador.....	42
<b>Figura 8-3.</b> Esquema general de la placa electrónica del generador de pulsos.....	43
<b>Figura 9-3.</b> PCB del generador de pulsos.....	43
<b>Figura 10-3.</b> Placa electrónica de adquisición de datos en PCB.....	44
<b>Figura 11-3.</b> Fuente de poder a 12 VDC.....	44
<b>Figura 12-3.</b> Prototipo de medición.....	45
<b>Figura 13-3.</b> Elementos del prototipo de medición.....	45
<b>Figura 14-3.</b> Programación del generador de señal en IDE Arduino.....	46
<b>Figura 15-3.</b> Programación del generador de señal en IDE Arduino.....	48
<b>Figura 16-3.</b> HMI - Labview.....	49
<b>Figura 17-3.</b> Conexiones internas Labview.....	50
<b>Figura 18-3.</b> Envío de datos Arduino - Labview.....	50

<b>Figura 19-3.</b> Adquisición de datos por Labview.....	51
<b>Figura 20-3.</b> Funcionamiento general del Sistema.....	52
<b>Figura 21-3.</b> Conexión del prototipo al vehículo de pruebas.....	57
<b>Figura 22-3.</b> Valores – Gasolinera.....	57
<b>Figura 23-3.</b> Recorrido de la prueba.....	59
<b>Figura 1-4.</b> Cronograma.....	77

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3.</b> Curva de comportamiento sensor HK3022 .....	47
<b>Gráfico 2-3.</b> Modelado curva de volumen vista 1. ....	54
<b>Gráfico 3-2.</b> Modelado curva de volumen vista 2. ....	54
<b>Gráfico 4-3.</b> Caudal vs. Tiempo. ....	58
<b>Gráfico 5-3.</b> Volumen de gasolina consumido. ....	59
<b>Gráfico 6-3.</b> Velocidad vs Tiempo. Ciclo de conducción .....	60
<b>Gráfico 7-3.</b> Curvas de datos extraídos con el dinamómetro.....	61
<b>Gráfico 8-3.</b> Caudal vs. Tiempo – Dinamómetro. ....	66
<b>Gráfico 9-3.</b> Consumo de gasolina Prototipo. ....	69
<b>Gráfico 10-3.</b> Consumo gasolina Prototipo – vehículo a 20 Hz. ....	71
<b>Gráfico 11-3.</b> Consumo Prototipo – vehículo vs. Dinamómetro. ....	73
<b>Gráfico 12-3.</b> Consumo Prototipo 30 Hz - Vehículo Vs. Dinamómetro .....	76

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

**Ecuación 1-3:** Caudalímetro HK3022.....47

**Ecuación 2-3:** Modelo de la curva .....54

**Ecuación 3-3:** Consumo específico.....63

**Ecuación 4-3:** Consumo específico en galones por segundo .....63

**ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** Características técnicas de varios modelos de vehículos ..... 91

**ANEXO B:** Esquema en PBC de la placa electrónica ..... 94

**ANEXO C:** Diseño 3D placa electrónica ..... 94

**ANEXO D:** Estructura y cableado electrónico. .... 95

## RESUMEN

Este proyecto comprende un análisis comparativo de dos estrategias, la primera basada en el uso de un sensor de caudal y la segunda aplicando fórmulas matemáticas para la medición de combustible en autos livianos de motor a gasolina mediante la implementación de un prototipo cuyo control y procesamiento es realizado con la placa de Arduino Uno con conexión al Software de Labview para visualización de datos en tiempo real. La validación de estos datos es realizada con el apoyo de un dinamómetro. Las pruebas de funcionamiento son realizadas en un automóvil de la marca Mazda, modelo 60002 en la ciudad de Riobamba, su selección se justifica considerando los vehículos más utilizados o adquiridos en la urbe en los últimos cinco años. El objetivo del presente proyecto es proponer una nueva forma de medir el consumo de combustible que represente una aproximación a su valor real, al considerar condiciones no óptimas en el manejo del vehículo, es decir, carreteras inestables, aceleraciones frecuentes, desgaste propio por el uso del vehículo, etc. El desarrollo del proyecto se ha basado en las metodologías aprehensiva e integrativas basadas en investigaciones: descriptiva, comparativa y confirmatoria en su modalidad empírica, tomando en cuenta que tanto el análisis como la recolección de información se los realiza de manera automática por medio de un software de procesamiento de datos. Con los resultados proporcionados por el sistema se pone de manifiesto que la segunda estrategia es la más óptima para el cálculo del consumo de combustible, dando un error mínimo del 4% con una frecuencia de 30 Hz al realizar la comparativa con el dinamómetro.

**Palabras claves:** <CONSUMO DE COMBUSTIBLE>, <DINAMÓMETRO>, <ELECTRÓNICA>, <HMI>, <INYECTORES>, <PRESIÓN>, <LABVIEW>, <CAUDALÍMETRO>.

## **ABSTRACT**

This project comprises a comparative analysis of two strategies. The first strategy dealt with the use of a flow sensor and, the second applied mathematical formulas for the measurement of fuel in light cars with gasoline and injection engines. Through the implementation of a prototype, whose control and processing is carried out with an Arduino programming card, with connection to the LabVIEW software, for the visualization of data in real-time. Data validation was carried out with the support of a dynamometer. The functional tests were carried out on a Mazda automobile, model 60002. This selection was justified because it is one of the most used vehicles in the last five years. This project proposes a new way to measure fuel consumption, representing an approximation to its real value, considering non-optimal conditions in vehicle handling, such as unstable roads, frequent accelerations, wear and tear due to the use of the vehicle, among others. The development of the project has been based on apprehensive and integrative research methodologies descriptive, comparative and confirmatory in its empirical modality, considering that both the analysis and the information gathering were carried out automatically employing data processing software. With the results provided by the system, it is demonstrated that the second strategy is the optimal one for calculating fuel consumption, giving a minimum error of 4% with a frequency of 30 hertz, comparing with the dynamometer. In the second stage of the project, it is recommended to use new and precise strategies to be able to verify the fuel consumption in the vehicle. Or to improve one of the strategies by acquiring exact sensors.

**Keywords:** <FUEL CONSUMPTION>, <DYNAMOMETER>, <ELECTRONICS>, <HUMAN MACHINE INTERFACE (HMI)>, <INJECTORS>, <GASOLINE PRESSURE>, <LABVIEW>, <FLOWMETER>.

## CAPÍTULO I

### 1 INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Antecedentes

Atabani, Badruddin, Mekhilef, & Silitonga, citado por (Marín López, 2015 pág. 15) describen que, a nivel mundial, el sector del transporte es el segundo de mayor consumo de energía después del sector industrial y representa el 30% del total de la energía suministrada a todo el mundo. En los últimos 30 años el sector del transporte ha experimentado un crecimiento constante y se cree que actualmente es responsable de casi el 60% de la demanda total del petróleo del mundo y será el sector creciente de demanda de energía más fuerte en el futuro (Marín López, 2015 pág. 15) .

El parque automotor matriculado en Ecuador creció en más de 1,4 millones de vehículos en una década, lo que situó la cifra por sobre los 2,4 millones de unidades a 2018, según informe presentado en noviembre de 2019 por Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) (El Universo, 2019).

En la provincia de Chimborazo en el año 2016 se registra 1.6% del total de vehículos matriculados del Ecuador. (INEC, 2016) Y por medio de datos obtenidos de la herramienta El Comercio Data se registra que, en 2018, 26 255 es el número de vehículos livianos matriculados (El Comercio, 2020).

Los gases producidos por los vehículos que usan gasolina o diésel son, en parte, responsables de la contaminación del aire, el mayor riesgo ambiental para la salud. Cada año mueren unos 7 millones de personas en el mundo a causa de la contaminación atmosférica, según estadísticas de la Organización Mundial de la Salud (OMS). La quema de combustibles fósiles deja residuos diminutos en el aire y de ser aspirados pueden penetrar en los pulmones y causar graves daños a la salud (Diario el Universo, 2019).

La quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural y gas licuado de petróleo), de diésel, queroseno o biomasa es responsable de alrededor de un tercio de las muertes por derrames, enfermedades crónicas respiratorias y cáncer de pulmón, y de un cuarto de las muertes por infarto cardíaco, de acuerdo a la OMS. Estos contaminantes también están contribuyendo al cambio climático, la disminución de la productividad laboral y la creciente inseguridad alimentaria del mundo, añade su informe (Diario el Universo, 2019).

La importancia de conocer el consumo de gasolina de un vehículo es justamente para tener conocimiento de cuanto daño se hace al medio ambiente, recordando de que si se consume más

gasolina se genera más contaminación, y si se consume más gasolina se debe algunas fallas mecánicas en filtros, frenos, las válvulas, inyectores entre otros. Varios han sido los métodos y estrategias desarrolladas a lo largo de los años que involucran este conocimiento (Diario el Universo, 2019). Entre ellos están:

Evaluación y comparación de métodos de medición consumo de combustible para laboratorio y ruta en un vehículo liviano, trabajo de grado presentado en la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), Pereira – Colombia, que realiza una comparativa de los métodos gravimétricos y volumétricos sobre un Chevrolet Aveo 1.6L. Se evalúa el consumo bajo pruebas de laboratorio mediante la aplicación de los ciclos FTP-75 de Estados Unidos, WLTP de Europa y un ciclo de conducción desarrollado para las especificidades de Pereira, cuyos resultados fueron que el método gravimétrico tiene mayor exactitud en la medición que el método volumétrico, pero tiene menos posibilidades de implementación” (Nunige, 2018 pág. 24).

Un artículo presentado por la Universidad de Azuay, Cuenca – Ecuador, propone la generación de una base de datos de consumo estimado de combustible en vehículos comercializados en Ecuador. Mediante la obtención de los coeficientes de resistencia aerodinámica y de resistencia de rodadura y factores de ajuste de las fuerzas en carretera (rodadura, fricción y aerodinámica) para introducirlos en la gestión del dinamómetro de chasis y ejecutar los ciclos de conducción característicos según la EPA (FTP75 y HWFET), para posterior realizar el consumo de combustible en el dinamómetro del chasis (Zamora, y otros, 2012 pág. 16).

En el trabajo realizado por (Toasa Jiménez, y otros, 2013 pág. 12) en su tesis de grado “Diseño y construcción de un sistema medidor de flujo de combustible con visualizador consumo vs. recorrido, para vehículos a gasolina con sensor de caudal”, presentada por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba – Ecuador, desarrolla un sistema capaz de calcular el consumo de combustible en función del recorrido adaptable en varias marcas de vehículos a gasolina incorporando dos caudalímetros del tipo de tubo Venturi, contruidos bajo la normalización ISO 5167, tomando en cuenta el vínculo que existe entre el dispositivo y el sensor VSS del vehículo, éste permite tomar datos que informa la velocidad de desplazamiento del vehículo dentro del país, en base en esta información, el sistema realizará los cálculos para la visualización de datos.

Los trabajos presentados con las ventajas y desventajas que representan han logrado determinar el consumo de combustible en vehículos livianos con una alta aproximación hacia el valor real. Sin embargo, las estrategias referentes a una estructura tecnológica no han sido implementadas en vehículos dentro del país o a su vez que sea una aplicación utilizada de manera permanente o

comercial, es decir, sólo han sido objeto de investigación y validación (Toasa Jiménez, y otros, 2013 pág. 12).

## **1.2 Planteamiento del problema**

Debido a la gran cantidad de vehículos a diésel o gasolina que se han vuelto en parte, responsables de la contaminación del aire, el mayor riesgo ambiental para la salud por la emisión de gases, principalmente el CO<sub>2</sub>, teniendo en cuenta que si consume más combustible se genera más contaminación (Pérez Paredes, 2019 pág. 10).

La importancia de conocer el consumo de gasolina de un vehículo es justamente para tener conocimiento de cuanto daño se hace al ambiente y poder mejorarlo creando estrategias de medición, además que es un factor importante para conocer si existe alguna falla mecánica en el vehículo (Pérez Paredes, 2019 pág. 10).

Y conocedores de que el dato de consumo de combustible proporcionado por las diferentes marcas de automóviles en su manual de fabricante es obtenido en base a pruebas de laboratorio y en condiciones ideales que no representan una situación real en la conducción. Se tiene la necesidad de medir el consumo real de combustible en cada instante de manejo (Pérez Paredes, 2019 pág. 10).

## **1.3 Justificación del proyecto**

Desde comienzos de la segunda mitad del siglo XX, la utilización y mezclas de diferentes combustibles, con el fin de mejorar la eficiencia y desempeño de los motores de combustión interna es un área importante en la investigación. Y en el transcurso de los últimos treinta años, los expertos en el control de la contaminación en todo el mundo se han dado cuenta de que una estrategia efectiva para lograr aire más limpio se debe contar con combustibles más limpios y motores más eficientes (Hernández Arévalo, y otros, 2017 pág. 22).

Durante casi un siglo el encargado del oficio fue el carburador operado por un sistema de inyección de combustible totalmente mecánico manipulado por palancas y por principios físicos de flujo de aire. Sin embargo, por ser de baja presión, exigía sincronización frecuente. Además, a la hora de prender el vehículo resultaba sumamente contaminante mientras se calentaba el motor (Díaz, 2015 pág. 3).

La inyección electrónica revolucionó la mecánica pues hizo posible la dosificación exacta del combustible, a la vez que variaba el tiempo de inyección de la mezcla dependiendo de las

revoluciones del motor, la situación de carga y los gases producidos por la combustión. Asimismo, la eliminación del carburador implicó la modificación de los tubos del sistema de admisión para obtener unas corrientes de aire más adecuadas que optimizan el flujo de aire hacia el motor y así lograr un mejor llenado de los cilindros (AUTO AVANCE, 2012).

El cambio por una tecnología más eficiente y más amigable con el medio ambiente provocó un aumento en el parque automotor mundial, en dónde Ecuador no ha sido la excepción. Sin embargo, la economía de los ecuatorianos en la actualidad no es una de las mejores, y la mayor parte de la población adquiere un vehículo para trabajar con él o a su vez transportarse a su trabajo. Hoy en día tener un vehículo representa también comodidad y facilidad para trasladarse de un lugar a otro (Pérez Paredes, 2019 pág. 3).

Al momento de realizar la compra de un vehículo liviano en Ecuador uno de los factores que más se considera es el costo, al momento de la compra y después de la compra. Después de la compra el pago por el consumo de combustible es el costo asociado que más les interesa a los compradores, por esta razón este proyecto propone una alternativa tecnológica que se pueda implementar en los autos para que los conductores conozcan en tiempo real cuánto está consumiendo su vehículo (Lima Oyola, y otros, 2016 pág. 11).

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Realizar el análisis comparativo de dos estrategias para la medición de consumo de combustible y validación de las mismas en un dinamómetro para ser implementadas en un vehículo.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Fundamentar de manera teórica la elección del automóvil considerado para la realización de pruebas de consumo de combustible.
- Realizar el análisis de consumo de combustible mediante diferentes estrategias.
- Realizar una comparación de los resultados obtenidos mediante las diferentes estrategias y el dinamómetro.
- Determinar cuál de las estrategias se acerca al consumo real de combustible.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 2.1 Vehículos más comercializados en el Ecuador

Dentro del mercado ecuatoriano existen diferentes marcas de vehículos provenientes de varias partes del mundo. Pero tomando en cuenta aspectos de precio, diseño, funcionalidad, espacio y rendimiento no todos comparten estas características en un mismo porcentaje (El Universo, 2019).

Según datos publicados por el sitio online (Pérez Paredes, 2019 pág. 12) estas son las diez primeras marcas de vehículos más comercializados dentro del ranking 2019 en Ecuador como se observa en la Tabla 1-2.

**Tabla 1-2.** Marcas de vehículos más vendidas en Ecuador.

Marcas	Unidades vendidas
Chevrolet	63.679
Kia	26.429
Toyota	12.501
Hyundai	10.555
Great Wall	8.287
Suzuki	7.113
Chery	6.097
Nissan	5.286
Mazda	4.639
Renault	3.857

Fuente: (Pérez Paredes, 2019)

Realizado por: Autores, 2020

#### 2.2 Motor de combustión interna

El motor de combustión interna es el encargado de transformar la energía térmica que le proporciona el combustible en energía mecánica. Estos motores se llaman de combustión interna porque realizan su trabajo en el interior de una cámara cerrada mediante la aportación del calor producido al quemarse el combustible. En este caso la presión de los gases de la combustión y el calor generado en el interior, provocan el movimiento de un mecanismo que se aprovechara como fuente de energía (Escobar Tapia, y otros, 2010 pág. 27).

### 2.2.1 Clasificación según el ciclo de trabajo

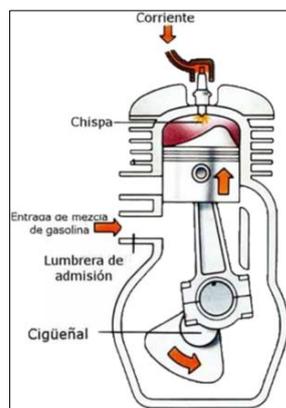
Un ciclo operativo o ciclo de trabajo es la “sucesión de operaciones que la mezcla aire y combustible o combustible se ejecuta dentro del cilindro, necesarias para que haya una carrera de trabajo”. Se mide la duración de un ciclo de trabajo por el número de carreras que efectúa el pistón, pudiendo ser en dos y en cuatro tiempos, en este caso se verá como subclasificación de los motores de ciclo Otto (Rafael Morales, y otros, 2014 pág. 17).

### 2.2.2 Dos tiempos

También conocido como motor de dos ciclos “Lleva a cabo las cuatro fases del ciclo termodinámico (admisión, compresión, explosión y escape) en sólo dos movimientos lineales del pistón (uno de subida y otro de bajada), es decir, una vuelta completa del pistón al cigüeñal”(Prieto Amaya, 2018 pág. 22).

#### 2.2.2.1 Tiempo 1. Admisión – Compresión

El pistón realiza un desplazamiento hacia la culata desde su PMI (punto muerto inferior), en su recorrido ascendente, abre la lumbrera de admisión a la altura del cárter para mezclar el aire, aceite y combustible. En ese mismo instante en la parte superior del pistón inicia la compresión de la mezcla, teniendo en cuenta que siempre el cárter debe estar sellado (Prieto Amaya, 2018 pág. 22).

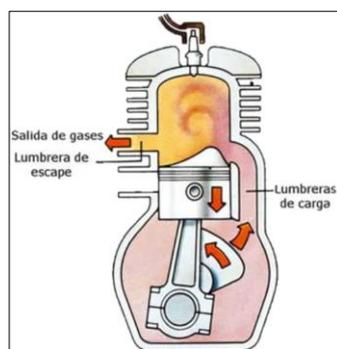


**Figura 1-2.** Admisión – Compresión.

Fuente: (Prieto, 2018)

### 2.2.2.2 Tiempo 2. Combustión – Escape

A partir de que el pistón llega al PMS (punto muerto superior), finaliza la compresión e inicia la combustión cuando la bujía emite una chispa, con esto se produce una gran cantidad de energía térmica impulsando al pistón hacia abajo “Produciendo energía cinética (movimiento) al cigüeñal a través de la biela, la liberación de la lumbrera de escape, que es por donde se expulsan los gases procedentes de la combustión, el calor y las ondas acústicas al exterior” (Prieto Amaya, 2018 pág. 23).



**Figura 2-2.** Combustión – Escape.

Fuente: (Prieto, 2018)

“Una vez que el pistón vuelve a alcanzar el PMI (punto muerto inferior), se vuelve a iniciar el movimiento ascendente, repitiéndose el ciclo y facilitando la extracción de los pocos gases quemados que quedan (barrido)” (Prieto Amaya, 2018 pág. 23).

Estos motores son más económicos, sin embargo, representan mayor contaminación ambiental, su ventaja es que pueden prescindir de una distribución por válvulas y esto los hace más compactos y adecuados para el funcionamiento de pequeños aparatos como: motosierras, karts y cortacésped (Prieto Amaya, 2018 pág. 23).

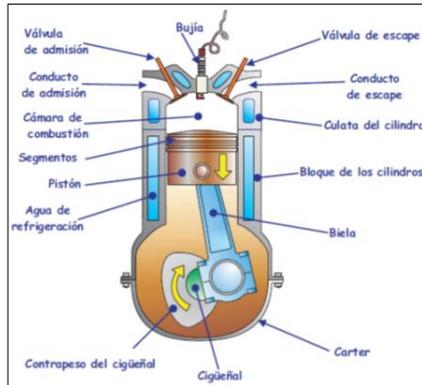
### 2.2.3 Cuatro tiempos

Es denominado de cuatro tiempos porque su ciclo de trabajo es realizado por cuatro carreras del pistón (dos vueltas al cigüeñal). Sus cuatro tiempos son: admisión, compresión, explosión y escape, y cada uno de ellos corresponde a cada carrera del pistón (Alonso, 2000 pág. 115).

Este ciclo de funcionamiento predomina en los motores de gasolina y diésel que se diferencian por su tipo de encendido, siendo el primero un motor de encendido provocado (MEP) y el segundo

Comentado [CPP1]: referencia

un motor de encendido por compresión (MEC). Y su funcionamiento se describe a continuación (Alonso, 2000 pág. 115).

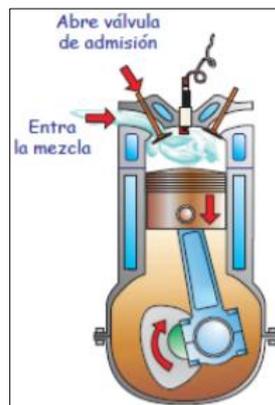


**Figura 3-2.** Cuatro tiempos.

Fuente: (Villalva, 2009)

### 2.2.3.1 Tiempo 1. Admisión

La válvula de admisión está abierta y la de escape cerrada. Inicia estando el pistón en el PMS y culmina cuando está en el PMI, Por la válvula de admisión ingresa la mezcla de combustible y aire por aspiración. Al descender el pistón se crea un efecto de succión que provoca que la mezcla ingrese a la cámara de combustión. El cigüeñal ha girado 180 grados (Ayala, 2020 pág. 28).

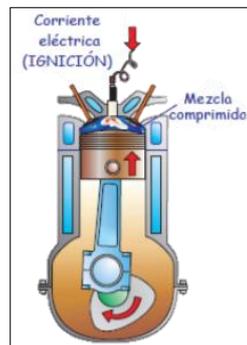


**Figura 4-2.** Admisión.

Fuente: (Villalva, 2009)

### 2.2.3.2 Tiempo 2. Compresión

Se encuentra cerrada la válvula de escape. Al estar el pistón en su PMI, se cierra la válvula de admisión, empieza a ascender el pistón y se reduce el volumen de la cámara de combustión lo que provoca que se comprima la mezcla. El cigüeñal ha girado 360 grados (Alonso, 2000 pág. 117) .



**Figura 5-2.** Compresión.

Fuente: (Villalva, 2009)

### 2.2.3.3 Tiempo 3. Explosión

Estando las válvulas de admisión y de escape cerradas, la bujía produce una chispa que hace que la mezcla se encienda provocando una explosión que empuja el pistón hacia abajo. Este tiempo es el que define la potencia del motor, puesto que es en dónde se produce el trabajo efectivo. EL cigüeñal ha girado 540 grados (Ayala, 2020 pág. 30).

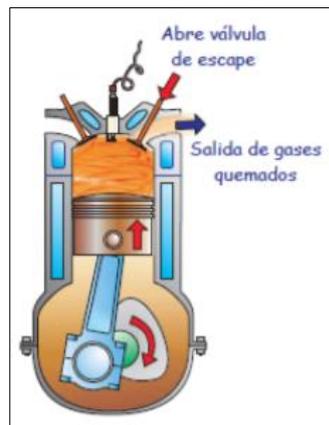


**Figura 6-2.** Explosión.

Fuente: (Villalva, 2009)

#### 2.2.3.4 Tiempo 4. Escape

Con la válvula de admisión cerrada. Al llegar el pistón a su PMI, la válvula de escape se abre, el pistón sube y expulsa los gases quemados resultantes de la explosión fuera del cilindro dejando en su interior aire limpio que indica el inicio de un nuevo ciclo con la fase de admisión. El cigüeñal ha girado 720 grados (Ayala, 2020 pág. 31).



**Figura 7-2.** Escape.

Fuente: (Villalva, 2009)

El motor de cuatro tiempos es el más utilizado actualmente, “Porque ofrece un mejor rendimiento y genera menos contaminación, además de consumir menos y producir menos vibraciones y desgaste. Por el contrario, pesa más y es más caro, incrementándose también el gasto de las reparaciones” (Alonso, 2000 pág. 118).

#### 2.2.4 Clasificación según su tipo de encendido

En cuanto a la forma de “encender” combustible, la gran división está entre los ciclos Otto y Diésel. En el primer caso se usan combustibles como gasolina, gas LP o Etanol y una bujía realiza una chispa que los enciende. En el segundo tenemos como combustible más usado a Diésel (o su variante ecológica biodiesel) que se enciende por compresión y calor sin el uso de chispa (Calaza, 2014 pág. 21).

##### 2.2.4.1 Ciclo Otto

Motor ciclo OTTO, cuyo nombre proviene de Nikolaus August Otto, técnico alemán que lo usó por primera vez en 1877, es el motor convencional de gasolina encendido por chispa (Spark

Ignition, SI). “Se lo conoce también como motor a combustión por que la ignición de la mezcla aire – combustible se realiza con la necesidad de la mencionada chispa, la cual se encarga de suministrar el sistema de encendido por medio de una bujía” (Cárdenas Ramos, , y otros, 2006 pág. 16).

El combustible es la gasolina, esto es, hidrocarburos ligeros de elevado poder calorífico que se evapora fácilmente. Pueden usarse también combustibles gaseosos o también, gas licuado, pero su empleo es menos práctico, aunque en la actualidad ha adquirido gran uso (Rafael Morales, y otros, 2014 pág. 19).

La eficiencia de los motores Otto modernos se ve limitada por varios factores, entre otros la pérdida de energía por la fricción y la refrigeración. En general, la eficiencia de un motor de este tipo depende del grado de compresión, la proporción entre los volúmenes máximo y mínimo de la cámara de combustión. Esta proporción suele ser de 7 a 1 o 10 a 1 en la mayoría de los motores Otto modernos. Se pueden utilizar proporciones mayores, como de 12 a 1, aumentando así la eficiencia del motor, pero este diseño requiere la utilización de combustibles de alto índice de octano. La eficiencia media de un buen motor Otto es de un 20 a un 25% (o sea, que sólo la cuarta parte de la energía calorífica se transforma en energía mecánica) (Escobar Tapia, y otros, 2010 pág. 21).

En la categoría de SI pertenece la mayoría de los motores de automóviles, una gran parte de los motores para tracción industrial, todos los motores para motocicletas y aeronaves y una buena parte de los motores para aplicaciones náuticas y agrícolas. Por tanto, la gran mayoría de los motores de SI funcionan según el ciclo de cuatro tiempos. El de dos tiempos se adopta solamente en casos particulares, como son los motores fuera de borda y los pequeños motores de motocicleta (Rafael Morales, y otros, 2014 pág. 19).

#### 2.2.4.2 *Ciclo Diésel*

“El motor diésel, llamado así en honor del ingeniero alemán nacido en Francia Rudolf Diésel, funciona con un principio diferente y suele consumir gasóleo. encendido por **compresión**” (Alonso, 2000 pág. 124).

“En teoría, el ciclo diésel difiere del ciclo Otto en que la combustión tiene lugar a un volumen constante en lugar de una presión constante” (Escobar Tapia, y otros, 2010 pág. 22).

La mayoría de los motores diésel tienen también cuatro tiempos, si bien las fases son diferentes de las de los motores de gasolina. En la primera fase se absorbe solamente aire hacia la cámara de combustión. En la segunda fase, la de compresión, el aire se comprime a una fracción mínima

Comentado [CPP2]: referenciar

de su volumen original y se calienta hasta unos 440°C a causa de la compresión. Al final de la fase de compresión el combustible vaporizado se inyecta dentro de la cámara de combustión y arde inmediatamente a causa de la alta temperatura del aire (Escobar Tapia, y otros, 2010 pág. 22).

Entre sus beneficios están que poseen una mayor eficiencia térmica y mejores ventajas económicas en sus aplicaciones. “Al mismo tiempo, los motores diésel son más resistentes y ofrecen un nivel de consumo mucho más bajo (hasta un 30-40 % menos) que sus equivalentes de gasolina” (Rafael Morales, y otros, 2014 pág. 20).

La eficiencia de los motores diésel, que en general depende de los mismos factores que los motores Otto, es mayor que en cualquier motor de gasolina, llegando a superar el 40%. A los motores diésel eran considerados motores lentos con velocidades de cigüeñal. No obstante, algunos tipos de motores diésel pueden alcanzar 2.000 rpm. Como el grado de compresión de estos motores es de 14 a 1, son por lo general más pesados que los motores Otto, pero esta desventaja se compensa con una mayor eficiencia y el hecho de que utilizan combustibles más baratos (Escobar Tapia, y otros, 2010 pág. 22).

### **2.3 Parámetros ambientales que influyen en la combustión**

Existen diferentes medidas ambientales que intervienen en el proceso de combustión de un motor, como por ejemplo densidad del aire, temperatura ambiente, humedad, altitud (Arias Montaña, y otros, 2018 pág. 2).

#### **2.3.1 Densidad del aire**

Es la cantidad de moléculas de oxígeno que existe en el aire en un instante dado, puede verse afectado por condiciones atmosféricas. Si la densidad del aire es baja o alta, el motor funcionará con mezcla rica y pobre respectivamente (Arias Montaña, y otros, 2018 pág. 2).

#### **2.3.2 Temperatura ambiente**

La temperatura interviene directamente en la densidad del aire, si ésta aumenta, la densidad del aire disminuye, y viceversa (Arias Montaña, y otros, 2018 pág. 2).

#### **2.3.3 Humedad**

El octanaje requerido para que el motor tenga un óptimo funcionamiento se ve intervenido por la humedad, es decir, cuando ésta se incrementa, el octanaje disminuye (Arias Montaña, y otros, 2018 pág. 2).

#### 2.3.4 *Altitud*

La altitud afecta directamente sobre la densidad del aire, a mayor altitud sobre el nivel del mar, menor será la densidad del aire. Los motores diésel sin turbo por cada 100 mts que ascienden sobre el nivel del mar pierden un 10% de potencia. En un motor de gasolina el nivel de octanaje necesario para el correcto funcionamiento del motor decrece entre uno y dos octanos por cada 100 m de ascenso sobre el nivel del mar. Además, a mayor altura sobre el nivel del mar la concentración de contaminantes en los gases de escape aumenta debido a que el volumen de oxígeno es menor y por lo tanto habrá un aumento en el consumo de combustible en comparación con la altitud del nivel del mar (Arias Montaña, y otros, 2018 pág. 2).

### 2.4 **Contaminantes producidos por motores de combustión interna**

La contaminación generada por fuentes móviles, específicamente en vehículos livianos, generalmente las siguientes emisiones (Arias Montaña, y otros, 2018 pág. 3).

#### 2.4.1 *Monóxido de carbono (CO)*

Es un gas inherente, inodoro e incoloro a todo tipo de combustión, es perjudicial para la salud humana ya que inhibe la absorción de oxígeno, es tóxico y produce asfixia (Arias Montaña, y otros, 2018 pág. 3).

#### 2.4.2 *Hidrocarburos (HC)*

Se forman cuando existe una cantidad excesiva de gasolina en la mezcla, como consecuencia de una combustión incompleta (Arias Montaña, y otros, 2018 pág. 3).

#### 2.4.3 *Óxidos de nitrógeno (NO)*

Es el conjunto o mezcla de óxidos nítricos y nitrosos, en los motores se genera el monóxido de nitrógeno (NO) el cual reacciona y se transforma en dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) el cual es un gas irritante que tiene un grado perjudicial en la salud humana (Arias Montaña, y otros, 2018 pág. 3).

#### 2.4.4 *Material particulado (MP)*

El material particulado se encuentra en estado sólido en el gas de escape o en la atmósfera. Se componen componentes por carbón, hidrocarburos deshidrogenados o metales u otros compuestos inorgánicos. Su efecto en la salud humana depende de la composición y el tamaño de las partículas, mientras más pequeñas las partículas son más perjudiciales, debido a que no pueden

ser filtradas por la respiración y llegan penetrar los alveolos pulmonares (Arias Montaña, y otros, 2018 pág. 3).

#### 2.4.5 *Ozono (O<sub>3</sub>)*

Se forma por la unión de, NO, HC y radiación solar, este gas es altamente irritante y corrosivo además es el causante de algunas enfermedades en el sistema respiratorio del ser humano (Arias Montaña, y otros, 2018 pág. 3).

#### 2.4.6 *Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)*

Es el mayor responsable del efecto invernadero del planeta, es un gas inofensivo para la salud humana. Forma parte de los ciclos de la naturaleza y de la composición atmosférica (Arias Montaña, y otros, 2018 pág. 3).

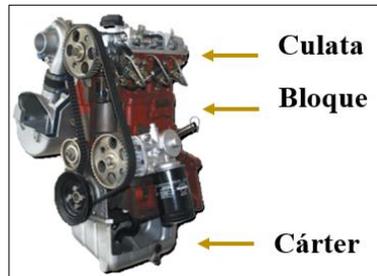
### 2.5 **Motores a gasolina**

#### 2.5.1 *Generalidades*

El desarrollo del motor de gasolina o explosión fue muy importante para la industria del transporte ya que permitió la creación de los automóviles y aviones. Su funcionamiento de cuatro tiempos (admisión, compresión, explosión y escape) es similar a un motor de diésel, excepto por la fase de explosión que, en el motor a gasolina se inflama la mezcla de (aire - combustible), en cambio en el motor a diésel el combustible se autoinflama cuando entra en contacto con el aire a alta presión y temperatura. También el sistema de alimentación por inyección es muy parecido al de los motores a diésel (Editorial Meta, 2010 pág. 9).

#### 2.5.2 *Partes estructurales*

Son definidas como partes estructurales aquellas piezas de gran tamaño que constituyen el motor y que sirven de soporte para otras piezas más pequeñas (Alzallí Soriano, 2016 pág. 13). Se definen a continuación las tres piezas destinadas a este uso, como se puede ver en la figura 8-2.

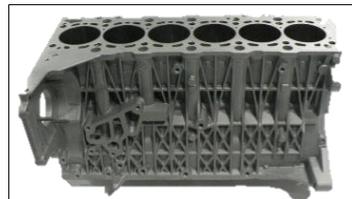


**Figura 8-2.** Motor a gasolina.

Fuente: (Alzallú Soriano, 2016)

### 2.5.2.1 *Bloque*

Constituye la parte central del motor en donde se ubican los cilindros (con sus camisas) que albergan a los pistones encargados de suministrar la potencia al motor. (Alzallú Soriano, 2016) Tanto el número como la forma de los cilindros que dispone un motor varía, los más comunes según el número son de 4,5,6,8 y 12 cilindros (Menna, 2020).



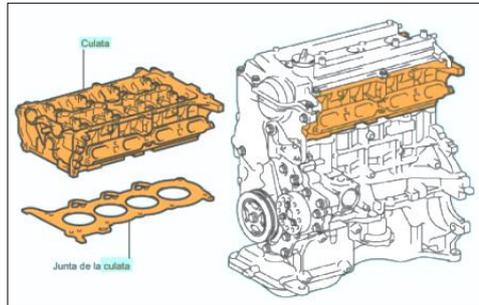
**Figura 9-2.** Bloque de cilindros.

Fuente: (Alzallú Soriano, 2016)

### 2.5.2.2 *Culata*

Se encuentra ubicada sobre la parte superior del bloque, entre el bloque y la culata se halla interpuesta la Junta de la Culata para “asegurar la estanqueidad para que los gases de la combustión no pasen a las cámaras de refrigeración” (Alvarez, 2020 pág. 15).

Compuesta por varias piezas que permiten el ingreso del combustible a los cilindros y la salida hacia el tubo de escape de los gases generados durante la combustión para desecharlos al medio ambiente. Su función entonces es la de cerrar la parte superior de los cilindros dando lugar a la cámara de combustión que evitará obtener pérdidas por compresión y el escape de gases a la salida (MENNA, 2020).



**Figura 10-2.** Culata.

**Fuente:** <https://www.mecanicoautomotriz.org/1883-manual-alimentacion-motores-ciclo-otto-elementos-funcionamiento>



**Figura 11-2.** Junta de la culata.

**Fuente:** (Alvarez, 2020)

### 2.5.2.3 Cárter

Se encuentra ubicado en la parte inferior del bloque, protegiendo de esta manera a los elementos ubicados en esta parte del motor, contiene el aceite de lubricación del motor, de esta manera: “Mientras el motor funciona, una bomba de aceite se encarga de extraer el fluido del cárter y enviarlo a los componentes y mecanismos que necesitan lubricación” (MENNA, 2020).

“Esté no soporta ningún tipo de esfuerzo, por lo que se construye de chapa embutida o en aluminio fundido de poco espesor, ayudando a refrigerar el aceite de lubricación”. Por medio del cárter se elimina los aceites del motor (Alvarez, 2020 pág. 17).



**Figura 12-2.** Cárter.

**Fuente:** (Alvarez, 2020)

### 2.5.3 *Sistemas de alimentación*

Se conoce dos diferentes tipos de sistemas de alimentación; por medio del carburador y a inyección. Tanto el sistema con carburador como el de inyección cumplen con la misma función, es decir, permiten la vaporización o atomización del combustible para que éste ingrese libremente al cilindro (Granja Borja , 2019 pág. 31).

#### 2.5.3.1 *Carburador*

El sistema de alimentación basado en la carburación está ya discontinuado, sin embargo, se lo mencionará como referente a su posterior mejora (Rodrigo, 2017 pág. 24).

Los primeros carburadores aparecieron en la segunda mitad del siglo XIX, a la par que el motor de combustión interna de gasolina, para poder realizar una mezcla correcta de aire y combustible y poder controlar la velocidad a la que giraba el motor. Sigue estando en uso y ha tenido constante evolución hasta los años 80 (Rodrigo, 2017 pág. 24).

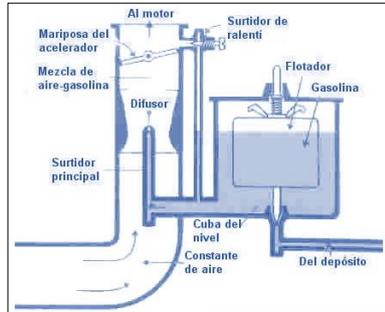
Su funcionamiento es similar al de una pistola de pintura. Cuando el aire introducido cruza por el estrangulador, “La presión se reduce y esto provoca que la gasolina fluya y se atomice mezclándose con el aire. Mientras más rápido el flujo de aire atraviese por la tubería de aspersión, mayor es la depresión, es decir, más cantidad de gasolina en la tubería (Rodrigo, 2017 pág. 24).

Para un mejor entendimiento se tiene que la gasolina va desde el tanque dónde se la deposita inicialmente hacia otro depósito que tiene el carburador que consta de un flotador, para regular el nivel de gasolina, este depósito se extiende hasta el agujero por dónde ingresa el aire al motor (Rodrigo, 2017 pág. 24).

El agujero o difusor del carburador se reduce al final para aumentar la velocidad del aire en este punto. Al fluir con mayor velocidad, el aire absorbe la gasolina y esta mezcla de aire y gasolina se dirige a las cámaras de combustión. La mariposa ubicada en el difusor, al momento que se abre permite el ingreso de más aire y por ende de más gasolina (Rodrigo, 2017 pág. 24).

El sistema de dosificación de la mezcla aire - gasolina posee de 4 sub-sistemas:

- Venturi o difusor
- Cuba de nivel constante
- Válvula de mariposa
- Compensadores de mezcla



**Figura 13-2.** Dosificación de la mezcla aire – gasolina.

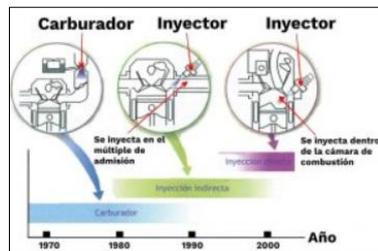
Fuente: [http://www.geocities.ws/mecanicainacap/carburador\\_esq.jpg](http://www.geocities.ws/mecanicainacap/carburador_esq.jpg)

### 2.5.3.2 Inyección

Un sistema basado en el principio de inyección de combustibles es un mecanismo de alimentación para los motores de combustión interna. En los motores ciclo Otto, esta tecnología ha reemplazado el sistema de carburación, sin embargo, en carrocerías con motores a diésel, esta tecnología basada en inyección siempre se ha utilizado, puesto que el combustible debe ser inyectado de manera obligatoria dentro de la cámara al momento de la combustión (Granja Borja , 2019 pág. 18).

Al realizar una comparación entre el Sistema a carburador y el Sistema a inyección, este último es un sistema electrónico que posee una Unidad Electrónica de Control (ECU, por sus siglas en inglés) encargada de controlar el funcionamiento de sensores y actuadores para que el sistema funcione con total normalidad (Guachamin Quispe , 2016 pág. 35).

Ha sido grande la evolución de los sistemas a inyección cada una con sus variantes, desde sus inicios, iniciando desde la inyección mecánica, la inyección electromecánica hasta la inyección electrónica que es utilizada en la actualidad y está compuesta de diferentes sistemas y sensores que poco a poco se han ido añadiendo con el paso del tiempo (Guachamin Quispe , 2016 pág. 35).



**Figura 14-2.** Evolución del sistema de inyección.

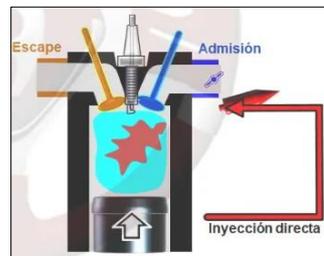
Fuente: [http://www.soloparamecanicos.com/wp-content/uploads/2018/09/evoluci%C3%B3n\\_sistemas\\_inyecci%C3%B3n-300x300.jpg](http://www.soloparamecanicos.com/wp-content/uploads/2018/09/evoluci%C3%B3n_sistemas_inyecci%C3%B3n-300x300.jpg)

#### 2.5.4 Clasificación de los sistemas de alimentación

Los sistemas de inyección se los puede clasificar en función de cuatro características diferentes (Armas Vásquez, y otros, 2013 pág. 28):

##### 2.5.4.1 Por el lugar en el que se inyecta

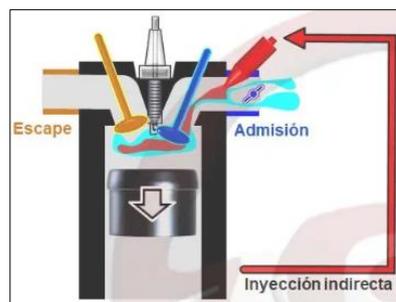
- **Directa.** – El combustible es depositado directamente en la cámara de combustión por el inyector, de esta manera se disminuye el consumo de gasolina, siendo un sistema novedoso es usado también en motores GDI de Mitsubishi e IDE de Renault (Cabrera Escobar, y otros, 2009 pág. 17).



**Figura 15-2.** Sistema de inyección directa.

Fuente: (Tecnología del Automovil, 2014)

- **Indirecta.** – el combustible es introducido por el inyector en el colector de admisión por encima de la válvula de admisión, que no siempre se encuentra abierta. “Este sistema contiene una cámara de turbulencia por encima del cilindro, por dónde se inyecta el combustible, dicha cámara además posee las bujías de incandescencia necesarias para iniciar el motor” (Cabrera Escobar, y otros, 2009 pág. 22).

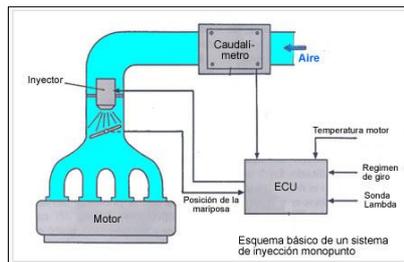


**Figura 16-2.** Sistema de inyección indirecta.

Fuente: (Tecnología del Automovil, 2014)

#### 2.5.4.2 Por el número de inyectores

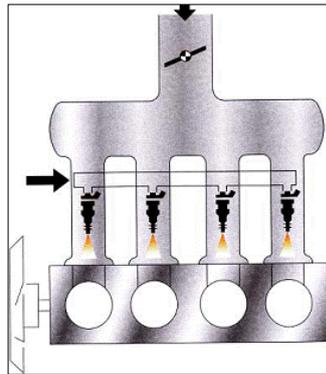
- **Inyección Monopunto.** – Un solo inyector considerado como eje principal es el encargado de alimentar a todos los cilindros. Inyecta combustible en el tubo o colector de admisión de manera intermitente en un solo punto, ubicado detrás de la válvula de gases de admisión, utilizado en vehículo de bajo cilindraje (Alonso, 2000 pág. 131).



**Figura 17-2.** Inyección Monopunto.

Fuente: [http://1.bp.blogspot.com/\\_OQxexhzVeTY/S-wT9uL4PXI/AAAAAAAAAAc/hD-VJPdQ4\\_c/s1600/esq-monopunto.jpg](http://1.bp.blogspot.com/_OQxexhzVeTY/S-wT9uL4PXI/AAAAAAAAAAc/hD-VJPdQ4_c/s1600/esq-monopunto.jpg)

- **Inyección Multipunto o por Cilindro.** – Existe un inyector para alimentar a cada uno de los cilindros. Cada inyector inyecta combustible (de manera directa o indirecta) en el cilindro y se usa en vehículos de medio y alto cilindraje por su mejor eficiencia (Alonso, 2000 pág. 133).

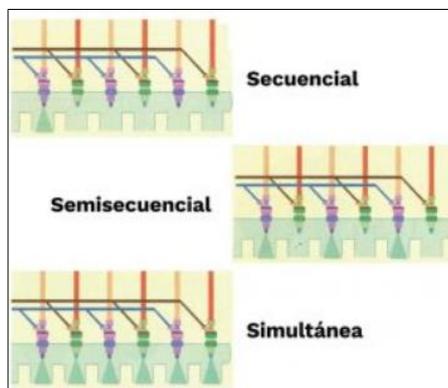


**Figura 18-2.** Inyección multipunto.

Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos93/sistema-inyeccion-electronica-motor-combustion-interna/image003.gif>

#### 2.5.4.3 Por el número de inyecciones

- **Inyección continua.** – Cada inyector introduce combustible en los colectores de admisión de manera interrumpida, con la proporción y presión específicas, siendo estas variables o constantes, es decir, dependerán de los parámetros que utilice el sistema (Menna, 2020).
- **Inyección intermitente.** – Los inyectores introducen el combustible dentro de los colectores de admisión de manera intermitente. La ECU de inyección en este caso es la encargada de enviar los pulsos y controlar el tiempo de apertura y cierre de los inyectores. Este tipo de inyección se da en las siguientes formas (Menna, 2020):
  1. **Secuencial.** – La válvula de admisión se mantiene abierta y el combustible es inyectado dentro del cilindro por cada inyector en orden de uno a uno (Menna, 2020).
  2. **Semisecuencial.** – Con el mismo principio de la forma secuencial, con la diferencia que los inyectores se activan de dos en dos (Menna, 2020).
  3. **Simultánea.** – Los inyectores introducen el combustible abriéndose y cerrándose al mismo tiempo (Menna, 2020).



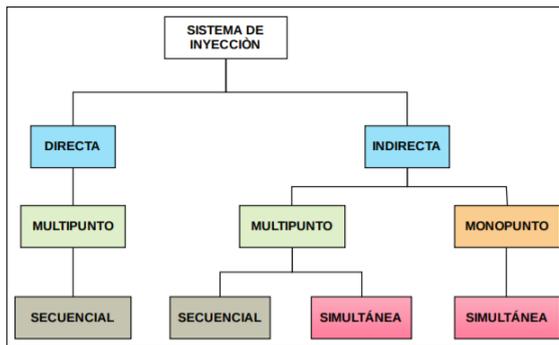
**Figura 19-2.** Sistema de inyección intermitente.

Fuente: [http://www.soloparamecanicos.com/wp-content/uploads/2018/09/Clasificacion\\_Inyectores\\_Imagen\\_04-300x300.jpg](http://www.soloparamecanicos.com/wp-content/uploads/2018/09/Clasificacion_Inyectores_Imagen_04-300x300.jpg)

#### 2.5.4.4 Por el sistema de control

- **Mecánica.** – El sistema de control y el sistema de inyección son mecánicos. En la actualidad ya no se lo usa. Ej. K- Jetrónico (Alonso, 2000 pág. 135).
- **Electromecánica.** – El sistema de control es electrónico, mientras que el sistema de inyección es mecánico. Ej. KE- Jetrónico (Alonso, 2000 pág. 135).
- **Electrónica.** – Es la mejora de los dos sistemas mencionados, tanto el sistema de control como el de inyección tienen un accionamiento electrónico. Es el más utilizado en la actualidad. Ej. L- Jetrónico., LE- Jetrónico., Monotronic, Digifant (Alonso, 2000 pág. 135).

A continuación, se muestran las configuraciones más usadas por el mercado:



**Figura 20-2.** Esquema general de los sistemas de inyección.

Fuente: (Amán Jimenez, y otros, 2012)

Y realizando un análisis de los vehículos más comercializados en Ecuador y sus características (ANEXOS A), se puede observar que utilizan el sistema de inyección multipunto (Autores,2021).

#### 2.5.5 Sistema de inyección electrónica multipunto

El sistema de inyección multipunto es uno de los más precisos, ya que la electrónica permite obtener una dosificación exacta, controlada mediante los siguientes parámetros (Amán Jimenez, y otros, 2012 pág. 35):

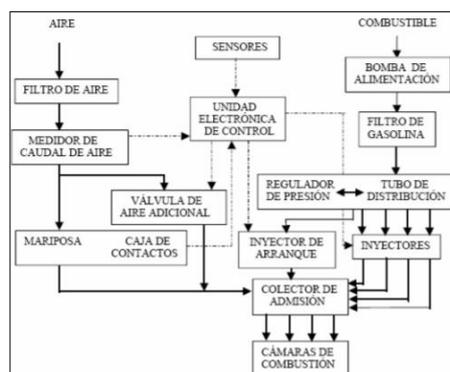
- Densidad del aire
- Temperatura del motor

- Régimen de giro del motor
- Tensión de la red del vehículo
- Cantidad de oxígeno residual
- Condiciones de funcionamiento

Estos parámetros son controlados por la ECU, ya que de cada uno recibe diferentes señales físicas que mediante transductores las transforman en señales eléctricas que son leídas por el controlador, posteriormente interpretadas para poder enviar las salidas al sistema (Amán Jimenez, y otros, 2012 pág. 35).

### 2.5.5.1 Funcionamiento

El diagrama representado en la figura 21-2, se muestra el funcionamiento del sistema de inyección multipunto (Paidá Puente, 2007 pág. 19).



**Figura 21-2.** Esquema funcional de un sistema de inyección.

Fuente: (Paidá Puente, 2007)

Se muestra que el aire y la gasolina pasan por procesos previos a su mezcla. El aire pasa por un filtro y luego por el medidor de flujo para obtener la señal a enviar a la ECU, la cantidad de aire es regulada por la mariposa y por la válvula de aire. La gasolina es succionada por la bomba eléctrica, pasa por el regulador de presión y se dirige a los inyectores (Amán Jimenez, y otros, 2012 pág. 35).

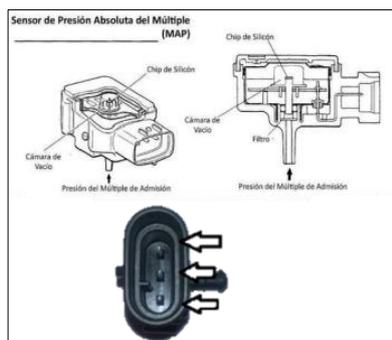
Los sistemas de inyección de gasolina se encargan de dosificar la cantidad de combustible requerida en cada régimen de giro y carga del motor, mientras que en los sistemas de inyección indirecta el combustible se inyecta en el colector de admisión antes de la válvula. “De esta manera

se controla la mezcla estequiométrica en cada una de las condiciones de marcha del motor, lo que da como resultado niveles menores de contaminación y mayor rendimiento del motor, Obteniéndose una mayor potencia específica” (Amán Jimenez, y otros, 2012 pág. 36).

El aire circula únicamente por el colector de admisión, la gasolina es inyectada antes del ingreso al cilindro, bien dosificada para asegurarse de que solo se reciba la cantidad necesaria tanto para las cargas que actúan en el motor como en los cilindros (Amán Jimenez, y otros, 2012 pág. 36).

### 2.5.5.2 Sensor de Presión Absoluta

MAP, Manifold Absolute Pressure. – Ubicado en el exterior del motor, seguido de la mariposa de aceleración y antes de las válvulas de entrada, mide la presión absoluta respecto a la atmosférica dentro del colector de admisión. Esta señal es enviada a la ECU para calcular el nivel de carga del motor, tiempo de inyección y avance del punto de encendido (Fernández Llanzi, y otros, 2017 pág. 28).

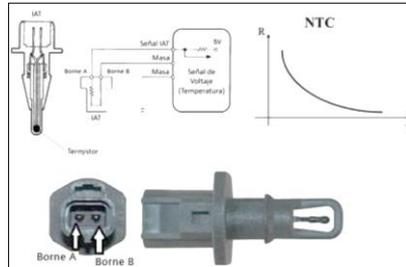


**Figura 22-2.** Sensor MAP.

Fuente: (Guachamin Quispe, 2016)

### 2.5.5.3 Sensor de Temperatura de Aire de Admisión

IAT, Intake Air Temperature. – Ubicado en el ducto del colector de admisión de aire, al ingreso de la mariposa de aceleración formando uno sólo con el caudalímetro, mide la temperatura del aire y envía esta señal a la ECU para determinar el tiempo de inyección (Cabrera Escobar, y otros, 2009 pág. 31).

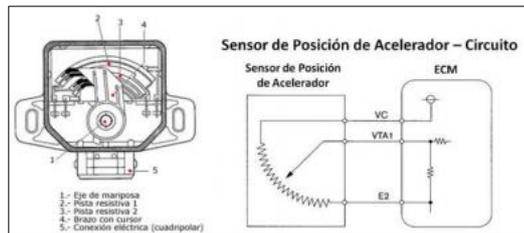


**Figura 23-2.** Sensor IAT.

Fuente: (Guachamin Quispe , 2016)

#### 2.5.5.4 Sensor de Posición de la Mariposa

TPS, Throttle Position Sensor. – Ubicado sobre la mariposa del cuerpo de aceleración, determina la posición de la mariposa que indica del acelerador, esta señal es enviada a la ECU para calcular el tiempo de pulso del inyector, la curva de avance del encendido y el funcionamiento del sistema del control de emisiones (Cabrera Escobar, y otros, 2009 pág. 34).

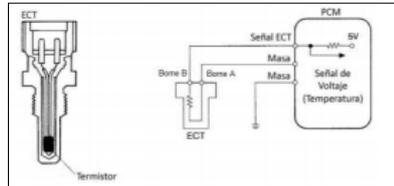


**Figura 24-2.** Sensor TPS.

Fuente: (Guachamin Quispe , 2016)

#### 2.5.5.5 Sensor de Temperatura de Refrigerante

CTS, Coolant Temperature Sensor. – Ubicado en el block del motor, junto a la conexión de la manguera que suministra el agua al radiador, mide la temperatura del refrigerante del motor por medio de una resistencia (tipo NTC), envía la señal a la ECU para que esta pueda regular la entrega de combustible calculando la mezcla aire-combustible y el tiempo de activación y desactivación del ventilador del radiador (Cabrera Escobar, y otros, 2009 pág. 35) .

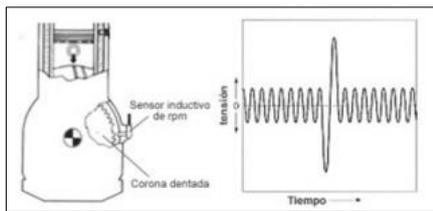


**Figura 25-2.** Sensor de CTS.

Fuente: (Guachamin Quispe , 2016)

#### 2.5.5.6 Sensor de Posición del Cigüeñal

CKP, Crankshaft Position Sensor. – Ubicada en la parte inferior del motor, cerca de la polea del cigüeñal, en algún lugar del distribuidor o monoblock, monitorea la posición del cigüeñal respecto a la del pistón. Proporciona a la ECU la posición del cigüeñal y sus rpm para que ésta pueda generar la salida de chispa y pulso al inyector y este pueda encenderse (Cabrera Escobar, y otros, 2009 pág. 36).



**Figura 26-2.** Sensor CKP.

Fuente: (Guachamin Quispe , 2016)

#### 2.5.5.7 Sensor de Oxígeno

Sonda Lambda o Sensor O2. – Ubicado en el múltiple de escape o cercano a él, monitorea la calidad de la combustión en todo momento al medir la cantidad de oxígeno en la emisión de gases de escape e informa a la ECU para que se encargue de controlar el tiempo de inyección del combustible (Cabrera Escobar, y otros, 2009 pág. 38).



**Figura 27-2.** Sensor sonda Lambda.

Fuente: [https://http2.mlstatic.com/D\\_NQ\\_NP\\_636586-MLM31954450686\\_082019-V.jpg](https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_636586-MLM31954450686_082019-V.jpg)

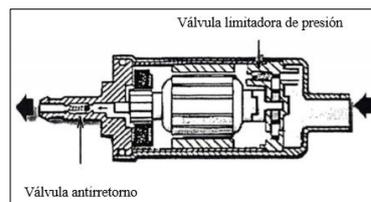
Comentado [CPP3]: referencia

#### 2.5.5.8 Depósito de combustible

Aunque en la mayoría de textos no lo mencionan como parte de este sistema, es importante considerarlo ya que es elemento a partir del cual se lleva a cabo la alimentación. Es el recipiente en dónde se alberga el combustible, posee un orificio por dónde ingresa el combustible y siempre se encuentra bajo presión atmosférica (Cabrera Escobar, y otros, 2009 pág. 40).

#### 2.5.5.9 Bomba eléctrica de combustible

Se encuentra dentro del depósito de combustible (recipiente), es accionada por un motor eléctrico y trabaja con presiones aproximadas a los 45 PSI. Se encarga de enviar todo el combustible depositado en el tanque hacia el riel de inyectores con presión constante, gracias a que el combustible siempre retorna al tanque, esto es gracias a que este tipo de bombas constante de dos orificios uno de entrada y uno de salida, cada uno con válvula unidireccional (Alonso, 2000 pág. 142).

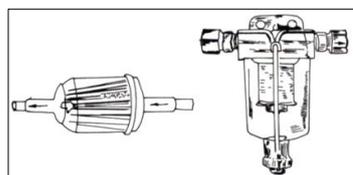


**Figura 28-2.** Bomba de combustible.

Fuente: (Universidad Rafael Landívar, 2013)

#### 2.5.5.10 Filtro de combustible

Evita que impurezas depositadas o almacenadas junto con el combustible se dirijan hacia el riel de inyectores, suelen ser de alta presión y según el uso y la marca de vehículo se recomienda cambiarlos después de un determinado tiempo de uso. Formado por una malla fina que filtra las impurezas y éstas son almacenadas dentro de una pequeña carcasa metálica. Se encuentra ubicado a la salida del tanque o antes del riel de inyectores (Alonso, 2000 pág. 144).



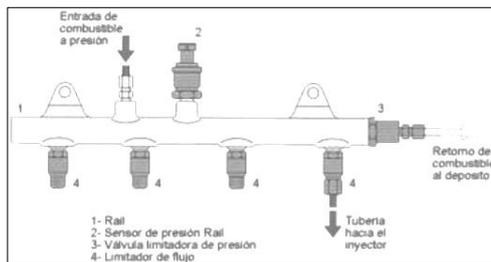
**Figura 29-2.** Filtro de Combustible.

Fuente: (Servicio Nacional de Aprendizaje, 1990)

Comentado [CPP4]: referenciar

### 2.5.5.11 Riel de inyectoros

Es el mecanismo al cual llega la gasolina, se acumula (presión) y de allí es enviada a los inyectoros. Para ello cuenta con un regulador de presión, esta presión depende en parte de la depresión que exista en el colector y por medio de un resorte esta presión es regulable (Guachamin Quispe , 2016 pág. 26).

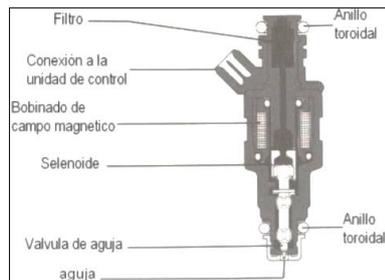


**Figura 30-2.** Riel de inyectoros.

Fuente: (Guachamin Quispe , 2016)

### 2.5.5.12 Inyectores

Su función es inyectar combustible a alta presión para luego ser pulverizado en el colector de admisión. Tiene una bobina para su activación o apertura que mediante una corriente genera un campo electromagnético que hace desplazar a la válvula de aguja dando paso a la inyección del combustible (1.4 a 1.2 mili segundos). Se debe tomar en cuenta que para que este proceso sea exitoso no debe existir ningún tipo de impurezas dentro de los inyectores o en el combustible (Guachamin Quispe , 2016 pág. 30).

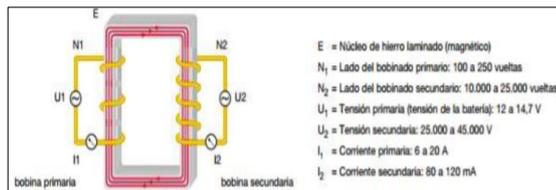


**Figura 31-2.** Partes de un inyector.

Fuente: (Guachamin Quispe , 2016)

### 2.5.5.13 Bobina de encendido

Esta bomba es un dispositivo electrónico (12V) que sustituye al distribuidor, la señal que envía el CKP le permite a la ECU activar o no la chispa en la bobina (Guachamin Quispe , 2016 pág. 31).

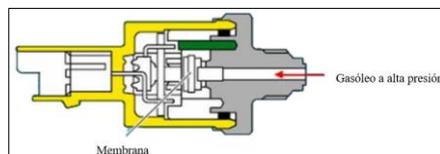


**Figura 32-2.** Estructura Bobina de encendido.

Fuente: (Guachamin Quispe , 2016)

### 2.5.5.14 Regulador de presión de combustible

Se encarga de mantener constante a la presión de alimentación hacia el inyector, forma parte del cuerpo de inyección junto con el inyector. Consiste en una caja que posee el dispositivo móvil metálico y la membrana que se acciona por medio de un muelle calibrado. Se activa cuando la presión excede su valor, el dispositivo móvil se desplaza y abre la válvula para que el combustible excedente retorne al depósito de combustible (Loayza Romero, y otros, 2005 pág. 42).



**Figura 33-2.** Sensor de presión Raíl.

Fuente: <https://www.autoavance.co/wp-content/uploads/2017/09/conjunto-rail-sensor-presion.jpg>

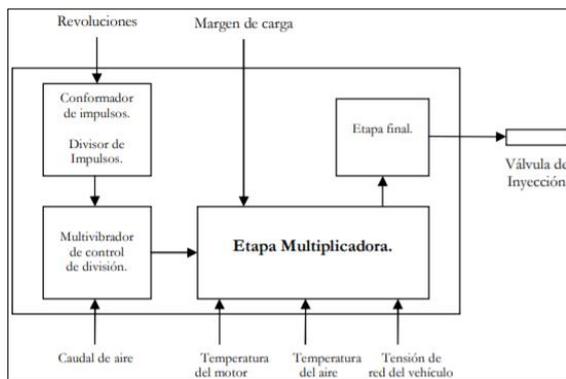
### 2.5.5.15 Unidad de Control Electrónico

Es un elemento principal para el sistema de inyección, constituido por un circuito electrónico dentro de una caja de aluminio. Esta unidad es la encargada de administrar las señales de entrada (sensores indicadores del funcionamiento del motor) y salidas que son impulsos eléctricos de cantidad y tiempo determinados de inyección (Loayza Romero, y otros, 2005 pág. 43).

La figura 34-2 muestra el diagrama de bloques de los circuitos electrónicos dentro de la unidad de control, el circuito conformador de impulsos recibe una señal que muestra las r.p.m. del motor, para luego enviarla al multivibrador, así este último transforma las señales en impulsos eléctricos

que en lo posterior serán enviados al inyector y su duración estará determinada por el caudal que se inyecte (Loayza Romero, y otros, 2005 pág. 45).

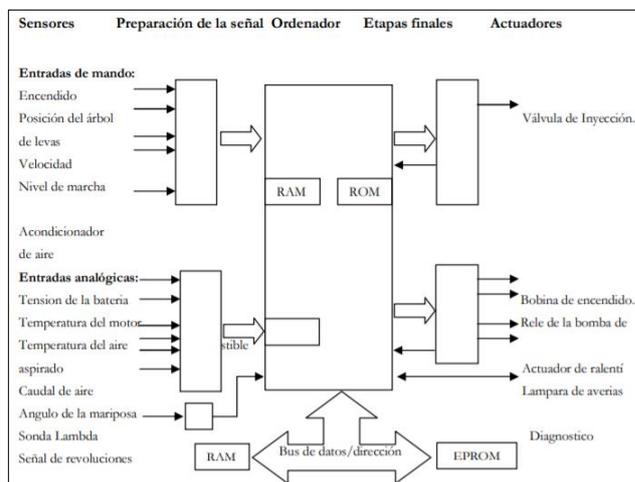
En la etapa multiplicadora, la señal enviada por el multivibrador es acondicionada junto con el resto de señales provenientes de otros sensores del motor, de esta forma se obtienen la cantidad de combustible a inyectar (Loayza Romero, y otros, 2005 pág. 45).



**Figura 34-2.** Diagrama de bloques, Circuito ECU.

Fuente: (Loayza Romero, y otros, 2005)

La figura 35-2 muestra de una manera más amplia el funcionamiento de la ECU, detallando las señales de entrada, procesamiento y salida que intervienen en el proceso de inyección.



**Figura 35-2.** Diagrama de bloques, Sistema Mono Motronic Bosh.

Fuente: (Loayza Romero, y otros, 2005)

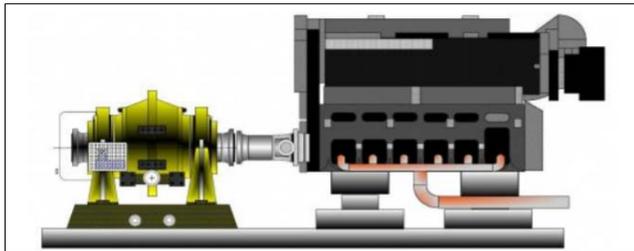
## 2.6 Dinamómetro

Es un equipo empleado para medir la energía entregada por el motor de un vehículo bajo diferentes parámetros y obtener “Un análisis de desempeño de las prestaciones de este motor, tanto en la ciudad como en la carretera” (Ávila Avelino, 2016 pág. 8).

Suele usarse mucho para investigación en motores de combustión interna ya que permiten el desarrollo y fabricación de nuevos motores y componentes. “Los principales parámetros a estudiar son: par del motor, potencia desarrollada, consumo específico de combustible y pruebas de largo plazo que buscan verificar la durabilidad de los componentes del vehículo, incluido el motor y establecer los parámetros de funcionamiento” (Ávila Avelino, 2016 pág. 8).

### 2.6.1 *Dinamómetro de motor*

Se acopla directamente a la unidad de absorción de potencia, para obtener los valores y poder calcular la potencia del motor, como se puede ver en la figura 36-2.



**Figura 36-2.** Dinamómetro de motor. (Izq, Dinamómetro. Der, Motor).

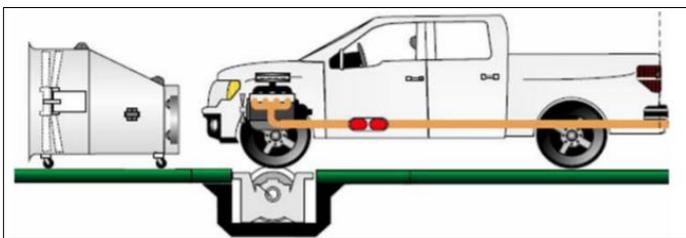
Fuente: (Cerecero Olivera, 2013)

Se lo utiliza para realizar pruebas a motores, dispositivos combustibles, etc. Y dado el hecho de que las pruebas son realizadas en una sala (adecuada y equipada), se debe tener presente que las condiciones de funcionamiento pueden ser controladas y/o manipuladas, de esta forma se puede realizar varias pruebas que proporcionen mejor exactitud en los resultados (Cerecero Olivera, 2013 pág. 13).

Para realizar las pruebas en un dinamómetro de motor, se necesita contar con instalaciones de los sistemas de: sujeción, acople con el dinamómetro, enfriamiento, suministro eléctrico y de combustible, y de control del motor entre otros, esto demanda una buena cantidad de tiempo y representa en algo una desventaja al usarlo (Cerecero Olivera, 2013 pág. 13).

### 2.6.2 *Dinamómetro de chasis*

Este tipo de dinamómetro sirve para medir la potencia del vehículo y las pruebas se las realiza directamente. Dispone de un conjunto de rodillo sobre los cuales se deben ubicar las ruedas del motor, estas ruedas por medio del sistema automotriz impulsan los rodillos que están acoplados a la unidad de absorción de potencia, este proceso puede simular un vehículo con carga (Cerecero Olivera, 2013 pág. 7).



**Figura 37-2.** Dinamómetro de chasis.

Fuente: (Cerecero Olivera, 2013)

Este equipo nos permite comprobar de una manera completa el vehículo, de esta manera “Las pruebas y ensayos obtenidos reflejan de forma más cercana el comportamiento que el vehículo tendrá en condiciones reales de operación” (Cerecero Olivera, 2013 pág. 7).

### 2.7 **Arduino**

Es una tarjeta de desarrollo de código abierto, que se basa en una placa de circuito impreso con un microcontrolador de la marca “ATMEL”, posee entradas y salidas tanto digitales como analógicas, su entorno de programación está desarrollado en el lenguaje de programación processing. Permite la interacción del mundo físico con el mundo virtual, ya que permite el control y análisis de una serie de dispositivos utilizados en la vida cotidiana (Vinueza Escobar, 2017 pág. 32).



**Figura 38-2.** Tipos de Arduino.

Fuente: (Autores, 2021)

Arduino es utilizado para casi todo tipo de control electrónico, que va desde encender un led hasta monitorizar una casa (domótica). Por ejemplo, para el desarrollo de dispositivos interactivos para funcionar de forma autónoma y no autónoma, en el primer caso no se necesita que este se encuentre conectado a un computador, incluso si se desea mostrar algún tipo de dato arduino dispone de sus propias pantallas LCD con la ventaja de tener incorporado el sistema touch para el ingreso de datos o manipulación del equipo (Vinueza Escobar, 2017 pág. 32).

Y en el segundo caso se lo utiliza cuando es necesario el procesamiento de datos más avanzado o simplemente la placa es un colaborador del sistema desarrollado por el procesador de una computadora (Vinueza Escobar, 2017 pág. 32).

### 2.7.1 *Ventajas*

Existen además de arduino otras placas de desarrollo, o a su vez los microcontroladores que también son dispositivos independientes utilizados para el control de señales físicas de ingreso y salida. A continuación, se describirá cuáles son los beneficios que otorga la placa de arduino y porque muchos proyectos en la actualidad, incluso de categoría semiindustrial utilizan esta plataforma (Vinueza Escobar, 2017 pág. 33).

- **De bajo costo.** – Esta es una de las mayores ventajas de esta placa, pues por su bajo costo es adquirida no solo para el desarrollo de proyectos para comercios pequeños, sino que es ampliamente adquirido en el sector educativo (Vinueza Escobar, 2017 pág. 33).
- **Multi-Plataforma.** – El código de arduino está disponible para varios sistemas operativos, permitiendo de esta manera un mayor manejo por desarrolladores con distintas preferencias en Software (Vinueza Escobar, 2017 pág. 33).
- **Programación sencilla.** – La escritura de programas en arduino está basada en la estructura general de la programación (C++ estándar), sigue las mismas reglas de declaraciones, sentencias y funciones. Además, consta de sus propias bibliotecas y más ejemplos para poderlos ejecutar y sus códigos están disponibles en varias fuentes de internet que sirven de ayuda para el desarrollador (Vinueza Escobar, 2017 pág. 33).
- **Desarrollo de proyectos de todo tipo.** – Debido a la gran escalabilidad que se le ha podido dar en estos últimos años. Arduino ha desarrollado diferentes sensores tanto de tipo digitales como analógicos que le permiten controlar diversos ambientes (Vinueza Escobar, 2017 pág. 33).

### 2.7.2 Características

A continuación, (Vinueza Escobar, 2017 pág. 35) hace mención a las características técnicas de manera general tanto de software tabla 2-2, como de hardware tabla 3-2 que conforman la placa de Arduino.

**Tabla 2-2.** Características técnicas del hardware de Arduino.

HARDWARE	Microcontrolador AVR	Procesador programable con una unidad lógica aritmética (ALU) + registros.
		Memoria flas (no volátil).
		Memorias RAM y ROM.
		Puertos In/Out digitales.
		Puestos In analógicos y Out (PWM) analógicos
		Temporizador interno
		Comunicación serial I2C y SPI
	Señal de reloj de 8 a 32 MHz	
	Placa	Puerto USB
		Terminales In/Out digitales
		Terminales In analógicas.
		RÉSET
		Conector de alimentación
		Terminar de alimentación
Leds indicadores (transmisión y encendido)		
Microcontrolador		

Fuente: (Herrador, 2009).

Realizado por: (Autores, 2021)

**Tabla 3-2.** Características técnicas del software de Arduino.

SOFTWARE	Bibliotecas	Serial: lectura y escritura a través del puerto serie.
		Servo: control de servomotores.
		Stepper: control motores paso a paso
		Wire: envío y recepción de datos I2C
		LiquidCrystal: pantallas LCD.
	Conectividad con plataformas	PlataformIO IDE
		LabVIEW
		Arduino para LabVIEW
		Programino IDE
		Biicode
		Pluto, para Python
		Embrio
		Arduino para AtmelStudio

Fuente: (Herrador, 2009)

Realizado por: (Autores, 2021)

## 2.8 Labview



**Figura 39-2.** Labview.

**Fuente:** <https://www.scientec.com.mx/wp-content/uploads/2019/09/LabView-software.png>

“Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench” (LabVIEW), que en español significa laboratorio virtual de instrumentos electrónicos, un software creado por la empresa estadounidense National Instruments dedicados hacer software y dispositivos electrónicos de aprendizaje. LabVIEW es un reconocido entorno de programación gráfica en el que se puede crear aplicaciones de una forma rápida y sencilla utilizando programación gráfica (Vinueza Escobar, 2017 pág. 41).

Los programas realizados en LabVIEW se llaman instrumentos virtuales “VIs”, por tener la apariencia de instrumentos reales y entre sus principales características tenemos (Vinueza Escobar, 2017 pág. 41);

- Una interface interactiva con el usuario que tiene la capacidad de simular el panel de un instrumento físico, además, se puede tener la visualización de los resultados en la pantalla del computador (Vinueza Escobar, 2017 pág. 41).
- Los VIs reciben instrucciones de un diagrama de bloques hecho en lenguaje G.
- Son fáciles de utilizarlos (Vinueza Escobar, 2017 pág. 41).
- Contiene objetos necesarios para implementar y desarrollar tareas (Vinueza Escobar, 2017 pág. 41).
- Permite cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software (Vinueza Escobar, 2017 pág. 41).
- 

## 2.9 Ciclos de conducción

Los ciclos de conducción permiten conocer el comportamiento de los vehículos en las vías a través de sus emisiones, fueron desarrollados para proveer un perfil único de velocidad contra tiempo que sea representativo del perfil de conducción urbano. Los fabricantes de vehículos necesitan de

éstos para generar bases de diseño, construcción y mercadeo a largo plazo. También es fundamental el trabajo de los ingenieros de transporte para diseñar el control del tráfico y hacer simulaciones de paradas y flujo vehicular (Hurtado Gómez, 2014 pág. 25).

Se pueden encontrar dos tipos de ciclos de conducción, legislativos y no legislativos. Los legislativos son creados por entidades gubernamentales y permiten crear legislaciones para controlar emisiones provenientes del motor. Las emisiones generadas durante el ciclo no deben exceder los valores consignados en las normas (Hurtado Gómez, 2014 pág. 25).

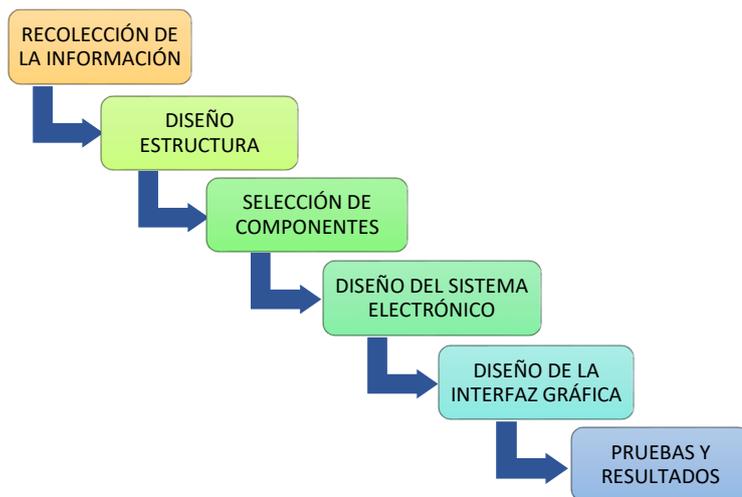
Los ciclos de conducción no legislativos son creados para calcular las emisiones generadas y el consumo de combustible del motor en laboratorios y como herramienta para la industria automotriz. Según la topografía de la región, los ciclos varían entre los países que los desarrollen. Es por esto que el ciclo desarrollado en Estados Unidos no puede ser directamente aplicado a la Unión Europea ni a ninguna otra región, y viceversa (Hurtado Gómez, 2014 pág. 25).

Los ciclos de conducción se usan para determinar las emisiones generadas por el parque automotor según el tipo de conducción. Adicionalmente, las curvas de velocidad contra tiempo que se generan pueden ser utilizadas para realizar pruebas de consumo de combustible y emisiones en los laboratorios, aplicables a la región en estudio (Hurtado Gómez, 2014 pág. 25).

## CAPÍTULO III

### 3 METODOLOGÍA

En este capítulo se detalla el proceso para el desarrollo del sistema de medición de combustible, basando en el método científico analítico, experimental y cuantitativo, donde se fundamenta en la medición de las características de los fenómenos sociales, lo cual supone derivar de un marco conceptual pertinente al problema analizado. Se realizó un prototipo basado en el sistema de inyección a gasolina de un automóvil, por lo que se siguió una serie de pasos importantes y necesarios: La recolección de la información, diseño de una estructura donde se colocaran los elementos del sistema de inyección, selección de componentes mecánicos y electrónicos, diseño del sistema electrónico, y el diseño de la interfaz gráfica con toma de datos. También se detallan las pruebas y resultados obtenidos en el prototipo, en el automóvil y en el dinamómetro. En la figura se visualizan brevemente las etapas mencionadas:



**Figura 1-3.** Etapas de la metodología.

Fuente: (Autores, 2021)

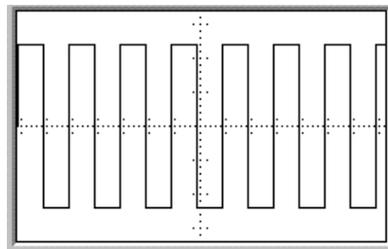
#### 3.1 Recolección de la información

Para determinar el consumo de gasolina del vehículo, fue necesario tomar datos reales como la señal de salida de la computadora hacia los inyectores, la frecuencia de inyección, y la presión del sistema.

### 3.1.1 Funcionamiento del sistema de inyectores en el vehículo

En un vehículo normal, la computadora del auto emite a los inyectores una señal cuadrada como se muestra en la figura 2-3, que al entrar a los inyectores esta señal cambia mostrándose en la figura 3-3, usando un osciloscopio electrónico se determinó la frecuencia y los tiempos de activación de los inyectores y se obtuvo los siguientes resultados.

- Frecuencia: entre 5 Hz y 50 Hz
- Tiempo de activación: 2ms
- Tiempo de apagado: entre 180 y 18 ms aprox.



**Figura 2-3.** Señal de la computadora (onda cuadrada)

Fuente: (Autores, 2021)

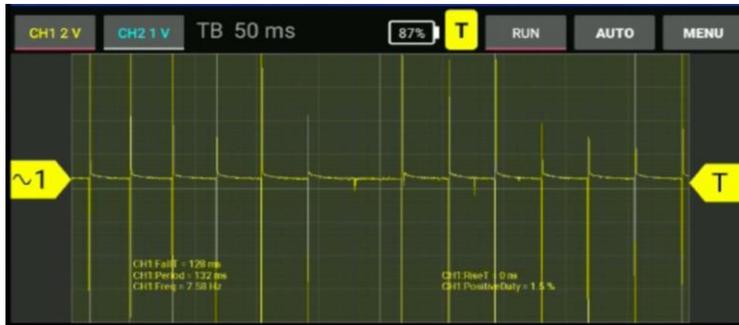
La frecuencia de 5Hz se tenía con el auto prendido, en neutro con 600 RPMs, la frecuencia variaba mientras se iba acelerando el vehículo, hasta llegar a 50Hz con 6000 RPMs. Como se muestra en la tabla 1-3.

**Tabla 1-3.** Datos obtenidos en el vehículo.

Frecuencia (Hz)	RPMs	Tiempo off (ms)	Tiempo on (ms)
50	6000	18.7	2
40	5050	21.2	2
30	3900	24.9	2
20	2350	47.21	2
10	1100	92.84	2
5	600	181.86	2

Fuente: (Autores, 2021)

Realizado por: Autores, 2021

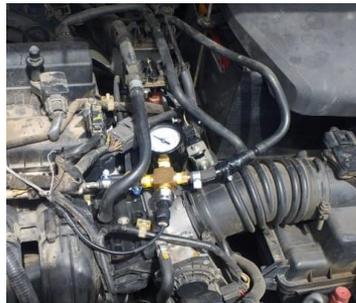


**Figura 3-3.** Señal de activación de inyectores.

Fuente: (Autores, 2021).

### 3.1.2 Presión en el riel de inyectores del vehículo

De la misma manera y por medio de manómetro analógico de presión de combustible se determinó que la presión se mantiene constante en 50 PSI, cuando el inyector no trabaja y al actuar el inyector la presión decrece a 40PSI.

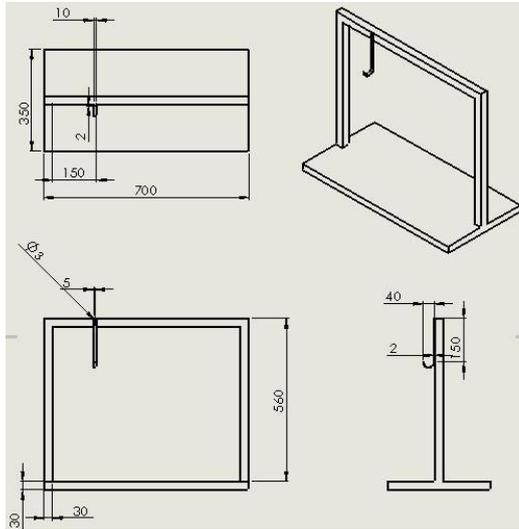


**Figura 4-3.** Manómetro en el riel de inyectores del vehículo.

Fuente: (Autores, 2021).

## 3.2 Diseño de la estructura del prototipo

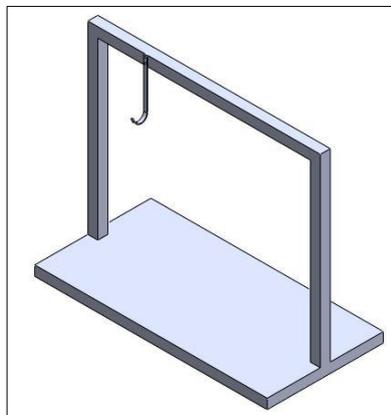
Para realizar las estrategias y determinar el consumo de combustible, se realizó la elaboración de un prototipo que simule el sistema de inyección a gasolina de un vehículo, por lo que se desarrolló una estructura de aluminio donde se instalarán todos los elementos importantes de inyección, así como los componentes electrónicos que simularán las señales de la computadora. Las medidas se detallan en la figura 5-3.



**Figura 5-3.** Planos de la estructura del prototipo

Fuente: (Autores, 2021).

Una vez diseñados los planos de la estructura se realizó el modelado como se muestra en la figura 6-3 y se armó físicamente para proceder a elegir los componentes mecánicos y electrónicos.



**Figura 6-3.** Perspectiva isométrica de la estructura del prototipo

Fuente: (Autores, 2021).

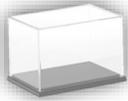
### 3.3 Selección de componentes

Aquí se determinó cuáles serán los materiales, instrumentos y dispositivos a utilizar para la construcción del sistema de medición de combustible.

#### 3.3.1 Componentes del Sistema de Inyección

El prototipo a diseñar será un sistema de inyección Multipunto Ciclo Otto por lo que los componentes mecánicos que conforman el sistema se muestran en la tabla 2-3.

**Tabla 2-3.** Elementos del prototipo del sistema de inyección.

Elemento	Imagen
Tanque de gasolina	
Bomba eléctrica	
Filtro de impurezas	
Manómetro	
Sensor de presión HK3022	

Caudalímetro	
Riel de inyectores	

Fuente: (Autores, 2021).

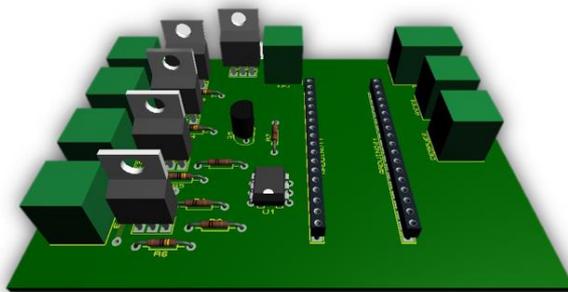
Realizado por: Autores, 2021.

### 3.3.2 Componentes del Sistema Electrónico

Para el sistema electrónico se ha considerado el uso de dos tarjetas de desarrollo de software libre “Arduino” que, junto a elementos electrónicos, una de ellas se encargará de generar la señal de onda cuadrada o pulsos y la otra de tomar los valores requeridos y permitir la comunicación con la interfaz de usuario.

#### 3.3.2.1 Circuito electrónico generador de onda cuadrada

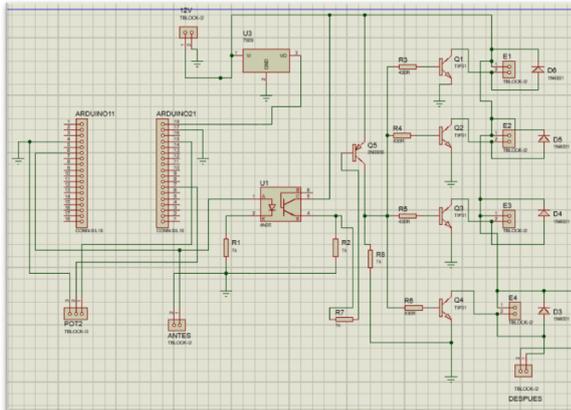
Se trata de una tarjeta de desarrollo Arduino Nano que genera una señal continua con forma de onda cuadrada, con una frecuencia variable de 5 a 100 Hz, esta señal constará de dos tiempos, T1 para el nivel alto y T2 para el nivel bajo, la señal de la computadora del vehículo tiene un tiempo de nivel alto de 2ms constante. El generador de señal constará con transistores NPN TIP31C encargados de realizar la conmutación para activar o desactivar los inyectores.



**Figura 7-3.** Diseño general – Circuito Generador.

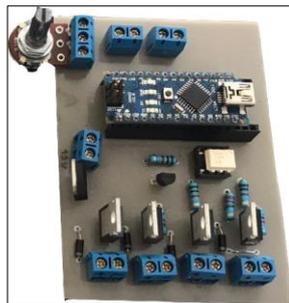
Fuente: (Autores, 2021)

Las figuras 8-3 y la figura 9-3 muestran el diseño final de la placa del circuito electrónico y como están distribuidos sus elementos.



**Figura 8-3.** Esquema general de la placa electrónica del generador de pulsos.

Fuente: (Autores, 2021)



**Figura 9-3.** PCB del generador de pulsos.

Fuente: (Autores, 2021)

### 3.3.2.2 Circuito electrónico de adquisición de datos

La placa de circuito electrónico encargada de la toma de datos de presión, caudal y el tiempo de activación de los inyectores está compuesta por una tarjeta de desarrollo Arduino Uno, de la misma manera dispone de un acondicionador de señal para determinar el tiempo de los inyectores del vehículo ya que estos trabajan a 12 voltios. Esta placa tiene la ventaja de poder conectarla en cualquier momento para hacer pruebas en un vehículo real, además cuenta con dos módulos relés para poder activar y desactivar la bomba y el circuito generador desde el HMI (interfaz de usuario). En la figura 10-3, se observa la placa electrónica en PCB.



**Figura 10-3.** Placa electrónica de adquisición de datos en PCB.

**Fuente:** (Autores, 2021).

### 3.3.2.3 Fuente de poder

Se hará el uso de una fuente de alimentación de 12 VDC capaz de suministrar energía a la bomba de gasolina, a los inyectores y al circuito generador de señal de onda cuadrada. En la figura 11-3 se puede observar la fuente a utilizar.



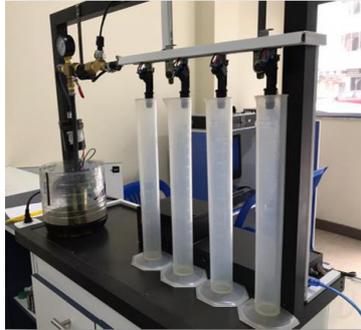
**Figura 11-3.** Fuente de poder a 12 VDC.

**Fuente:** [https://techstoreecuador.com/wp-content/uploads/2018/08/cs850xtk11\\_1\\_1-scaled.jpg](https://techstoreecuador.com/wp-content/uploads/2018/08/cs850xtk11_1_1-scaled.jpg)

### 3.3.3 Implementación de los componentes

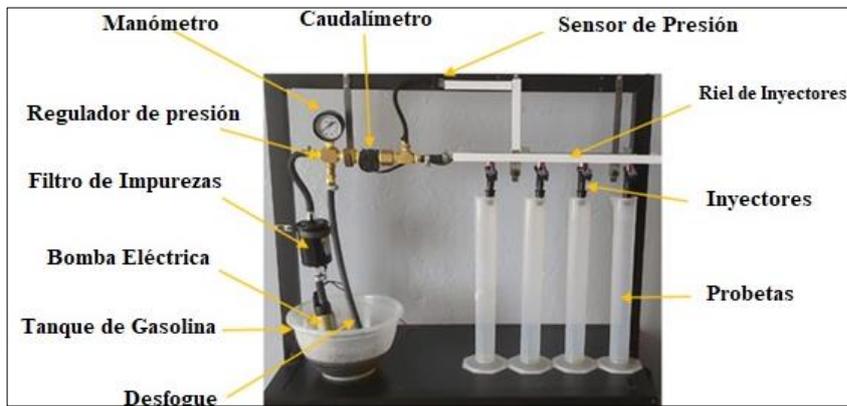
Una vez diseñada la estructura, determinados los elementos y construidos los sistemas electrónicos se procede a construir el prototipo, sabiendo que este es una representación física del sistema de alimentación de un motor de combustión interna con sistema de inyección multipunto como se muestra en la figura 12-3.

Se muestra en la figura 13-3 una imagen general de la estructura física del sistema previo a la obtención y control de las señales enviadas desde los sensores y por la placa electrónica. Además de los elementos esenciales del sistema de inyección, se encuentra un caudalímetro y cuatro probetas de 250 ml cada uno, esto último para fines comparativos durante las pruebas finales.



**Figura 12-3.** Prototipo de medición.

Fuente: (Autores, 2021)



**Figura 13-3.** Elementos del prototipo de medición.

Fuente: (Autores, 2021)

### 3.4 Diseño del sistema de control electrónico

Una vez implementados todos los componentes tanto mecánicos como electrónicos es necesario realizar el sistema de control electrónico que consta de la programación de las tarjetas de desarrollo, recordando que una se encargara de la generación de la señal de onda cuadrada y la otra de la recolección de datos.

#### 3.4.1 Programación del circuito generador de pulsos

Lo primero que se implemento fue la obtención de los tiempos de inyección por medio de la señal generada por la tarjeta de desarrollo arduino Nano simulando la misma señal que sale de la computadora del vehículo hacia los inyectores. La ventaja de utilizar una tarjeta de desarrollo de software libre es que permite utilizar varias funciones, así como librerías que generen una onda

Comentado [CPP5]: que va dentro del paréntesis?

cuadrada con una frecuencia específica. En el vehículo se determinó dicha señal con una frecuencia entre 5 y 50 Hz, esta frecuencia se determinó por medio del número de RPMs del vehículo. Dentro del Arduino la función `millis` (milisegundos) y `micros` (microsegundos) nos permitió la obtención del tiempo de activación del inyector. La tabla 3-3 muestra la variación de este tiempo en función de aumentar o disminuir la frecuencia de la señal cuadrada generada al variar el potenciómetro que permite el aumento o disminución de la frecuencia.

**Tabla 3-3.** Potenciómetro Vs. Tiempo de inyección.

Frecuencia (Hz)	Variación Potenciómetro (Ohms)	Tiempo off (ms)	Tiempo on (ms)
50	10K	19.2	2
40	6.6K	22.4	2
30	2.7K	29.2	2
20	1.3K	46.32	2
10	750	96.15	2
5	0	186.86	2

Fuente: (Autores, 2021)

Realizado por: Autores, 2021.

La programación de la tarjeta de desarrollo se realizó por medio de su software libre “IDE”, un programa creado para plataformas Windows y Linus, gracias a que Arduino es libre se puede conseguir programas subidos en línea que simplifican el trabajo a la hora de programar. La figura 14-3 muestra la programación del generador de pulsos en IDE de Arduino.



```
generador Arduino 1.8.13
Archivo Editor Programa Herramientas Ayuda

generador
// ancho del pulso
unsigned long tiempo;
int digPin = 32 // pin digital 4
boolean actuaInye;
void setup()
{
  pinMode(digPin, OUTPUT); // pin en modo salida
  //pinMode(13, OUTPUT); // pin en modo salida
  digitalWrite(digPin, 0);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  double a = map(analogRead(0),0,1024,14,200);
  int on=2;
  digitalWrite(digPin, LOW); // asigna el valor HIGH al pin
  delay(2);
  digitalWrite(digPin, HIGH); // asigna el valor LOW al pin
  delay(6); // espera tres cuartos de segundo
}
}
// https://www.arduino.cc/en/Reference/SerialPrintln
```

**Figura 14-3.** Programación del generador de señal en IDE Arduino.

Fuente: (Autores, 2021)

### 3.4.2 Programación del circuito electrónico de adquisición de datos

Esta placa contiene una tarjeta de desarrollo Arduino capaz de leer los tiempos de inyección, así como los datos de presión y caudal, enviando estos datos a un HMI (interfaz de usuario) creado en Labview que guarda en una base de datos con extensión .xls. Arduino cuenta con entradas tanto analógicas como digitales, las entradas a utilizar serán:

- Entrada analógica para el sensor de presión
- Entrada digital para el sensor de caudal
- Entrada digital para censar el tiempo de inyección
- Comunicación serial con Labview (HMI)

Gracias a que el sensor de presión HK3022 es puramente lineal como se observa en el gráfico 1-3, y que posee la ventaja de alimentarse a través de la tarjeta de desarrollo se puede determinar la presión por medio del voltaje que se muestre, es decir, si tenemos 0.5VDC tendremos una presión nula, pero si el sensor nos entrega un voltaje de 4.5VDC la presión será de 0.8 MPa (megaPascuales), realizando una ecuación lineal podremos determinar la presión real del sistema.

*Ecuación 1-3: Caudalímetro HK3022*

$$y = 5x + 0.5$$

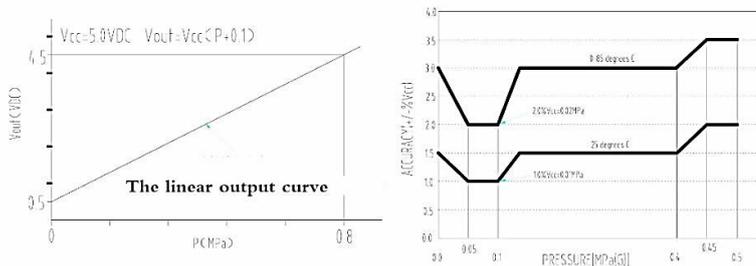
$$x = \frac{y - 0.5}{5}$$

Fuente: <http://www.naylampmechatronics.com/img/cms/sensor%20presion%201.jpg>

Donde:

x = Presión

y = Voltaje



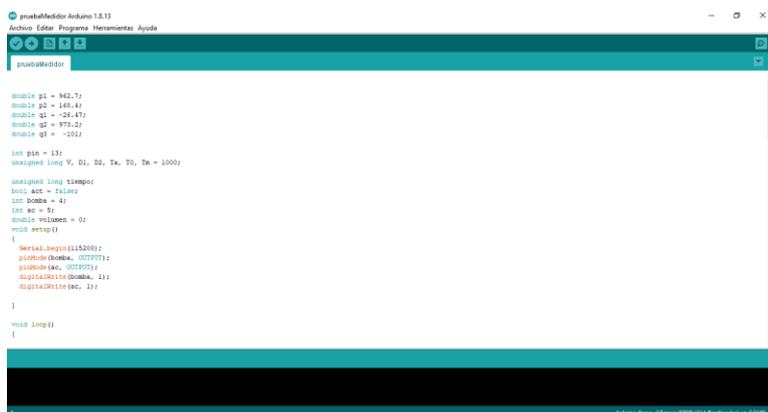
**Gráfico 1-3.** Curva de comportamiento sensor HK3022.

Fuente: <http://www.naylampmechatronics.com/img/cms/sensor%20presion%201.jpg>

Comentado [CPP6]: Si es fórmula debe enumerar

Para hallar el tiempo de inyección se utilizó un optoacoplador capaz de reducir el voltaje de los inyectores de 12 voltios a 5 voltios, pues este último es el valor de voltaje máximo permitido por la placa de arduino, voltajes superiores a estos podrían dañar permanentemente toda la tarjeta de desarrollo. La ventaja de este acondicionador es que cuando el inyector este activado se reconocerá los 5VDC mientras que cuando este desactivado se tendrá 0VDC. Gracias a las funciones millis y micros que integra la tarjeta de desarrollo se pudo obtener el tiempo de encendido y de apagado con variación de la frecuencia (5-50Hz).

Una señal similar se puede obtener del sensor caudalímetro, ya que, al atravesar la gasolina por las aspas del sensor, este produce un pulso que de la misma manera se puede determinar el flujo por medio de la frecuencia de giro de las aspas. En la figura 15-3 se muestra la programación de la tarjeta de adquisición de datos.



```
pruebaMedidor Arduino 1.8.13
pruebaMedidor

double p1 = 942.7;
double p2 = 148.44;
double q1 = -26.47;
double q2 = 973.22;
double q3 = -101;

int pin = 13;
unsigned long V, D1, D2, Tn, T0, Tm = 1000;

unsigned long tiempo;
bool act = false;
int bomba = 4;
int ac = 5;
double volumen = 0;
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  pinMode(bomba, OUTPUT);
  pinMode(ac, OUTPUT);
  digitalWrite(bomba, 1);
  digitalWrite(ac, 1);
}
void loop()
{
```

**Figura 15-3.** Programación del generador de señal en IDE Arduino.

Fuente: (Autores, 2021)

### 3.5 Diseño de la interfaz de usuario

#### 3.5.1 HMI con LabVIEW

Labview es un software compuesto de varios sistemas integrales que facilitan al programador el diseño de aplicaciones para proyectos locales utilizando un entorno gráfico.

El entorno gráfico de desarrollo integrado de Labview ayuda a que se muestre valores de variables en forma animada y didáctica por medio de una interfaz gráfica, los datos mostrados en esta interfaz se transmiten desde la tarjeta de desarrollo a través de una comunicación serial.

Los datos a mostrar son los valores de presión, caudal, volumen, tiempo de activación del inyector y el tiempo de apagado, además se generará un archivo .xls donde se guardarán todos los datos antes mencionados con fecha y hora. Se podrá prender el prototipo, así como apagarlo a través del HMI.

Todos los datos obtenidos por medio de la placa de control deben ser presentados al usuario de una manera clara y comprensible, para ello se ha diseñado una interfaz dentro del entorno de programación gráfica en Labview. La interfaz gráfica está compuesta por cuatro partes, un encabezado con los datos informativos del proyecto de titulación; dos gráficos donde se muestra en forma real la curva del caudal del sistema y el volumen total consumido; medidores de los tiempos en milisegundos del funcionamiento de los inyectores tanto en activación como desactivación, medidor de presión y por ultimo medidores de caudal y volumen; controles de encendido y apagado así como la selección del puerto serial para la toma de datos; y una matriz en donde se van guardando los datos con fecha y hora.

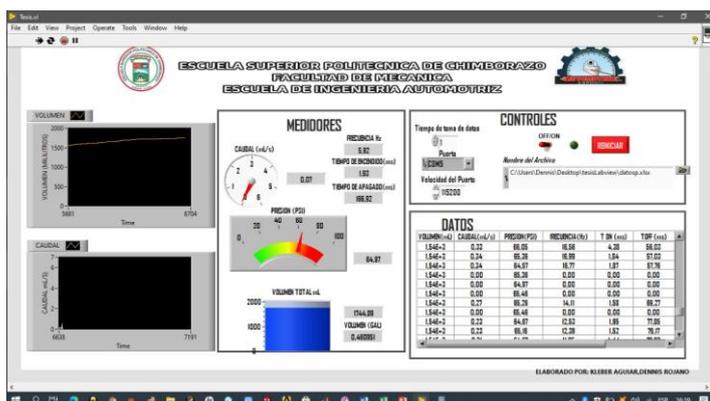


Figura 16-3. HMI - Labview.

Fuente: (Autores, 2021)

Todos los datos obtenidos se almacenan en un archivo .xlsx para en lo posterior estos valores sean utilizados para el cálculo del consumo de combustible a través de las fórmulas matemáticas.

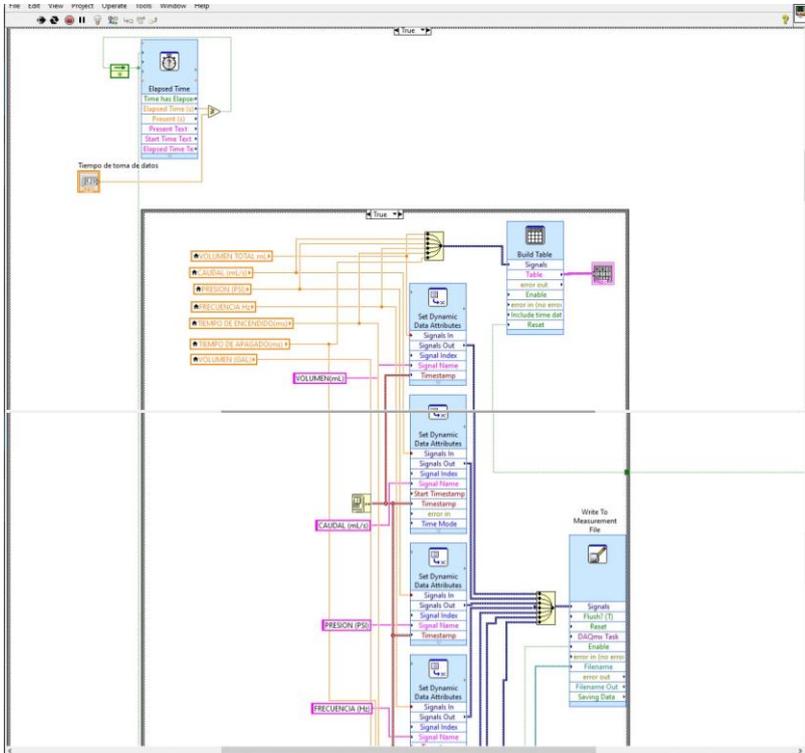


Figura 17-3. Conexiones internas Labview.

Fuente: (Autores, 2021)

### 3.5.2 Comunicación de la tarjeta de desarrollo principal a Labview

La comunicación entre la tarjeta principal y Labview es bidireccional, y el envío de datos se lo realiza por medio del puerto serial, este puerto debe ser declarado tanto en la tarjeta de desarrollo como en Labview. A continuación, se presenta un ejemplo en la figura 18-3 de cómo son enviados los datos, en dónde estos siempre deben ser de tipo String.

```

double freq = 1000000.0 / D1;
if(D1==0)
freq = 0;
double Toff = D2;
double Tom = (D1 - D2);
double Tomas = Toff / 1000.00;
double Toffms = Tom / 1000.00;
//double caudal = 10.77 + 0.007503*(presion)-1.475*(Toffms)+0.008065*(presion)*(Toffms)+0.06121*(Toffms)*(Toffms)-0.0001285*(presion)*(Toffms)*(Toffms)-0.0007564*(T
double x = Tomas;
double caudal = (p1*x + p2) / (x*x*x + q1*x*x + q2*x + q3);
volumen = volumen + caudal;
String datos = "A" + String(volumen) + "B" + String(caudal) + "C" + String(presion) + "D" + String(freq) + "E" + String(Tomas) + "F" + String(Toffms) + "G";
datos.replace(".", ",");
Serial.println(datos);

```

Figura 18-3. Envío de datos Arduino - Labview

Fuente: (Autores, 2021)

La recepción de los datos en Labview se la realiza de la siguiente manera como vemos en la figura 19-3:



**Figura 19-3.** Adquisición de datos por Labview.

Fuente: (Autores, 2021)

Al iniciar el programa se busca los puertos seriales disponibles en la ventana de control, el tiempo de entrega de datos (1 si es un segundo), la velocidad de entrega de datos (115200 baudios), y la dirección con el nombre del archivo .xls para guardar los datos. Para iniciar el programa se ha colocado un botón tipo switch de ON/OFF que inicia el programa de la interfaz gráfica.

El modelo está diseñado para tomar datos de presión, caudal, volumen y tiempo de inyección que en lo posterior serán integrados mediante fórmulas matemáticas que determinarán la cantidad de combustible que se está consumiendo.

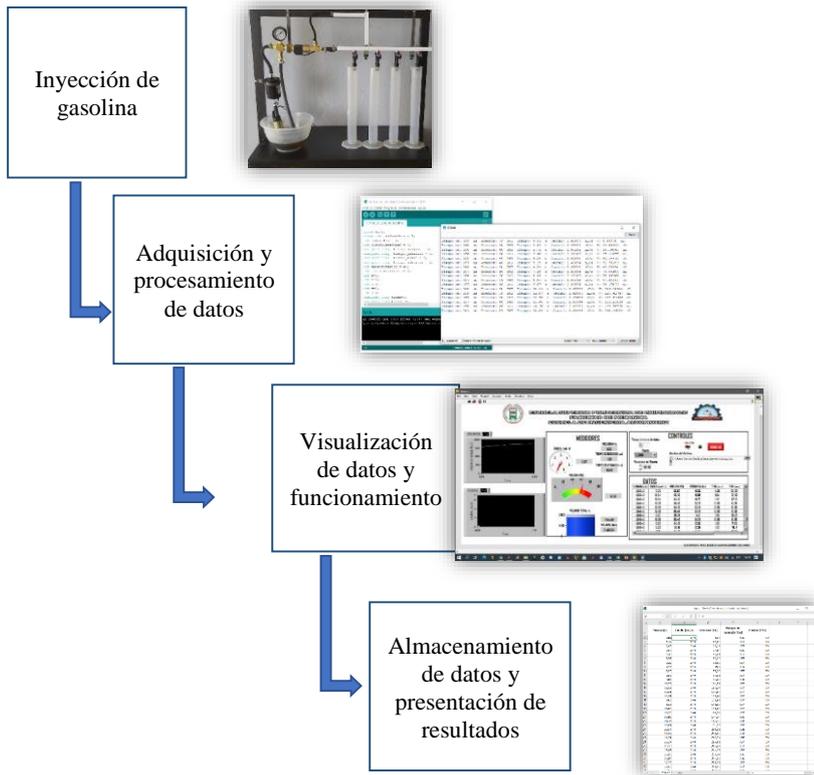
### 3.6 Funcionamiento del sistema de inyectores en el prototipo

Al oprimir en la interfaz gráfica el switch en ON, inicia el sistema de inyección, en dónde se encuentra el depósito de gasolina (tanque), que por medio de la bomba de gasolina envía el flujo al riel de los inyectores, pero antes pasa por un filtro de impurezas (filtro de gasolina), para que en lo posterior no existan averías en los inyectores. En este camino están; la llave de paso y los sensores de presión y de caudal.

Una vez que la gasolina haya llegado al riel de inyectores, ésta es depositada en los tubos de ensayo por medio del accionamiento de los inyectores, el control de este accionamiento es realizado por medio del circuito generador de señal con variación de frecuencia entre 5 Hz a 50Hz que puede ser controlada de forma manual, simulando la aceleración del vehículo.

La adquisición y procesamiento de los datos leídos por los sensores es realizada en la tarjeta de desarrollo principal (Arduino Uno) y presentada al usuario final por medio de una interfaz gráfica realizada en Labview. Además, esta información es enviada a un archivo .xlsx obteniendo una base de datos.

Finalmente, con la ayuda de este último programa se introducen estos datos en las fórmulas previamente desarrolladas y con esto se puede determinar cuál es el consumo de combustible que ha tenido ese vehículo en un tiempo determinado y con las variaciones de velocidad presentes.



**Figura 20-3.** Funcionamiento general del Sistema.

Fuente: (Autores, 2021)

### 3.7 Pruebas y Resultados

#### 3.7.1 Pruebas realizadas al prototipo

Las pruebas en el prototipo se hicieron variando la frecuencia a través de una resistencia variable, al variar la frecuencia se simula la aceleración del vehículo, además también fue variando la presión debido a que esta cambia de acuerdo a la marca o características del auto.

### 3.7.1.1 Pruebas de volumen con el caudalímetro

Para obtener el volumen consumido se comparó los datos que arrojaba el sensor caudalímetro con el volumen obtenido en las probetas de ensayo. Los resultados se muestran en la tabla 4-3.

**Tabla 4-3.** Volumen caudalímetro vs. Probetas de ensayo.

Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)	Caudal ( mL/s)	Volumen (Sensor) (mL)	Volumen (Probetas) (mL)
5	30	0.36	11	13
10	30	0.63	19	22
15	30	1.00	30	25
20	30	1.41	42	31
25	30	1.66	50	39
30	30	2.35	69	44
35	30	2.74	81	48
40	30	3.17	95	56
45	30	4.18	120	61
50	30	4.96	149	67

Fuente: (Autores, 2021)

Realizado por: Autores, 2021.

El sensor de caudal (caudalímetro) no da los valores exactos, debido a que por trabajar con gasolina y esta tener una densidad diferente las aspas del sensor no se mueven correctamente. Lo que se concluye que un sensor de caudal no es un sistema favorable para medir el volumen de consumo en sistemas con gasolina.

### 3.7.1.2 Pruebas de volumen con el sistema de tiempos de los inyectores

Para poder conocer el volumen consumido por medio del tiempo de funcionamiento de los inyectores se debe tomar datos de todos los parámetros que afectan al sistema de inyección, la presión, el tiempo de activación del inyector, el tiempo de apagado, la frecuencia de activación y el número de muestras.

Obteniendo estos valores mostrados en la Tabla 4-3 se procede hacer un modelado para obtener el volumen, utilizando una herramienta matemática en Matlab llamada Curve Fitting Tool, un Tool Box de Matlab que genera una ecuación teniendo 2 o 3 variables, como se observa en los gráficos 2-3 y 3-3.

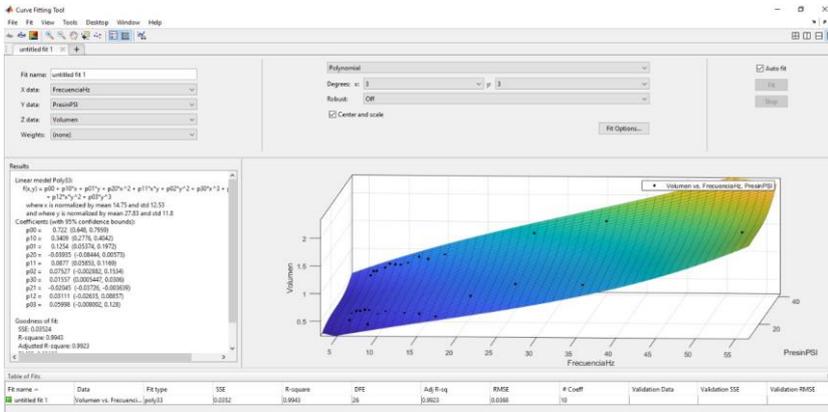


Gráfico 2-3. Modelado curva de volumen vista 1.

Fuente: (Autores, 2021)

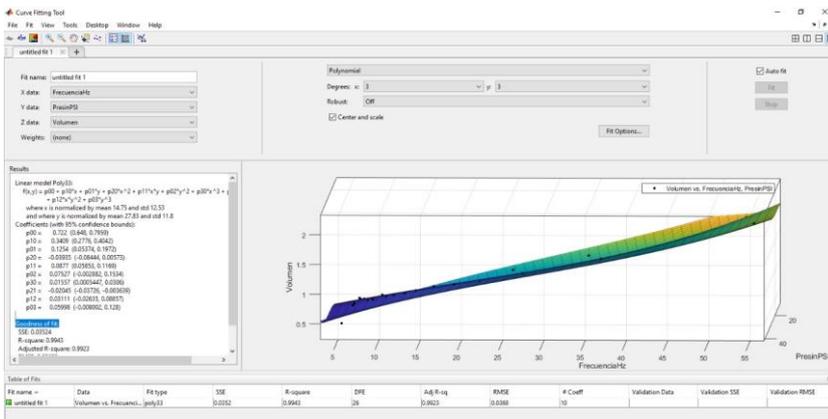


Gráfico 3-2. Modelado curva de volumen vista 2.

Fuente: (Autores, 2021)

Obteniendo una ecuación:

*Ecuación 2-3: Modelo de la curva*

$$C = 10.77 + 0.007503 * (P) - 1.475 * (Tof) + 0.005 * (P) * (Tof) + 0.061 * (Tof) * (Tof) - 0.00012 * (P) * (Tof) * (Tof) - 0.0007 * (Tof) * (Tof) * (Tof)$$

Fuente: (Autores, 2021)

Donde:

C = caudal

P = presión

Toff = Tiempo de apagado

**Tabla 5-3.** Datos obtenidos a partir del prototipo.

Presión (PSI)	Frecuencia (Hz)	Ton (ms)	Toff (ms)	Volumen	N. Muestras
39,66	5,29	2,01	186,86	14	30
17,11	5,29	2,01	186,86	10	30
38,57	5,59	2	176,9	18	30
18,88	5,59	2	176,9	12	30
38,97	5,92	2	166,93	20	30
14,2	5,92	2	166,93	12	30
39,16	6,29	2	156,97	20	30
18,2	6,29	2	156,97	14	30
40,54	6,76	2,01	146,01	20	30
18,29	6,76	2,01	146,01	14	30
40,15	7,24	2	136,04	21	30
19,17	7,24	2	136,04	14	30
40,35	7,81	2	126,08	23	30
18,78	7,81	2	126,08	14	30
39,95	8,54	2	116,12	23	30
11,39	8,54	2	116,12	12	30
39,66	9,25	2	106,16	23	30
15,83	9,25	2	106,16	14	30
39,66	10,19	2	96,15	24	30
16,51	10,19	2	96,15	15	30
40,44	11,47	2	85,18	27	30
15,04	11,47	2	85,18	15	30
38,87	12,78	2	76,21	27	30
14,35	12,78	2	76,21	16	30
39,26	14,87	2	65,25	29	30
12,67	14,87	2	65,25	17	30
37,69	17,16	2,01	56,28	29	30
10,7	17,16	2,01	56,28	17	30
37,29	20,7	2	46,32	32	30
17,7	20,7	2	46,32	23	30
39,36	26,07	2,01	36,36	41	30
19,96	26,07	2,01	36,36	28	30
38,87	35,22	2	26,39	48	30
14,15	35,22	2	26,39	32	30
37,98	54,27	2	16,42	67	30
22,42	54,27	2	16,42	55	30

Fuente: (Autores, 2021)

Realizado por: Autores, 2021.

En la tabla 6-3 se puede visualizar los valores de volumen tanto de la ecuación matemática como la de los tubos de ensayo.

**Tabla 6-3.** Datos de volumen.

Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)	Volumen (Ecuación) (mL)	Volumen (Tubos) (mL)	Margen de Error (mL)
5	30	14.3	13	1.3
10	30	23.8	22	1.8
15	30	27.3	25	2.3
20	30	33.4	31	2.4
25	30	41.2	39	2.2
30	30	46.5	44	2.5
35	30	51.2	48	3.2
40	30	58.8	56	2.8
45	30	64.2	61	3.2
50	30	70.1	67	3.1

Fuente: (Autores, 2021)

Realizado por: Autores, 2021.

Al comparar los valores obtenidos de la ecuación con el resultado del volumen de los tubos de ensayo se puede deducir que hay una diferencia mínima 1.3 y máxima de 3.2 mililitros.

De estos dos valores tomaremos el mayor (3.2 mililitros), pues representa la máxima desviación respecto al valor real. Transformándolo de mililitros a galones se obtiene que 3.2 mililitros equivale a 0.000818933 galones que representa el 0.082 % por encima del galón, teniendo un margen de error del 5.24%. Por lo tanto, al ser un porcentaje muy pequeño no afecta de manera significativa al resultado final

### 3.7.2 Pruebas realizadas en el vehículo

Para realizar las pruebas en el vehículo se instaló el sensor de presión antes del riel de los inyectores en el vehículo como se muestra en la figura 21-3. La señal cuadrada emitida de la computadora entra a los inyectores, la misma será conectada a la placa principal donde se encuentra la tarjeta de desarrollo capaz de tomar los datos de tiempo y presión.

Al conectar a la placa principal tanto la señal de entrada del inyector y el sensor de presión, se procede a conectar a la Pc para poder interactuar con el HMI, en donde se puede observar todos los valores de presión, tiempo, así como caudal y volumen. Los mismos datos son guardados en una base de datos.



**Figura 21-3.** Conexión del prototipo al vehículo de pruebas

Fuente: (Autores, 2021)

Para proceder a realizar las pruebas se debía:

- Llenar el tanque de gasolina del auto
- Escoger la misma gasolinera
- Escoger el mismo dispensador de gasolina



**Figura 22-3.** Valores – Gasolinera.

Fuente: (Autores, 2021)

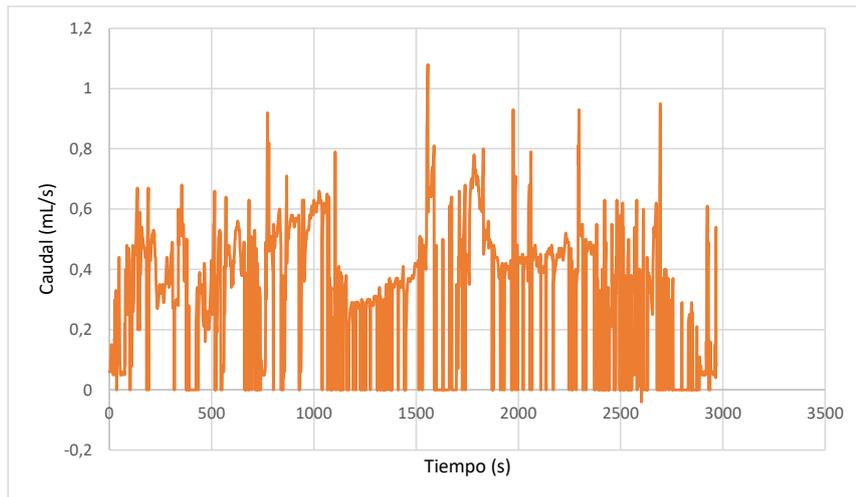
Se realizaron siete pruebas como se muestra en la tabla 7-3, y se determinó que hay un margen de error promedio de 17.72 %, y es claro que por cada galón de gasolina la diferencia es de +0,17 galones lo que equivale 0,042 galones por inyector. Estos datos fueron obtenidos mediante pruebas realizadas al vehículo en movimiento.

**Tabla 7-3.** Comparación Vol. Ecuación.

Recorrido (Km)	Consumo (Gals) REAL	Volumen (Ecuación) Por inyector	Volumen (Ecuación) (Gals) PROTOTIPO	Margen de Error por inyector (Gals)	Margen de Error (Gals)	Error %
15	0,593	0,174	0,698	0,105	0,026	17,72
25	0,988	0,291	1,163	0,175	0,044	17,72
35	1,383	0,407	1,628	0,245	0,061	17,72
40	1,580	0,465	1,860	0,280	0,070	17,72
50	1,975	0,581	2,325	0,350	0,088	17,72
55	2,173	0,639	2,558	0,385	0,096	17,72
60	2,370	0,697	2,790	0,420	0,105	17,72

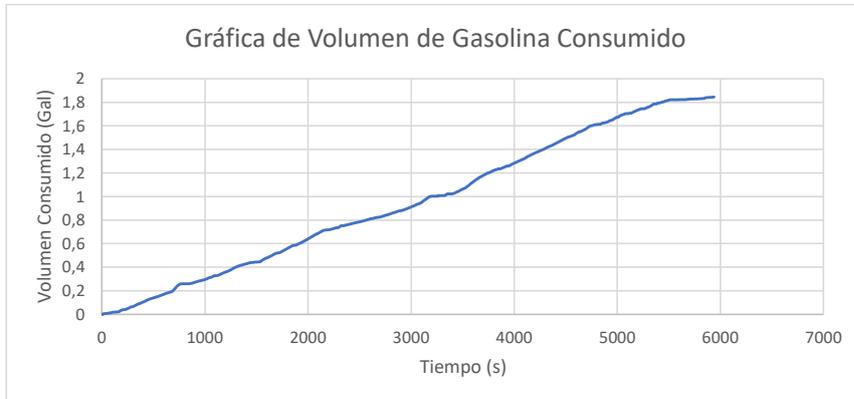
Fuente: (Autores, 2021)

Realizado por: Autores, 2021.



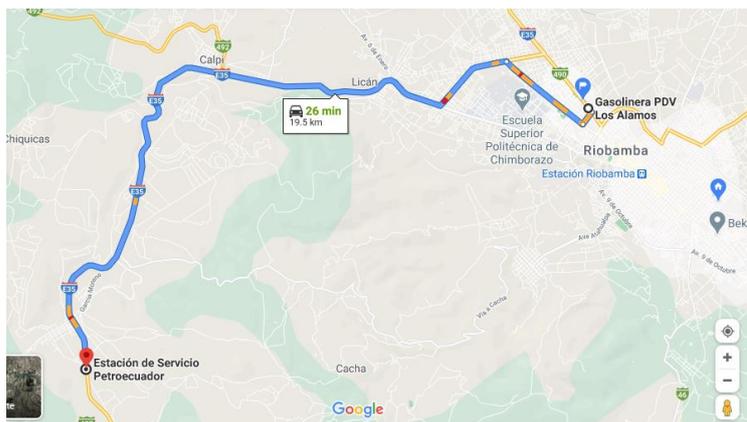
**Gráfico 4-3.** Caudal vs. Tiempo.

Fuente: (Autores, 2021)



**Gráfico 5-3.** Volumen de gasolina consumido.

Fuente: (Autores, 2021).



**Figura 23-3.** Recorrido de la prueba

Fuente: (Autores, 2021)

**Tabla 8-3.** Datos de Origen y Destino del ciclo de conducción.

Sentido	Origen	Destino	Avda/Calles	Distancia (Km)
Este- Oeste	Gasolinera PDV LOS ALAMOS	Estación de Servicio PetroEcuador "MURAL FUNDACIÓN DE QUITO"	Carretera Panamericana, Cajabamba	21.36
Oeste - Este	Estación de Servicio PetroEcuador "MURAL FUNDACIÓN DE QUITO"	Gasolinera PDV LOS ALAMOS	Av. Lizarzaburu y Saint Amand Montrond - Riobamba	20.95

Fuente: (Autores, 2021)

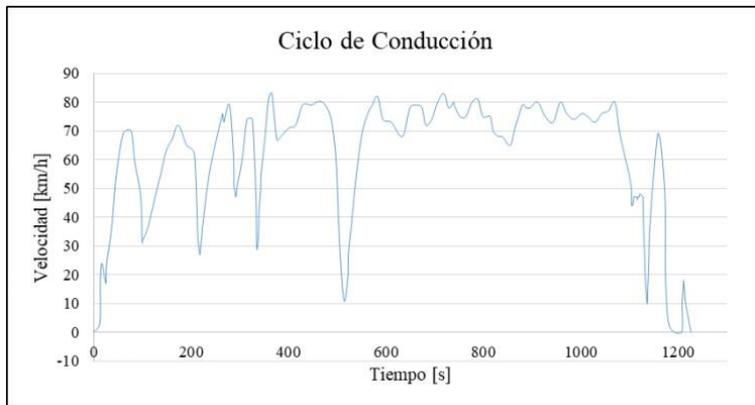
Realizado por: Autores, 2021.

**Tabla 9-3.** Parámetros determinados en el ciclo de conducción

Sentido	Oeste - Este	Este - Oeste
Elevación Mínima	2750 msnm	2750 msnm
Elevación Máxima	3212 msnm	3212 msnm
Elevación Promedio	2980 msnm	2980 msnm
Ascenso Total	385 m	107 m
Descenso Total	150 m	341 m
Elevación de Inicio	2750 msnm	3212 msnm
Elevación Final	3212 msnm	2750 msnm

Fuente: (Autores, 2021)

Realizado por: Autores, 2021.



**Gráfico 6-3.** Velocidad vs Tiempo. Ciclo de conducción

Fuente: (Autores, 2021).

### 3.7.3 Pruebas realizadas en el dinamómetro

#### 3.7.3.1 Dinamómetro

El dinamómetro es un equipo auxiliar que ayuda a determinar los parámetros de potencia, torque, RPM, potencia transferida y potencia de motor de un vehículo simulando condiciones reales de manejo.

### 3.7.3.2 Resultados



**Gráfico 7-3.** Curvas de datos extraídos con el dinamómetro.

**Fuente:** (Autores, 2021)

Las tablas 10.3 y 11.3 muestran los valores obtenidos por pruebas realizadas en el dinamómetro.

**Tabla 10-3.** Datos específicos – dinamómetro.

Variable	RPM	Max	Prom
Potencia	6500,0	101,6	50,7
Torque	4800,00	12,94	12,08
RPM	7000	6978	3004
Potencia Trans.	6900,0	16,9	5,6
Potencia Motor	6700,0	117,2	56,2

**Fuente:** (Autores, 2021)

**Realizado por:** Autores, 2021.

**Tabla 11-3.** Datos generales – dinamómetro.

RPM	Potencia	Potencia Motor	Potencia Trans	T	Torque	Factor
3000	50,7	56,2	5,6	0,064	12,08	<b>1,14</b>
3100	52,6	58,4	5,7	0,516	12,15	<b>1,140</b>
3200	53,3	59,2	6,0	0,766	11,92	<b>1,140</b>
3300	55,0	61,1	6,2	1,172	11,95	<b>1,140</b>
3400	56,3	62,7	6,4	1,609	11,83	<b>1,140</b>
3500	57,2	63,8	6,7	1,813	11,70	<b>1,140</b>
3600	58,4	65,3	6,9	2,201	11,67	<b>1,140</b>
3700	60,1	67,3	7,1	2,607	11,67	<b>1,140</b>
3800	63,2	70,6	7,3	2,950	11,91	<b>1,140</b>
3900	66,7	74,3	7,6	3,309	12,25	<b>1,140</b>

4000	69,6	77,4	7,8	3,699	12,44	<b>1,140</b>
4100	72,1	80,2	8,0	4,057	12,55	<b>1,140</b>
4200	73,7	81,9	8,2	4,354	12,53	<b>1,140</b>
4300	75,3	83,8	8,5	4,713	12,52	<b>1,140</b>
4400	77,5	86,3	8,8	5,056	12,58	<b>1,140</b>
4500	79,9	88,9	9,0	5,368	12,70	<b>1,140</b>
4600	82,4	91,7	9,3	5,664	12,83	<b>1,140</b>
4700	84,5	94,1	9,6	5,960	12,90	<b>1,140</b>
4800	86,5	96,3	9,8	6,257	12,94	<b>1,140</b>
4900	87,8	97,9	10,1	6,709	12,84	<b>1,140</b>
5000	89,7	100,0	10,4	7,006	12,83	<b>1,140</b>
5100	91,7	102,3	10,6	7,271	12,90	<b>1,140</b>
5200	93,0	104,0	10,9	7,708	12,83	<b>1,140</b>
5300	93,9	105,1	11,2	7,973	12,70	<b>1,140</b>
5400	95,4	106,9	11,5	8,363	12,67	<b>1,140</b>
5500	96,4	108,2	11,8	8,597	12,57	<b>1,140</b>
5600	97,4	109,5	12,2	9,003	12,49	<b>1,140</b>
5700	98,7	111,2	12,5	9,424	12,40	<b>1,140</b>
5800	99,8	112,6	12,8	9,753	12,31	<b>1,140</b>
5900	100,3	113,4	13,2	10,172	12,14	<b>1,140</b>
6000	100,6	114,1	13,5	10,500	11,97	<b>1,140</b>
6100	100,9	114,8	13,9	10,859	11,81	<b>1,140</b>
6200	101,0	115,3	14,2	11,202	11,65	<b>1,140</b>
6300	101,2	115,8	14,6	11,561	11,49	<b>1,140</b>
6400	101,3	116,4	15,0	11,862	11,35	<b>1,140</b>
6500	101,6	117,0	15,4	12,310	11,21	<b>1,140</b>
6600	101,0	116,9	15,8	12,747	10,96	<b>1,140</b>
6700	100,9	117,2	16,4	13,105	10,77	<b>1,140</b>
6800	99,8	116,6	16,8	13,511	10,52	<b>1,140</b>
6900	38,3	55,2	16,9	16,662	3,98	<b>1,140</b>
7000	37,0	37,0	0,0	15,352	3,79	<b>1,140</b>
<b>Promedio</b>	<b>80,6</b>	<b>90,9</b>	<b>10,3</b>	<b>7,170</b>	<b>11,74</b>	<b>1,140</b>

Fuente: (Autores, 2021)

Realizado por: Autores, 2021.

### 3.7.3.3 Cálculo del consumo específico de combustible

Para determinar el consumo específico de combustible a través de las pruebas con el dinamómetro se tiene que tener en cuenta que durante 7 segundos se modificaban las RPM del vehículo, teniendo en cuenta el volumen de gasolina, la densidad, la potencia generada y el tiempo de prueba se puede obtener el consumo específico en gramos por Kilovatio Hora (g/KW h).

*Ecuación 3-3: Consumo específico*

$$C_e = \frac{V * D * 3600}{P * T} \left( \frac{g}{kW * h} \right)$$

Fuente: (Palomo Palomo, y otros, 2012)

Donde:

V = Volumen del tanque de gasolina gastado

D = densidad (0.73 g/cm<sup>3</sup>)

P = Potencia (determinada en el dinamómetro)

T = Tiempo de la prueba expresado en horas: t(h) = t(s)/3600

Con los valores antes mencionados se calcula los consumos para cada número de revoluciones (RPM) como se muestra en la tabla 12-3.

*3.7.3.4 Conversión del consumo de combustible a galones por segundo*

La conversión del combustible específico dados en gramos por kilovatio hora a galones por segundo se realiza ocupando la siguiente formula.

*Ecuación 4-3: Consumo específico en galones por segundo*

$$Consumo = \frac{P * C_e}{D * 3.78541 * 3600} \left( \frac{Gal}{s} \right)$$

Fuente: (Palomo Palomo, y otros, 2012)

Donde:

P = Potencia (determinada en el dinamómetro)

C<sub>e</sub> = consumo específico  $\left( \frac{g}{kW * h} \right)$

D = densidad (730 Kg/m<sup>3</sup>)

3.78541 Litros = 1 Galón

**Tabla 12-3.** Datos del dinamómetro obtenidos según RPM.

RPM	Potencia (kW)	Tiempo (s)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Consumo (g/Kw *h)	Consumo (Gal/s)	Volumen en el tiempo
3000	50,7	7,23	0.033792	875,7926627	0,00445976	0,03121835
3100	52,6	7,23	0.007292	182,1613688	0,00096238	0,00673663
3200	53,3	7,23	0.007292	179,7690056	0,00096238	0,00673663
3300	55,0	7,23	0,002344	56,00029091	0,00030935	0,00216548

Comentado [CPP7]: Enumerar todas las fórmulas

3400	56,3	7,23	0,001976	46,1183659	0,00026079	0,0018255
3500	57,2	7,23	0,002336	53,66265734	0,0003083	0,00215809
3600	58,4	7,23	0,002356	53,01	0,00031094	0,00217656
3700	60,1	7,23	0,002008	43,90202995	0,00026501	0,00185507
3800	63,2	7,23	0,002316	48,15227848	0,00030566	0,00213961
3900	66,7	7,23	0,002344	46,17715142	0,00030935	0,00216548
4000	69,6	7,23	0,002336	44,10206897	0,0003083	0,00215809
4100	72,1	7,23	0,002336	42,57287101	0,0003083	0,00215809
4200	73,7	7,23	0,002336	41,64862958	0,0003083	0,00215809
4300	75,3	7,23	0,002332	40,69386454	0,00030777	0,00215439
4400	77,5	7,23	0,002336	39,60650323	0,0003083	0,00215809
4500	79,9	7,23	0,002338	38,44971214	0,00030856	0,00215993
4600	82,4	7,23	0,002314	36,90043689	0,00030539	0,00213776
4700	84,5	7,23	0,002332	36,26328994	0,00030777	0,00215439
4800	86,5	7,23	0,002664	40,46816185	0,00035159	0,00246111
4900	87,8	7,23	0,002324	34,78059226	0,00030671	0,002147
5000	89,7	7,23	0,002328	34,10247492	0,00030724	0,0021507
5100	91,7	7,23	0,002324	33,30137405	0,00030671	0,002147
5200	93,0	7,23	0,002336	33,00541935	0,0003083	0,00215809
5300	93,9	7,23	0,002324	32,52115016	0,00030671	0,002147
5400	95,4	7,23	0,002324	32,00981132	0,00030671	0,002147
5500	96,4	7,23	0,002344	31,95037344	0,00030935	0,00216548
5600	97,4	7,23	0,002336	31,51441478	0,0003083	0,00215809
5700	98,7	7,23	0,002652	35,3062614	0,00035	0,00245002
5800	99,8	7,23	0,002696	35,49643287	0,00035581	0,00249067
5900	100,3	7,23	0,000648	8,489252243	8,5521E-05	0,00059865
6000	100,6	7,23	0,0034	44,40954274	0,00044872	0,00314105
6100	100,9	7,23	0,000648	8,43877106	8,5521E-05	0,00059865
6200	101,0	7,23	0,002332	30,33908911	0,00030777	0,00215439
6300	101,2	7,23	0,002664	34,58988142	0,00035159	0,00246111
6400	101,3	7,23	0,002324	30,1454689	0,00030671	0,002147
6500	101,6	7,23	0,002328	30,10818898	0,00030724	0,0021507
6600	101,0	7,23	0,002324	30,2350099	0,00030671	0,002147
6700	100,9	7,23	0,002336	30,42124876	0,0003083	0,00215809
6800	99,8	7,23	0,002324	30,59855711	0,00030671	0,002147
6900	38,3	7,23	0,002324	79,73201044	0,00030671	0,002147
7000	37,0	7,23	0,002344	83,24367568	0,00030935	0,00216548

Fuente: (Autores, 2021)

Realizado por: Autores, 2021.

Obteniendo la suma del consumo de 0.127 galones consumidos en lo teórico durante las pruebas en el dinamómetro.

3.7.3.5 Consumo de gasolina en las pruebas del dinamómetro con el prototipo

El tiempo de pruebas en el dinamómetro fueron de aproximadamente 5 minutos, donde se tomaron pruebas de consumo obteniendo la siguiente tabla 13-3.

**Tabla 13-3.** Consumo de gasolina por tiempo.

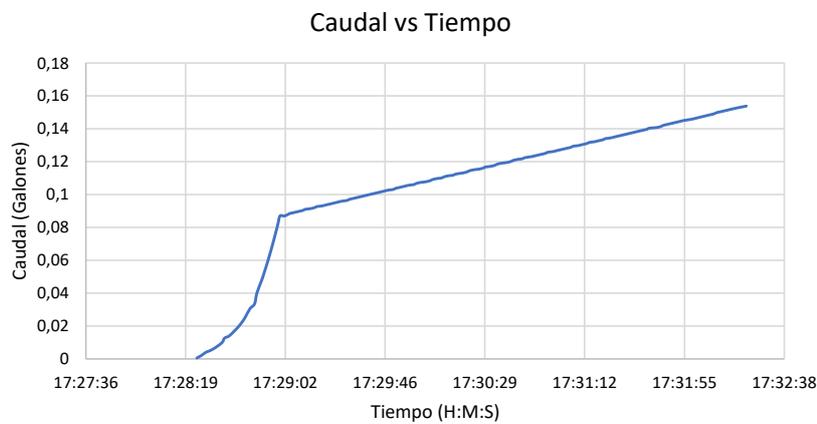
Tiempo	Consumo (Galones)
17:28:24	0,000696
17:28:33	0,007956
17:28:41	0,018152
17:28:43	0,021388
17:28:52	0,047636
17:28:53	0,051776
17:29:02	0,086956
17:29:04	0,088372
17:29:13	0,091404
17:29:15	0,092048
17:29:22	0,094372
17:29:24	0,095048
17:29:32	0,097732
17:29:34	0,0984
17:29:42	0,10106
17:29:43	0,101388
17:29:52	0,1044
17:29:54	0,105068
17:30:03	0,107728
17:30:05	0,108404
17:30:13	0,111408
17:30:15	0,111744
17:30:22	0,114408
17:30:24	0,115072
17:30:33	0,117748
17:30:34	0,118412
17:30:45	0,121732
17:30:53	0,124384
17:31:02	0,127384
17:31:04	0,128048
17:31:13	0,13104
17:31:14	0,131704
17:31:23	0,134356
17:31:25	0,135036

17:31:32	0,13736
17:31:34	0,138024
17:31:40	0,140348
17:31:43	0,140688
17:31:52	0,144028
17:31:53	0,144364
17:32:02	0,147016
17:32:04	0,147704
17:32:11	0,150368
17:32:13	0,151032
17:32:20	0,1532
17:32:22	0,15376

Fuente: (Autores, 2021)

Realizado por: Autores, 2021.

Obteniendo una gráfica 8-3 de caudal vs tiempo como se muestra en la figura. Concluyendo que el consumo total durante la prueba es de 0.15 galones es decir 0.038 galones por inyector. Con los valores obtenidos en las pruebas en el dinamómetro se tiene una diferencia de 0.023 litros que equivale al 15.33 % de margen de error.



**Gráfico 8-3.** Caudal vs. Tiempo – Dinamómetro.

Fuente: (Autores, 2021)

#### 3.7.4 Análisis de resultados

El valor de volumen arrojado por el prototipo mediante un modelado matemático fue de máximo 70.1 mililitros durante 30 segundos, mientras que de forma real por medio de una medición física

se obtuvo el valor de 67 mililitros durante el mismo tiempo obteniendo una diferencia de 3.1 mililitros, que representa 0.000818933 galones de caudal sobre el valor real que representa el 0.082 % por encima del galón, teniendo un margen de error total de 5,24%. Al ser un valor extremadamente pequeño se lo considera admitido para realizar las pruebas sobre el vehículo.

El vehículo estuvo circulando durante un tiempo aproximado de 5937 segundos, de aquí se obtuvo que de forma real el vehículo consumió 1.58 galones mientras que según los datos arrojados por el prototipo el consumo del vehículo es de 1.86 galones con un error resultante de 17,72%.

Para realizar la validación de estos resultados se efectuaron varias pruebas a través de un dinamómetro. Los datos arrojados por este mecanismo fueron:

- RPM
- Potencia
- Potencia del Motor
- Potencia de transferencia
- Torque
- Factor

Con estos valores se pudo determinar el consumo específico de combustible, siendo este de 0.127 galones durante un tiempo total de 287 segundos. Esta es la forma teórica de determinarlo, pero al mismo tiempo se realizó la conexión con el prototipo y se obtuvo un consumo de 0.15 galones, usando el modelado matemático ya explicado, teniendo una diferencia de 0.023 mililitros que equivale al 15.33 % de margen de error.

### 3.7.5 Validación de los resultados

Se construye la tabla 14-3, con datos obtenidos del prototipo de manera experimental a diferentes frecuencias y se toma como referencia un tiempo de 30 minutos (1800 segundos) que en la práctica es el valor mínimo que recorre un automóvil durante el día.

**Tabla 14-3.** Consumo de gasolina según frecuencia.

Consumo Prototipo (Gal)					Tiempo (s)
10 Hz	20 Hz	30 Hz	40 Hz	50 Hz	
0	0	0	0	0	0
0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	30
0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	60
0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	90
0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	120

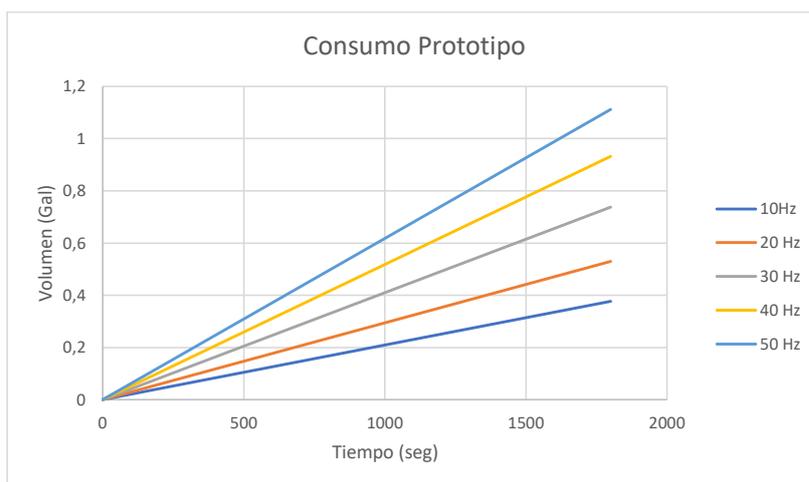
0,03	0,04	0,06	0,08	0,09	150
0,04	0,05	0,07	0,09	0,11	180
0,04	0,06	0,09	0,11	0,13	210
0,05	0,07	0,10	0,12	0,15	240
0,06	0,08	0,11	0,14	0,17	270
0,06	0,09	0,12	0,16	0,19	300
0,07	0,10	0,14	0,17	0,20	330
0,08	0,11	0,15	0,19	0,22	360
0,08	0,11	0,16	0,20	0,24	390
0,09	0,12	0,17	0,22	0,26	420
0,09	0,13	0,18	0,23	0,28	450
0,10	0,14	0,20	0,25	0,30	480
0,11	0,15	0,21	0,26	0,31	510
0,11	0,16	0,22	0,28	0,33	540
0,12	0,17	0,23	0,30	0,35	570
0,13	0,18	0,25	0,31	0,37	600
0,13	0,19	0,26	0,33	0,39	630
0,14	0,19	0,27	0,34	0,41	660
0,14	0,20	0,28	0,36	0,43	690
0,15	0,21	0,29	0,37	0,44	720
0,16	0,22	0,31	0,39	0,46	750
0,16	0,23	0,32	0,40	0,48	780
0,17	0,24	0,33	0,42	0,50	810
0,18	0,25	0,34	0,43	0,52	840
0,18	0,26	0,36	0,45	0,54	870
0,19	0,26	0,37	0,47	0,56	900
0,19	0,27	0,38	0,48	0,57	930
0,20	0,28	0,39	0,50	0,59	960
0,21	0,29	0,41	0,51	0,61	990
0,21	0,30	0,42	0,53	0,63	1020
0,22	0,31	0,43	0,54	0,65	1050
0,23	0,32	0,44	0,56	0,67	1080
0,23	0,33	0,45	0,57	0,69	1110
0,24	0,34	0,47	0,59	0,70	1140
0,25	0,34	0,48	0,61	0,72	1170
0,25	0,35	0,49	0,62	0,74	1200
0,26	0,36	0,50	0,64	0,76	1230
0,26	0,37	0,52	0,65	0,78	1260
0,27	0,38	0,53	0,67	0,80	1290
0,28	0,39	0,54	0,68	0,81	1320
0,28	0,40	0,55	0,70	0,83	1350
0,29	0,41	0,57	0,71	0,85	1380
0,30	0,41	0,58	0,73	0,87	1410
0,30	0,42	0,59	0,75	0,89	1440
0,31	0,43	0,60	0,76	0,91	1470
0,31	0,44	0,61	0,78	0,93	1500

0,32	0,45	0,63	0,79	0,94	1530
0,33	0,46	0,64	0,81	0,96	1560
0,33	0,47	0,65	0,82	0,98	1590
0,34	0,48	0,66	0,84	1,00	1620
0,35	0,49	0,68	0,85	1,02	1650
0,35	0,49	0,69	0,87	1,04	1680
0,36	0,50	0,70	0,89	1,06	1710
0,36	0,51	0,71	0,90	1,07	1740
0,37	0,52	0,72	0,92	1,09	1770
0,38	0,53	0,74	0,93	1,11	1800

Fuente: (Autores, 2021)

Realizado por: Autores, 2021.

Estos datos se representan en el gráfico 9-3. en el cual se aprecia de mejor manera su evolución a través del tiempo.



**Gráfico 9-3.** Consumo de gasolina Prototipo.

Fuente: (Autores, 2021)

A continuación, se procede a realizar la tabla 15-3, en dónde se presenta los datos de las pruebas realizadas en el vehículo vs. los datos correspondientes a la frecuencia con los que más estrechamente se relaciona, determinando así valores de frecuencia de 20 Hz.

**Tabla 15-3.** Consumo de gasolina Prototipo - Vehículo 20 Hz vs. Frecuencia.

Consumo (Gal)		Tiempo (s)
Vehículo	20Hz	
0,00	0,00	0

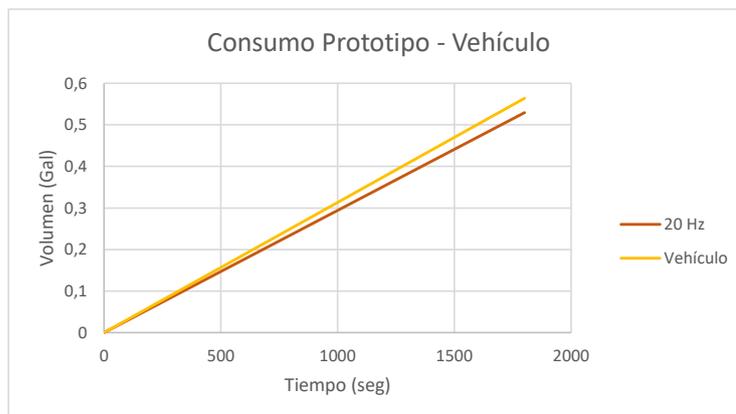
0,01	0,01	30
0,02	0,02	60
0,03	0,03	90
0,04	0,04	120
0,05	0,04	150
0,06	0,05	180
0,07	0,06	210
0,08	0,07	240
0,08	0,08	270
0,09	0,09	300
0,10	0,10	330
0,11	0,11	360
0,12	0,11	390
0,13	0,12	420
0,14	0,13	450
0,15	0,14	480
0,16	0,15	510
0,17	0,16	540
0,18	0,17	570
0,19	0,18	600
0,20	0,19	630
0,21	0,19	660
0,22	0,20	690
0,23	0,21	720
0,24	0,22	750
0,24	0,23	780
0,25	0,24	810
0,26	0,25	840
0,27	0,26	870
0,28	0,26	900
0,29	0,27	930
0,30	0,28	960
0,31	0,29	990
0,32	0,30	1020
0,33	0,31	1050
0,34	0,32	1080
0,35	0,33	1110
0,36	0,34	1140
0,37	0,34	1170
0,38	0,35	1200
0,39	0,36	1230
0,39	0,37	1260
0,40	0,38	1290
0,41	0,39	1320
0,42	0,40	1350
0,43	0,41	1380

0,44	0,41	1410
0,45	0,42	1440
0,46	0,43	1470
0,47	0,44	1500
0,48	0,45	1530
0,49	0,46	1560
0,50	0,47	1590
0,51	0,48	1620
0,52	0,49	1650
0,53	0,49	1680
0,54	0,50	1710
0,55	0,51	1740
0,55	0,52	1770
0,56	0,53	1800

Fuente: (Autores, 2021)

Realizado por: Autores, 2021.

El gráfico 10-3, corresponde a los valores anteriormente expuestos en dónde se puede apreciar la proximidad entre las rectas.



**Gráfico 10-3.** Consumo gasolina Prototipo – vehículo a 20 Hz.

Fuente: (Autores, 2021)

### 3.7.6 Validación con el dinamómetro

En la tabla 16-3. se muestran los datos obtenidos tanto del vehículo por medio del prototipo como los del dinamómetro, de estos se extrae el porcentaje de error que es de 27%.

**Tabla 16-3.** Consumo gasolina Prototipo - vehículo vs. Dinamómetro.

Consumo (Gal)		Tiempo (s)	Error Absoluto (Gal)	Error porcentual
Vehículo	Dinamómetro			
0,00	0,00	0	0,00	0%
0,01	0,01	30	0,00	27%
0,02	0,03	60	0,01	27%
0,03	0,04	90	0,01	27%
0,04	0,05	120	0,01	27%
0,05	0,06	150	0,02	27%
0,06	0,08	180	0,02	27%
0,07	0,09	210	0,02	27%
0,08	0,10	240	0,03	27%
0,08	0,12	270	0,03	27%
0,09	0,13	300	0,03	27%
0,10	0,14	330	0,04	27%
0,11	0,15	360	0,04	27%
0,12	0,17	390	0,04	27%
0,13	0,18	420	0,05	27%
0,14	0,19	450	0,05	27%
0,15	0,21	480	0,06	27%
0,16	0,22	510	0,06	27%
0,17	0,23	540	0,06	27%
0,18	0,24	570	0,07	27%
0,19	0,26	600	0,07	27%
0,20	0,27	630	0,07	27%
0,21	0,28	660	0,08	27%
0,22	0,30	690	0,08	27%
0,23	0,31	720	0,08	27%
0,24	0,32	750	0,09	27%
0,24	0,33	780	0,09	27%
0,25	0,35	810	0,09	27%
0,26	0,36	840	0,10	27%
0,27	0,37	870	0,10	27%
0,28	0,39	900	0,10	27%
0,29	0,40	930	0,11	27%
0,30	0,41	960	0,11	27%
0,31	0,42	990	0,11	27%
0,32	0,44	1020	0,12	27%
0,33	0,45	1050	0,12	27%
0,34	0,46	1080	0,12	27%
0,35	0,48	1110	0,13	27%
0,36	0,49	1140	0,13	27%
0,37	0,50	1170	0,13	27%
0,38	0,51	1200	0,14	27%
0,39	0,53	1230	0,14	27%
0,39	0,54	1260	0,14	27%

0,40	0,55	1290	0,15	27%
0,41	0,57	1320	0,15	27%
0,42	0,58	1350	0,16	27%
0,43	0,59	1380	0,16	27%
0,44	0,60	1410	0,16	27%
0,45	0,62	1440	0,17	27%
0,46	0,63	1470	0,17	27%
0,47	0,64	1500	0,17	27%
0,48	0,66	1530	0,18	27%
0,49	0,67	1560	0,18	27%
0,50	0,68	1590	0,18	27%
0,51	0,69	1620	0,19	27%
0,52	0,71	1650	0,19	27%
0,53	0,72	1680	0,19	27%
0,54	0,73	1710	0,20	27%
0,55	0,75	1740	0,20	27%
0,55	0,76	1770	0,20	27%
0,56	0,77	1800	0,21	27%

Fuente: (Autores, 2021)

Realizado por: Autores, 2021

A esta tabla le corresponde el gráfico 11-3, en dónde se demuestra la distancia entre la recta de los datos del vehículo y del dinamómetro.

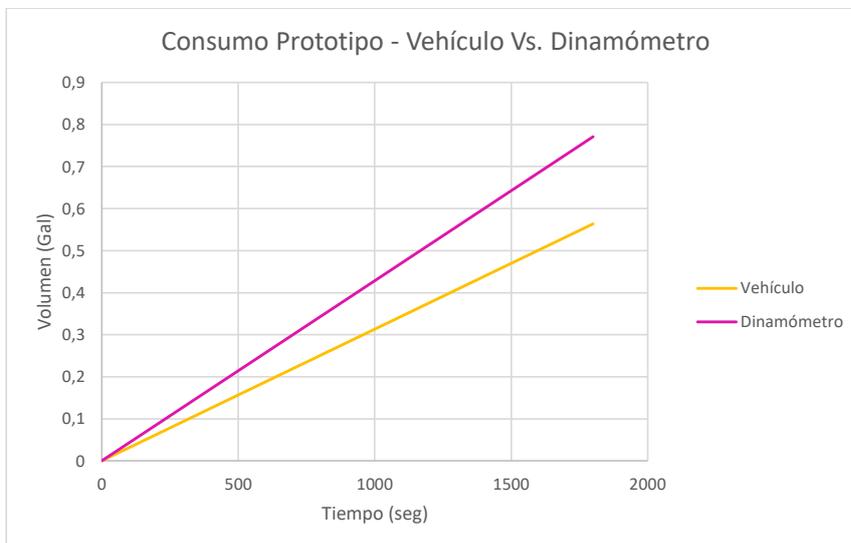


Gráfico 11-3. Consumo Prototipo – vehículo vs. Dinamómetro.

Fuente: (Autores, 2021)

De este gráfico se puede interpretar que tanto la recta del vehículo como la del dinamómetro están muy separadas y es considerado debido a la desviación del 27% que presentan entre ellas. Esta no es una conclusión definitiva ya que depende mucho de la frecuencia, es decir, de la aceleración y desaceleración que efectúe sobre el vehículo.

Los datos con los que se está comparando en la tabla 16-3, corresponden a frecuencias de 20 Hz, ahora si estos datos obtenidos del dinamómetro los comparamos con frecuencias de 30 Hz como se observa en la tabla 17-3, se puede concluir que se guarda una aproximación mucho más estrecha y por ende su error disminuye, en este caso a 4%. Por lo tanto, la técnica utilizada mediante el diseño del prototipo es válida, teniendo en cuenta la frecuencia a la que se está trabajando.

**Tabla 17-3.** Consumo gasolina Prototipo - vehículo con 30 Hz vs. Dinamómetro.

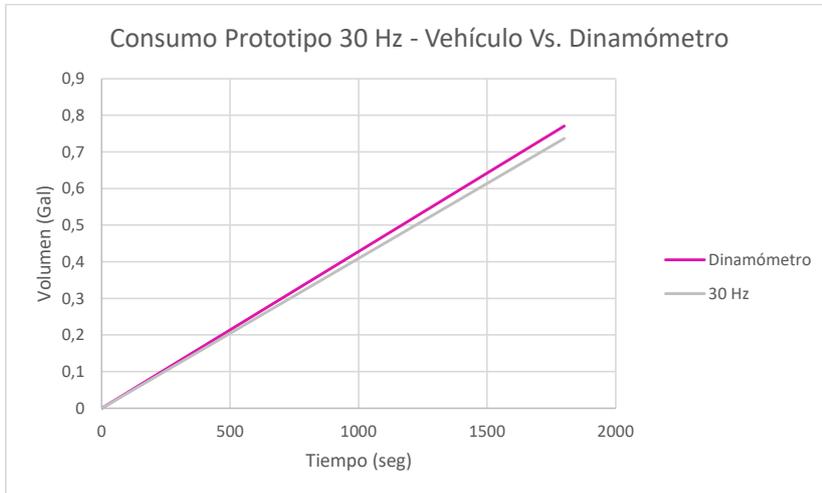
Consumo (Gal)		Tiempo (s)	Error Absoluto (Gal)	Error porcentual
Frecuencia: 30 Hz	Dinamómetro			
0,00	0,00	0	0,00	0%
0,01	0,01	30	0,00	4%
0,02	0,03	60	0,00	4%
0,04	0,04	90	0,00	4%
0,05	0,05	120	0,00	4%
0,06	0,06	150	0,00	4%
0,07	0,08	180	0,00	4%
0,09	0,09	210	0,00	4%
0,10	0,10	240	0,00	4%
0,11	0,12	270	0,01	4%
0,12	0,13	300	0,01	4%
0,14	0,14	330	0,01	4%
0,15	0,15	360	0,01	4%
0,16	0,17	390	0,01	4%
0,17	0,18	420	0,01	4%
0,18	0,19	450	0,01	4%
0,20	0,21	480	0,01	4%
0,21	0,22	510	0,01	4%
0,22	0,23	540	0,01	4%
0,23	0,24	570	0,01	4%
0,25	0,26	600	0,01	4%
0,26	0,27	630	0,01	4%
0,27	0,28	660	0,01	4%
0,28	0,30	690	0,01	4%
0,29	0,31	720	0,01	4%
0,31	0,32	750	0,01	4%
0,32	0,33	780	0,01	4%
0,33	0,35	810	0,02	4%
0,34	0,36	840	0,02	4%

0,36	0,37	870	0,02	4%
0,37	0,39	900	0,02	4%
0,38	0,40	930	0,02	4%
0,39	0,41	960	0,02	4%
0,41	0,42	990	0,02	4%
0,42	0,44	1020	0,02	4%
0,43	0,45	1050	0,02	4%
0,44	0,46	1080	0,02	4%
0,45	0,48	1110	0,02	4%
0,47	0,49	1140	0,02	4%
0,48	0,50	1170	0,02	4%
0,49	0,51	1200	0,02	4%
0,50	0,53	1230	0,02	4%
0,52	0,54	1260	0,02	4%
0,53	0,55	1290	0,02	4%
0,54	0,57	1320	0,02	4%
0,55	0,58	1350	0,03	4%
0,57	0,59	1380	0,03	4%
0,58	0,60	1410	0,03	4%
0,59	0,62	1440	0,03	4%
0,60	0,63	1470	0,03	4%
0,61	0,64	1500	0,03	4%
0,63	0,66	1530	0,03	4%
0,64	0,67	1560	0,03	4%
0,65	0,68	1590	0,03	4%
0,66	0,69	1620	0,03	4%
0,68	0,71	1650	0,03	4%
0,69	0,72	1680	0,03	4%
0,70	0,73	1710	0,03	4%
0,71	0,75	1740	0,03	4%
0,72	0,76	1770	0,03	4%
0,74	0,77	1800	0,03	4%

**Fuente:** (Autores, 2021).

**Realizado por:** Autores, 2020

Para finalizar se presenta el gráfico 12-3, relacionando los datos del prototipo con frecuencia de 30 Hz y los datos de dinamómetro.



**Gráfico 12-3.** Consumo Prototipo 30 Hz - Vehículo Vs. Dinamómetro  
**Fuente:** (Autores, 2021).

## CAPÍTULO IV

### 4 GESTIÓN DEL PROYECTO

#### 4.1 Cronograma

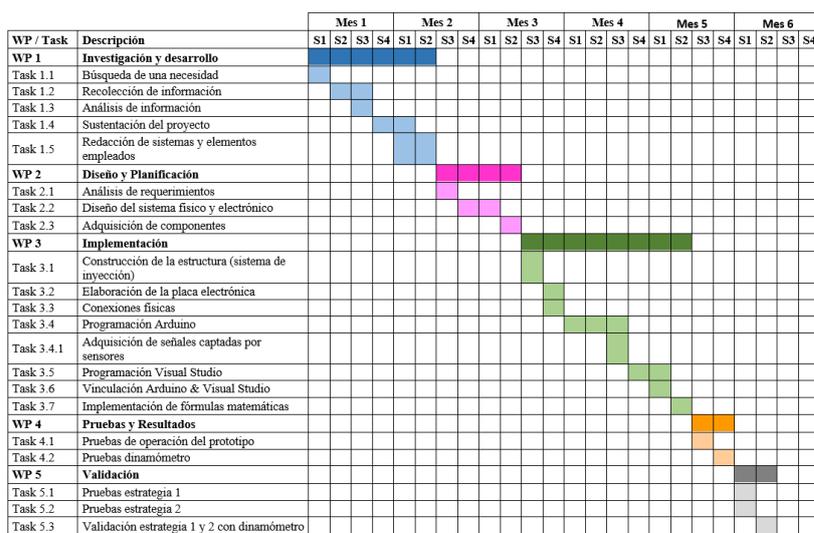


Figura 1-4. Cronograma

Fuente: (Autores, 2021)

#### 4.2 Presupuesto

##### 4.2.1 Elementos y materiales

Tabla 1-4. Presupuesto de elementos y materiales.

Elementos y materiales			
Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Canaleta delgada	1	\$8,00	\$8,00
Cable flexible # 18 (m)	5	\$0,25	\$1,25
Cable de red (m)	25	\$0,20	\$5,00
Borneras	9	\$0,15	\$1,35
Estaño	1	\$2,00	\$2,00
Pasta de soldar	1	\$2,50	\$2,50
Termoencogible	2	\$0,35	\$0,70
Baquelita	1	\$4,00	\$4,00
Frasco de prueba	4	\$2,50	\$10,00
Gasolina (gl)	4	\$1,75	\$7,00
<b>Total</b>			<b>\$41,80</b>

Fuente: (Autores, 2021).

Realizado por: Autores, 2021.

#### 4.2.2 Estructuras

**Tabla 1-3.** Presupuesto estructuras.

Estructuras			
Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Esqueleto de prototipo	1	\$25,00	\$25,00
Caja acrílica	1	\$12,00	\$12,00
Caja metálica	1	\$8,00	\$8,00
<b>Total</b>			<b>\$45,00</b>

Fuente: (Autores, 2021).  
Realizado por: Autores, 2021.

#### 4.2.3 Herramientas

**Tabla 2-4.** Presupuesto de herramientas.

Herramientas			
Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Cautín	1	\$18,00	\$18,00
Pinza	1	\$4,00	\$4,00
Cortadora	1	\$4,00	\$4,00
Peladora	1	\$5,50	\$5,50
Destornillador	1	\$3,50	\$3,50
<b>Total</b>			<b>\$35,00</b>

Fuente: (Autores, 2021).  
Realizado por: Autores, 2021.

#### 4.2.4 Equipos y dispositivos electrónicos

**Tabla 3-4.** Presupuesto de equipos y dispositivos electrónicos.

Equipos y dispositivos electrónicos			
Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Computador	1	\$550,00	\$550,00
Bomba eléctrica	1	\$15,00	\$15,00
Filtro de impurezas	1	\$5,00	\$5,00
Llave de paso	1	\$3,00	\$3,00
Manómetro analógico	1	\$7,00	\$7,00
Manguera de desfogue	1	\$1,50	\$1,50
Caudalímetro	1	\$10,00	\$10,00
Sensor de presión	1	\$25,00	\$25,00
Inyectores	4	\$55,00	\$220,00
Fuente de poder	1	\$15,00	\$15,00
Arduino Uno	1	\$15,00	\$15,00
Arduino Nano	1	\$10,00	\$10,00
<b>Total</b>			<b>\$876,50</b>

Fuente: (Autores, 2021).  
Realizado por: Autores, 2021.

#### 4.2.5 *Mano de obra y servicios*

**Tabla 4-4.** Presupuesto de mano de obra y servicios.

<b>Mano de obra y servicios</b>			
<b>Descripción</b>	<b>No. Horas</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Técnico soldador	8	\$4,50	\$36,00
Técnico electrónico	12	\$8,00	\$96,00
Dinamómetro	5	\$30,00	\$150,00
<b>Total</b>			<b>\$282,00</b>

Fuente: (Autores, 2021).

Realizado por: Autores, 2021.

#### 4.2.6 *Costos indirectos*

**Tabla 5-4.** Presupuesto de costos indirectos.

<b>Costos Indirectos</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Copias e impresiones	1	\$50,00	\$50,00
Papelería	1	\$80,00	\$80,00
Transporte	1	\$200,00	\$200,00
Otros	1	\$50,00	\$50,00
<b>Total</b>			<b>\$380,00</b>

Fuente: (Autores, 2021).

Realizado por: Autores, 2021.

#### 4.2.7 *Costo total del proyecto*

**Tabla 6-4.** Costo total del proyecto.

<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
Elementos y materiales	\$41,80
Estructuras	\$45,00
Herramientas	\$35,00
Equipos y dispositivos electrónicos	\$876,50
Mano de obra	\$282,00
Costos indirectos	\$380,00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$1.660,30</b>

Fuente: (Autores, 2021).

Realizado por: Autores, 2021.

## CONCLUSIONES

Con la prueba del caudalímetro no se pudo tener una medición correcta por causa del elemento de medición debido a que no posee una precisión óptima con el tipo de fluido (gasolina), ya que, al tener un volumen real de 67 mililitros, se genera una diferencia de 82 mililitros por encima del valor real, es decir, el 122.38 % de margen de error, siendo eliminada esta estrategia para la medición del consumo.

Con la estrategia de tiempos de inyección y presión del sistema, se realizó un modelo matemático que determine por sí solo el volumen, datos que fueron tomados y medidos de forma física, obteniendo resultados favorables, ya que en pruebas de un volumen real de 61 mL se tiene una diferencia de 3.2mL, con un margen de error de 5.24%.

Al ser instalada la segunda estrategia con el tanque lleno de gasolina en el vehículo y recorrer aproximadamente 40 Km, se comparó entre el consumo del dispensador de gasolina y el consumo de la estrategia, determinando que al estar circulando durante un tiempo aproximado de 5937 segundos, el dispensador de gasolina marcó 1.58 galones, mientras que el consumo en la estrategia fue de 1.86 galones, obteniendo una diferencia de 0,28 galones con un margen de error de 17,72%, error aceptado ya que no se conoce los factores que influyen en los dispensadores de gasolina.

Con el dinamómetro se determinó el consumo específico en base a los datos de potencia, revoluciones y tiempo, obteniendo aproximadamente en 5 minutos de pruebas el valor de 0.127 galones consumidos a diferencia de 0.15 galones consumidos con la estrategia de los tiempos de inyección como resultado un margen de error de 15,33% siendo un valor aceptable en la validación con el dinamómetro.

## **RECOMENDACIONES**

En una segunda etapa del proyecto se recomienda emplear nuevas estrategias más precisas para poder verificar el consumo de combustible en el vehículo, o mejorar una de las estrategias adquiriendo o creando un caudalímetro para vehículos, capaz de sensar el flujo de gasolina teniendo en cuenta la densidad de la misma.

Se debería tomar en cuenta las condiciones climáticas, altura del nivel del mar, temperatura ambiente, y ciclos de conducción, así como el buen estado de los inyectores de prueba, el dispensador de gasolina, y las fugas de combustible que se puedan presentar en el vehículo, para poder tener mejores resultados en las estrategias realizadas.

Se debe considerar que las diferentes formas de medición se hagan exactamente en las mismas condiciones de trabajo que fueron realizadas (mismo combustible, mismas condiciones de medio ambiente, misma temperatura ambiente, etc.) para obtener valores precisos y reales del consumo de combustible.

Para tener un mejor resultado en el modelo matemático empleado en la estrategia de tiempos de inyección y presión se recomendaría hacer más pruebas en el prototipo, con características similares a los de un vehículo; como un pedal de aceleración y motor real al final de los inyectores.

## **GLOSARIO**

<b>C</b>	Carbono
<b>CO</b>	Monóxido de carbono
<b>CO2</b>	Dióxido de carbono
<b>CTS</b>	Sensor de temperatura de refrigerante
<b>Gal</b>	Galones
<b>HC</b>	Hidrocarburos
<b>HMI</b>	Interfaz hombre - máquina
<b>Hz</b>	Hercios
<b>I2C</b>	Protocolo de comunicación serial
<b>IDE</b>	Entorno de desarrollo integrado
<b>INEC</b>	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
<b>Km</b>	Kilómetros
<b>LCD</b>	Pantalla de cristal líquido
<b>m</b>	Metros
<b>MEP</b>	Motor de encendido provocado o de ciclo Otto (gasolina)
<b>MEC</b>	Motor de encendido por compresión (Diesel)
<b>MHz</b>	Megahercios
<b>mL</b>	Mililitros
<b>NO</b>	Óxido de nitrógeno
<b>NTC</b>	Termistores de coeficiente de temperatura negativo
<b>O3</b>	Ozono
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>PMI</b>	Punto muerto inferior
<b>PMS</b>	Punto muerto superior
<b>PSI</b>	Libra por pulgada cuadrada
<b>PWM</b>	Modulación de ancho de pulso
<b>RAM</b>	Memoria de acceso aleatorio
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto
<b>V</b>	Voltios

## BIBLIOGRAFÍA

**AEADE. 2020.** Sobre el Sector Automotor – AEADE. *Sobre el Sector Automotor*. [En línea] 6 de Abril de 2020. <https://www.aeade.net/servicios/sobre-el-sector-automotor/>.

**ALONSO, JOSÉ MANUEL. 2000.** *Técnicas del automóvil: Motores*. España : Paraninfo, 2000.

**ALVAREZ, JARED. 2020.** (PDF) Manual motor clasificacion componentes tipos funcionamiento tiempos elementos bloque culata junta carter piston biela | Jared Alvarez - Academia.edu. *Manual motor clasificacion componentes tipos funcionamiento tiempos elementos bloque culata junta carter piston biela*. [En línea] 2020. [https://www.academia.edu/37504620/Manual\\_motor\\_clasificacion\\_componentes\\_tipos\\_funcionamiento\\_tiempos\\_elementos\\_bloque\\_culata\\_junta\\_carter\\_piston\\_biela](https://www.academia.edu/37504620/Manual_motor_clasificacion_componentes_tipos_funcionamiento_tiempos_elementos_bloque_culata_junta_carter_piston_biela).

**ALZALLÚ SORIANO, J. ANTONIO. 2016.** Bloque, culata y cárter del motor de combustión | Semantic Scholar. *Bloque, culata y cárter del motor de combustión*. [En línea] 2016. <https://www.semanticscholar.org/paper/Bloque%2C-culata-y-c%3%A1rter-del-motor-de-combusti%C3%B3n-Soriano-Antonio/6e19e9a76e35e07461f78842257f577c6e06f4db?p2df>.

**AMÁN JIMENEZ, ALEXANDRA ANDREA Y CASTELO VALDIVIESO, JUAN CARLOS. 2012.** *Construcción e implementación de un tablero didáctico de un sistema de inyección electrónica monotronic mp 9.0 de Volkswagen gol 1.8 modelo 2002 para la escuela de ingeniería automotriz*. Riobamba : ESPOCH, 2012. UDCTFM;65T00030.

**ARIAS MONTAÑO, ELMER ISRAEL Y LUDEÑA AYALA, JOSÉ ANDRÉS. 2018.** *Estimación del consumo de combustible y niveles de emisiones contaminantes de un vehículo de categoría M1 en rutas con mayor grado de saturación en la ciudad de Cuenca*. Cuenca - Ecuador : Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2018.

**ARMAS VÁSQUEZ, DIEGO FERNANDO Y VALLEJO DELGADO, ALBERTO ESTEBAN. 2013.** *Implementación de un sistema de inyección multipunto programable en un vehículo a carburador*. Quito : Universidad San Francisco de Quito, 2013.

**AUTO AVANCE. 2012.** El Riel de Alta Presión Common Rail - Blog Técnico Automotriz. *El Riel de Alta Presión: "Common Rail"*. [En línea] 23 de Julio de 2012. <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/102-el-riel-de-alta-presion-common-rail/>.

**AUTOCRASH. 2015.** Así son los sentidos del automóvil - Revista Autocrash. *Así son los sentidos del automóvil*. [En línea] 15 de Septiembre de 2015. <https://www.revistaautocrash.com/electromecanica-principales-actuadores-en-el-vehiculo-y-sus-posibles-fallos-2/>.

**AUTODATO. 2020.** Vehículos en Ecuador: las marcas y modelos mas vendidos en 2019. *Ventas 2019, Ecuador: el año cerró en positivo*. [En línea] 27 de Enero de 2020. <https://www.autodato.com/ventas-2019-ecuador-el-ano-cerro-en-positivo>.

**AUTOSCOOUT 24. 2018.** El motor del automóvil - AutoScout24. *El motor del automóvil*. [En línea] 5 de Diciembre de 2018. <https://www.autoscout24.es/informacion/asesor/tecnologia-del-automovil/motor-coche/>.

**ÁVILA AVELINO, ALFREDO ALEJANDRO. 2016.** *Estudio e implementación del dinamómetro de chasis modelo x tracción 2 ruedas del fabricante DYNOCOM*. Guayaquil : Universidad Internacional del Ecuador, 2016.

**AYALA, DAVID. 2020.** Ciclo Otto, gasolina, cuatro tiempos. *estrellasestrellasestrellasestrellasestrellas*. [En línea] MOTORGIGA, 2020. <https://motorgiga.com/el-automovil-a-fondo/ciclo-otto-gasolina-cuatro-tiempos/gmx-niv199-con347032.htm>.

**CABRERA ESCOBAR, RAÚL VINICIO Y CIFIENTES VERA, VICTOR XAVIER. 2009.** *Adaptación de un sistema de inyección programable en un vehículo a carburador*. Riobamba : ESPOCH, 2009.

**CALAZA, HERNANDO. 2014.** ¿Cuáles son los tipos de motores para auto? *¿Cuáles son los tipos de motores para auto?* [En línea] 18 de Septiembre de 2014. <http://noticias.espanol.autocosmos.com/2014/09/18/cuales-son-los-tipos-de-motores-para-auto>.

**CÁRDENAS RAMOS, , EDWIN JAVIER Y KASLIN DIQUE, JORGE GUSTAVO. 2006.** *Caracterización tecnológica del parque metropolitano de Quito y propuesta para la reforma de la normativa ecuatoriana de emisiones en fuentes móviles terrestres.* Quito : Escuela Politécnica Nacional, 2006.

**CERECERO OLIVERA, MIGUEL ANGEL. 2013.** *Diseño de un Dinamómetro de Chasis Para Vehículos de hasta 3500 kg de Peso Bruto Vehicular.* México : Universidad Nacional Autónoma de México, 2013.

**DIARIO EL UNIVERSO. 2019.** ¿Cómo reducir el impacto ambiental del transporte diario? | Ecología | La Revista | El Universo. *¿Cómo reducir el impacto ambiental del transporte diario?* . [En línea] 24 de Junio de 2019. <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/06/24/nota/7391994/como-reducir-impacto-ambiental-transporte-diario/#:~:text=Se%20calcula%20analizando%20diferentes%20factores,riesgo%20ambiental%20para%20la%20salud>.

**DÍAZ, FERNANDO. 2015.** ¿Cómo funciona el sistema de inyección de combustible? *¿Cómo funciona el sistema de inyección de combustible?* [En línea] 28 de Agosto de 2015. <http://noticias.espanol.autocosmos.com/2015/08/28/como-funciona-el-sistema-de-inyeccion-de-combustible>.

**EDITORIAL META. 2010.** *Oficial primera conductor, Oficial segunda conductor, Grupo iV, Personal Laboral de la administración de la comunidad autónoma de extremadura.*, España : Editorial Meta, 2010.

**EL COMERCIO ECUADOR. 2019.** Parque automotor de Ecuador creció en 1,4 millones de vehículos en una década | El Comercio. *Parque automotor de Ecuador creció en 1,4 millones de vehículos en una década.* [En línea] 1 de Noviembre de 2019. <https://www.elcomercio.com/actualidad/parque-automotor-ecuador-crecimiento-decada.html>.

**EL COMERCIO. 2020.** El número de motos aumentó siete veces en 10 años; revise el crecimiento del parque automotor en Ecuador | El Comercio. *El número de motos aumentó siete veces en 10 años; revise el crecimiento del parque automotor en Ecuador.*

[En línea] 10 de Marzo de 2020. <https://www.elcomercio.com/datos/ecuador-aumento-motos-siete-veces.html>.

**EL UNIVERSO. 2019.** ¿Sabes cuáles son los 10 carros preferidos por los ecuatorianos? | Motores | Entretenimiento | El Universo. *¿Sabes cuáles son los 10 carros preferidos por los ecuatorianos?* [En línea] 9 de Noviembre de 2019. <https://www.eluniverso.com/entretenimiento/2019/11/08/nota/7594208/sabes-cuales-son-10-carros-preferidos-ecuatorianos/>.

**ESCOBAR TAPIA, DANIEL SANTIAGO Y VACA MARTÍNEZ, ALEX DANILO. 2010.** *Acondicionamiento de un motor de combustión interna a gasolina con sistema de inyección electrónica como maqueta didáctica para la implementación de los laboratorios de la especialidad en ingeniería electromecánica de la unidad académica de ciencias de la.* Latacunga : Universidad Técnica de Cotopaxi, 2010.

**EXPANSIÓN. 2018.** Los autos modelo 2018 que ahorran más gasolina... y dinero | CNN. *Los autos modelo 2018 que ahorran más gasolina... y dinero.* [En línea] CNN, 5 de Enero de 2018. <https://cnnespanol.cnn.com/2018/01/05/autos-ahorradores-gasolina-dinero-kia-ford-chevrolet-hyundai-smart/>.

**FERNÁNDEZ LLANZHI, IVÁN ERNESTO Y INGA INGA, HUGO SANTIAGO. 2017.** *Análisis de los métodos de falla del sistema de inyección electrónica de combustible Multec Delphi.* Cuenca : Universidad Politécnica Salesiana, 2017.

**GRANJA BORJA , SANTIAGO NICOLÁS. 2019.** *Estudio comparativo de potencia de los sistemas de alimentación de combustible a 2800 MSNM.* Quito : Universidad Internacional del Ecuador, 2019.

**GUACHAMIN QUISPE , NELSON PAÚL. 2016.** *Implementación del sistema de inyección electrónica a gasolina a un vehículo Mazda 323.* Quito : Universidad San Francisco de Quito, 2016.

**HERNÁNDEZ ARÉVALO, HERNÁN DARIO, Y OTROS. 2017.** *Comparación de las emisiones en motores que utilizan combustible e0 y e10 en régimen transitorio.* Colombia : Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría.Cujae, 2017.

**HERRADOR ENRÍQUEZ, RAFAEL. 2019.** *Guía de Usuario de Arduino*. San Francisco, California : Creative Commons Attribution, 2019.

**HURTADO GÓMEZ, ALEJANDRO. 2014.** *Desarrollo de ciclos de conducción para el área metropolitana centro occidente - AMCO*. Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira, 2014.

**INEC. 2016.** *Trasporte 2016*. Ecuador : Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2016.

**INSTITUTO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA "VILLALVA HERVAS". 2009.** *Motores Térmicos*. España : Instituto de Educación Secundaria "Villalva Hervas", 2009.

**LIMA OYOLA, BRYAN ALEXANDER Y GÁLVEZ SANDOVAL, EDINSON JOSUÉ. 2016.** *Análisis de consumo de combustible de los vehículos de categoría M1 que circulan en el centro histórico de la ciudad de Cuenca en horas de máxima demanda en función de ciclos de conducción*. Cuenca : Universidad Politécnica Salesiana, 2016.

**LOAYZA ROMERO, YANDRI Y ABRIL RIVERA, RAÚL. 2005.** *Control del sistema de inyección de un motor a gasolina*. Cuenca : Universidad del Azuay, 2005.

**MARÍN LÓPEZ, PABLO ALEJANDRO. 2015.** *Análisis de estilos de conducción eficiente para la reducción de consumo de combustible en flota de buses*. Cuenca : Universidad de Cuenca, 2015.

**MECÁNICA AUTOMOTRIZ. 2017.** Manual de Alimentación de Motores de Ciclo Otto - Elementos y Funcionamiento | Mecánica Automotriz. *MANUAL DE ALIMENTACIÓN DE MOTORES DE CICLO OTTO – ELEMENTOS Y FUNCIONAMIENTO*. [En línea] 4 de Abril de 2017. <https://www.mecanicoautomotriz.org/1883-manual-alimentacion-motores-ciclo-otto-elementos-funcionamiento>.

**MENNA. 2020.** INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE (sistema) | Partes y su funcionamiento. *Sistema de inyección de combustible | Partes y funcionamiento*. [En línea] 2020. <https://como-funciona.co/una-inyeccion-de-combustible-sistema/>.

**MENNA, 2020.** Motor a GASOLINA | Características, partes y como funciona. *Motores de gasolina – Partes y funcionamiento*. [En línea] 2020. <https://como-funciona.co/los-motores-de-gasolina/>.

**MOTOR.ES, 2020.** El ciclo Otto: motores de dos y cuatro tiempos. *El ciclo Otto: motores de dos y cuatro tiempos*. [En línea] 2020. <https://www.motor.es/que-es/ciclo-otto>.

**NAYLAMP MECHATRONICS, 2020.** Sensor de presión HK3022 0.5MPa. *SENSOR DE PRESIÓN HK3022 0.5MPA*. [En línea] 2020. <https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/318-sensor-de-presion-hk3022-05mpa.html>.

**NUNIGE, OLIVIER, 2018.** Evaluación y comparación de métodos de medición consumo de combustible para laboratorio y ruta en un vehículo liviano | Semantic Scholar. *Evaluación y comparación de métodos de medición consumo de combustible para laboratorio y ruta en un vehículo liviano*. [En línea] 2018. <https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluaci%C3%B3n-y-comparaci%C3%B3n-de-m%C3%A9todos-de-medici%C3%B3n-de-Nunige/15c6013a43d030aecd9d6769d95a405094ad51ca?p2df>.

**OLIVO ARÉVALO, ANDRÉS, 2020.** (PDF) MANUAL MODULO A-8 SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE | Andres olivo arevalo - Academia.edu. *MANUAL MODULO A-8 SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE*. [En línea] 2020. [https://www.academia.edu/35323837/MANUAL\\_MODULO\\_A\\_8\\_SISTEMA\\_DE\\_INYECCI%C3%93N\\_ELECTR%C3%93NICA\\_DE\\_COMBUSTIBLE](https://www.academia.edu/35323837/MANUAL_MODULO_A_8_SISTEMA_DE_INYECCI%C3%93N_ELECTR%C3%93NICA_DE_COMBUSTIBLE).

**PAIDA PUENTE, MÓNICA LORENA, 2007.** *Análisis de los sensores MAP y MAF en un motor a gasolina*. Cuenca : Universidad del Azuay, 2007.

**PALOMO PALOMO, KLÉVER SANTIAGO Y PILATAXI YUNGAN, EDISON VLADIMIR, 2012.** *Diseño y construcción de un sistema de medición de consumo específico de combustible con la utilización de un software para la optimización del dinamómetro del laboratorio de motores diesel-gasolina*. Latacunga : Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga, 2012.

**PÉREZ PAREDES, CHRISTIAN RODRIGO. 2019.** *ANÁLISIS ÉTICO EN EL CAMPO DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL AUTOMOTRIZ.* Caribe : Caribeña de Ciencias Sociales, 2019. ISSN: 2254-7630.

**POSADA HENAO, JOHN Y GONZÁLES CALDERÓN, CARLOS. 2013.** *Consumo de combustible en vehículos para transporte por carretera –modelos predictivos–.* Medellín : Ingenierías Universidad de Medellín, 2013. ISSN 1692-3324.

**PRIETO AMAYA, ÁLVARO. 2018.** Motor de dos tiempos: Así funciona, pros y contras. *Motores de dos tiempos: Qué son, cómo funcionan, ventajas e inconvenientes.* [En línea] Autonoción, 20 de Noviembre de 2018. <https://www.autonocion.com/motores-dos-tiempos-funcionamiento/>.

**RAFAEL MORALES, MERCEDES YOLANDA Y HERNÁNDEZ GUZMÁN, ANDRÉS. 2014.** *Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible.* México : Sanfandila, 2014. ISSN 0188-7297.

**REVISTA MOTO. 2017.** Diferencia entre el sistema de inyección electrónica y el de carburador. *Diferencia entre el sistema de inyección electrónica y el de carburador.* [En línea] 2017. [https://revistamoto.com/wp\\_rm/diferencia-entre-un-sistema-de-inyeccion-electronica-y-carburador](https://revistamoto.com/wp_rm/diferencia-entre-un-sistema-de-inyeccion-electronica-y-carburador).

**ROCHE VALLE, JORGE ISRAEL Y LÓPEZ LUDEÑA, JOSUE PATRICIO. 2017.** *Desarrollo de un sistema de alimentación de combustible GEET para un motor ciclo OTTO, y pruebas de torque, potencia, consumo de combustible y emisiones contaminantes.* Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2017.

**RODRIGO, MARIO. 2017.** Tipos de sistemas de alimentación. Del carburador a la inyección electrónica. *Con el carburador a punto de extinguirse, aquí tenéis una guía básica de los sistemas de alimentación.* [En línea] Motor Pasión Moto, 10 de Abril de 2017. <https://www.motorpasionmoto.com/tecnologia/con-el-carburador-a-punto-de-extinguirse-aqui-teneis-una-guia-basica-de-los-sistemas-de-alimentacion>.

**SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE. 1990.** *El motor a gasolina, sistemas de alimentación, eléctrico, de refrigeración y de lubricación.* Bogota : SENA, 1990.

**SOLO PARA MECÁNICOS. 2020.** Sistemas de inyección electrónica clasificación y características. *Sistemas de inyección electrónica clasificación*. [En línea] 2020. <https://www.soloparamecanicos.com/sistemas-de-inyeccion-electronica/>.

**TECNOLOGÍA DEL AUTOMOVIL. 2014.** Tipos de inyección en el motor de gasolina. *Tipos de Inyección en el motor de gasolina*. [En línea] 11 de Junio de 2014. <https://www.tecnologia-automovil.com/articulos/actualidad/tipos-de-inyeccion-en-el-motor-de-gasolina/>.

**TOASA JIMÉNES, RODRIGO PATRICIO Y TUSTÓN HIDALGO, CARLOS HERNÁN. 2013.** *Diseño y construcción de un sistema medidor de flujo de combustible con visualizador consumo vs. recorrido, para vehículos a gasolina con sensor de caudal*. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2013.

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR. 2013.** “*Circuito de alimentación de combustible*”. *Manual ING*. Guatemala : Universidad Rafael Landívar, 2013.

**VINUEZA ESCOBAR, CRISTHIAN. 2017.** *Diseño y construcción de una impresora braille de bajo costo, utilizando plataforma hardware de código abierto*. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2017.

**ZAMORA, HERNAN Y TERÁN, DAVID. 2012.** *Determinación del combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP 75 y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis*. . Cuenca : Universidad del Azuay, 2012.

## ANEXOS

### ANEXO A: Características técnicas de varios modelos de vehículos.

#### FICHA TÉCNICA: CHEVROLET SPARK LIFE HATCHBACK SPORT



Motor combustión	Motor combustión
Chevrolet Spark Life Hatchback Sport	Chevrolet Spark GT Hatchback 1.2 MT LT
<b>Ubicación</b>	<b>Ubicación</b>
Delantero	Delantero
<b>Cilindros</b>	<b>Cilindros</b>
4 en línea	4 en línea
<b>Control de válvulas</b>	<b>Control de válvulas</b>
No	No
<b>Cilindrada c.c.</b>	<b>Cilindrada c.c.</b>
995	1206
<b>Potencia HP</b>	<b>Potencia HP</b>
65 a 5400 rpm	80.5 a 6400 rpm
<b>Torque Nm</b>	<b>Torque Nm</b>
91.2 a RPM	108 a RPM
<b>Alimentación</b>	<b>Alimentación</b>
Inyección Electrónica Multipunto	Inyección Electrónica Multipunto
<b>Combustible</b>	<b>Combustible</b>
Gasolina	Gasolina

#### PRESTACIONES Y DIMENSIONES

KIA RIO 1.6 DOHC 112 CV EMOTION SP

#### - COMBUSTIBLE Y ALIMENTACIÓN DEL MOTOR -

##### ALIMENTACIÓN

Inyección Inyección multipunto

##### COMBUSTIBLE

Combustible sin plomo

Octanos combustible 95

Tipo de combustible primario gasolina

##### DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE

Tipo principal

Capacidad (l) 45

#### - PESOS -

##### PESOS

Peso máximo autorizado (kg) 1580

Peso en vacío (publicado) (kg) 1079

Peso máximo remolcable con freno (kg) 1100

Peso máximo remolcable sin freno (kg) 453

#### - MOTOR -

##### MOTOR

Cc 1599

Litros 1.6

Diámetro 78.5

Carrera 87.0

Relacion de compresión 10.0

Cilindros 4

Configuración en línea

Distribución doble árbol de levas en cabeza (DOHC)

Distribución variable sí

Válvulas por cilindro 4

##### NORMA DE EMISIONES

Normativa EU4

Nivel co2 - g/km (combinado) 145

Nivel de co2 - g/km mixto (bajo) 145

#### - DIMENSIONES -

##### DIMENSIONES EXTERIORES

Longitud (mm) 3990

Anchura (mm) 1805

Altura (mm) 1470

Batalla (mm) 2500

Ancho de vía delantero (mm) 1470

Ancho de vía trasero (mm) 1480

Diámetro de giro entre bordillos (mm) 9840

##### DIMENSIONES INTERIORES

Altura banqueta-techo delante (mm) 1005

Altura banqueta-techo detrás (mm) 980

Anchura delantera en caderas (mm) 1290

Anchura trasera en caderas (mm) 1270

Espacio delantero para las piernas (mm) 1085

Espacio trasero para las piernas (mm) 870

Anchura delantera hombros (mm) 1360

Anchura trasera en hombros (mm) 1350

PRESTACIONES Y DIMENSIONES

KIA RIO 1.2 CVT 84 CV DRIVE SP

**- COMBUSTIBLE Y ALIMENTACIÓN DEL MOTOR -**

**ALIMENTACIÓN**

Inyección	inyección multipunto
-----------	----------------------

**COMBUSTIBLE**

Combustible	sin plomo
Octanos combustible	95
Tipo de combustible primario	gasolina

**DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE**

Tipo	principal
Capacidad (l)	43

**- PESOS -**

**PESOS**

Peso máximo autorizado (kg)	1500
Peso en vacío (publicado) (kg)	1127
Peso máximo remolcable con freno (kg)	900
Peso máximo remolcable sin freno (kg)	450
Normativa de medición aplicable	EU

**- MOTOR -**

**MOTOR**

Cc	1248
Litros	1.2
Diámetro	71.0
Carrera	78.8
Relación de compresión	10.5
Cilindros	4
Configuración	en línea
Distribución variable	sí
Válvulas por cilindro	4
Código motor	G4LA

**NORMA DE EMISIONES**

Normativa	EU6
Nivel co2 - g/km (combinado)	115

**ETIQUETA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Etiqueta de eficiencia	A
------------------------	---

**- DIMENSIONES -**

**DIMENSIONES EXTERIORES**

Longitud (mm)	4050
Anchura (mm)	1720
Altura (mm)	1455
Altura libre sobre el suelo (mm)	140
Batalla (mm)	2570
Ancho de vía delantero (mm)	1521
Ancho de vía trasero (mm)	1525
Diámetro de giro entre bordillos (mm)	10520

**DIMENSIONES INTERIORES**

Altura banqueta-techo delante (mm)	1015
Altura banqueta-techo detrás (mm)	950
Anchura delantera en caderas (mm)	1323
Anchura trasera en caderas (mm)	1301
Espacio delantero para las piernas (mm)	1112
Espacio trasero para las piernas (mm)	790
Anchura delantera hombros (mm)	1350
Anchura trasera en hombros (mm)	1324

PRESTACIONES Y DIMENSIONES

KIA PICANTO 1.0 CVT 66 CV DRIVE SP

**- COMBUSTIBLE Y ALIMENTACIÓN DEL MOTOR -**

**ALIMENTACIÓN**

Inyección	inyección multipunto
-----------	----------------------

**COMBUSTIBLE**

Combustible	sin plomo
Octanos combustible	95
Tipo de combustible primario	gasolina

**DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE**

Tipo	principal
Capacidad (l)	35

**- PESOS -**

**PESOS**

Peso máximo autorizado (kg)	1400
Peso en vacío (publicado) (kg)	855
Peso máximo remolcable con freno (kg)	0
Peso máximo remolcable sin freno (kg)	0
Normativa de medición aplicable	EU

**- MOTOR -**

**MOTOR**

Cc	998
Litros	1.0
Diámetro	71.0
Carrera	84.0
Relación de compresión	10.5
Cilindros	3
Configuración	en línea
Distribución variable	sí
Válvulas por cilindro	4
Código motor	G3LA

**NORMA DE EMISIONES**

Normativa	EU6
Nivel co2 - g/km (combinado)	105
Nivel de ruido en db	74

**ETIQUETA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Etiqueta de eficiencia	B
------------------------	---

**- DIMENSIONES -**

**DIMENSIONES EXTERIORES**

Longitud (mm)	3595
Anchura (mm)	1585
Altura (mm)	1480
Altura libre sobre el suelo (mm)	142
Batalla (mm)	2385
Ancho de vía delantero (mm)	1410
Ancho de vía trasero (mm)	1418
Diámetro de giro entre bordillos (mm)	9500

**DIMENSIONES INTERIORES**

Altura banqueta-techo delante (mm)	1002
Altura banqueta-techo detrás (mm)	962
Anchura delantera en caderas (mm)	1225
Anchura trasera en caderas (mm)	1138
Espacio delantero para las piernas (mm)	1070
Espacio trasero para las piernas (mm)	820
Anchura delantera hombros (mm)	1290
Anchura trasera en hombros (mm)	1280

**- COMBUSTIBLE Y ALIMENTACIÓN DEL MOTOR -****ALIMENTACIÓN**

Inyección	inyección multipunto
-----------	----------------------

**COMBUSTIBLE**

Combustible	sin plomo
Octanos combustible	95
Tipo de combustible primario	gasolina

**DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE**

Tipo	principal
Capacidad (l)	35

**- PESOS -****PESOS**

Peso máximo autorizado (kg)	1307
Peso en vacío (publicado) (kg)	204
Peso máximo remolcable con freno (kg)	0
Peso máximo remolcable sin freno (kg)	0
Peso vacío inc. conductor	sf

**- MOTOR -****MOTOR**

Cc	1206
Litros	1.2
Diámetro	69.7
Carrera	70.0
Relación de compresión	9.8
Cilindros	4
Configuración	en línea
Distribución	doble árbol de levas en cabeza (DOHC)
Válvulas por cilindro	4
Código motor	B12D1

**NORMA DE EMISIONES**

Normativa	EU5
Nivel co <sub>2</sub> - g/km (combinado)	118
Alemania - emikl	
Nivel de ruido en db	83

**ETIQUETA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Etiqueta de eficiencia	C
------------------------	---

**- DIMENSIONES -****DIMENSIONES EXTERIORES**

Longitud (mm)	3840
Anchura (mm)	1597
Altura (mm)	1522
Batalla (mm)	2375
Ancho de vía delantero (mm)	1410
Ancho de vía trasero (mm)	1417
Diámetro de giro entre bordillos (mm)	10000

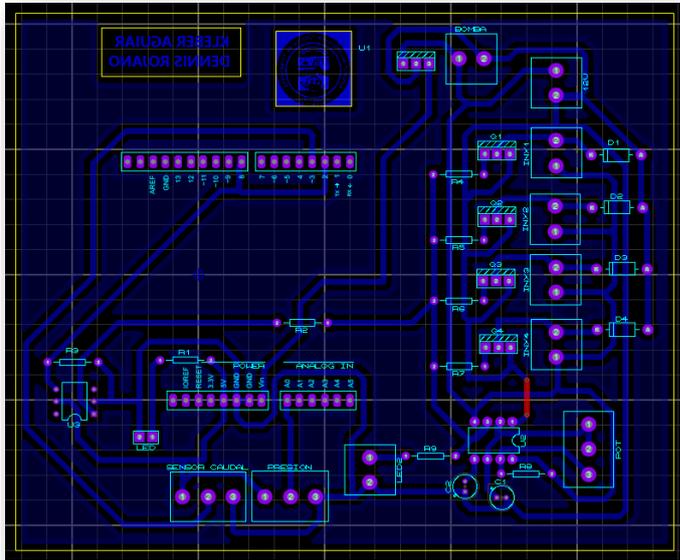
**DIMENSIONES INTERIORES**

Altura banqueta-techo delante (mm)	1009
Altura banqueta-techo detrás (mm)	952
Espacio delantero para las piernas (mm)	1007
Espacio trasero para las piernas (mm)	893
Anchura delantera hombros (mm)	1288
Anchura trasera en hombros (mm)	1283

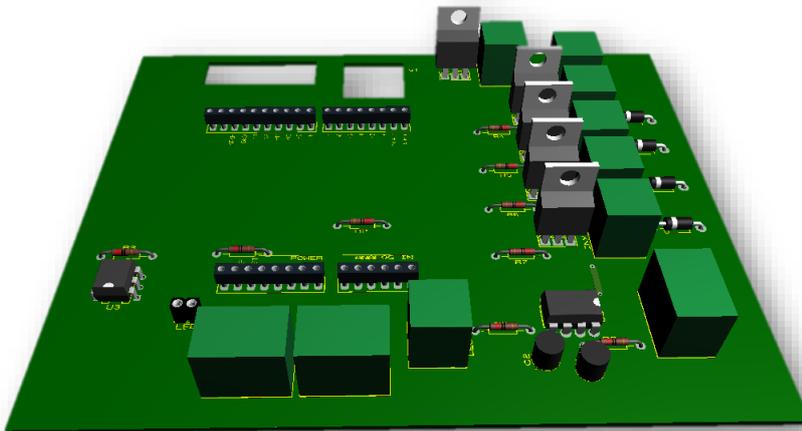
**CAPACIDAD DEL COMPARTIMENTO DE CARGA**

Hasta las ventanillas acientos montados (l)	170
Hasta el techo as. plegados o quitados (l)	598
Estándar de medición	VDA

ANEXO B: Esquema en PBC de la placa electrónica



ANEXO C: Diseño 3D placa electrónica



ANEXO D: Estructura y cableado electrónico.

