



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

**“ANÁLISIS DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DEL CONSUMO
INSTANTÁNEO DE COMBUSTIBLE BASADO EN SEÑALES DE
LOS SENSORES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN PARA EL
AUTOMÓVIL CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L”**

**PILCO VALENTE ALEX DARIO
RODRÍGUEZ GAIBOR HENRRY DARÍO**

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2018

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2018-08-03

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

PILCO VALENTE ALEX DARIO

Titulado:

**“ANÁLISIS DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DEL CONSUMO
INSTANTÁNEO DE COMBUSTIBLE BASADO EN SEÑALES DE LOS
SENSORES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN PARA EL AUTOMÓVIL
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz

DIRECTOR

Ing. Edgar Vicente Rojas Reinoso

MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2018-08-03

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

RODRÍGUEZ GAIBOR HENRRY DARÍO

Titulado:

**“ANÁLISIS DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DEL CONSUMO
INSTANTÁNEO DE COMBUSTIBLE BASADO EN SEÑALES DE LOS
SENSORES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN PARA EL AUTOMÓVIL
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz

DIRECTOR

Ing. Edgar Vicente Rojas Reinoso

MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: PILCO VALENTE ALEX DARIO

TRABAJO DE TITULACIÓN: **“ANÁLISIS DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DEL CONSUMO INSTANTÁNEO DE COMBUSTIBLE BASADO EN SEÑALES DE LOS SENSORES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN PARA EL AUTOMÓVIL CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L”**

Fecha de Examinación: 2018-03-03

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz DIRECTOR			
Ing. Edgar Vicente Rojas Reinoso MIEMBRO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: RODRÍGUEZ GAIBOR HENRRY DARÍO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “ANÁLISIS DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DEL CONSUMO INSTANTÁNEO DE COMBUSTIBLE BASADO EN SEÑALES DE LOS SENSORES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN PARA EL AUTOMÓVIL CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L”

Fecha de Examinación: 2018-08-03

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz DIRECTOR			
Ing. Edgar Vicente Rojas Reinoso MIEMBRO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Pilco Valente Alex Darío

Rodríguez Gaibor Henry Darío

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Pilco Valente Alex Dario y Rodríguez Gaibor Henry Darío, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Pilco Valente Alex Dario
Cédula de Identidad: 230031626-8

Rodríguez Gaibor Henry Darío
Cédula de Identidad: 080377633-5

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por darme el privilegio de darme la vida, fuerza y sabiduría para terminar esta carrera y alcanzar este objetivo en mi vida, ya que por su gracia soy lo que soy, a las personas que siempre me han apoyado y han estado a mi lado en los momentos felices y difíciles:

A mi padre Alberto Pilco Betún y a mi madre Teresa Valente Anilema, que siempre han sido un apoyo moral y económico para alcanzar este objetivo, ya que sin ellos no hubiese logrado este objetivo, gracias por ayudarme a levantarme de muchas caídas y siempre han estado junto a mí para darme su apoyo, su sabiduría y motivación para seguir adelante, gracias por confiar en mí; a mis hermanos Jessica Pilco y Danny Pilco, que fueron un pilar fundamental para alcanzar este logro, gracias por su apoyo incondicional, sé que siempre cuento con ustedes; a mi sobrina Adaía Teresa que es una motivación para luchar y seguir adelante para conseguir nuevos objetivos en mi vida.

A mis abuelos y familiares por siempre estar pendiente de uno y ser un apoyo emocional para luchar por mis objetivos y a mi primo Mario Pilco gracias por el apoyo y lealtad en esta etapa de mi vida.

A todos ellos dedico este trabajo

Alex Dario Pilco Valente

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por darme la fortaleza y sabiduría para terminar esta carrera, a las personas que siempre me han apoyado y han estado a mi lado en los momentos más difíciles:

A mi padre Carlos Rodríguez Villena, que siempre lo llevo presente en mi corazón a pesar de que físicamente ya no se encuentre, pero sé que Dios lo tiene en su gloria y está orgulloso de mí; a mi madre Devora Gaibor Viteri , quien ha estado ahí para ayudarme a levantar de muchas caídas y siempre ha estado junto a mí para darme su apoyo, su sabiduría y los principios que nos inculcaron junto con mis hermanos, gracias madre por confiar en mí; a mis hermanos Glenda Rodríguez, Alexandra Rodríguez, Gissela Rodríguez y Jhonny Rodríguez, que fueron un pilar fundamental para alcanzar este logro, sé que siempre cuento con su apoyo.

A mis amigos Marco Fuentes, Stallin Tapuy, Leonardo Camacho y Alex Pilco, gracias por el apoyo y lealtad.

Henry Darío Rodríguez Gaibor

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme y darme el privilegio de alcanzar este logro muy importante en mi vida, gracias por todas sus bendiciones.

A mi padre Alberto Pilco y madre Teresa Valente, gracias por sus motivaciones, consejos, valores inculcados y el esfuerzo para brindarme una excelente educación, a mis hermanos Jessica y Danny por darme su apoyo a lo largo de mi carrera y en momentos de necesidad, sin ellos esto no hubiera sido posible culminar este objetivo, a los amigos que me han brindado su apoyo.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por recibirme con las puertas abiertas, en especial a la familia automotriz, me siento orgullosos de pertenecer a esta familia; agradezco a mi amigo y compañero de tesis Henry Roriguez por ser un apoyo en mi etapa de formación y culminación, a todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Automotriz por transmitirme sus conocimientos, en especial a los ingenieros Alejandro Montufar y Vicente Rojas

Alex Darío Pilco Valente

Agradezco a Dios por permitirme alcanzar este logro muy importante en mi vida, a mi madre Devora Gaibor, y hermanos Glenda, Alexandra, Gissela y Jhonny por el apoyo que me brindaron a lo largo de mi carrera, sin ellos esto no hubiera sido posible, a los amigos que me han brindado su apoyo.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por recibirme con las puertas abiertas, en especial a la familia automotriz, me siento orgulloso de pertenecer a esta familia; agradezco a todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Automotriz por transmitirme sus conocimientos, en especial a los ingenieros Alejandro Montufar y Edgar Rojas

Henry Darío Rodríguez Gaibor

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.	1
1.2. Planteamiento del problema.	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. <i>Objetivo general.</i>	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos.</i>	3
1.5. Metodología	4
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Introducción a la inyección de combustible de motores a gasolina.	5
2.2. Ventajas de la inyección electrónica de combustible.....	6
2.3. Clasificación de los sistemas de inyección electrónica de combustible.	7
2.3.1. <i>Por el número de inyectores.</i>	7
2.3.2. <i>Por la ubicación del inyector.</i>	7
2.3.3. <i>Por el sincronismo de la inyección.</i>	8
2.3.4. <i>Por el sistema de control y accionamiento de los inyectores.</i>	8
2.4. Sensores.....	8
2.4.1. <i>Sensores de régimen y PMS (CKP)</i>	8
2.4.2. <i>Sensor de fase (CMP).</i>	10
2.4.3. <i>Sensor posición de la mariposa (TPS).</i>	12
2.4.4. <i>Sensor de oxígeno (Sonda lambda).</i>	14
2.4.5. <i>Sensor de detonación (KS).</i>	15
2.4.6. <i>Sensor de Masa de Aire (MAF).</i>	17
2.4.7. <i>Sensor de presión absoluta (MAP).</i>	17
2.4.8. <i>Sensor de temperatura del aire de admisión (IAT).</i>	19
2.5. Actuadores.....	20
2.5.1. <i>Inyectores.</i>	20
2.5.2. <i>Bobina de encendido DIS.</i>	23
2.6. Curvas características a plena carga.....	24
2.7. Curvas características a carga parcial.	25

2.8.	Ecuación de los gases ideales.....	26
2.9.	Rendimiento volumétrico.....	27
2.10.	Análisis de regresión lineal.	28
2.11.	Instrumentos utilizados para la toma de datos y señales de los sensores.....	29
2.11.1.	<i>Scanner Launch x431 pro</i>	29
2.11.2.	<i>Multímetro automotriz Actron cp7677</i>	29
2.11.3.	<i>Osciloscopio automotriz</i>	30
2.12.	Componentes electrónicos.	31
2.12.1.	<i>Optoacopladores</i>	31
2.12.2.	<i>Amplificador operacional</i>	31
2.12.3.	<i>Resistencias</i>	31
2.12.4.	<i>Display alfanumérico lcd</i>	32
2.12.5.	<i>Arduino nano</i>	33
3.	DETERMINACIÓN DEL MODELO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE.	35
3.1.	Obtención de datos mediante los equipos automotrices.	35
3.2.	Análisis de datos captados.	36
3.3.	Modelado de las ecuaciones por medio de regresión.....	37
3.3.1.	<i>Obtención de la ecuación de Presión (kPa)</i>	37
3.3.2.	<i>Obtención de la ecuación de temperatura (°C)</i>	37
3.3.3.	<i>Obtención de la ecuación de flujo másico (kg/s)</i>	38
3.4.	Modelado de la ecuación de rendimiento volumétrico.	39
3.5.	Modelado de ecuación de consumo de combustible.....	41
4.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE PREDICCIÓN CONSUMO DE COMBUSTIBLE.	45
4.1.	Lectura de señales.	45
4.1.1.	<i>Señal MAP</i>	45
4.1.2.	<i>Señal de la IAT</i>	45
4.1.3.	<i>Señal de la bobina</i>	46
4.2.	Diseño del esquema electrónico.....	46
4.2.1.	<i>Diseño y construcción del circuito electrónico</i>	47
4.3.	Determinación del revoluciones del motor.	52
4.4.	Programación de la tarjeta Arduino.	53
4.4.1.	<i>Ecuaciones que intervienen en la programación para determinar el consumo</i> 53	

4.4.2.	<i>Programación final</i>	55
4.5.	Diseño e impresión de la carcasa del circuito electrónico.	55
4.6.	Implementación del prototipo de predicción de consumo en el vehículo.	55
4.6.1.	<i>Conectar sus respectivos cables</i>	56
4.7.	Verificación de funcionamiento.	56
5.	EQUIPO DE COMPROBACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO DE PREDICCIÓN CONSUMO DE COMBUSTIBLE	57
5.1.	Instalación del equipo.	57
5.2.	Circuito de prueba.	57
5.3.	Calculo de tamaño de muestra.	58
5.4.	Adquisición de datos.	59
5.5.	Análisis y resultados	60
5.5.1.	<i>Pruebas</i>	60
5.5.2.	<i>Análisis</i>	60
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
6.1.	Conclusiones.....	65
6.2.	Recomendaciones.....	66

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-5: Porcentaje de nivel de confianza y valor de Z.	58
Tabla 2-5: Tamaño de la muestra.	59
Tabla 3-5: Adquisición de Datos.	59
Tabla 4-2: Media del consumo teórico.	60
Tabla 5-5: Prueba de normalidad.	61
Tabla 6-5: Estadísticos de grupo.	61
Tabla 7-5: Prueba de muestras independientes.	61
Tabla 8-5: Media de los tramos en el trayecto y tiempo.	62
Tabla 9-5: Media de los tramos a proyección a una hora.	63

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Ubicación del CKP en bloque	9
Figura 2-2: Sensor de régimen y PMS, de efecto Hall.	9
Figura 3-2: Ubicación del CMP en el motor	11
Figura 4-2: Sensor de posición de mariposa de medición continua.	12
Figura 5-2: Sensor de posición de mariposa de medición continua.	13
Figura 6-2: Ubicación de los sensores lambda en el escape.....	15
Figura 7-2: Concepto de detonación.....	15
Figura 8-2: Circuito del sensor MAF.	17
Figura 9-2: Sensor MAP.....	18
Figura 10-2: Ubicación posterior del filtro de aire.	19
Figura 11-2: Circuito del sensor IAT.	20
Figura 12-2: Riel de inyectores	20
Figura 13-2: Igualdad de nivel en las probetas de medición.	22
Figura 14-2: Ubicación de la bobina en el motor	23
Figura 15-2: Conexión de la bobina de doble chispa al UCE.	24
Figura 16-2: Equipo Launch x431 pro.	29
Figura 17-2: Multímetro automotriz Actron cp7677.....	30
Figura 18-2: Osciloscopio Hantek.....	31
Figura 19-2: Resistencias.	32
Figura 20-2: <i>Display alfanumérico lcd</i>	33
Figura 21-2: Arduino nano.	34
Figura 1-3: Conexión de la señal del sensor MAP y IAT.....	35
Figura 2-3: Conexión del scanner en el puerto OBD II.....	36
Figura 3-3: Toma de información del vehículo	36
Figura 1-4: Armado del circuito eléctrico en la Protoboard.....	48
Figura 2-4: Diseño de la pista.....	49
Figura 3-4: Impresión y verificación del circuito.....	49
Figura 4-4: Eliminación de excedente de cobre.	50
Figura 5-4: Comprobación de continuidad de las pistas del circuito.	50

Figura 6-4: Perforación de la placa	51
Figura 7-4: Colocación de componentes en la placa	51
Figura 8-4: Verificación de los componentes en la placa.....	52
Figura 9-4: Diseño de carcasa.	55
Figura 10-4: Conexión de cables a la señal.	56
Figura 11-4: Verificación de funcionamiento.	56
Figura 1-5: Instalación del prototipo de predicción de consumo de combustible	57
Figura 2-5: Circuito de conducción.	58
Figura 3-5: Visualización de las RPM y el consumo en ml/min	64

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfico 1-2: Señal del inductiva del CKP.	10
Gráfico 2-2: Señal del CMP	12
Gráfico 3-2: Oscilograma de un sensor de posición de mariposa de doble pista.	14
Gráfico 4-2: Señales del sensor de detonación.	16
Gráfico 5-2: Variación de la señal en función de la carga.....	18
Gráfico 6-2: Morfología típica de curvas características a plena carga (izquierda) y variación del rendimiento indicado, mecánico y efectivo de un MCIA con el régimen (derecha).	25
Gráfico 7-2: Curvas multiparamétricas de isoconsumo específico de un MEP de aspiración natural.	26
Gráfico 8-2: Regresión lineal.....	28
Gráfico 1-3: Regresión lineal de la Presión.	37
Gráfico 2-3: Regresión lineal de la Temperatura.	38
Gráfico 3-3: Regresión Polinómica de segundo orden del MAF.	38
Gráfico 4-3: Regresión Polinómica de segundo orden del Nv.	41
Gráfico 1-4: Señal de voltaje del sensor MAP	45
Gráfico 2-4: Señal de voltaje del sensor IAT.	46
Gráfico 3-4: Señal de la bobina	46
Gráfico 4-4: Simulación del circuito eléctrico.....	47
Gráfico 5-4: Señal rectificadora de la bobina	48
Gráfico 6-4: Comportamiento de las rpm en función de los pulsos.	52
Gráfico 1-5: Representación de los tramos en barra en distancia.....	62
Gráfico 2-5: Representación de los tramos en barra en proyección.	63

SIMBOLOGÍA

M_e	Par efectivo.
N_e	Potencia efectiva.
g_{ef}	Consumo específico efectivo de combustible.
C_m	Velocidad lineal medio del pistón.
α	Grado de carga.
P	Presión.
V	Volumen.
m	Masa.
R	Constante particular de los gases.
T	Temperatura.
η_v	Rendimiento volumétrico.
m_a	Masa de aire.
$\dot{m}_a, \dot{m}_{a\ real}$	Gasto de aire, gasto de aire real.
$\dot{m}_{a\ ideal}$	Gasto de aire ideal.
$\dot{m}_{a,cc}$	Masa de aire por cilindro y ciclo.
i	Número de ciclos por vuelta.
n	Regimen de giro.
z	Número de cilindros.
$^{\circ}C$	Grados Celsius.
$^{\circ}K$	Grados Kelvin.
V_p	Cilindrada parcial.
m_{comb}	Masa de combustible.
v_{com}	Volumen de combustible.
ρ	Densidad.
ρ_{comb}	Densidad de combustible.
i	Número de inyecciones por vuelta.
$Cons_{comb}$	Consumo de combustible.

LISTA DE ABREVIACIONES

MCIA	Motores de combustión interna alternativos.
HC	Hidrocarburos.
CO	Monóxido de carbono.
SO _x	Óxidos de azufre.
CO ₂	Dióxido de carbono.
GSI	Indicador de cambio de marcha (gear shift indicator).
ECU	Unidad de control electrónica (electronic control unit).
CKP	Sensor de posición del cigüeñal (crankshaft position sensor)
PMS	Punto muerto superior.
CMP	Sensor de posición del árbol de levas (camshaft position sensor).
RPM	Revoluciones por minuto.
TPS	Sensor de posición de la mariposa (throttle position sensor).
KS	Sensor de detonación (knock sensor).
MAF	Sensor de masa de aire (mass airflow sensor).
MAP	Sensor de presión absoluta (manifold air pressure).
IAT	Sensor de temperatura de aire de admisión (intake air temperature sensor).
DIS	Sistema de encendido directo (direct ignition sistem).
LCD	Pantalla de cristal líquido (liquid cristal display).
OBD	Diagnóstico a bordo (on board diagnostics).
NTC	Coefficiente de temperatura negativo (negative temperature coefficient).

LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Análisis de datos captados.

Anexo B: Datos de la ecuación de presión.

Anexo C: Datos de la ecuación de temperatura.

Anexo D: Datos de la ecuación de flujo másico real.

Anexo E: Datos de la masa teórica y flujo másico teórico.

Anexo F: Datos de la ecuación del rendimiento volumétrico.

Anexo G: Datos de la ecuación de velocidad del motor.

Anexo H: Programación Arduino nano.

Anexo I: Circuito de prueba.

Anexo J: Adquisición de datos.

Anexo K: Pruebas.

Anexo L: Datos de Validación del modelo de consumo.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se realizó basado en la necesidad de reducir el consumo de combustible de los M.C.I a gasolina en especial de los taxis, el objetivo principal de este trabajo es analizar un modelo de consumo de combustible del M.C.I. a gasolina, el cual informa al conductor sobre el consumo de combustible cada instante, por ende, podrá tratar de reducir el consumo de combustible dependiendo la forma de conducción, por lo tanto se utilizó un vehículo Chevrolet aveo family 1.5 para realizar las distintas pruebas de consumo tanto reales como teóricos, para lo cual se logró instrumentar las distintas señales de los sensores del sistema de inyección electrónica, el cual servirá como base para la determinación del modelo de predicción de consumo de combustible del M.C.I. a gasolina, que tiene como fin, informar al conductor el consumo de combustible. Mediante la teoría de los gases ideales, mezcla estequiometria y rendimiento volumétrico, se determinó la ecuación de consumo de combustible teórico. Para la determinación de consumo instantáneo de combustible se incluyó la velocidad del motor a la ecuación de consumo de combustible del M.C.I. a gasolina, el cual predice el consumo de combustible, ya que está proyectada en galones por hora. Para determinar la fiabilidad de sus resultados del modelo de predicción de consumo de combustible del M.C.I se aplicó un método estadístico que comparó el consumo del modelo de predicción con el consumo teórico del vehículo con el consumo real del vehículo dando como resultado un error dentro de lo admisible, por lo cual se determina que el modelo de predicción realizado es fiable, por lo tanto, se concluye que este modelo de predicción es confiable y aplicable a otro tipo de vehículos de M.C.I a gasolina teniendo consideraciones a modificar varios parámetros.

Palabras clave: <TECNOLOGIAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA AUTOMOTRIZ>, <CONSUMO DE COMBUSTIBLE>, <MOTOR DE COMBUSTION INTERNA (MCI)>, <GASOLINA>, <SENSORES>, <SISTEMA DE INYECCION ELECTRONICA>, <GASES IDEALES>, <MEZCLA ESTEQUIOMETRICA>, <RENDIMIENTO VOLUMETRICO>.

ABSTRACT

The present work was for titling was carried out based on the need to reduce the fuel consumption of the MCI, gasoline, especially in taxis, the main objective work was to analyze a fuel consumption model of MCI, gasoline, which informs to the driver about the fuel consumption at every moment to reduce fuel consumption depending on the way of driving, therefore a Chevrolet Aveo Family 1.5 vehicle was used to carry out the different tests of consumption, both real and theoretical, to implement the different signals of sensors of the electronic injection system that will serve as a basis for the determination of the model of prediction of fuel consumption of the MCI, to gasoline in order to inform the driver about fuel consumption. By using the theory of ideal gases, stoichiometry mix and volumetric performance, the theoretical fuel consumption equation was determined. For the determination of instantaneous fuel consumption, the engine speed was included in the fuel consumption equation of the M.C.I, to gasoline that predicts the projected fuel consumption in gallons per hour. To determine the reliability of its results of the MCI fuel consumption prediction model, a statistical method was applied that compared the consumption of the prediction model with the theoretical consumption of the vehicle and the actual consumption of the vehicle, resulting in an error within the admissible, reason why it is determined that the model of prediction is reliable, therefore, it is concluded that this model is reliable and applicable to other vehicles of MCI, to gasoline having considerations in modifying several parameters.

Keywords: <IGNITION TECHNOLOGIES AND SCIENCES>, <AUTOMOTIVE ENGINEERING>, <FUEL CONSUMPTION>, <INTERNAL COMBUSTION ENGINE (MCI)>, <GASOLINE>, <SENSORS>, <ELECTRONIC INJECTION SYSTEM>, <IDEAL GASES>, <ESTEQUIOMETRIC MIXTURE>, <VOLUMETRIC PERFORMANCE>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Antecedentes.

La industria automotriz ecuatoriana ha generado gran desarrollo tecnológico en los últimos 30 años, lo cual contribuye al desarrollo nacional con inversiones, capacitación, tecnología. Las ensambladoras nacionales, son reconocidas por sus productos de alta calidad en el mercado nacional e internacional, debido a su alto grado de tecnificación. El sector automotriz prevé una producción nacional de 37.821 vehículos este año y ventas cercanas a las 74.000 unidades (incluyendo importados). En 2016 se comercializaron 62.305 automotores (TELÉGRAFO, 2017).

El uso inmensurable del automóvil provoca un incremento contaminación atmosférica, lo cual presenta en ambientes contaminados por hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados (HC) producidos por una combustión incompleta, y óxidos de nitrógeno, ambos procedentes principalmente de los gases de escape de los motores, provocando una nube amarillo-parduzca e irritante para los ojos y las vías respiratorias conocida habitualmente como smog fotoquímico. Dicho fenómeno se produce en ambientes contaminados, en climas cálidos y con mucho sol, y se observa principalmente al medio día, cuando los procesos fotoquímicos han logrado producir los gases irritantes. Este fenómeno empezó a ser común en la década de los años 50 en ciudades como Los Ángeles, y fue que a partir de entonces cuando apareció la preocupación social acerca de los contaminantes emitidos por sistemas de combustión. Así Aparecieron como consecuencia las primeras normativas que limitaban las emisiones (Payri Gonzales, y otros, 2011 pág. 416).

Hoy en día una parte del presupuesto de las industrias se destina al impacto medioambiental, bajo la presión bien de normativas aplicables al producto terminado o

bien inspecciones sobre las propias instalaciones industriales. La reducción del impacto medioambiental se ha convertido en uno de los principales objetivos de la investigación (Payri Gonzales, y otros, 2011 pág. 416).

El control de las emisiones contaminantes, es el factor que gobierna el diseño de los modernos sistemas de combustión. Los contaminantes más importantes derivados del proceso de combustión son los hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados y los óxidos de nitrógeno (NOX), además de las partículas, monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SOX) y gases que contribuyen al efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂) (Payri Gonzales, y otros, 2011 pág. 416).

En la actualidad existen varios sistemas que permiten reducir el consumo de combustible en los vehículos a gasolina, uno de ellos es del Kia Picanto 1.0 CVVT que tiene indicadores de consumo de combustible por kilómetro recorrido y un indicador de cambio de marcha en el salpicadero (GSI (Gear Shift Indicator)). El sistema evalúa varios parámetros de los sensores e informar al conductor para así mejorar la eficiencia del consumo de combustible por medio del manejo adecuado.

1.2. Planteamiento del problema.

En este apartado se presenta la necesidad de reducir el consumo de combustible en los taxis, los cuales representa en el Ecuador 55 000 unidades, de acuerdo con la Federación Nacional de Operadores de Transportes en Taxis (COMERCIO, 2014), representando un gran índice de contaminación por emisiones de gases de escape, la consecuencia de este es consumo indiscriminado de combustible, con un determinado modelo de predicción de consumo se puede informar al conductor, lo cual permite mejorar el comportamiento de la conducción.

Validar y garantizar un modelo de predicción que dé resultados confiables que puedan ser utilizados como parámetros para reducir el consumo de combustible.

1.3. Justificación.

Los vehículos tipo taxi representan un gran índice de contaminación, con un recorrido promedio de 250 km diarios contamina alrededor de 49 kilogramos de CO₂ diarios que

son liberados al ambiente. Por esta razón, las zonas urbanas más pobladas son las que sufren la mayor contaminación de este tipo, por lo tanto mayor consumo de combustible incrementa la contaminación (DIAZ, 2017).

Teniendo en cuenta que los conductores están conscientes de la cantidad de combustible que sus autos necesitan. Mientras que el consumo de un automóvil cambia en base a las circunstancias geográficas (ciudad o carretera), condiciones de la pista, presión de las llantas.

Con la información adecuada el conductor mejora la eficiencia del consumo de combustible. La estrategia de ahorro hace diferencia en cuanto a la eficiencia, economía y puede llegar a un ahorro de hasta un 10% del consumo normal. La aceleración desmedida, el exceso de velocidad y el motor encendido con el vehículo detenido son las mayores causas de desperdicio (4Refuel, 2009).

Dejar en funcionamiento el motor con el vehículo detenido, genera un consumo innecesario de combustible y reduce la vida del aceite del motor.

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general.*

Analizar un modelo de predicción del consumo instantáneo de combustible basado en señales de los sensores del sistema de inyección para el automóvil CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L

1.4.2. *Objetivos específicos.*

- Analizar el funcionamiento de los sensores del motor del automóvil mediante la utilización de fuentes bibliográficas para comprender el correcto funcionamiento de los mismos.
- Realizar pruebas de funcionamiento y rendimiento del automóvil mediante la utilización de equipos se diagnosticó automotriz para obtener el modelo de consumo de combustible.

- Implementar un modelo de predicción mediante la utilización de las señales de los sensores que ayude al conductor a predecir el consumo de combustible.
- Analizar el consumo de combustible bajo diferentes condiciones de operación mediante el modelo de predicción para garantizar la credibilidad de los resultados de dicho modelo con respecto a los reales.

1.5. Metodología

El presente proyecto utilizará una metodología experimental, utilizando bibliografía moderna que permite conocer el funcionamiento de los distintos dispositivos electrónicos de los diferentes sensores automotrices del vehículo, también se utilizó estudios científicos con base al consumo de combustible y contaminación.

Se obtiene parámetros de consumo bajo condiciones de operación y que permitieron determinar el modelo de predicción de consumo de combustible más confiable mediante la comparación de los datos procesados reales e ideales para la validación mediante la investigación experimental.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Introducción a la inyección de combustible de motores a gasolina.

La carburación comenzó en 1795, cuando Robert Street logró la evaporación del aceite de alquitrán de hulla y la trementina en un motor atmosférico. Samuel Morey y Erskine Harzard en 1824 crearon el primer carburador para un motor de tipo atmosférico, este incluía un precalentamiento para favorecer la evaporación, dio un paso importante hacia la destilación de petróleo ligero y se obtuvo una sustancia llamada gasolina, permitiendo generar experimento con la evaporación de combustibles líquidos e hidrocarburos (RUEDA SANTANDER, 2006 pág. 58)

Tras el aporte de varios científicos se llega en 1892 por Maybach planeo el carburador con rociador, el cual se convirtió en la base de todos los carburadores, el cual suministraba combustible en forma de boquilla de regadera con cabezal rociador, que se abastecía de una taza de flotador que mantenía el nivel constante. (RUEDA SANTANDER, 2006 pág. 59).

El carburador se basa en el principio de que toda corriente de aire que pasa rozando un orificio, crea sobre este un fenómeno de succión, generando la pulverización en el que la corriente de aire que rosa el orificio superior del tubo de suministro provoca la succión que hace subir el líquido y lo lanza pulverizando, en un chorro de aire (ARIAS PAZ, 2006 pág. 257)

Los primeros avances de la inyección de combustible comenzaron realmente en la aviación, antes de la primera Guerra Mundial, donde la industria de la aviación considero las ventajas obvias que la inyección de combustible proporcionaba. Los carburadores de los aeroplanos eran propensos a congelarse durante los cambios de altitud, limitando la

potencia disponible, mientras en la inyección de combustible no sucede este fenómeno. Además no solo se introdujo la bomba de pistón a alta presión, sino el principio de inyectores calibrados. La bomba de inyección fue la primera en tener una carrera variable del pistón, como un medio para aumentar o reducir la cantidad de combustible a inyectar (RUEDA SANTANDER, 2006 pág. 59).

La inyección electrónica de combustible se inició en Italia, en 1940, cuando Ottavio Fuscaldò incorporó un solenoide eléctrico como medio para controlar el flujo de combustible hacia el motor (RUEDA SANTANDER, 2006 pág. 59).

2.2. Ventajas de la inyección electrónica de combustible.

- Suministro de aire, cuando al accionar el pedal del acelerador se dosifica la entrada de aire y no el combustible. El diseño de los múltiples de admisión hace que a cada cilindro le llegue la misma cantidad de aire (RUEDA SANTANDER, 2006 pág. 69).
- El suministro de combustible a cada cilindro puede ser medido perfectamente de manera que reciban misma cantidad de combustible, mientras que en los carburadores hay desigualdades que pueden alcanzar hasta un 30%, es decir que en unos cilindros entra mezcla demasiado rica y en otros excesivamente pobre (ARIAS PAZ, 2006 pág. 258).
- El suministro de combustible se lo realiza por medio de una bomba sumergida en el tanque, la cual envía el combustible hacia los inyectores, un regulador permite en el riel mantener la presión constante en la galería (riel) de inyectores, otra tubería de retorno devuelve al tanque el combustible sobrante. Los inyectores son válvulas eléctricas que dosifican y pulverizan el combustible sobre las válvulas de admisión (inyección indirecta) antes de entrar en la cámara de combustión (RUEDA SANTANDER, 2006 pág. 69).
- En la actualidad las gasolineras están exentas de un compuesto que se utilizaba evitar la detonación. Se refiere al tetraetilo de plomo. Los cilindros sufrían excesivos depósitos de plomo, que propendían a quemar las válvulas de escape,

los asientos ya ensuciar las bujías. La ventaja de utilizar la inyección es que este sistema puede corregir el poder detonante de gasolina, adaptando el momento de la chispa (ARIAS PAZ, 2006 pág. 258).

- La parte electrónica, la computadora (ECU, ECM, PCM, UCE) dosifica la entrada de combustible, por lo tanto el tiempo durante el cual deben permanecer abiertos los inyectores. Esta cantidad de combustible depende de varios factores como la temperatura del motor, velocidad del motor, carga y posición de la válvula mariposa, todos estos cambios son captados por sensores que envían la información a la computadora (RUEDA SANTANDER, 2006 pág. 69).
- Se obtiene una notable elasticidad del motor que por ejemplo pasara de 1800 a 5000 rpm en directa y pisando a fondo, sin golpeteos ni vibraciones, con superioridad respecto de los carburadores (ARIAS PAZ, 2006 pág. 258).

2.3. Clasificación de los sistemas de inyección electrónica de combustible.

Los sistemas de inyección se pueden clasificar de la siguiente manera.

2.3.1. *Por el número de inyectores.*

- *Monopunto:* en este tipo de inyección existe un solo inyector en una posición similar a la que tendría un carburador (RUEDA SANTANDER, 2006 pág. 71).
- *Multipunto:* se dispone de un inyector para cada cilindro mejorando el así el aporte de combustible (RUEDA SANTANDER, 2006 pág. 71).

2.3.2. *Por la ubicación del inyector.*

- *Directa en el cilindro:* el inyector se encuentra en contacto con la cámara de combustión y lanza el combustible en el interior de esta de manera dosificada (RUEDA SANTANDER, 2006 pág. 72).

- *Indirecta en el colector de admisión:* los inyectores se encuentran ubicados muy cerca de la válvula de admisión, sujetos en el colector de admisión (RUEDA SANTANDER, 2006 pág. 72).

2.3.3. *Por el sincronismo de la inyección.*

- *Simultánea:* se comprende que debe ser indirecta, se basa en inyectar el combustible simultáneamente en todos los inyectores a cierta frecuencia, que no coincide con la apertura de la válvula de un determinado cilindro. Cuando se abre la válvula se produce la entrada de la mezcla acumulada y la nueva que se forma (RUEDA SANTANDER, 2006 pág. 72).
- *Semisecuencial:* el combustible es inyectado e los cilindros de forma que los inyectores abren y cierran de dos en dos (RUEDA SANTANDER, 2006 pág. 72).
- *Secuencial:* la inyección se produce solo en el momento de apertura de la válvula de admisión (RUEDA SANTANDER, 2006 pág. 72).

2.3.4. *Por el sistema de control y accionamiento de los inyectores.*

- *Mecánica:* el control y accionamiento mecánico de los inyectores (K-Jetronic) (RUEDA SANTANDER, 2006 pág. 73).
- *Mecánica electrónica:* el control electrónico y accionamiento mecánico de los inyectores (KE-Jetronic) (RUEDA SANTANDER, 2006 pág. 73).
- *Electrónica:* el control y accionamiento electrónico de los inyectores (L-Jetronic, LE-Jetronic, Motronic, Digifant) (RUEDA SANTANDER, 2006 pág. 73).

2.4. Sensores.

2.4.1. *Sensores de régimen y PMS (CKP)*

El sensor de posición del cigüeñal (Crankshaft Position Sensor), se encarga de informar a la computadora del vehículo sobre la velocidad de giro del motor. En muchos casos

realiza a la vez la función de sensor de posición de cigüeñal o sensor de PMS, indicando la posición del cigüeñal en lo que a las parejas de pistones respecta. La frecuencia de la señal emitida es proporcional al régimen de giro del motor. También se utiliza para efectuar la función de ajuste individual de la mezcla (y el avance al encendido) en cada cilindro, mediante el análisis de la variación de frecuencia experimentada, inmediatamente después del salto de chispa en cada cilindro (PÉREZ BELLÓ, 2017 págs. 147-148).

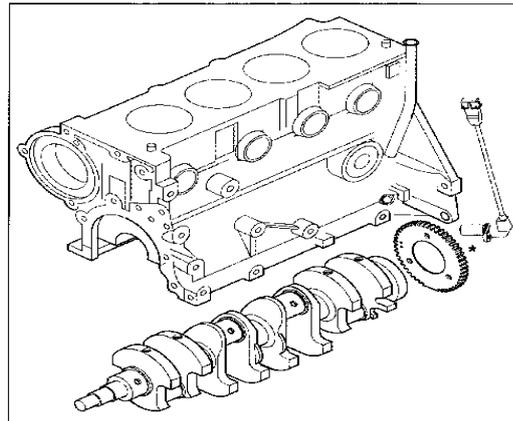


Figura 1-2: Ubicación del CKP en bloque

Fuente: Manual del fabricante.

Los sensores Hall en los que la señal no se generan por obturación del campo magnético mediante una pantalla, sino que esta, potencia de efectos del campo magnético del imán permanente, actuando de modo equivalente, a cuando se abre un hueco en los sensores Hall tradicionales. Para ello, el sensor se sitúa entre el imán y el rotor (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 149).

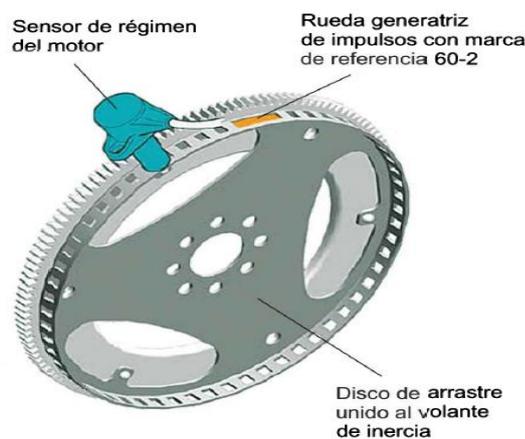


Figura 2-2: Sensor de régimen y PMS, de efecto Hall.

Fuente: (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 150)

2.4.1.1. Comprobación en el sensor de régimen y PMS

- Se verifico en primer lugar la resistencia de la bobina del captador (varía dependiendo del modelo, entre 400 y 2000 ohmios), o de no conocerse dicho dato, al menos su continuidad (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 150).
- También se comprobo el entrehierro, o distancia entre el saliente del captador y cada uno de los dientes, que suele oscilar en torno a 0,5- 1 mm. Se utilizarà para ello una galga antimagnètica. De se verificarà la ausencia de suciedad entre los dientes de la corona (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 150).
- El funcionamiento del sensor tambièn puede verificarse conectando un voltímetro (en alterna) a los terminales del mismo, y comprobando que se genera tensión cuando el motor gira. A velocidad de arranque, el voltaje, pico a pico, puede oscilar entre 10 y 30 V, llegando a los 80-90 V con el motor en marcha a régimen elevado, debiendo incrementarse al aumentar este (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 150).
- En el osciloscopio se observará su señal característica, tanto del sensor de régimen como del de PMS, verificando que la frecuencia aumente con el régimen (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 150).

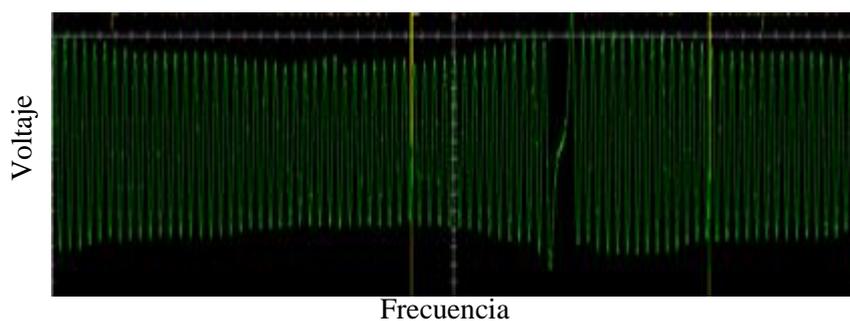


Gráfico 1-2: Señal del inductiva del CKP.

Fuente: Autor

2.4.2. Sensor de fase (CMP).

El sensor de posición del árbol de levas (Camshaft Position Sensor) va instalados sobre el árbol de levas, en la polea del mismo. Indica en qué fase del ciclo de funcionamiento

se encuentra cada cilindro, al complementarse su información con la del captador de PMS. Sin este captador, la centralita no podría distinguir si cuando el cilindro 1 asciende hacia el PMS está efectuando escape o compresión. Por ello, se utiliza en los sistemas secuenciales. Puede ser de efectos Hall, de tipo inductivo o bien, más raramente, de tipo óptico, mediante un fotodiodo (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 150).

Cuando se avería el sensor con el motor en marcha, el motor sigue funcionando, porque la centralita tiene grabado en su memoria el orden de encendido. Una vez detenido el motor, teóricamente no podrá volver a ponerse en marcha si este captador está averiado. En sistemas de última generación, se utiliza un sensor de detección rápida, con el que, en combinación con el sensor de régimen, se facilita la puesta en marcha del motor. Para ello, se emplea un sensor de tipo Hall diferencial, en el que las pantallas obturadoras poseen diferente longitud o anchura, efectuándose el reconocimiento al detectar la centralita los diferentes períodos de interrupción en el envío de la señal (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 151).

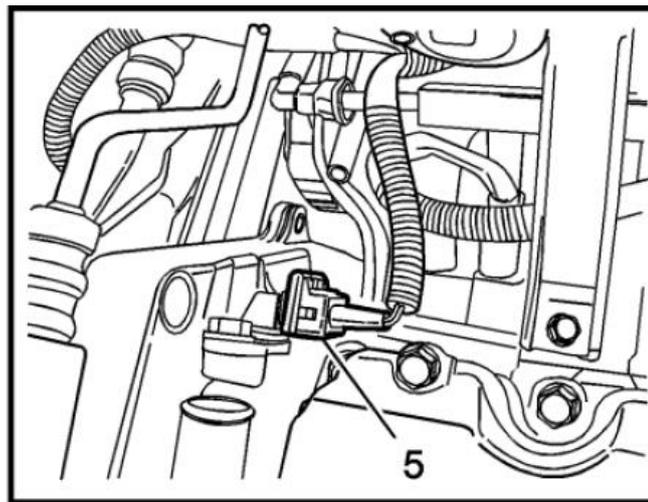


Figura 3-2: Ubicación del CMP en el motor

Fuente: Manual del fabricante.

2.4.2.1. *Comprobaciones en el sensor de fase.*

- Según sea de tipo inductivo o de efecto Hall, la resistencia de su bobina tendrá valores diferentes, debiendo cotejarse con los datos expuestos en el manual de taller (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 151).
- Con un multímetro u osciloscopio que posea medidor de frecuencia, se observará que esta guarde relación con el régimen del motor, de tal modo que, en los que producen un impulso por cada vuelta de árbol de levas, se ha de producir una señal

cada dos vueltas de motor. Así, con un régimen de ralentí de 900 r.p.m., la frecuencia será de 7,5 Hz. Esto no es aplicable a los modernos sensores de detección rápida (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 151).

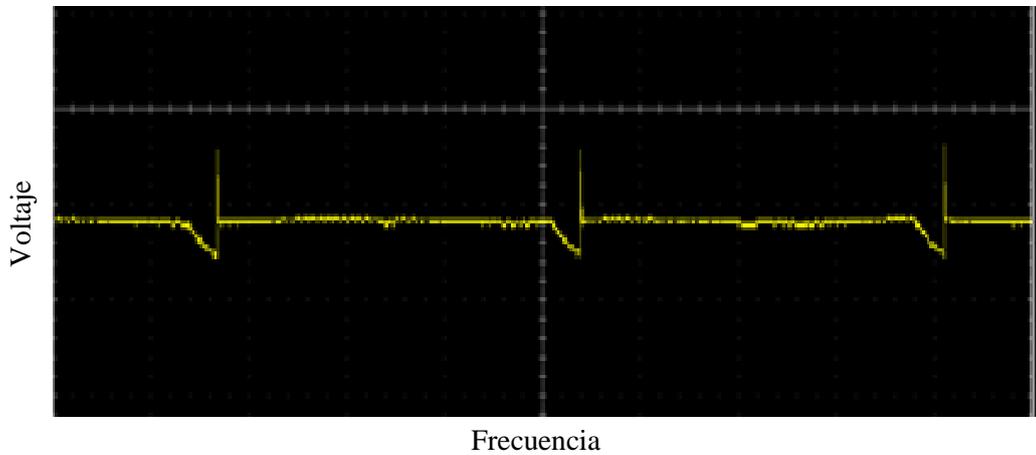


Gráfico 2-2: Señal del CMP

Fuente: Autor

2.4.3. *Sensor posición de la mariposa (TPS).*

El sensor cumple la función de informar a la centralita sobre la posición en la que se encuentra la mariposa, para así reconocer ciertos estados de funcionamiento y servir de complemento a los medidores de carga. En sistemas de última generación, se utilizan para verificar el correcto funcionamiento del actuador de la mariposa y existen dos tipos de sensores, en función de su rango de medición: de ralentí y carga máxima por un lado y de medición continua (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 144).



Figura 4-2: Sensor de posición de mariposa de medición continua.

Fuente: (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 144).

2.4.3.1. *De ralenti y carga máxima.*

Emite la información cuando la mariposa se encuentra en alguna de las dos posiciones aunque la ausencia de ambas indica que el motor trabaja con carga parcial, aunque sin especificar el grado de la misma. Dispone para ello de dos microinterruptores, que se accionan cuando la mariposa alcanza las citadas posiciones. La caja en la que se ubican dispone de una excéntrica en su interior, solidaria y concéntrica al eje de la mariposa, que al girar acciona los microinterruptores. La carcasa que contiene al conjunto dispone de unas ranuras en su fijación, para así efectuar el ajuste y la sincronización de posiciones relativas entre la mariposa y el conjunto (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 144).

2.4.3.2. *De medición continua.*

El sistema determina la posición exacta de la mariposa de gases en todo su recorrido angular. Dispone para ello de un reóstato, a partir de cuya variación de resistencia se elabora la señal correspondiente a la posición angular de la mariposa. Este sistema permite prescindir de los microinterruptores de ralenti y plena carga, puesto que el reóstato las detecta, si bien en algunos casos se dispone también, complementando al reóstato (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 145).

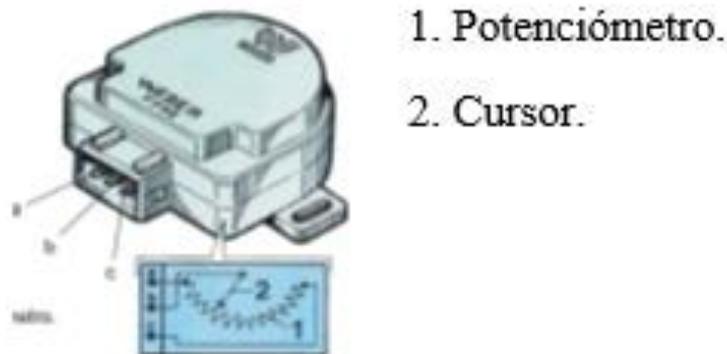


Figura 5-2: Sensor de posición de mariposa de medición continua.

Fuente: (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 145)

2.4.3.3. Comprobaciones en el sensor de posición de mariposa.

- Tanto los de ralentí como los de carga máxima se verifican con ayuda de un óhmetro, debiendo dar continuidad entre sus bornes cuando la mariposa esté en las respectivas posiciones (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 145).
- En el/los reóstato(s) se medirán las variaciones de resistencia al accionar la mariposa, debiendo obtenerse valores dobles en uno de ellos (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 145).
- Con el osciloscopio, empleando para ello los dos canales, se verificará que las señales de ambos reóstatos sean proporcionales, siempre uno el doble que el otro, o bien uno creciente y otro decreciente (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 145).

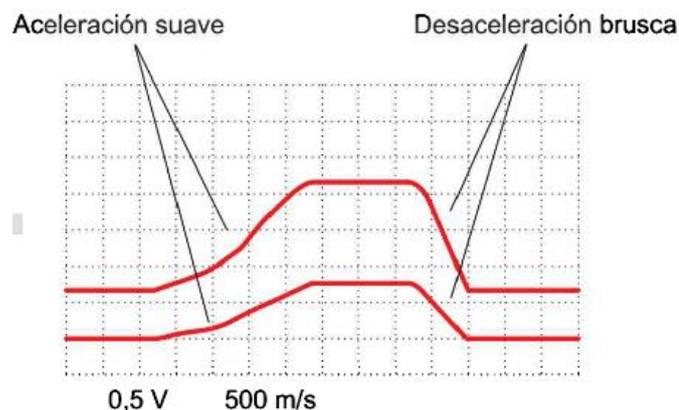


Gráfico 3-2: Oscilograma de un sensor de posición de mariposa de doble pista.

Fuente: (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 146).

2.4.4. Sensor de oxígeno (Sonda lambda).

El sensor de oxígeno se encarga en detectar las mezclas ricas o pobres mediante una señal que permite saber la cantidad de combustible que debe inyectarse al motor para asegurar que la proporción de aire y gasolina sea la correcta. Esta señal o parámetro de entrada es elaborada por la sonda lambda o sonda de oxígeno. Es preponderante sobre todas las demás, en los aspectos relativos a la dosificación, ya que, si esta no es la apropiada, no solo se sobrepasan los límites legales de emisiones contaminantes, sino que se destruye

rápidamente el catalizador. Por otra parte, mediante dicha señal, se determina el principal parámetro de entrada para efectuar la regulación lambda (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 156).

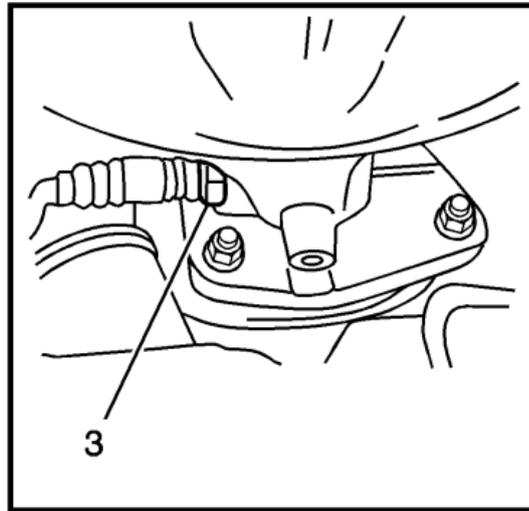


Figura 6-2: Ubicación de los sensores lambda en el escape

Fuente: Manual del fabricante.

2.4.5. Sensor de detonación (KS).

El sensor de detonación también conocido como detector de picado, pertenece al circuito de encendido. Su misión es informar a la centralita de la presencia de detonación, para que así esta disminuya el ángulo de avance al encendido, hasta que desaparezca. Con su información, la centralita mantiene el ángulo de avance al encendido en los máximos valores que admite, en el umbral de la detonación, para así obtener el máximo rendimiento del motor, en función del combustible empleado (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 154).

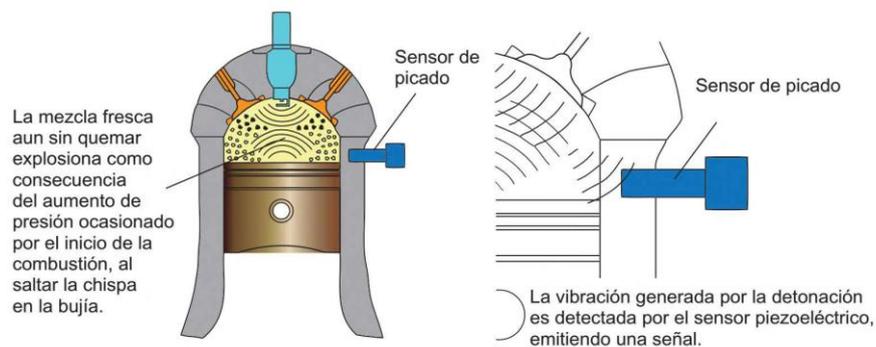


Figura 7-2: Concepto de detonación.

Fuente: (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 154).

Es de naturaleza piezoeléctrica, produciendo una diferencia de potencial cuando se ve sometido a presión. Las vibraciones generadas por el funcionamiento del motor, especialmente en lo que al desarrollo de las combustiones respecta hacen que este sensor emita una señal característica, que se ve alterada por las sacudidas que produce la detonación (PÉREZ BELLÓ, 2017 págs. 154-155).

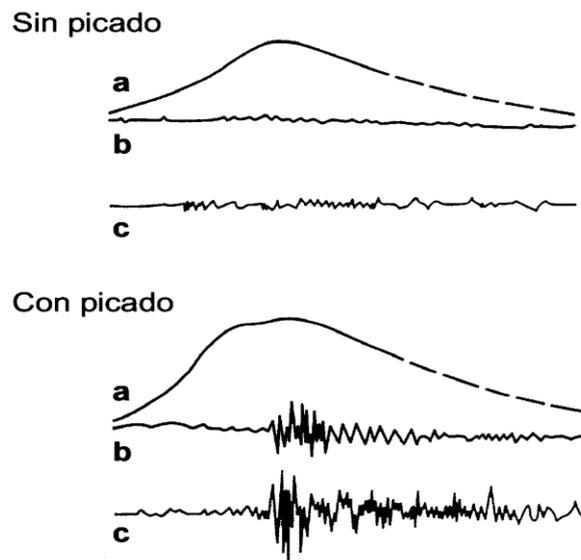


Gráfico 4-2: Señales del sensor de detonación.

Fuente: (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 155).

2.4.5.1. Comprobaciones en el sensor de detonación.

- Con ayuda de una lámpara estroboscópica, se comprobará que se reduce el avance al encendido cuando se desconecta este sensor.
- Se verificará el conexionado a masa del apantallamiento.
- En el osciloscopio, se verificarán las variaciones de señal cuando se proceda a golpear ligeramente, con ritmo regular, en las inmediaciones de este sensor. Se empleará para ello un mazo de plástico, o cualquier otra herramienta que no produzca daños. Los impactos se han de ver reflejados en el oscilograma (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 155).

2.4.6. Sensor de Masa de Aire (MAF).

El sensor de masa de flujo de aire se encarga de convertir la cantidad de aire que entra al motor en una señal de voltaje, para que la ECM pueda saber el volumen de entrada de aire para calcular la carga del motor. Esto es necesario para determinar la cantidad de combustible a inyectar (E-AUTO).

2.4.6.1. Tipo Alambre Caliente.

El termistor mide la temperatura del aire entrante. El hilo caliente se mantiene en una temperatura constante en relación con el termistor del circuito de control electrónico. Un aumento del flujo de aire hace que el hilo caliente pierda calor más rápidamente y los circuitos de control electrónico lo compensan enviando una corriente mayor a través del hilo. El circuito de control electrónico al mismo tiempo mide el flujo de corriente y emite una señal de tensión (VG) en proporción al flujo de corriente (E-AUTO).

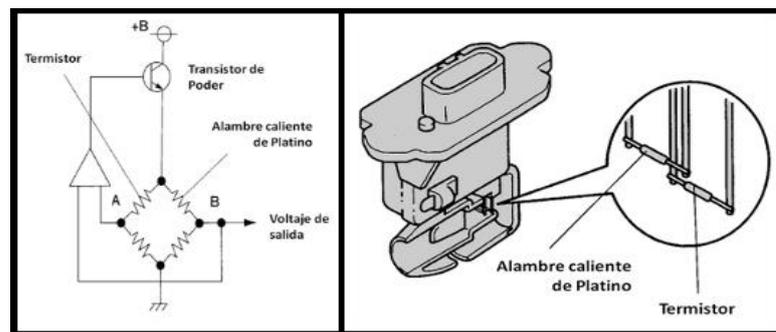


Figura 8-2: Circuito del sensor MAF.

Fuente: (E-AUTO).

2.4.7. Sensor de presión absoluta (MAP).

Se encarga de evaluar el nivel de carga, ya utilizada en otros sistemas tales como el encendido, conoce como sensores MAP (Manifold Air Pressure, Presión de aire en el colector) o sensores de presión absoluta. Mide directamente el grado de depresión existente en el colector de admisión, entre la mariposa y la culata. A partir de la depresión, conjuntamente con la temperatura del aire, se determina la densidad del aire. El dato de la densidad, junto con el del régimen, permite deducir la cantidad de aire que entra al motor. De ahí que a este sistema se le conozca también como velocidad-densidad (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 141).



Figura 9-2: Sensor MAP

Fuente: Autor

2.4.7.1. Las comprobaciones que deben realizarse en el sensor MAP.

- Se comprobó la tensión de alimentación, que deberá ser de 5 V (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 143).
- Su señal de salida puede se verifica, bien estando conectado y con el motor en marcha, o bien transmitiéndose depresión, mediante una bomba de vacío. En el primer caso, la gráfica del osciloscopio será convexa, aumentando el voltaje al acelerar, entre 0,4 y 4,8 V. Por el contrario, si se emplea una bomba de vacío, el voltaje deberá disminuir a medida que el vacío se incrementa (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 143).

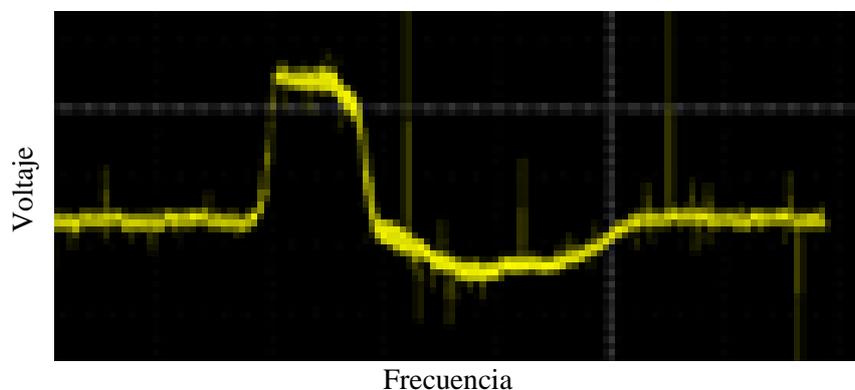


Gráfico 5-2: Variación de la señal en función de la carga.

Fuente: Autor

- Existen modelos en los que la variable es la frecuencia, oscilando entre 90 y 190 Hz, a ralentí y plena carga respectivamente (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 143).

2.4.8. Sensor de temperatura del aire de admisión (IAT).

El sensor IAT permite a la computadora corregir el tiempo de inyección con base en la densidad del aire que entra a las cámaras de combustión. Dependiendo de la temperatura del aire, será la cantidad de oxígeno que entra y la computadora tiene que regular la cantidad de gasolina para corregir el punto estequiométrico. Normalmente el sensor se localiza en la parte posterior del pleno de admisión (CONEVYT).



Figura 10-2: Ubicación posterior del filtro de aire.

Fuente: Autor

El sensor IAT es un termistor de una resistencia que cambia con respecto a la temperatura. Entre más se calienta el sensor menor es su resistencia, generalmente enroscado dentro del múltiple de la toma de aire, en el armazón del acelerador, en el conjunto posterior del filtro de aire.

El cable a tierra de los sensores de temperatura está siempre a la ECU generalmente en la terminal E2. Estos sensores se clasifican como termistores.

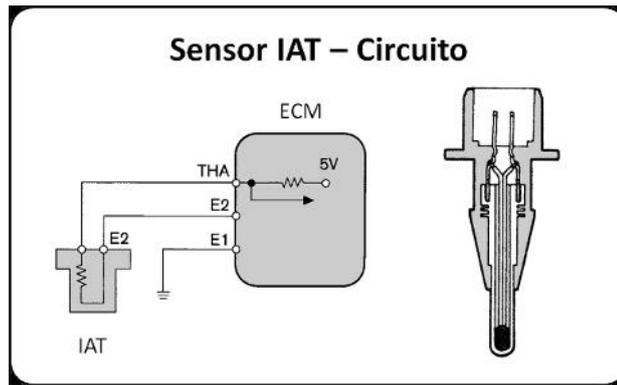


Figura 11-2: Circuito del sensor IAT.

Fuente: (CONEVYT).

2.5. Actuadores.

2.5.1. Inyectores.

La función del inyector consiste en introducir el combustible a presión, y finalmente pulverizado, en el colector de admisión. Su apertura es de tipo electromagnético, disponiendo para ello de una bobina o solenoide, que al ser recorrida por la corriente, produce un campo magnético. Este a su vez provoca el desplazamiento de un núcleo, integrado en la aguja que tapona el conducto de salida, inyectándose por tanto el combustible a través del orificio u orificios dispuestos en dicho conducto. Al desplazamiento de la aguja y el núcleo se opone un muelle antagonista, que hace que la misma recupere la posición de cierre, cuando se interrumpe el paso de corriente por la bobina del electroimán. El recorrido de la aguja oscila en torno a 0,1 mm, suficiente para que el combustible pueda salir por los orificios, al tiempo que favorece su pulverización (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 129).



Figura 12-2: Riel de inyectores

Fuente: Autor

2.5.1.1. *Disposición de la boquilla.*

Como tal se conoce a la parte inferior del inyector, en la zona por la que sale el combustible. En los inyectores convencionales se dispone un único orificio de salida de combustible. Posteriormente, dada la proliferación de los motores multiválvulas, la boquilla pasó a disponer de dos orificios, orientados a los respectivos conductos de admisión de cada válvula. Disponer con un mayor número de orificios, se consigue una eficaz vaporización y homogeneidad. En cualquier caso, el ángulo del cono formado por el chorro de combustible resulta decisivo para la homogeneidad y vaporización (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 130).

2.5.1.2. *Conexión eléctrico.*

La corriente de alimentación es de 12 V, aunque en sistemas de primera generación era de 3 V. El valor óhmico de su solenoide oscila entre 12 y 17 ohmios. Mientras está el motor en marcha están alimentados permanentemente con corriente de positivo, efectuándose su conexión mediante el control de su puesta a masa. El conexión en sí depende del tipo de inyección empleado, en función de la apertura de los inyectores (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 130).

2.5.1.3. *Limpieza de inyectores.*

Es un proceso cada vez menos empleado, dada la mejora en la calidad del combustible, con la que se evita la formación de depósitos, que hace unos años era más habitual. El proceso consiste en hacer circular un líquido limpiador a través del inyector, excitando la bobina del inyector a impulsos, para así mantenerlo abierto. Existen diversas formas de efectuar el proceso (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 131):

2.5.1.4. *Comprobación de inyectores.*

Una vez efectuada la limpieza, debe procederse a realizar su comprobación, supervisando diversos puntos.

- *Caudal de combustible:* Se dispone para ello probetas bajo los mismos, a las que va a parar el combustible inyectado. En este punto, lo más importante no es el

caudal inyectado, sino la equiparación de los mismos. Es decir, que todos los inyectores suministren la misma cantidad de combustible. Si tras efectuar un nuevo ciclo de limpieza el déficit de caudal persiste en alguno o algunos de los inyectores, este o estos deben ser sustituidos (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 133).

- *Estanqueidad:* Para lo cual, una vez instalados los inyectores en el soporte del dispositivo de limpieza, se mantendrá en los mismo una presión de 3 bares durante unos minutos, verificando que no se produzca goteos (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 133).
- *Pulverización:* Debe ser homogénea, debiendo salir el combustible perfectamente pulverizado. De nuevo, la comparación entre todos los inyectores servirá de referencia (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 134).
- *Resistencia y cortocircuito de la bobina:* Se verificará el valor óhmico de la bobina del inyector, comprobando que coincida con los valores estipulados por el fabricante, generalmente entre 12 y 17 ohmios (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 134).



Figura 13-2: Igualdad de nivel en las probetas de medición.

Fuente: (PÉREZ BELLÓ, 2017 pág. 134).

2.5.2. Bobina de encendido DIS.

Las bobinas de encendido de chispa doble generan una tensión de encendido óptima en diferentes cilindros para cada dos bujías y dos cilindros. La tensión se distribuye de forma que:

- La mezcla de aire-combustible de un cilindro se enciende en el extremo de una carrera de compresión –tiempo de encendido– (chispas primarias, chispa de gran alcance).
- La chispa del otro cilindro salta en la carrera de escape (chispas secundarias, energía baja).

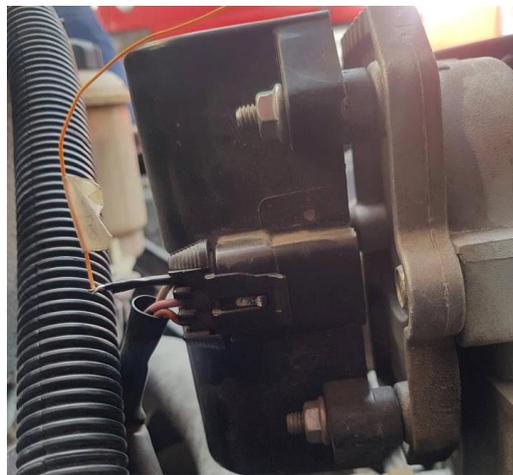


Figura 14-2: Ubicación de la bobina en el motor.

Fuente: Autor.

Las bobinas de encendido de chispa doble generan dos chispas por cada giro del cigüeñal (chispa primaria y secundaria). No es necesario que estén sincronizadas con el árbol de levas; sin embargo, las bobinas de encendido de chispa doble solo son adecuadas para motores con números pares de cilindros. De esta forma, en los vehículos de cuatro y seis cilindros, se incorporan, respectivamente, dos y tres bobinas de encendido de chispa doble (BERU , 2013).

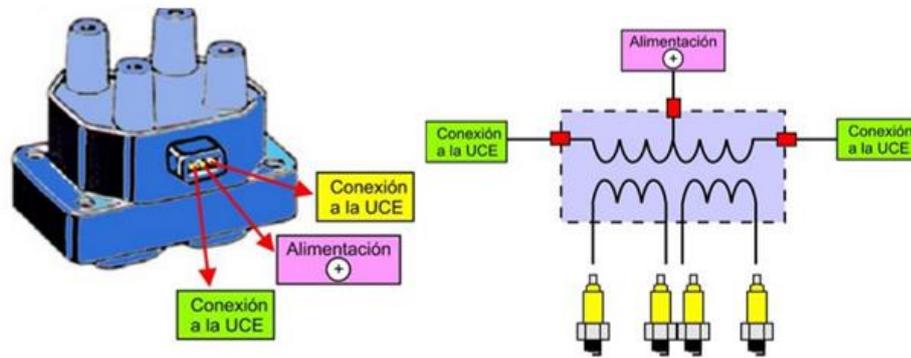


Figura 15-2: Conexión de la bobina de doble chispa al UCE.

Fuente: (E-AUTO)

2.6. Curvas características a plena carga.

Las curvas características de un MCIA a plena carga se obtienen para la máxima densidad de admisión en régimen continuo en (MEP). Representan el par motor, la potencia efectiva y el consumo específico en función del régimen de giro. En un motor instalado en un banco de ensayo su obtención es relativamente sencilla y rápida. En el ensayo, el mando de control se mantiene fijo en su posición máxima demanda. De esta forma, el único grado de libertad está en el freno aplicado al motor que disipa la energía producida por el mismo. Éste se emplea para regular el régimen de giro, midiéndose el par efectivo y el consumo específico para cada régimen (Payri Gonzales, y otros, 2011 pág. 958).

En algunos casos, el intervalo de régimen a caracterizar puede ser reducido en la práctica por las condiciones impuestas por la carga. En tales casos las curvas características a plena carga se sustituyen por los datos de par motor, potencia y consumo específico efectivo, correspondiente a dicha condición y al régimen nominal, junto con una gráfica que expresa la variación del consumo específico en función a la carga (Payri Gonzales, y otros, 2011 pág. 959).

En aplicaciones como la automoción, la morfología de las curvas características a plena carga de un MCIA, depende del comportamiento con el régimen de las variables de las que depende cada parámetro (Payri Gonzales, y otros, 2011 pág. 959).

- M_e = Par efectivo (par motor).

$$M_e = \eta_v V_T P_{ref} \frac{i}{2\pi} F_r F_e PCI \eta_i \eta_m \quad (2.1)$$

- N_e = Potencia efectiva.

$$N_e = M_e \omega ; \quad \omega = 2\pi \quad (2.2)$$

- g_{ef} = Consumo específico efectivo de combustible.

$$g_{ef} = \frac{\dot{m}_f}{N_e} = \frac{1}{PCI \eta_m \eta_i} \quad (2.3)$$

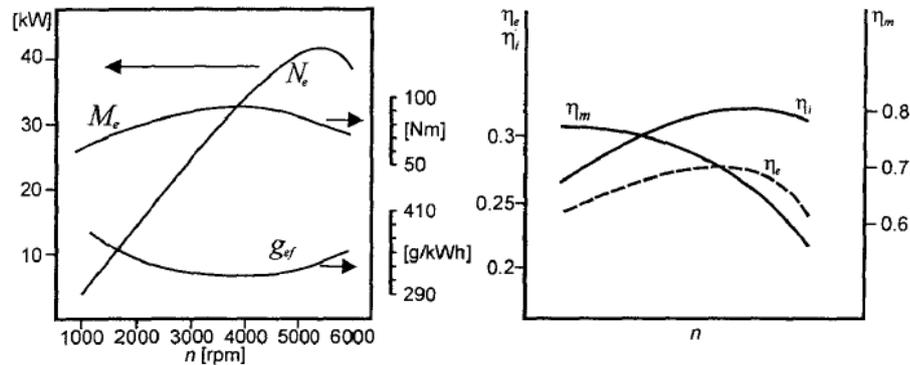


Gráfico 6-2: Morfología típica de curvas características a plena carga (izquierda) y variación del rendimiento indicado, mecánico y efectivo de un MCIa con el régimen (derecha).

Fuente: (Payri Gonzales, y otros, 2011 pág. 960).

En el caso del par, su comportamiento depende del rendimiento indicado, rendimiento mecánico y rendimiento volumétrico. Para el consumo específico depende del rendimiento indicado y rendimiento mecánico. El comportamiento de la potencia efectiva es consecuencia del propio comportamiento del par, al ser el producto de éste por la velocidad angular del cigüeñal (Payri Gonzales, y otros, 2011 pág. 959).

2.7. Curvas características a carga parcial.

Muestran el consumo específico como función de la velocidad lineal media del pistón y el grado de carga del motor, a través de la presión media efectiva (Payri Gonzales, y otros, 2011 pág. 964).

$$C_m = 2Sn \quad (2.4)$$

$$\alpha = \frac{M_e}{M_{e,max}} = \frac{pme}{pme_{max}} \quad (2.5)$$

En el grafico se muestran las curvas multiparamétricas de isoconsumo específico de un MEP de aspiración natural. A nivel puramente comparativo y para este caso particular. Se observa un mayor valor máximo de la velocidad lineal media del pistón (Payri Gonzales, y otros, 2011 pág. 964).

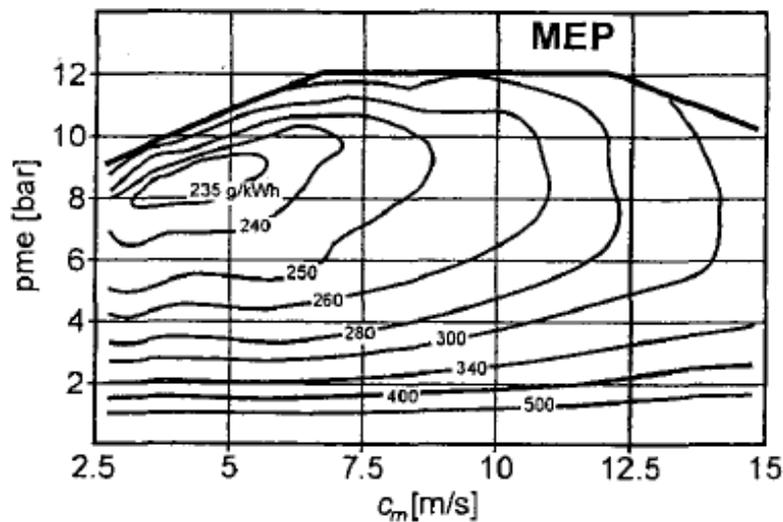


Gráfico 7-2: Curvas multiparamétricas de isoconsumo específico de un MEP de aspiración natural.

Fuente: (Payri Gonzales, y otros, 2011 pág. 965).

2.8. Ecuación de los gases ideales.

Por medio de los procesos termodinámicos estudiados mediante las leyes de Boyle, Gay Lussac y Charles, se mantiene alguna variable de p , V , T constante; no obstante en 1825 se logró establecer un modelo para cualquier proceso termodinámico (GONZALES Aragón, OTROS , 2004).

$$P * V = m * R * T \quad (2.6)$$

De forma justificativa, supongamos que una masa m de un gas se encuentra en un cilindro-pistón en el estado (p_1, V_1, T_1) , inmediatamente con un proceso desconocido,

dicha masa de gas alcanza el estado termodinámico (p_2, V_2, T_2). La relación entre (p, V, T); entre estos dos estados es; primero, mediante un proceso isotérmico forzamos al gas a adquirir el estado (p_2, V_2, T_1). La ley de Boyle asegura que entre el estado (p_1, V_1, T_1) y (p_2, V_2, T_1) la relación entre las variables es (GONZALES Aragón, OTROS , 2004):

$$p_1 * V_1 = p_2 * V_2 \quad (2.7)$$

Luego, mediante la ley de Gay Lussac, (p_2, V_1, T_1) y (p_2, V_2, T_2) tienen la misma presión, obtenemos la siguiente relación.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (2.8)$$

De esta ecuación (2.8) despejamos V_1 y la reemplazamos en la ecuación (2.7) y se obtiene:

$$\frac{p_2 * V_2}{T_2} * T_1 = p_1 * V_1 \quad \rightarrow \quad \frac{p_2 * V_2}{T_2} = \frac{p_1 * V_1}{T_1} \quad (2.9)$$

Esto quiere decir que en todos los estados posibles de una misma masa de gas se generan con, el cociente $(p * V)/T$. Entonces cualquier estado de un proceso termodinámico cerrado, sin cambio de masa, complace (GONZALES Aragón, OTROS , 2004):

$$\frac{p * V}{T} = cte \quad (2.10)$$

2.9. Rendimiento volumétrico.

La eficiencia volumétrica se denomina como el coeficiente de llenado de los cilindros, cuya relación se da entre la masa de aire aspirada efectivamente en cada ciclo y la que teóricamente podría llenar un volumen en la carrera de admisión por vuelta en las condiciones de presión y temperatura exteriores, donde el rendimiento volumétrico del motor se expresa:

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{a \text{ real}}}{\dot{m}_{a \text{ ideal}}} \quad (2.6)$$

El gasto de aire (\dot{m}_a) es el caudal másico admitido por unidad de tiempo (g/s), o en ocasiones se expresa como masa por cilindro y ciclo ($\dot{m}_{a,cc}$), a este aire se le puede agregar combustible durante el proceso de admisión.

$$(\dot{m}_{a,cc}) = \dot{m}_a / (inz) \quad (2.7)$$

2.10. Análisis de regresión lineal.

El propósito de la regresión lineal permite hallar el valor esperado de una variable aleatoria A cuando B toma un valor específico. La aplicación de este método implica un supuesto de linealidad cuando la demanda presenta un comportamiento creciente o decreciente, por tal razón, se hace indispensable que previo a la selección de este método exista un análisis de regresión que determine la intensidad de las relaciones entre las variables que componen el modelo (BryanSalazar López, 2016).

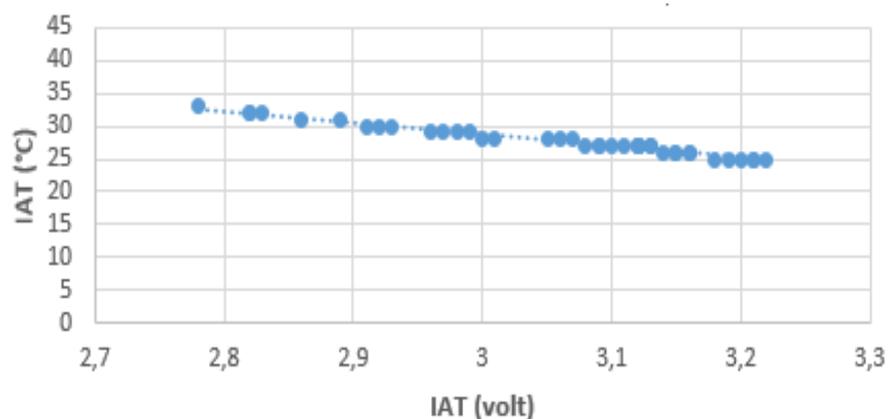


Gráfico 8-2: Regresión lineal.

Fuente: Autor.

El objetivo de un análisis de regresión es determinar la relación que existe entre una variable dependiente y una o más variables independientes. Para poder realizar esta relación, se debe postular una relación funcional entre las variables (BryanSalazar López, 2016).

2.11. Instrumentos utilizados para la toma de datos y señales de los sensores.

2.11.1. *Scanner Launch x431 pro.*

El escáner Launch X-431 Pro es un equipo de diagnóstico profesional basado en el sistema operativo Android. Cuenta con más de 100 programas de diagnóstico y reparación y funciona con vehículos livianos a gasolina, diésel, híbridos y eléctricos OBD I y OBD II. Este modelo incluye un procesador de 1.3Ghz de cuatro núcleos, 16Gb de memoria interna, cámaras de 5MP y 2MP, pantalla táctil de 8" y una batería de mayor capacidad para un uso prolongado entre recargas (CONAUTO, 2017).

Con el módulo conector Bluetooth OBD II que incluye conectividad vía WiFi, es posible comunicarse directa e inalámbricamente con cualquier tipo de vehículo. Esto implica que el escáner Launch X-431 Pro no debe estar conectado físicamente al tablero mientras se lo utiliza, permitiéndole ejecutar el escaneo, pruebas de reparación y diagnóstico mientras trabaja revisa el motor o realizar tareas de mantenimiento en otras partes del vehículo (CONAUTO, 2017).



Figura 16-2: Equipo Launch x431 pro.

Fuente: (CONAUTO, 2017).

2.11.2. *Multímetro automotriz Actron cp7677.*

Esta ingeniosa herramienta realiza todas las pruebas eléctricas estándar para búsqueda y resolución de averías, en vehículo y banco de pruebas, incluyendo tacómetro, ángulo de duración de chispa, voltios, ohmios, amperios y diodo (TEKNOPLUS , 2014).

- Prueba los sistemas de arranque y de carga, de encendido y de suministro de combustible.
- Localiza cables y componentes defectuosos.
- Pantalla LCD digital extra-grande fácil de leer.
- Indicación automática de polaridad inversa.
- Ajuste automático a cero.
- Protección contra sobrecarga en todos los rangos.

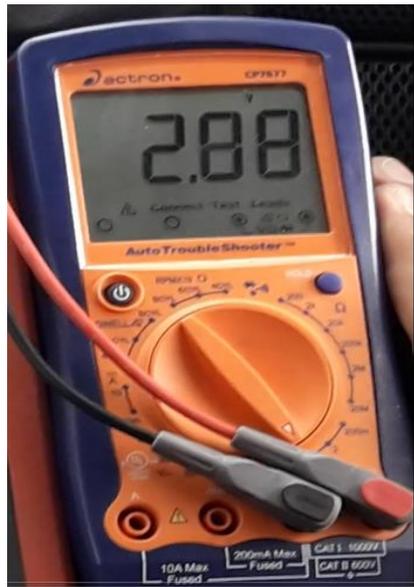


Figura 17-2: Multímetro automotriz

Actron cp7677.

Fuente: Autor

2.11.3. *Osciloscopio automotriz.*

El Osciloscopio Automotriz es un instrumento que permite visualizar señales eléctricas y estimar sus diferentes parámetros: Frecuencia, periodo, amplitud, valores máximos y mínimos.

En un Osciloscopio Automotriz se puede ver gráficamente como las señales cambian con el tiempo. Ya que cuenta con un eje vertical "Y", que representa el voltaje y un eje horizontal "X" que representa el tiempo.



Figura 18-2: Osciloscopio Hantek

Fuente: Autor.

2.12. Componentes electrónicos.

2.12.1. Optoacopladores.

Permite combinar una fuente óptica (generalmente un Led) con algún tipo de detector óptico (generalmente un semiconductor) en un solo encapsulado, el dispositivo resultante se llama optoacoplador u optointerruptor.

Esta estructura produce un elemento que permite el acoplamiento de señales dos tipos de circuitos electrónicos independientes y totalmente aislados entre si, según el encapsulado de estos dispositivos pueden tener un aislamiento hasta de 3500 V.

2.12.2. Amplificador operacional.

El amplificador operacional deriva del concepto de un amplificador de CD, amplificador acoplado en continua, con una entrada diferencial y ganancia extremadamente alta, cuyas características de operación estaban determinadas por los elementos de realimentación utilizados.

2.12.3. Resistencias.

Es un componente pasivo, es decir, no genera corriente ni voltaje en un circuito. Su comportamiento se rige por la ley de Ohm.



Figura 19-2: Resistencias.

Fuente: Autor.

2.12.4. *Display alfanumérico lcd.*

Pantalla alfanumérica de 4 filas y 20 columnas. Backlight tipo LED color azul. Interface paralela. Controlador compatible HD44780 (NAYLAMP).

Los sistemas digitales embebidos como Arduino, Pic u otros trabajan únicamente con lógica binaria (0 y 1), es por eso que para "leer" los datos empleamos pantallas o displays alfanuméricos LCD. Esta pantalla te puede servir para hacer debugging o correcciones en tus distintos proyectos, sobretodo en el manejo de sensores y procesamiento de datos (NAYLAMP).

El LCD 2004 posee 4 filas y 20 columnas de dígitos alfanuméricos, funciona con el controlador interno HD44780, que es un integrado muy utilizado y para el cual existe amplia documentación. Para conectar la pantalla LCD a nuestro Arduino/PIC se necesitan 6 pines: 2 de control y 4 de datos. En cuanto a la programación en Arduino ya se incluye por defecto la librería LiquidCrystal, que incluye ejemplos de prueba (NAYLAMP).

Si bien es posible conectar directamente la pantalla LCD a nuestro Arduino, es una buena opción utilizar un Adaptador LCD paralelo a serial I2C y de esa forma ahorrar pines, trabajando con solo 2 pines del puerto I2C (NAYLAMP).

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Voltaje de Operación: 5V
- Interface de comunicación: Paralelo 4 u 8 bits

- Color Texto: Blanco
- Backlight: Azul
- Filas: 4
- Columnas: 20
- Incluye headers macho



Figura 20-2: *Display alfanumérico lcd*

Fuente: Autor

2.12.5. *Arduino nano.*

El arduino nano es una pequeña y completa placa basada en el ATmega328 (Arduino Nano 3.0) o el ATmega168 en sus versiones anteriores (Arduino Nano 2.x) que se usa conectándola a una protoboard. Tiene más o menos la misma funcionalidad que el arduino duemilanove, pero con una presentación diferente. No posee conector para alimentación externa, y funciona con un cable USB Mini-B (ELECTRONILAB).

CARACTERISTICAS.

- Microcontrolador: Atmel ATmega328 (ATmega168 versiones anteriores)
- Tensión de Operación (nivel lógico): 5 V
- Tensión de Entrada (recomendado): 7-12 V
- Tensión de Entrada (límites): 6-20 V
- Pines E/S Digitales: 14 (de los cuales 6 proveen de salida PWM)
- Entradas Analógicas: 8 Corriente máx por cada PIN de E/S: 40 mA
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 2KB son usados por el bootloader (16 KB – ATmega168)

- SRAM: 2 KB (ATmega328) (1 KB ATmega168)
- EEPROM: 1 KB (ATmega328) (512 bytes – ATmega168)
- Frecuencia de reloj: 16 MHz
- Dimensiones: 18,5mm x 43,2mm



Figura 21-2: Arduino nano.

Fuente: (ELECTRONILAB).

CAPÍTULO III

3. DETERMINACIÓN DEL MODELO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

3.1. Obtención de datos mediante los equipos automotrices.

La recopilación de información del vehículo se logró mediante la utilización de equipos de diagnóstico automotriz, los cuales permitieron obtener la información adecuada para la obtención del modelo de consumo de combustible.

Mediante la utilización del multímetro automotriz se logró obtener el dato de la señal de voltaje del sensor MAP y IAT.



Figura 1-3: Conexión de la señal del sensor MAP y IAT.

Fuente: Autor.

Mediante la conexión del scanner automotriz en el puerto OBD II se visualizó la información requerida que brinda la PCM, logrando obtener los datos de carga del motor, Presión de vacío, temperatura y el regimen de giro del motor.



Figura 2-3: Conexión del scanner en el puerto OBD II.

Fuente: Autor

La toma de información se realizó en varios ciclos de conducción, en condiciones ideales de operación del vehículo, respetando la Ley Transito y con un clima ideal parcialmente soleado a temperatura ambiente de 22 grados centígrados.

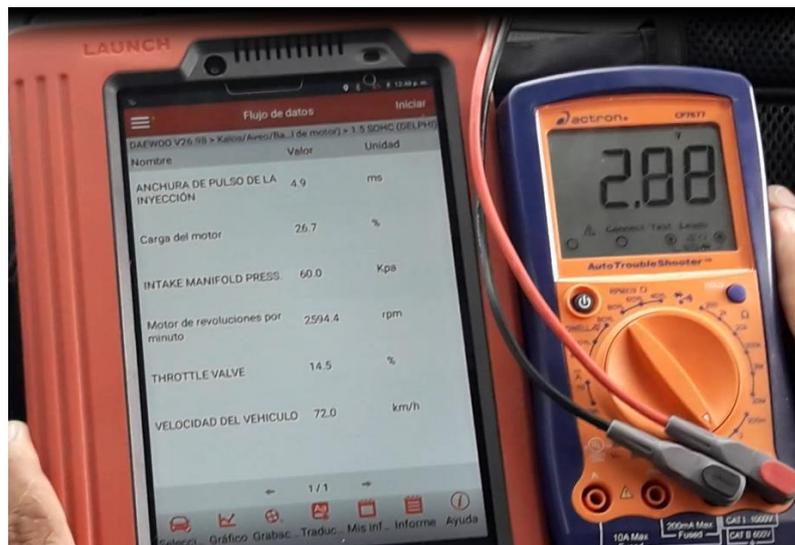


Figura 3-3: Toma de información del vehículo.

Fuente: Autor

3.2. Análisis de datos captados.

Después de haber captado la información del vehículo de manera visual por medio del scanner y multímetro automotriz, en los diferentes ciclos de conducción, se procedió a realizar una compilación de datos, para poder analizar y almacenar la información requerida en la obtención del modelo de consumo de manera real (ver Anexo A).

3.3. Modelado de las ecuaciones por medio de regresión.

3.3.1. Obtención de la ecuación de Presión (kPa).

Con la base de dato anteriormente compilado, se procedió a la obtención de la ecuación de presión de vacío del múltiple de admisión en kPa en función del voltaje de la señal del sensor MAP (ver Anexo B), permitiendo encontrar su respectiva gráfica y ecuación.

$$P = 19,249 * x + 9,1906 \quad (3.1)$$

P = Presión de vacío (kPa)

X = Voltaje de señal del MAP

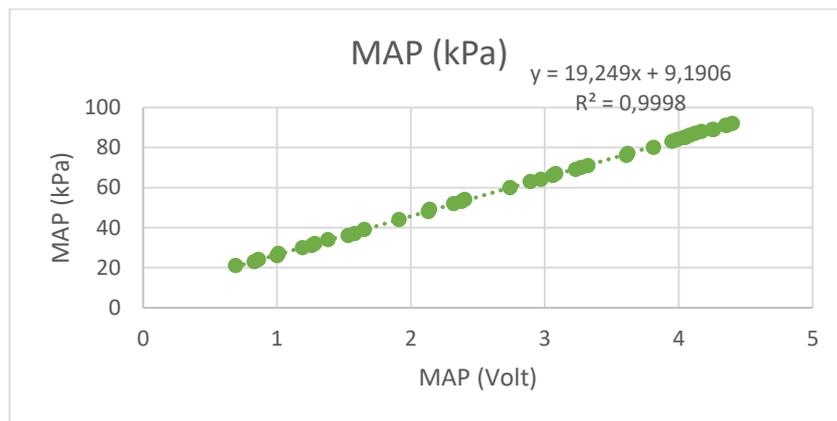


Gráfico 1-3: Regresión lineal de la Presión.

Fuente: Autor.

3.3.2. Obtención de la ecuación de temperatura (°C).

De la misma forma se procede a la obtención de la ecuación de temperatura (°C) en función del voltaje de la señal del sensor IAT (ver Anexo C), permitiendo encontrar su respectiva gráfica y ecuación.

$$T = -17,597 * x + 81,543 \quad (3.2)$$

T = Temperatura de aire de admisión

X = Voltaje de señal sensor IAT

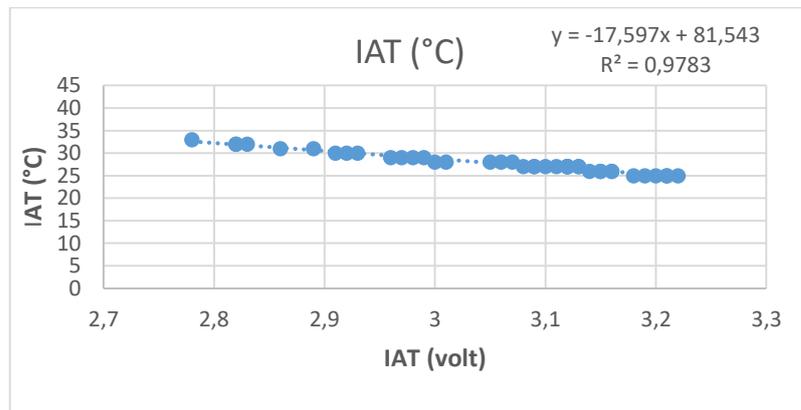


Gráfico 2-3: Regresión lineal de la Temperatura.

Fuente: Autor

3.3.3. Obtención de la ecuación de flujo másico (kg/s).

Para obtener la información del flujo másico, se procedió a escanear el vehículo Hyundai Accent 1.6L el cual cumple con similar características del CHEVROLET Aveo Family 1.5L, por el motivo que el vehículo Aveo carece de sensor MAF, permitiendo así generar una base de datos (ver Anexo D), y encontrar la respectiva gráfica y ecuación de comportamiento flujo masico para el vehículo de estudio.

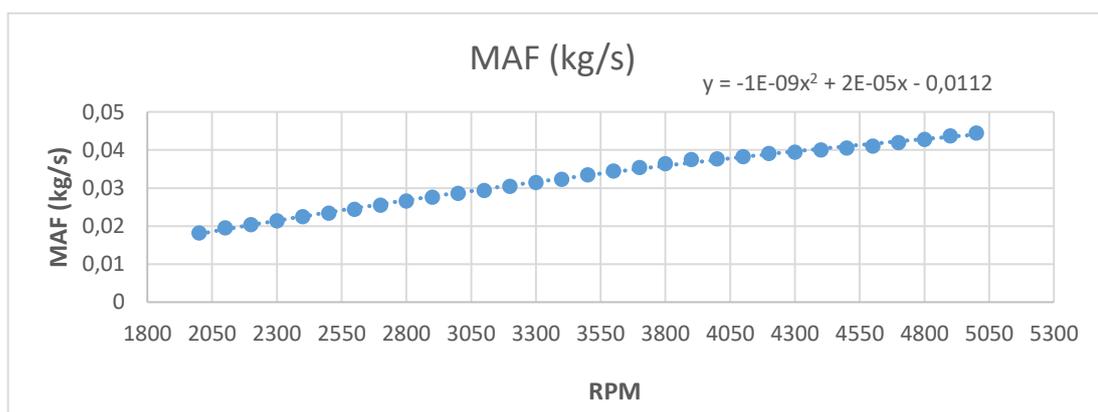


Gráfico 3-3: Regresión Polinómica de segundo orden del MAF.

Fuente: Autor.

La ecuación de flujo másico en función de las RPM del motor por medio de la regresión polinómica de segundo orden, permitirá encontrar el flujo másico real del vehículo Aveo.

$$\dot{M}_{real} = -0,000000001 * x^2 + 0,00002 * x - 0,0112 \quad (3.3)$$

\dot{M}_{real} = Flujo másico de aire real (kg/s)

X = RPM motor

3.4. Modelado de la ecuación de rendimiento volumétrico.

Para encontrar la ecuación del rendimiento volumétrico del vehículo CHEVROLET Aveo Family 1.5L, se parte del fundamento teórico, donde:

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{real}}{\dot{m}_{ideal}} \quad (3.4)$$

η_v = Rendimiento volumétrico.

\dot{m}_{real} = Flujo másico de aire real (kg/s)

\dot{m}_{ideal} = Flujo másico de aire ideal (kg/s)

Para encontrar el flujo másico de aire ideal, se parte de la ecuación de los gases ideales permitiendo encontrar la masa (m) de aire admitida, donde se expresa:

$$m_a = \frac{P * V_p}{R * T} \quad (3.5)$$

m_a = Masa de aire (kg)

P = Presión de vacío (kgf/cm²)

V_p = Cilindrada parcial (cm³)

R = Constante particular del aire (kgf*cm / kg *°k)

T = Temperatura de aire de admisión (°k)

Se debe tener en cuenta las transformaciones de unidades y como constantes:

$$1\text{kPa} = 0.010197 \text{ (kgf / cm}^2\text{)}$$

$$V_p = 375 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$R = 2926,58 \text{ (kgf*cm / kg*}^\circ\text{k)}$$

$$T^\circ\text{k} = T^\circ\text{C} + 273,15$$

Una vez obtenida la masa de aire teórica en kg (ver Anexo E), se debe proceder a obtener el flujo másico de aire ideal, por medio de la ecuación de masa por cilindro y ciclo (2.7):

$$\dot{m}_{ideal} = m_{a,cc} * i * n * z \quad (3.6)$$

Donde la masa aire m_a = masa por cilindro y ciclo $m_{a,cc}$

\dot{m}_{ideal} = Flujo másico de aire ideal (kg/s)

i= Número de ciclos por vuelta

n= Régimen de giro

z= Número de cilindros

Se toma en cuenta para el vehículo Aveo las constantes de: $i = 2$; $z = 2$, se logra obtener el Flujo másico de aire idea (ver ANEXO E).

Después de encontrar el Flujo másico de aire real y Flujo másico de aire ideal se procedió a encontrar el rendimiento volumétrico del vehículo (ver Anexo F), generando una base de datos que permiten encontrar la gráfica y ecuación en función de las RPM del motor.

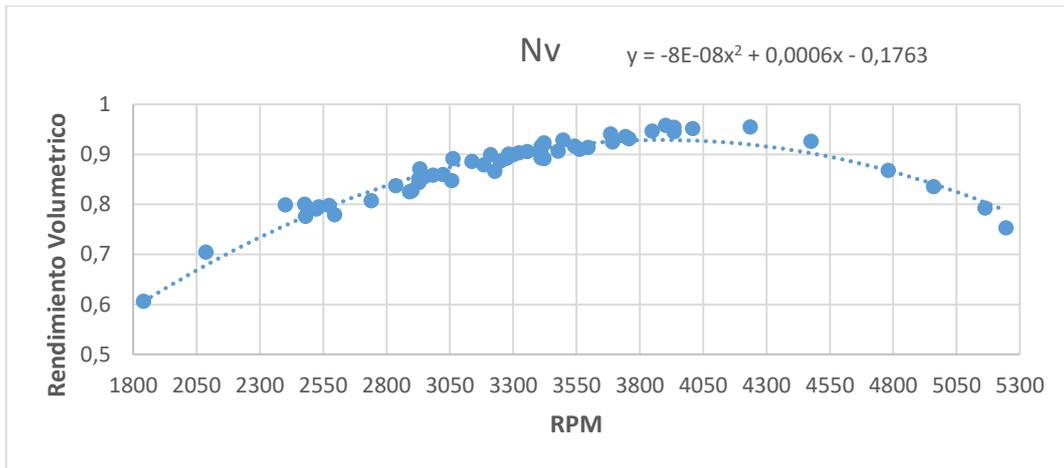


Gráfico 4-3: Regresión Polinómica de segundo orden del Nv.

Fuente: Autor.

La ecuación de rendimiento volumétrico queda en función de las RPM del motor por medio de la regresión polinómica de segundo orden:

$$\eta_v = -0,00000008 * X^2 + 0,0006 * X - 0,1763 \quad (3.7)$$

η_v = Rendimiento Volumétrico

X = RPM del motor

3.5. Modelado de ecuación de consumo de combustible.

Para la obtención de la ecuación de consumo de combustible se parte de la ecuación teórica del rendimiento volumétrico (3.4), la cual permitirá encontrar la masa de aire real en kg:

$$\eta_v = \frac{m_{aire, real}}{m_{aire, ideal}}$$

$$m_{aire, real} = \eta_v * m_{aire, ideal} \quad (3,8)$$

Donde el rendimiento volumétrico es gobernado por la ecuación (3.7), permitiendo rectificar la cantidad de masa de aire que ingresa. La masa de aire ideal descrita por la ecuación (3.5).

Para determinar la cantidad de masa de combustible que ingresa en (kg), se parte de la relación estequiométrica, donde:

$$\frac{m_{aire,real}}{m_{combustible}} = 14,7 \quad (3.9)$$

$$m_{comb} = \frac{m_{aire, real}}{14,7} \quad (3.10)$$

Partiendo de la ecuación de la densidad $\rho = \frac{m}{V}$, se determina el volumen de combustible por revolución que ingresa a los cilindros en (m³).

$$V_{comb} = \frac{m_{comb}}{\rho_{comb}} * i \quad (3.11)$$

Donde:

V_{comb} = Volumen de combustible (m³/rev)

m_{comb} = Masa de combustible (kg)

ρ_{comb} = Densidad de la gasolina (kg/m³)

i = Numero de inyecciones por revolución (1/rev)

Se tiene en cuenta que la densidad de la gasolina esta en 680 (kg/m³), y $i = 2/\text{rev}$

Por último se determina la ecuación de consumo de combustible para el vehículo Aveo en galones por hora:

$$Consumo_{comb} = Volumen_{comb} * n \quad (3.12)$$

$Consumo_{comb}$ = Consumo de combustible (gl/h)

$Volumen_{comb}$ = Volumen de combustible (m³/rev)

n = Régimen de giro del motor (rev/min)

Donde:

$1 \text{ m}^3 = 264,172$ galones estadounidenses, y 1 hora = 60 minutos

Para determinar la ecuación final de consumo de combustible se reemplaza la ecuación 3.5 en la 3.8

$$m_{aire, real} = \eta_v * \frac{P * V_p}{R * T} = \eta_v * \frac{P * 375}{2926,58 * T} \left[\frac{\text{cm}^3}{\frac{\text{kgf} * \text{cm}}{\text{kg} * ^\circ\text{k}}} \right]$$

$$m_{aire, real} = 0,1281359129 * \frac{\eta_v * P}{T} \left[\frac{\text{cm}^2 * \text{kg} * ^\circ\text{K}}{\text{kgf}} \right] \quad (3.13)$$

Remplazar la ecuación 3.13 en la ecuación 3.10

$$m_{comb} = \frac{0,1281359129 * \frac{\eta_v * P}{T}}{14,7} \left[\frac{\text{cm}^2 * \text{kg} * ^\circ\text{K}}{\text{kgf}} \right] = 0,008716728769 \frac{\eta_v * P}{T} \left[\frac{\text{cm}^2 * \text{kg} * ^\circ\text{K}}{\text{kgf}} \right] \quad (3.14)$$

Remplazar la ecuación 3.14 en la ecuación 3.11

$$V_{comb} = \frac{0,008716728769 \frac{\eta_v * P}{T}}{680} * 2 \left[\frac{\frac{\text{cm}^2 * \text{kg} * ^\circ\text{K}}{\text{kgf}}}{\frac{\text{kg}}{\text{m}^3 * \text{rev}}} \right]$$

$$V_{comb} = 0,00002563743756 \frac{\eta_v * P}{T} \left[\frac{\text{cm}^2 * \text{m}^3 * ^\circ\text{k}}{\text{kgf} * \text{rev}} \right] \quad (3.15)$$

Remplazar la ecuación 3.15 en la ecuación 3.12

$$\text{Consumo}_{comb} = 0,00002563743756 \frac{\eta_v * P}{T} * n \left[\frac{\text{cm}^2 * \text{m}^3 * ^\circ\text{k}}{\text{kgf} * \text{rev}} * \frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]$$

$$\text{Consumo}_{comb} = 0,00002563743756 \frac{\eta_v * P}{T} * n \left[\frac{\text{cm}^2 * \text{m}^3 * ^\circ\text{k}}{\text{kgf} * \text{rev}} * \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{264,172 \text{ gl}}{\text{m}^3} * \frac{60 \text{ min}}{\text{h}} \right]$$

$$\text{Consumo}_{comb} = 0,4063615893 \frac{\eta_v * P * n}{T} \left[\frac{\text{cm}^2 * ^\circ\text{k} * \text{gl}}{\text{kgf} * \text{h}} \right] \quad (3.16)$$

Donde se debe tener en cuenta:

Consumo_{comb} = Consumo de combustible (gl/h)

$P =$ Presión de vacío (kgf/cm^2)

$\eta_v =$ Rendimiento volumétrico

$T =$ Temperatura ($^{\circ}\text{k}$)

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE PREDICCIÓN CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

4.1. Lectura de señales.

4.1.1. Señal MAP.

El sensor de presión absoluta convierte la presión existente del múltiple de admisión en una señal de voltaje, se encuentra ubicado en múltiple de admisión después del mecanismo de aceleración, consta de tres pines, uno de baja referencia, uno de señal y uno de alimentación de 5 voltios.

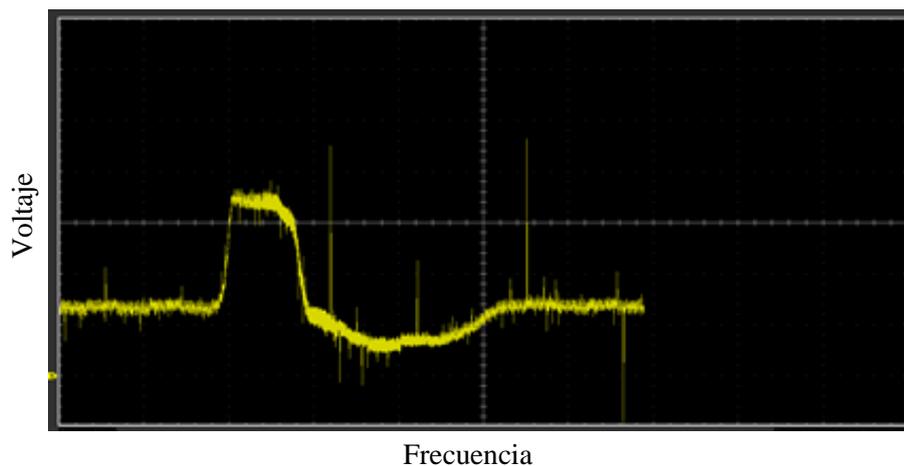


Gráfico 1-4: Señal de voltaje del sensor MAP

Fuente: Autor

4.1.2. Señal de la IAT.

El sensor de temperatura de aire de admisión e de tipo NTC, se encuentra ubicado en la toma de aire después de litro de aire, consta de dos pines, uno de señal y uno de baja referencia.

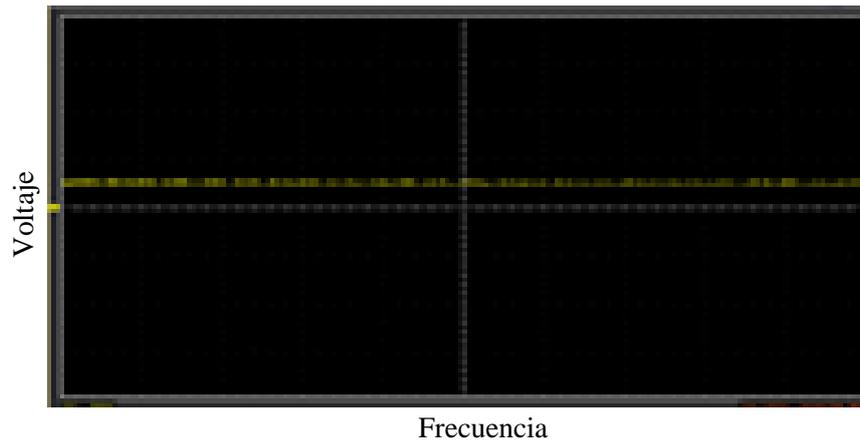


Gráfico 2-4: Señal de voltaje del sensor IAT.

Fuente: Autor.

4.1.3. Señal de la bobina.

La señal que recibe la bobina de la PCM es de tipo analógica, el cual determinara la activación de la bujía, para el salto de la chipa en el cilindro en su determinado tiempo.

Para la utilización de la señal de la bobina, se debe tener en cuenta que se trata de un sistema DIS, donde la bobina costa de un conector de tres pines, uno de entrada de señal, uno de alimentación de 12 voltios, uno de salida de señal, ubicada en la parte posterior del de la culata.

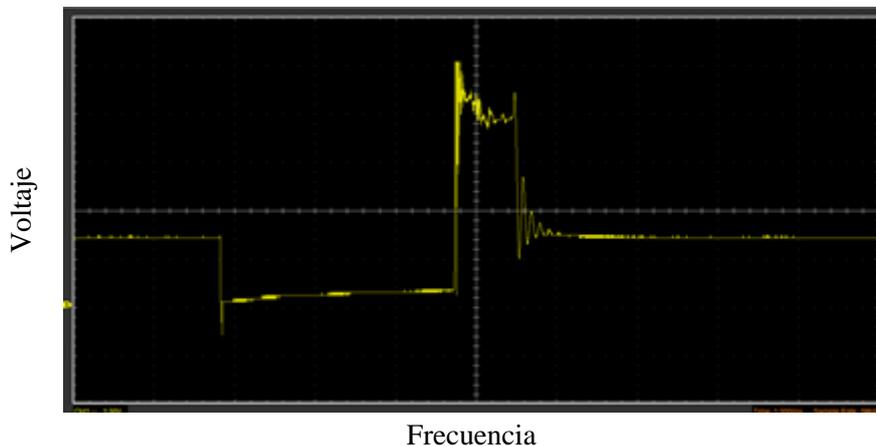


Gráfico 3-4: Señal de la bobina.

Fuente: Autor.

4.2. Diseño del esquema electrónico.

El diseño del esquema electrónico permite acondicionar la señal de entrada de bobina, para su correspondiente lectura con el Arduino, el cual determinara las RPM del motor.

4.2.1. *Diseño y construcción del circuito electrónico.*

4.2.1.1. *Diseño del circuito*

Para el diseño del circuito primero se realizó una simulación en software, para una correcta construcción de circuito, el cual determina el acondicionamiento de la señal de la bobina para la correspondiente lectura en el Arduino. En la realización del circuito se utilizó los siguientes componentes:

- Arduino Nano
- Optoacoplador 4N25
- Amplificadores operacionales
- Fuente de alimentación
- Protoboard
- Resistencias
- Potenciometro

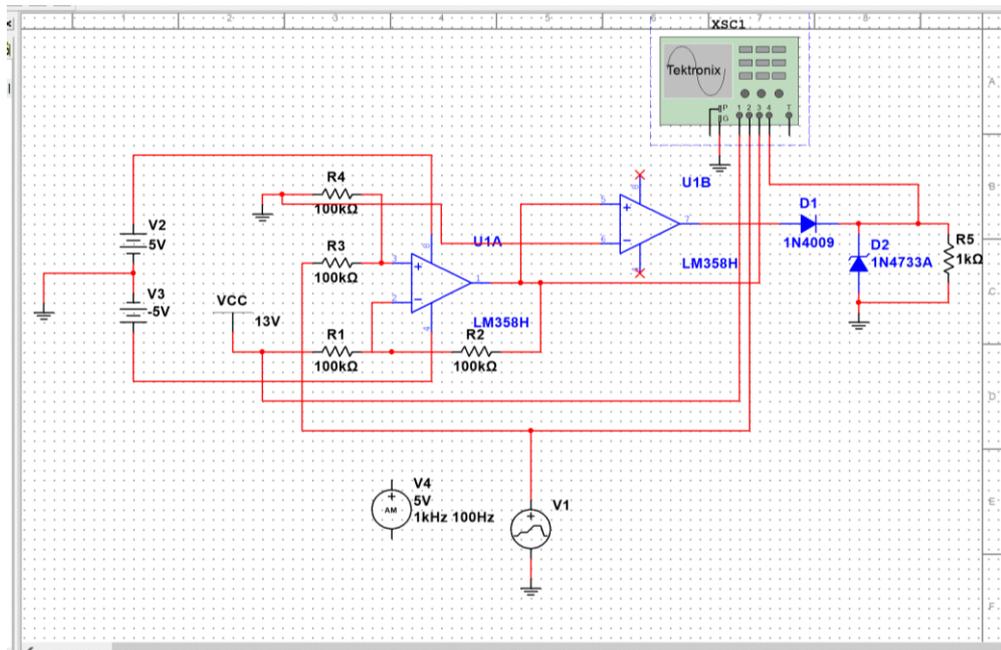


Gráfico 4-4: Simulación del circuito eléctrico.

Fuente: Autor.

Una vez realizada la simulación el software se procedió al armado del circuito en la protoboard, para correspondiente prueba de funcionamiento.

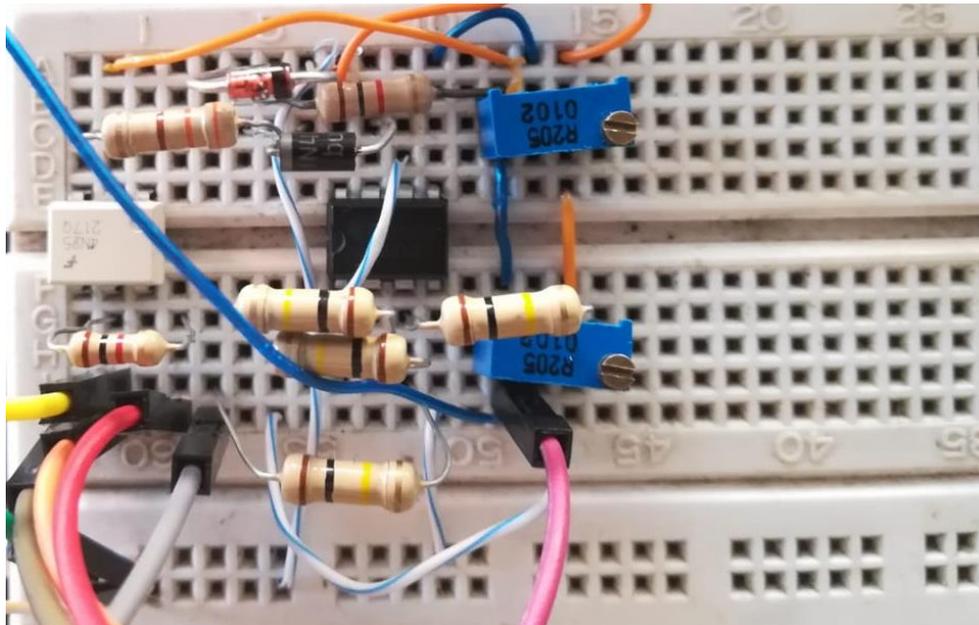


Figura 1-4: Armado del circuito eléctrico en la Protoboard.

Fuente: Autor.

Mediante el circuito de rectificación se verifica el correcto acondicionamiento de la señal en pleno funcionamiento.

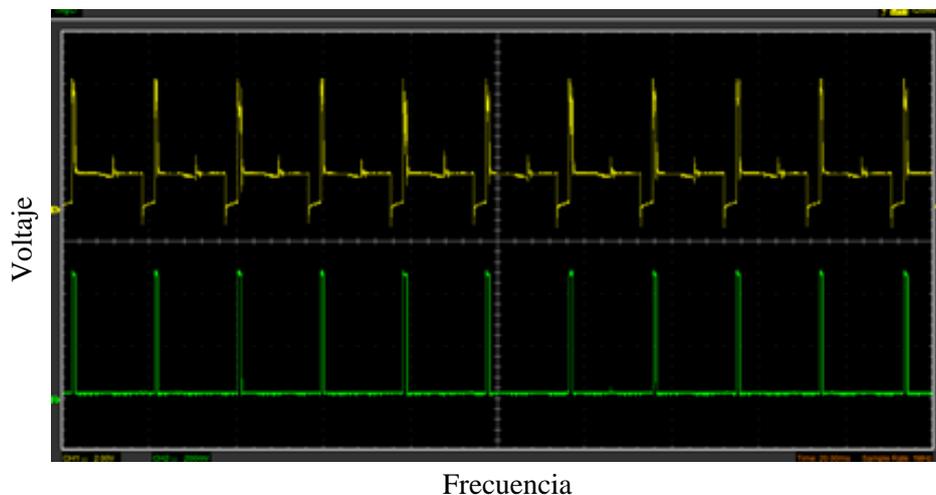


Gráfico 5-4: Señal rectificada de la bobina

Fuente: Autor.

4.2.1.2. Construcción del circuito.

a) Grabado de las pistas del circuito electrónico en la baquelita.

Procedimiento para el grabado de las pistas en la baquelita:

- 1) Diseño de la pista e impresión de las pistas del circuito en papel couche o fotográfico.

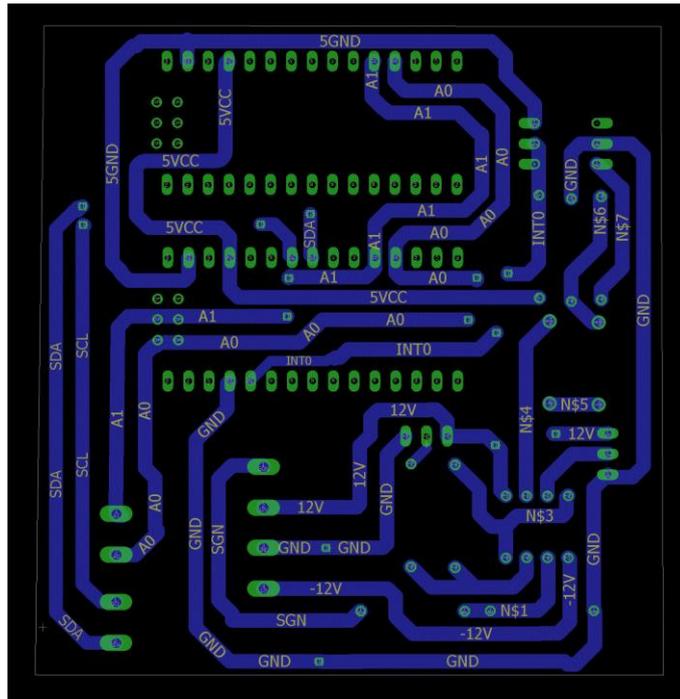


Figura 2-4: Diseño de la pista.

Fuente: Auto

Una vez realizado el diseño del circuito, se determino el diagrama de las pistas del circuito.

- 2) Impresión del circuito al cobre y verificación del cobre en el circuito.



Figura 3-4: Impresión y verificación del circuito.

Fuente: Autor

3) Ataque químico para eliminar el cobre excedente.



Figura 4-4: Eliminación de excedente de cobre.

Fuente: Autor

4) Comprobación de continuidad para verificar su correcto revelado

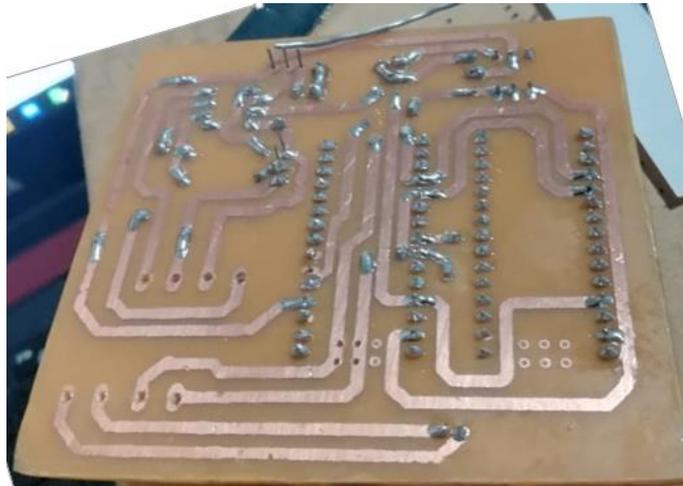


Figura 5-4: Comprobación de continuidad de las pistas del circuito.

Fuente: Autor.

b) Colocación de los componentes electrónicos en la placa.

1) Perforación de la placa.

Procedemos a perforar los orificios para colocar los componentes en sus respectivos lugares.



Figura 6-4: Perforación de la placa.

Fuente: Autor.

2) Soldar los componentes electrónicos a la placa.

Una vez colocados los componentes en sus respectivos lugares procedemos a soldar los mismo, para su correcto funcionamiento.

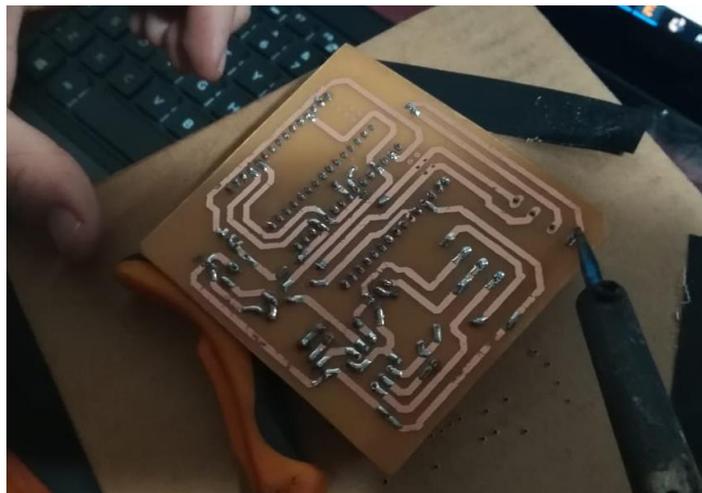


Figura 7-4: Colocación de componentes en la placa.

Fuente: Autor.

En esta visualización permite comprobar el correcto armado del prototipo de acondicionamiento de la señal de la bobina.

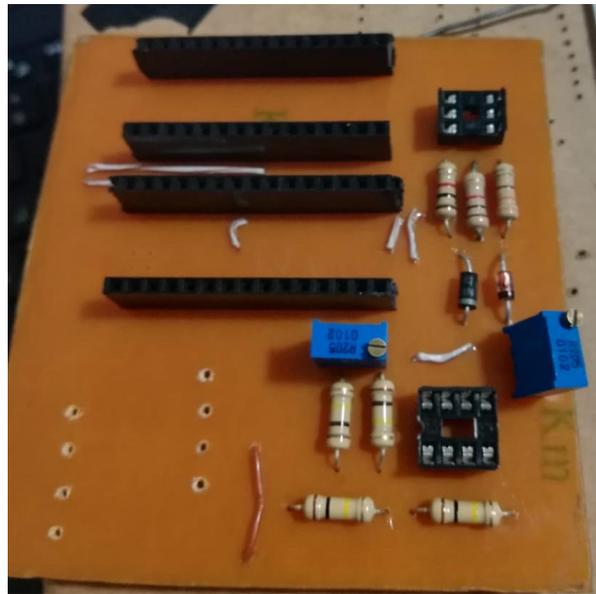


Figura 8-4: Verificación de los componentes en la placa.

Fuente: Autor

4.3. Determinación del revoluciones del motor.

Para determinar las RPM del motor se parte del acondicionamiento de la señal de la bobina, con la señal cuadrada rectificada se determina el numero de pulsos, y con ayuda de un scanner, se realiza una base de datos (ver Anexo G) que permiten encontrar la ecuación de las revoluciones por minuto en función del número de pulsos.

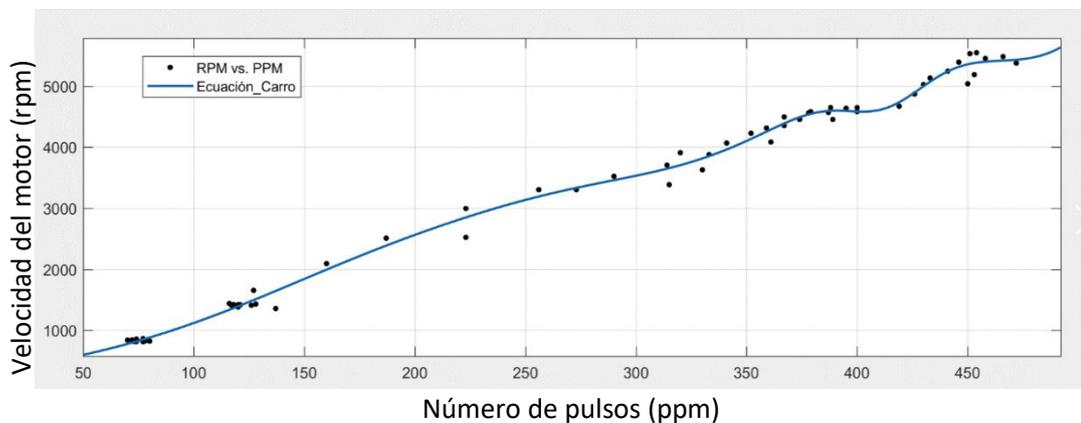


Gráfico 6-4: Comportamiento de las rpm en función de los pulsos.

Fuente: Autor.

$$n = 1027 - \left(\frac{2x}{319} - \frac{2847}{1595} \right)^2 - \frac{4697 - \left(\frac{25x}{462} - \frac{4535}{462} \right)^2}{5} \quad (4.1)$$

Donde:

n = Revoluciones por minuto.

X = Numero de pulsos.

4.4. Programación de la tarjeta Arduino.

4.4.1. Ecuaciones que intervienen en la programación para determinar el consumo

4.4.1.1. Ecuación de presión.

La ecuación de presión permite determinar la presión de vacío existente en múltiplo de admisión, determinando una ecuación de presión en kPa en función del voltaje recibido por la señal del sensor MAP. Se debe multiplicar la ecuación (3.1) por una constante y obtener el dato en kgf/cm².

$$P = (19,249 * x + 2,1906) * 0,0101197$$

$$P = 0,196282053 * x + 0,0223375482 \quad (4.2)$$

P = Presión de vacío (kgf/cm²)

X = Señal del sensor MAP (Voltios)

4.4.1.2. Ecuación de temperatura.

La ecuación de temperatura permite determinar la temperatura existente en la admisión, la ecuación (3.2) determina la temperatura en °C, por lo cual se debe sumar por una constante para obtener el dato en grado °K.

$$T = -17,597 * x + 81,543 + 273,15$$

$$T = -17,597 * x + 22273,47045 \quad (4.3)$$

T = Temperatura de aire admisión (°K)

X = Señal de voltaje IAT (voltios)

4.4.1.3. Ecuación de rendimiento volumétrico.

La ecuación de rendimiento volumetrico permite determinar la eficiencia de llenado de los cilindros. Y así ajustar la cantidad de masa de aire que ingresa al motor, la ecuacion (3.7) esta en función de la rpm del motor.

$$\eta_v = -0,00000008 * X^2 + 0,0006 * X - 0,1763 \quad (3.7)$$

η_v = Rendimiento Volumétrico

X = RPM del motor

4.4.1.4. Ecuación de revoluciones del motor.

La ecuación de la revoluciones del motor (4.1), permite determinar a cuantas rpm se encuentra el motor.

$$n = 1027 - \left(\frac{2x}{319} - \frac{2847}{1595} \right)^2 - \frac{4697 - \left(\frac{25x}{462} - \frac{4535}{462} \right)^2}{5} \quad (4.1)$$

4.4.1.5. Ecuación de consumo de combustible.

La ecuación del modelo de predicción de consumo de combustible permite determinar la cantidad de combustible que consume el vehículo en galones por hora.

$$Consumo_{comb} = 0,4063615893 \frac{\eta_v * P * n}{T} \left[\frac{cm^2 * °K * gl}{kgf * h} \right] \quad (3.16)$$

Donde se debe tener en cuenta:

Consumo_{comb} = Consumo de combustible (gl/h)

P = Presión de vacío (kgf/cm^2)

η_v = Rendimiento volumétrico

T = Temperatura ($^{\circ}\text{k}$)

4.4.2. Programación final.

Para programación final del modelo de predicción se utilizó una tarjeta Arduino Nano, donde se introdujo las correspondientes ecuaciones para determinar el consumo de combustible.

Se procedió a ingresar las ecuaciones, (4.1) de las revoluciones del motor en función de los pulsos de la bobina, (4.2) de la presión de vacío en función del voltaje del sensor MAP, (4.3) de la temperatura de aire de admisión en función del voltaje del sensor IAT, (3.7) del rendimiento volumétrico en función de las rpm del motor y la (3.16) de consumo de combustible en función de (la presión de vacío, temperatura de aire de admisión, rendimiento volumétrico y RPM). Programación (ver Anexo H)

4.5. Diseño e impresión de la carcasa del circuito electrónico.

Se procedió a diseñar e imprimir la carcasa del circuito en el cual se utilizó el software solidworks para modelar y luego se procedió a imprimir en una impresora 3D.

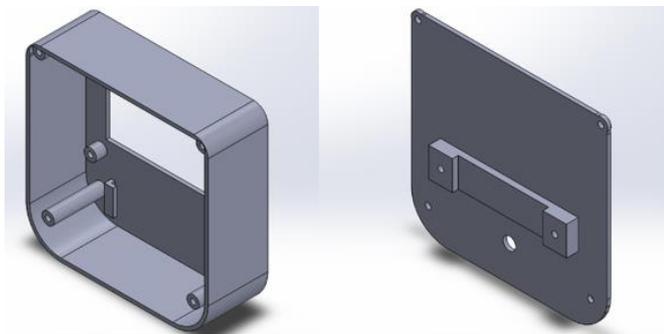


Figura 9-4: Diseño de carcasa.

Fuente: Autor.

4.6. Implementación del prototipo de predicción de consumo en el vehículo.

4.6.1. Conectar sus respectivos cables.

Se procede a conectar su respectivo cable que consta de cables de señal del MAP, señal de la bobina, alimentación y masa.



Figura 10-4: Conexión de cables a la señal.

Fuente: Autor.

4.7. Verificación de funcionamiento.

Se verifica el correcto funcionamiento del prototipo de consumo de combustible .

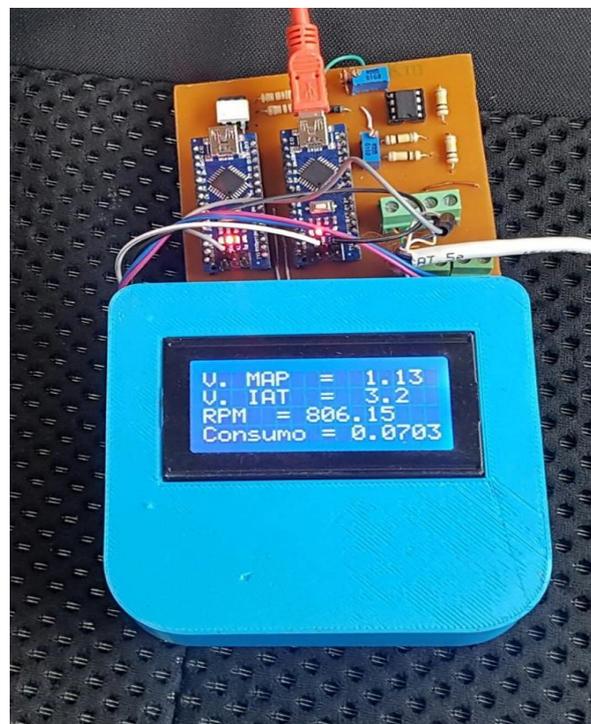


Figura 11-4: Verificación de funcionamiento.

Fuente: Autor

CAPÍTULO V

5. EQUIPO DE COMPROBACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO DE PREDICCIÓN CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

5.1. Instalación del equipo.

Se instala la fuente de alimentación en la cigarrillera del vehículo por medio de un inversor de corriente, se procede a la conexión del prototipo de predicción de consumo de combustible en la fuente de alimentación, posteriormente se conecta la masa del prototipo a la batería, el cable de señal del MAP, el cable de señal del IAT y el cable de la señal de entrada de bobina.

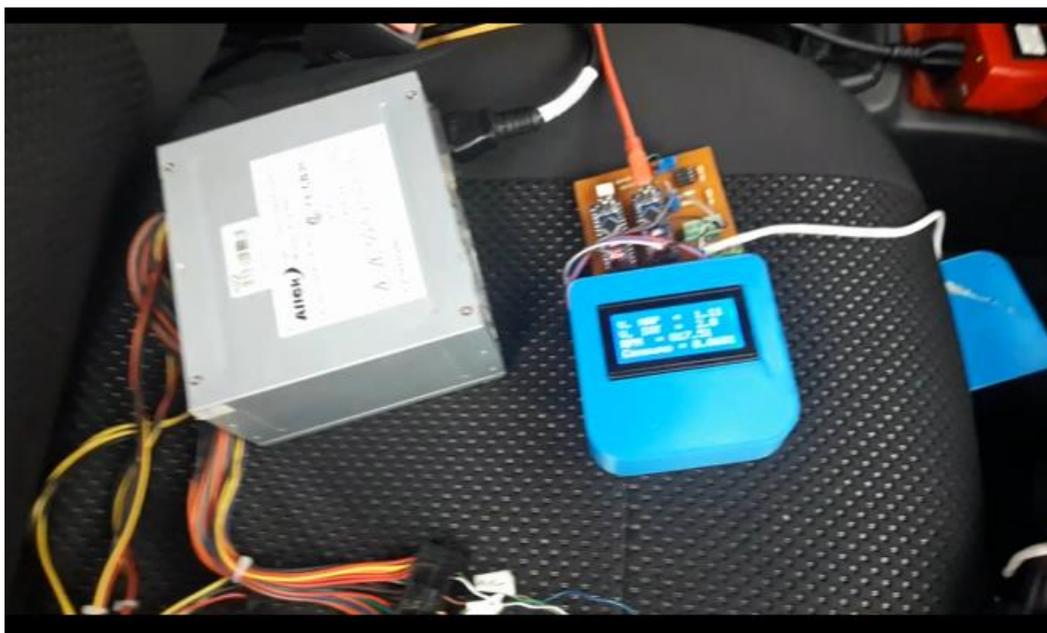


Figura 1-5: Instalación del prototipo de predicción de consumo de combustible

Fuente: Autor

5.2. Circuito de prueba.

Para la realización de las pruebas se tomo en cuenta un circuito corto de aproximadamente de 38 minutos, con dirección de la estación de servicio de combustible PRIMAX cercana

al paseo Shopping-ciudad de Guano -los Elenes-estación de servicio de combustible PRIMAX (ver Anexo I).

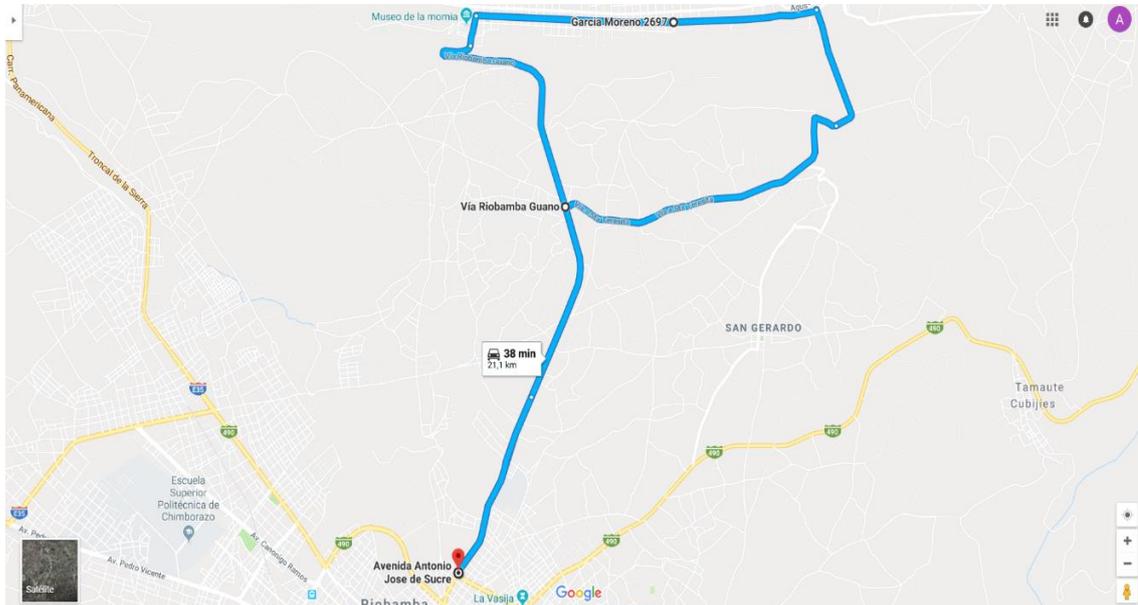


Figura 2-5: Cicuito de conducción.

Fuente: Autor.

5.3. Cálculo de tamaño de muestra.

Para determinar el número de pruebas se calcula el tamaño de muestra, partiendo de un tamaño de población de 9 automóviles Aveo, un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 3%.

$$n = \frac{N * z^2 * p * q}{e^2 * (n - 1) + z^2 * p * q} \quad (5.1)$$

n=tamaño de muestra.

N= tamaño de la población .

z= parámetro estadístico que depende nivel de confianza.

p= probabilidad que ocurra el evento.

q= probabilidad de que no ocurra el evento.

e=error de estimación máximo aceptado.

Tabla 1-5: Porcentaje de nivel de confianza y valor de Z.

Nivel de confianza	Z
99,70%	3
99%	2,58
98%	2,33

96%	2,05
95%	1,96
90%	1,645
80%	1,28
50%	0,674

Realizado por: Autor.

Fuente: Autor.

En la tabla 2-5 se indica el numero de la muestra, que se debe realizar para detrmnar la confiabilidad del modelo de predicción, equivalente a 9 pruebas que se realizó.

Tabla 2-5: Tamaño de la muestra.

Parámetro	Valor
N	9
z	1,96
p	0,5
q	0,5
e	0,03
n	8,9330302

Realizado por: Autor.

Fuente: Autor.

5.4. Adquisición de datos.

Se adquieren los datos mediante una aplicación libre de PANAMA-HITEK, que es el Arduino Data-Logger, el cual captura los datos de los sensores conectados al Arduino, ofreciendo la posibilidad de tabular la información y exportarla al Excel (ver Anexo J). (GARCÍA GONZÁLEZ, Antony , 2014).

Tabla 3-5: Adquisición de Datos.

Datos Obtenidos								
Lectura N°	Hora	RPM	V. MAP	V. IAT	PRESION	TEMPERATURA	NV	CONSUMO (g/h)
73	7:13:48	1599,57	3,81	3,1	0,83	298,36	0,58	1,044725418
74	7:13:49	1917,19	3,38	3,19	0,72	305,24	0,68	1,243190408
75	7:13:50	2141,52	0,87	3,22	0,26	300,59	0,74	0,551441765
76	7:13:52	1917,19	2,79	3,16	0,64	299,22	0,68	1,135725975
77	7:13:53	1599,57	2,78	3,16	0,65	299,22	0,58	0,823412514
78	7:13:54	1626,71	2,63	3,18	0,62	298,79	0,59	0,804611874
79	7:13:56	1710,21	2,66	3,29	0,59	298,79	0,62	0,840560818
80	7:13:57	1710,21	2,57	3,09	0,6	300,08	0,62	0,851997852

Realizado por: Autor.

Fuente: Autor.

5.5. Análisis y resultados

Se realizaron nueve pruebas finales en el mismo circuito, para determinar la fiabilidad del modelo de consumo de combustible y el prototipo mediante los resultados obtenidos por la adquisición de datos(ver Anexo K).

5.5.1. Pruebas

En la presenta tabla se muestra los valores del consumo teórico calculado del circuito mediante la media de los datos adquiridos en el cicuito y el volor del consumo real, el cual se obtuvo en la gasolinera (se lleno el tanque de combustible del vehículo hasta que salte la pistola, se realizo la prueba y se volvio a llenar el tanque de la misma manera hasta que salte la pistola permitiendo obtener el dato deseado).

Tabla 4-2: Media del consumo teórico.

Nª	CONSUMO TEÓRICO	CONSUMO REAL
PRUEBA 1	0,450741993	0,418
PRUEBA 2	0,45203673	0,425
PRUEBA 3	0,444004703	0,412
PRUEBA 4	0,490512437	0,455
PRUEBA 5	0,434038927	0,405
PRUEBA 6	0,414498515	0,385
PRUEBA 7	0,432729047	0,406
PRUEBA 8	0,431697799	0,401
PRUEBA 9	0,438352849	0,409

Realizado por: Autor.

Fuente: Autor.

5.5.2. Análisis

Por tratarse de un número de pruebas inferior a 30 muestras se procede a escoger la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde el valor significativo del consumo real $=0.156 > \alpha=0.05$ y el valor significativo consumo teórico $=0.706 > \alpha=0.05$, por lo cual concluimos que los datos provienen de una distribución normal (ver Anexo K).

Tabla 5-5: Prueba de normalidad.

CONSUMO		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
GALONES	CONSUMO REAL	0,226	9	,200*	0,88	9	0,156
	CONSUMO TEORICO	0,167	9	,200*	0,951	9	0,706

Realizado por: Autor.

Fuente: Autor.

Para determinar las diferencias significativas entre las muestras de consumo teórico y consumo real se aplicó la prueba estadística t student en el cual se procedió a determinar las hipótesis.

Ho = los valores de consumo real con el consumo teórico no tienen una diferencia significativa por lo tanto el modelo es aceptable.

H1= los valores de consumo real con el consumo teórico tienen una diferencia significativa por lo tanto el modelo no es confiable.

Tabla 6-5: Estadísticos de grupo.

COSUMO		N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
GALONES	CONSUMO REAL	9	0,4432	0,02106	0,00702
	CONSUMO TEORICO	9	0,4232	0,01905	0,00635

Realizado por: Autor.

Fuente: Autor.

En la tabla 5-5 podemos determinar el valor de significancia de la prueba T donde nos da el valor de $p=0.051$ donde este valor es $> \alpha=0.05$, en donde aceptamos la hipótesis nula.

Tabla 7-5: Prueba de muestras independientes.

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
	Se han asumido varianzas iguales	0,015	0,905	2,108	16	0,051	0,01996	0,00947	-0,00011	0,04002

	No se han asumido varianzas iguales			2,10	15,84	0,051	0,01996	0,00947	- 0,00013	0,04004
--	-------------------------------------	--	--	------	-------	-------	---------	---------	--------------	---------

Realizado por: Autor.

Fuente: Autor.

Se concluye que los valores de consumo real con el consumo específico no tienen una diferencia significativa por lo tanto el modelo es aceptable.

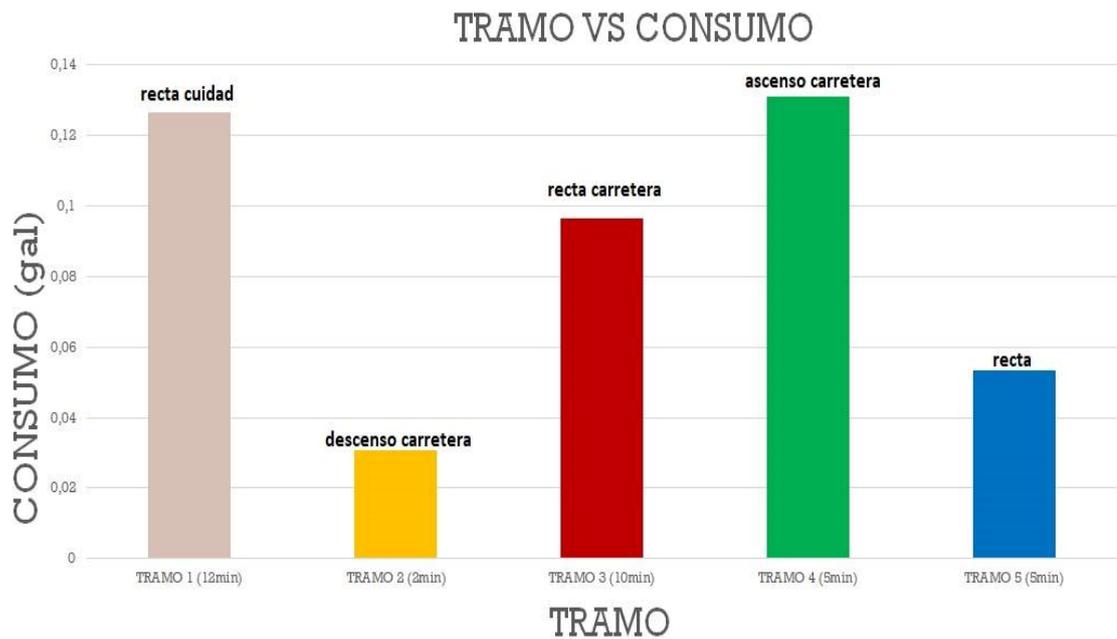


Gráfico 1-5: Representación de los tramos en barra en distancia.

Fuente: Autor.

En el gráfico 1-5 de barras se demuestra el comportamiento del consumo de combustible del circuito de prueba en las condiciones de recta en ciudad, descenso en carretera, recta de carretera, ascenso de carretera y en renta de carretera.

Tabla 8-5: Media de los tramos en el trayecto y tiempo.

PRUEBAS	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5
1	0,12074761	0,02599771	0,06903518	0,1588008	0,0661607
2	0,13000904	0,03235237	0,12369163	0,11481056	0,05117313
3	0,12842931	0,03095111	0,08754204	0,12661986	0,07046238
4	0,14480143	0,03611316	0,10177533	0,14970744	0,05811507
5	0,12343686	0,03054014	0,11600201	0,12851746	0,03554245

6	0,11929724	0,02935567	0,08692225	0,1240213	0,05490205
7	0,12881724	0,02973989	0,08572587	0,12775244	0,06069361
8	0,12517323	0,03179574	0,09350464	0,12720552	0,05401868
9	0,12216928	0,03091362	0,11780713	0,12821096	0,03925186
MEDIA	0,12679152	0,03075785	0,09648117	0,13114744	0,05331673

Realizado por: Autor.

Fuente: Autor.

Con el análisis realizado de la tabla 8-5 de la medias o promedio de los tramos del circuito, se llego a la conclusión que el modelo funciona de mejor manera en carretera, ya que, los datos para el modelado se los realizaron en carretera.



Gráfico 2-5: Representación de los tramos en barra en proyección.

Fuente: Autor.

El gráfico 2-5 demuestra la proyección del consumo a una hora, en reta de ciudad, descenso carretera, recta caretera, ascenso carretera y en recta carretera de la difrentes etapas del circuito de prueba.

Tabla 9-5: Media de los tramos a proyección a una hora.

PRUEBAS	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5
1	0,88893947	0,55709379	0,46697978	1,59331904	0,78296684
2	0,61084904	0,99037878	0,67162875	1,40871853	0,60799759
3	0,5555702	0,88431752	0,57092638	1,58937058	0,59713879
4	0,62369606	1,14041568	0,65380296	1,55405645	0,68911155
5	0,57770761	0,91164611	0,63331397	1,33640338	0,50295927

6	0,53337068	0,87628863	0,53545535	1,55675273	0,65489524
7	0,57337052	0,84971105	0,55908175	1,54851439	0,61513796
8	0,56810845	0,94912656	0,57131145	1,63083994	0,72834169
9	0,61084642	0,9227945	0,64141813	1,3448702	0,49270118
MEDIA	0,60907764	0,88434033	0,58588121	1,50313546	0,62351242

Realizado por: Autor.

Fuente: Autor.

Con el análisis de la tabla 9-5 se demuestra el comportamiento de las medias de los tramos en proyección a una hora, que si se mantiene en las mismas condiciones el consumo en una hora sera el indicado en la tabla.

Una vez realizado las respectivas pruebas se logró determinar mediante el análisis estadístico que no existe variabilidad significativa entre consumo teórico y el consumo real, por lo tanto se pueden determinar que el modelo de predicción de combustible es aceptable.



Figura 3-5: Visualización de las RPM y el consumo en ml/min.

Fuente: Autor.

Con la ayuda del prototipo se logra determinar de forma gráfica el consumo de combustible, el cual ayuda al conductor a tener una apreciación del consumo, donde la información de consumo permite al conductor a tener en cuenta que estrategia debe tomar para lograr reducir el consumo de combustible, contribuyendo al mejoramiento de la eficiencia de consumo.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. Conclusiones.

- El modelo de consumo de combustible puede ser aplicado en otros vehículos, teniendo en cuenta que deben cumplir con las mismas características del automóvil de estudio, determinando así el consumo de combustible y las revoluciones de forma gráfica para una mejor apreciación del usuario, y mediante el análisis estadístico se determinó que no existe una diferencia significativa, entre el consumo real y consumo teórico, por lo tanto, se concluye que el modelo de consumo es aceptable.
- Mediante el análisis de consumo en el ciclo de conducción se determinó que existe un mayor consumo en el trayecto de ascenso en comparación descenso, donde el promedio de consumo en el trayecto de descenso fue de 0,02 galones, y el promedio en ascenso fue de 0,06 galones, lo cual representa una diferencia significativa del consumo.
- Con la información brindada por medio del modelo de consumo combustible de forma gráfica y estrategia de reducción de consumo de combustible, se logra que el conductor del vehículo pueda tener en cuenta que estrategia aplicar para lograr reducir el consumo de combustible, lo que permite mejorar la eficiencia de consumo.
- Mediante el análisis de adquisición de datos se determina que en arranques del vehículo hay un consumo considerable.
- El modelo de consumo de combustible logra determinar con un promedio de seis por ciento de tolerancia con el consumo normal del vehículo.
- Entre mas sensores y parámetros de medición tenga el modelo de consumo de combustible se logra reducir un error promedio del cuatro por ciento, lo cual permite que el modelo sea aun mas confiable.

6.2. Recomendaciones.

- Para una mejor apreciación y adquisición de los datos de consumo de combustible se recomienda efectuar los ensayos experimentales en centros de investigación o laboratorios con equipos calibrados y certificados, lo cual, permite obtener resultados con alto nivel de confiabilidad.
- A la hora de realizar las respectivas pruebas en el ciclo de conducción, se lo debe hacer de manera progresiva para que no exista mucha variabilidad entre las pruebas y los datos adquiridos sean fiables.
- Determinar el consumo de combustible en base a otros parámetros para mejorar el modelo de predicción, ya que, en nuestro proyecto se logró determinar en base a la masa de aire que entra al motor, por medio de la ecuación de los gases ideales.

BIBLIOGRAFÍA

ARIAS PAZ, Manuel. *Arias Paz manual de automóviles.* 2ªed. Madrid-España: Dossat 2000 S.I. 2006. pp. 257-258.

GIACOSA, DANTE. *Motores endotermicos.* 1ªed. Roma-Italia: OMEGA. 1989. pp.03.

Payri Gonzales, Francisco y Desantes Fernández, Josè. *Motores de combustión interna alternativos.* 2ªed. Valencia : Revertè, S. A. 2011. pág. 416-965.

PÉREZ BELLÓ, Miguel Ángel. *Sistemas auxiliares del motor.* 2ªed. Madrid-España: Paraninfo, SA. 2017. pp. 129-156.

RUEDA SANTANDER, Jesús. *Manual técnico de fuel injection.* 3ªed. Guayaquil-Ecuador: Diseli. 2006. pp. 58-73.

AUTOAVANCE. *Limpieza y pruebas sobre inyectores de gasolina.* [En línea] 2011. [Consultado: 03 de Mayo de 2018.]. Disponible en: <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/161-limpieza-y-pruebas-sobre-inyectores-de-gasolina/>.

BERU. *Las bobinas de encendido.* [En línea] 2013. [Consultado: 03 de Mayo de 2018.]. Disponible en: http://beru.federalmogul.com/sites/default/files/ti07_ignition_coils_es_2013.pdf.

Bryan Salazar López. *Regresión lineal o mínimos cuadrados.* [En línea] 2016. [Consultado: 04 de Mayo de 2018.]. Disponible en: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/pron%C3%B3stico-de-ventas/regresi%C3%B3n-lineal/>.

COMERCIO. *Sobre oferta de taxis.* [En línea] 17 de April de 2014. [Consultado: 16 de Julio de 2017.]. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/pais-hay-sobreoferta-de-taxis.html>.

CONAUTO. *Launch x-431 pro.* [En línea] 2017. [Consultado: 03 de Mayo de 2018.]. Disponible en: <http://www.conauto.com.ec/index.php/launch-scanner-x-431-pro/>.

CONEVYT. *Sensor de temperatura.* [En línea]. [Consultado: 30 de Mayo de 2018.]. Disponible en: http://www.conevyt.org.mx/educhamba/guias_emprendizaje/sensor2.pdf.

DIAZ, Yohana. *Municipio de Loja.* [En línea] 11 de Enero de 2017. [Consultado: 16 de Julio de 2017.]. Disponible en: <http://www.loja.gob.ec/noticia/2017-01/regeneracion-taxi-electrico-parte-de-los-temas-abordados?page=10>.

E-AUTO . *Sistema de encendido DIS.* [En línea]. [Consultado: 03 de Mayo de 2018.]. Disponible en: <http://www.e-auto.com.mx/engew/index.php/85-boletines-tecnicos/2231-el-sistema-de-encendido-dis>.

E-AUTO. *Sensor de MAF.* [En línea]. [Consultado: 07 de Agosto de 2017.] Disponible en: http://www.e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=222.

ELECTRONILAB. *Arduino nano.* [En línea]. [Consultado: 04 de Mayo de 2018.]. Disponible en: <https://electronilab.co/tienda/arduino-nano-v3-atmega328-5v-cable-usb/>.

GARCÍA GONZÁLEZ, Antony. *Panamahitek.* [En línea] 14 de Marzo de 2014. [Consultado: 10 de Julio de 2018.]. Disponible en: <http://panamahitek.com/arduinodatalogger-version-1-0-0/>.

TEKNOPLUS. *Multimetro digital automotriz.* [En línea] 2014. [Consultado: 03 de Mayo de 2018.]. Disponible en: <https://teknopluscrojas.mercadoshops.com.ve/multimetro-digital-automotriz-analizador-de-motor-actron-40xJM>.

TELÉGRAFO. *La industria automotriz ecuatoriana.* [En línea] 11 de Abril de 2017. [Consultado: 07 de Agosto de 2017.]. Disponible en: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/la-industria-automotriz-crecera-entre-16-y-19>.