



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES

DE COMUNICACIÓN

**Unidad de Control Electrónica para motocicletas basada en la plataforma
Arduino Mega 2560 para la migración de sistemas basados a carburador a
sistema de inyección electrónica de combustible**

AUTOR: GUSTAVO SEBASTIÁN PORTILLA MARTÍNEZ

DIRECTOR: M.Cs. Edgar Maya.

Ibarra, 2016

CERTIFICACIÓN

Certificó que la Tesis **“Unidad de Control Electrónica para motocicletas basada en la plataforma Arduino Mega 2560 para la migración de sistemas basados a carburador a sistema de inyección electrónica de combustible.”** ha sido desarrollado en su totalidad por el señor: Gustavo Sebastián Portilla Martínez portador de la cedula de identidad 1717727802 bajo mi supervisión.

DATOS DE CONTACTO

| | |
|---------------------|-------------------------------------|
| Nombre | Portilla Martínez Gustavo Sebastián |
| Apellido | Chevala, María Susana |
| Cédula de Identidad | |
| Fecha de Expedición | 09/03/2015 |

M.Cs. Edgar Maya.

Director de la tesis

| | |
|--------------------------------|---|
| TÍTULO | UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICA PARA MOTOCICLETAS BASADA EN LA PLATAFORMA ARDUINO MEGA 2560 PARA LA MIGRACION DE SISTEMAS BASADOS A CARBURADOR A SISTEMA DE INYECCION ELECTRONICA DE COMBUSTIBLE. |
| AUTORES | Portilla Martínez Gustavo Sebastián |
| FECHA | 2015-03-09 |
| GRADO DE TRABAJO DE GRADUACIÓN | |
| PROGRAMA | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO |
| FECHA POR LA QUE | Integración de Maestría y Título de Computación |
| FECHA DE EXEDICIÓN | M.Cs. Edgar Maya |



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO | | | |
|-----------------------------|-----------|-------------------------------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | DE | 1717727802 | |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Y | Portilla Martínez Gustavo Sebastián | |
| DIRECCIÓN: | | Otavalo, Barrio San Juan | |
| EMAIL: | | gsportillam@utn.edu.ec | |
| TELÉFONO FIJO: | | TELÉFONO MÓVIL: | 0990591057 |
| | | | 062904454 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|--------------------------------|---|
| TÍTULO: | UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICA PARA MOTOCICLETAS BASADA EN LA PLATAFORMA ARDUINO MEGA 2560 PARA LA MIGRACIÓN DE SISTEMAS BASADOS A CARBURADOR A SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE. |
| AUTOR (ES): | Portilla Martínez Gustavo Sebastián |
| FECHA: | 2016-05-09 |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO | |
| PROGRAMA: | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA: | Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación |
| ASESOR /DIRECTOR: | M.Cs. Edgar Maya |

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Gustavo Sebastián Portilla Martínez, con cédula de identidad Nro. 1717727802, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 09 días del mes de Mayo del 2016

EL AUTOR:

(Firma).....
Gustavo Sebastián Portilla Martínez

Ibarra, a los 09 días del mes de Mayo del 2016

Firma.....
Nombre: Gustavo Sebastián Portilla Martínez
Cédula: 1717727802

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

Yo, Gustavo Sebastián Portilla Martínez, con cédula de identidad Nro. 1717727802, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: "UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICA PARA MOTOCICLETAS BASADA EN LA PLATAFORMA ARDUINO MEGA 2560 PARA LA MIGRACIÓN DE SISTEMAS BASADOS A CARBURADOR A SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE", que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 09 días del mes de Mayo del 2016

(Firma).....

Nombre: Gustavo Sebastián Portilla Martínez

Cédula: 1717727802

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedicó a mis padres Gabriel Portilla y Magdalena Martínez por su incansable sacrificio en pos de mi formación y educación, A mi esposa Carmen y mis hijos Samantha y Gustavo porque han sido mi motivación y se han convertido en la razón de mi vida y es por ustedes que he luchado día a día hasta conseguir éste preciado sueño de ser profesional.

AGRADECIMIENTOS

Mi reconocimiento y agradecimiento especial al M.Cs. Edgar Maya, director del proyecto por su ayuda, paciencia y dedicación en el desarrollo del presente proyecto, también a la empresa Importadora Espín S.A. por su apoyo incondicional y por las facilidades prestadas durante la elaboración del proyecto.

CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|--------------|
| ÍNDICE GENERAL..... | VIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | XIII |
| RESUMEN..... | XX |
| ABSTRACT..... | XXII |
| PRESENTACIÓN..... | XXIII |
| CAPÍTULO I..... | I |
| ANTECEDENTES..... | 1 |
| 1.1 TEMA | 1 |
| 1.2 PROBLEMA | 1 |
| 1.3 OBJETIVOS | 3 |
| 1.3.1 OBJETIVO GENERAL..... | 3 |
| 1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS..... | 3 |
| 1.4 ALCANCE..... | 5 |
| 1.5 JUSTIFICACION | 6 |
| CAPÍTULO II | 9 |
| COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS SISTEMAS BASADOS A CARBURADOR Y LOS SISTEMAS BASADOS EN INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE Y ANÁLISIS DE PERIFÉRICOS NECESARIOS PARA LA CONEXIÓN DE SENSORES A LA PLATAFORMA ARDUINO MEGA 2560..... | 9 |
| 2.1 CICLO DE COMBUSTIÓN..... | 9 |

| | | |
|-------|--|-----------|
| 2.2.1 | Ciclo de Admisión | 10 |
| 2.2.2 | Ciclo de compresión..... | 11 |
| 2.2.3 | Ciclo de explosión..... | 12 |
| 2.2.4 | Ciclo de escape..... | 12 |
| 2.2 | SISTEMAS BASADOS A CARBURADOR | 13 |
| | Elementos principales del carburador | 14 |
| 2.2.1 | La cuba | 14 |
| 2.2.2 | El surtidor..... | 14 |
| 2.2.3 | El difusor | 15 |
| 2.3 | SISTEMAS BASADOS A INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE. | 16 |
| 2.3.1 | Componentes que conforman el sistema de inyección electrónica. | 16 |
| 2.4 | COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS SISTEMAS BASADOS A CARBURADOR Y LOS SISTEMAS BASADOS EN INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE | 43 |
| 2.5 | ANÁLISIS DE PERIFÉRICOS NECESARIOS PARA LA CONEXIÓN DE SENSORES A LA PLATAFORMA ARDUINO MEGA 2560..... | 44 |
| 2.5.1 | Puertos de entrada y salida..... | 46 |
| 2.5.2 | Temporizadores / contadores | 47 |
| 2.5.3 | Convertidor Análogo Digital | 50 |
| 2.5.4 | Memoria | 53 |
| | CAPÍTULO III..... | 56 |
| | ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA PROVINCIA DE IMBABURA Y SUS EFECTOS QUE PRODUCEN. | 56 |
| 3.1 | PROCESO DE COMBUSTIÓN. | 56 |
| 3.1.1 | Combustión completa..... | 57 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 3.1.2 | Combustión incompleta. | 58 |
| 3.2 | FORMACIÓN DE ELEMENTOS GASEOSOS EN EL PROCESO DE COMBUSTIÓN. | 58 |
| 3.2.1 | Elementos gaseosos no tóxicos. | 58 |
| 3.2.2 | Elementos gaseosos tóxicos. | 61 |
| 3.3 | SITUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA PROVINCIAL DE IMBABURA. | 67 |
| CAPÍTULO IV | | 71 |
| DISEÑO DE LA UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICA..... | | 71 |
| 4.1 | DISEÑO DEL HARDWARE. | 71 |
| 4.1.1 | Circuitos de acondicionamiento de señal de sensor TPS. | 72 |
| 4.1.2 | Circuitos de acondicionamiento de señal de sensor CLT - IAT. | 73 |
| 4.1.3 | Circuitos de acondicionamiento de señal de sensor MAP. | 77 |
| 4.1.4 | Circuito de acondicionamiento de señal de sensor CKP y bobina de ignición. | 79 |
| 4.1.5 | Circuitos de acondicionamiento de señal de sensor Voltaje de Batería..... | 80 |
| 4.1.6 | Circuitos de amplificación de señal del inyector de combustible..... | 83 |
| 4.1.7 | Circuitos de amplificación de señal de la bomba de combustible. | 86 |
| 4.1.8 | Circuitos de alimentación..... | 87 |
| 4.1.9 | Circuitos de protección. | 88 |
| 4.1.10 | Designación de pines de la tarjeta Arduino Mega 2560 para sensores y actuadores de la unidad de control electrónica. | 88 |
| 4.1.11 | Diseño de circuito | 89 |
| 4.2 | DISEÑO DEL SOFTWARE..... | 91 |
| 4.2.1 | Flujograma Principal de la unidad de control electrónica..... | 92 |
| 4.2.2 | Flujogramas Subrutinas de la unidad de control electrónica | 95 |

| | |
|--|---------|
| CAPÍTULO V | 101 |
| IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO | 101 |
| 5.1 IMPLEMENTACIÓN | 101 |
| 5.1.1 Implementación de tarjeta electrónica | 101 |
| 5.1.2 Instalación de sensores y actuadores..... | 102 |
| 5.1.3 Calibración de parámetros..... | 105 |
| 5.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO | 119 |
| 5.2.1 Prueba de ancho de pulso del inyector | 119 |
| 5.2.2 Prueba de eficiencia de consumo de combustible..... | 124 |
| 5.2.3 Prueba de emisión de gases contaminantes..... | 125 |
| 5.3 COMPARATIVA ENTRE UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICA BASADA EN PLATAFORMA ARDUINO MEGA 2560 Y UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICAS COMERCIALES..... | 128 |
| CAPÍTULO VI | 131 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 131 |
| 6.1 Conclusiones | 131 |
| 6.2 Recomendaciones | 132 |
| BIBLIOGRAFÍA | 134 |
| Libros | 134 |
| Libros en línea..... | 135 |
| Recursos bibliográficos en línea | 136 |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS..... | 138 |
| ANEXOS | 145 |
| ANEXO 1..... | 146 |
| PINOUT ARDUINO MEGA 2560..... | 146 |

| | |
|---|-----|
| ANEXO 2..... | 148 |
| DATASHEET ARDUINO MEGA 2560..... | 148 |
| ANEXO 3..... | 150 |
| DATASHEET IRF640..... | 150 |
| ANEXO 4..... | 154 |
| DATASHEET MPX4115AP..... | 154 |
| ANEXO 5..... | 158 |
| PRUEBAS DE EMISION DE GASES CONTAMINANTES..... | 158 |
| ANEXO 6..... | 161 |
| MANUAL DE MANTENIMIENTO Y LOCALIZACIÓN BÁSICA DE AVERIAS..... | 161 |
| ANEXO 7..... | 171 |
| MANUAL DE INSTALACION DE TUNERSTUDIO Y GUIA PARA CREACION DE PROYECTO..... | 171 |
| ANEXO 8..... | 178 |
| PROFORMAS MATERIALES UTILIZADOS..... | 178 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1.</i> Elementos Internos del motor | 10 |
| <i>Figura 2.</i> Movimientos de elementos en el ciclo de admisión | 11 |
| <i>Figura 3.</i> Movimientos de elementos en el ciclo de compresión. | 11 |
| <i>Figura 4.</i> Movimientos de elementos en el ciclo de explosión..... | 12 |
| <i>Figura 5.</i> Movimientos de elementos en el ciclo de escape. | 13 |
| <i>Figura 6.</i> Elementos Internos de un Carburador..... | 14 |
| <i>Figura 7.</i> Ubicación del carburador en el motor..... | 15 |
| <i>Figura 8.</i> Constitución externa e interna del sensor TPS..... | 18 |
| <i>Figura 9.</i> Onda característica sensor TPS..... | 19 |
| <i>Figura 10.</i> Constitución de elementos internos del sensor MAP..... | 21 |
| <i>Figura 11.</i> Voltaje de salida según presión del aire..... | 21 |
| <i>Figura 12.</i> Funcionamiento interno del sensor MAP | 22 |
| <i>Figura 13.</i> Constitución externa e interna del sensor MAP..... | 23 |
| <i>Figura 14.</i> Onda característica sensor MAP. | 23 |
| <i>Figura 15.</i> Ubicación de sensor de oxígeno y onda característica..... | 24 |
| <i>Figura 16.</i> Elementos internos sensor de oxígeno de dióxido de circonio..... | 26 |
| <i>Figura 17.</i> Funcionamiento interno sensor de oxígeno de dióxido de circonio. | 27 |
| <i>Figura 18.</i> Elementos internos y funcionamiento sensor de oxígeno de dióxido de titanio. | 28 |
| <i>Figura 19.</i> Onda característica sensor de oxígeno de dióxido de titanio. | 28 |
| <i>Figura 20.</i> Onda característica sensor oxígeno de banda ancha. | 29 |
| <i>Figura 21.</i> Partes principales sensor de oxígeno de banda ancha..... | 30 |
| <i>Figura 22.</i> Constitución externa e interna del sensor IAT..... | 31 |

| | |
|---|----|
| <i>Figura 23.</i> Onda característica sensor IAT | 31 |
| <i>Figura 24.</i> Constitución externa e interna del sensor ECT | 32 |
| <i>Figura 25.</i> Onda característica sensor ECT | 33 |
| <i>Figura 26.</i> Sensor CKP inductivo y onda característica | 34 |
| <i>Figura 27.</i> Sensor CKP de efecto Hall y onda característica..... | 34 |
| <i>Figura 28.</i> Elementos internos del inyector y ángulos de pulverización..... | 36 |
| <i>Figura 29.</i> Etapas de funcionamiento del inyector. | 37 |
| <i>Figura 30.</i> Constitución interna de la bobina de encendido. | 38 |
| <i>Figura 31.</i> Onda característica bobina primaria y secundaria. | 40 |
| <i>Figura 32.</i> Constitución externa e interna de la bomba de combustible..... | 40 |
| <i>Figura 33.</i> Onda característica bomba de combustible..... | 41 |
| <i>Figura 34.</i> Unidad de Comando..... | 42 |
| <i>Figura 35.</i> Diagrama de bloques de una unidad de comando..... | 42 |
| <i>Figura 36.</i> Arduino Mega 2560. | 45 |
| <i>Figura 37.</i> Configuración de puertos del microcontrolador. | 47 |
| <i>Figura 38.</i> Funcionamiento de temporizadores. | 48 |
| <i>Figura 39.</i> Configuración del registro TCCR2B | 48 |
| <i>Figura 40.</i> Precarga del Registro TCNT2..... | 49 |
| <i>Figura 41.</i> Registro TIFR2 | 49 |
| <i>Figura 42.</i> Registro TIMSK2..... | 49 |
| <i>Figura 43.</i> Registro TCCR2A..... | 50 |
| <i>Figura 44.</i> Registro TCCR2B | 50 |
| <i>Figura 45.</i> Diagrama interno conversor A/D..... | 51 |
| <i>Figura 46.</i> Registro ADCSRA..... | 52 |

| | |
|--|----|
| <i>Figura 47.</i> Uso de registros en la RAM..... | 55 |
| <i>Figura 48.</i> Partícula de nitrógeno. | 59 |
| <i>Figura 49.</i> Partícula de oxígeno..... | 60 |
| <i>Figura 50.</i> Partícula de dióxido de carbono..... | 60 |
| <i>Figura 51.</i> Partícula de vapor de agua. | 61 |
| <i>Figura 52.</i> Partícula de monóxido de carbono..... | 62 |
| <i>Figura 53.</i> Partícula de hidrocarburo. | 62 |
| <i>Figura 54.</i> Partícula de óxido de nitrógeno. | 63 |
| <i>Figura 55.</i> Partícula de óxido de azufre..... | 64 |
| <i>Figura 56.</i> Partícula de hollín. | 65 |
| <i>Figura 57.</i> Diámetro de Material Particulado. | 65 |
| <i>Figura 58.</i> Zonas de afección del sistema respiratorio según tamaño de Material Particulado..... | 67 |
| <i>Figura 59.</i> Crecimiento poblacional Censos 2001 y 2010..... | 68 |
| <i>Figura 60.</i> Número de vehículos motorizados..... | 69 |
| <i>Figura 61.</i> Crecimientos de ventas de motocicletas en Imbabura. | 70 |
| <i>Figura 62.</i> Circuito de acondicionamiento de señal sensor TPS. | 72 |
| <i>Figura 63.</i> Respuesta en frecuencia del filtro RC sensor TPS..... | 73 |
| <i>Figura 64.</i> Comportamiento de resistencia sensor CLT - IAT según temperatura..... | 74 |
| <i>Figura 65.</i> Circuito de acondicionamiento de señal sensor CLT - IAT..... | 75 |
| <i>Figura 66.</i> Respuesta en frecuencia filtro RC sensor CLT – IAT. | 77 |
| <i>Figura 67.</i> Circuito de acondicionamiento de señal sensor MAP. | 78 |
| <i>Figura 68.</i> Respuesta en frecuencia filtro RC sensor MAP..... | 79 |
| <i>Figura 69.</i> Módulo HEI. | 80 |

| | |
|--|-----|
| <i>Figura 70.</i> Circuito de acondicionamiento de señal sensor de voltaje de batería..... | 80 |
| <i>Figura 71.</i> Respuesta en frecuencia filtro RC sensor voltaje de batería..... | 82 |
| <i>Figura 72.</i> Diagrama para cálculo de resistencia MOSFET..... | 84 |
| <i>Figura 73.</i> Circuito amplificador de señal de inyector de combustible..... | 86 |
| <i>Figura 74.</i> Circuito amplificador de señal de bomba de combustible..... | 87 |
| <i>Figura 75.</i> Circuito de alimentación..... | 87 |
| <i>Figura 76.</i> Circuito de protecciones..... | 88 |
| <i>Figura 77.</i> Vista 2D de la tarjeta..... | 90 |
| <i>Figura 78.</i> Vista 3D de la tarjeta..... | 90 |
| <i>Figura 79.</i> Tarjeta electrónica y Arduino mega 2560..... | 101 |
| <i>Figura 80.</i> Unidad de control electrónica..... | 102 |
| <i>Figura 81.</i> Instalación de sensores y actuadores en el colector de admisión..... | 102 |
| <i>Figura 82.</i> Instalación de colector de admisión en el motor..... | 103 |
| <i>Figura 83.</i> Instalación del sensor de oxígeno..... | 103 |
| <i>Figura 84.</i> Instalación del sensor CLT..... | 104 |
| <i>Figura 85.</i> Instalación bomba de combustible y regulador de presión..... | 105 |
| <i>Figura 86.</i> Panel principal TunerStudio..... | 105 |
| <i>Figura 87.</i> Calibración sensor TPS..... | 106 |
| <i>Figura 88.</i> Calibración sensor MAP..... | 106 |
| <i>Figura 89.</i> Calibración sensor IAT y CLT..... | 107 |
| <i>Figura 90.</i> Calibración sensor IAT y CLT..... | 108 |
| <i>Figura 91.</i> Calibración de constantes del motor..... | 112 |
| <i>Figura 92.</i> Calibración inyector de combustible..... | 113 |
| <i>Figura 93.</i> Calibración de disparo..... | 113 |

| | |
|---|-----|
| <i>Figura 94.</i> Calibración sensor de oxígeno. | 116 |
| <i>Figura 95.</i> Mapa VE con visualización en 2D y 3D. | 117 |
| <i>Figura 96.</i> Mapa AFR con visualización en 2D y 3D. | 118 |
| <i>Figura 97.</i> Valores para cálculo de ancho de pulso | 120 |
| <i>Figura 98.</i> Valores para cálculo de ancho de pulso | 121 |
| <i>Figura 99.</i> Valores para cálculo de ancho de pulso | 121 |
| <i>Figura 100.</i> Valor de ancho de pulso a 1500 RPM y 3000 RPM obtenido en osciloscopio..... | 122 |
| <i>Figura 101.</i> Adquisición de señal de sensor CKP y activación del inyector de combustible | 122 |
| <i>Figura 102.</i> Valor de ancho de pulso obtenido en TunerStudio. | 123 |
| <i>Figura 103.</i> Comparación de consumo de combustible. | 124 |
| <i>Figura 104.</i> Prueba de monóxido de carbono en marcha mínima. | 126 |
| <i>Figura 105.</i> Prueba de monóxido de carbono a 5000 RPM..... | 126 |
| <i>Figura 106.</i> Prueba de presión de bomba de combustible. | 162 |
| <i>Figura 107.</i> Filtro de combustible. | 163 |
| <i>Figura 108.</i> Banco de pruebas de inyectores. | 163 |
| <i>Figura 109.</i> Estados de bujías de encendido..... | 165 |
| <i>Figura 110.</i> Ubicación de bobina de ignición..... | 166 |
| <i>Figura 111.</i> Visualización de tablero de instrumentos de TunerStudio..... | 166 |
| <i>Figura 112.</i> Página de descarga de TunerStudio. | 172 |
| <i>Figura 113.</i> Proceso de instalación de TunerStudio. | 172 |
| <i>Figura 114.</i> Proceso de instalación de TunerStudio. | 173 |
| <i>Figura 115.</i> Creación de proyecto en TunerStudio..... | 174 |

| | |
|---|-----|
| <i>Figura 116.</i> Creación de proyecto en TunerStudio..... | 174 |
| <i>Figura 117.</i> Creación de proyecto en TunerStudio..... | 175 |
| <i>Figura 118.</i> Creación de proyecto en TunerStudio..... | 175 |
| <i>Figura 119.</i> Creación de proyecto en TunerStudio..... | 176 |
| <i>Figura 120.</i> Creación de proyecto en TunerStudio..... | 177 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1: Comparación entre sistemas basados a carburador e inyección electrónica..... | 43 |
| Tabla 2: Características Técnicas Arduino Mega 2560 | 45 |
| Tabla 3: Distribución de pines de la tarjeta Arduino mega 2560..... | 89 |
| Tabla 4: Elementos utilizados en la elaboración de la unidad de control electrónica. | 91 |
| Tabla 5: Datos Principales del motor | 108 |
| Tabla 6: Límites máximos de emisiones permitidas para motocicletas y tricimotos.... | 127 |
| Tabla 7: Tabla de Umbrales | 127 |
| Tabla 8: Comparación de resultados obtenidos | 128 |
| Tabla 9: Comparación de unidades de control electrónicas..... | 129 |
| Tabla 10: Costos de materiales e instalación de las unidades de control electrónica. | 130 |
| Tabla 10: Localización básica de averías..... | 169 |

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño e implementación de una unidad de control electrónica basada en la plataforma de hardware Arduino mega 2560 para migrar de los sistemas basados a carburador a sistemas de inyección electrónica de combustible en motocicletas para de esta forma reducir la formación de contaminantes producidos, haciendo uso de tecnologías medioambientales preventivas.

El primer capítulo detalla la problemática del caso de estudio, su justificación el cual hace necesario el desarrollo del proyecto así como también los objetivos mediante el cual se desarrollara paso a paso hasta la solución del mismo.

El segundo capítulo contiene los fundamentos teóricos necesarios para el desarrollo del proyecto, se detalla la comparación técnica y los aspectos más importantes de los sistemas basados a carburador y los sistemas basados en inyección electrónica de combustible, las características eléctricas y funcionales de todos los sensores que necesita un motor a inyección electrónica así como también un análisis de los periféricos necesarios de la plataforma Arduino mega 2560.

En el tercer capítulo se realiza un análisis de la situación actual de la calidad del aire en la provincia de Imbabura así como también los efectos negativos que produce los contaminantes a la salud de las personas.

En el cuarto capítulo describe el proceso de diseño del hardware y la interconexión de los sensores y actuadores del motor así como también el código de programa necesario para que la unidad de control electrónica interactúe con todos los sensores y actuadores del motor.

En el quinto capítulo se realiza las pruebas de funcionamiento para determinar el correcto funcionamiento de la unidad de control electrónica así como también la comprobación de la eficiencia de consumo de combustible y reducción de gases contaminantes.

Finalmente en el sexto capítulo se detallan las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante el diseño del proyecto.

ABSTRACT

This project involves the design and implementation of an electronic control unit based on the hardware platform Arduino Mega 2560 to migrate carburetor systems to electronic fuel injection in motorcycles to reduce the formation of pollutants produced using systems preventive environmental technologies.

The first chapter details the problems of case study, justification which necessitates the development of the project, the objectives to be developed step by step to the solution of the project.

The second chapter contains theoretical fundament necessary for the project, detailing the functional technical comparison and important aspects of carburetor systems and electronic fuel injection systems, electrical and functional characteristics from sensors that need a fuel injection engine also an analysis of the necessary peripherals Arduino Mega 2560 platform.

The third chapter analyzes the current state of air quality in the province of Imbabura, and the negative effects of pollutants on the health of people.

The fourth chapter describes the process of designing the hardware and interconnection of sensors and actuators of the engine, also the program code required for the electronic control unit interacts with all engine sensors and actuators.

In the fifth chapter function tests were performed to determine the correct operation of the electronic control unit as well as checking the efficiency of fuel consumption and reduction of gaseous pollutants.

Finally, in the sixth chapter the conclusions and recommendations obtained during detailed project design.

PRESENTACIÓN

La utilización de elementos electrónicos en las últimas décadas ha sido un pilar fundamental para el desarrollo de dispositivos que ayudan al progreso de las industrias en sus diferentes áreas, tanto así que la industria automotriz no se ha quedado atrás en utilizar estas tecnologías y de esta manera han desarrollado vehículos menos contaminantes y más eficientes en cuanto a consumo de combustible y todo esto gobernado desde la unidad de control electrónica.

Pero no todos los vehículos hacen uso de estas tecnologías, todavía existen vehículos que hacen uso de elementos mecánicos como el carburador los cuales generan problemas para el medio ambiente, por tal razón se ha optado en desarrollar una Unidad de Control Electrónica para el control de la inyección electrónica de combustible en este caso para motocicletas ya que todavía hacen uso del carburador como sistema de alimentación de combustible.

Para la Unidad de Control Electrónica se seleccionó la plataforma Arduino Mega 2560 como unidad de procesamiento y control lógico debido a que es asequible, multiplataforma ya que trabaja en sistemas operativos tanto Windows como Linux, su entorno de programación es flexible ya que programadores principiantes como avanzados pueden hacer uso de él sin dificultades y además que tanto el compilador como el hardware es de código abierto eliminando así los pagos por licencias.

De esta forma y con el uso de la Unidad de Control Electrónica en motores de explosión de cuatro tiempos utilizados en motocicletas se obtendrá una reducción de emisiones contaminantes de los gases de escape ya que la unidad de control electrónica conjuntamente con la información que proporcionen los sensores inyectará la cantidad exacta de combustible contribuyendo de esta forma a la preservación del medio ambiente y la calidad del aire, así como también a la salud de las personas.

Consecuentemente se obtendrá mayor conocimiento en cuanto a la electrónica aplicado en el sector automotriz ya que los vehículos de hoy en día utilizan gran número de sensores y elementos electrónicos de control en la mayoría de sus partes, proporcionando a los estudiantes conocimientos en electrónica automotriz los cuáles pueden ser muy útiles tanto para la reparación y diagnóstico de fallas así como también en el diseño de dispositivos que ayuden a reducir la contaminación ambiental y al hacer uso de plataformas libres tanto de hardware como de software se impulsará a la innovación tecnológica con aplicaciones en la conservación del medio ambiente fortaleciendo el desarrollo científico de la Facultad y de la Universidad.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES.

1.1 TEMA

Unidad de Control Electrónica para motocicletas basada en la plataforma Arduino Mega 2560 para la migración de sistemas basados a carburador a sistema de inyección electrónica de combustible.

1.2 PROBLEMA

Como en toda ciudad, el crecimiento urbano es inevitable, y es así que según registros del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Ibarra ha tenido un crecimiento en su población con una razón de crecimiento del 18.22% a partir de los censos de los años 2001 y 2010 con una población total de 153256 y 181175 respectivamente, por tal razón cada vez se busca espacios donde puedan habitar las personas produciendo así la disminución de espacios verdes y bosques los cuales aportan con la limpieza del aire, por otro lado la necesidad de un medio de transporte hacen que de una u otra forma exista la degradación de la calidad del aire, causada por los contaminantes del aire emitidos principalmente como productos de la quema de combustibles fósiles en la transportación.

Actualmente en Imbabura, principalmente en la ciudad de Ibarra, es la segunda ciudad de América Latina con mejor calidad de aire según la Organización Mundial de la Salud dados los reportes en el año 2014, contabilizando $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de material particulado PM 2,5 de los $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ permitidos por la OMS y $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM 10 de los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ permitidos por la OMS, pero a pesar de tener estos niveles bajos de contaminación, según reportes del 2013 del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos existen 7100 motocicletas en la provincia de Imbabura los cuales siguen haciendo uso del carburador como sistema de alimentación de combustible los cuales son fuentes de contaminación debido a su tecnología, además de esto según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador en lo que respecta a ventas de motocicletas desde el año 2011 al año 2012 hubo un crecimiento del 155% en cuanto a ventas en lo que respecta en la provincia de Imbabura, todo este crecimiento se refleja en los 66931 casos de infecciones respiratorias agudas en el año 2014 según datos Ministerio de Salud Pública.

Las motocicletas al hacer uso del carburador como sistema de alimentación de combustible genera mayor cantidad de emisión contaminantes ya que no tiene un control exacto de la dosificación de combustible debido a que sus elementos que lo conforman son mecánicos, comparado con el sistema de inyección electrónica que hace uso de los diferentes sensores y la información que proporciona cada uno a la unidad de control electrónica para dosificar la cantidad exacta de combustible.

A partir de esto se busca disminuir la contaminación ambiental haciendo uso de tecnologías medioambientales preventivas las cuales minimizarán la formación de contaminantes gaseosos, estas tecnologías tanto de hardware como de software remplazarán los tradicionales carburadores por el sistema de inyección electrónica de combustible obteniendo así un consumo eficiente de combustible y por consiguiente una reducción de contaminantes de esta manera se aportará con la reducción de efectos negativos al ambiente evitando así problemas de Infecciones respiratorias agudas y cardiovasculares en las personas debido a la exposición a los contaminantes producidos por circulación vehicular.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar una Unidad de Control Electrónica mediante la utilización de la plataforma de hardware Arduino Mega 2560 para migrar de sistemas de carburador a sistemas de inyección electrónica de combustible en motocicletas con el fin de reducir la emisión de gases contaminantes.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Definir los antecedentes del proyecto, problemática y justificación el cual hace necesario el desarrollo del proyecto así como también los pasos a seguir para la solución del mismo.

- Realizar una comparación técnica entre los sistemas basados a carburador y los sistemas basados a inyección electrónica de combustible y elaborar un análisis de las características eléctricas y funcionales de cada sensor que utiliza un motor basado en un sistema de inyección electrónica de combustible para de esta forma realizar la interconexión adecuada con los periféricos de la plataforma Arduino mega 2560.

- Analizar la situación en la que se encuentra la calidad del aire en la provincia de Imbabura mediante el uso de reportes del ministerio del ambiente y organismos afines para ver de qué forma afecta la contaminación producida por los vehículos en la salud de las personas.

- Diseñar e implementar tanto el hardware y software necesario haciendo uso de las características de cada sensor para que la Unidad de Control Electrónica basado en la plataforma Arduino Mega 2560 se interconecte a los sensores utilizados en el motor y de esta forma realizar las pruebas de funcionamiento de la Unidad de Control Electrónica así como también las pruebas de emisión de contaminantes producidos y de eficiencia de consumo de combustible.

- Redactar las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante el desarrollo del proyecto, las cuales son necesarias para el óptimo funcionamiento de la unidad de control electrónica así como también de los componentes que la conforman.

1.4 ALCANCE

Para el desarrollo de la Unidad de Control Electrónica se analizará las características y funcionamiento de las partes que conforman un motor de explosión de 4 tiempos así como también las características de los sensores y actuadores necesarios ya que ellos son los responsables de enviar los datos necesarios a la plataforma Arduino Mega 2560 para la interacción con el motor, una vez obtenidos las características de funcionamiento del motor y de los sensores se realizará un análisis de la plataforma Arduino Mega 2560 y de los periféricos que se utilizarán para la conexión de los sensores y actuadores del motor.

Seguidamente se realizará un análisis de la situación actual en la que se encuentra la calidad del aire en la provincia de Imbabura mediante el uso de reportes otorgados por el ministerio del ambiente como es el plan nacional de la calidad de aire y organismos afines el cual abarca de manera amplia todo lo referente a estudios realizados en este campo y de esta forma ver los efectos negativos que produce la contaminación del aire en la salud de las personas.

De esta manera se establecerán dos etapas principales en las que son el diseño del software o código de programa y el hardware el cual permitirá la conexión e interacción con todos los sensores y actuadores del motor.

En la etapa de diseño de hardware constituye el diseño electrónico de la placa el cual se conectarán los sensores: sensor TPS (Throttle Position Sensor), sensor de presión barométrica MPX 4115AP, sensor de Oxígeno estos tres sensores

conjuntamente con el inyector de combustible inyectará la cantidad exacta de combustible al motor, por otro lado los sensores IAT (Intake Air Temperature) y el sensor CLT (Coolant Temperature) proporcionará datos de temperatura del motor para protección del mismo además de los elementos de control y protección del sistema eléctrico para la plataforma Arduino Mega 2560, y también el reemplazo del carburador por el inyector de combustible.

En la etapa de diseño del software se realizara el código de programa en el compilador Arduino IDE, el cual residirá en la plataforma Arduino Mega 2560 este contendrá las rutinas y subrutinas necesarias para el correcto funcionamiento de los sensores y actuadores del motor.

Una vez realizado estas dos etapas se desarrollara las mediciones, la cual se basará en la eficiencia de consumo de combustible, y contaminantes producidos especialmente la de monóxido de carbono, además de esto se desarrollara las políticas para el uso y mantenimiento de la Unidad de Control Electrónico con el fin de alargar la vida útil de operación de los equipos.

1.5 JUSTIFICACION

La utilización de elementos electrónicos en las últimas décadas ha sido un pilar fundamental para el desarrollo de dispositivos que ayudan al progreso de las industrias en sus diferentes áreas, tanto así que la industria automotriz no se ha quedado atrás en utilizar estas tecnologías y de esta manera han desarrollado vehículos menos contaminantes y más eficientes en cuanto a consumo de combustible y todo esto gobernado desde la unidad de control electrónica.

Pero no todos los vehículos hacen uso de estas tecnologías, todavía existen vehículos que hacen uso de elementos mecánicos como el carburador los cuales generan problemas para el medio ambiente, por tal razón se ha optado en desarrollar una Unidad de Control Electrónica para el control de la inyección electrónica de combustible en este caso para motocicletas ya que todavía hacen uso del carburador como sistema de alimentación de combustible.

Para la Unidad de Control Electrónica se seleccionó la plataforma arduino mega 2560 como unidad de procesamiento y control lógico debido a que es asequible, trabaja en sistemas operativos tanto Windows como Linux, su entorno de programación es flexible es decir que programadores principiantes como avanzados pueden hacer uso de él sin dificultades y además que tanto el compilador como el hardware es de código abierto eliminando así los pagos por licencias.

De esta forma y con el uso de la Unidad de Control Electrónica en motores de explosión de cuatro tiempos utilizados en motocicletas se obtendrá una reducción de emisiones contaminantes de los gases de escape ya que la unidad de control electrónica conjuntamente con la información que proporcionen los sensores inyectará la cantidad exacta de combustible contribuyendo a la preservación del medio ambiente y la calidad del aire, así como también a la salud de las personas.

Consecuentemente se obtendrá mayor conocimiento en cuanto a la electrónica aplicado en el sector automotriz debido a que los vehículos de hoy en día utilizan gran número de sensores y elementos electrónicos de control en la mayoría de sus partes, proporcionando a los estudiantes conocimientos en electrónica automotriz

los cuales pueden ser muy útiles tanto para la reparación y diagnóstico de fallas así como también en el diseño de dispositivos que ayuden a reducir la contaminación ambiental y al hacer uso de plataformas libres tanto de hardware como de software se impulsara a la innovación tecnológica con aplicaciones en la conservación del medio ambiente fortaleciendo el desarrollo científico de la Facultad y de la Universidad.

CAPÍTULO II

COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS SISTEMAS BASADOS A CARBURADOR Y LOS SISTEMAS BASADOS EN INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE Y ANÁLISIS DE PERIFÉRICOS NECESARIOS PARA LA CONEXIÓN DE SENSORES A LA PLATAFORMA ARDUINO MEGA 2560.

En este capítulo se detalla de manera rápida el funcionamiento de un motor de cuatro tiempos, así como también el funcionamiento de los sistemas de alimentación de combustible en motores tanto a carburador como inyección electrónica sus ventajas y desventajas, las características eléctricas y funcionales de todos los sensores que necesita un motor a inyección electrónica así como también la descripción de los periféricos que se utilizarán de la plataforma de hardware Arduino mega 2560 para la conexión con dichos sensores.

2.1 CICLO DE COMBUSTIÓN.

Secundino, González y Rivas (2011) indican que el ciclo de trabajo de un motor de combustión interna son fases en la cual cada una cumple una función específica, su único fin producir energía mecánica a partir de la energía química que se produce dentro de la cámara de combustión del motor. En la figura 1, se

detallan las partes internas del motor y como están intervienen en los ciclos de trabajo.

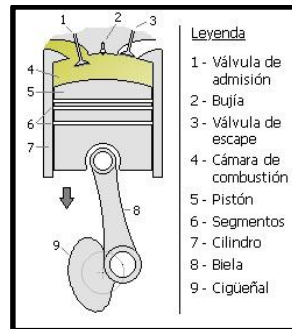


Figura 1. Elementos Internos del motor

Fuente: <https://goo.gl/pwTuWD>

2.2.1 Ciclo de Admisión

Secundino, González y Rivas (2011) expresan que el ciclo de admisión es el primer ciclo de trabajo de un motor, su funcionamiento es el siguiente: comenzando desde el PMS¹ en pistón realiza el recorrido descendente, conjuntamente con este movimiento se abre la válvula de admisión dejando ingresar la mezcla aire combustible al cilindro del motor, este ciclo se termina hasta que el pistón llega al PMI². Al final de este tiempo el cigüeñal tiene un recorrido de 180°. En la figura 2, se muestra el movimiento descendente realizado en este ciclo.

¹ PMS: Punto Muerto Superior

² PMI: Punto Muerto Inferior

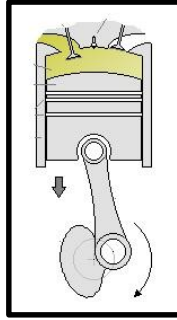


Figura 2. Movimientos de elementos en el ciclo de admisión

Fuente: <https://goo.gl/pwTuWD>

2.2.2 Ciclo de compresión

Secundino, González y Rivas (2011) manifiestan que para este ciclo tanto la válvula de admisión como la de escape están totalmente cerradas y el pistón realiza el movimiento ascendente desde el PMI al PMS comprimiendo la mezcla aire combustible llevando la mezcla a una presión y temperatura elevada. Al final de este tiempo el cigüeñal tiene un recorrido de 360° . En la figura 3, se muestra el movimiento ascendente realizado en este ciclo.

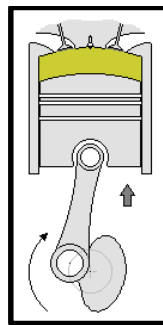


Figura 3. Movimientos de elementos en el ciclo de compresión.

Fuente: <https://goo.gl/pwTuWD>

2.2.3 Ciclo de explosión.

Secundino, González y Rivas (2011) expresan que en este ciclo tanto las válvulas de admisión como de escape permanecen cerradas, un poco antes de que el pistón llegue al PMS se produce una chispa en la bujía provocando una explosión dentro del cilindro, esto obliga al pistón a realizar un movimiento descendente desde el PMS al PMI, este es el único ciclo donde se produce trabajo mecánico. Al final de este tiempo el cigüeñal tiene un recorrido de 540° . En la figura 4, se muestra el movimiento descendente realizado en este ciclo.

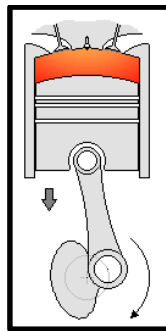


Figura 4. Movimientos de elementos en el ciclo de explosión.

Fuente: <https://goo.gl/pwTuWD>

2.2.4 Ciclo de escape.

Secundino, González y Rivas (2011) indican que este es el último ciclo de trabajo del motor, en este ciclo la válvula de escape se abre y el pistón realiza un movimiento ascendente desde el PMI al PMS empujando los gases que están dentro del cilindro los cuales fueron producidos en el ciclo de explosión de esta manera los gases salen completamente dejando libre el cilindro para realizar nuevamente los cuatro ciclos de trabajo. Al final de este ciclo la válvula de escape se cierra completamente y el cigüeñal tiene un recorrido de 720° , todos los cuatro

ciclos de trabajo completan 2 vueltas del cigüeñal es decir un recorrido angular de 720° . En la figura 5, se muestra el movimiento ascendente realizado en este ciclo.

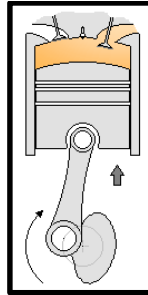


Figura 5. Movimientos de elementos en el ciclo de escape.

Fuente: <https://goo.gl/pwTuWD>

Para el funcionamiento de un motor es necesario un sistema de alimentación de combustible, este sistema se encarga de realizar la mezcla de aire y gasolina en proporciones adecuadas para realizar el proceso de combustión. Existen dos sistemas el basado a carburador y el de inyección electrónica, la evolución de estos sistemas ha llevado a reemplazar dispositivos mecánicos por los electrónicos.

2.3 SISTEMAS BASADOS A CARBURADOR

El carburador es un elemento mecánico que se encarga de realizar la mezcla aire – combustible para ser suministrado al motor, esta mezcla se realiza con poca precisión ya que todos sus elementos que lo conforman son mecánicos, obteniendo bajo rendimiento en los motores y produciendo mayor cantidad de gases contaminantes debido al mayor consumo de combustible. En la figura 6, muestra cómo está constituido internamente un carburador.

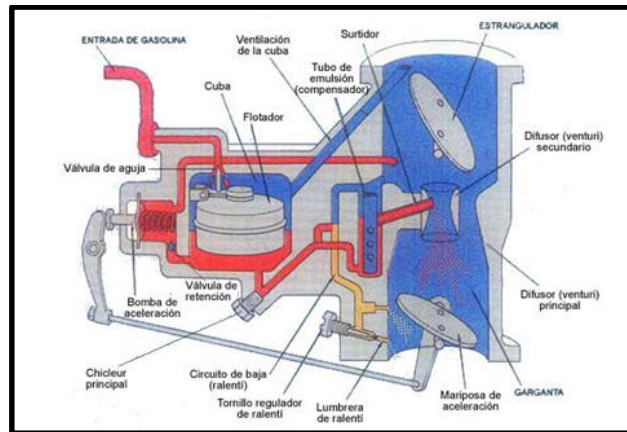


Figura 6. Elementos Internos de un Carburador.

Fuente: <http://goo.gl/w0XiJb>

Elementos principales del carburador

2.3.1 La cuba

Rodríguez (2012) expresa que el carburador tiene un depósito de combustible llamado cuba el cual sirve para mantener constante el nivel de gasolina en el carburador, este es alimentado por la bomba de combustible. El nivel de combustible se mantiene constante gracias a un flotador con aguja el cual sirve como válvula dejando ingresar o interrumpir el paso de la gasolina al depósito de combustible.

2.3.2 El surtidor

Rodríguez (2012) manifiesta que el surtidor es un conducto pequeño el cual conecta desde la cuba hasta el conducto de aire donde se realiza la mezcla aire combustible, por el surtidor pasa el combustible y es regulado por manualmente

por un tornillo llamado chicle donde no siempre se realiza una calibración exacta para el paso del combustible.

2.3.3 El difusor

Rodríguez (2012) dice que el difusor es un estrechamiento del tubo por donde pasa el aire el cual servirá para realizar la mezcla aire combustible. El difusor aprovecha el efecto Venturi el cual no es más que una aplicación que se fundamenta en el principio de que toda corriente de aire que pasa rozando un orificio provoca una succión de esta forma el aire succiona el combustible realizando la mezcla.

El carburador se encuentra ubicado antes de la cámara de admisión del motor, la dosificación del combustible se realiza haciendo uso del efecto Venturi pulverizando el combustible, mezclándolo con el aire e ingresando a la cámara de combustión del motor. En la figura 7, se observa la disposición del carburador en el motor.

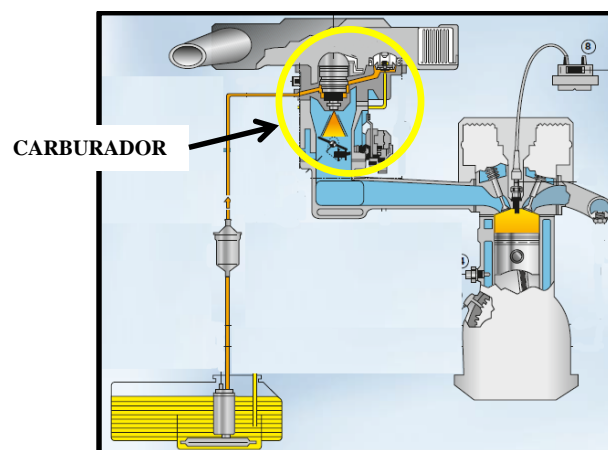


Figura 7. Ubicación del carburador en el motor.

Fuente: Sistemas de inyección Bosch.

2.4 SISTEMAS BASADOS A INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE.

Con la evolución de los motores de los automóviles, la introducción de la electrónica en el campo automotriz y la evolución de los circuitos electrónicos, el carburador no pudo suplir las nuevas necesidades que se presentaban esto es reducir la contaminación, ahorro de combustible, aumento potencia, respuestas rápidas en las aceleraciones, etc., por tal razón los sistemas basados a carburador fueron sustituidos por el sistema de inyección electrónica de combustible.

Este sistema hace uso de diferentes sensores y actuadores proporcionando al motor un mejor rendimiento, más ahorro de combustible, menor contaminación del medio ambiente, todo esto gracias a que la proporción de mezcla aire – combustible ingresada a la cámara de combustión se lo realiza de manera perfecta gracias a la información proporcionada por los sensores.

2.4.1 Componentes que conforman el sistema de inyección electrónica.

Los sistemas de inyección electrónica se componen de tres elementos principales:

- Sensores.
- Actuadores.
- Unidad de comando.

Estos tres elementos trabajan de manera conjunta y son los responsables del correcto funcionamiento del motor.

2.4.1.1 Sensores

Son los encargados de recolectar la información y transmitirla a la unidad de control electrónica para la toma de decisiones en el funcionamiento del motor.

Los sensores más principales son:

- Sensor de posición del acelerador
- Sensor presión absoluta del múltiple
- Sonda Lambda (Sensor de Oxígeno)
- Sensor de temperatura de aire de admisión
- Sensor de temperatura de refrigerante
- Sensor de posición del cigüeñal

2.4.1.1.1 Sensor de posición del acelerador (TPS³).

Sánchez (2008), explica que el sensor TPS informa a la unidad de control para el reconocimiento de las posiciones angulares de la mariposa de aceleración, para de esta forma realizar acciones como aceleración, deceleración y corte de inyección.

Es decir, es un sensor de posición el cual está constituido por una resistencia variable lineal que proporciona una señal eléctrica en cada posición de la mariposa de aceleración, desde el cierre hasta su máxima apertura internamente está constituida por un potenciómetro en la que la parte móvil está conectada al eje de la mariposa de aceleración. La unidad de comando, durante el

³ TPS: Throttle Position Sensor

funcionamiento, proporciona al sensor TPS una tensión de 5 V y también recibe la señal producida por el TPS según el movimiento del sensor.

De esta forma sobre el contacto de salida se recoge una tensión variable que es proporcional al ángulo de apertura de la mariposa de aceleración, la unidad de comando reconoce la posición de apertura de la mariposa de aceleración y corrige oportunamente el porcentaje de la mezcla aire combustible.

Con la mariposa de aceleración cerrada, envía una señal eléctrica con tensión mínima de alrededor de 0,3 [V] a la unidad de comando de esta manera reconoce que esta la condición de mínimo (diferenciándolas según el número de rpm). Cuando la posición de mariposa de aceleración aumenta gradualmente la señal de tensión aumenta en forma gradual hasta alcanzar un valor máximo de tensión de 5 [V], de esta forma la unidad de comando está continuamente informada de la posición de la mariposa de aceleración y así poder realizar una corrección de la inyección de combustible más precisa.

En la figura 8, se muestra como está constituido externamente e internamente este sensor, además de su forma de onda característica.

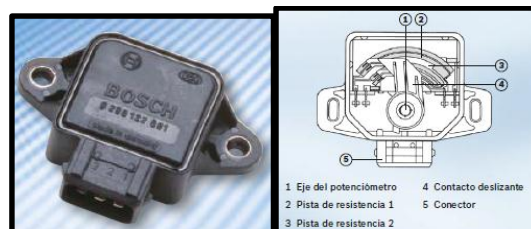


Figura 8. Constitución externa e interna del sensor TPS

Fuente: Sistemas de inyección Bosch

Sus características eléctricas son:

- Voltaje de alimentación: 5 voltios.
- Voltaje de salida: 0.3 a 4.6 voltios.
- Resistencia de salida: 180 a 3000 [Ω].

En la figura 9, se muestra la onda característica del sensor en el proceso de aceleración y desaceleración.

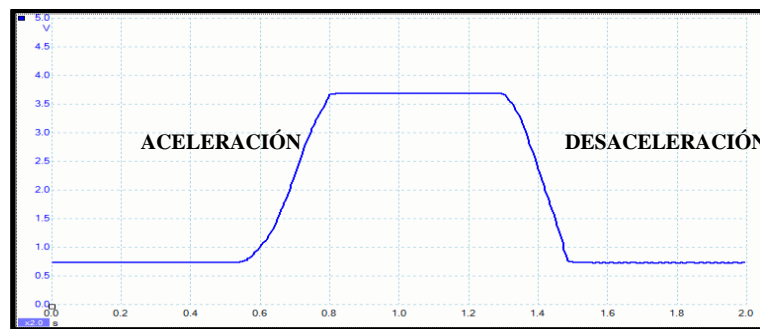


Figura 9. Onda característica sensor TPS
Fuente: Manual PicoScope 6 Automotive

2.4.1.1.2 Sensor presión absoluta del múltiple (MAP⁴).

Sánchez (2008), indica que el sensor MAP es un sensor de presión que proporciona una señal en tensión analógica proporcional a la presión del aire presente en el colector de admisión.

Tal presión varía en función de la carga y de las revoluciones del motor. Este parámetro es importante ya que, si la mariposa se encuentra cerrada, el aire que pasa a los cilindros será menor y, por lo tanto, existirá una menor presión en el colector. Si, por el contrario, la mariposa se encuentra totalmente abierta, el

⁴ MAP: **Manifold Absolute Pressure**

llenado de los cilindros es mucho mejor y, a la vez, existirá una mayor presión en el colector. Esta información, conjuntamente con la proporcionada por el sensor de temperatura y la posición angular de la mariposa, es utilizada por la centralita para calcular el caudal del aire aspirado y el avance del encendido.

El sensor de presión absoluta más utilizado es de tipo piezoeléctrico con resistencia variable, que es la capacidad de determinados minerales para producir una diferencia de potencial eléctrico entre las dos caras de su superficie cuando son sometidos a una presión determinada. De esta manera, se consigue transformar energía mecánica en una señal eléctrica proporcional a la presión ejercida. Esta propiedad es reversible, es decir, si se aplica una carga mecánica a las caras de un cristal, aparecen cargas eléctricas en ellas. Por el contrario, si se aplican cargas eléctricas, comienza a producirse una deformación de las caras de forma idéntica a cuando se les aplicó una carga mecánica. El efecto se produce por el desplazamiento de los iones en el material piezoeléctrico. Cuando se produce la compresión, los iones se desplazan provocando una polarización eléctrica y produciendo una diferencia de potencial eléctrico entre las caras del material. (Sánchez, 2008, p. 140).

Sánchez (2008) indica que en el interior del sensor MAP se encuentra una membrana de silicio el cual está insertado cuatro resistencias de medición, que están en equilibrio por un puente de Wheatstone el cual permite obtener una alta sensibilidad, la figura 10, indica las partes internas del sensor, en donde las resistencias R1 y R2 se encuentra sobre el chip de silicio de esta manera al

deformarse la membrana aumenta la resistencia de dos de las resistencias de medición, que a su vez disminuye en las dos resistencias restantes.

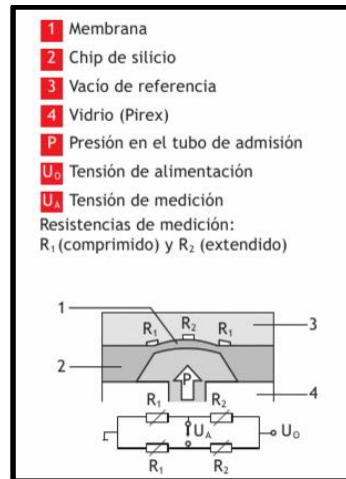


Figura 10. Constitución de elementos internos del sensor MAP

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*.

Este sensor tiene un voltaje de alimentación de 5 [V] y envía, por su conector de salida de señal una tensión proporcional a la presión medida, esta información transmitida a la unidad de control permite adaptar el caudal inyectado a los diferentes estados de carga del motor y a las diferencias de altura. La figura 11, muestra la variación de voltaje respecto al aumento de presión medido por el sensor.

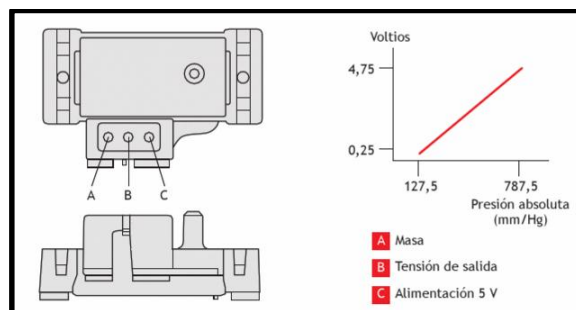


Figura 11. Voltaje de salida según presión del aire

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*.

El vacío de referencia se utiliza para la comparación de presiones. La membrana se deforma según la intensidad de la presión en el colector de admisión, con lo cual varía la resistencia y se produce una tensión variable de las señales. Con ayuda de esta tensión de las señales, la unidad de control del motor detecta la presión que está dada en el colector de admisión. Cuando el motor está parado, pero con el contacto encendido, la membrana adopta una determinada deformación, en función de la presión atmosférica que recibe que, a su vez, estará en relación a la altitud a la que se encuentre el vehículo. Cuando el motor se pone en marcha, en el colector de admisión se genera una depresión que provoca la deformación de la membrana, originando una variación de la tensión de salida que es enviada a la centralita. (Sánchez, 2008, p. 142). La figura 12, muestra la deformación de la membrana a altas y bajas presiones.

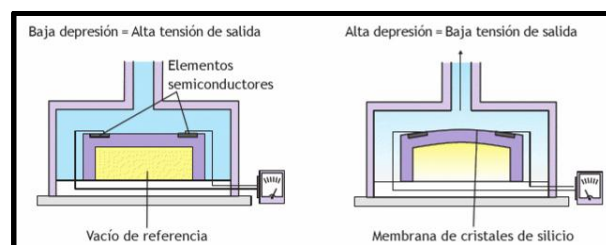


Figura 12. Funcionamiento interno del sensor MAP
Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*.

La figura 13, muestra la forma que adopta este sensor para su comercialización y su estructura interna de todos sus componentes.



Figura 13. Constitución externa e interna del sensor MAP

Fuente: <https://goo.gl/xHmFNJ>

Sus características son:

- Voltaje de alimentación: 5 [V].
- Voltaje de salida: 0.8 a 4.4 [V].
- Presión soportada: 250 [kPa].

En la figura 14, muestra la variación de voltaje durante las diferentes fases de funcionamiento del motor.

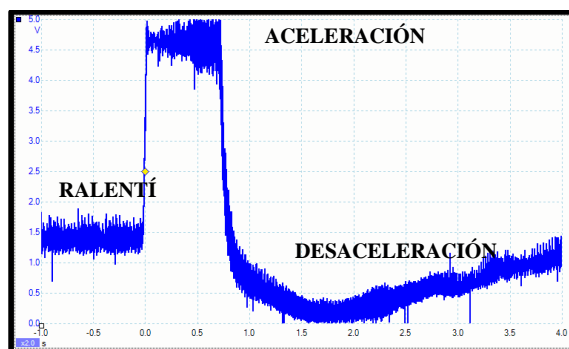


Figura 14. Onda característica sensor MAP.

Fuente: Manual PicoScope 6 Automotiv.

2.4.1.1.3 Sonda Lambda (Sensor de Oxígeno)

La sonda lambda (también llamada sensor de oxígeno) es un componente electroquímico muy importante en el sistema de inyección de un vehículo y tiene una influencia fundamental sobre el consumo combustible. La sonda lambda se

encarga de la regulación correcta del suministro de aire y combustible al motor, midiendo el contenido residual de oxígeno en el gas de escape y determinando de este modo si la mezcla es estequiométrica, rica o pobre.

Cuando se trata de una mezcla estequiométrica (relación 14,7:1) se puede garantizar una combustión completa y el catalizador puede convertir los gases de escape nocivos en gases que son respetuosos con el medio ambiente. Fuera de la relación estequiométrica, las proporciones de los gases varían, por lo que es necesario mantener el motor funcionando en un estrecho margen de dosificación de la gasolina cercano a la relación estequiométrica. Este estrecho margen se conoce como ventana lambda. La figura 15, muestra la onda característica del sensor.

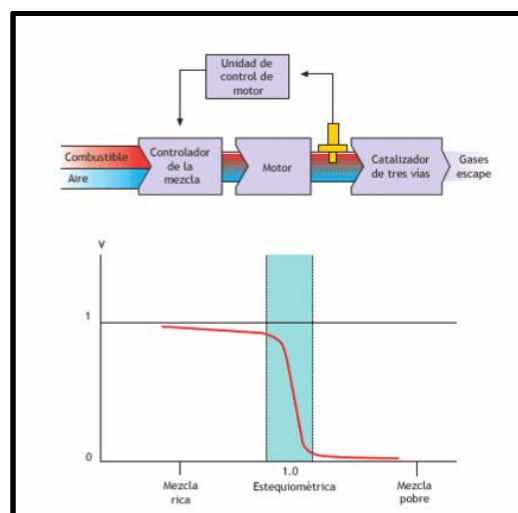


Figura 15. Ubicación de sensor de oxígeno y onda característica.

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*.

En esta zona, la proporción de gases emitidos es la ideal para que el catalizador pueda funcionar correctamente. Si se sale de la ventana, se reduce drásticamente

la efectividad del catalizador. Las mediciones de la sonda sobre la composición de los gases de escape permiten que la centralita electrónica efectúe una corrección continua y en tiempo real de los tiempos de inyección para mantener la mezcla muy cercana a la estequiométrica, es decir, en un intervalo muy corto de valores cercanos al mismo, variando λ entre 0,99 y 1,05. (Sánchez, 2008, p. 209).

Sánchez (2008), menciona que hay dos clases de sensores de oxígenos, los sensores de banda estrecha o de señales a saltos o de dos puntos, se llaman así porque solo indican si la mezcla es rica o pobre, pero no en qué cantidad y están formados por materiales de circonio y titanio y el otro tipo son los sensores de oxígeno de banda ancha, estos sensores pueden enviar una señal exacta de la composición de los gases, incluso trabajando el motor con mezclas distintas a la estequiométrica.

Entre los sensores de banda estrecha existen dos tipos según su compuesto químico, están los de dióxido de circonio, y los de dióxido de titanio.

Los sensores de dióxido de circonio genera una tensión correspondiente a la diferencia de oxígeno entre el aire exterior y los gases de escape este material químico debe estar por encima de los 300 °C ya que a temperaturas inferiores el material cerámico no es activo, por lo tanto la sonda no envía señales atendibles esto se lo consigue mediante el uso de un calefactor interno del sensor. La figura 16, indica cómo está constituido internamente como externamente el sensor.

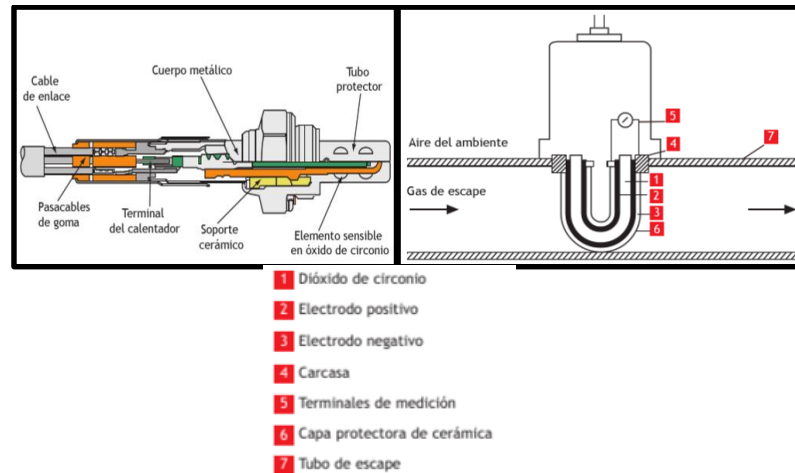


Figura 16. Elementos internos sensor de oxígeno de dióxido de circonio.

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor.*

El elemento de dióxido de circonio pasa a ser conductor de los iones de oxígeno a una temperatura de aproximadamente 300 °C. El oxígeno en forma de iones atraviesa el elemento de cerámica y carga eléctricamente la capa de platino, que pasa a funcionar como un electrodo. La señal se transmite desde el elemento de cerámica hasta el cable de conexión de la sonda. Las variaciones en la concentración de oxígeno a los lados del elemento de dióxido de circonio generan un flujo de iones que provocan una tensión debido a las particularidades del elemento. Los cambios en el voltaje le sirven de información a la unidad de control, que ajusta la relación de mezcla para llevarla a su valor estequiométrico, representando la señal de medición. Cuando la relación aire-combustible es pobre ($\lambda > 1$), la tensión que se produce es baja, 100 [mV], si la relación es rica ($\lambda < 1$), la tensión es elevada, 900 [mV]. El valor de la tensión para $\lambda = 1$ es de 450 [mV]. A fin de obtener la mezcla correcta de $\lambda = 1$, la señal de la sonda lambda es empleada por la unidad de comando para corregir ligeramente el tiempo de inyección y mantener siempre que sea posible el valor de riqueza en el valor

estequiométrico. La señal de salida del sensor es enviada a la unidad de comando para la corrección de la mezcla. Cuando la sonda suministra una señal baja (tensión inferior a 200 [mV]) la centralita reconoce una mezcla pobre e incrementa el tiempo de inyección; después, cuando la señal de la sonda es alta (tensión superior a 800 [mV]), la centralita reconoce una mezcla rica y decrementa el tiempo de inyección. Esta secuencia de intervenciones se repite con una frecuencia del orden de las decenas de Hertz, de forma que el motor funcione con una mezcla continuamente oscilante alrededor de la mezcla estequiométrica. La transición entre el margen rico y el pobre está alrededor de 450 a 500 mV. (Sánchez, 2008, p. 212). La figura 17, indica el funcionamiento interno del sensor.

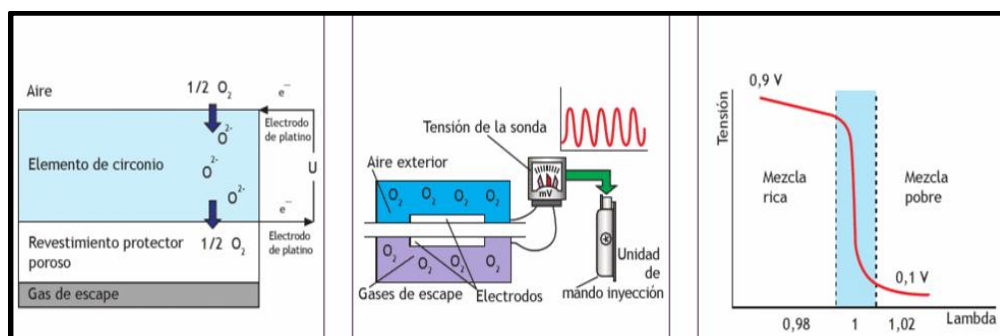


Figura 17. Funcionamiento interno sensor de oxígeno de dióxido de circonio.

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*.

El sensor de oxígeno de dióxido de titanio según Sánchez (2008) dice que está constituida con sobre un soporte de cerámica calefactada, y presenta una variación de la resistencia interna según la cantidad de oxígeno en los gases de escape. Funcionan igual que las de dióxido de circonio, aunque están garantizadas para un funcionamiento más exigente y soportan temperaturas más elevadas. El funcionamiento se basa en el cambio de la resistencia interna según la variación

del contenido de oxígeno presente en los gases de escape, a diferencia del de dióxido de circonio este no necesita contacto con el aire externo. En la figura 18, indica las partes que conforman al sensor y su funcionamiento.

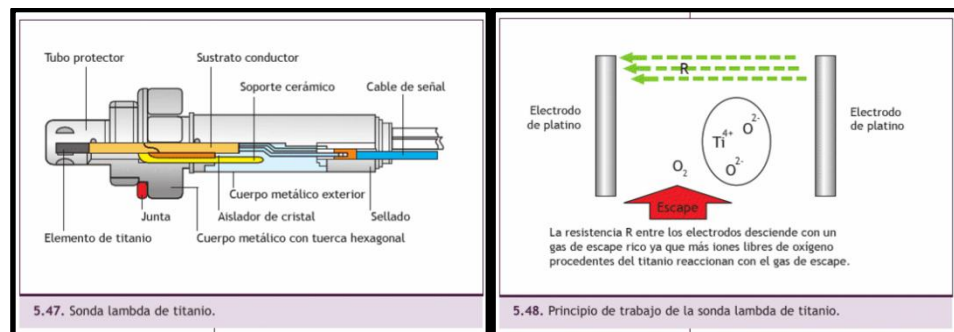


Figura 18. Elementos internos y funcionamiento sensor de oxígeno de dióxido de titanio.
Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*.

Debido al cambio de resistencia del sensor, se produce una caída de tensión, la unidad de control mide esta caída de tensión para regular correctamente la mezcla aire combustible. Cuando esta tensión sea superior a la de referencia (450 [mV]) la mezcla será rica y viceversa. La figura 19, muestra la forma de onda característica de este sensor.

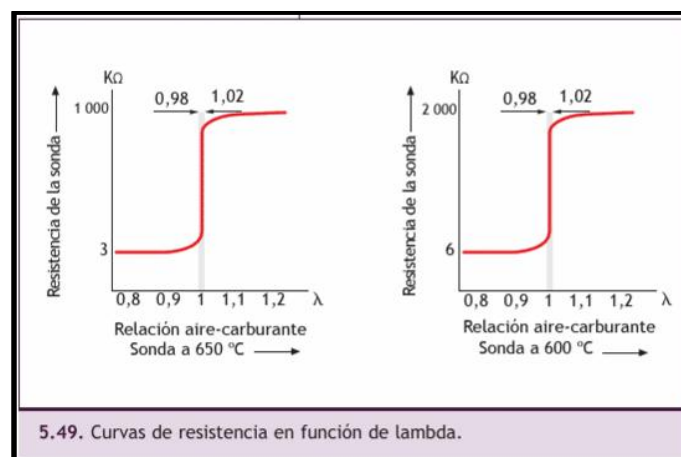


Figura 19. Onda característica sensor de oxígeno de dióxido de titanio.
Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*.

Otro tipo de sensor de oxígeno es el de banda ancha, estos sensores son lineales con ventana lambda de medición ampliada de esta manera mide la cantidad de oxígeno de los gases de escape de manera precisa, su señal que utiliza la unidad de control para reconocer el factor lambda oscila ligeramente entorno a pocas milésimas de amperio con incrementos casi lineales. La figura 20, muestra la onda característica del sensor.

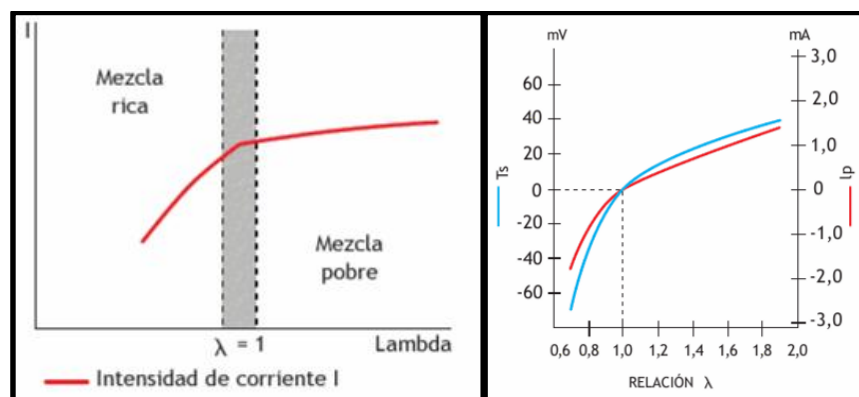


Figura 20. Onda característica sensor oxígeno de banda ancha.

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*.

Los principales elementos del sensor son: el sensor de medición que se compone de una bomba de oxígeno, la célula de medición, fisura de difusión y la resistencia calefactora y la electrónica para el funcionamiento de la sonda lambda situada en el conector del mismo. La figura 21, indica las partes internas del sensor de oxígeno de banda ancha y su funcionamiento.

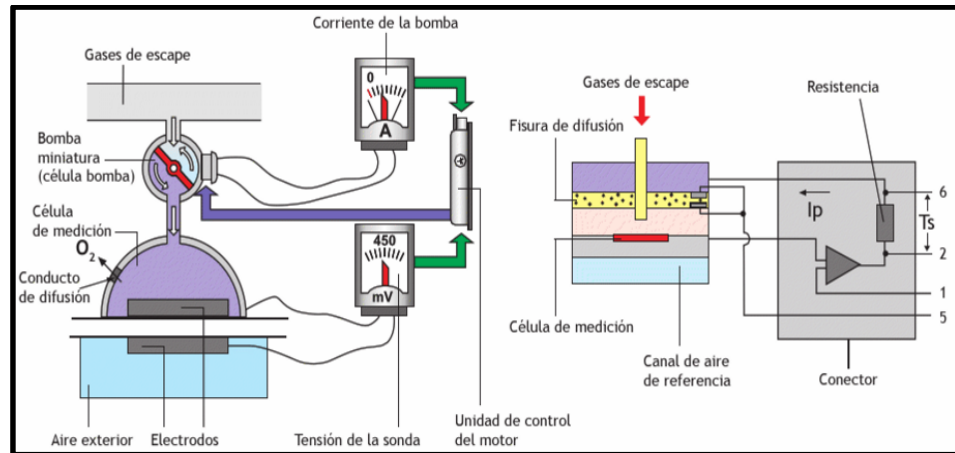


Figura 21. Partes principales sensor de oxígeno de banda ancha.

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*.

Sus características eléctricas son:

- Voltaje de alimentación: 5 voltios.
- Voltaje de salida: 0.1 a 0.9 voltios.
- Temperatura de funcionamiento: 300 a 500°C.

2.4.1.1.4 Sensor de temperatura de aire de admisión (IAT⁵)

El sensor IAT es un sensor térmico que genera una señal eléctrica analógica conforme varía la temperatura del aire de admisión, este sensor es NTC⁶ (coeficiente térmico negativo), es decir su resistencia disminuye conforme la temperatura aumenta, la información que envía a la unidad de comando permite calcular el tiempo de inyección de combustible al motor, dependiendo de la temperatura del aire la unidad de comando calcula el tiempo de inyección del inyector ya que si el aire es frío quiere decir que es más denso por tal razón contiene más oxígeno, mientras que si el aire es caliente contiene menos cantidad de oxígeno, de esta forma se hace la regulación del tiempo de inyección para

⁵ IAT: Intake Air Temperature

⁶ NTC: Negative Temperature Coefficient

regular la mezcla aire – combustible a valores ideales. La figura 22, indica cómo está constituido internamente y externamente el sensor.

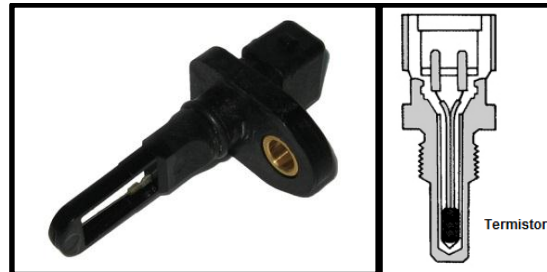


Figura 22. Constitución externa e interna del sensor IAT

Fuente: <http://goo.gl/fxKIS9>

Sus características son:

- Voltaje de alimentación: 5 voltios
- Voltaje de salida: 1 a 4.4 voltios
- Resistencia de salida: 180 a 3000 Ω

La figura 23, muestra la onda característica del sensor.

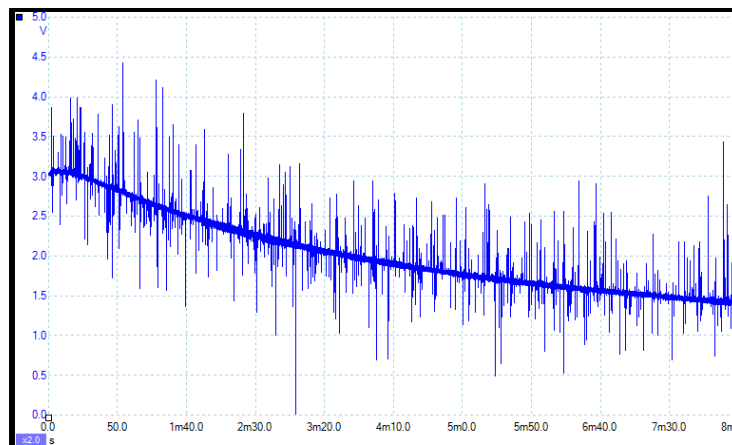


Figura 23. Onda característica sensor IAT

Fuente: Manual PicoScope 6 Automotive

2.4.1.1.5 Sensor de temperatura de refrigerante (ECT⁷)

Al igual que el sensor IAT, el sensor ECT es un sensor NTC que genera una señal eléctrica analógica conforme varía la temperatura del refrigerante del motor, este sensor es de coeficiente térmico negativo, es decir su resistencia disminuye conforme la temperatura aumenta, la información que envía a la unidad de comando permite calcular el tiempo de inyección de combustible al motor, dependiendo de la temperatura a la que se encuentra el motor. La unidad de comando calcula el tiempo de inyección del inyector ya que si el motor está frío tendrá que calentarse para operar de manera adecuada por tal razón se aumentará el pulso de inyección. La figura 24, indica cómo está constituido internamente y externamente el sensor.

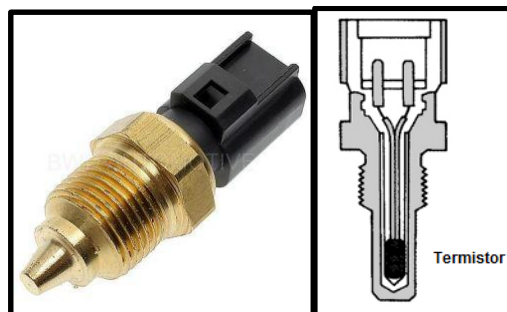


Figura 24. Constitución externa e interna del sensor ECT

Fuente: <http://goo.gl/IhDno6>

Sus características son:

- Voltaje de alimentación: 5 voltios.
- Voltaje de salida: 1 a 4.4 voltios.
- Resistencia de salida: 180 a 3000 Ω .

⁷ ECT: Engine Coolant Temperature.

La figura 25, muestra la onda característica del sensor.

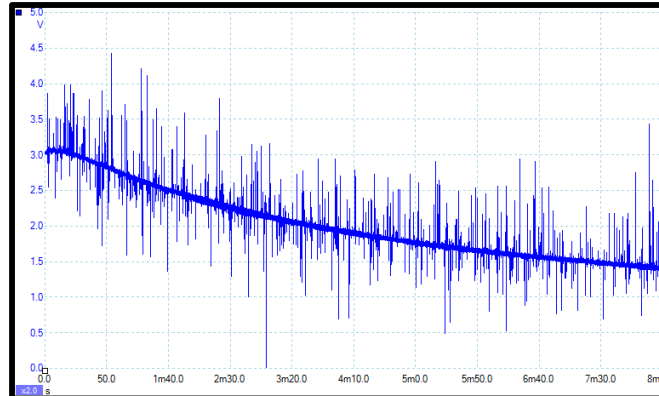


Figura 25. Onda característica sensor ECT
Fuente: Manual PicoScope 6 Automotive

2.4.1.1.6 Sensor de posición del cigüeñal (CKP⁸)

Sánchez (2008) explica que la unidad de control necesita una referencia tanto de la posición angular y la velocidad de giro del motor para determinar el momento exacto para realizar la inyección de combustible y generar la chispa de ignición, para determinar estas variables los motores hace uso de sensores los cuales pueden ser inductivos o magnéticos.

El sensor inductivo consta de un imán permanente en cuyo extremo se encuentra un núcleo de hierro el cual está envuelto por un bobinado. Al paso de los dientes de la corona el cual está instalado en el cigüeñal del motor el sensor induce una corriente eléctrica alterna sinusoidal con frecuencia y amplitud proporcional a la velocidad de giro del motor, esta corriente es analizada por la

⁸ CKP: CRANKSHAFT POSITION

unidad de comando para poder realizar el encendido e inyección de combustible. La figura 26, muestra la disposición del sensor y la forma de onda característica de un sensor inductivo.

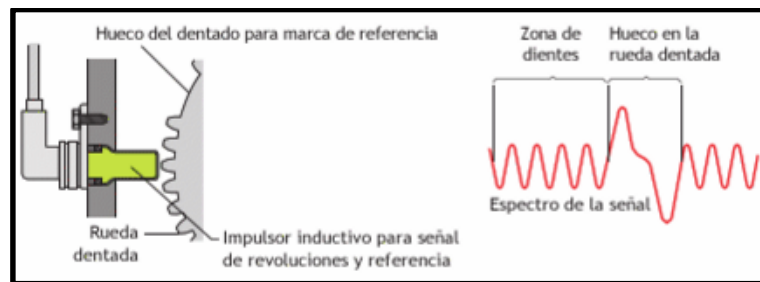


Figura 26. Sensor CKP inductivo y onda característica

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*.

El sensor de efecto Hall se basa en el efecto Hall, es decir produce una tensión cuando el sensor detecta un campo magnético, a diferencia del sensor inductivo este sensor produce una señal de onda rectangular. La figura 27, muestra la disposición del sensor y la forma de onda característica de un sensor de efecto Hall.

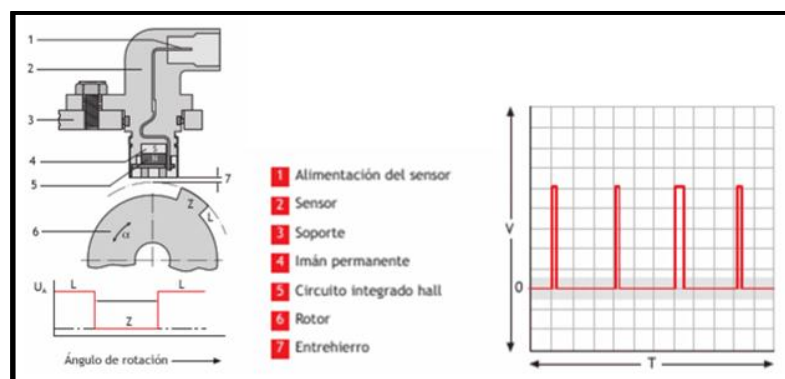


Figura 27. Sensor CKP de efecto Hall y onda característica

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*.

Sus características eléctricas son:

- Sensor CKP inductivo
 - No necesita voltaje de alimentación.
 - Voltaje de salida: aprox. 2.4 Vpp.
- Sensor CKP de efecto Hall
 - Voltaje de alimentación: 5 [V].
 - Voltaje de salida: Digital (0 [V] o 5 [V]).

2.4.2.1 Actuadores

Los actuadores son los que realizan una acción dependiendo de las decisiones tomadas por la unidad de comando basada en la información proporcionada por los sensores del motor, estas acciones pueden ser desde el aumento o disminución del tiempo de inyección, corrección del punto de encendido y accionamiento de la bomba de combustible. Los actuadores presentes en un motor son:

- Inyector.
- Bobina de encendido o de ignición.
- Bomba de combustible.

2.4.2.2 Inyector.

Sánchez (2008), indica que el inyector tiene como objetivo suministrar la cantidad exacta de combustible pulverizándola para poder realizar una combustión más rápida.

Durante el ciclo de la inyección se excita el bobinado electromagnético en el inyector y se genera un campo magnético. A raíz de ello se atrae el inducido con la aguja, con lo cual abre el inyector y proyecta el combustible. Al dejarse de excitar el bobinado se neutraliza el campo magnético y la aguja es oprimida por el muelle de compresión contra su asiento en el inyector. El flujo del combustible queda interrumpido. La figura 28, muestra la forma de pulverización del combustible que sale del inyector y los elementos internos que lo conforman.

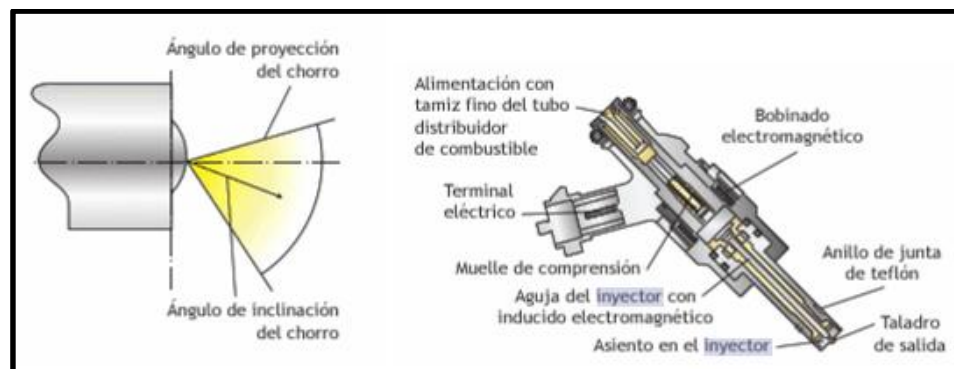


Figura 28. Elementos internos del inyector y ángulos de pulverización.

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*.

Los inyectores de alta presión son controlados desde la unidad de control y su funcionamiento se divide en tres etapas:

- Fase de precarga. Se prepara al inyector para su apertura, en donde se permite mejorar y provocar una subida rápida de la aguja de la electroválvula. La alimentación es aproximadamente de 12 V y con un consumo de 1 A.

- Fase de acción. El objetivo es provocar una subida rápida de la aguja de la electroválvula mediante una breve premagnetización. La tensión oscila entre los 77 y 90 V y una corriente de 10 a 11,5 A aproximadamente.

- Fase de mantenimiento. Con el inyector abierto al máximo se permite alimentar la electroválvula del inyector con 30 V y una corriente aproximada de 2,5 A, consiguiendo una limitación de la potencia eléctrica absorbida.

La figura 29, la forma de onda característica de las fases de funcionamiento del inyector.

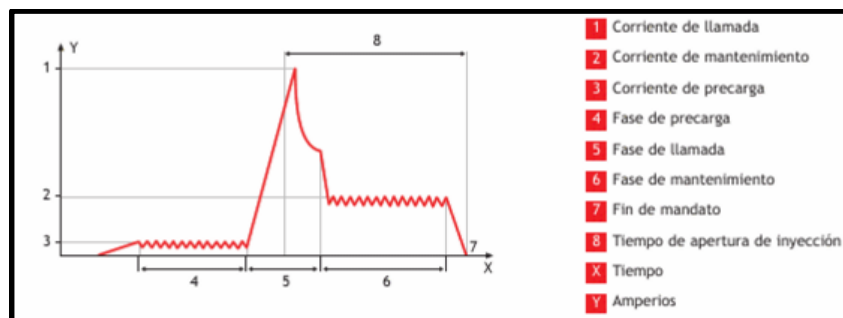


Figura 29. Etapas de funcionamiento del inyector.

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*.

Sus características eléctricas son:

- Voltaje de activación: 12 voltios
- Voltaje pico inductivo: 60 a 80 Voltios
- Impedancia de bobina
 - 1.8 a 6.8 Ω (para inyectores de baja impedancia).
 - 10.2 a 17 Ω (para inyectores de alta impedancia).

2.4.2.3 Bobina de encendido.

La Bobina de encendido según Sánchez (2008) es la encargada de transformar la tensión de 12 [V] proveniente de la batería en alta tensión alrededor 12 000 a 20 000 [V], necesarios para producir la chispa entre los electrodos de la bujía.

Está compuesto por un núcleo de hierro aislado, el arrollamiento primario está situado por encima del arrollamiento secundario ya que genera más calor de esta manera se transfiere el calor más rápido al exterior, está compuesto por pocas espiras de hilo grueso entre unas 200 a 300 de 0,5 a 0,8 mm de diámetro, mientras que el arrollamiento secundario está compuesto por muchas espiras de hilo fino alrededor de 20000 a 30000 de 0,06 a 0,08 mm de diámetro. La relación de espiras entre los arrollamientos primario y secundario oscila entre 1:70 y 1:150. Por tanto, la bobina recorrida por la corriente de batería se denomina bobina primaria, y en la que se genera la corriente de alta tensión por inducción magnética se denomina bobina secundaria. La figura 30, indica las partes internas de la bobina de encendido.

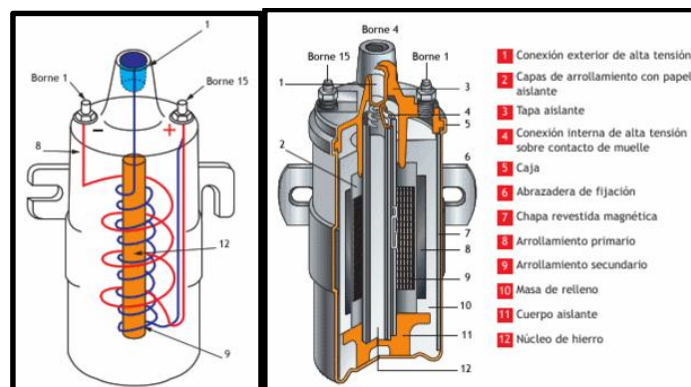


Figura 30. Constitución interna de la bobina de encendido.

Fuente: <http://goo.gl/1fGXip>

La bobina o transformador basa su funcionamiento en el fenómeno de autoinducción e inducción mutua. Al circular corriente por el primario se crea un campo magnético en el núcleo y al interrumpirse la corriente el campo desaparece bruscamente, lo que provoca en el primario tensión por autoinducción y en el secundario tensión por inducción.

La tensión inducida en el secundario depende de la relación en el número de espiras entre primario y secundario así como la intensidad de corriente que alcance a circular por el primario en el momento de la interrupción.

La autoinducción limita el tiempo de carga de una bobina, sobre todo cuando el tiempo disponible para saturarse es limitado, como es el caso de los transformadores de encendido trabajando a elevado régimen. (Sánchez, 2008, p. 13).

Sus características son:

- Voltaje bobina primaria: 12 voltios
- Voltaje bobina secundaria: 30 a 60 kV.
- Impedancia de bobina primaria 0,3 – 1,0 Ω
- Impedancia de bobina secundaria 8 a 19 k Ω

La figura 31, indica la forma de onda característica de la bobina de encendido tanto en la bobina primaria como en la bobina secundaria.

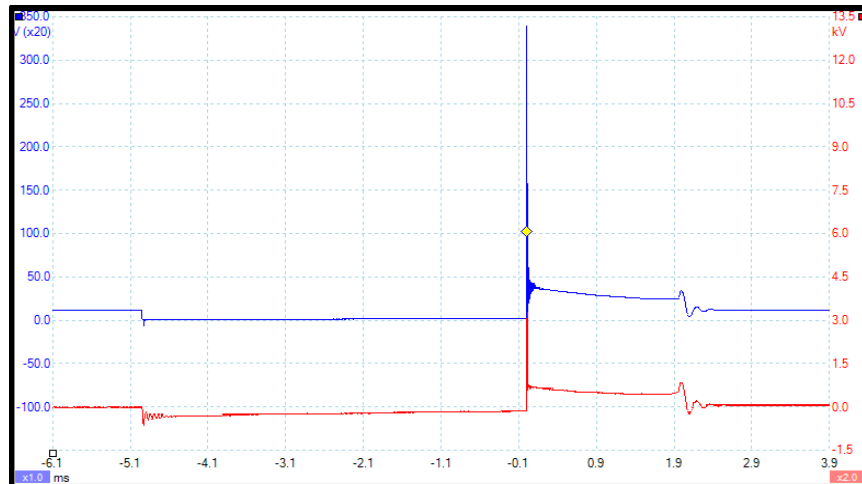


Figura 31. Onda característica bobina primaria y secundaria.
Fuente: Manual PicoScope 6 Automotivo.

2.4.2.3 Bomba de combustible.

La función principal de la bomba de combustible es de suministrar el combustible al sistema de inyección a una presión constante durante todo el funcionamiento del motor. La figura 32, indica cómo está constituida internamente como externamente.

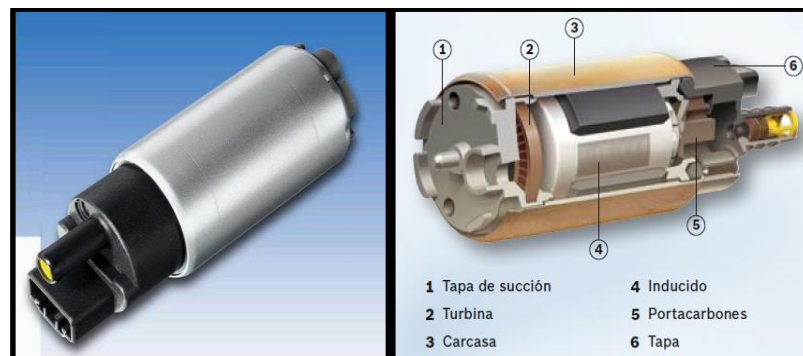


Figura 32. Constitución externa e interna de la bomba de combustible.
Fuente: Sistemas de inyección Bosch.

Sus características son:

- Voltaje de activación: 12 Voltios.
- Consumo de corriente: 4 a 7 Amperios.
- Presión: 3 – 7 Bar.

La figura 33, indica la forma de onda característica del consumo de corriente de la bomba de combustible.

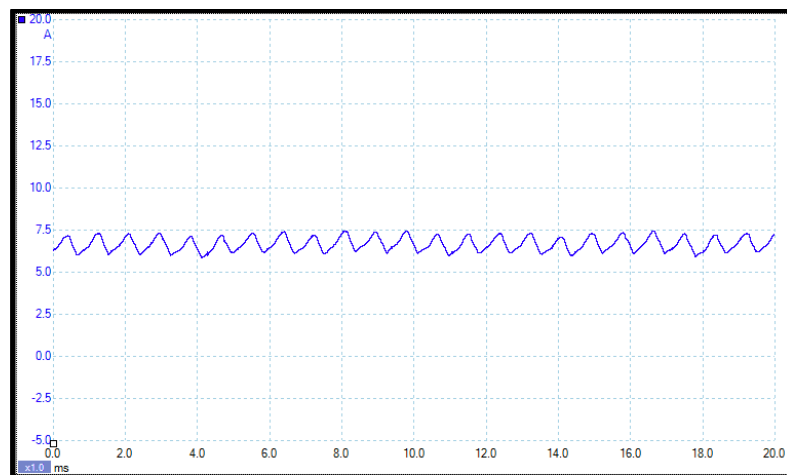


Figura 33. Onda característica bomba de combustible.
Fuente: Manual PicoScope 6 Automotive.

2.4.2.4 Unidad de comando

La unidad de comando es la computadora del sistema, también llamada unidad de control del motor (ECU⁹) es la encargada de realizar los cálculos necesarios para determinar el tiempo de inyección y tiempo de encendido en el momento preciso basado en los datos proporcionados por los diferentes sensores del motor.

La figura 34, muestra como está constituida una unidad de comando.

⁹ ECU: Engine Control Unit

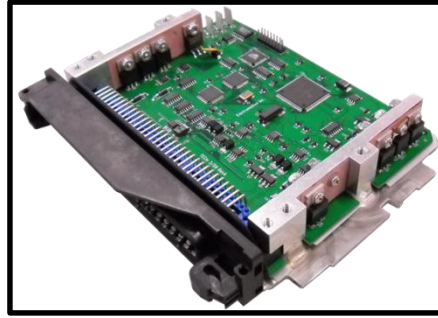


Figura 34. Unidad de Comando.
Fuente: <http://goo.gl/Z2bJ6B>

La ECU se compone de muchos elementos para su funcionamiento, está compuesto por el hardware el cual es el conjunto de componentes electrónicos y están sobre la placa electrónica, el software almacenado en memorias EEPROM y que conjuntamente con la CPU realizan todos los cálculos para el funcionamiento de los actuadores. Existen muchas variedades de estos módulos siendo unos más sofisticados que otros dependiendo de la tecnología que utilicen en su diseño. En la figura 35, se muestra el diagrama de bloques de una ECU.

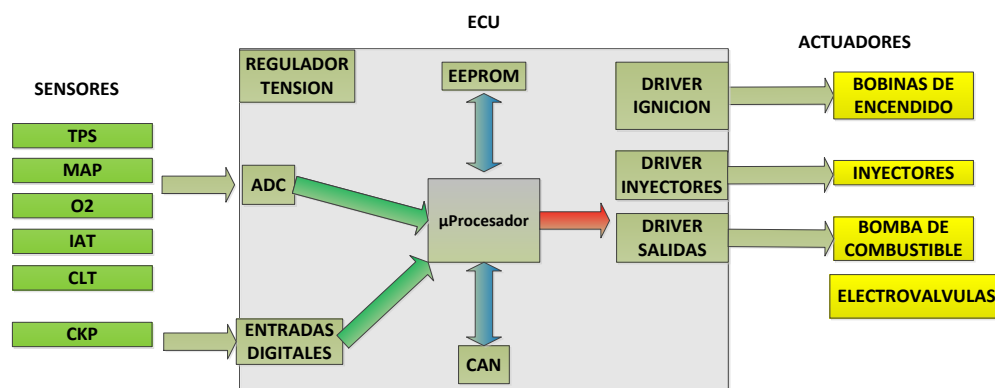


Figura 35. Diagrama de bloques de una unidad de comando.
Fuente: Elementos de la unidad de comando. Elaborado por el Autor.

2.5 COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS SISTEMAS BASADOS A CARBURADOR Y LOS SISTEMAS BASADOS EN INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE

Tanto los sistemas de alimentación de combustible basado a carburador como a inyección electrónica su función principal es alimentar de combustible al motor durante todo su funcionamiento, a continuación se indica una tabla 1, se indica la comparación entre los dos sistemas.

Tabla 1: Comparación entre sistemas basados a carburador e inyección electrónica

| | CARBURADOR | INYECCIONE ELECTRÓNICA |
|---|--------------------------------|--|
| Uso de sensores | No | Si |
| Uso de actuadores | Si (controlados mecánicamente) | Si (controlados electrónicamente desde la ECU) |
| Control de dosificación de combustible | No | Si |
| Control de inyección | No | Si |
| Mejor combustión | No | Si |
| Rendimiento del motor | Baja | Alta |
| Contaminación | Alta | Baja |
| Consumo de combustible | Alta | Baja |
| Mantenimiento | Mayor | Menor |
| Calibración | Manual | Electrónica |
| Respuesta rápida de funcionamiento del motor | Lenta | Inmediata |

Nota. Fuente: Elaborado por el Autor.

2.6 ANÁLISIS DE PERIFÉRICOS NECESARIOS PARA LA CONEXIÓN DE SENSORES A LA PLATAFORMA ARDUINO MEGA 2560.

Ya se vio anteriormente los sensores y actuadores que necesita un motor para su funcionamiento, ahora es necesario revisar que periféricos de la plataforma Arduino mega 2560 son necesarios para su interconexión. Arduino es una plataforma de hardware libre, tuvo sus inicios en el 2005 como un proyecto realizado por estudiantes en el Instituto IVREA, en Ivrea de Italia, esta plataforma está basada en una placa de microcontrolador y un IDE¹⁰. La plataforma está basada en un microcontrolador Atmel AVR (Atmega 2560) y puertos de entrada/salida, el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing (Entorno de desarrollo Arduino) / Wiring (Lenguaje de programación de la placa Arduino), al basarse en un entorno libre las placas se pueden montar a mano o adquirirse y el entorno de desarrollo integrado libre se puede descargar gratuitamente.

El proyecto Arduino recibió una mención honorífica en la categoría de Comunidades Digital en el Prix Ars Electrónica el cual es uno de los premios anuales más importantes en el campo de la electrónica en el 2006. La plataforma Arduino permite conectarse a una computadora sin tener que configurarse (Plug and Play) y trabaja con todas las plataformas como MacOSX, Windows y GNU/Linux. En la figura 36, muestra cómo está constituida y en la tabla 2, se detallan las características técnicas de esta plataforma.

¹⁰ IDE: Integrated Development Environment

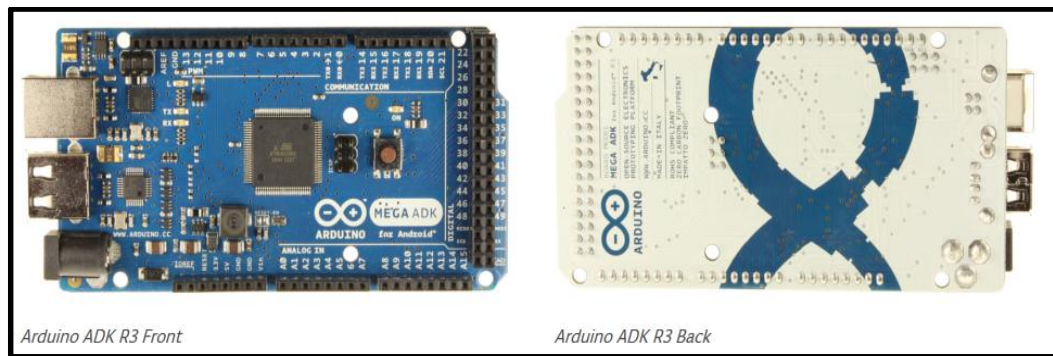


Figura 36. Arduino Mega 2560.

Fuente: <http://goo.gl/1B8AB9>

Tabla 2: Características Técnicas Arduino Mega 2560

| CARACTERISTICAS | Arduino Mega 2560 |
|--------------------------------------|--|
| Frecuencia de operación | 16 MHz |
| Microcontrolador | ATmega2560 |
| Memoria de programa (FLASH) | 256 KB <ul style="list-style-type: none"> • 8 KB es usado por el bootloader • 10000 Ciclos Escritura / borrado • La retención de datos : 20 años a 85 ° C / 100 años a 25 ° C |
| Memoria de datos (SRAM) | 8KB |
| Memoria de datos EEPROM | 4 KB <ul style="list-style-type: none"> • 100000 Ciclos Escritura / borrado |
| Fuentes de interrupción | 6 Interrupciones externas <ul style="list-style-type: none"> • un flanco ascendente o descendente, o un cambio en el valor. |
| Puertos de entrada y salida | 54 (15 salidas PWM) <ul style="list-style-type: none"> • capacidad de 40 mA por Pin |
| Módulo análogo digital | 16 canales de 10 bits de resolución |
| Módulo de comunicación serial | <ul style="list-style-type: none"> • SPI uso de librería SPI library. • I2C |
| Juegos de instrucciones | <ul style="list-style-type: none"> • 135 Instrucciones de gran alcance - ejecución 1 ciclo de reloj • 32 × 8 registros de propósito general |

Nota. Fuente: Adaptado de <http://goo.gl/0hkIDx> y hoja de datos Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V

Para la interconexión y funcionamiento de los sensores y actuadores del motor se necesitan los siguientes periféricos:

- Entradas y salidas de propósito general
- Temporizadores
- Conversor analógico/digital
- Memoria

2.6.1 Puertos de entrada y salida.

Los puertos de entrada y salida permiten la conexión del microcontrolador con un dispositivo exterior (LED, Sensor, Relé.), estos puertos formados por pines dependiendo de su utilización estos pines pueden ser de entrada o de salida siendo programados en el código de programa. Estos pines poseen características eléctricas como la corriente máxima que puede recibir o entregar, resistencias pull-up utilizadas en interruptores. Los puertos de entrada y salida se configura mediante registros DDRX la cual opera junto al CPU y cada bit de este registro determina si es un pin de entrada o de salida por lo general si el estado lógico del registro es (1L) en pin será configurado como salida y si es (0L) el pin será configurado como entrada. El Arduino mega 2560 posee 54 pines de entrada y salida digitales los cuales 14 pueden ser configurados como PWM, provee 20mA por cada pin, además de poseer resistencias pull – up internas de protección, para la configuración de los pines en el Arduino IDE esta es la sintaxis de programación:

- `pinMode(pin, mode)`
 - pin: número de pin a ser configurado
 - mode: INPUT, OUTPUT

- `digitalWrite(pin, value)`
 - pin: número de pin configurado
 - value: HIGH (5V), LOW (0V)

En la figura 37, muestra como el puerto de entrada y salida está conectado al CPU así como también como funciona si es un pin de entrada o de salida

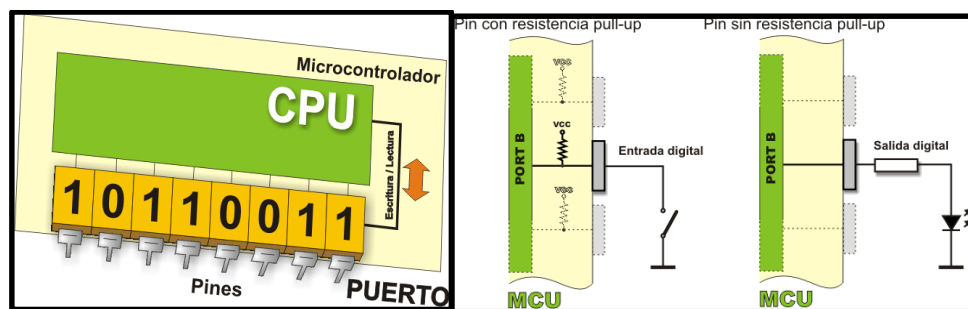


Figura 37. Configuración de puertos del microcontrolador.

Fuente: <http://goo.gl/7jnD86>

2.6.2 Temporizadores / contadores

El temporizador se emplea para controlar periodos de tiempo en cuanto a los contadores estos realizan la cuenta de eventos que suceden en el exterior tanto el temporizador como el contador utilizan el oscilador del microcontrolador debido a que su frecuencia es estable y precisa de esta manera se obtienen tiempos exactos en la medición de eventos. El Timer2 es de propósito general de un solo canal posee un registro de 8 bits. En la figura 38, muestra el funcionamiento del temporizador y la forma en la que mide el tiempo transcurrido.

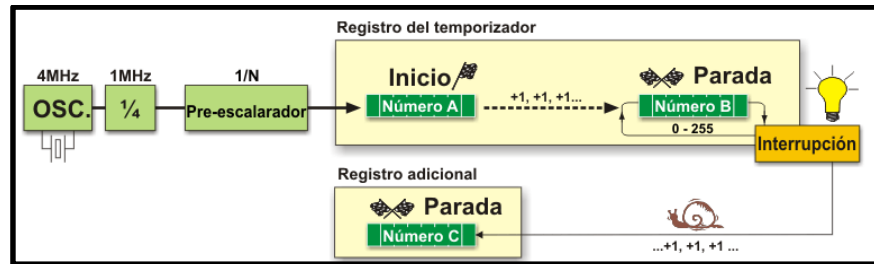


Figura 38. Funcionamiento de temporizadores.

Fuente: <http://goo.gl/4M93Nx>

La lógica para utilizar el temporizador es la siguiente:

- Deshabilitar el Timer2 para poder configurarlo, esto se lo realiza configurando el registro TCCR2B y seteándolo en TCCR2B = 0x00. La figura 39, indica los bits del registro TCCR2B.

| TCCR2B – Timer/Counter Control Register B | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|-----|-----|-----|-----|
| Bit (0xB1) | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Read/Write | W | W | R | R | B/W | R/W | R/W | R/W |
| Initial Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 39. Configuración del registro TCCR2B

Fuente: Datasheet ATmega 2560

- Realizar una pre – carga al Timer2 en el registro TCNT2, Esto se lo realiza con la siguiente formula:

$$\bullet \text{ (CPU frequency) / (prescaler value) = A[ms].} \quad (1)$$

$$\bullet \text{ (desired period) / A[ms] = time.} \quad (2)$$

$$\bullet \text{ MAX(uint8) + 1 - time = Preload;} \quad (3)$$

TCNT2 = Preload, la figura 40, indica los bits del registro TCNT2 destinado a la precarga del Timer 2.

| TCNT2 – Timer/Counter Register | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Bit | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| (0xB2) | TCNT2[7:0] | | | | | | | | TCNT2 |
| Read/Write | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | |
| Initial Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Figura 40. Precarga del Registro TCNT2
Fuente: Datasheet ATmega 2560

- Borrar el Flag de sobrecarga del timer2.

TIFR2 = 0, la figura 41, indica los bits del registro TIFR2 destinado a borrar la bandera de sobrecargar del timer 2.

| TIFR2 – Timer/Counter2 Interrupt Flag Register | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|-------|-------|------|-------|
| Bit | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| 0x17 (0x37) | - | - | - | - | - | OCF2B | OCF2A | TOV2 | TIFR2 |
| Read/Write | R | R | R | R | R | R/W | R/W | R/W | |
| Initial Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Figura 41. Registro TIFR2
Fuente: Datasheet ATmega 2560

- Habilitar la interrupción por sobrecarga del Timer2

TIMSK2 = 0x01, la figura 42, muestra los bits del registro TIMSK2 destinado a la habilitación de interrupciones del timer 2.

| TIMSK2 – Timer/Counter2 Interrupt Mask Register | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|--------|--------|-------|--------|
| Bit | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| (0x70) | - | - | - | - | - | OCIE2B | OCIE2A | TOIE2 | TIMSK2 |
| Read/Write | R | R | R | R | R | R/W | R/W | R/W | |
| Initial Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Figura 42. Registro TIMSK2
Fuente: Datasheet ATmega 2560

- Generación de onda en modo normal.

TCCR2A = 0x00, la figura 43, muestra los bits del registro TCCR2A destinado a la generación de tipo de onda del timer 2.

| TCCR2A – Timer/Counter Control Register A | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|---|---|-------|-------|
| Bit | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| (0xB0) | COM2A1 | COM2A0 | COM2B1 | COM2B0 | – | – | WGM21 | WGM20 |
| Read/Write | R/W | R/W | R/W | R/W | R | R | R/W | R/W |
| Initial Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 43. Registro TCCR2A
Fuente: Datasheet ATmega 2560

- Configurar el prescaler, la figura 44, muestra los bits destinados a la configuración del prescales del timer 2.

| TCCR2B – Timer/Counter Control Register B | | | | | | | | |
|---|-------|-------|---|---|-------|------|------|------|
| Bit | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| (0xB1) | FOC2A | FOC2B | – | – | WGM22 | CS22 | CS21 | CS20 |
| Read/Write | W | W | R | R | R/W | R/W | R/W | R/W |
| Initial Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Table 20-9. Clock Select Bit Description | | | |
|--|------|------|---|
| CS22 | CS21 | CS20 | Description |
| 0 | 0 | 0 | No clock source (Timer/Counter stopped) |
| 0 | 0 | 1 | $clk_{T2S}/(\text{No prescaling})$ |
| 0 | 1 | 0 | $clk_{T2S}/8$ (From prescaler) |
| 0 | 1 | 1 | $clk_{T2S}/32$ (From prescaler) |
| 1 | 0 | 0 | $clk_{T2S}/64$ (From prescaler) |
| 1 | 0 | 1 | $clk_{T2S}/128$ (From prescaler) |
| 1 | 1 | 0 | $clk_{T2S}/256$ (From prescaler) |
| 1 | 1 | 1 | $clk_{T2S}/1024$ (From prescaler) |

Figura 44. Registro TCCR2B
Fuente: Datasheet ATmega 2560

- Realizar una pre – carga al Timer2
- Borrar el Flag de sobrecarga del Timer2.

2.6.3 Convertidor Análogo Digital

Las señales provenientes de los sensores son señales analógicas las cuales el microcontrolador no las puede procesar de manera inmediata ya que el microcontrolador funciona con valores binarios por tal razón estos valores analógicos deben ser procesados mediante una conversión análoga digital

convirtiendo las señales continuas en números digitales discretos. Las características principales que posee el conversor análogo digital son:

- Resolución de 10 bits mediante aproximación sucesiva.
- Tiempo de conversión 13 μ s - 260 μ s
- Hasta 76.9kSPS¹¹ (Hasta 15kSPS en la Resolución Máxima)
- 16 canales de entrada individuales multiplexado
- Rango de voltaje de entrada 0 V – 5 VCC ADC
- Voltaje de referencia ADC seleccionable 2.56V o 1.1V
- Interrupción de conversión completa ADC

En la figura 45, muestra el bloque interno del conversor análogo digital y como representa los valores de los voltajes en valores numéricos hexadecimales.

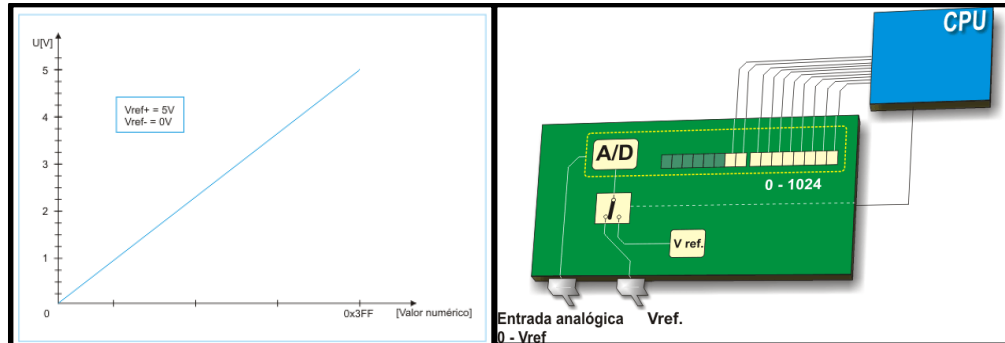


Figura 45. Diagrama interno conversor A/D.

Fuente: <http://goo.gl/7CNhrA>

Los sensores requiere hacer una lectura analógica con velocidades lo más alto posible, esto se lo puede lograr pero a costa de precisión en la lectura mediante la configuración del prescaler del ADC. Con la configuración de los bits ADPS2:0 del registro ADCSRA se obtiene la velocidad de lectura del ADC, con un

¹¹ kSPS: kiloSample per Second

prescaler de 16 se obtiene una máxima velocidad de lectura sin pérdida de precisión. La figura 46, muestra los bits del registro ADCSRA destinados a la configuración del prescaler.

| ADCSRA – ADC Control and Status Register A | | | | | | | | |
|--|------|-------|-------|-------|------|-----------------|-------|-------|
| BIT (0x7A) | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| | ADEN | ADSC | ADATE | ADIF | ADIE | ADPS2 | ADPS1 | ADPS0 |
| Read/Write | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W |
| Initial Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ADPS2 | | ADPS1 | | ADPS0 | | Division Factor | | |
| 0 | | 0 | | 0 | | 2 | | |
| 0 | | 0 | | 1 | | 2 | | |
| 0 | | 1 | | 0 | | 4 | | |
| 0 | | 1 | | 1 | | 8 | | |
| 1 | | 0 | | 0 | | 16 | | |
| 1 | | 0 | | 1 | | 32 | | |
| 1 | | 1 | | 0 | | 64 | | |
| 1 | | 1 | | 1 | | 128 | | |

Figura 46. Registro ADCSRA.
Fuente: Datasheet ATmega 2560

La hoja de datos del ATmega 2560 en la sección de tiempo de conversión y preescalamiento indica que la frecuencia de conversión del ADC será: (Datasheet ATmega 2560, 2012, p.278).

$$f_{ADC} = \frac{XTAL}{Prescaler \cdot DIV \ factor} \quad (4)$$

$$f_{ADC} = \frac{16 \text{ MHz}}{16}$$

$$f_{ADC} = 1 \text{ MHz}$$

Hay que tener en cuenta que señales con una frecuencia superior a la frecuencia de Nyquist pueden llegar a distorsionarse por tal razón en el diseño de filtros se hará uso de filtros pasa bajos que no excedan este valor para evitar este tipo de problemas. (Datasheet ATmega 2560, 2012, p.284).

$$f_{Nyquist} = \frac{f_{ADC}}{2} \quad (5)$$

$$f_{Nyquist} = \frac{1 \text{ MHz}}{2}$$

$$f_{Nyquist} = 500 \text{ kHz}$$

Esta será referencia para el diseño de los filtros que se utilizaran posteriormente en los circuitos de acondicionamientos de señales.

2.6.4 Memoria

El bloque de memoria es una parte del microcontrolador destinada al almacenamiento de los datos. Este bloque de memoria está compuesto por diferentes tipos:

- FLASH.- en este tipo de memoria se almacena el código de programa, es un tipo de memoria no volátil y es una derivación de la memoria EEPROM su tecnología está hecha de tal forma que tanto la lectura como escritura de datos se la puede realizar en muchas direcciones de memoria en una sola operación esto

permite que funcione a altas velocidades superiores a la EEPROM que solo permite ingresar a una dirección de memoria por operación.

- RAM (Random-Access Memory).- en este tipo de memoria se almacena temporalmente los datos y resultados de operaciones creados en el funcionamiento del microcontrolador, es un tipo de memoria volátil y permite la lectura y escritura de datos. En la actualidad se utilizan RAM Estáticas (SRAM) es decir para almacenar sus datos no necesitan un circuito de refresco. Esta memoria es la más compleja ya que los registros hacen uso de ella y se compone de dos partes: en registros de propósito general y registros de funciones especiales (SFR).

- EEPROM (ELECTRICALLY ERASABLE PROGRAMMABLE ROM).- es un tipo de memoria no volátil es decir los datos quedan permanentemente guardados después de desconectar la fuente de alimentación, es utilizada para guardar datos específicos durante la operación del microcontrolador.

En la figura 47, muestra los diferentes tipos de memoria que utiliza el microcontrolador.

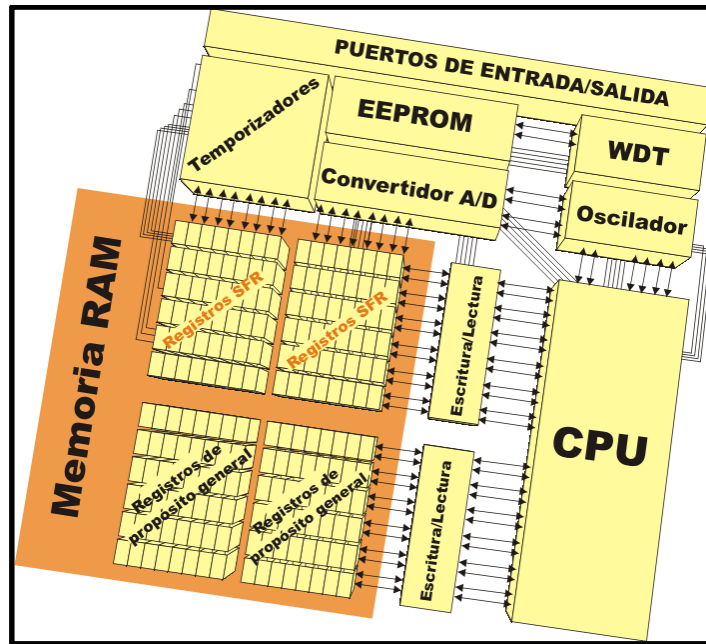


Figura 47. Uso de registros en la RAM.

Fuente: <http://goo.gl/En8vxQ>

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA PROVINCIA DE IMBABURA Y SUS EFECTOS QUE PRODUCEN.

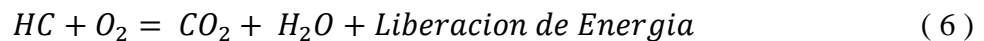
En este capítulo se detalla cómo se forman los gases contaminantes en motores de combustión interna, cuales son peligrosos para la salud de las personas y que cantidad de estos contaminantes están presentes en el aire, así como también los factores que influyen en la calidad del aire.

3.1 PROCESO DE COMBUSTIÓN.

La combustión es una reacción química en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de calor y luz. En toda combustión existe un elemento que arde (combustible) y otro que produce la combustión (comburente), generalmente, oxígeno gaseoso en forma molecular (O_2). Los tipos más frecuentes de combustible son los materiales orgánicos que contienen carbono e hidrógeno, como se ha visto, la gasolina está formada por hidrocarburos (HC) que tienen carbono e hidrógeno. Para que se produzca la combustión en la cámara de combustión de los motores, es necesario mezclar gasolina y oxígeno y unas

condiciones físicas favorables, como puede ser una temperatura adecuada (Rodríguez, 2012, p. 180).

Según Rodríguez (2012), indica que el proceso de combustión corresponde a la siguiente ecuación:



La ecuación para este tipo de combustión es ideal el cual no se da por ser un caso teórico o como se llama estequiométrica, pero al existir variables que no son exactas en este proceso se generan dos tipos de combustión: completa e incompleta.

3.1.1 Combustión completa.

Rodríguez (2012) expresa que, la combustión completa ocurre cuando el combustible reacciona con el oxígeno del aire teniendo una combustión completa, En esta combustión no existe residuos de combustible (HC). Generalmente esto ocurre cuando hay un exceso de oxígeno en la mezcla lo cual se lo denomina mezcla pobre y es ventajoso ya que se aprovecha toda la energía de la gasolina de esta forma se aumenta el rendimiento del motor.

3.1.2 Combustión incompleta.

Rodríguez (2012) expresa que, una combustión incompleta se produce cuando parte del combustible no reacciona con el oxígeno del aire, por tal razón los residuos de la combustión contendrán combustible (HC) habiendo también la formación de monóxido de carbono, perjudicial para la salud. A este tipo de combustión se lo denomina mezcla rica siendo desfavorable ya que se desaprovecha parte de la energía del combustible, con lo cual disminuirá el rendimiento del motor.

3.2 FORMACIÓN DE ELEMENTOS GASEOSOS EN EL PROCESO DE COMBUSTIÓN.

Los gases de escape son sustancias gaseosas residuales procedentes de la combustión de la mezcla gasolina-aire. Los gases de escape también pueden contener partículas sólidas en suspensión, por tanto, se diferenciará entre gas de escape y partículas sólidas, aunque son productos residuales procedentes del vehículo, que se podrían englobar en sustancias residuales presentes de la combustión o, de forma más genérica, en ‘emisiones del motor’ (Rodríguez, 2012, p. 86). En este proceso se forman tantos componentes tóxicos y no tóxicos para la salud de las personas.

3.2.1 Elementos gaseosos no tóxicos.

Estos elementos gaseosos no causan daño a la salud de las personas ya que son elementos principales en la composición del aire, la formación de estos elementos

depende a que exista un proceso de combustión completa. Los gases no tóxicos generados después del proceso de combustión son:

3.2.2.1 Nitrógeno.

El nitrógeno es un gas no combustible, incoloro e inodoro. Es un componente fundamental y mayoritario del aire. La mayor parte del nitrógeno aspirado por el motor vuelve a salir como gas de escape. Es prácticamente inerte, por lo que no se combina con ningún elemento, salvo con el oxígeno en muy poca proporción, formando óxidos nítricos debido a las altas presiones y temperaturas que se alcanzan durante la combustión y que ayudan a que reaccionen químicamente. (Rodríguez, 2012, p. 89). La figura 48, indica la representación de la partícula de nitrógeno.

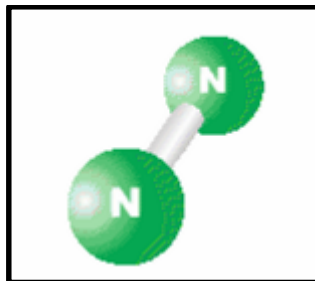


Figura 48. Partícula de nitrógeno.

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*.

3.2.2.2 Oxígeno.

Rodríguez (2012) indica que “el oxígeno es un gas incoloro, inodoro e insípido. Es el componente más importante del aire, ya que es imprescindible para el

proceso de combustión de la gasolina.” (p. 89). La figura 49, indica la representación de la partícula de oxígeno.

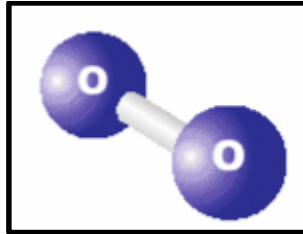


Figura 49. Partícula de oxígeno.

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor.*

3.2.2.3 Dióxido de carbono.

Rodríguez (2012) explica que “el dióxido de carbono es un gas incoloro, no combustible y, en principio, no es tóxico” (p. 89). Este gas es generado en el proceso de combustión en concentraciones elevadas es perjudicial ya que sustituye al oxígeno, además este gas es el responsable del efecto invernadero. La figura 50, indica la representación de la partícula de dióxido de carbono.

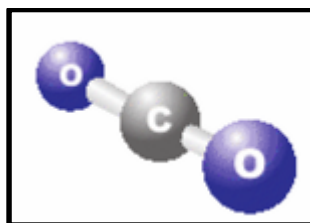


Figura 50. Partícula de dióxido de carbono.

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor.*

3.2.2.4 Vapor de agua.

El vapor de agua se forma durante el proceso de combustión y se condensa al enfriarse. Parte del vapor de agua se condensa mientras circula por el tubo de escape, dando lugar a la oxidación de este, ya que el agua reacciona con otros compuestos formando ácidos como, por ejemplo, el ácido sulfúrico que es muy corrosivo. (Rodríguez, 2012, p. 89). La figura 51, indica la representación de la partícula de vapor de agua.

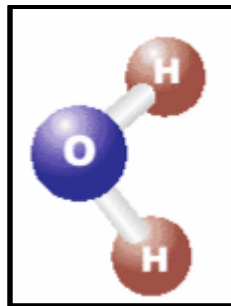


Figura 51. Partícula de vapor de agua.

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*.

3.2.3 Elementos gaseosos tóxicos.

3.2.3.1 Monóxido de carbono.

El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro. Es muy tóxico, llegando a ser mortal, ya que bloquea el transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos. El monóxido de carbono se produce por una combustión incompleta de la gasolina, debido a una falta de aporte de oxígeno al motor o un exceso de aporte de gasolina. (Rodríguez, 2012, p. 89).

Carreras (2005) menciona que con una cantidad de monóxido de carbono en una proporción de 1/100.000 en el aire puede producir síntomas de

envenenamiento en las personas y que con una proporción de 1/500 puede llegar a ser fatal si una persona tiene una exposición a este gas en un tiempo menor a 30 minutos. La figura 52, indica la representación de la partícula de monóxido de carbono.

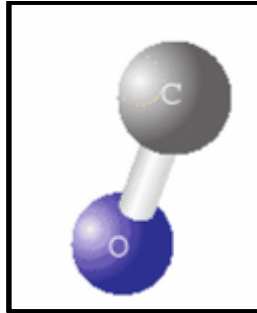


Figura 52. Partícula de monóxido de carbono.

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor.*

3.2.3.2 Hidrocarburos.

Los hidrocarburos que tienen los gases de escape son componentes que no se han conseguido quemar durante el proceso de combustión. Su olor es fuerte y tiene un color azulado. Los hidrocarburos irritan los ojos, el aparato respiratorio, etc., y algunos son cancerígenos, como el benceno. También se pueden encontrar hidrocarburos procedentes del aceite del motor. (Rodríguez, 2012, p. 89). La figura 53, indica la representación de la partícula de hidrocarburo.

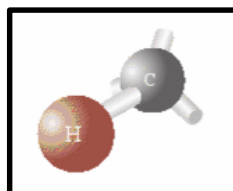


Figura 53. Partícula de hidrocarburo.

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor.*

3.2.3.3 Óxidos de nitrógeno.

El monóxido de nitrógeno es incoloro, inodoro e insípido, reacciona con el oxígeno y se transforma en dióxido de nitrógeno, que es de olor fuerte y de color marrón rojizo. Es venenoso e irrita el aparato respiratorio. Son altamente perjudiciales para el medioambiente, puesto que reaccionan con el vapor de agua y forman compuestos ácidos (responsables de la lluvia ácida). (Rodríguez, 2012, p. 90).

Carreras (2005) explica que una transformación del monóxido de nitrógeno da lugar al dióxido de nitrógeno, este gas es de color rojizo y fuerte olor es muy peligroso ya que provocar una grave irritación del sistema respiratorio y si la concentración de este gas es muy elevada puede desencadenar una destrucción de los tejidos pulmonares. La figura 54, indica la representación de la partícula de óxido de nitrógeno.

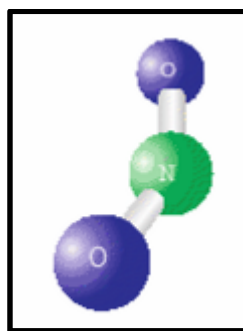


Figura 54. Partícula de óxido de nitrógeno.

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*.

3.2.3.4 Óxidos de azufre.

El óxido de azufre se forma al reaccionar el azufre que contiene la gasolina con el oxígeno. Se puede formar durante la combustión dióxido de azufre que es un gas incoloro, de olor fuerte y no combustible, irrita las vías respiratorias, incluso provoca enfermedades en dichas vías. La forma de reducir las emisiones de dióxido de azufre es disminuyendo el contenido de azufre en el combustible. Forma lluvia ácida. (Rodríguez, 2012, p. 90). La figura 55, indica la representación de la partícula de óxido de azufre.

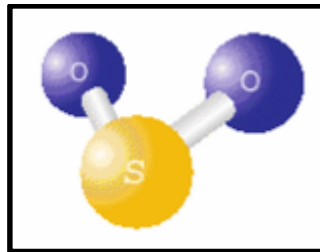


Figura 55. Partícula de óxido de azufre.

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*.

3.2.3.5 Partículas sólidas.

Rodríguez (2012) explica que “las partículas sólidas son partículas de hollín o cenizas. Se forman por una combustión incompleta de la gasolina (p.90).” Por otro lado, Carreras (2005) explica que los motores de combustión interna son los principales productores de este tipo de contaminantes. Las partículas producidas son muy pequeñas llegando a tener diámetros de entre 0.1 a 0.3 nm y su composición son compuestos orgánicos solubles, hidrocarburos, carbón y compuestos no solubles. La figura 56, indica la representación de la partícula de hollín.

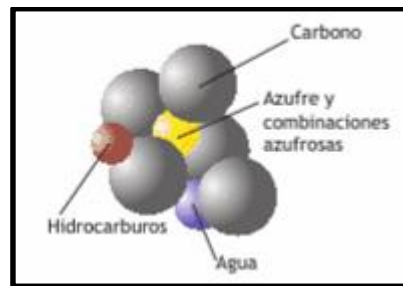


Figura 56. Partícula de hollín.

Fuente: Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor.*

Al tener estas partículas diámetros muy pequeños, estas pueden quedar en estado de suspensión en el aire, a estas partículas también tienen el nombre de Material Particulado siendo el PM¹² 2,5 y PM 10 los dos, las clases más importantes en el estudio de la calidad del aire. La figura 57, hace una comparación entre los tamaños del material Particulado PM 2,5 y PM 10.

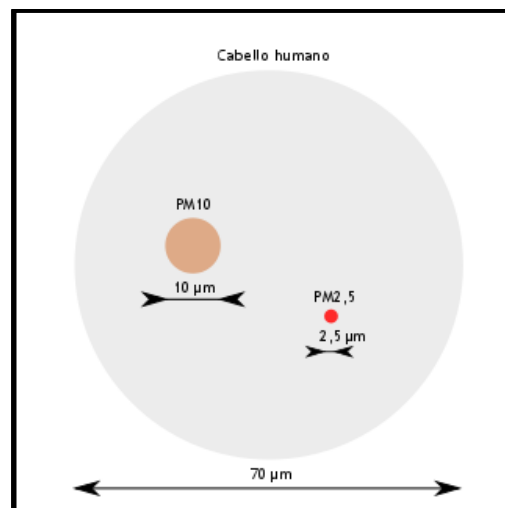


Figura 57. Diámetro de Material Particulado.

Fuente: <https://goo.gl/3Ad1ho>

¹² PM: Particulate Matter

3.2.3.5.1 Material Particulado PM 2,5

El Material Particulado PM2.5 tiene un diámetro menor a 2,5 μm , al ser tan pequeñas solo pueden ser observadas mediante microscopios electrónicos y son muy peligrosos ya que al ser inhalados por las personas pueden alcanzar internas de los pulmones como es los bronquios y causar afecciones, estas partículas se generan en los productos gaseosos producidos por los motores de combustión en todo tipo de vehículos.

3.2.3.5.2 Material Particulado PM 10

El Material Particulado PM10 tiene un diámetro menor a 10 μm estas partículas se encuentran en el aire suspendidas como partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, partículas metálicas o polen, su estructura es a base de compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados entre otros, y material orgánico asociado a partículas de carbono como el hollín. La figura 58, indica las zonas de afección de estas partículas en el sistema respiratorio de los seres humanos.

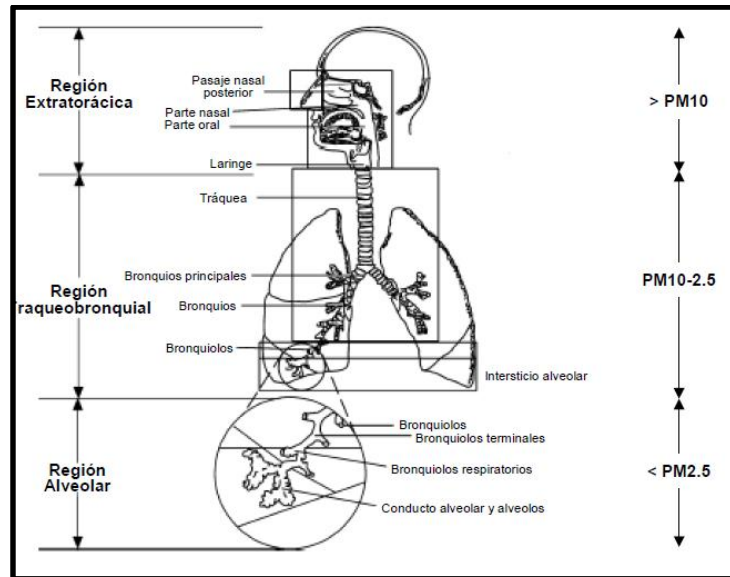


Figura 58. Zonas de afección del sistema respiratorio según tamaño de Material Particulado.

Fuente: <http://goo.gl/f5FHxy>

3.3 SITUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA PROVINCIAL DE IMBABURA.

Actualmente en Imbabura, principalmente en la ciudad de Ibarra, es la segunda ciudad de América Latina con mejor calidad de aire según la Organización Mundial de la Salud dados los reportes en el año 2014, contabilizando $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de material particulado PM 2,5 de los $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ permitidos por la OMS y $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM 10 de los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ permitidos por la OMS.

Por otro lado el crecimiento poblacional ha aumentado según los censos realizados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos en los años 2001 y 2010 lo cual se genera un problema ya que se necesita más espacios para el habitat de las personas, reduciendo así los espacios verdes los cuales colaboran en

el proceso de descontaminación del aire. La figura 59, indica las estadísticas del crecimiento poblacional en los censos realizados los años 2001 y 2010.

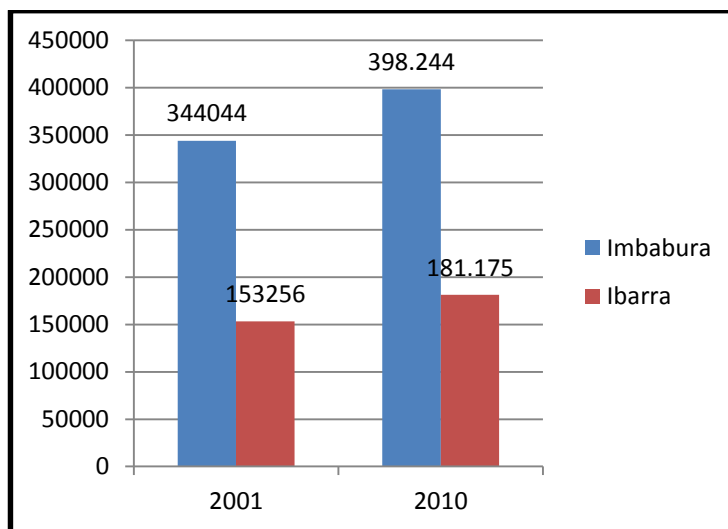


Figura 59. Crecimiento poblacional Censos 2001 y 2010.

Fuente: Elaborado por el autor.

Pero a pesar de tener estos niveles bajos de contaminación, según reportes del 2013 del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos en la provincia de Imbabura existen 45860 vehículos de los cuales 7100 son solo motocicletas esto representa el 15,4% del total de vehículos, los cuales siguen haciendo uso del carburador como sistema de alimentación de combustible los cuales son fuentes de contaminación debido a su tecnología. La figura 60, indica las estadísticas de los números de automotores, tanto como vehículos como motocicletas.

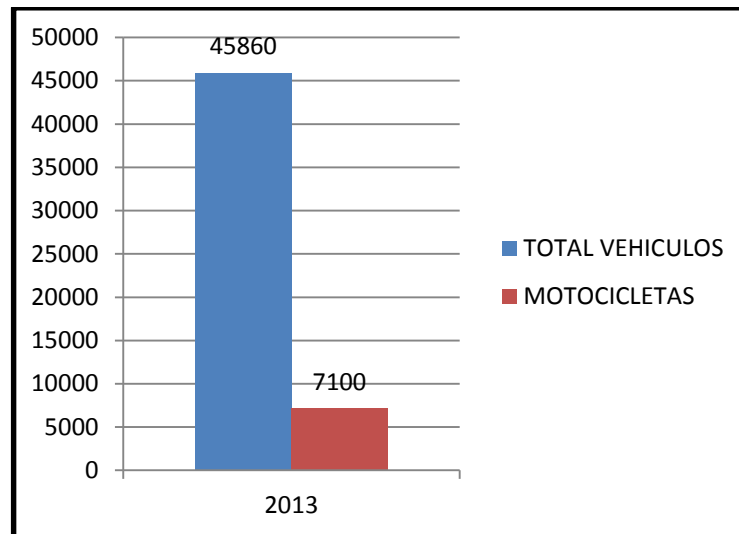


Figura 60. Número de vehículos motorizados.

Fuente: Elaborado por el autor.

Además de esto según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador en lo que respecta a ventas de motocicletas desde el año 2011 al año 2012 hubo un crecimiento del 155% en cuanto a ventas en lo que respecta en la provincia de Imbabura. Esto es debido a que las motocicletas son vehículos pequeños y ayudan en gran parte a la movilización dentro o fuera de la ciudad ya que son adecuados para evitar congestionamientos vehiculares. La figura 61, muestra el crecimiento en ventas de unidades motocicletas.

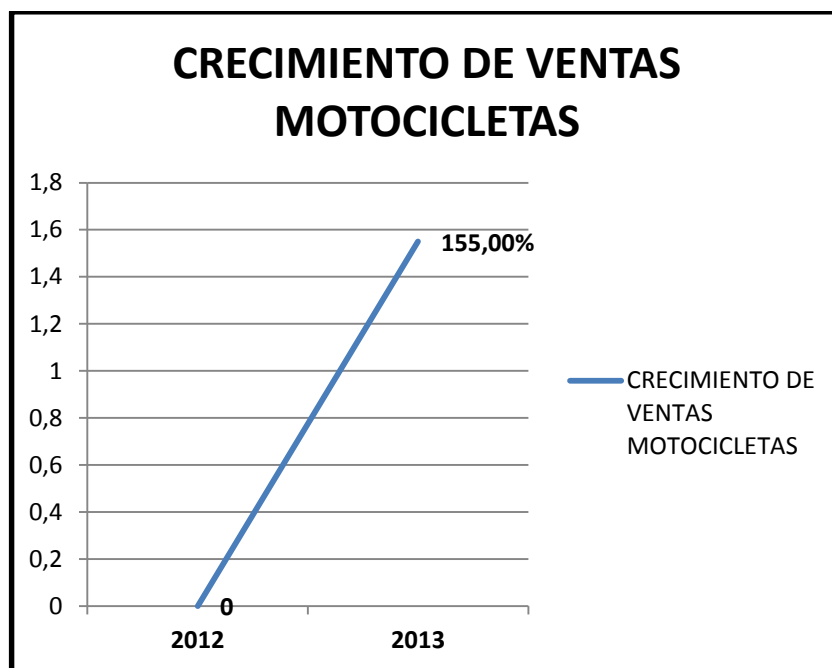


Figura 61. Crecimientos de ventas de motocicletas en Imbabura.

Fuente: Elaborado por el autor.

Según el Anuario de Vigilancia Epidemiológica (2015) de enfermedades Respiratorias, se contabilizaron 66931 casos de infecciones respiratorias agudas en el año 2014 según datos Ministerio de Salud Pública siendo las principales fuentes de estas infecciones la presencia de material particulado en el aire.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE LA UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICA.

En este capítulo se detalla el diseño de la Unidad de Control Electrónica tanto el diseño del hardware que corresponde todo los circuitos electrónicos necesarios para la conexión de sensores y actuadores que van conectados al motor así como también el diseño del software que corresponde a la realización del código de programa el cual contendrá las rutinas y subrutinas necesarias para poder poner en operación el motor y la interfaz de usuario el cual servirá para la interacción de la unidad de control electrónica con el usuario para la verificación y calibración de sensores y actuadores.

4.1 DISEÑO DEL HARDWARE.

Constituye el diseño de los circuitos electrónicos necesarios para la interconexión de sensores y actuadores del motor, al estar en un ambiente donde la generación de ruido puede ser un problema para el funcionamiento de la unidad de control electrónica, por tal razón se necesita circuitos de acondicionamiento de la señal los cuales adecuaran la señal proveniente de los sensores y también contendrá circuitos de amplificación para la interconexión de los actuadores.

4.1.1 Circuitos de acondicionamiento de señal de sensor TPS.

El circuito para acondicionamiento de la señal del sensor TPS consta de un filtro pasa bajo pasivo de primer orden, la figura 62, muestra que está conformado por la resistencia R1 y el condensador C2, su función principal es eliminar el ruido que se acopla a la línea de datos, por otro lado el diodo Zener D1 protege al pin del microcontrolador por posibles picos de voltaje superiores a 5.1 Voltios.

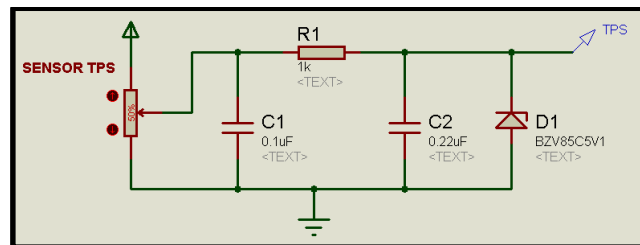


Figura 62. Circuito de acondicionamiento de señal sensor TPS.

Fuente: Elaborado por el autor.

Floyd (2008), indica que el filtro RC pasa bajos pasivos está diseñado para dejar pasar solo frecuencias que están por debajo de la frecuencia de corte conforme responde a la siguiente ecuación:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (7)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi(1 \text{ Exp}^3)(0.22 \text{ Exp}^{-6})}$$

$$f_c = 723.43 \text{ Hz}$$

La frecuencia de corte de este filtro es de 723.43 Hz lo que significa que solo las señales con frecuencias que estén por debajo de f_c pasaran.

Este valor se justifica ya que en estudios realizados en los motores se generan señales disruptivas que están en el rango de 1 a 5 kHz producidas en el proceso del ciclo de explosión. Estas señales se acoplan a las líneas de los sensores es por esta razón la importancia de los filtros RC pasa bajos. La figura 63, muestra la respuesta en frecuencia del filtro.

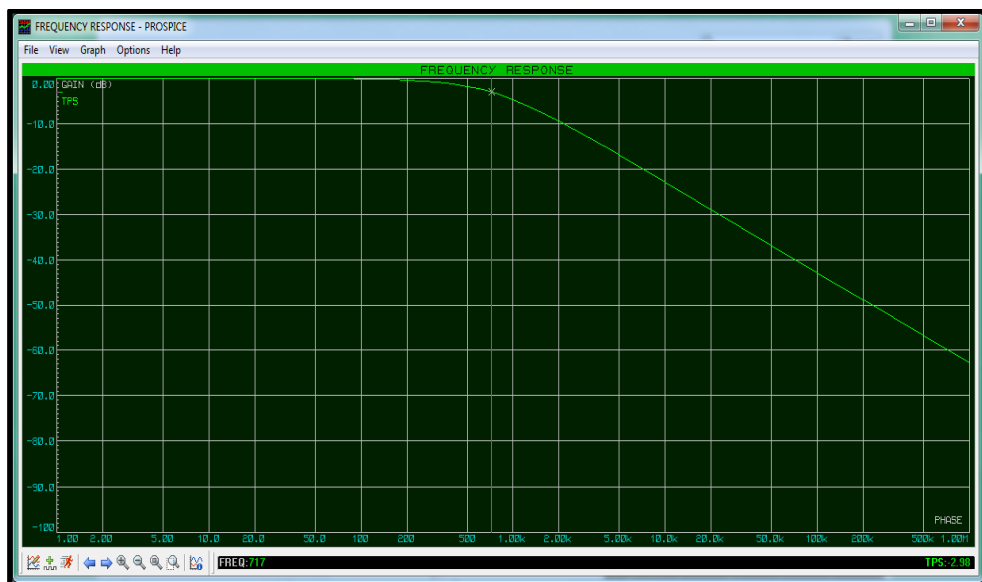


Figura 63. Respuesta en frecuencia del filtro RC sensor TPS.

Fuente: Elaborado por el autor.

4.1.2 Circuitos de acondicionamiento de señal de sensor CLT - IAT.

Los sensores CLT e IAT son sensores que varían su resistencia según la variación de temperatura, el circuito para acondicionamiento de la señal de los sensores CLT e IAT consta de un divisor de voltaje conformado por R3 y el sensor de esta forma se obtiene una variación de voltaje conforme varia la

resistencia del sensor, un filtro pasa bajo pasivo de primer orden conformado por la resistencia R2 y el condensador C4, su función principal es eliminar el ruido que se acopla a la línea de datos, por otro lado el diodo Zener D2 protege al pin del microcontrolador por posibles picos de voltaje superiores a 5.1 Voltios.

La figura 64, muestra el comportamiento de la resistencia según a la temperatura a la que se encuentre como se mencionó anteriormente el sensor es de tipo NTC (de coeficiente negativo) es decir su valor de resistencia disminuye conforme aumenta la temperatura. El circuito electrónico para este sensor se lo realizo mediante un divisor de voltaje, conforme se indica en la figura 65, hay que tener en cuenta que con este circuito los rangos de voltaje debe estar entre 0 [V] y 5 [V] que son voltajes con los cuales el ADC del microcontrolador trabaja.

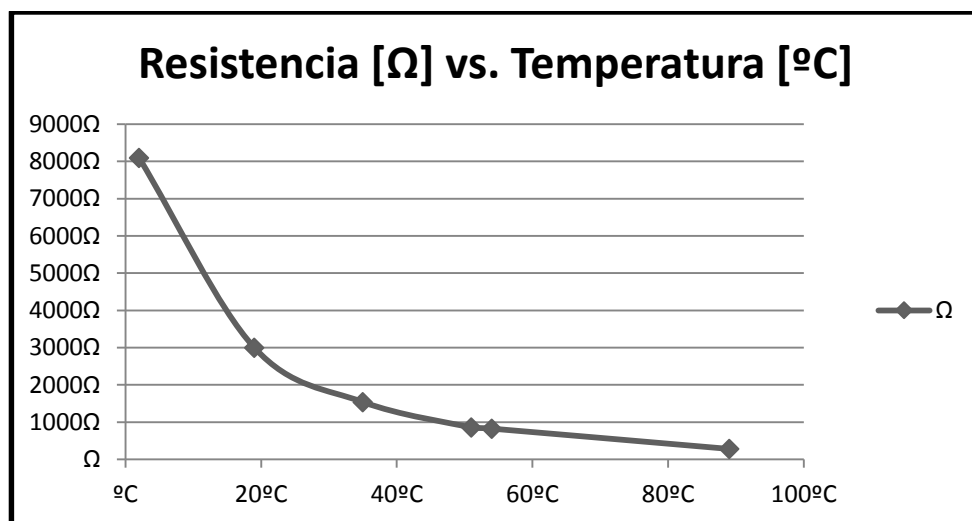


Figura 64. Comportamiento de resistencia sensor CLT - IAT según temperatura.

Fuente: Elaborado por el autor.

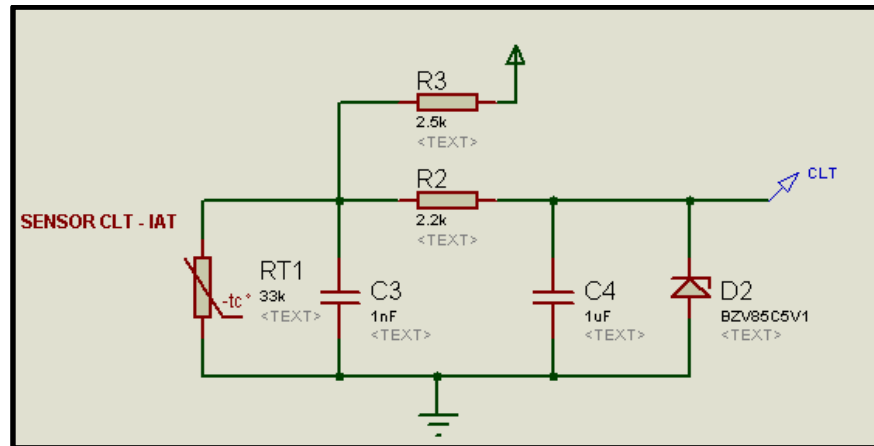


Figura 65. Circuito de acondicionamiento de señal sensor CLT - IAT.
Fuente: Elaborado por el autor.

Alexander y Sadiku (2004), indican la ecuación para el circuito divisor de tensión y se tiene que:

- Para temperatura de 0° C.

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (8)$$

$$V_{out} = \frac{8100}{8100 + 2500} 5$$

$$V_{out} = 3,82 [V]$$

- Para temperatura de 89° C.

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (9)$$

$$V_{out} = \frac{280}{280 + 2500} 5$$

$$V_{out} = 0,50 [V].$$

Con estos cálculos se deduce que para una temperatura de 0° C el cual este caso no se dará ya que esta es temperatura de congelación del agua la resistencia del sensor es alta y el voltaje de salida también llegando a un valor de 3,82 [V] el cual está dentro del rango permitido del pin ADC del microcontrolador. Para temperaturas altas en cambio la salida de voltaje tendrá una tendencia a 0 [V].

Floyd (2008), indica que el filtro RC pasa bajos pasivos está diseñado para dejar pasar solo frecuencias que están por debajo de la frecuencia de corte conforme responde a la siguiente ecuación:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (10)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi(2,2 \text{ Exp}^3)(1 \text{ Exp}^{-6})}$$

$$f_c = 72.34 \text{ Hz}$$

La frecuencia de corte de este filtro es de 72.34 Hz lo que significa que solo las señales con frecuencias que estén por debajo de f_c pasaran. La figura 66, indica la respuesta en frecuencia de este filtro.

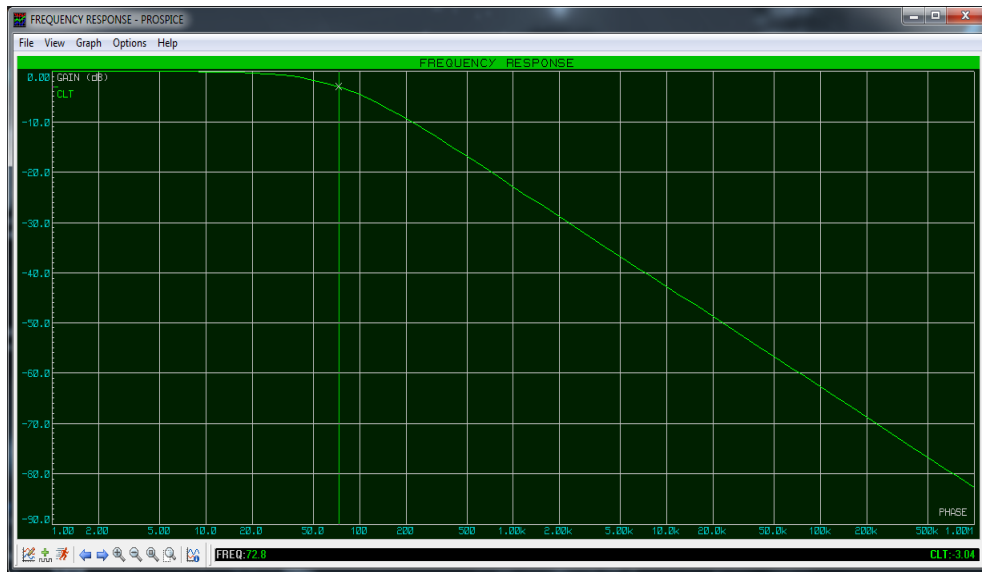


Figura 66. Respuesta en frecuencia filtro RC sensor CLT – IAT.
Fuente: Elaborado por el autor.

4.1.3 Circuitos de acondicionamiento de señal de sensor MAP.

El circuito para acondicionamiento de la señal del sensor MAP consta de un filtro pasa bajo pasivo de primer orden, la figura 67, muestra que el filtro está conformado por la resistencia R4 y el condensador C6, su función principal es eliminar el ruido que se acopla a la línea de datos, por otro lado el diodo Zener D3 protege al pin del microcontrolador por posibles picos de voltaje superiores a 5.1 Voltios.

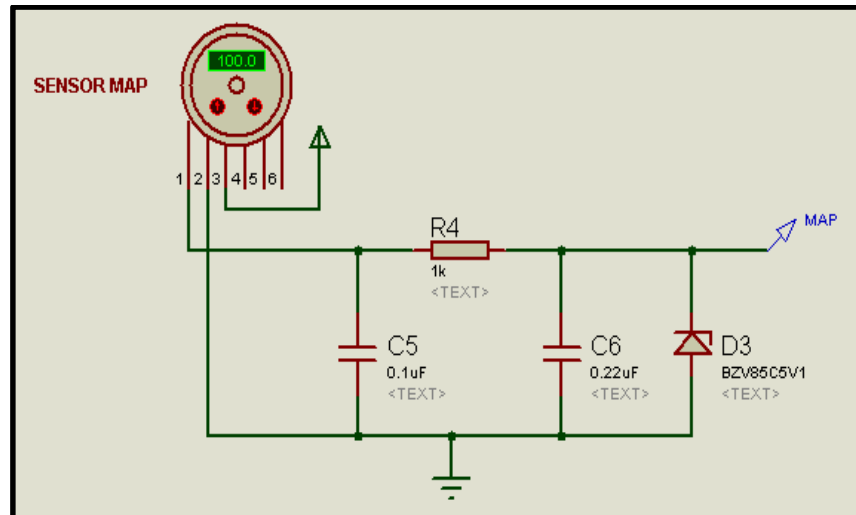


Figura 67. Circuito de acondicionamiento de señal sensor MAP.
Fuente: Elaborado por el autor.

Floyd (2008), indica que el filtro RC pasa bajos pasivos está diseñado para dejar pasar solo frecuencias que están por debajo de la frecuencia de corte conforme responde a la siguiente ecuación:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (11)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi(1 \text{ Exp}^3)(0,22 \text{ Exp}^{-6})}$$

$$f_c = 723.43 \text{ Hz}$$

La frecuencia de corte de este filtro es de 723.43 Hz lo que significa que solo las señales con frecuencias que estén por debajo de f_c pasaran. La figura 68, indica la respuesta en frecuencia de este filtro.

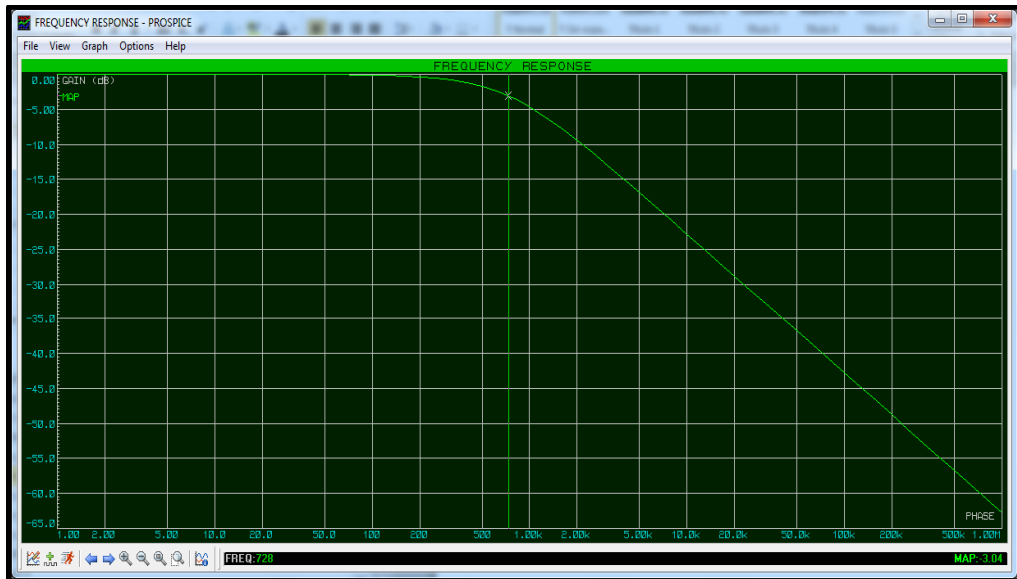


Figura 68. Respuesta en frecuencia filtro RC sensor MAP.

Fuente: Elaborado por el autor.

4.1.4 Circuito de acondicionamiento de señal de sensor CKP y bobina de ignición.

Para este circuito se utilizó un módulo HEI¹³ este módulo contiene toda electrónica necesaria para realizar las siguientes funciones:

Se conecta el sensor CKP en los pines PN del módulo, internamente este módulo transforma la señal sinusoidal proveniente del sensor CKP a una señal rectangular para ser enviada a la tarjeta Arduino mega 2560 por el pin R, esta señal será la posición del cigüeñal, una vez procesada esta señal la tarjeta Arduino mega 2560 envía al módulo HEI por el pin E la señal para la activación de la bobina de ignición, para la activación de la bobina de ignición el módulo HEI posee internamente un transistor de potencia capaz de resistir la corriente

¹³ HEI: High Energy Ignition.

producida en la bobina. La figura 69, indica cómo está formado internamente el módulo HEI.

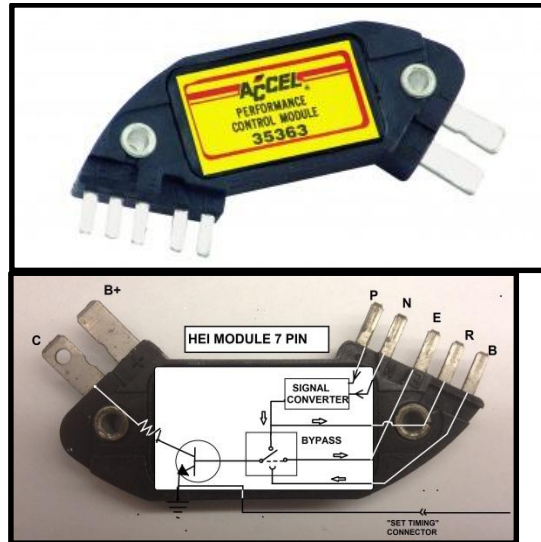


Figura 69. Módulo HEI.
Fuente: <http://goo.gl/gQlXVd>

4.1.5 Circuitos de acondicionamiento de señal de sensor Voltaje de Batería.

El circuito consta de un divisor de voltaje conformado por las resistencias R7 y R8 conforme se indica en la figura 70, el cual limitará a que exista una salida de voltaje dentro del rango de 0 [V] a 5 [V].

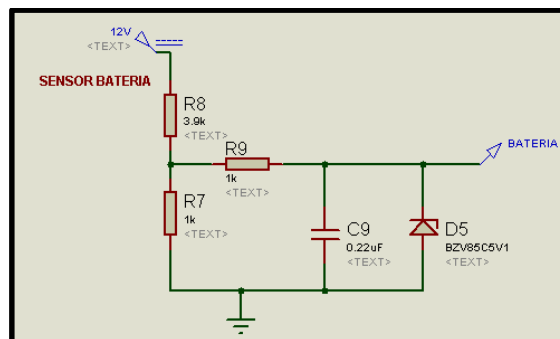


Figura 70. Circuito de acondicionamiento de señal sensor de voltaje de batería.
Fuente: Elaborado por el autor.

Alexander y Sadiku (2004), indican las ecuaciones para el circuito divisor de tensión, de tal manera que:

- Para voltajes de 12 [V].

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (12)$$

$$V_{out} = \frac{1000}{1000 + 3900} 12$$

$$V_{out} = 2,45 [V]$$

- Para voltajes de 15 [V].

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (13)$$

$$V_{out} = \frac{1000}{1000 + 3900} 15$$

$$V_{out} = 3,06 [V]$$

Con estos cálculos se deduce que para un voltaje de 12 [V] el cual es un valor constante que genera el alternador se tiene un voltaje de salida de 2,45 [V] y para un caso máximo de 15 [V] el voltaje de salida es de 3,06 [V] el cual está dentro del rango permitido del pin ADC del microcontrolador.

Floyd (2008), indica que para el filtro RC pasa bajos pasivos está diseñado para dejar pasar solo frecuencias que están por debajo de la frecuencia de corte conforme responde a la siguiente ecuación:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (14)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi(1 \text{ Exp}^3)(0,22 \text{ Exp}^{-6})}$$

$$f_c = 723.43 \text{ Hz}$$

La frecuencia de corte de este filtro es de 723.43 Hz lo que significa que solo las señales con frecuencias que estén por debajo de f_c pasaran. La figura 71, muestra la respuesta en frecuencia del filtro.

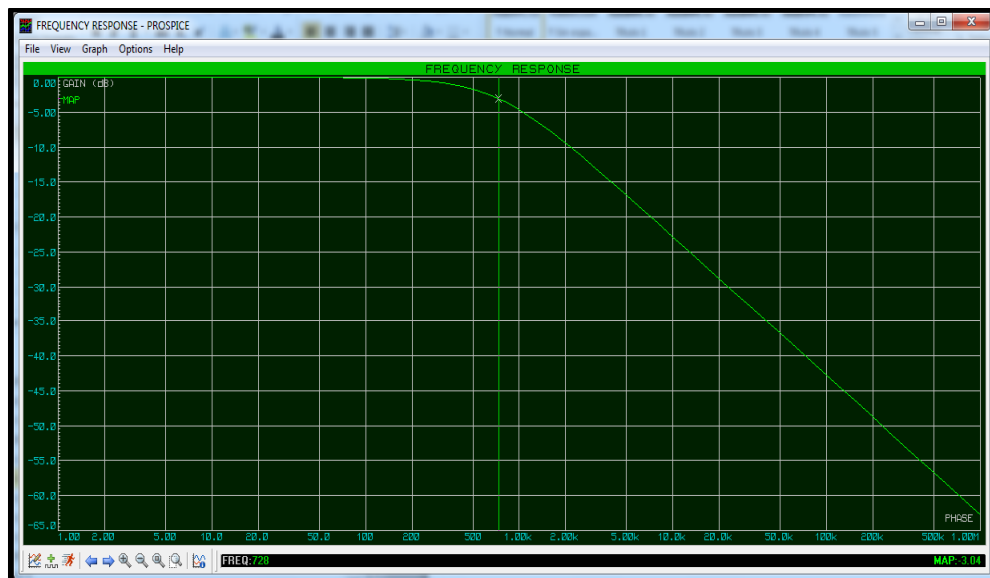


Figura 71. Respuesta en frecuencia filtro RC sensor voltaje de batería.

Fuente: Elaborado por el autor.

4.1.6 Circuitos de amplificación de señal del inyector de combustible.

El inyector de combustible opera con un voltaje de 12 Voltios, directamente del pin del microcontrolador no se puede alimentar al inyector ya que su voltaje es de 5 Voltios por tal razón se necesita un circuito amplificador de voltaje. El inyector tiene las siguientes características eléctricas:

- Voltaje de operación: 12 [V]
- Impedancia de bobina: 15 [Ω]

La ley de Ohm, según Alexander y Sadiku (2004), establece que:

$$V = I * R \quad (15)$$

$$I = \frac{V}{R}$$

Entonces el consumo de corriente del inyector será de:

$$I = \frac{12 [V]}{15[\Omega]}$$

$$I = 0,8[A]$$

Se eligió un MOSFET IRF640 ya que posee las siguientes características:

- Voltaje Colector Emisor: $V_{CEO} = 200 [V]$.
- Corriente Máxima de Colector: $I_{CM} = 18 [A]$.
- Tiempo de conmutación: $t_{d(on)} = 13 [nS]$
- Fácil adquisición.

La figura 72, indica cómo está conformado el circuito para realizar los cálculos para la resistencia R_G .

Datos:

$R_D = 15 \text{ } [\Omega]$ (Impedancia de inyector)
 $R_{DS} = 0,18 \text{ } [\Omega]$ (Datasheet)
 $V_{DD} = 12 \text{ } [V]$ (Voltaje de la batería)
 $V_{DS} = V_{GS}$ (Datasheet)

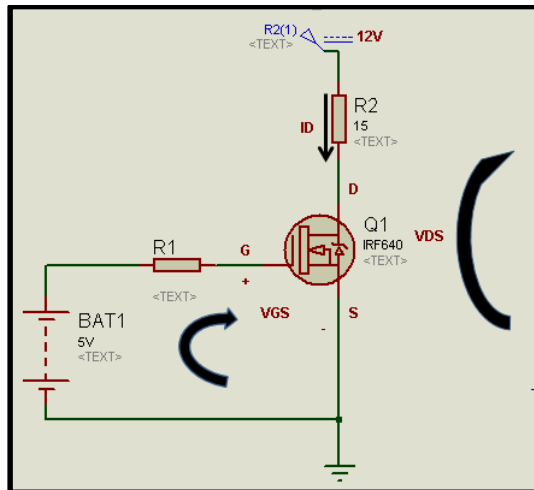


Figura 72. Diagrama para cálculo de resistencia MOSFET.
Fuente: Elaborado por el autor.

Aplicando la ley de tensiones de Kirchhoff, según Alexander y Sadiku (2004), en la malla de entrada se tiene:

$$V_{R1} + V_{GS} = 5 \quad (16)$$

Aplicando la ley de tensiones de Kirchhoff en la malla de salida se tiene:

$$V_{RD} + V_{DS} = 12 \quad (17)$$

| | | | |
|---|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| $V_{R1} + V_{GS} = 5$ | $V_{RD} + V_{DS} = 12$ | $V_{DS} = V_{GS}$ | $V_{DS} = I_{DS} * R_{DS}$ |
| $V_{R1} + 0,142 = 5$ | $I_D R_D + I_{DS} R_{DS} = 12$ | $V_{GS} = 0,142 \text{ } [V]$ | $V_{DS} = 0,79 * 0,18$ |
| $I_{R1} R_{R1} = 4,86$ | | | $V_{DS} = 0,142 \text{ } [V]$ |
| $R_{R1} = \frac{4,86}{I_{R1}} \quad (17.1)$ | $I_D = I_{DS}$ | | |
| | $I_D R_D + I_D R_{DS} = 12$ | | |

$$\begin{aligned} &15 I_D \\ &+ 0,18 I_D \\ &= 12 \end{aligned}$$

$$I_D = 0,79 \text{ [A]}$$

Para del diseño de la placa electrónica se utilizó resistencias de $\frac{1}{2}$ [W], entonces, aplicando la ecuación de potencia instantánea, según Alexander y Sadiku (2004), se tiene que:

$$P_{R1} = I_{R1}^2 R_{R1} \quad (18)$$

$$0,5 = I_{R1}^2 R_{R1}$$

$$I_{R1} = \frac{0,707}{\sqrt{R_{R1}}} \quad (19)$$

Reemplazando (19) en (17.1):

$$R_{R1} = \frac{4,86}{\frac{0,707}{\sqrt{R_{R1}}}}$$

$$R_{R1} = 47 \Omega$$

Para el diseño del circuito R5 se conecta a masa y sirve para definir un estado lógico preciso en el caso que el pin del microcontrolador no lo realizara, cuando cambia el nivel lógico de control, por un instante el MOSFET absorbe una cierta corriente que carga el capacitor interno del terminal Gate, R16 limita esta corriente inicial, se eligió a $R16 = 100 \Omega$ ya que es el valor más bajo que se encuentran fácilmente, valores de resistencia bajos permite la carga rápida de este capacitor y por lo tanto una conmutación más veloz del MOSFET. La figura 73, muestra el circuito empleado para el inyector de combustible.

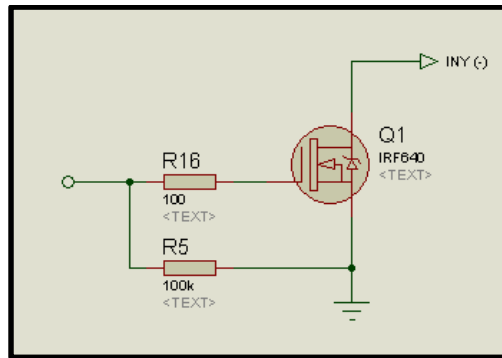


Figura 73. Circuito amplificador de señal de inyector de combustible.
Fuente: Elaborado por el autor.

4.1.7 Circuitos de amplificación de señal de la bomba de combustible.

La bomba de combustible opera con un voltaje de 12 Voltios, directamente del pin del microcontrolador no se puede alimentar a la bomba ya que su voltaje es de 5 [V] por tal razón se necesita un circuito amplificador de voltaje. La bomba de combustible tiene las siguientes características eléctricas:

- Voltaje de operación: 12 [V]
- Corriente máxima: 4 [A]

Se eligió un MOSFET IRF640 ya que posee las siguientes características:

- Voltaje Colector Emisor: $V_{CEO} = 200$ [V].
- Corriente Máxima de Colector: $I_{CM} = 18$ [A].
- Tiempo de conmutación: $t_{d(on)} = 13$ [nS]
- Fácil adquisición.

La figura 74, muestra el circuito empleado para el control de la bomba de combustible.

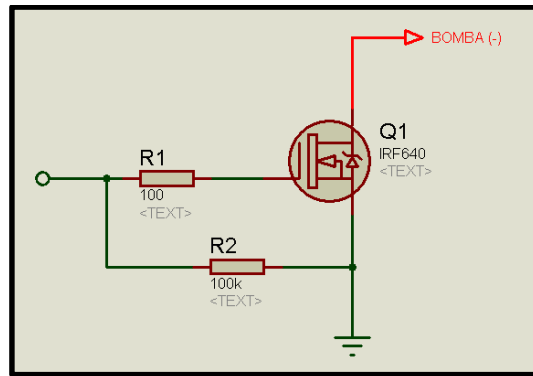


Figura 74. Circuito amplificador de señal de bomba de combustible.
Fuente: Elaborado por el autor.

4.1.8 Circuitos de alimentación.

El circuito de alimentación conforme se indica en la figura 75, corresponde a la fuente de voltaje el cual proporcionará un voltaje constante a la unidad de control electrónica. Debido a que la batería de la motocicleta tiene un voltaje de 12 [V] a 14 [V] aproximadamente, este voltaje debe ser regulado a un valor de 5 [V], el regulador más utilizado es el LM7805 este provee un voltaje de 5 [V] y una capacidad de corriente de 1 [A] para que de esta forma tanto sensores, actuadores y la unidad de control electrónica operen de manera normal.

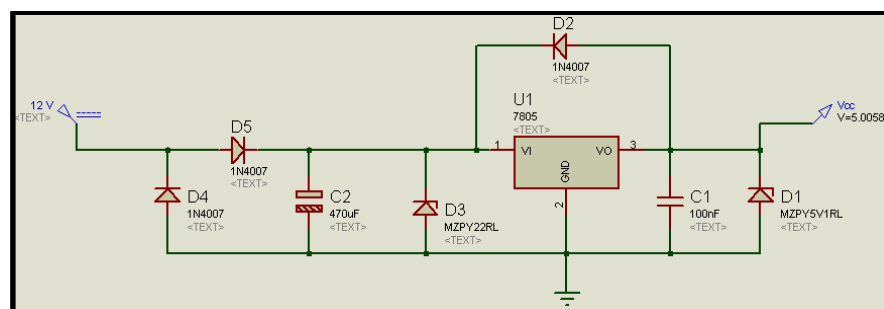


Figura 75. Circuito de alimentación.
Fuente: Elaborado por el autor.

4.1.9 Circuitos de protección.

Este circuito que se muestra en la figura 76, está compuesto por elementos como fusibles y relés con el fin de proteger a los elementos de sobre voltajes o sobre corrientes que pueden presentarse.

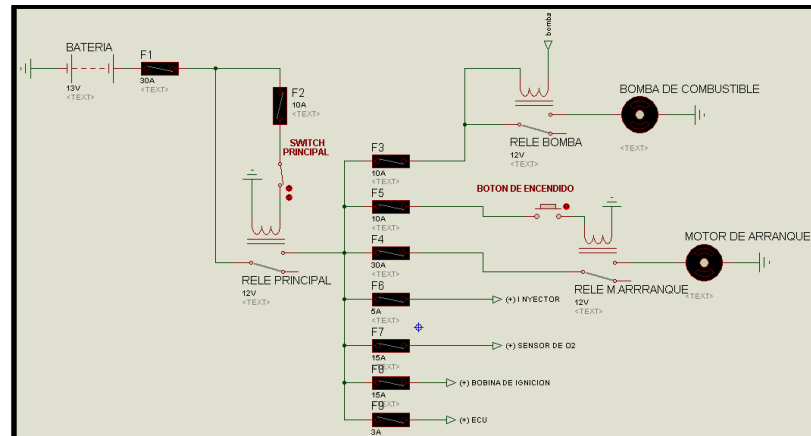


Figura 76. Circuito de protecciones.

Fuente: Elaborado por el autor.

4.1.10 Designación de pines de la tarjeta Arduino Mega 2560 para sensores y actuadores de la unidad de control electrónica.

Una vez diseñados los circuitos tanto para sensores y actuadores de la unidad de control electrónica se distribuirá los pines analógicos y digitales de la tarjeta Arduino Mega 2560 para su conexión, conforme se indica en la tabla 3.

Tabla 3: Distribución de pines de la tarjeta Arduino mega 2560

| CIRCUITO | SALIDA / ENTRADA | ANÁLOGO / DIGITAL | # PIN |
|--------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| Sensor TPS | Entrada | Análogo | A0 |
| Sensor Oxígeno | Entrada | Análogo | A1 |
| Sensor Batería | Entrada | Análogo | A2 |
| Sensor MAP | Entrada | Análogo | A3 |
| Sensor IAT | Entrada | Análogo | A4 |
| Sensor CLT | Entrada | Análogo | A5 |
| Sensor CKP | Entrada | Digital | 19 |
| Inyector de combustible | Salida | Digital | 18 |
| Bobina de encendido | Salida | Digital | 17 |
| Bomba de combustible | Salida | Digital | 16 |

Nota. Fuente: Elaborado por el Autor.

4.1.11 Diseño de circuito

Para el diseño del PCB¹⁴ se utilizó el software ARES, está diseñado en una placa de fibra de dos lados y con un diseño el cual si adhiere fácilmente en la tarjeta Arduino mega 2560 como si fuera un shield comercial, de esta manera se optimiza el espacio haciendo que toda la unidad de control electrónica ocupe un espacio reducido. La figura 77 y la figura 78, muestra el diseño en 2D y 3D de la tarjeta electrónica.

¹⁴ PCB:Printed Circuit Board

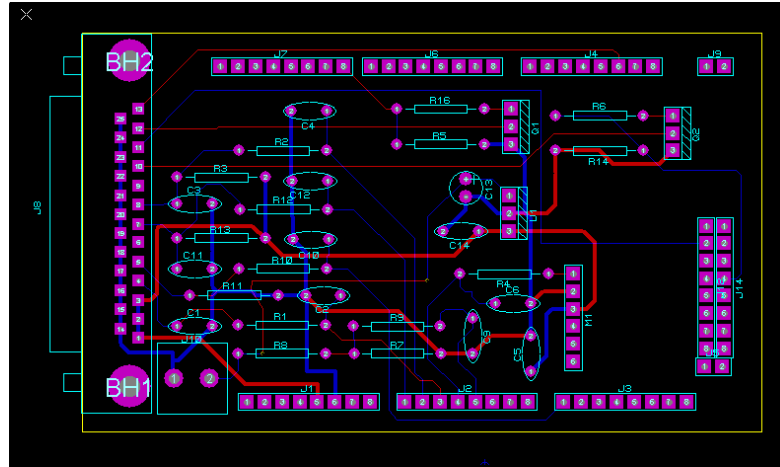


Figura 77. Vista 2D de la tarjeta.
Fuente: Elaborado por el autor.

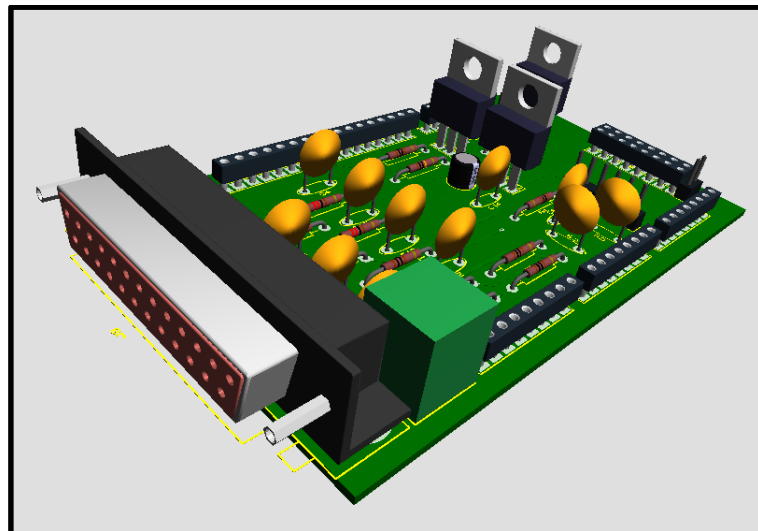


Figura 78. Vista 3D de la tarjeta.
Fuente: Elaborado por el autor.

Los materiales utilizados en la unidad de control electrónica se describen en la tabla 4, y sus precios se encuentran en el Anexo 8.

Tabla 4: Elementos utilizados en la elaboración de la unidad de control electrónica.

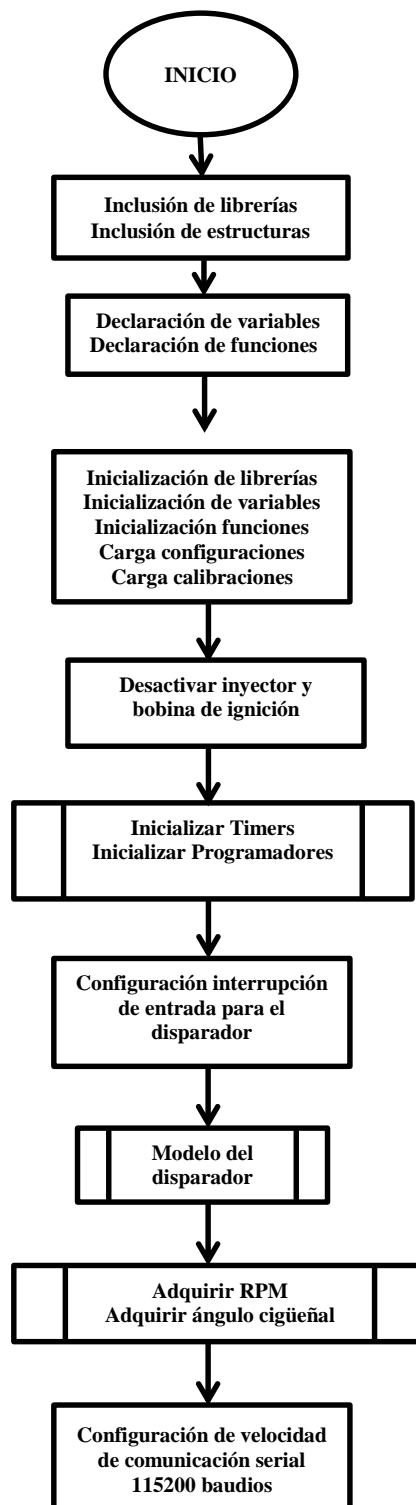
| DESCRIPCIÓN | ELEMENTO | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|---------------------------|-------------|----------|-----------------|---------------|
| Arduino Mega 2560 | μC | 1 | 66,00 | 66,00 |
| Sensor MPX4115 | M1 | 1 | 28,00 | 28,00 |
| Conector DB25 | J8 | 1 | 0,75 | 0,75 |
| Terminal de dos polos | J10 | 1 | 0,50 | 0,50 |
| Condensador cerámico | C1- C12,C14 | 3 | 0,10 | 1,30 |
| Condensador electrolítico | C13 | 1 | 0,25 | 0,75 |
| Resistencias | R1-R16 | 16 | 0,10 | 1,60 |
| Diodo Zener | D1-D5 | 5 | 0,15 | 0,75 |
| Mosfet IRF640 | Q1,Q2 | 2 | 1,50 | 3,00 |
| Regulador LM7805 | U1 | 1 | 0,75 | 0,75 |
| Terminales | J1-J6 | 6 | 1,5 | 9,00 |
| Baquelita de fibra | | 1 | 3,00 | 3,00 |
| TOTAL | | | | 128,49 |

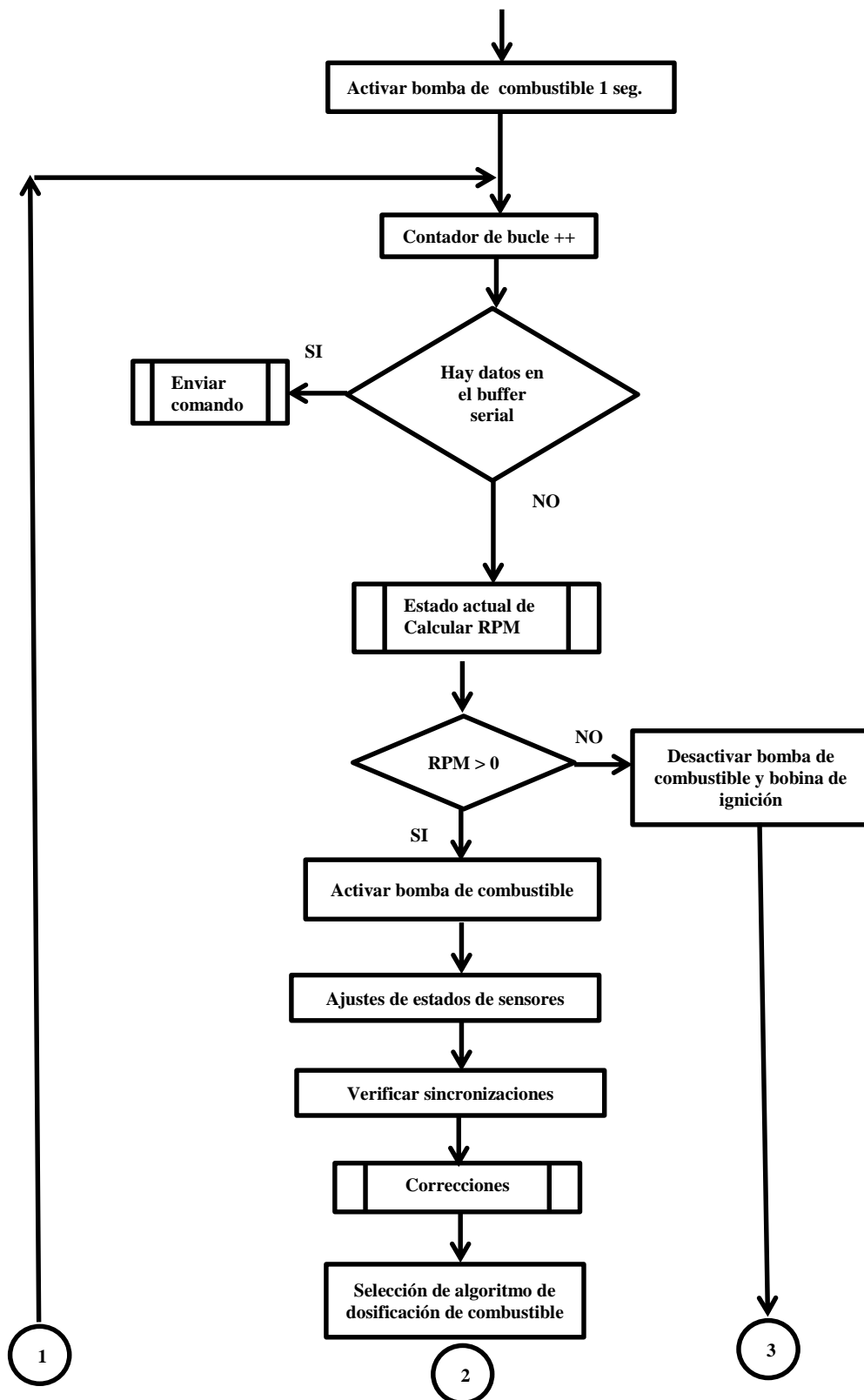
Nota. Fuente: Elaborado por el autor.

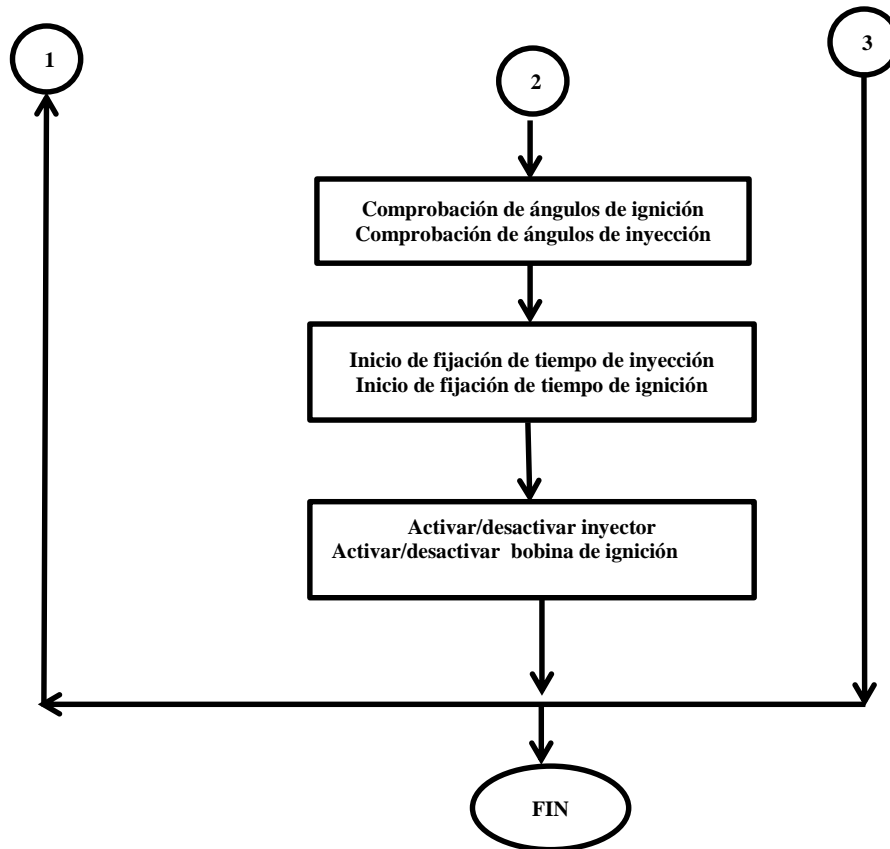
4.2 DISEÑO DEL SOFTWARE

El diseño del software corresponde al programa principal y las subrutinas necesarias para la operación de sensores y actuadores del motor, también se explica cómo está constituida la interfaz de usuario el cual servirá para la interacción entre la unidad de control electrónica y el usuario para poder realizar las calibraciones necesarias para el óptimo funcionamiento del motor.

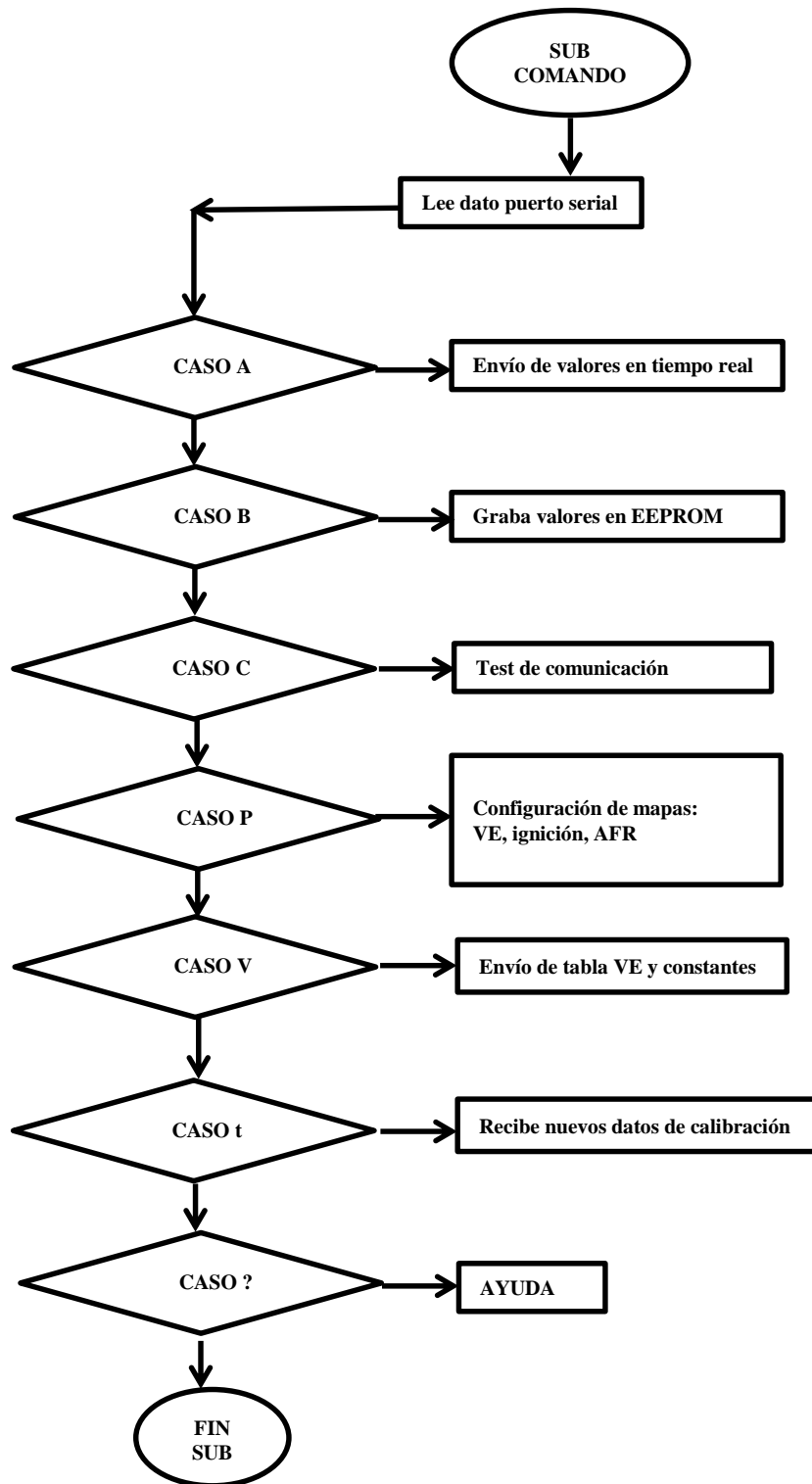
4.2.1 Flujograma Principal de la unidad de control electrónica



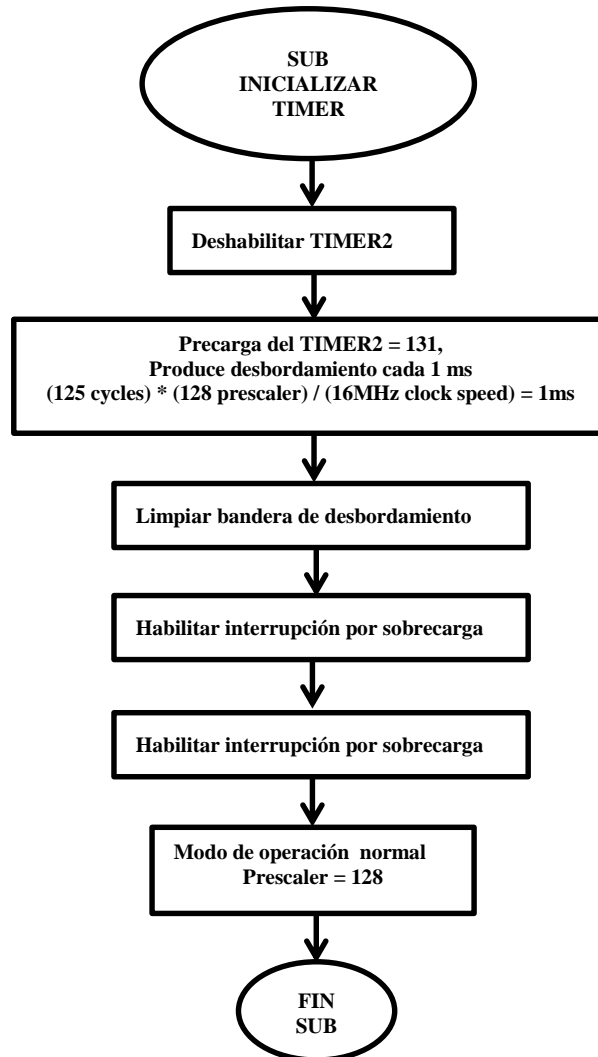




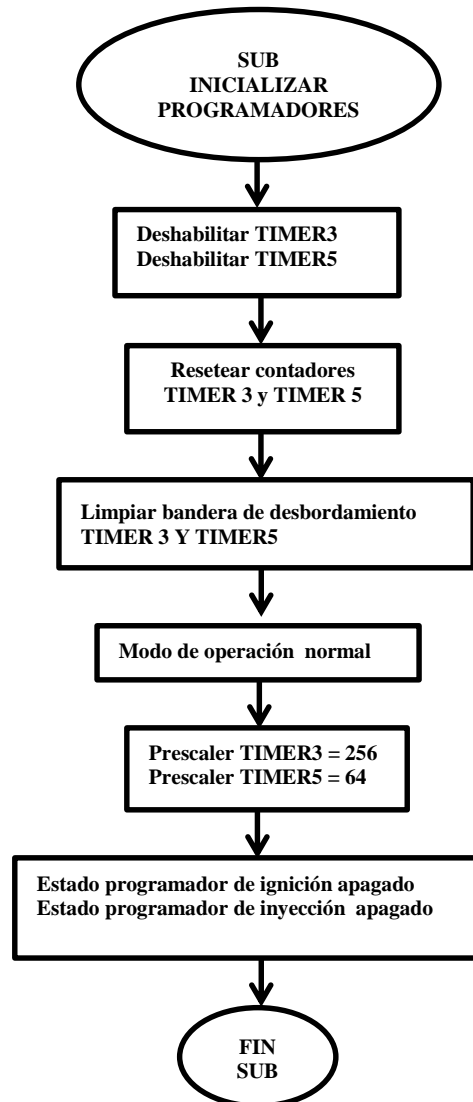
4.2.2 Flujogramas Subrutinas de la unidad de control electrónica

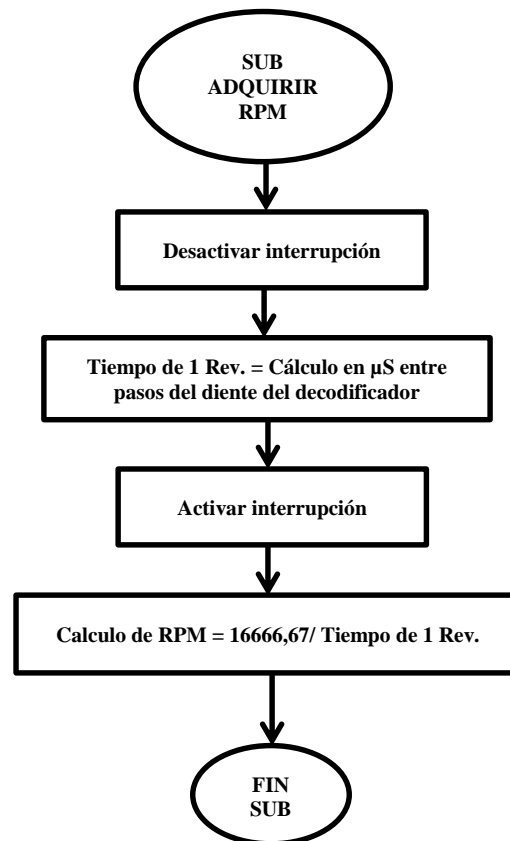
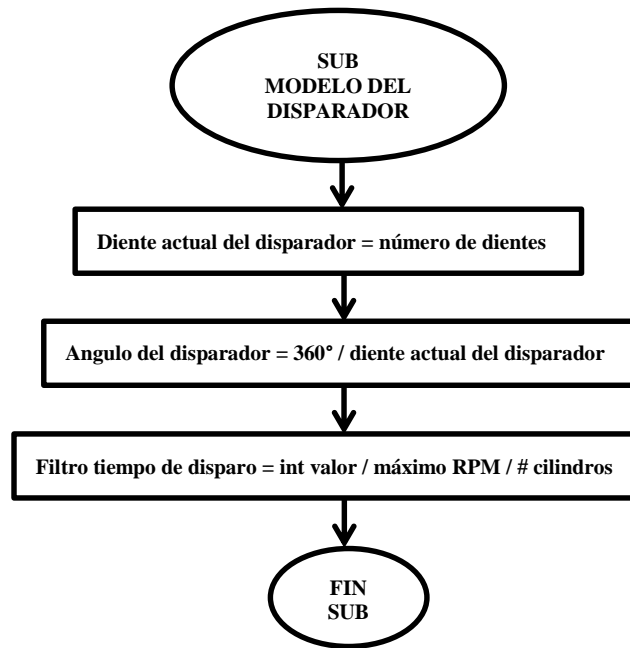


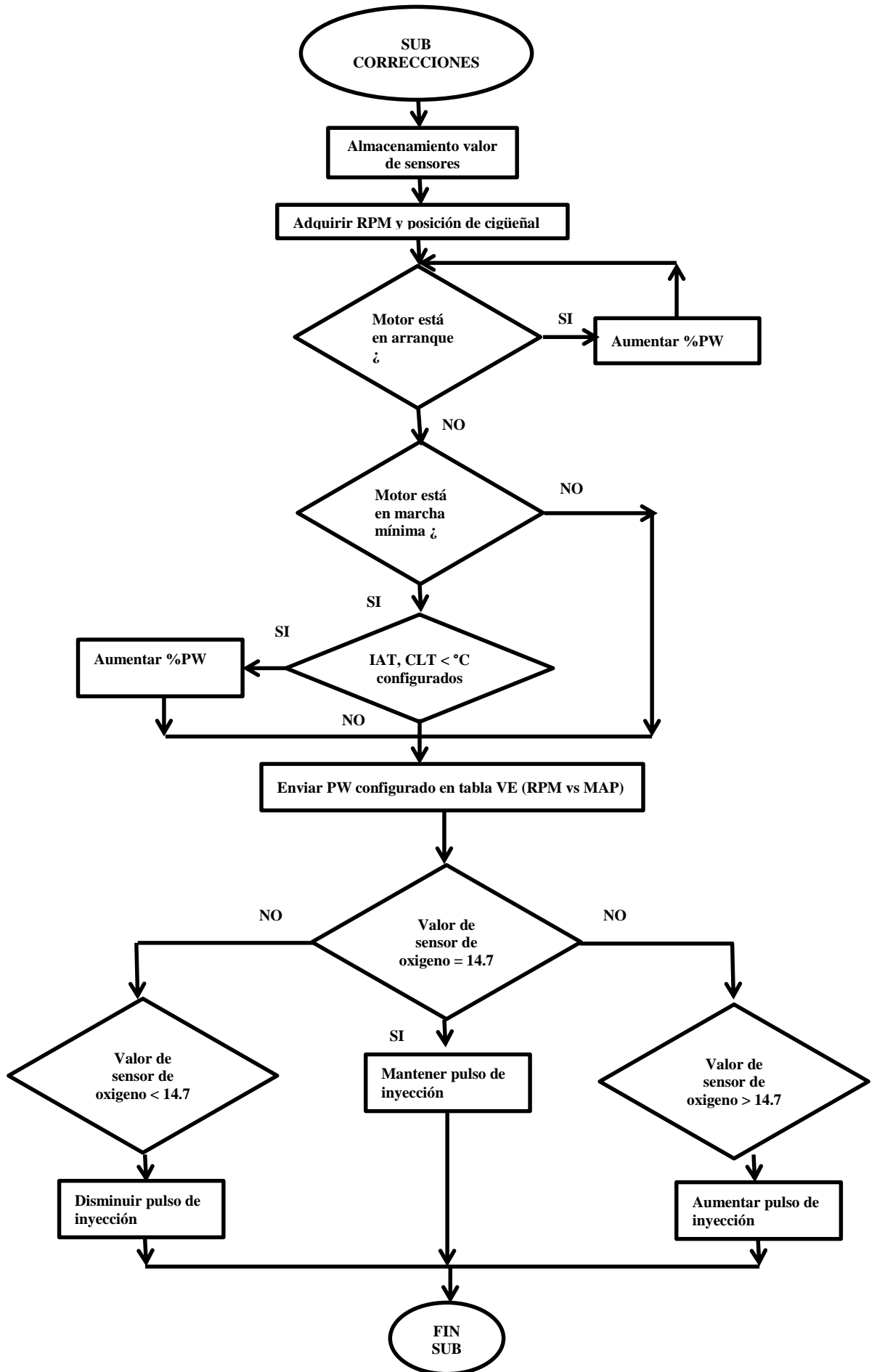
La subrutina del TIMER2 está destinada para la adquisición de las RPM del motor mediante una interrupción externa.

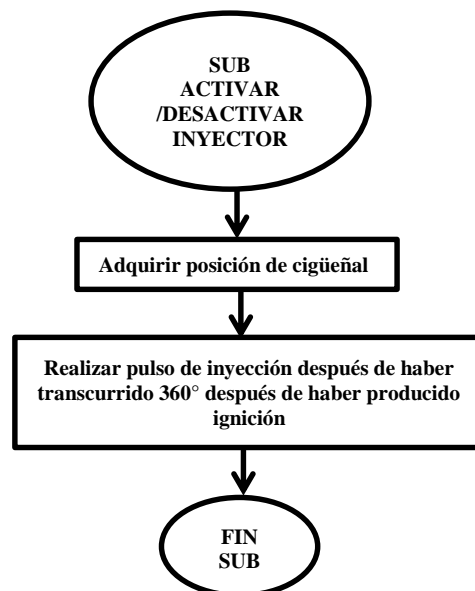
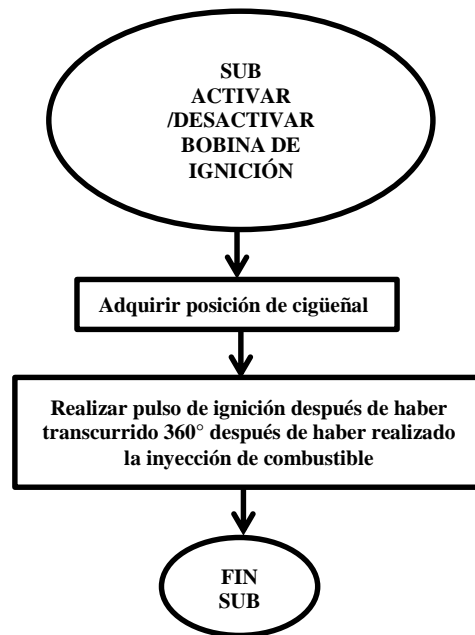


La subrutina Inicializar Programadores hace uso de los TIMER3 y TIMER5, está destinada para fijar tiempos en el proceso de inyección de combustible e ignición.









CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En este capítulo se describe paso a paso la implementación de la unidad de control electrónica, desde la instalación de los diferentes sensores, calibración de parámetros para finalizar con las pruebas de funcionamiento las cuáles son la eficiencia de consumo de combustible y la de generación de contaminantes.

5.1 IMPLEMENTACIÓN

5.1.1 Implementación de tarjeta electrónica

La figura 79, muestra la implementación de la unidad de control electrónica, en donde consta de la tarjeta electrónica en la cual se conectaran sensores y actuadores del motor y la tarjeta Arduino Mega 2560.

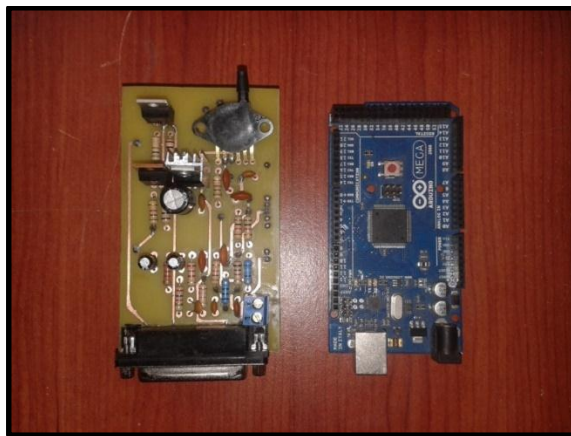


Figura 79. Tarjeta electrónica y Arduino mega 2560.
Fuente: Elaborado por el autor.

La figura 80, muestra como la tarjeta electrónica se adhiere a la tarjeta Arduino mega 2560.

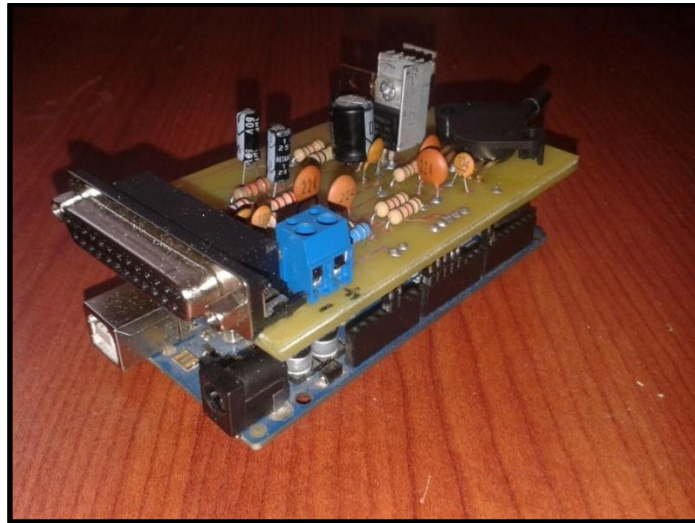


Figura 80. Unidad de control electrónica.
Fuente: Elaborado por el autor.

5.1.2 Instalación de sensores y actuadores

La figura 81, muestra la instalación de los sensores IAT, MAP, TPS y como actuador el inyector de combustible en el colector de admisión, adicionalmente se instaló un filtro de aire con el fin de evitar que ingrese impurezas contenidas en el aire al interior del motor.

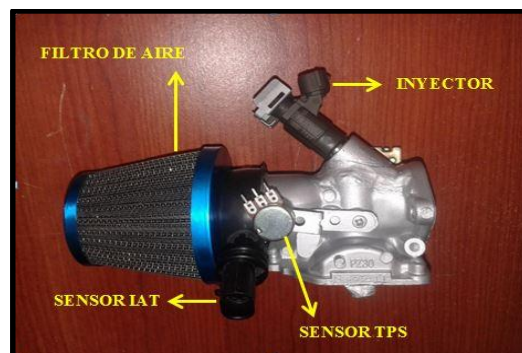


Figura 81. Instalación de sensores y actuadores en el colector de admisión.
Fuente: Elaborado por el autor.

Una vez instalado los sensores y actuadores en el colector de admisión se procede a colocarlo en el bloque del motor, conforme indica la figura 82.



Figura 82. Instalación de colector de admisión en el motor.

Fuente: Elaborado por el autor.

La instalación del sensor de oxígeno estará situada en el colector de escape, el cual estará ubicado a una distancia separada del motor para no exceder la temperatura de operación del sensor la cual es 300°C ya que esta es la temperatura necesaria para que funcione correctamente el sensor. La figura 83, indica donde está ubicado el sensor.

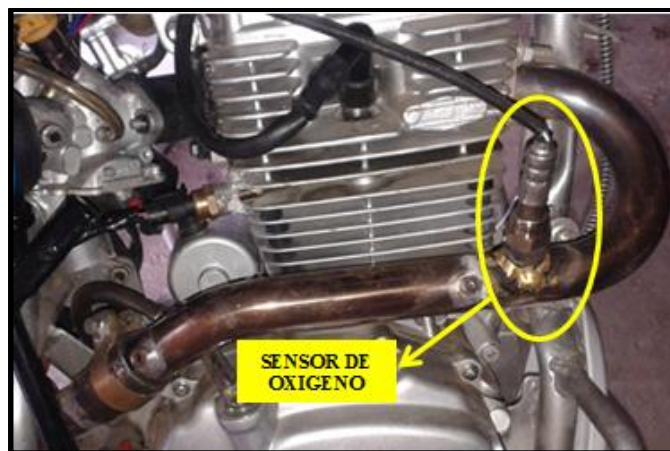


Figura 83. Instalación del sensor de oxígeno.

Fuente: Elaborado por el autor.

El sensor de temperatura del motor se instalará en la parte superior del motor ya que ahí es donde se concentra el calor producido por el proceso de combustión del motor, en la figura 84, muestra la ubicación de instalación del sensor.

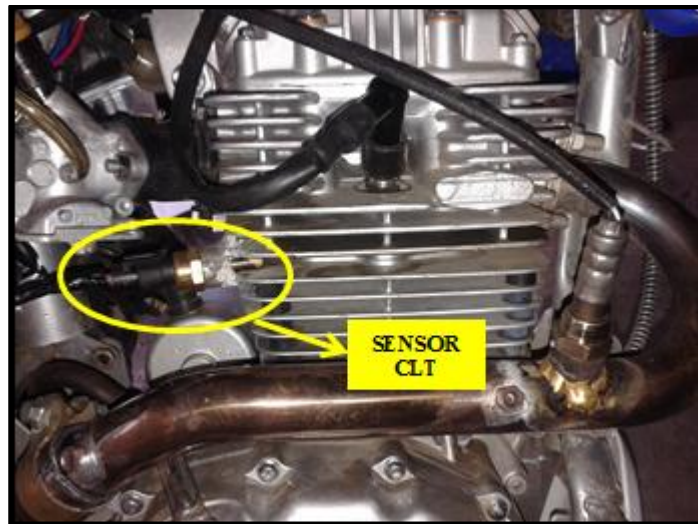


Figura 84. Instalación del sensor CLT.

Fuente: Elaborado por el autor.

Para la instalación del sistema de alimentación de combustible está formada por la bomba de combustible, este generará la presión necesaria para inyectar el combustible al motor, esta bomba de combustible es externa es decir no tiene que estar dentro del tanque de combustible, además se necesitará un regulador de presión el cual controlara el exceso de presión en el combustible, de esta forma si existe un exceso de presión el combustible será devuelto al tanque de combustible. La figura 85, indica cómo están conectados todos estos elementos.

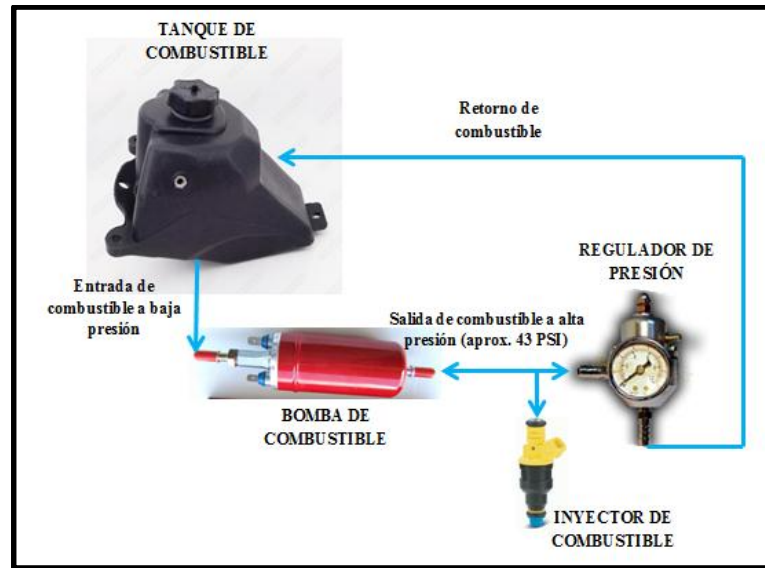


Figura 85. Instalación bomba de combustible y regulador de presión.

Fuente: Elaborado por el autor.

5.1.3 Calibración de parámetros

Tanto sensores como actuadores necesitan una calibración para poder funcionar de manera óptima, esto se lo realiza mediante la interfaz gráfica de usuario mediante el software TunerStudio, este software permite visualizar de manera sencilla como están operando tanto sensores y actuadores. La figura 86, muestra panel principal y los indicadores de los sensores.

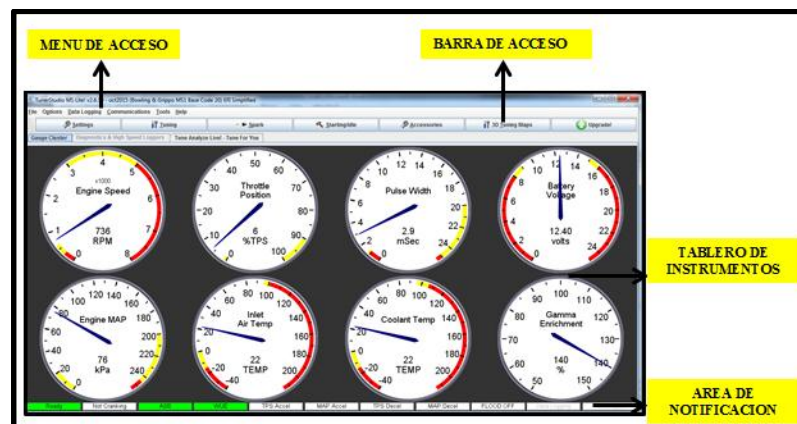


Figura 86. Panel principal TunerStudio.

Fuente: Elaborado por el autor.

5.1.3.1 Calibración de sensor TPS

Para la calibración del sensor TPS corresponde en dar valores al ADC, siendo su valor mínimo cuando la mariposa del acelerador está cerrada y siendo su valor máximo cuando está totalmente abierta, de esta manera se establecerá la posición máxima y mínima del acelerador. La figura 87, indica los campos a calibrar del sensor TPS.

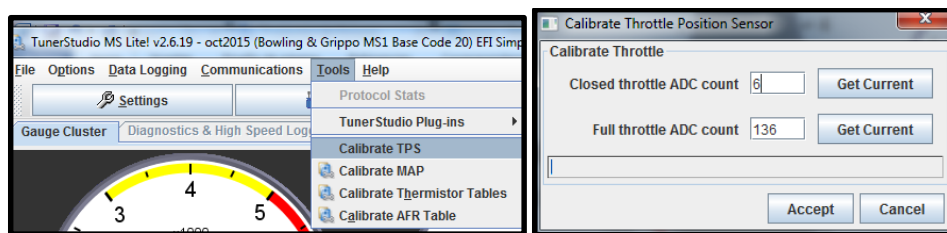


Figura 87. Calibración sensor TPS.

Fuente: Elaborado por el autor.

5.1.3.2 Calibración de sensor MAP

Para la calibración del sensor MAP corresponde en seleccionar el tipo de sensor que se está usando conforme se indica en la figura 88, en este caso se usó el sensor MPX4115AP el cual tiene un rango de operación de 15 a 115 kPa.

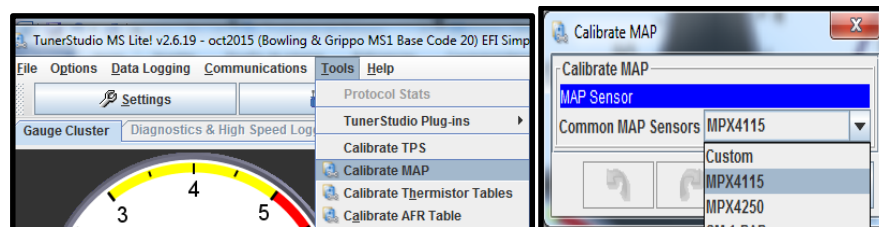


Figura 88. Calibración sensor MAP.

Fuente: Elaborado por el autor.

5.1.3.3 Calibración de sensor IAT y CLT

Para la calibración del sensor IAT Y CLT corresponde en establecer el tipo de sensor y como varía su resistencia conforme aumenta la temperatura, estos sensores cualquiera que sea su fabricante sus valores analógicos de salida son idénticos, su calibración consiste en poner la resistencia de polarización esta resistencia está en el circuito de acondicionamiento de señal del sensor IAT – CLT con un valor de 2.49 [k Ω], además se fijan tres valores distintos de temperatura en [°C] y su correspondiente valor de resistencia en ohmios [Ω]. Este proceso se lo realiza tanto para el sensor IAT y CLT de forma idéntica. La figura 89, indica los campos de calibración de los sensores.

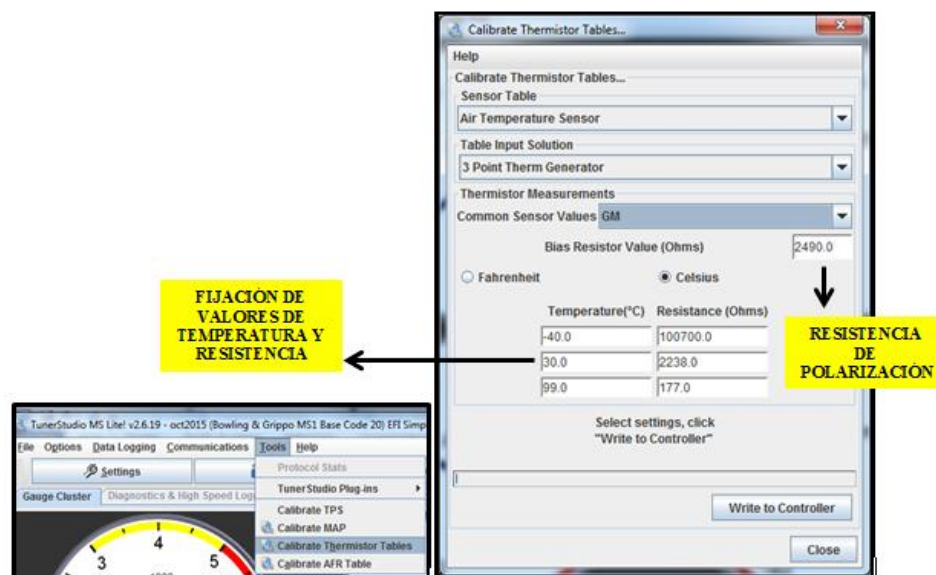


Figura 89. Calibración sensor IAT y CLT.

Fuente: Elaborado por el autor.

5.1.3.4 Calibración de tipo de sensor de oxígeno

Para la calibración del sensor de Oxígeno corresponde en establecer el tipo de sensor que se está utilizando, para este caso se utilizó un sensor de oxígeno de banda estrecha conforme se indica en la figura 90, ya que son los sensores que se

utilizan en el sector automotriz, además que son de fácil adquisición en el mercado además de su bajo precio.

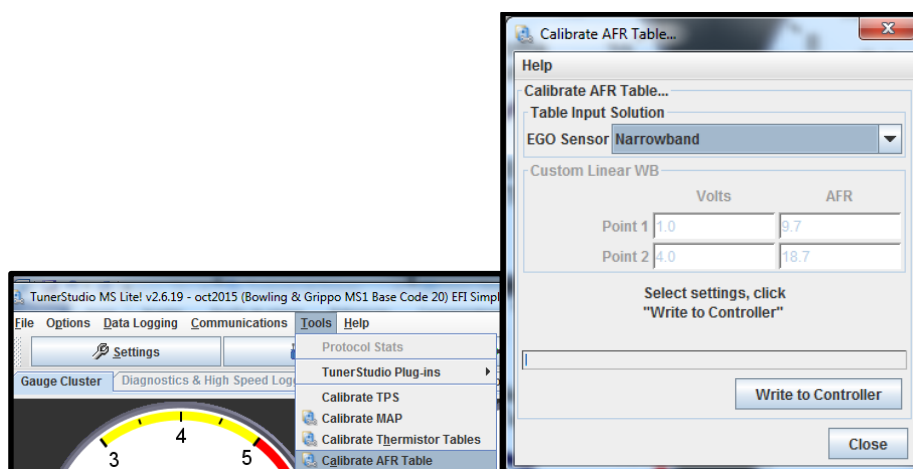


Figura 90. Calibración sensor IAT y CLT.

Fuente: Elaborado por el autor.

5.1.3.5 Calibración de contantes del motor

La calibración de estos parámetros corresponde a las características físicas del motor como son cilindraje, número de cilindros, número de inyectores, tipo de motor y combustible requerido para su funcionamiento. Para esto se necesita los datos de las características del motor el cual proporciona el fabricante.

En la tabla 5, se muestra las características que se necesita para la calibración del motor.

Tabla 5: Datos Principales del motor

| | |
|--------------------------------|------------------------|
| Diámetro – altura del cilindro | 69 mm x 62.2 mm |
| Relación de compresión | 9.0:1 |
| Potencia máxima | 13 kW @ 7500 RPM |
| Torque máximo | 16.5 N.m @ 6000 RPM |
| Ralentí | Aprox. 1500 RPM |
| Desplazamiento del cilindro | 230 ml |

Nota. Fuente: Manual de fabricante motocicleta Axxo TRF 250.

Primeramente se necesita realizar los cálculos para la cantidad de combustible requerido, es un valor ideal en el cual se indica que hay un llenado completo del cilindro de la mezcla aire combustible para alcanzar el valor estequiométrico de 14,7:1, este llenado del cilindro se lo denomina VE¹⁵. Murray (2014), indica que la ecuación para el cálculo de tiempo base de inyección está dado por:

$$REQ_{FUEL} = \frac{36000000 * CID * AIR_{Den}}{\# CIL * AFR * INJFLOW} [ms] \quad (20)$$

- CID = desplazamiento del cilindro en pulgadas cúbicas = 14 inch³
- AIRDEN = densidad de aire a 100 kPa y 70 °F
- # CIL = número de cilindros del motor
- AFR = relación aire combustible = 14,7
- INJFLOW = caudal del inyector en lb/h

$$AIR_{Den}(MAP, Temp) = \frac{0,0391568 * (MAP * 10 - 31)}{((Temp + 459,7) * 1728)}$$

- MAP = 100 kPa
- Temp = 70 °F

$$AIR_{Den}(MAP, Temp) = 0,000041453112$$

También se necesita el flujo del inyector, Murray (2014), indica la ecuación utilizada para este cálculo.

$$Flujo\ del\ inyector = \frac{Potencia\ motor\ [HP] * BSFC}{\#\ de\ inyectores * Ciclo\ de\ trabajo} \quad (21)$$

- P = 17 HP

¹⁵ VE: Volumetric Efficiency

- BSFC = 0.5 lb/hr/HP
- # De inyectores = 1
- Ciclo de trabajo = 85 %

Flujo del inyector = 10 lb/hr = 105 cc/min

Este resultado del Flujo del inyector es importante ya que sirve para la adquisición del inyector de combustible ya que existen en el mercado inyectores con diferentes flujos, hay que buscar un inyector que sea igual o que se acerque al valor calculado anteriormente.

Entonces el tiempo base de inyección es:

$$REQ_{FUEL} = \frac{36000000 * 14 * 0,000041453112}{1 * 14,7 * 10} \text{ [ms]}$$

$$REQ_{FUEL} = 14,7 \text{ [ms]}$$

Este es el tiempo base de inyección es decir es el tiempo en el cual el inyector se mantendrá abierto en el ciclo de admisión del motor, este tiempo aumentará o disminuirá según las necesidades del motor dependiendo del algoritmo utilizado.

El algoritmo de control utilizado para el control de dosificación de combustible es el Speed-Density, este algoritmo se basa en la lectura del sensor MAP y la RPM en la que gira el motor de esta forma la ECU realiza una búsqueda en el

mapa VE para calcular el pulso de inyección para así inyectar el combustible necesario al motor. Las demás constantes son datos generales del tipo del motor.

Murray (2014), indica que la ecuación para el ancho de pulso aplicado al inyector de combustible está dada por la siguiente ecuación:

$$PW = REQ_{FUEL} * VE * MAP * \gamma_{Enrich} + \gamma_{Accel} + InjOpen \quad (22)$$

$$E = \gamma_{enrichment} = \left(\frac{Warmup}{100}\right) * \left(O_2closed \frac{loop}{100}\right) * \left(\frac{Air_{corr}}{100}\right) * (Baro_{corr}/100) \quad (23)$$

El valor E corresponde a las correcciones de valores, realizadas en el calentamiento del motor, sensor de oxígeno, densidad de aire, presión barométrica conforme indica Murray (2014), estos valores cambian frecuentemente por tal razón el ancho de pulso entregado al inyector será el adecuado para ingresar la cantidad exacta de combustible.

La figura 94, indica los campos de calibración de las constantes del motor.

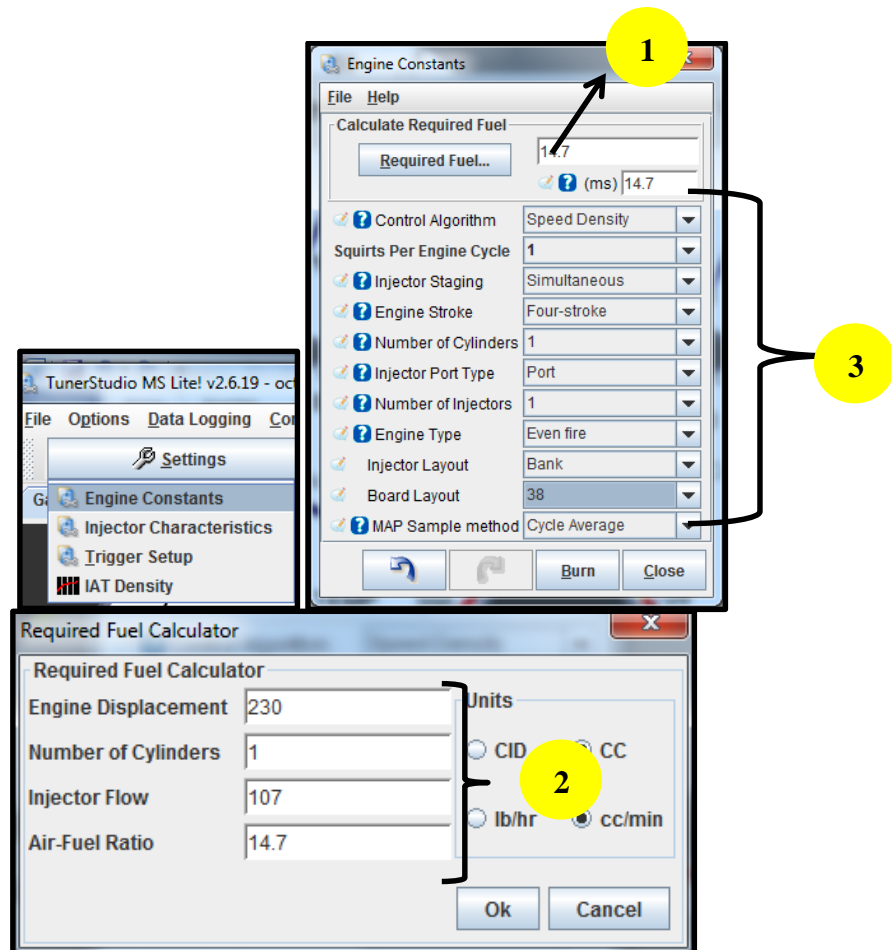


Figura 91. Calibración de constantes del motor.

Fuente: Elaborado por el autor.

5.1.3.6 Calibración del inyector de combustible

La calibración del inyector de combustible conforme se indica en la figura 95, corresponde a las características eléctricas de funcionamiento del inyector de combustible, como son: tiempo mínimo de apertura, grado en la cual el inyector va a cerrarse, voltaje de operación, así como también el límite máximo del ciclo de trabajo del pulso de inyección.

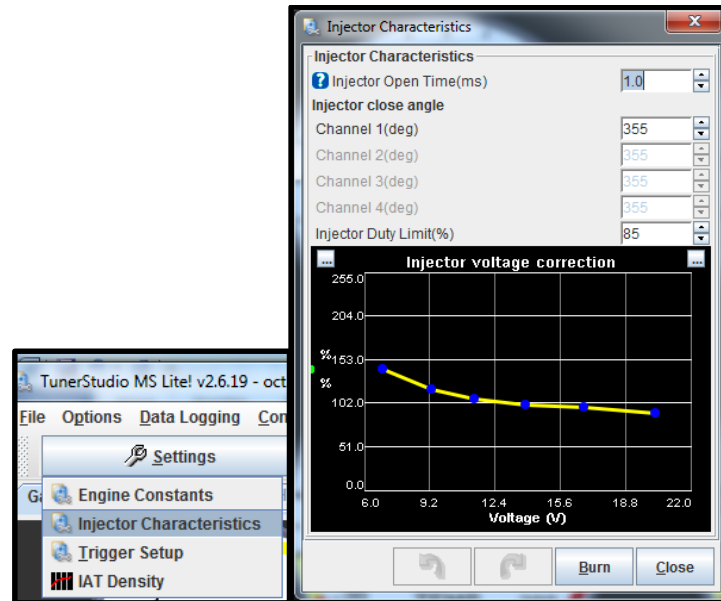


Figura 92. Calibración inyector de combustible.
Fuente: Elaborado por el autor.

5.1.3.7 Calibración de disparo

La calibración de disparo corresponde a la posición en la que se encuentra el cigüeñal con el fin de realizar la inyección de combustible y el encendido de la bobina de ignición en el momento adecuado, esto se realiza mediante el sensor CKP. La figura 96, muestra los ajustes realizados en el disparador.

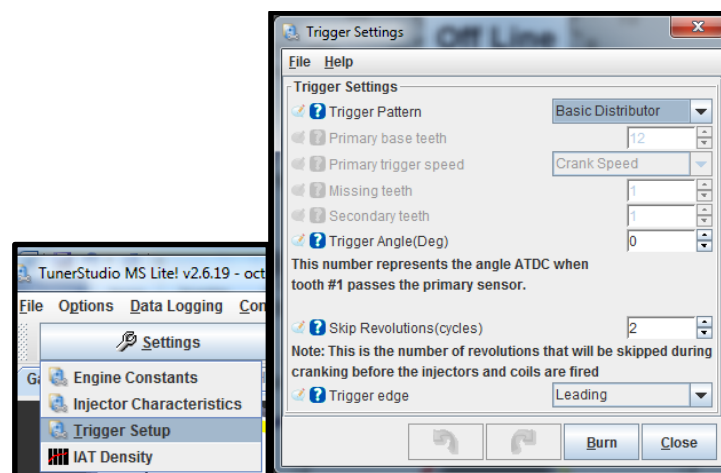


Figura 93. Calibración de disparo.
Fuente: Elaborado por el autor.

5.1.3.8 Calibración sensor de oxígeno

La calibración del sensor de oxígeno es muy importante ya que de él depende la cantidad de contaminantes que se producen en el proceso de combustión, un sensor de banda estrecha es exacto en mezclas estequiométricas 14,7: 1, alrededor de 0,5 voltios la mezcla es estequiométrica. Para las mezclas pobres ($>14.7: 1$ o $\lambda > 1$), la tensión es ligeramente por debajo de 0,5 voltios. Para mezclas ricas ($<14.7: 1$ o $\lambda < 1$), la tensión sube por encima de 0,5 voltios. Este comportamiento significa que no es posible llevar a cabo una mezcla exacta cuando se ejecuta en bucle cerrado con un sensor de banda estrecha. Por tal razón existe una oscilación periódica del sensor.

Debido a esto, el mejor algoritmo a usar para este sensor de banda estrecha es el algoritmo "simple", este algoritmo ajusta la mezcla aumentando el pulso de inyección, si el sensor lee la mezcla pobre, y disminuyendo el pulso de inyección si el sensor lee mezclas ricas.

Recomendaciones para calibrar el algoritmo simple con un sensor de banda estrecha:

- Eventos de encendido por Paso – para calibrar el motor por primera vez, este valor debe ser bajo, entre 4 - 8 de modo que si la AFR está lejos de 14.7, este se corrige rápidamente. Una vez que el motor está mejor calibrado, este número se puede cambiar a uno más alto, entre 8 - 16 o más, para ganar el comportamiento de corrección más estable.

- Tamaño de Paso de Controlador - Cuando se calibra por primera vez el motor, este se debe establecer en el 2% para alcanzar la relación estequiométrica rápidamente. Una vez que el motor está calibrado, este debe reducirse a 1% para obtener una corrección más estable.
- Auth de Controlador - Cuando se calibra por primera vez el motor este se debe establecer en 20% o superior. Se debe tener cuidado para ver cómo el algoritmo está corrigiendo. En algunas situaciones, es posible que el sensor lea la mezcla como pobre cuando en realidad el motor está funcionando con mezcla rica. Una vez que el motor está calibrado esto se debe establecer entre el 5% y el 10%.

Los ajustes restantes controlan cómo y cuándo el algoritmo de bucle cerrado opera.

Estos ajustes son funcionamiento del sensor de banda estrecha cuando el motor está casi totalmente caliente, RPM mínima para que el sensor funcione en ciclo cerrado, por debajo del 80% del acelerador, por debajo de la carga alrededor del 80%, justo por encima de la carga más baja observada cuando apenas presionando el acelerador, y por lo menos 30 segundos después de que el motor arranque. Estos ajustes son debido a que el sensor debe estar caliente para operar, no deben ser utilizados a alta carga debido al hecho de que el motor debe funcionar con una mezcla rica de estequiométrica, y no debe ser utilizado en una carga muy baja

debido a las oscilaciones que harán que la velocidad del motor oscile. La figura 97, muestra la calibración de todos los campos mencionados.

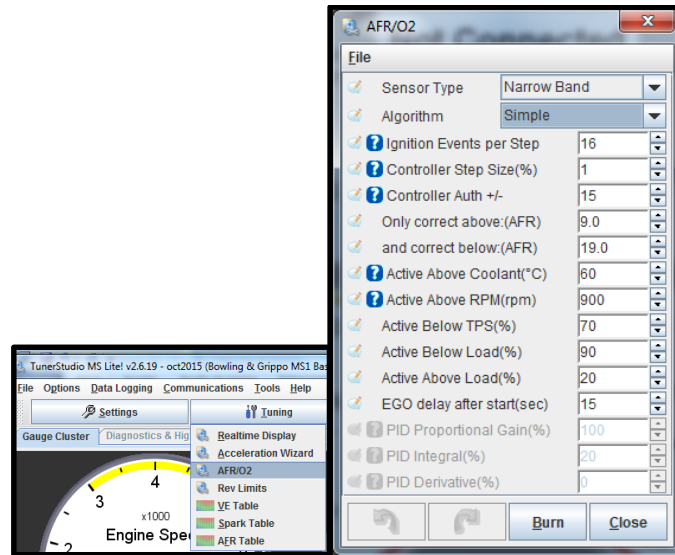


Figura 94. Calibración sensor de oxígeno.

Fuente: Elaborado por el autor.

5.1.3.9 Calibración de tabla VE o tabla de combustible

La tabla de combustible también llamado mapa de inyección, consiste en una matriz en la que a cada valor de revoluciones del motor y presión del aire captado por el sensor MAP en ese instante se le asigna un valor comprendido en el rango de 0 a 255 este es un valor de porcentaje, el cuál es el ancho de pulso de la señal entregado al inyector para que de esta forma se accione y realice la inyección exacta de combustible. La figura 98, muestra el mapa de inyección tanto en dos dimensiones como en tres dimensiones.

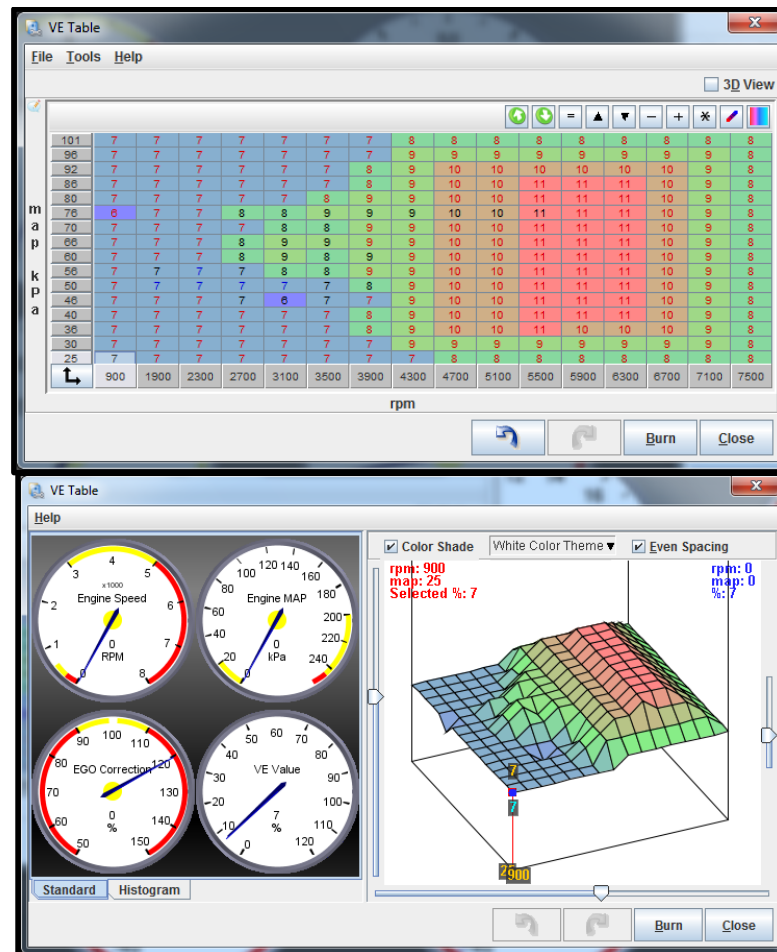


Figura 95. Mapa VE con visualización en 2D y 3D.
Fuente: Elaborado por el autor.

5.1.3.10 Calibración de tabla AFR o tabla de relación aire combustible

Al igual que la tabla VE, la tabla AFR es una matriz que contiene los valores estequiométricos que se desea que el sensor de oxígeno alcance, con un sensor de oxígeno de banda estrecha no se puede obtener valores exactos pero si se puede obtener una aproximación de ellos. La figura 99, muestra el mapa de relación aire combustible tanto en dos dimensiones como en tres dimensiones.

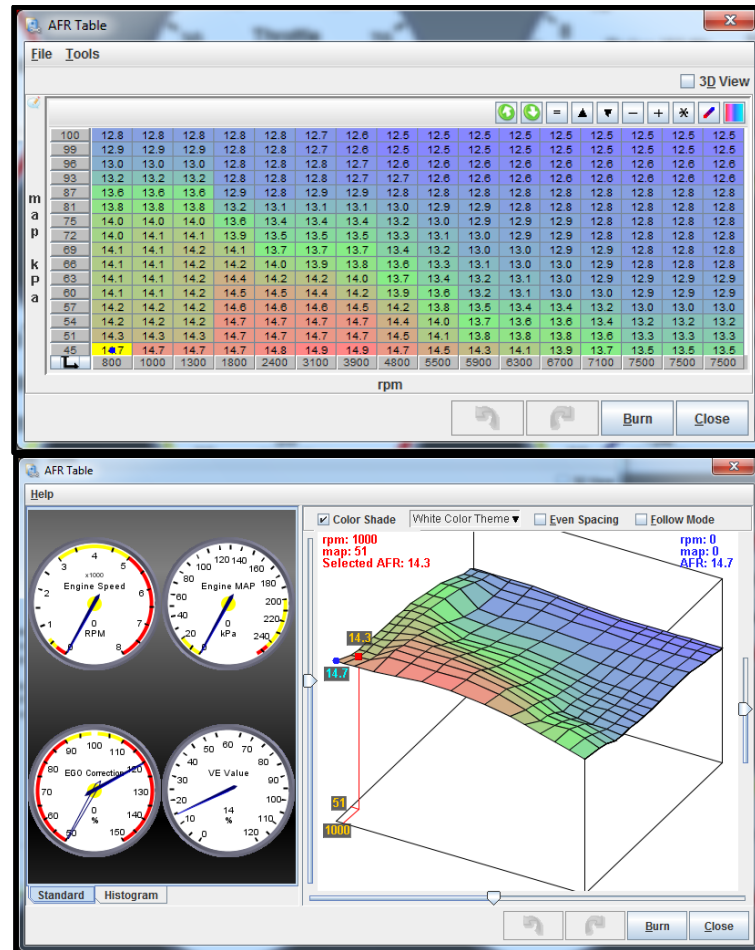


Figura 96. Mapa AFR con visualización en 2D y 3D.
Fuente: Elaborado por el autor.

5.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

5.2.1 Prueba de ancho de pulso del inyector

En esta prueba consiste verificar si el valor teórico calculado del ancho de pulso del inyector concuerda con el valor obtenido en el funcionamiento real, esto se lo realizo haciendo uso de un osciloscopio, la figura 100 indica el valor de ancho de pulso del inyector medido mediante la utilización del osciloscopio automotriz, además se muestra como trabaja el inyector de combustible a partir de la señal obtenida del sensor CKP.

Para realizar los cálculos de ancho de pulso del inyector se basara ecuación 22, los datos necesarios se obtendrá del panel de instrumentos de TunerStudio, la primero prueba se realizara alrededor de 1500 RPM y la segunda prueba se la realizara a 3000 RPM.

- Prueba 1 (1500 RPM)

Datos:

$$REQ_{FUEL} = 14,7 [ms]$$

$$VE = 6 \%$$

$$MAP = 44 \text{ kPa}$$

$$\gamma_{Enrich} = 102 \%$$

$$\gamma_{Accel} = 10\%$$

$$InjOpen = 1 [ms]$$

- Prueba 2 (3000 RPM)

Datos:

$$REQ_{FUEL} = 14,7 [ms]$$

$$VE = 24 \%$$

$$MAP = 80 \text{ kPa}$$

$$\gamma_{Enrich} = 103 \%$$

$$\gamma_{\text{Accel}} = 10\%$$

$$\text{InjOpen} = 1 \text{ [ms]}$$

Entonces:

$$PW_{1500 \text{ RPM}} = 14,7 * \frac{6}{100} * \frac{44}{100} * \frac{102}{100} + \frac{10}{100} + 1$$

$$PW_{1500 \text{ RPM}} = 1,495 \text{ [ms]} \quad (24)$$

$$PW_{3000 \text{ RPM}} = 14,7 * \frac{24}{100} * \frac{80}{100} * \frac{103}{100} + \frac{10}{100} + 1$$

$$PW_{3000 \text{ RPM}} = 4,007 \text{ [ms]} \quad (25)$$

El valor calculado en la ecuación 24 y 25, será el ancho de pulso enviado al inyector de combustible a 1500 y 3000 RPM respectivamente. En la figura 91, 92 y 93, se muestran los datos necesarios para el cálculo.

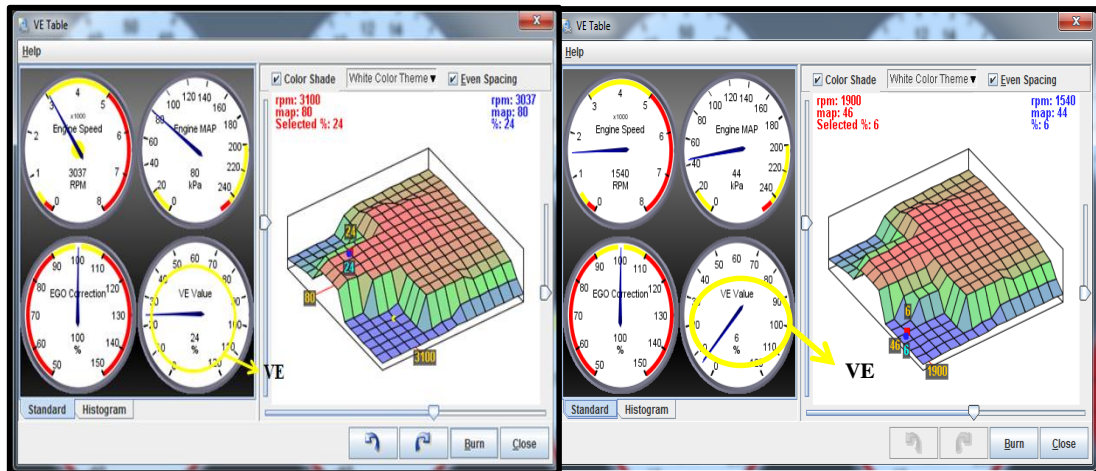


Figura 97. Valores para cálculo de ancho de pulso

Fuente: Elaborado por el autor.

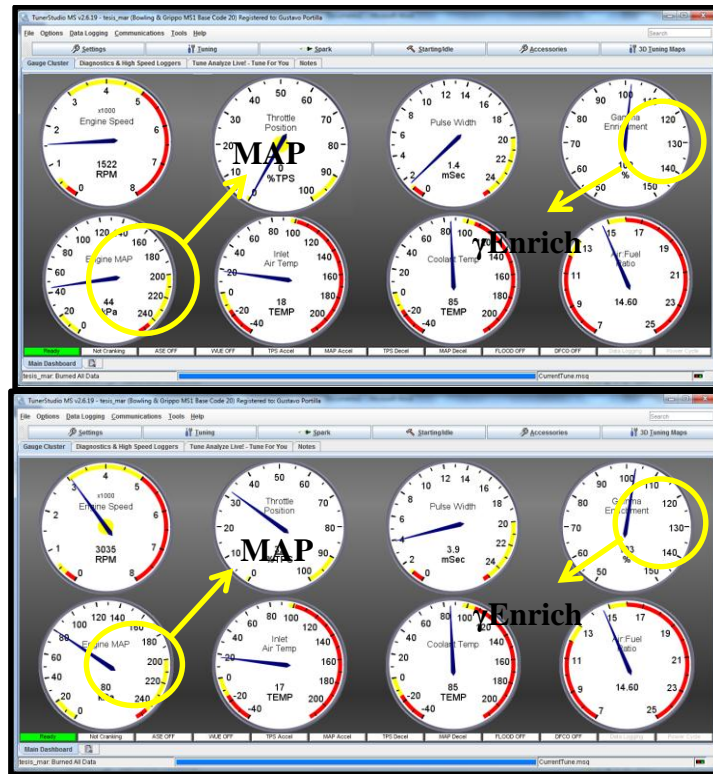


Figura 98. Valores para cálculo de ancho de pulso
Fuente: Elaborado por el autor.

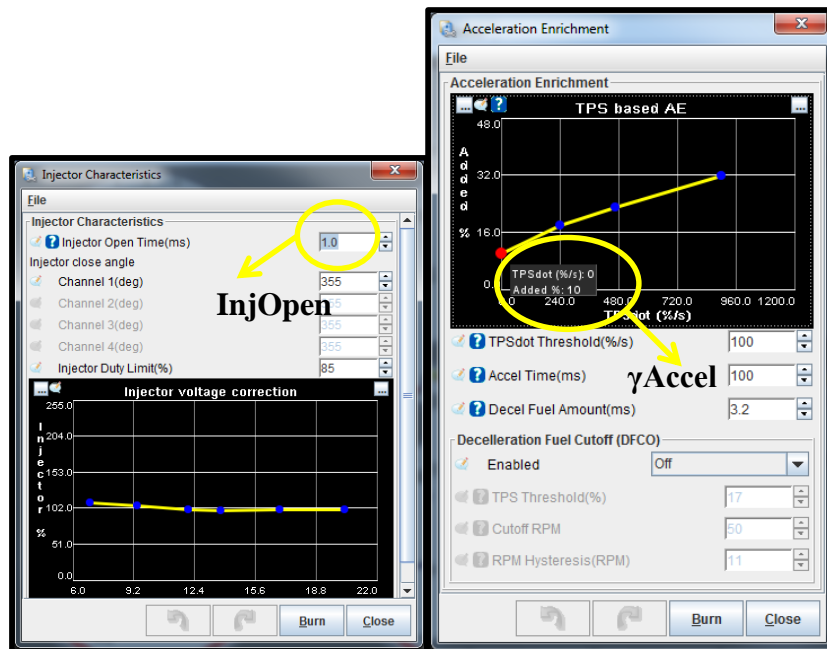


Figura 99. Valores para cálculo de ancho de pulso
Fuente: Elaborado por el autor.

En la figura 100, muestra los valores de ancho de pulso enviados al inyector de combustible estos datos se obtuvieron mediante el uso de un osciloscopio automotriz.

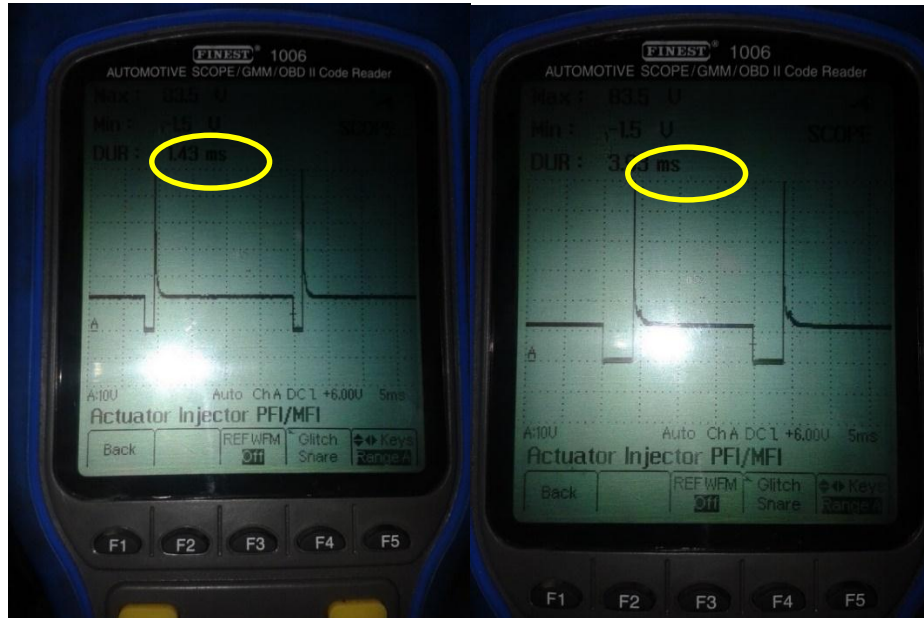


Figura 100. Valor de ancho de pulso a 1500 RPM y 3000 RPM obtenido en osciloscopio
Fuente: Elaborado por el autor.

En la figura 101, muestra la adquisición de la señal del sensor CKP y el ancho de pulso enviado al inyector de combustible.

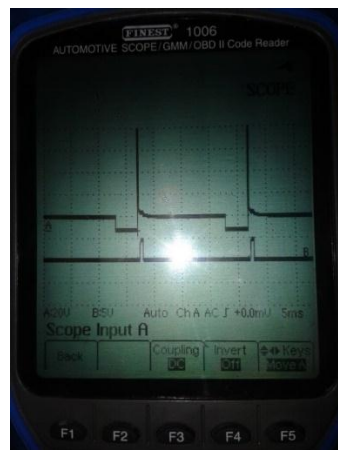


Figura 101. Adquisición de señal de sensor CKP y activación del inyector de combustible
Fuente: Elaborado por el autor.

La figura 102, muestra el ancho de pulso enviado al inyector a 1500 y 3000 RPM respectivamente, este valor es calculado mediante el software TunerStudio.

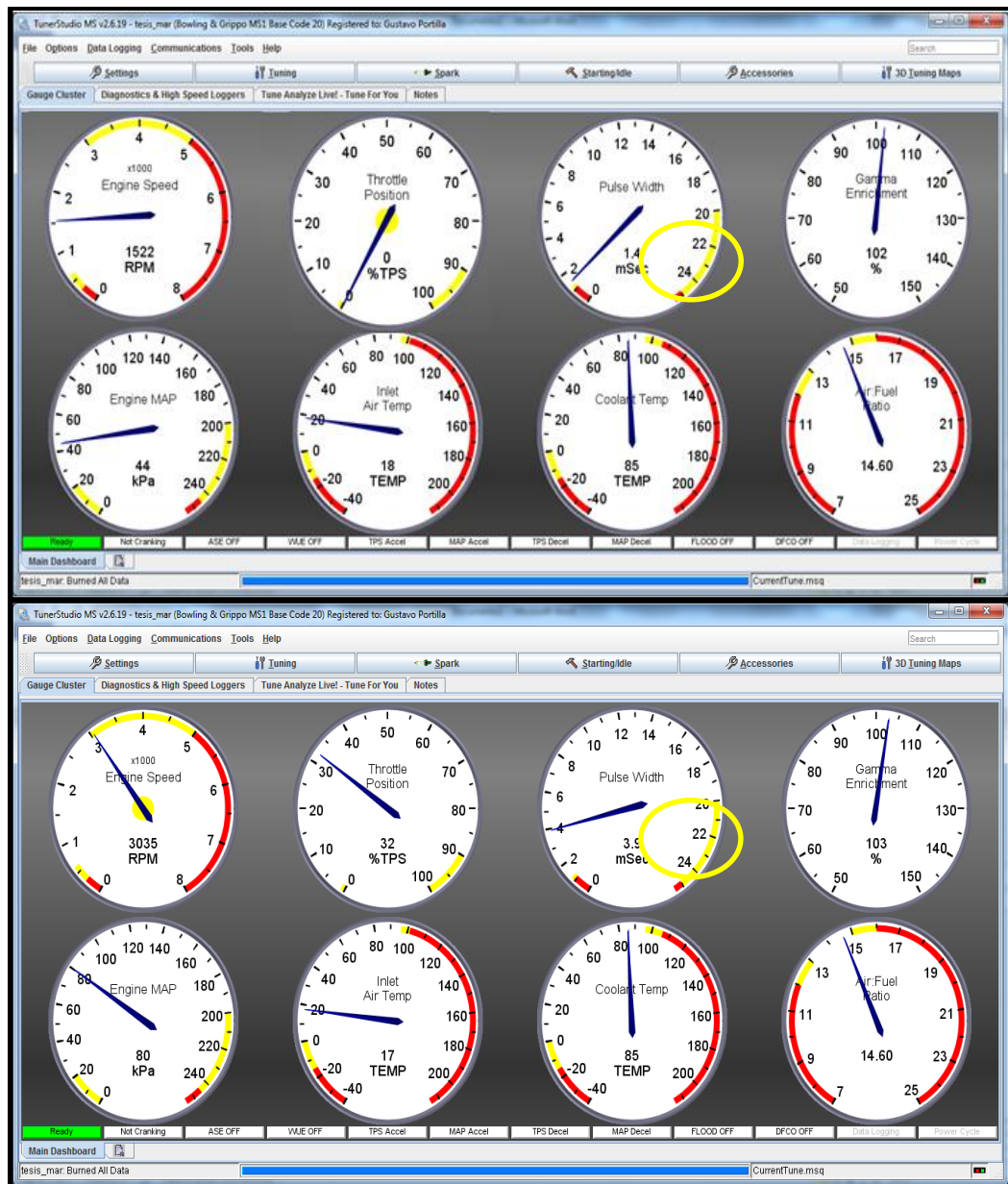


Figura 102. Valor de ancho de pulso obtenido en TunerStudio.

Fuente: Elaborado por el autor.

Tanto el valor calculado por el software TunerStudio y el valor obtenido por el osciloscopio son idénticos, de esta forma se realizara un cálculo del porcentaje de error con el valor teórico obtenido en la ecuación 56.

$$\% \text{ error} = \frac{|\text{valor experimental} - \text{valor teorico}|}{|\text{valor teorico}|} * 100 \% \quad (26)$$

$$\% \text{ error}_{1500 \text{ RPM}} = \frac{|1,43 - 1,495|}{|1,495|} * 100 \%$$

$$\% \text{ error}_{1500 \text{ RPM}} = 4,34 \%$$

$$\% \text{ error}_{3000 \text{ RPM}} = \frac{|3,93 - 4,007|}{|4,007|} * 100 \%$$

$$\% \text{ error}_{3000 \text{ RPM}} = 1,92 \%$$

5.2.2 Prueba de eficiencia de consumo de combustible

Esta prueba se la hizo midiendo el tiempo que dura la cantidad de 30mL de combustible a 2000 RPM en ralentí, esto se lo realizó tanto para el sistema basado a carburador así como también para el sistema basado a inyección electrónica de combustible. En la figura 103, muestra el tiempo de duración de la cantidad de combustible suministrada.

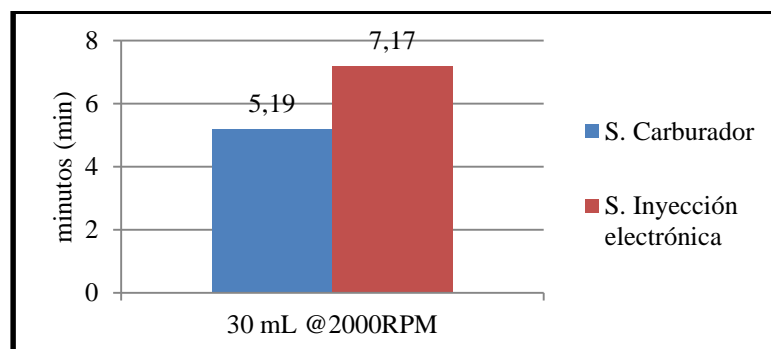


Figura 103. Comparación de consumo de combustible.

Fuente: Elaborado por el autor.

De esta manera se observa que el sistema basado a inyección electrónica de combustible consume un 27 % menos comparado con el sistema basado a carburador. Esta prueba se la hizo de esta forma ya que así se puede saber de forma exacta cuánto dura el combustible ya que se sabe las condiciones de trabajo en la que se encuentra el motor ya que al realizándolo de manera dinámica al existir cambios de velocidad, aceleraciones y frenados de la motocicleta, no se sabe cuál de los dos sistemas consume más combustible.

5.2.3 Prueba de emisión de gases contaminantes

Para la realización de la prueba de emisión de gases se analizó la emisión de monóxido de carbono, tanto para el sistema basado a carburador así como también para el sistema basado a inyección electrónica de combustible. La prueba se realizó de dos maneras, a estado de ralentí la cual es cuando el motor se encuentra en marcha mínima a 1500 RPM aproximadamente y la otra prueba en la cual se encuentra el motor a 5000 RPM aproximadamente. Los resultados de la concentración del gas se dan en porcentaje [%].

De acuerdo con la figura 104, la emisión de monóxido de carbono en el sistema basado a carburador produce un 93% más que un sistema basado a inyección electrónica de combustible a una velocidad de rotación del motor aproximado de 1500 RPM.

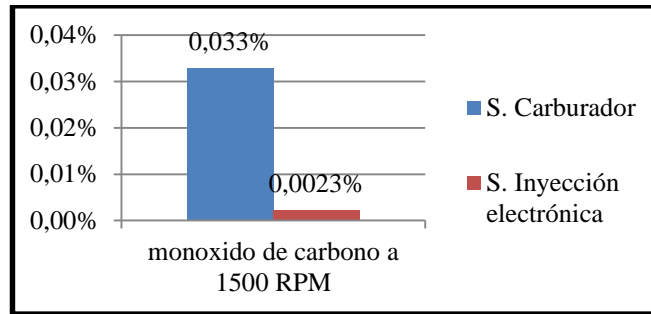


Figura 104. Prueba de monóxido de carbono en marcha mínima.

Fuente: Elaborado por el autor.

De la misma manera se realizó la prueba a una velocidad de rotación del motor de aproximadamente 5000 RPM, el sistema basado a carburador produce un 78 % más de monóxido de carbono comparado con el sistema basado a inyección electrónica de combustible conforme se indica en la figura 105.

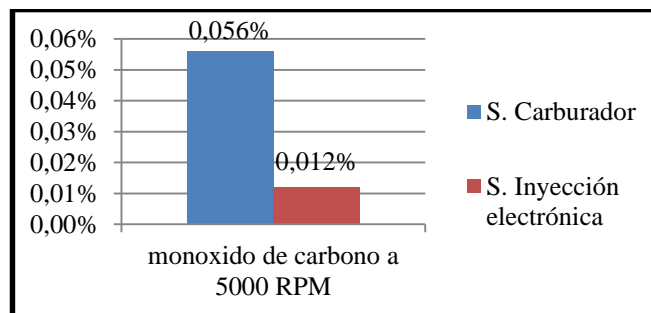


Figura 105. Prueba de monóxido de carbono a 5000 RPM.

Fuente: Elaborado por el autor.

Por otro lado el Servicio Ecuatoriano de Normalización, INEN con su reglamento RTE INEN 136, establece un límite en cuanto al porcentaje de monóxido de carbono presente en los gases de escape conforme se indica en la tabla 6. Esta prueba en la cual se la realiza en forma estática en ralentí y tiene un valor máximo de 3,5 % de contaminación.

Tabla 6: Límites máximos de emisiones permitidas para motocicletas y tricimotos.

Prueba estática en ralentí

| TIPO DE MOTOR | CO (% V) | HC (ppm) |
|---------------|----------|----------|
| Todas** | 3,5 | 2000 |

Nota. ** A partir del año 2014. Fuente: www.normalizacion.gob.ec RTE INEN 136

Además los centros de Revisión Técnica Vehicular, tanto de las provincias de Pichincha, Guayas, Azuay donde sí se realizan la revisión a las motocicletas establecen grupos en cuanto a la cantidad del porcentaje producido de monóxido de carbono y de acuerdo a esto establecen una calificación los cuales se muestran en la tabla 7.

Tabla 7: Tabla de Umbrales

| DESCRIPCIÓN UMBRAL | AÑO MODELO | CALIFIC. TIPO | UMBRAL | UNIDAD | CÓDIGO DEL DEFECTO DUAL | CATEGORIA DE VEHÍCULO |
|--------------------------------------|------------|---------------|-------------------|--------|-------------------------|-----------------------|
| MONÓXIDO DE CARBONO (CO) BAJA - MOTO | TODOS | OK | $0 \leq x < 4$ | % | NULL | MOTOS |
| MONÓXIDO DE CARBONO (CO) BAJA - MOTO | TODOS | 1 | $4 \leq x < 7,5$ | % | NULL | MOTOS |
| MONÓXIDO DE CARBONO (CO) BAJA - MOTO | TODOS | 2 | $7,5 \leq x < 11$ | % | 12010105 | MOTOS |
| MONÓXIDO DE CARBONO (CO) BAJA - MOTO | TODOS | 3 | $x > 11$ | % | NULL | MOTOS |
| MONÓXIDO DE CARBONO (CO) ALTA - MOTO | TODOS | OK | $0 \leq x < 4$ | % | NULL | MOTOS |
| MONÓXIDO DE CARBONO (CO) ALTA - MOTO | TODOS | 1 | $4 \leq x < 7,5$ | % | NULL | MOTOS |
| MONÓXIDO DE CARBONO (CO) ALTA - MOTO | TODOS | 2 | $7,5 \leq x < 11$ | % | 12010105 | MOTOS |
| MONÓXIDO DE CARBONO (CO) ALTA - MOTO | TODOS | 3 | $x > 11$ | % | NULL | MOTOS |

Nota. Fuente: Instructivo de Revisión Técnica Vehicular

A partir de estos parámetros se realiza una comparación entre los dos sistemas de alimentación de combustible tanto a carburador como el de inyección electrónica para poder determinar si cumplen con las normas presentes en el país, en la tabla 8, muestra la comparativa de los resultados obtenidos.

Tabla 8: Comparación de resultados obtenidos

| PARÁMETRO | NORMA | CARBURADOR | | INYECCIÓN ELECTRÓNICA | |
|--|-----------------------------------|------------|-------|-----------------------|-------|
| | | VALOR (%) | NIVEL | VALOR (%) | NIVEL |
| Prueba estática en ralentí CO (%) | Norma RTE INEN 136 | 0,033 | OK | 0,002 | OK |
| MONÓXIDO DE CARBONO (CO%) BAJA - MOTO | Normas Revisión Técnica Vehicular | 0,033 | OK | 0,002 | OK |
| MONÓXIDO DE CARBONO (CO %) ALTA - MOTO | Normas Revisión Técnica Vehicular | 0,056 | OK | 0,012 | OK |

Nota. Fuente: Elaborado por el autor.

Con estos resultados se determina que el sistema de inyección electrónica de combustible cumple con los parámetros establecidos por los organismos de control del país.

5.3 COMPARATIVA ENTRE UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICA BASADA EN PLATAFORMA ARDUINO MEGA 2560 Y UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICAS COMERCIALES

La tabla 9, indica una comparación entre unidades de control electrónicas comerciales como son las de la marca AEM y la HALTECH y la realizada en el proyecto haciendo referencia a que los tres tengan una semejanza en funcionalidades.

Tabla 9: Comparación de unidades de control electrónicas.

| Funciones | Unidad de control electrónica basada en la plataforma Arduino Mega 2560 | AEM EMS-4 | HALTECH Platinum Sprint 500 |
|--|---|-----------|-----------------------------|
| Programación en tiempo real | ✓ | ✓ | ✓ |
| Soporta de 1 a 8 inyectores | ✓ (Con expansión de tarjeta electrónica) | ✓ | ✓ |
| Soporta 4 bobinas de ignición | ✓ (Con expansión de tarjeta electrónica) | ✓ | ✓ |
| Soporta sensores: TPS, CLT, IAT, O2(Banda Ancha, Banda Estrecha),MAP, batería, detonación, | ✓ (No soporta sensor de detonación) | ✓ | ✓ |
| Comunicación USB | ✓ | ✓ | ✓ |
| Comunicación CAN | | ✓ | ✓ |
| Tamaño de mapas 16x16 | ✓ | ✓ | ✓ |
| Sensor MAP interno | ✓ | ✓ | ✓ |
| Calibración de mapas VE en 2D y 3D | ✓ | ✓ | ✓ |
| Calibración de mapas AFR en 2D y 3D | ✓ | ✓ | ✓ |
| Calibración de mapas de ignición en 2D y 3D | ✓ | ✓ | ✓ |
| Control de bomba de combustible | ✓ | ✓ | ✓ |
| Soporta sensor CKP magnético | | ✓ | ✓ |
| Soporta sensor CKP de efecto Hall | ✓ | ✓ | ✓ |
| Weatherproff | | ✓ | |

Nota. Fuente: Elaborado por el autor.

Como se puede observar la unidad de control electrónica basada en la plataforma Arduino mega 2560, tiene la mayoría de funcionalidades iguales a las unidades de control electrónica comerciales, además que el precio es inferior comparadas con las otras, además con la ventaja que se puede agregar más

funcionalidades ya que la plataforma Arduino mega 2560 dispone de más pines de entrada y salida tanto analógicos como digitales.

La tabla 10, muestra los costos de los materiales utilizados en la instalación de la unidad de control electrónica, además se hace una comparativa con otras unidades de control comerciales. Los precios de sensores y actuadores están descritos en el Anexo 8.

Tabla 10: Costos de materiales e instalación de las unidades de control electrónica.

| | Unidad de control electrónica basada en la plataforma Arduino Mega 2560 | AEM EMS-4 | HALTECH Platinum Sprint 500 |
|--------------------------------------|---|-------------------|-----------------------------|
| Precio unidad de control electrónica | 131,49 | 1350* | 1296* |
| Precio sensores y actuadores | 225,12 | 225,12 | 225,12 |
| Precio total | \$356,61 | \$ 1575,12 | \$ 1521,12 |

Nota.* Precio referencial del fabricante en EE.UU. Fuente: Elaborado por el autor.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez implementado el proyecto y realizado todas las pruebas pertinentes se llega a las siguientes conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Con el desarrollo del proyecto se demostró que migrar de un sistema de alimentación de combustible basado a carburador a un sistema de inyección electrónica de combustible a motores de baja cilindrada como son motocicletas es factible ya que la utilización de componentes a ser instalados en el sistema son pocos.
- Con la utilización del sistema de inyección electrónica de combustible se encontró una disminución de consumo de combustible comparado con el sistema basado a carburador, esto es gracias a que la dosificación del combustible ingresado al motor es exacta ya que la cantidad está controlado desde la unidad de control electrónica.

- Con la utilización del sistema de inyección electrónica de combustible se encontró la disminución de gases contaminantes catalogados peligrosos para la salud como son el monóxido de carbono, comparado con el sistema basado a carburador, esto es debido a que la función que cumplen todos los sensores, actuadores y la unidad de control electrónica es enviar la cantidad exacta de combustible al motor.

- Se demuestra que la utilización de la plataforma Arduino Mega 2560 en ambientes industriales como es el sector automotriz es óptimo, características específicas como velocidad de procesamiento, adquisición de datos analógicos de manera rápida y precisa, múltiples pines de entrada salida generales y específicos lo hacen ideal para cualquier tipo de aplicación.

- Con los datos obtenidos del ministerio de salud pública, ministerio del ambiente, instituto ecuatoriano de normalización y la asociación de empresas automotrices del Ecuador, se sabe que Imbabura tiene el segundo lugar en tener la mejor calidad de aire en América Latina, pero con el crecimiento de motocicletas que hacen uso del carburador como sistema de alimentación de combustible puede tener riesgo a que los valores de contaminación aumenten.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda tener en óptimas condiciones mecánicas el motor ya que esto podría dar una mala lectura de los sensores y de esta forma podrían dar un mal funcionamiento de la unidad de control electrónica.

- Hay que tener mucho cuidado en la instalación de todos los sensores, cuidando la integridad en cuanto a su estructura ya que existen partes del motor donde existe una generación de calor capaz de producir daños tanto al equipo como a la integridad de la persona.
- Verificar de manera exhaustiva las conexiones eléctricas realizadas ya que podrían dar una mala lectura de los sensores debido a acoplamientos de ruido en las líneas de adquisición de datos de los sensores.
- Realizar una calibración correcta de la unidad de control electrónica es fundamental, ya que esto depende la generación de gases contaminantes en el proceso de combustión.
- Para tener un estudio más exhaustivo en cuanto a la cantidad y clases de contaminantes que se producen en el proceso de combustión de la motocicleta se recomienda ir a centros especializados en el análisis de gases contaminantes.
- Se recomienda para una posible continuación del proyecto implementar el sistema OBD-II¹⁶, para verificar el estado de funcionamiento de sensores y actuadores del motor.

¹⁶ OBD: On Board Diagnostics.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

Evans, B. (2011). *Beginning Arduino Programming*. Apress.

Michael, M. (2011). *Arduino Cookbook*. O'Reilly.

Barrett, S., Pack, D. (2008). *Atmel AVR Microcontroller Primer: Programming and Interfacing*. Morgan & Claypool Publishers.

Martí Parera, A. (1990). *Inyección electrónica en motores a gasolina*. Boixareu.

Rodríguez, J. (2012). *Mantenimiento de los sistemas auxiliares ciclo otto*. INNOVA.

Escudero, J. (2011). *Motores*. Macmillan Iberia, S.A.

Tocci, R. (2007). *Sistemas digitales: Principios y aplicaciones*. México: Prentice Hall.

Sadiku, M., Alexander, C. *Fundamentos de circuitos eléctricos*. México: McGraw-Hill.

Floyd, T. (2008). *Dispositivos electrónicos*. México: Pearson Educación.

Libros en línea

Rodríguez, J. (2012). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto*. España: IC Editorial. Recuperado 16 de noviembre de 2015, a partir de <http://site.ebrary.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=10692801&p00=mantenimiento+sistemas+auxiliares+del+motor+ciclo+otto>.

Carreras, R. (2005). *Motores alternativos de combustión interna*.

España: Universitat Politècnica de Catalunya.

Recuperado 16 de noviembre de 2015, a partir de <http://site.ebrary.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=11087166&p00=motores+alternativos+combusti%C3%B3n+interna>.

Secundino, J., Rivas, J. (2011). *Motores*. España: Macmillan Iberia, S.A.

Recuperado 16 de noviembre de 2015, a partir de <http://site.ebrary.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=10504975&p00=motores>.

Sánchez, E. (2008). *Sistemas auxiliares del motor*. España: Macmillan Iberia,

S.A. Recuperado 16 de noviembre de 2015, a partir de <http://site.ebrary.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=10504927&p00=sistemas+auxiliares+del+motor>.

Recursos bibliográficos en línea

Arduino - Home. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2015, a partir de <http://www.arduino.cc/>

MegaSquirt(R) FAQ Main Page. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2015, a partir de <http://www.megamanual.com/MSFAQ.htm>

Welcome to EFI Analytics! | tunerstudio.com. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2015, a partir de <http://www.tunerstudio.com/>

Automotive Library - diagnostic tutorials and case studies. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2015, a partir de <http://www.picoauto.com/automotive-library.html>

Programa Calidad del Aire Fase III | Ministerio del Ambiente. (s. f.). Recuperado 16 de enero de 2015, a partir de <https://www.ambiente.gob.ec/programa-calidad-del-aire-fase-iii/>

Sistemas de inyección electrónica. Bosch. (2008). Recuperado 22 de noviembre de 2015, a partir de <http://es.slideshare.net/ivanln/sistemas-de-inyeccionbosch>

Bujías y cables de encendido. Bosch. (2013). Recuperado 22 de enero de 2016, a partir de http://www.bosch.com.ar/ar/autopeças/produetos/catalogos/bujias_y_cables.pdf

MegaSquirt VE Table Determination using Oxygen Sensor Feedback Bowling/Grippo. Recuperado 22 de enero de 2016, a partir de http://www.megamanual.com/v22manual/ve_tuner.pdf

Megasquirt-2 Setting up. Megasquirt. (2015). Recuperado 22 de enero de 2016, a partir de http://www.msextra.com/doc/pdf/Megasquirt2_Setting_Up-3.3.pdf

Diagnostico por vibraciones en motores de combustión interna. Departamento de Mecánica Aplicada. (1998). Recuperado 22 de enero de 2016, a partir de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6288/1/UPS-CT002847.pdf>

Diagnóstico de fallos en la combustión para motores de combustión interna alternativos diesel por análisis de vibraciones. (2014). Recuperado 22 de enero de 2016, a partir de

<http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/download/405/762>

Megasquirt-3 Setting up. (2014). Recuperado 18 de septiembre del 2015, a partir de <http://www.msextra.com/manuals/ms3manuals/>

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ADC - Analog to Digital Converter, significa Conversor Análogo Digital. Es parte del circuito del CPU que traduce la señal de voltaje analógico variable a un valor digital. Los sensores TPS, MAP, CLT, IAT, Oxígeno envían su señal a un pin ADC del Arduino Mega 2560 para su operación.

AE - Acceleration Enrichment, significa Enriquecimiento de Aceleración. Es la mezcla aire combustible enriquecida proporcionada al motor cuando la señal del sensor de posición del acelerador cambia a distintas velocidades del motor.

AFR - Air Fuel Ratio, significa Relación de Aire Combustible. Es la relación de masas tanto de aire y de combustible el cual es ingresado al motor en la cámara de combustión.

ASE - After Start Enrichment, significa Enriquecimiento Después del Inicio. Es la mezcla enriquecida proporcionada al motor por un corto lapso de tiempo, ocurre cuando el motor pasa de estado de arranque a estado de ralentí.

ATDC - After Top Dead Center, significa Después del Punto Muerto Superior, es la posición del pistón en la cual ha pasado de la posición más alta y está descendiendo.

BTDC - Before Top Dead Center, significa Antes del Punto Muerto Superior, es la posición del pistón en la cual no llega a la posición más alta, pero está ascendiendo.

CAN - Controller Area Network, es un sistema de redes de automoción dedicada para permitir diferentes procesos, como enviar y recibir información de resultado de cálculos del motor.

CAS - Crank Angle Sensor, significa Sensor de ángulo del cigüeñal, permite determinar la posición del cigüeñal, generalmente en grados.

CID - Cubic Inch Displacement, significa Desplazamiento en Pulgadas Cúbicas, es la medida imperial del volumen de los cilindros del motor.

CHT - Cylinder Head Temperature, significa Temperatura en la Cabeza de Cilindro, se utiliza en lugar del sensor de temperatura del refrigerante (CLT) en los motores refrigerados por aire.

CLT o CTS - Coolant Temperature Sensor, significa Sensor de Temperatura del Refrigerante, por lo general, el sensor de CLT es un NTC (coeficiente negativo de temperatura) termistor, o una resistencia cuyo valor varía con la temperatura, significa que la resistencia disminuye a medida que la temperatura sube.

CPU - Central Processing Unit, significa Unidad Central de Procesamiento, es el procesador o microcontrolador de la ECU el cual realiza los cálculos para operar la función de inyección y encendido.

Datalog, es un registro de los parámetros del motor devueltos a través de la conexión de serie y grabados en un ordenador.

DC - Duty Cycle, significa Ciclo de Trabajo, es un número que indica el porcentaje de tiempo en la que los inyectores están activados, en un periodo de tiempo determinado.

ECU - Electronic Control Unit, significa Unidad de Control Electrónico es el término general para un controlador de inyección de combustible.

EGO Sensor - Exhaust Gas Oxygen Sensor, significa Sensor de Oxígeno de Gases de Escape, se utiliza para describir el estado de los gases de escape, si contienen poco o mucho combustible residual de esta manera la ECU, controla la dosificación de combustible a través de un algoritmo de retroalimentación llamado Closed – Loop.

EGR - Exhaust Gas Recirculation, significa Recirculación de Gases de Escape.

EGT - Exhaust Gas Temperature, significa temperatura de gases de escape.

FET - Field Effect Transistor, significa transistor de efecto de campo.

Idle - Fast Idle, significa ralentí rápido, es un dispositivo usado para controlar la velocidad de ralentí con aire adicional suministrada por un solenoide de vacío.

Gamma, Se utiliza para indicar el cambio de una cantidad de combustible a partir de la cantidad calculada.

IAC - Idle Air Controller, significa Controlador de Aire de Ralentí, se refiere a un controlador para motores de paso para controlar el ingreso de aire en ralentí.

IAT - Intake Air Temperature Sensor, significa Sensor de Temperatura del Aire, este sensor mide la temperatura del aire que ingresa al motor.

IGBT - Insulated Gate Bipolar Transistor, es un tipo de transistor especialmente adecuado para el accionamiento de las bobinas de encendido.

MAF - Mass Air Flow sensor, significa Sensor de Flujo de Masa de Aire, es un sensor utilizado para medir el flujo de aire a través del tubo de admisión.

MAP Sensor - Manifold Absolute Pressure Sensor, significa Sensor de Presión Absoluta del Colector, calcula la presión absoluta en el colector de admisión relacionado con el vacío del motor, para determinar la cantidad de combustible inyectada al motor.

MAT Sensor - Manifold Air Temperature sensor, significa Sensor de Temperatura de Aire del Colector, es idéntico al sensor IAT.

NB-EGO Sensor - Narrow Band EGO sensor, significa Sensor EGO de Banda Estrecha, da un cambio en la relación estequiométrica (la mezcla químicamente correcta de aire y combustible), pero poco fiable para AFR que no sea estequiométrica.

OBDII - On Board Diagnostics, significa Diagnostico a bordo II, es la segunda versión del OBD, implantado por los EE.UU para la regulación de contaminantes, este sistema verifica el estado de los sensores involucrados en el control de emisiones así como también el aviso de fallas de los sensores.

Open Loop, significa Lazo abierto, se refiere a un sistema en la cual ignora la retroalimentación del sensor de oxígeno.

PCB - Printed Circuit Board, significa Placa de Circuito Impreso - el tablero de fibra de vidrio que tiene la disposición de los componentes electrónicos y circuitos impresos en él.

PW - Pulse Width, significa Ancho de Pulso, es la cantidad de tiempo que se aplica una señal durante cada período. Por ejemplo, es la cantidad de tiempo en la que el inyector inyecta combustible.

PWM - Pulse Width Modulation, significa Modulación por Ancho de Pulso, es una técnica en la cual se modifica el ciclo de trabajo de la señal.

REQ_FUEL - Required Fuel, significa Combustible Requerido es el ancho de pulso aplicado al inyector necesaria para abastecer el combustible para un solo evento de inyección en la combustión estequiométrica, la eficiencia volumétrica del 100% y temperatura estándar.

RPM - Revolutions Per Minute, significa Revoluciones Por Minuto, es una medida de la velocidad del motor, es el número de veces que el cigüeñal completa una revolución completa en 60 segundos.

TBI - Throttle Body Injection, significa Cuerpo de Aceleración de Inyección, es una forma de inyección de combustible en la que se inyecta por encima de la válvula reguladora. Se utiliza típicamente en los motores de mayor cilindrada ya que el tiempo de vaporización es más largo que con la inyección de puerto.

TPS - Throttle Position Sensor, significa Sensor de Posición del Acelerador, es un divisor de tensión que proporciona información a la ECU acerca de la apertura del acelerador.

VE - Volumetric Efficiency, significa Eficiencia Volumétrica, es la cantidad real de aire que se bombea por el motor en comparación con su máximo teórico.

Sensor VR - Variable Reluctor Sensor, significa Sensor Reluctor Variable es un sensor de tipo inductivo, es decir, que no requiere de una fuente de alimentación, y tiene un pequeño imán incorporado.

WB-EGO Sensor - Wide Band EGO sensor, significa Sensor EGO de Banda Ancha, puede ser utilizada para obtener datos reales AFR con mezclas de 10:1 a 20:1

WOT - Wide Open Throttle, significa Mariposa de aceleración totalmente abierta.

WUE - Warm Up Enrichment, significa Enriquecimiento de Calentamiento, es la mezcla enriquecida aplicada cuando la temperatura del refrigerante es baja.

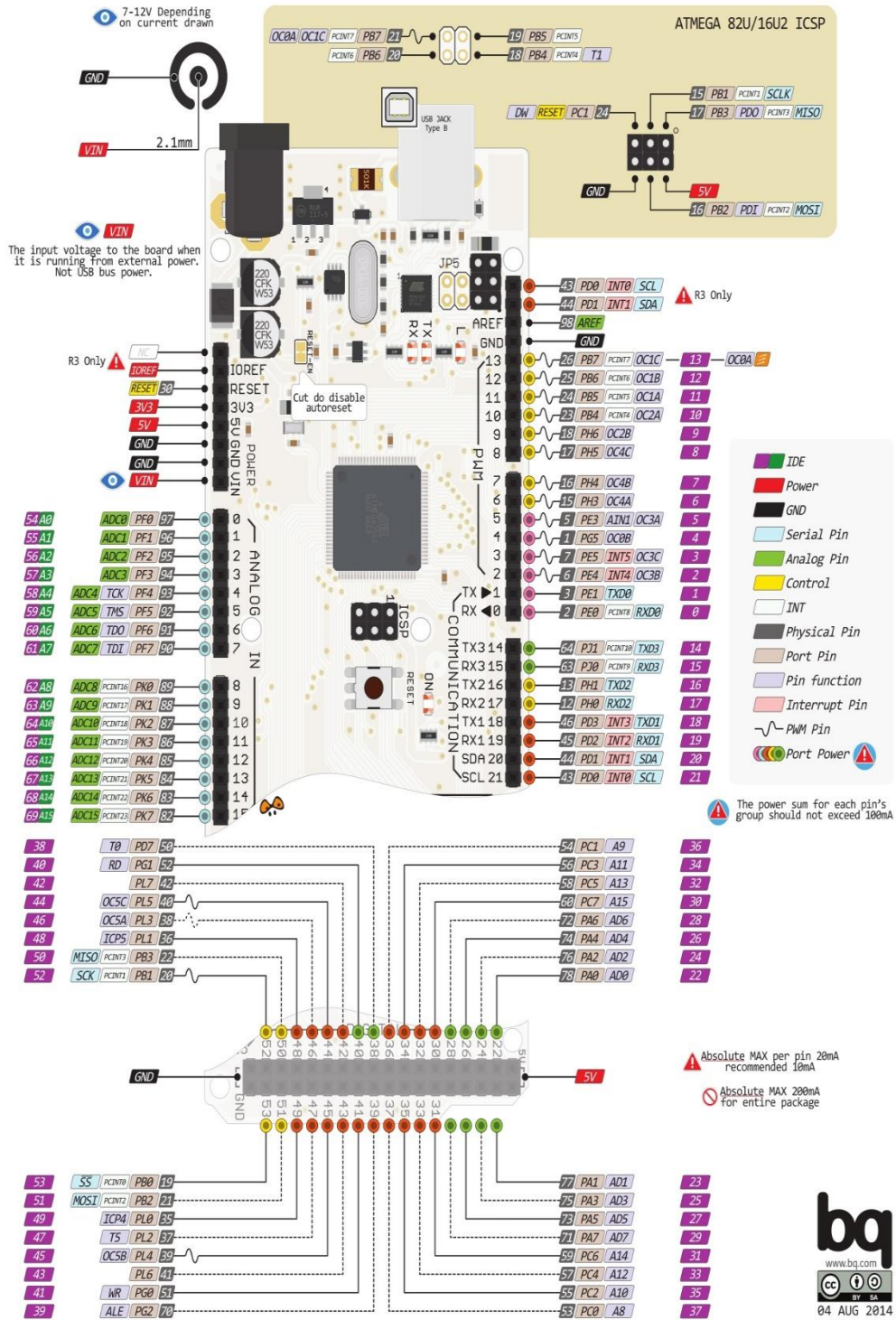
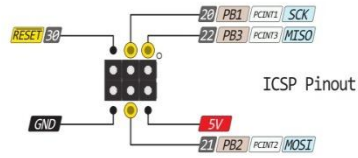
ANEXOS

- **PIN OUT ARDUINO MEGA 2560**
- **DATASHEET ARDUINO MEGA 2560**
- **DATASHEET IRF640**
- **DATASHEET MPX4115A**
- **PRUEBAS DE EMISION DE GASES CONTAMINANTES**
- **MANUAL DE MANTENIMIENTO Y SOLUCION DE PROBLEMAS**

ANEXO 1

PINOUT ARDUINO MEGA 2560

MEGA PINOUT



ANEXO 2

DATASHEET ARDUINO MEGA 2560

Features

- High Performance, Low Power Atmel® AVR® 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 135 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16MHz
 - On-Chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 64K/128K/256KBytes of In-System Self-Programmable Flash
 - 4Kbytes EEPROM
 - 8Kbytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles:10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/ 100 years at 25°C
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
 - Endurance: Up to 64Kbytes Optional External Memory Space
- Atmel® QTouch® library support
 - Capacitive touch buttons, sliders and wheels
 - QTouch and QMatrix® acquisition
 - Up to 64 sense channels
- JTAG (IEEE std. 1149.1 compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - Four 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare- and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four 8-bit PWM Channels
 - Six/Twelve PWM Channels with Programmable Resolution from 2 to 16 Bits (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - Output Compare Modulator
 - 8/16-channel, 10-bit ADC (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - Two/Four Programmable Serial USART (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte Oriented 2-wire Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 54/86 Programmable I/O Lines (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - 64-pad QFN/MLF, 64-lead TQFP (ATmega1281/2561)
 - 100-lead TQFP, 100-ball CBGA (ATmega640/1280/2560)
 - RoHS/Fully Green
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C Industrial
- Ultra-Low Power Consumption
 - Active Mode: 1MHz, 1.8V: 500µA
 - Power-down Mode: 0.1µA at 1.8V
- Speed Grade:
 - ATmega640V/ATmega1280V/ATmega1281V:
 - 0 - 4MHz @ 1.8V - 5.5V, 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V
 - ATmega2560V/ATmega2561V:
 - 0 - 2MHz @ 1.8V - 5.5V, 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V
 - ATmega640/ATmega1280/ATmega1281:
 - 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V, 0 - 16MHz @ 4.5V - 5.5V
 - ATmega2560/ATmega2561:
 - 0 - 16MHz @ 4.5V - 5.5V



**8-bit Atmel
Microcontroller
with
64K/128K/256K
Bytes In-System
Programmable
Flash**

**ATmega640/V
ATmega1280/V
ATmega1281/V
ATmega2560/V
ATmega2561/V**

2549P-AVR-10/2012



ANEXO 3

DATASHEET IRF640



IRF640 IRF640FP

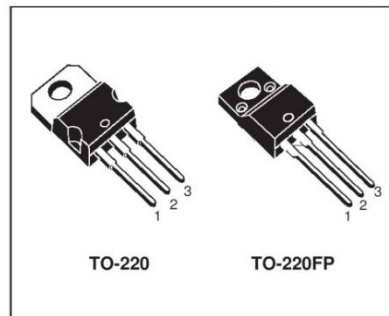
N - CHANNEL 200V - 0.150Ω - 18A TO-220/TO-220FP
MESH OVERLAY™ MOSFET

| TYPE | V _{DSS} | R _{DS(on)} | I _D |
|----------|------------------|---------------------|----------------|
| IRF640 | 200 V | < 0.18 Ω | 18 A |
| IRF640FP | 200 V | < 0.18 Ω | 18 A |

- TYPICAL R_{DS(on)} = 0.150 Ω
- EXTREMELY HIGH dV/dt CAPABILITY
- VERY LOW INTRINSIC CAPACITANCES
- GATE CHARGE MINIMIZED

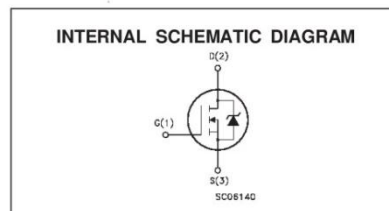
DESCRIPTION

This power MOSFET is designed using the company's consolidated strip layout-based MESH OVERLAY™ process. This technology matches and improves the performances compared with standard parts from various sources.



APPLICATIONS

- HIGH CURRENT SWITCHING
- UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY (UPS)
- DC/DC CONVERTERS FOR TELECOM, INDUSTRIAL, AND LIGHTING EQUIPMENT.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| Symbol | Parameter | Value | | Unit |
|---------------------|---|------------|----------|------|
| | | IRF640 | IRF640FP | |
| V _{DS} | Drain-source Voltage (V _{GS} = 0) | 200 | | V |
| V _{DGR} | Drain- gate Voltage (R _{GS} = 20 kΩ) | 200 | | V |
| V _{GS} | Gate-source Voltage | ± 20 | | V |
| I _D | Drain Current (continuous) at T _C = 25 °C | 18 | 18(**) | A |
| I _D | Drain Current (continuous) at T _C = 100 °C | 11 | 11(**) | A |
| I _{DM} (*) | Drain Current (pulsed) | 72 | 72 | A |
| P _{tot} | Total Dissipation at T _C = 25 °C | 125 | 40 | W |
| | Derating Factor | 1.0 | 0.32 | W/°C |
| dv/dt(1) | Peak Diode Recovery voltage slope | 5 | 5 | V/ns |
| V _{ISO} | Insulation Withstand Voltage (DC) | 2000 | | V |
| T _{stg} | Storage Temperature | -65 to 150 | | °C |
| T _J | Max. Operating Junction Temperature | 150 | | °C |

(*) Pulse width limited by safe operating area (1) I_{SD} ≤ 18A, di/dt ≤ 300 A/μs, V_{DD} ≤ V_{BR(DSS)}, T_J ≤ T_{JMAX}
First Digit of the Datecode Being Z or K Identifies Silicon Characterized in this Datasheet

(**) Limited only by Maximum Temperature Allowed

IRF640/FP

THERMAL DATA

| | | | TO-220 | TO-220FP | |
|----------------|--|-----|--------|----------|-----------------------------|
| $R_{thj-case}$ | Thermal Resistance Junction-case | Max | 1.0 | 3.12 | $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ |
| $R_{thj-amb}$ | Thermal Resistance Junction-ambient | Max | | 62.5 | $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ |
| $R_{thc-sink}$ | Thermal Resistance Case-sink | Typ | | 0.5 | $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ |
| T_l | Maximum Lead Temperature For Soldering Purpose | | | 300 | $^{\circ}\text{C}$ |

AVALANCHE CHARACTERISTICS

| Symbol | Parameter | Max Value | Unit |
|----------|--|-----------|------|
| I_{AR} | Avalanche Current, Repetitive or Not-Repetitive (pulse width limited by T_j max) | 18 | A |
| E_{AS} | Single Pulse Avalanche Energy (starting $T_j = 25^{\circ}\text{C}$, $I_D = I_{AR}$, $V_{DD} = 50\text{ V}$) | 280 | mJ |

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{case} = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

OFF

| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|---------------|--|--|------|------|-----------|--------------------------------|
| $V_{(BR)DSS}$ | Drain-source Breakdown Voltage | $I_D = 250\ \mu\text{A}$ $V_{GS} = 0$ | 200 | | | V |
| I_{DSS} | Zero Gate Voltage Drain Current ($V_{GS} = 0$) | $V_{DS} = \text{Max Rating}$ $V_{DS} = \text{Max Rating}$ $T_c = 125^{\circ}\text{C}$ | | | 1 10 | μA μA |
| I_{GSS} | Gate-body Leakage Current ($V_{DS} = 0$) | $V_{GS} = \pm 20\text{ V}$ | | | ± 100 | nA |

ON (*)

| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|--------------|-----------------------------------|---|------|------|------|----------|
| $V_{GS(th)}$ | Gate Threshold Voltage | $V_{DS} = V_{GS}$ $I_D = 250\ \mu\text{A}$ | 2 | 3 | 4 | V |
| $R_{DS(on)}$ | Static Drain-source On Resistance | $V_{GS} = 10\text{ V}$ $I_D = 9\text{ A}$ | | 0.15 | 0.18 | Ω |
| $I_{D(on)}$ | On State Drain Current | $V_{DS} > I_{D(on)} \times R_{DS(on)max}$ $V_{GS} = 10\text{ V}$ | 18 | | | A |

DYNAMIC

| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|----------------|------------------------------|--|------|------|------|------|
| $g_{fs}^{(*)}$ | Forward Transconductance | $V_{DS} > I_{D(on)} \times R_{DS(on)max}$ $I_D = 9\text{ A}$ | 7 | 11 | | S |
| C_{iss} | Input Capacitance | $V_{DS} = 25\text{ V}$ $f = 1\text{ MHz}$ $V_{GS} = 0$ | | 1200 | 1560 | pF |
| C_{oss} | Output Capacitance | | | 200 | 260 | pF |
| C_{rss} | Reverse Transfer Capacitance | | | | 60 | 80 |

IRF640/FP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

SWITCHING ON

| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|-------------|--------------------|--|------|------|------|------|
| $t_{d(on)}$ | Turn-on Time | $V_{DD} = 100\text{ V}$ $I_D = 9\text{ A}$ | | 13 | 17 | ns |
| t_r | Rise Time | $R_G = 4.7\ \Omega$ $V_{GS} = 10\text{ V}$ (see test circuit, figure 3) | | 27 | 35 | ns |
| Q_g | Total Gate Charge | $V_{DD} = 160\text{ V}$ $I_D = 18\text{ A}$ $V_{GS} = 10\text{ V}$ | | 55 | 72 | nC |
| Q_{gs} | Gate-Source Charge | | | 10 | | nC |
| Q_{gd} | Gate-Drain Charge | | | 21 | | nC |

SWITCHING OFF

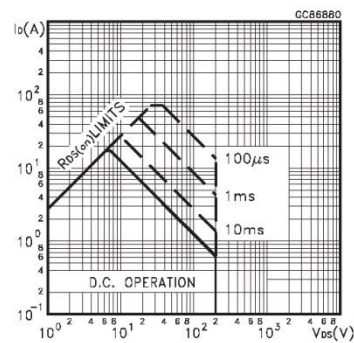
| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|---------------|-----------------------|--|------|------|------|------|
| $t_{r(Voff)}$ | Off-voltage Rise Time | $V_{DD} = 160\text{ V}$ $I_D = 18\text{ A}$ | | 21 | 27 | ns |
| t_f | Fall Time | $R_G = 4.7\ \Omega$ $V_{GS} = 10\text{ V}$ (see test circuit, figure 5) | | 25 | 32 | ns |
| t_c | Cross-over Time | | | 50 | 65 | ns |

SOURCE DRAIN DIODE

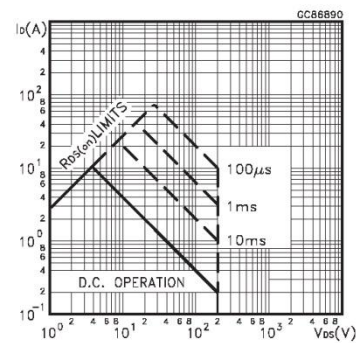
| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|--------------------|-------------------------------|---|------|------|------|---------------|
| I_{SD} | Source-drain Current | | | | 18 | A |
| $I_{SDM}(\bullet)$ | Source-drain Current (pulsed) | | | | 72 | A |
| $V_{SD}(\ast)$ | Forward On Voltage | $I_{SD} = 18\text{ A}$ $V_{GS} = 0$ | | | 1.5 | V |
| t_{rr} | Reverse Recovery Time | $I_{SD} = 18\text{ A}$ $di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$ $V_{DD} = 50\text{ V}$ $T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$ (see test circuit, figure 5) | | 240 | | ns |
| Q_{rr} | Reverse Recovery Charge | | | 1.8 | | μC |
| I_{RRM} | Reverse Recovery Current | | | 15 | | A |

(*) Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5 %
 (•) Pulse width limited by safe operating area

Safe Operating Area for TO-220



Safe Operating Area for TO-220FP



ANEXO 4

DATASHEET MPX4115AP

Integrated Silicon Pressure Sensor Altimeter/Barometer Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated

The MPX4115 series is designed to sense absolute air pressure in an altimeter or barometer (BAP) applications. Freescale's BAP sensor integrates on-chip, bipolar op amp circuitry and thin film resistor networks to provide a high level analog output signal and temperature compensation. The small form factor and high reliability of on-chip integration makes the Freescale BAP sensor a logical and economical choice for application designers.

Features

- 1.5% Maximum Error over 0° to 85°
- Ideally suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems
- Available in Absolute, Differential and Gauge Configurations
- Durable Epoxy Unibody Element
- Easy-to-Use Chip Carrier Option

Typical Applications

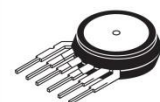
- Altimeter
- Baromete

| ORDERING INFORMATION ⁽¹⁾ | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------|--------------|----------------------|-----------|
| Device | Options | Case No. | MPX Series Order No. | Marking |
| Basic Element | Absolute, Element Only | Case 867-08 | MPX4115A | MPX4115A |
| Ported Elements | Absolute, Ported | Case 867B-04 | MPX4115AP | MPX4115AP |
| | Absolute, Stove Pipe Port | Case 867E-03 | MPX4115AS | MPX4115A |
| | Absolute, Axial Port | Case 867F-03 | MPX4115ASX | MPX4115A |

1. The MPX4115A BAP Sensor is available in the Basic Element package or with pressure port fittings that provide mounting ease and barbed hose connections.

MPX4115 SERIES

OPERATING OVERVIEW
INTEGRATED
PRESSURE SENSOR
15 to 115kPa
(2.18 to 16.7 psi)
0.2 to 4.8 Volts Output



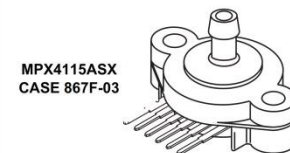
MPX4115A
CASE 867-08



MPX4115AP
CASE 867B-04



MPX4115AS
CASE 867E-03



MPX4115ASX
CASE 867F-03

PIN NUMBERS

| | | | |
|---|-----------------|---|--------------------|
| 1 | $V_{OUT}^{(1)}$ | 4 | N/C ⁽²⁾ |
| 2 | GND | 5 | N/C ⁽²⁾ |
| 3 | V_S | 6 | N/C ⁽²⁾ |

1. Pin 1 is noted by the notch in the lead.
2. Pins 4, 5, and 6 are internal device connections. Pin 1 is noted by the notch in the Lead. Do not connect to external circuitry or ground.

Table 2. Operating Characteristics

($V_S = 5.1$ Vdc, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted, P1 > P2 Decoupling circuit shown in Figure 3 required to meet electrical specifications.)

| Characteristic | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|---|-----------|-------|-------|-------|-------------|
| Pressure Range ⁽¹⁾ | P_{OP} | 15 | - | 115 | kPa |
| Supply Voltage ⁽²⁾ | V_S | 4.85 | 5.1 | 5.35 | Vdc |
| Supply Current | I_o | — | 7.0 | 10 | mAdc |
| Minimum Pressure Offset ⁽³⁾ @ $V_S = 5.1$ Volts | V_{off} | 0.135 | 0.204 | 0.273 | Vdc |
| Full Scale Output ⁽⁴⁾ @ $V_S = 5.1$ Volts | V_{FSO} | 4.725 | 4.794 | 4.863 | Vdc |
| Full Scale Span ⁽⁵⁾ @ $V_S = 5.1$ Volts | V_{FSS} | — | 4.59 | — | Vdc |
| Accuracy ⁽⁶⁾ | — | — | — | ±1.5 | % V_{FSS} |
| Sensitivity | V/P | — | 46 | — | mV/kPa |
| Response Time ⁽⁷⁾ | t_R | — | 1.0 | — | ms |
| Output Source Current at Full Scale Output | I_o^+ | — | 0.1 | — | mAdc |
| Warm-Up Time ⁽⁸⁾ | — | — | 20 | — | mSec |
| Offset Stability ⁽⁹⁾ | — | — | ±0.5 | — | % V_{FSS} |

1. 1.0kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.

2. Device is ratiometric within this specified excitation range.

3. Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.

4. Full Scale Output (V_{FSO}) is defined as the output voltage at the maximum or full rated pressure.

5. Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.

6. Accuracy (error budget) consists of the following:

Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure, using end point method, over the specified pressure range.

Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.

Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure at 25°C .

TcSpan: Output deviation over the temperature range of 0° to 85°C , relative to 25°C .

TcOffset: Output deviation with minimum pressure applied, over the temperature range of 0° to 85°C , relative to 25°C .

Variation from Nominal: The variation from nominal values, for Offset or Full Scale Span, as a percent of V_{FSS} at 25°C .

7. Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.

8. Warm-up is defined as the time required for the product to meet the specified output voltage after the Pressure has been stabilized.

9. Offset stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

Table 3. Mechanical Characteristics

| Characteristic | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|--|--------|-----|-----|-----|-------|
| Weight, Basic Element (Case 867) | — | — | 4.0 | — | Grams |
| Common Mode Line Pressure ⁽¹⁾ | — | — | — | 690 | kPa |

1. Common mode pressures beyond what is specified may result in leakage at the case-to-lead interface.

Figure 2 illustrates the absolute sensing chip in the basic chip carrier (Case 867). A fluorosilicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the sensor diaphragm. The MPX4115A series pressure sensor operating characteristics, and internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media, other than dry air, may have adverse effects on

sensor performance and long-term reliability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.

Figure 4 shows the sensor output signal relative to pressure input. Typical, minimum, and maximum output curves are shown for operation over a temperature range of 0° to 85°C. (The output will saturate outside of the specified pressure range.)

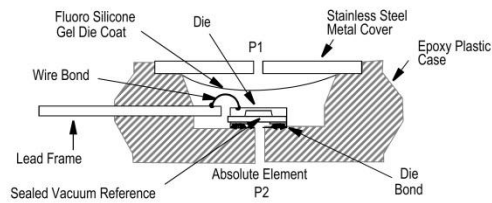


Figure 2. Cross-Sectional Diagram (Not to Scale)

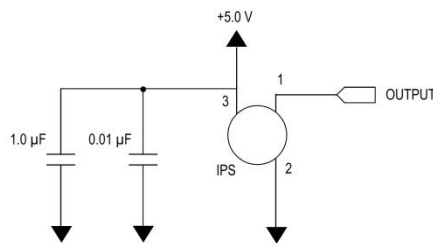


Figure 3. Recommended Power Supply Decoupling.

(For output filtering recommendations, please refer to Application Note AN1646.)

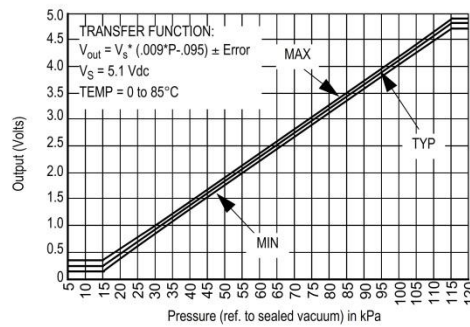


Figure 4. Output versus Absolute Pressure

ANEXO 5

PRUEBAS DE EMISION DE GASES CONTAMINANTES

Prueba de emisión de gases en marcha mínima aprox. 1500 RPM con sistema de inyección electrónica de combustible.



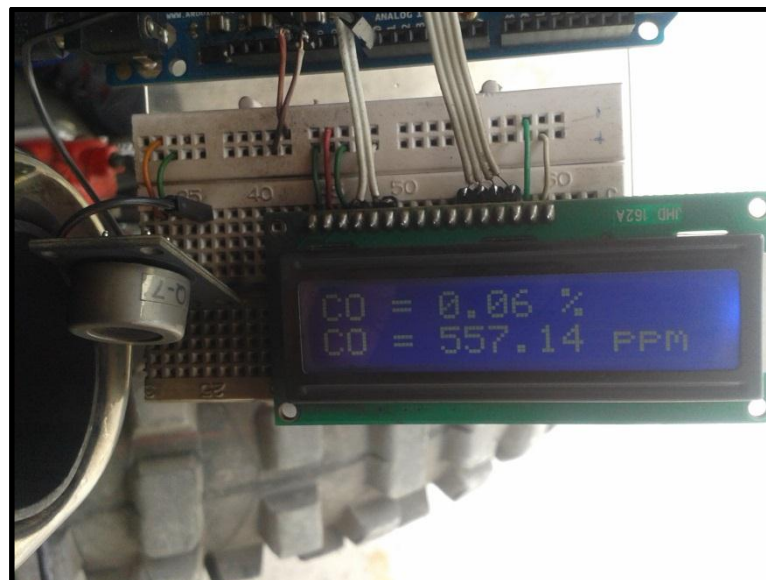
Prueba de emisión de gases a 5000 RPM con sistema de inyección electrónica de combustible.



Prueba de emisión de gases en marcha mínima aprox. 1500 RPM con sistema a carburador.



Prueba de emisión de gases a 5000 RPM con sistema a carburador.



ANEXO 6

**MANUAL DE MANTENIMIENTO Y LOCALIZACIÓN BÁSICA DE
AVERIAS**

Mantenimiento de sensores y actuadores

El mantenimiento de sensores y actuadores y la unidad de control electrónica y partes internas del motor es fundamental para el correcto funcionamiento del mismo a continuación se detallará una guía rápida de mantenimiento.

Mantenimiento del sistema de alimentación de combustible e inyector

Es recomendable estar siempre abastecido el tanque de combustible ya que al no poseer la bomba no succionará combustible pudiendo ocasionar daños en la bomba.

Verificar la presión de salida de combustible con un manómetro, la bomba de combustible por lo general pierde presión conforme su utilización, se recomienda realizar una verificación cada 100 mil kilómetros de recorrido.

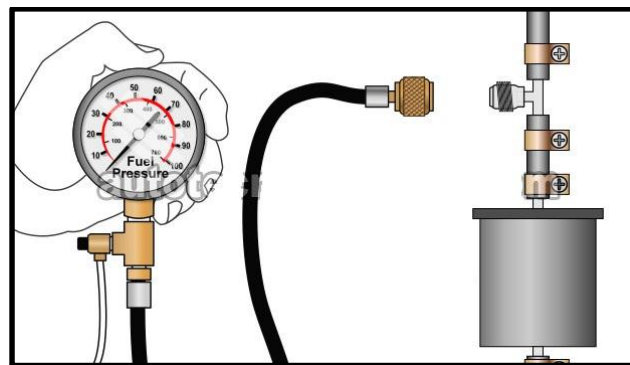


Figura 106. Prueba de presión de bomba de combustible.

Fuente: <http://goo.gl/8Mmmvv>

Realizar un cambio del filtro de combustible cada 30 mil kilómetros de esta manera se evita un taponamiento del inyector ya que siempre existen impurezas en el combustible.



Figura 107. Filtro de combustible.

Fuente: <http://goo.gl/Azxric>

Se recomienda realizar una limpieza del inyector cada 40 mil kilómetros en un banco de pruebas y lavado por ultrasonido de esta manera se limpia el inyector en su parte interna de esta manera se asegura una atomización efectiva del combustible inyectado al motor.



Figura 108. Banco de pruebas de inyectores.

Fuente: <http://goo.gl/uz3ZjH>

De esta forma se garantiza el correcto funcionamiento de todo el sistema de combustible además de alargar la vida útil de los dispositivos, además se garantiza reducir el consumo de combustible y gases contaminantes.

Mantenimiento del sistema de ignición

Se recomienda realizar el cambio de bujía cada 60 mil kilómetros, además se recomienda revisar el estado de la bujía para determinar el funcionamiento del motor. A continuación se detalla el estado de las bujías y su interpretación.





| | |
|--|---|
|  | 1 2 Normal Pie del aislador, de color blanco grisáceo o gris amarillento hasta pardo corzo. El motor está a punto. Grado térmico correctamente elegido. El ajuste de la mezcla y el encendido son perfectos, no hay fallas de encendido y el sistema de arranque en frío funciona bien. No hay residuos de aditivos de plomo del combustible ni de componentes de aleación del aceite del motor. No existe sobrecarga térmica. |
|  | 3 4 Bujía cubierta de hollín Pie del aislador, electrodos y cuerpo de bujía cubiertos de hollín de color negro mate y aspecto aterciopelado. Causa: ajuste incorrecto de la mezcla (carburador, inyección); mezcla demasiado rica, filtro de aire muy sucio; dispositivo automático de control del caudal de arranque defectuoso, o excesivo uso del cebador; recorridos predominantemente cortos; bujía demasiado "fría", valor característico del grado térmico demasiado bajo. Repercusión: fallas del encendido, dificultades al arrancar. Remedio: ajustar correctamente la mezcla y el dispositivo del control automático del caudal de arranque; revisar el filtro del aire. |
|  | 5 6 Bujía engrasada Pie del aislador, electrodos y cuerpo de bujía cubiertos de hollín aceitoso brillante o de carbonilla de aceite. Causa: demasiado aceite en la cámara de combustión. Excesivo nivel de aceite; segmentos de pistón, cilindros y guías de válvula muy desgastados. En motores de dos tiempos, demasiado aceite en la mezcla. Repercusión: fallas del encendido, dificultades al arrancar. Remedio: repasar el motor, mezcla correcta de combustible y aceite; bujías nuevas. |
|  | 7 8 Depósito de plomo El pie del aislador presenta en algunos puntos una vitrificación pardo amarillenta, que puede alcanzar una coloración verde. |



Figura 109. Estados de bujías de encendido.

Fuente: Bujías y cables de encendido Bosch.

También verificar si la chispa de encendido es débil y hacer una inspección de la bobina de ignición verificando si existe sobrecalentamiento.

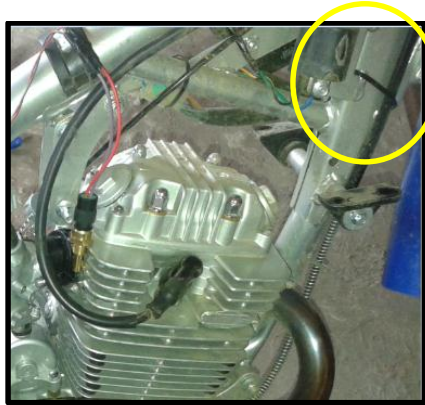


Figura 110. Ubicación de bobina de ignición.
Fuente: Elaborado por el autor.

Mantenimiento de sensores

Por lo general los sensores no tienen un tiempo de vida útil determinado pero la falla de alguno de ellos puede provocar un mal funcionamiento del motor. La correcta instalación y cuidado del cableado de todos los sensores es fundamental para su correcto funcionamiento. Alguna falla de algún sensor se la puede verificar en el tablero de instrumentos de TunerStudio.

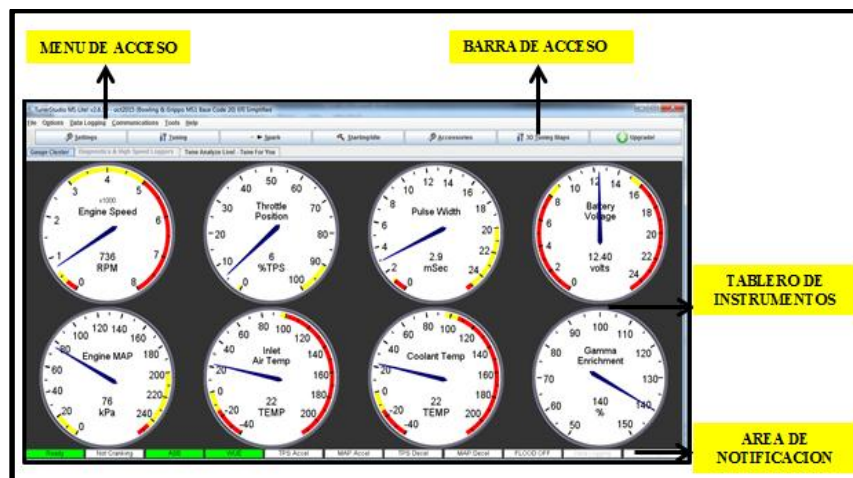


Figura 111. Visualización de tablero de instrumentos de TunerStudio.
Fuente: Elaborado por el autor.

SENSOR DE OXÍGENO

Síntomas de fallas:

- Las emisiones fallan.
- Altos niveles de consumo de combustible.

Diagnóstico y mantenimiento:

- Verificar periódicamente las emisiones.
- Reemplazar según las especificaciones del fabricante.
- Revisar que el voltaje este variando, cuando el motor se encuentra a su temperatura de operación.

SENSOR CLT - IAT

Síntomas de fallas:

- El motor tarda en arrancar en frío y en caliente.
- Consumo excesivo de combustible.
- Niveles de CO muy altos.
- Problemas de sobrecalentamiento.

Diagnóstico y mantenimiento:

- Se conecta el multímetro a la punta izquierda del sensor, que es la de corriente y se prueba el voltaje que debe dar un valor de 4.61V.
- Se conecta el multímetro en ohm y se verifica la resistencia.

Sensor CKP

Síntomas de fallas:

- El motor no arranca.
- El motor jalonea.

- Puede apagarse el motor espontáneamente.

Diagnóstico y mantenimiento:

- Continuidad de los dos cables.
- Revisar con un multímetro, la señal variable que genera al momento de encender el motor.
- Reemplace cuando sea necesario.

SENSOR TPS

Síntomas de fallas:

- La marcha mínima es variable; hay más o menos RPM de las que normalmente existen.
- Se presenta titubeo y ahogamiento durante la desaceleración.
- Bajo rendimiento del motor, o mayor consumo de combustible.

Diagnóstico y mantenimiento:

- Revisar que no existan daños externos
- Comprobar un buen contacto eléctrico
- Medir el voltaje enviado de la computadora, aproximadamente 5V
- Revisar con el multímetro la resistencia cuando la mariposa está cerrada y abriéndola lentamente la resistencia debe variar de igual manera
- Verificar la resistencia cuando la mariposa está completamente abierta

La calibración de la unidad de control electrónica está realizada de tal manera que su valor en la medición del sensor de oxígeno en cuanto a la relación aire

combustible oscila entre 14.6:1 a 14.8:1, si hay alguna variación de este valor ya sea por debajo o por encima de estos valores es que hay algún problema en la información que envían los sensores a la unidad de control electrónica.

LOCALIZACIÓN BÁSICA DE AVERÍAS

Tabla 11: Localización básica de averías

| SÍNTOMA PRINCIPAL | PROCEDIMIENTO DE DIAGNÓSTICO | COMPROBAR TAMBIÉN |
|--|---|--|
| No puede arrancar (El motor no gira.) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Compruebe la batería 2. Compruebe el motor de arranque 3. Compruebe conmutador de arranque | |
| No puede arrancar (Combustión incompleta) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Compruebe la batería 2. Compruebe la presión de combustible 3. Compruebe el circuito de encendido | <ul style="list-style-type: none"> • Compresión baja • Fugas de aire de admisión • Combustible sucio |
| Es difícil arrancar | <ol style="list-style-type: none"> 1. Compruebe la batería 2. Compruebe la presión de combustible 3. Compruebe el sensor CKP 4. Compruebe el circuito de encendido | <ul style="list-style-type: none"> • Compresión baja • Fugas de aire de admisión • Combustible sucio • Chispa de encendido débil |
| Ralentí pobre (Ralentí irregular, inestable o incorrecto) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Compruebe la presión de combustible 2. Compruebe el inyector. 3. Revise y compruebe el colector de admisión. 4. Compruebe el sensor y el circuito CLT | <ul style="list-style-type: none"> • Compresión baja • Fugas de aire de admisión • Combustible sucio • Chispa de encendido débil |
| El motor se cala | <ol style="list-style-type: none"> 1. Compruebe la batería 2. Compruebe la presión de combustible 3. Compruebe sensor de oxígeno 4. Compruebe el circuito de encendido 5. Compruebe el sensor CKP | <ul style="list-style-type: none"> • Fugas de aire de admisión • Combustible sucio • Chispa de encendido débil |
| Dificultad de conducción | <ol style="list-style-type: none"> 1. Compruebe la presión de combustible 2. Revise y compruebe el colector de admisión. 3. Compruebe el circuito de encendido 4. Compruebe el sensor y el circuito CLT 5. Compruebe posibles restricciones en el sistema de Escape. | <ul style="list-style-type: none"> • Compresión baja • Fugas de aire de admisión • Combustible sucio • Chispa de encendido débil |

| 6. Compruebe sensor de oxígeno | | |
|--------------------------------|---|--|
| Consumo elevado | <ol style="list-style-type: none"> 1. Compruebe los hábitos de conducción del cliente <ul style="list-style-type: none"> • ¿Están los neumáticos a la presión correcta? • ¿Se está transportando una carga excesivamente pesada? • ¿Se produce demasiada aceleración, demasiado a menudo? 2. Compruebe la presión de combustible 3. Compruebe el inyector. 4. Compruebe posibles restricciones en el sistema de escape 5. Compruebe el sensor de oxígeno | <ul style="list-style-type: none"> • Compresión baja • Fugas de aire de admisión • Combustible sucio • Chispa de encendido débil |

Nota. Fuente: Elaborado por el Autor.

ANEXO 7

**MANUAL DE INSTALACION DE TUNERSTUDIO Y GUIA PARA
CREACION DE PROYECTO**

INSTALACIÓN DE TUNERSTUDIO

1. Descargar el paquete TunerStudio MS version 2.6.19 del siguiente link:

<http://tunerstudio.com/index.php/downloads>



Figura 112. Página de descarga de TunerStudio.
Fuente: <http://tunerstudio.com/index.php/downloads>.

2. Ejecutar el paquete de instalación.

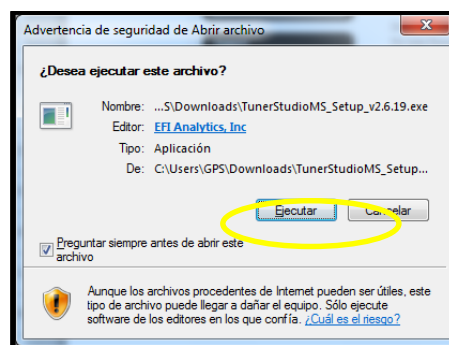


Figura 113. Proceso de instalación de TunerStudio.
Fuente: Elaborado por el autor.

3. Realizar las indicaciones del proceso de instalación.

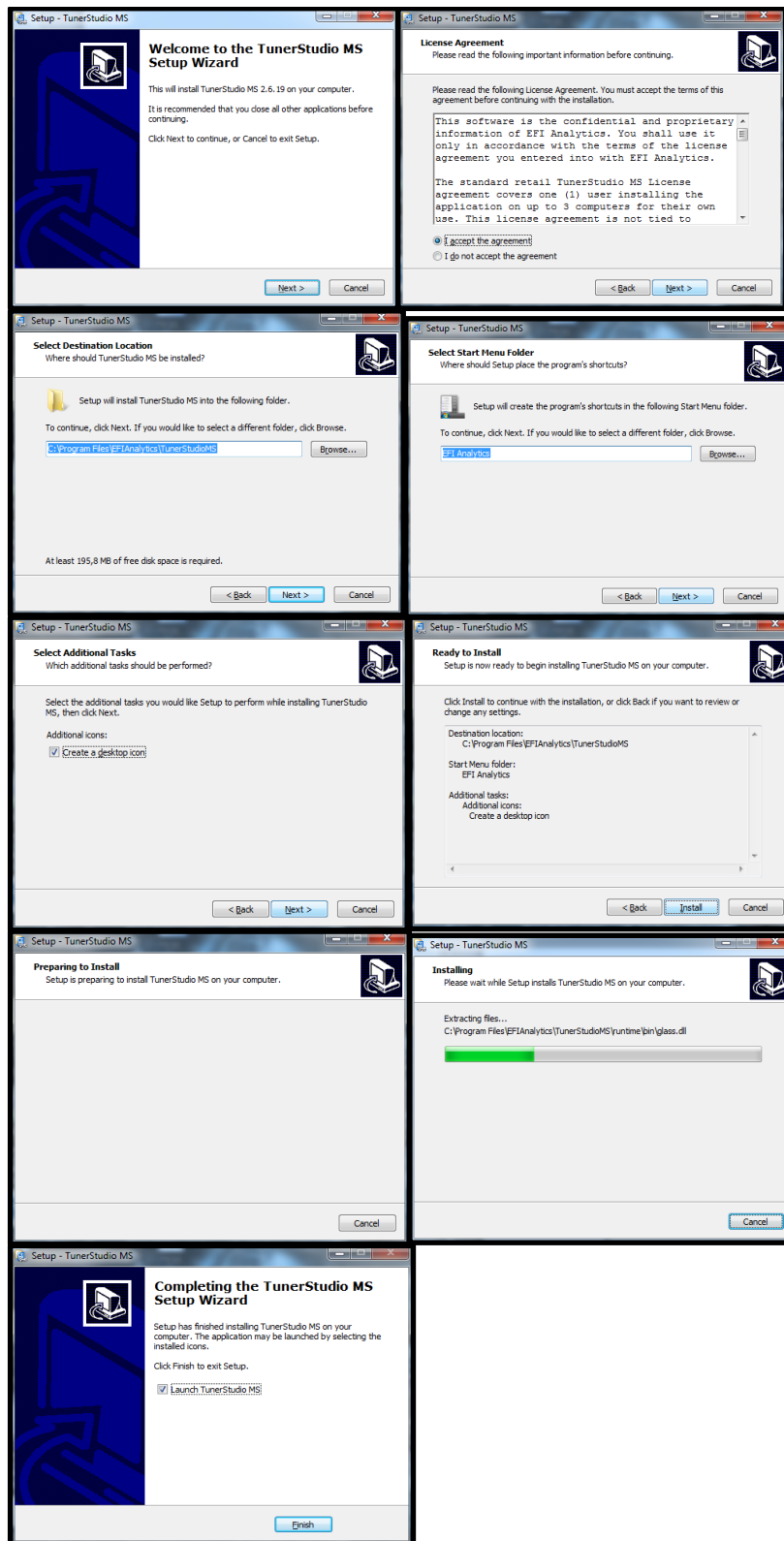


Figura 114. Proceso de instalación de TunerStudio.

Fuente: Elaborado por el autor.

Creación de nuevo proyecto en TunerStudio

1. Abrir el programa TunerStudio MS.

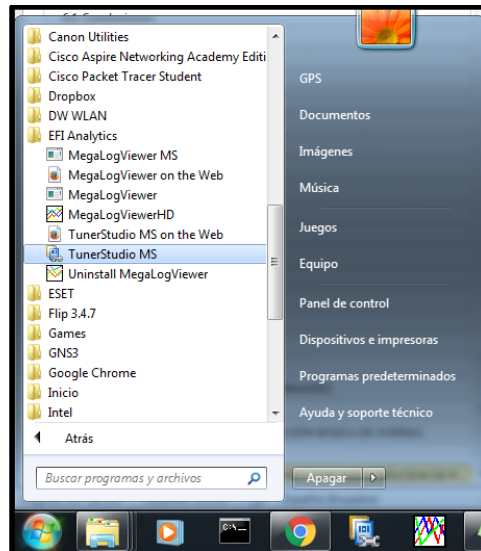


Figura 115. Creación de proyecto en TunerStudio.

Fuente: Elaborado por el autor.

2. Seleccionar archivo/nuevo proyecto, dar nombre al proyecto, buscar la ubicación donde se guardará el proyecto y seleccionar el archivo de configuración de inicio.

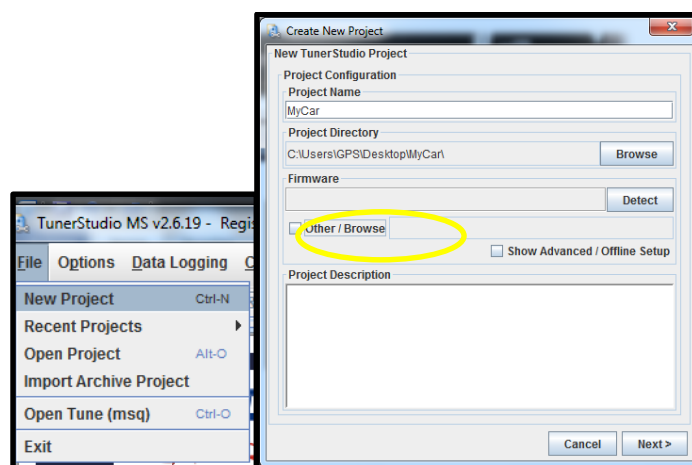


Figura 116. Creación de proyecto en TunerStudio.

Fuente: Elaborado por el autor.

Los archivos de configuración de inicio se encuentran en el link:

<http://www.megamanual.com/files/ini/>



Figura 117. Creación de proyecto en TunerStudio.

Fuente: Elaborado por el autor.

3. Seleccionar el archivo de configuración de inicio

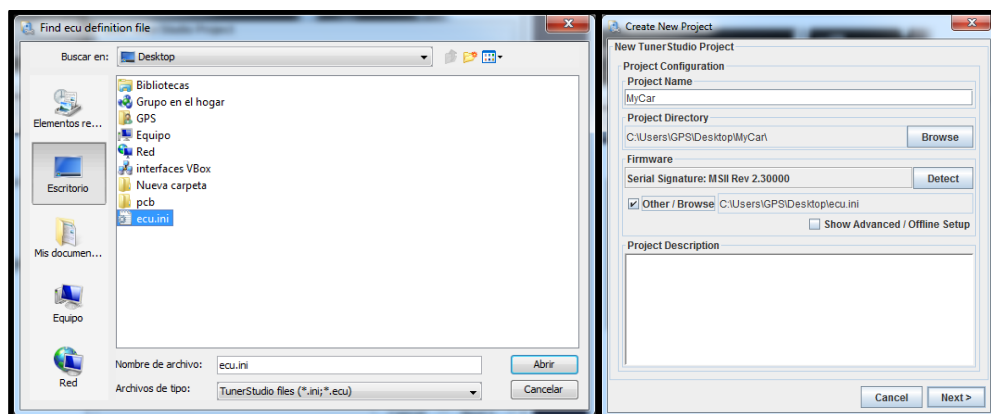


Figura 118. Creación de proyecto en TunerStudio.

Fuente: Elaborado por el autor.

- Realizar los ajustes de configuración de temperatura y algoritmo para la dosificación de combustible, el puerto de comunicación serial en la que esta la tarjeta arduino y la velocidad de transmisión y selecciona finalizar.

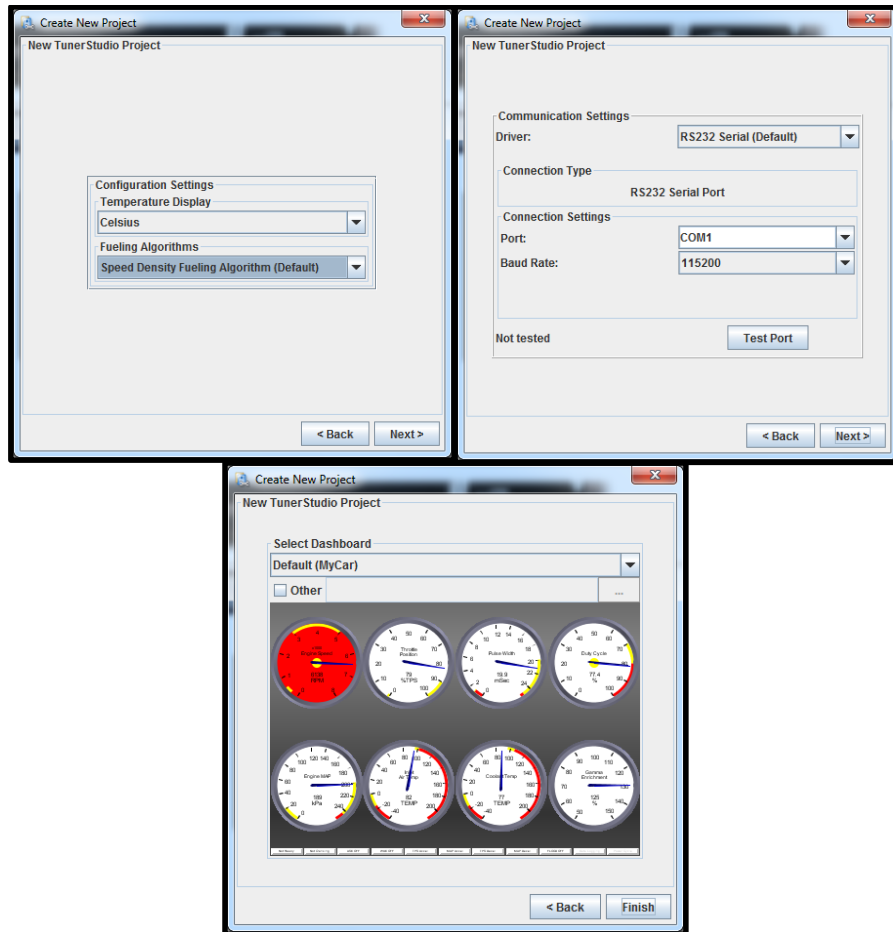


Figura 119. Creación de proyecto en TunerStudio.
Fuente: Elaborado por el autor.

5. Realizados todos los pasos se vera el panel de control.



Figura 120. Creación de proyecto en TunerStudio.
Fuente: Elaborado por el autor.

ANEXO 8

PROFORMAS MATERIALES UTILIZADOS

COMERCIAL AUTOMOTRIZ
PÉREZ

PÉREZ ALBUJA LUIS PATRICIO
R.U.C. 1000907681001
FACTURA
Autorización SRI: 1117575674

S 001 - 001

0069453

Dirección: Av. de Los Corazas y Av. de Los Sarances
Telf.: 2925 059 / 2920 754 / Otavalo - Ecuador

Cliente: GUSTAVO PORTILLA
Dir: OTAVALO
Fecha: 05 de Noviembre del 2015

Telf.:
Guía de Remisión:
RUC: 1717727802001

| CANT. | DETALLE | VALOR UNIT. | VALOR TOTAL |
|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------|
| 1 | BOMBA DE COMBUSTIBLE | 60.00 | 60.00 |
| 1 | INYECTOR CHEVROLET SPARK 1.0 | 28.00 | 28.00 |
| 1 | SENSOR DE OXIGENO AVICAR | 35.00 | 35.00 |
| 1 | SENSOR TPS | 20.00 | 20.00 |
| 1 | SENSOR IAT | 15.00 | 15.00 |
| 1 | SENSOR CLT | 15.00 | 15.00 |
| 1 | REGULADOR DE PRESION COMBUSTIBLE | 28.00 | 28.00 |
| OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD | | TOTAL GRAVADO TARIFA 0% | 0.00 |
| | | TOTAL GRAVADO TARIFA 12% | 201.00 |
| | | 12 % IVA | 24.12 |
| | | VALOR TOTAL \$ | 225.12 |

F) Entregué Conforme

F) Recibí Conforme

ORIGINAL: CLIENTE. COPIA: EMISOR

Oña Charro Héctor Vicente • Dikapsa 2924 887 Otavalo RUC. 1001403839001 Autorización: 4270
Impreso del 066201 al 071200. Fecha de Impresión 14/Septiembre/2015. Válido hasta 14/Septiembre/2016



Av. Colón Oe3-31 y Versalles
Quito - Ecuador
(593) 2 2502-124

PROFORMA No.: 4079

Fecha de Emisión : 08-MAYO-15 09:56:11

Cliente : GUSTAVO PORTILLA

Dirección : OTAVALO

Teléfono : 0990746377

Atención :

Bodega: Principal

Vendedor: CHAVEZDE

Fecha: 08/Mayo/2015

| Código | Descripción | Cantidad | P.V.P. | Total |
|--------|---------------------------|----------|--------|-------|
| 003291 | ARDUINO MEGA 2560 | 1,00 | 66,00 | 66,00 |
| 003050 | SENSOR MPX4115 | 1,00 | 28,00 | 28,00 |
| 001560 | CONECTOR DB25 | 1,00 | 0,75 | 0,75 |
| 002140 | TERMINAL DE DOS POLOS | 1,00 | 0,50 | 0,50 |
| 001516 | CONDENSADOR CERAMICO | 13,00 | 0,10 | 1,30 |
| 001517 | CONDENSADOR ELECTROLITICO | 3,00 | 0,25 | 0,75 |
| 001508 | RESISTENCIAS | 16,00 | 0,10 | 1,60 |
| 001532 | DIODO ZENER | 5,00 | 0,15 | 0,75 |
| 002545 | MOSFET IRF640 | 2,00 | 1,50 | 3,00 |
| 002580 | REGULADOR LM7805 | 1,00 | 0,75 | 0,75 |
| 002127 | TERMINALES | 6,00 | 1,50 | 9,00 |
| 000274 | BAQUELITA DE FIBRA | 1,00 | 3,00 | 3,00 |
| 001223 | TRANSPORTE | 1,00 | 3,00 | 3,00 |

Valides de la Proforma : 8 días

Forma de Pago : Contado

Observaciones :

Subtotal: 117,4

Descuento realizado: ,00

IVA 12 % 14,08

Valor Total de la Proforma : 131,49

Atentamente
A.P.M.

Recibí Conforme