

**OPTIMIZACIÓN DEL MOTOR SUZUKI DF6 ANALIZANDO LAS VARIABLES
FÍSICAS PARA MODIFICAR LA DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA GASOLINA-
AIRE EN EL CARBURADOR**

autor

TIN GUN RUBIEL ZALABATA MUELAS

Director

DIEGO ARMANDO MEJÍA BUGALLO
MSc. Control industrial

INGENIERÍA MECATRÓNICA
DEPARTAMENTO MMI
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, junio 15 del 2018

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a todas las personas que han influido positivamente en mi vida, permitiéndome crecer tanto personal como académicamente, principalmente a mis padres y hermanos cuya presencia incondicional ha sido fundamental en todos los momentos y ámbitos de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mis padres Rubiel y Gertrudis, a mis hermanos Seykwigumu, Diawin y Seykarin; por creer en mí, por estar presentes, por apoyarme siempre en mis decisiones y por enseñarme con su ejemplo los valores más importantes, que al fin de cuentas son lo que define a una persona.

A los docentes que, desde la primaria hasta el final de mi carrera universitaria, con vocación y paciencia me compartieron su conocimiento, aquellos que desinteresadamente y con agrado me ayudaron a cumplir mis metas académicas y de paso me permitieron ir creciendo como persona.

A mis familiares y amigos que me apoyaron e hicieron estos años de estudio divertidos y llevaderos en los momentos difíciles.

Tin Gun

TABLA DE CONTENIDO

1	OBJETIVOS.....	11
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	12
3	MARCO TEÓRICO.....	14
3.1	Motores.	14
3.2	Motores de combustión interna.....	14
3.2.1	Motor diésel.....	16
3.2.2	Motor a gasolina	19
3.2.3	Motor de dos tiempos.	20
3.2.4	Motor de cuatro tiempos.....	21
3.2.5	Motor fueraborda:	22
3.2.6	El carburador:.....	24
3.3	Sensores.	26
3.3.1	Clasificación.	26
3.4	Emisión de gases a la atmósfera.	28
3.4.1	¿Cómo reducir la contaminación de los motores de gasolina?.....	31
3.5	Microcontroladores:.....	33
4	MARCO LEGAL	35
4.1	Reglamentación internacional.....	35
4.1.1	ISO 5130:.....	35
4.2	Reglamentación nacional	36
4.2.1	Resolución 910 de 2008:	36
4.2.2	Resolución 1111 del 2013:	40
4.2.3	NTC 4983	42
4.2.4	NTC 5365	45
5	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	47
5.1	Diseño mecánico.....	47
5.2	Diseño Electrónico.....	52
5.2.1	Selección de componentes.....	52
5.2.2	Circuito de acople de sensores:	67
5.3	Diseño SCADA.....	70
6	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	73

7	ANEXOS.....	97
8	CONCLUSIONES.	100
9	REFERENCIAS	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Fases de funcionamiento del motor de cuatro tiempos. Por Baer (2017).	22
Figura 2. Motor Suzuki DF6. Por Nautic expo (s.F.)	24
Figura 3 Motor suzuki DF6 disponible en la universidad. Elaboración propia.....	24
Figura 4. Funcionamiento del carburador. Por sabelotodo.org (s.F.)	25
Figura 5. Composición de los gases de escape emitidos por los motores de combustión interna. Por aficionados a la mecánica (s.F.)	29
Figura 6. Variación de lambda respecto al voltaje. Por Cives, J. (2011)	32
Figura 7. Estructura de soporte para el motor, diseñada en Solidworks. Elaboración propia	48
Figura 8. Estructura armada en madera con el motor montado. Elaboración propia	49
Figura 9. Espacio en el que se monta la hélice del motor. Elaboración propia.	50
Figura 10. Exosto. Elaboración propia.	50
Figura 11. Tapa diseñada para impedir la salida de gases del motor, diseño en Solidworks. Elaboración propia.....	51
Figura 12. Tapa impresa con PLA en 3D. elaboración propia.	51
Figura 13. Acople para el desvío de gases del exosto hacia el banco de sensores, diseño en Solidworks. Elaboración propia.	51
Figura 14. Piezas para el redireccionamiento de gases montadas en el motor. Elaboración propia.	52
Figura 15. Módulo sensor MQ-135. Por rees52.com (s.F.).....	55
Figura 16. Respuesta del sensor ante diferentes gases en escala logarítmica. Por datasheet MQ-135 (s.F)	56

Figura 17. Respuesta del sensor ante CO2 (línea azul con puntos rojos en los extremos, realizada tomando como base la figura 16). Elaboración propia (2017).....	57
Figura 18. Módulo sensor MQ-7. Por ardobot (2017).....	61
Figura 19. Respuesta del sensor ante diferentes gases. Por hoja de características MQ-7(s.F.).....	62
Figura 20. Punto obtenido utilizando WebPlotDigitizer. Elaboración propia.....	62
Figura 21. Módulo sensor dht22. Por Invent electronics (s.F.)	64
Figura 22. Módulo sensor temperatura MAX6675 termopar tipo K. Por Geekfactory (s.F.)	65
Figura 23. Módulo sensor de efecto hall. Por Moviltronix (s.F.)	66
Figura 24. EK-TM4C123GXL. Por Robiz.net (s.F.).....	66
Figura 25. Diseño de las pistas del circuito. Elaboración propia.	68
Figura 26. Visualización 3D del circuito, únicamente se usaron borneras. Elaboración propia.....	68
Figura 27. Diseño mecánico banco de sensores. Elaboración propia.....	69
Figura 28. Circuito quemado en baquela. Elaboración propia.	70
Figura 29. Banco de sensores y microcontrolador ubicados en la baquela. Elaboración propia.....	70
Figura 30. Comunicación serial LabView, adquisición de datos. Elaboración propia.....	71
Figura 31. visualización de las variables físicas del motor y de algunas configuraciones para el microcontrolador. Elaboración propia.....	73
Figura 32. Voltaje vs tiempo (1 hora) sensores MQ-135. Elaboración propia.....	74
Figura 33. CO2 Meter GCH-2018. Elaboración propia.	75
Figura 34. Resultados de las medidas del sensor 1. Elaboración propia.	76

Figura 35. Resultados de las medidas del sensor 2. Elaboración propia.	77
Figura 36. Resultados de las medidas del sensor 3. Elaboración propia.	77
Figura 37. Resultados de las medidas del sensor 4. Elaboración propia.	77
Figura 38. Calibración de los sensores MQ-135 bajo ambiente controlado. Elaboración propia.	79
Figura 39. Código empleado para calcular el valor Ro de los sensores, donde ppmi indica el valor real de gas, r1 es el valor medido para cada sensor y ro1 el valor a calcular. Elaboración propia.	81
Figura 40. Voltaje vs tiempo (1 hora) sensores MQ-7. Elaboración propia.	81
Figura 41. sensor Bacharach PCA3. Elaboración propia.	82
Figura 42. Mazda Bt50 Di Turbo utilizado para calibración de los sensores MQ-7. Elaboración propia.	82
Figura 43. Medición de CO para calibración de los sensores MQ-7. Elaboración propia. ..	83
Figura 44. Medida de CO arrojada por el sensor Bacharach PCA3. Elaboración propia. ...	84
Figura 45. Montaje del sistema completo. Elaboración propia.	85
Figura 46. comportamiento sensor MQ-135 frente a la temperatura y la humedad. El eje x representa la temperatura y cada una de las dos líneas corresponde a un porcentaje de humedad indicado en el costado derecho la figura. Por datasheet.	86
Figura 47. Coeficiente hallado para el sensor MQ-135 (punto rojo reflejado en el eje Y). Elaboración propia, editando el datasheet.	87
Figura 48. Coeficiente hallado para el sensor MQ-7 (punto rojo reflejado en el eje Y). Elaboración propia, editando el datasheet.	87
Figura 49. variación en las medidas de los sensores de monóxido de carbono MQ-7. Elaboración propia.	89

Figura 50. Variación de las medidas de los sensores MQ-135. Elaboración propia.	90
Figura 51. Velocidad. Elaboración propia.....	91
Figura 52. Humedad. Elaboración propia.....	92
Figura 53. Toma de datos platino 110. Elaboración propia.....	93
Figura 54. Datos MQ-135 para platino 110. Elaboración propia.	94
Figura 55. Datos MQ-7 para platino 110. Elaboración propia.	95
Figura 56. Humedad exosto platino 110. Elaboración propia.	96
Figura 57 Temperatura tomada cerca de la cámara de combustión. Elaboración propia.	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de emisión permitidos	37
Tabla 2. Clasificación de fuentes para la medición de emisiones de Estados Unidos	40
Tabla 3. Clasificación de fuentes para la medición de emisiones de Estados Unidos	41
Tabla 4. Parámetros de medición.	44
Tabla 5. Resolución mínima de los datos	44
Tabla 6. Requisitos mínimos del analizador de gases	45
Tabla 7. Características del sensor MQ-135.....	55
Tabla 8. Características del sensor MQ-7.....	61
Tabla 9. Características del termopar tipo k.	65
Tabla 10. Características tiva 123.....	66
Tabla 11. Datos del sensor industrial de CO2	76
Tabla 12. Datos para calibración de sensores MQ-135	78
Tabla 13. Valores de Ro hallados experimentalmente	80
Tabla 14. Valores Ro de los sensores MQ-7 (en ohmios).	84

1 OBJETIVOS

Objetivo general

Optimizar el motor suzuki df6 analizando las variables físicas para modificar la dosificación de la mezcla gasolina-aire en el carburador.

Objetivos específicos:

- Adaptar al motor sensores y ubicarlos estratégicamente.
- Realizar el análisis de los parámetros del motor.
- Encontrar el funcionamiento óptimo del motor basado en la calibración del carburador.
- Realizar sistema scada que facilite el análisis de las variables del motor y su variación al cambiar la dosificación de la mezcla gasolina-aire
- Realizar la toma y el análisis de datos variando la dosificación de la mezcla en el carburador.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Los motores de combustión interna deben su correcto funcionamiento en gran medida al buen estado de su sistema de inyección de combustible, bien sea carburador o inyector. El carburador y el inyector presentan ventajas y desventajas entre sí, por tal motivo en la actualidad ambos dispositivos son utilizados. Las ventajas se presentan en la eficiencia durante la combustión y en el factor económico, mas no en el rendimiento del combustible.

Por precisión en el control y por las políticas mundiales actuales de emisión de gases, se ha reemplazado gradualmente el carburador por el inyector en la gran mayoría de motores. Sin embargo, el sistema de inyección resulta más costoso y a medida que se hace preciso, también se vuelve difícil de reparar, a causa de la cantidad de sensores que tiene y a la dificultad de identificar al que está fallando en caso de avería. El sistema de inyección requiere también una bomba plástica dentro del tanque del combustible, mecanismo que en ocasiones falla; cosa que no ocurre en el carburador que es un sistema mecánico de muy buenas prestaciones y de fácil reparación.

El Suzuki DF6 es un motor fuera de borda de cuatro tiempos que usa carburador, bastante popular en pequeñas embarcaciones, generalmente pesqueras. En el presente proyecto se realiza un sistema que captura las variables físicas del motor utilizando sensores ubicados estratégicamente y una interfaz HMI que permite la visualización de dichos parámetros. Posteriormente se optimiza el funcionamiento del motor en ralentí recalibrando el carburador, disminuyendo al mínimo la emisión de gases, el calentamiento del motor y el tiempo de respuesta, logrando buena velocidad de rotación.

Regularmente los talleres tecno mecánicos del común no cuentan con equipos que indiquen lo eficiente de la carburación de un motor, por ello si no se es un mecánico experto, el ajuste del tornillo que regula la mezcla podría quedar mal hecho, afectando el funcionamiento del motor. El banco de sensores a instalar permite conocer el punto óptimo de funcionamiento del carburador solo en ralentí, ya que dicho ajuste es más complejo cuando el motor está acelerado, debido a que para ese entonces entran en juego los distintos circuitos del sistema, y para lograr un calibración óptima en esas condiciones intentando arreglar una falla, habría que desarmar el carburador, accediendo y cambiando piezas internas, por lo cual se haría más factible comprar uno nuevo, si es que se presenta un desperfecto relacionado con la mala dosificación de la mezcla gasolina-aire.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Motores.

Del latín “motoris”, es una fuerza o energía que genera un movimiento. Los motores de explosión son aquellos que utilizan como energía productora del movimiento, la combustión de una mezcla pulverizada, que produce una fuerza expansiva. Los motores de reacción utilizan también para ocasionar el movimiento, la fuerza de un gas que, al expandirse, busca salir, y al hacerlo, empuja la pared contraria al orificio de salida. Los motores eléctricos no ocasionan daños ambientales, al utilizar la electricidad como fuente de energía.

3.2 Motores de combustión interna.

El motor de combustión interna surgió como una evolución de la máquina de vapor variando la forma en que se realiza el trabajo; en el motor el trabajo se realiza por medio de la combustión interna de aire y combustible, mientras que la máquina de vapor lo hace aprovechando la presión del vapor de agua generado en una combustión externa. El motor de combustión interna realiza un proceso endotérmico basado en el mecanismo manivela, biela, corredera conocido como tren alternativo, y que nace a finales del siglo XIX. (Alvarez et al, 2005)

El proceso de combustión es complejo debido a la gran cantidad de variables de las que depende, por lo cual existen modelos fisicoquímicos que lo estudian por partes. Hay modelos de combustión de una zona, dos zonas para motores encendidos por chispa MECH y varias zonas para motores de encendido por compresión MEC, que necesitan sub-

modelos para poder calcular las propiedades del fluido y el flujo de calor liberado. (Fygueroa y Araque, 2005).

El primer motor de combustión interna fue construido por el francés Etienne Lenoir en 1860, aunque su eficiencia era baja, ya que tan solo aprovechaba un 3% de la energía que producía. Posteriormente, diferentes personajes que trabajaron con motores realizaron mejoras. Entre ellos destacan:

- El alemán Nikolaus Otto, quien inventó el motor de explosión que funciona con un ciclo de cuatro tiempos en 1876. Otto inventó una máquina que se encendía por chispa externa y accionamiento por pistones. En su honor, el motor recibió el nombre de motor Otto, aunque es más conocido como motor a gasolina.
- El escocés Dugald Clerk construye el primer motor de dos tiempos en 1878.
- Gottoieb Daimler monta por primera vez un motor Otto de alta velocidad en lo que sería la primera motocicleta en 1885. Dicho motor fue desarrollado por el ingeniero alemán Wilhelm Maybach.
- En 1886 Karl Benz consiguió la patente de lo que se considera como el primer automóvil, un vehículo de tres ruedas impulsado por un motor monocilíndrico con una potencia de 2/3 cv a 250 rpm.
- En 1886 reaparece Gottoieb Daimler, inventando el primer automóvil de cuatro ruedas y dos velocidades de transmisión. Aunque el vehículo tenía más apariencia de carruaje que de un automóvil moderno.
- En 1889 la asociación Daimler-Maybach logra comercializar el primer vehículo impulsado por dos cilindros y una caja de cambios de cuatro velocidades.

- En 1892 el alemán Rudolf Diésel inventó un motor que funcionaba con combustibles pesados. Debido a su gran tamaño, baja velocidad y dificultad en su construcción no fueron utilizados en vehículos sino hasta 1893, cuando se introdujo un motor diésel de características mejoradas en un camión. (Baer, 2014)
- En 1904 el motor de combustión mostraba mejores prestaciones que los impulsores eléctricos y las máquinas a vapor, sin embargo, su reparación debía realizarse más a menudo y era más compleja.
- En 1957 nuevamente un alemán, Felix Wankel fabricó el primer motor de pistón rotativo.
- En la década del 70, se mejoraron los materiales de construcción y se redujo su tamaño, siendo fabricados para vehículos pequeños y no solo para los transportes de gran tamaño.
- Actualmente se busca reemplazarlos por motores que reduzcan al máximo la emisión de gases contaminantes, como los motores a gas o eléctricos. (Patiodeautos.com, s. f.)

3.2.1 Motor diésel.

Rudolf Diésel inscribió su primera patente en el año 1892, con el fin de conseguir el proceso Carnot ideal, pero fue hasta el año 1897 cuando terminó su primer motor para la empresa MAN, en Ausburg. La llegada de este motor trajo consigo una nueva manera de realizar la combustión. Diésel no estaba buscando un proceso cualquiera por medio del cual pudiese aprovechar al máximo, el calor, sino que quería llevar a cabo el proceso Carnot, que entre todos los procesos, es el que prometía el mayor rendimiento. Durante la elección de la presión de compresión, Diésel pasó en un tiempo relativamente corto de 250 a 30

atmósferas estándar (bar). Vigilando siempre la temperatura y la compresión, de ese modo, pudo registrar que, a 30 bar, todavía se situaba suficientemente por encima de la temperatura de autoignición del combustible. Si quitamos la autoignición como característica principal del procedimiento de Diésel, nos encontramos con el procedimiento Otto con encendido de chispa, ya que la característica principal del procedimiento de Diésel es la autoignición y se basa en la aspiración de aire y su compresión a una presión tan elevada que provocará la ignición del combustible que se ha introducido.

Es bastante llamativa la forma en que Diésel desarrolló su motor, debido a que partió de la teoría y no de experimentos, por eso, cuando quiso pasar de la teoría a la práctica tuvo muchos inconvenientes, principalmente para alcanzar la presión para la autoignición, que para entonces resultaba inalcanzable; así como para introducir el aire caliente comprimido y además de eso lograr una mezcla homogénea dentro de la cámara de combustión. Antes de fabricar el primer motor conocido como motor diésel en 1897, se construyeron dos motores de prueba debido a que como todo en el motor era experimental, se presentaron incontables inconvenientes. A pesar de los problemas, el motor resultó ser muy novedoso por el bajo consumo de combustible, probando la veracidad de los estudios de Diésel. Esto motivó a la empresa NAN a continuar con las investigaciones que 30 años después traerían sus frutos, cuando instalaron por primera vez un motor diésel en un camión. El hecho de esperar tanto tiempo para que esto sucediera no tuvo que ver con la idea de Diésel, sino con la dificultad de fabricar piezas tan pequeñas que cumplieran con las especificaciones requeridas. El combustible utilizado en el primer motor fue gasolina, pero el motor explotó y quedó hecho pedazos, sin embargo, este estudio permitió la invención de la inyección de gasolina utilizada en los motores Otto. El segundo motor utilizó petróleo, y aunque su

funcionamiento no fue el esperado, el resultado obtenido dio pie al descubrimiento del combustible apropiado para el motor. (Bartsch, 2005)

A diferencia del motor a gasolina, el combustible se inyecta en el cilindro en forma de chorro de rocío atomizado y la explosión ocurre debido a la elevada temperatura que hay dentro del cilindro en el que se inyecta el combustible. Esta temperatura es lo suficientemente alta como para hacer que se inflame el combustible, por lo tanto, es evidente que la compresión ocasiona la combustión que da nombre al motor como de ignición por compresión.

Tipos de motores diésel.

Existen varias clasificaciones para los motores diésel:

- **Los ciclos de funcionamiento:** según el número de tiempos pueden ser de dos tiempos o de cuatro tiempos.
- **La disposición o arreglo de los cilindros:**

Cilindros en línea, generalmente para motores con hasta 10 cilindros ubicados paralelos en línea

Disposición en V, es un arreglo bastante común en motores de 8,12 y 16 cilindros debido a que es difícil conseguir un bloque y un cigüeñal tan largo y rígido como para alcanzar una disposición en línea. Esta disposición permite dos cilindros articulen a una muñequilla del cigüeñal, lo cual reduce a la mitad la longitud del motor permitiendo un cigüeñal mucho más compacto y un menor costo de manufactura. El ángulo que forman las líneas de cilindros puede variar de 30° a 120°, aunque el ángulo más común está entre 40° y 75°.

Motor horizontal, cuando el ángulo entre las líneas de cilindros es de 180° . Se utilizan regularmente cuando se dispone de poco espacio como en camiones o buses.

Motor radial, donde los cilindros están dispuestos en círculo y apuntando hacia el centro del círculo. Todos los pistones actúan sobre una única muñequilla, y se han logrado ubicar hasta 12 cilindros actuando sobre una única muñequilla. (Kates y Luck, 1981) (Licona Payares, 2008)

- **El efecto de los pistones:**

Motores de simple efecto, usan solo una cara del pistón para producir potencia, la gran mayoría de los motores diésel son de simple efecto.

Motores de doble efecto, usan las dos caras del pistón y los dos extremos del cilindro para producir potencia. Se utilizan en unidades grandes de baja velocidad.

3.2.2 Motor a gasolina

También conocido como motor Otto, motor de explosión o motor de encendido provocado por MEP (motores de encendido provocado). Consume una mezcla de gasolina y aire generalmente producida en el exterior de la cámara de combustión. Una chispa producida por un sistema de encendido externo es la encargada de inflamar la mezcla. La historia del motor de gasolina en sí es la misma del motor de combustión interna. Algunos motores Otto:

3.2.2.1 Motor Wankel:

Funciona según el ciclo de cuatro tiempos, y se caracteriza porque el movimiento rotativo se obtiene directamente en el rotor que tiene forma triangular y gira impulsado por las explosiones sucesivas que ocurren en sus tres cámaras. Esto conlleva a generar tres explosiones por vuelta, en las cuales se llevan a cabo los cuatro tiempos del ciclo.

Este motor tiene la ventaja de producir pocas vibraciones, alcanzando un gran número de revoluciones y la desventaja de presentar mayor desgaste en sus piezas.(Sanz, 2007)

3.2.3 Motor de dos tiempos.

Realiza su ciclo de trabajo en dos carreras de pistón, en las cuales se llevan a cabo los procesos de admisión, compresión, expansión y escape. Se produce entonces una carrera de trabajo por cada vuelta del cigüeñal. Esta característica es la que lo diferencia del motor de cuatro tiempos, que requiere dos vueltas del cigüeñal, para obtener un ciclo termodinámico de combustión. Teóricamente estos motores deberían tener el doble de potencia que los motores de cuatro tiempos, porque para un mismo número de revoluciones, se obtiene el doble de procesos de combustión. Sin embargo, esto no ocurre, ya que el intercambio de gases no se hace a tal velocidad, lo cual empeora el rendimiento del motor.

Una de sus características más notorias es la forma en que realizan la renovación de la carga de mezcla en el cilindro, denominada barrido debido a que los gases se introducen en el cilindro a presión, de manera que la entrada de nuevos gases desaloja los gases resultantes de la combustión. El barrido se realiza gracias a la presión que adquieren los gases a su paso por el cárter

Los motores de dos tiempos pueden funcionar tanto en el ciclo diésel como en el Otto, paradójicamente, los motores de diésel de dos tiempos son motores de grandes cilindradas

con bajas revoluciones, mientras que los motores Otto de dos tiempos, son de baja cilindrada.(Sanz, 2007a)

3.2.4 Motor de cuatro tiempos.

Precisa de cuatro carreras del pistón para completar el ciclo termodinámico de combustión. Cuatro tiempos hace referencia a las fases o etapas de funcionamiento del pistón, lo cual se puede visualizar en la figura 1.

Primer tiempo (admisión): en esta fase el pistón aspira la mezcla gasolina-aire en los motores Otto o el aire en motores diésel. La válvula de admisión se abre y la de escape se cierra, es una carrera descendente.

Segundo tiempo (compresión): se cierra la válvula de admisión, el pistón asciende, comprimiendo el gas contenido en la cámara.

Tercer tiempo (combustión y expansión): en los motores Otto la chispa de la bujía provoca la inflamación de la mezcla, mientras que, en los motores diésel, se inyecta el combustible pulverizado que se auto inflama por la presión y temperatura en el interior del cilindro. La explosión genera expansión de los gases que empujan al pistón, dando lugar a la única fase en la que se obtiene trabajo.

Cuarto tiempo (escape): el pistón empuja, en su movimiento ascendente, los gases de la combustión salen a través de la válvula de escape. Cuando el pistón llega al punto máximo de la carrera superior, la válvula de escape se cierra y se abre la válvula de admisión.(Baer, 2017)

Cada uno de estos cuatro tiempos, se realiza en una carrera de pistón, equivalente a media vuelta de cigüeñal, por lo tanto, el ciclo se completa en dos vueltas de cigüeñal.(Sanz, 2007b)

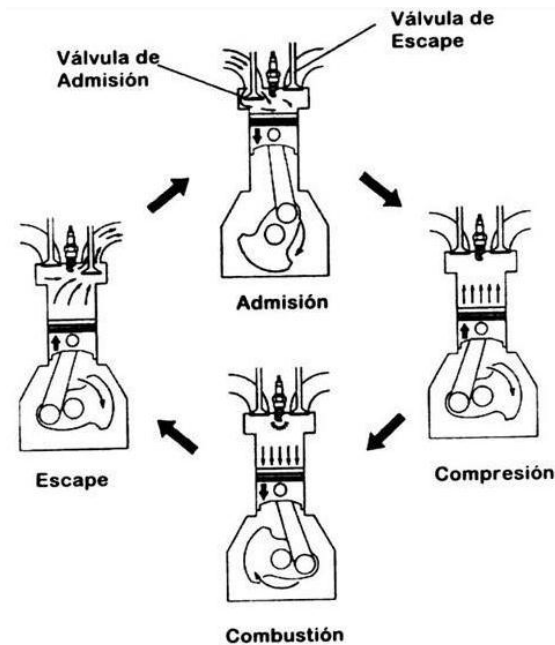


Figura 1 Fases de funcionamiento del motor de cuatro tiempos. Por Baer (2017).

3.2.5 Motor fueraborda:

El primer motor fueraborda que se conoce pesaba tan sólo 5 kilogramos, y tenía una propulsión electrónica; fue diseñado alrededor de 1870 por Gustave Trouvré y patentado en 1880, 25 años más tarde aparecieron los motores propulsados por combustibles como la gasolina hechos por American Motors Co, pero no tuvieron mucho éxito.

Con la llegada de las motocicletas a Estados Unidos, CB Waterman un estudiante de ingeniería de Yale experimentó con el motor de la suya, con la idea de adaptarle una hélice que le permitiera navegar a mayor velocidad que con remos. A pesar de las

adversidades, finalmente en 1906 logró navegar con su padre en un bote operado por el primer motor fueraborda, rompiendo todos los registros de velocidad alcanzados por embarcaciones operadas con remos. Al notar que su idea era muy práctica, empezó su fábrica Waterman Porto Motor, al principio con un poco de escepticismo de la gente, pero con el paso del tiempo se fue perfeccionando el motor y los fabricantes de motores empezaron a incursionar en el área. Sin embargo, Waterman, ya les llevaba varios años de ventaja en cuanto a experimentación con el uso real del motor en el agua y no solo en laboratorios. A partir de ahí empezó la fabricación de motores de combustión interna portátiles para embarcaciones pequeñas. (Zipps, s. f.)

Los motores fueraborda son fabricados con ciclos de dos o cuatro tiempos, aunque históricamente se han sido de dos tiempos. El principal inconveniente de esto es la contaminación que emiten debido a la cantidad de combustible y aceite no quemados. La solución que se ha planteado para disminuir esta problemática ha sido construir motores eléctricos que reemplacen a los de combustión interna, aunque es una iniciativa que, aunque amigable con el medio ambiente, no ha tomado mucha fuerza. (Bardahl, 2016)

Los motores fueraborda son diseñados para montarse en la popa con un sistema de giro que permite direccionar la embarcación cambiando la orientación del motor. Cuentan también con un mecanismo diseñado para variar el ángulo del motor con respecto a la embarcación, lo cual permite un movimiento de inclinación vertical que sumerge o eleva la quilla. Otra ventaja es que se puede montar y desmontar fácilmente para transportarlo o repararlo.

El motor fueraborda utilizado en el proyecto es el Suzuki DF6 que se muestra en la figura 2 y en la figura 3.



Figura 2. Motor Suzuki DF6. Por Nautic expo (s.F.)



Figura 3 Motor suzuki DF6 disponible en la universidad. Elaboración propia.

3.2.6 El carburador:

Es un dispositivo mecánico que se encarga de suministrar la mezcla combustible-aire según las condiciones de funcionamiento del motor. Su funcionamiento se basa en el efecto Venturi, que provoca que toda corriente de aire que circula por una canalización provoca una succión que se aprovecha para arrastrar el combustible proporcionado por el mismo carburador. La succión la crean los pistones en su carrera hacia el PMI (punto muerto inferior) y se realiza de la siguiente manera. Si en dos puntos comunicados por una tubería hay diferente presión, el aire irá del punto de mayor presión al de menor presión, entonces, cuando el pistón realiza su recorrido hacia el PMI, se genera un vacío en la cámara de combustión, por lo que la presión será menor que la presión atmosférica, es decir se genera una depresión. Dicha depresión se transmite al carburador, generando la entrada de aire del exterior que a su vez se mezcla con la gasolina que se quemará en la cámara de combustión. La figura 4 muestra cómo se lleva a cabo la mezcla combustible-aire en el carburador.

Un elemento fundamental para el funcionamiento del carburador es la mariposa, que actúa como una especie de válvula que se abre o se cierra de acuerdo con la velocidad que se le exija al motor. En la figura 4 se muestra la disposición que tiene la mariposa dentro del carburador. (Motorgiga, s. f.)

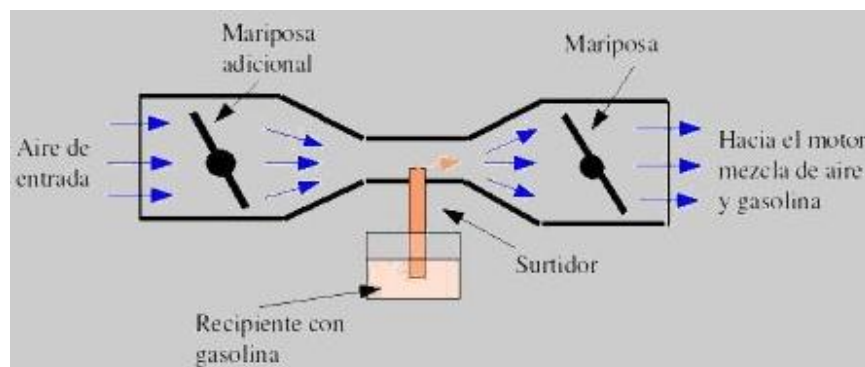


Figura 4. Funcionamiento del carburador. Por sabelotodo.org (s.F.)

Cuando el motor está en estado ralentí, la mariposa se encuentra cerrada, y a medida que el motor se acelera, la mariposa se va abriendo para permitir que el flujo de mezcla sea mayor. La mariposa adicional, se abre únicamente para el arranque en frío (choke), permitiendo que la mezcla sea más rica y facilite el encendido del motor.

Cuando el motor se acelera, el suministro principal de combustible es insuficiente debido a que entra mucho aire y la boquilla principal no alcanza a suministrar la cantidad apropiada de mezcla, es por eso que existen circuitos de inyección de combustible en el carburador, para las distintas condiciones de funcionamiento del motor.

- Circuito de ralentí y baja velocidad: se puede controlar mediante el ajuste de un tornillo. Siempre se mantiene activo, debido a que los circuitos se van sumando a medida que se activan.
- Circuito de alta velocidad y carga principal.
- Circuito de máxima velocidad y plena potencia.
- Circuito de flotador.
- Circuito del estrangulador de aire (starter).(Crouse, 1993)

3.3 Sensores.

Un sensor es un dispositivo que está capacitado para detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia. Pueden transformar las magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas.

3.3.1 Clasificación.

Debido a la gran variedad de sensores que existen, se hace necesario clasificarlos para así entender mejor su funcionamiento. Por ello existen varias clasificaciones.

Según su funcionamiento

- Activos: requieren de una fuente de alimentación externa para su funcionamiento
- Pasivos: no requieren de una fuente de energía para su funcionamiento, sino que las propias condiciones medioambientales son suficientes para que funcionen.

Según las señales que proporcionan:

- Analógicos: proporcionan la información mediante una señal que puede tomar infinidad de valores dentro de un rango.
- Digitales: proporcionan la información mediante una señal que puede ser un cero o un uno lógicos, o bien un código en binario.

Según la naturaleza de su funcionamiento:

- Posición: experimentan variaciones en función de la posición que ocupan los elementos que la componen.
- Fotoeléctricos: experimentan variaciones en función de la luz que incide sobre ellos.
- Magnéticos: experimentan variaciones en función del campo magnético que los atraviesa.
- Temperatura: experimentan variaciones en función de la temperatura del lugar.
- Humedad: experimentan variaciones en función de la humedad del ambiente en que se encuentran.
- Presión: experimentan variaciones en función de la presión a la que son sometidos.
- Movimiento: experimentan variaciones en función del movimiento al que son sometidos.

- Químicos: experimentan variaciones en función de los agentes químicos que inciden sobre ellos.

Según los elementos usados en su fabricación:

- Mecánicos: utilizan contactos mecánicos que se abren o cierran.
- Resistivos: utilizan en su fabricación elementos resistivos.
- Capacitivos: utilizan en su fabricación condensadores.
- Inductivos: utilizan en su fabricación bobinas.
- Piezoeléctricos: utilizan en su fabricación cristales como el cuarzo.
- Semiconductores: utilizan en su fabricación semiconductores. (Serna, Ros y Rico, 2010)

3.4 Emisión de gases a la atmósfera.

Con el creciente consumo de energía proveniente de fósiles, la contaminación atmosférica se ha convertido en un grave problema. Aunque la calidad del aire depende de muchos factores como las emisiones de la industria, centrales eléctricas, hogares, las emisiones del tráfico rodado son de gran importancia, siendo de las fuentes más influyentes actualmente.

Los motores de combustión interna son una de las fuentes de mayor influencia en cuanto a la composición del aire en el medio ambiente, debido a que actualmente existen millones de vehículos de todo tipo que los utilizan para impulsarse. La contaminación que producen estos motores se puede disminuir al máximo, si se le hace un mantenimiento periódico a su sistema de inyección de combustible. Aunque la contaminación depende también del tamaño del motor y del tipo de combustible que utilizan, como se evidencia en la figura 5,

en la que se muestra el porcentaje aproximado de emisiones que presentan los motores según su ciclo de funcionamiento, ya sea Otto o diésel.

La ventaja que presentan los motores Otto es que emiten solo dos tipos de gases catalogados como nocivos para los seres vivos, CO, HC y NO_x, sin embargo, la cantidad de gases estos gases, es superior que la emitida por los motores diésel. Por su parte los motores diésel emiten bajas cantidades de gases tóxicos, pero un mayor número de éstos, tal como se muestra en la figura 5. (Aficionados a la mecánica, s. f.)

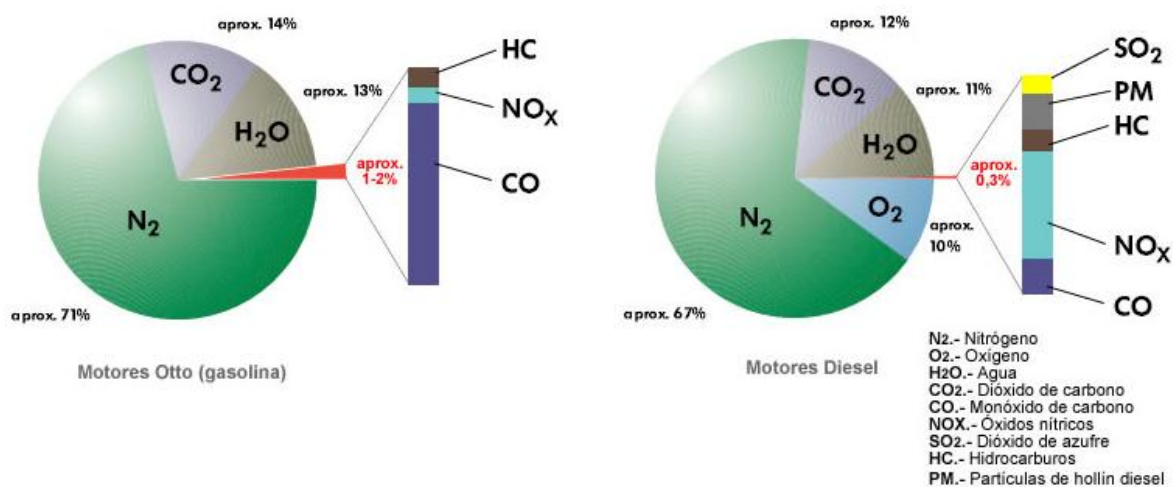


Figura 5. Composición de los gases de escape emitidos por los motores de combustión interna. Por aficionados a la mecánica (s.F.)

Para reducir la contaminación ambiental producida por los vehículos que utilizan motores de combustión, se han ido disminuyendo progresivamente los valores límite admisibles para sustancias contaminantes. Esto ha ocasionado que los vehículos sean equipados con sistemas que limitan las emisiones. Uno de los avances más significativos en este sentido, fue cambiar el modo de inyección del combustible, pasando de carburador a inyección electrónica. (Ortmann et al, 2003)

Los combustibles utilizados están principalmente compuestos de carbono e hidrógeno. Estos compuestos se unen formando cadenas de hidrocarburos. Según la forma de la cadena se obtienen compuestos diferentes como la gasolina, gasoil, glp, etc. El oxígeno necesario para llevar a cabo la combustión se encuentra en el aire.

Por el funcionamiento del motor, la combustión nunca es completa, esto quiere decir que esta reacción química no se lleva a cabo de forma perfecta. Esto implica que, en una combustión real, podemos encontrar varios compuestos, tanto inofensivos como nocivos.

Inofensivos: nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, hidrógeno y vapor de agua.

Nocivos: monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, plomo, dióxidos de azufre, hollín, etc. Las proporciones de estos compuestos varían un poco entre motores diésel y los Otto.

- **Monóxido de carbono (CO):** se produce cuando hay poco oxígeno para la combustión y por tanto no llega para quemar todo el carbono del combustible, quedando átomos de carbono unidos a solo un oxígeno formando el CO. Es letal en concentraciones superiores al 0,3%. Se fija a la hemoglobina 5 veces mejor que el oxígeno, por eso, en concentraciones altas y tiempos largos de exposición, puede provocar en la sangre la transformación irreversible de la hemoglobina.
- **Hidrocarburos (HC):** son los restos de hidrocarburos sin quemar que salen por el exosto. Se produce cuando la mezcla es rica, en concentraciones altas provoca depresiones, mareos, dolores de cabeza, náuseas y hasta cáncer.

- **Óxidos de nitrógeno:** resulta de la combinación entre el oxígeno y el nitrógeno, debido a las altas temperaturas que se alcanzan dentro del motor. Provocan irritaciones en el sistema respiratorio, pudiendo afectarlo gravemente.
- **Compuestos de plomo:** es el metal más peligroso presente en el combustible. Es peligroso inhalado porque puede provocar la formación de coágulos en la sangre. Aunque se ha sustituido por otros componentes menos contaminantes que también proporcionan un alto índice de octano.
- **Dióxido de azufre:** la emisión de SO₂ es pequeña en los motores de gasolina y superior en los motores diésel. Al mezclarse con el vapor de agua forman las lluvias ácidas.

3.4.1 ¿Cómo reducir la contaminación de los motores de gasolina?

- **Emisiones por el bloque:** como los aros de los pistones tienen ciertas holguras de ajuste, parte de los gases de la combustión pasan al carter. Estos gases son evacuados, para evitar la presión interior enviándolos por medio de una desaireación del carter a la admisión para quemarlos.
- **Emisiones por evaporación:** se presentan debido a que la gasolina es muy volátil. Se produce principalmente en:

El carburador: solucionado mediante el sistema de inyección que es totalmente hermético.

El depósito: se produce cuando el motor está detenido, y es inevitable. Sin embargo, existen formas de mermar estas emisiones, principalmente filtros y válvulas especiales que se encargan de retener y redireccionar los vapores de gasolina.

- **Emisiones por escape:** son las más importantes de controlar. Depende del valor de λ el cual representa la riqueza de la mezcla gasolina aire. Si $\lambda=1$ significa que se está usando

la cantidad de aire ideal, es decir 14,7 kg de aire por cada kg de gasolina. Si $\lambda > 1$ la mezcla es pobre y en caso contrario, la mezcla es rica.

$$\lambda = \frac{\text{aire readmitido}}{\text{aire teóricamente necesario}}$$

Este tipo de emisiones se controlan durante la inyección del combustible, ajustando el carburador o bien mediante la inyección electrónica.

Sonda lambda: es fundamental en los motores de inyección electrónica para el control de gases contaminantes, se encarga de comparar la concentración de oxígeno en el ambiente con la de oxígeno presente en el exosto del motor. El voltaje que produce varía entre 100 y 900 mv dependiendo de la composición de los gases. Dicho voltaje lo recibe la unidad electrónica de control (UEC), y éste realiza un ajuste de tiempo en la inyección para que la combustión se lleve a cabo en valores de λ cercanos a 1, como se muestra en la gráfica siguiente:

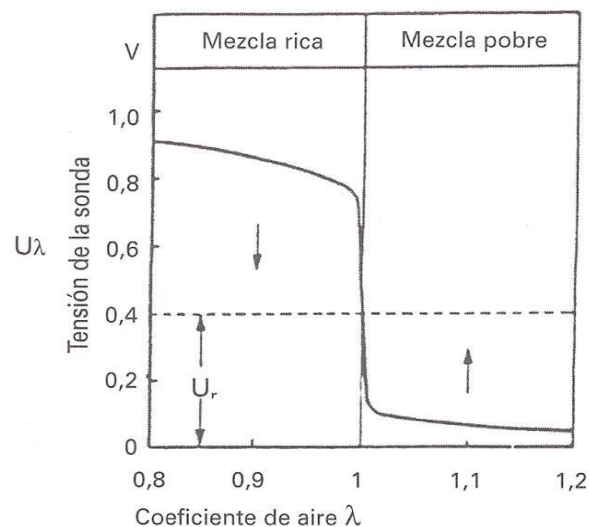


Figura 6. Variación de lambda respecto al voltaje. Por Cives, J. (2011)

Existen diferentes tipos de sondas, sin embargo, solo presentan pequeñas variaciones en el rango de medida y en la forma de entregar las lecturas de datos.

- **Insuflación del aire:** es un proceso de oxidación utilizado como postcombustión que se utiliza para reordenar los gases tóxicos de la salida, cuando se tiene CO y HC para obtener H₂O y CO₂ al adicionar oxígeno. Esto se hace desviando los gases mediante unas válvulas e inyectando aire del ambiente a presión.

3.5 Microcontroladores:

Los microcontroladores son circuitos integrados que contienen una unidad central de procesamiento (CPU), memorias RAM y ROM, puertos de entrada y salida y periféricos. La unión e interconexión de estas partes forman una microcomputadora encapsulada en un circuito integrado. Esta microcomputadora necesita un programa para realizar una función específica, normalmente almacenado en la memoria ROM.

Su función principal es leer y ejecutar los programas que el usuario le escribe, lo cual simplifica el diseño de circuitos electrónicos, permiten flexibilidad y modularidad, ya que un mismo circuito se puede utilizar para realizar diferentes funciones tan solo cambiando el programa del microcontrolador.

Los microcontroladores están diseñados para interpretar y procesar datos en forma binaria, lo cual resulta tedioso para personas que no están familiarizados con este sistema de numeración e incluso para aquellos que lo dominan, la interpretación de las instrucciones no resulta tan sencilla. A este lenguaje se le conoce como lenguaje de máquina o de bajo nivel debido a la dificultad que tienen para ser interpretadas por el humano, por lo que comúnmente la programación se lleva a cabo en lenguaje de alto nivel, es decir, uno que

utilice palabras del lenguaje humano. Los lenguajes más populares para programar los microcontroladores son el C y el BASIC. Aunque un lenguaje especializado para los microcontroladores es el lenguaje ensamblador, el cual es una lista con instrucciones a los cuales responde el microcontrolador. Dichas instrucciones son abreviaciones que representan el lenguaje máquina.

Las instrucciones en lenguaje ensamblador permiten trabajar directamente con los registros de memoria, así como con las instrucciones intrínsecas del microcontrolador utilizando eficientemente la memoria y minimizando el tiempo de ejecución de un programa, es por eso que el lenguaje ensamblador es el lenguaje por excelencia para programar microcontroladores. Sin embargo, como se mencionó anteriormente el microcontrolador no solo entiende el lenguaje binario es por ello por lo que se utiliza un compilador que traduce y transforma el lenguaje de alto nivel a código máquina. Una vez compilado el programa, se transfiere el código a la memoria interna del microcontrolador, usualmente hacia la memoria ROM.

¿Cómo escoger un microcontrolador?

Existen gran variedad de fabricantes de microcontroladores como Texas Instruments, Motorola, Atmel, Intel, Microchip, Toshiba, Nacional, etc. En general se puede decir que todos sirven para lo mismo, leer y ejecutar acciones programadas. La diferencia radica en la memoria, velocidad, periféricos, etc.

Para elegir un microcontrolador basta con que supla la necesidad en cuestión, como los periféricos, memoria, velocidad, disponibilidad en el mercado, precio, modelo, disponibilidad de información y herramientas de desarrollo. (Electronicaestudio.com, s. f.)

4 MARCO LEGAL

4.1 Reglamentación internacional

En Latinoamérica los países basan su normativa en las impuestas por estados unidos y la unión europea, aunque con ciertas modificaciones locales que se ajustan mejor a la disponibilidad de equipos de medición y la renovación de motores en el país.

4.1.1 ISO 5130:

Acoustics Measurements of sound pressure level emitted by stationary road vehicles

Especifica un procedimiento de prueba, el entorno y la instrumentación para medir los niveles de presión sonora exterior de los vehículos de carretera en estado estacionario, proporcionando una medida continua del nivel de presión acústica en un rango de velocidades del motor. Se aplica solo a los vehículos de carretera de las categorías L, M y N equipados con motores de combustión interna. Está diseñado para cumplir con los requisitos de simplicidad en la medida en que sean consistentes con la reproducibilidad de resultados bajo las condiciones de operación del vehículo.

ISO 5130: 2007 no especifica ni un método para verificar el nivel de presión acústica del escape cuando el motor funciona con carga realista ni un método para verificar los niveles de presión sonora del escape contra un límite de ruido general para categorías de vehículos de carretera, solo indica los niveles permitidos de ruido.(ISO 5130:2007)

Existe también una reglamentación tanto para motores a gasolina como diésel que se va actualizando periódicamente, volviéndose cada vez más estricta con el tema ambiental. Dicha reglamentación es conocida como Euro, la cual se encuentra en su versión 6 actualmente. Sin embargo, en Colombia, la norma vigente es la Euro 4.

4.2 Reglamentación nacional

En Colombia la calidad del aire representa uno de los retos más grandes que tiene el país por afrontar en términos de contaminación; por esto el deterioro de la calidad de aire ha provocado que se vea comprometida la salud de los colombianos especialmente con la proliferación de enfermedades respiratorias.

Las emisiones por fuentes móviles se producen por la quema de combustibles fósiles utilizados por el parque automotor ya que los vehículos automotores son los principales emisores de contaminantes como óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, dióxidos de azufre y compuestos orgánicos volátiles.

El control de las emisiones está contemplado legalmente en la Resolución 910 de 2008. Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones. Dicha resolución fue modificada dando paso a la Resolución 1111 de 2013. (IDEAM, s. f. a)

Para el caso se exponen únicamente los artículos que involucran al proyecto.

4.2.1 Resolución 910 de 2008:

- Artículo primero: límites máximos permisibles de emisión para motocicletas, motociclos, mototriciclos. En la figura 7 se establecen los límites máximos permisibles de emisión para motocicletas, motociclos, mototriciclos, accionados con gasolina (cuatro tiempos) en marcha mínima o ralentí y a temperatura normal de operación. Dado que en la resolución no se mencionan los motores fueraborda, se asume que, por

sus características de tamaño y funcionamiento, cabe dentro de esta clasificación más que en otras.

Tabla 1.

Niveles de emisión permitidos

Año y modelo	CO (%)	HC(ppm)
2010 y anterior	3,5	1000
2011 y posterior	3,0	600

Límites máximos permisibles de emisión para motocicletas, motociclos, accionados con gasolina (cuatro tiempos) en condición de marcha mínima o ralentí. Por ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (2008).

Parágrafo Primero: Los límites máximos de emisión permisibles son establecidos para un valor de exceso de oxígeno máximo de 6% para motocicletas, motociclos, mototriciclos, de dos (2) tiempos o cuatro (4) tiempos según corresponda. Solamente los valores obtenidos con concentraciones de oxígeno superiores a los máximos establecidos deberán ser corregidos y ajustados según la siguiente ecuación.

$$C_{(O2ref)} = C_{(X\%)} * \left(\frac{21 - \%O2ref}{21\% - X\%} \right)$$

Donde:

C(O2ref): Concentración del contaminante con la corrección de oxígeno, basado en el oxígeno de referencia del tipo de motor (2 o 4 tiempos)

C(X%): Concentración del contaminante medido en los gases de salida sin corrección por oxígeno

%O2ref: Oxígeno de referencia del tipo de motor (2 o 4 tiempos) en (%)

X%: Oxígeno medido en los gases de salida en (%)”

- Artículo cuarto (modificación del artículo 11 de la Resolución 910 de 2008):
Certificación del cumplimiento de los límites máximos de emisiones contaminantes establecidos en el Capítulo II y ruido.

Los comercializadores representantes de marca, importadores o ensambladores de vehículos, deberán expedir a las fuentes móviles que se comercialicen, importen o ensambren la certificación de:

Emisiones de Monóxido de Carbono (CO) e Hidrocarburos (HC) en condición de velocidad de cruce y marcha mínima o ralentí, para vehículos automotores con motor ciclo Otto, así como motocicletas, motociclos, mototriciclos y motocarros, las cuales deberán encontrarse dentro de los límites de emisión de densidad de humo en condición de aceleración libre, que deberán encontrarse dentro de los límites establecidos en la presente resolución.

Emisión de densidad de humo en condición de aceleración libre, que deberán encontrarse dentro de los límites establecidos en la presente resolución.

Emisión de ruido en estado estacionario

Dicha certificación deberá ser expedida por el comercializador representante de marca, importador o ensamblador del vehículo siempre y cuando los equipos y procedimientos que se utilicen para tal efecto cumplan con las Normas Técnicas Colombianas 4231, 4983 y 5365, así como en la ISO 5130 de 2007.

La certificación de que trata este artículo deberá incluir por lo menos la siguiente información: fecha de la prueba, nombre o razón social, documento de identidad (NIT o cédula de ciudadanía), dirección, teléfono, ciudad y departamento de quien expide la certificación y marca, línea, clase, modelo, cilindrada, VIN o serial y número de motor del vehículo al que se le expide la certificación, nombre completo del fabricante y marca del (los) sistema(s) de control de emisiones contaminantes, mes y año de fabricación del (los) sistema(s) de control de emisiones. Adicionalmente, para las motocicletas, motociclos, mototriciclos y motocarros se deberá especificar si corresponde a un vehículo de dos (2) o cuatro (4) tiempos.

- Artículo quinto (modificación del artículo 12 de la resolución 910 del 2008):

Autoadhesivo

A partir de la entrada en vigencia de la presente resolución, los comercializadores representantes de marca, importadores, fabricantes o ensambladores de fuentes móviles clasificadas como vehículo automotor, especificarán en un autoadhesivo que se fijará en un lugar visible (como la cubierta del motor o el capo) la siguiente información:

Las condiciones de reglaje del motor, incluyendo:

- Valores de velocidad mínima o ralentí.
- Valores de velocidad crucero para vehículos ciclo Otto.
- Las revoluciones de máxima potencia del motor en unidades de rpm para vehículos ciclo Otto, motocicletas, motociclos, mototriciclos y motocarros.

“Niveles de emisión determinados mediante los equipos y procedimientos que cumplan con las Normas Técnicas Colombianas 4231, 4983 y 5365, ISO 5130 de 2007 o en las normas que las modifiquen, adicionen o sustituyan”.(Resolución número (910), 2008)

4.2.2 Resolución 1111 del 2013:

Dentro de esta resolución modifican varios artículos de la resolución 910 del 2008, entre ellos destaca el artículo 18, al que se le adicionan las tablas de clasificación de las fuentes móviles para las emisiones de gases contaminantes de acuerdo con los ciclos de prueba de Estados Unidos (Tabla 2) y de la Unión Europea (Tabla 3).

Tabla 2.

Clasificación de fuentes para la medición de emisiones de Estados Unidos

Categoría	Subcategoría	Capacidad	Peso neto	Peso bruto	ALVW	LVW
				(Kg)		
LDV		≤ 12 Pasajeros		≤ 3.856		
	LLDT	LDT1				≤ 1.701
		LDT2		≤ 2.722		
LDT		> 12 Pasajeros	≤ 2.722			>1.701
	HLDT	LDT3		> 2.722	≤ 2.608	
		LDT4		≤ 3.856	> 2.608	
	MDPV	< 12 pasajeros		> 3.856 <4537		
				> 3.856		
	LHDGE			≤6.35		
	HHGE			> 6.35		
HDV			> 2.722	> 3.856		
	LHDDE			< 8.845		
				≥ 8.845		
	MHDDE			≤ 14.969		
	HHDE			> 14.969		
	Urban bus	> 15 pasajeros				

Clasificación de las fuentes móviles para la medición de emisiones conforme a los ciclos de prueba de

Estados Unidos. Por IDEAM (s.F.)

LDV (Light-Duty Vehicle): vehículo de pasajeros o una derivación de este, con capacidad hasta de doce pasajeros y un peso bruto vehicular menor o igual a 3856 Kg.

ALVW (Adjusted Loaded Vehicle Weight): promedio numérico del peso neto vehicular y el peso bruto vehicular.

LVW (Loaded Vehicle Weight): peso neto vehicular más 136 Kg

Los vehículos que se encuentran en las categorías LDT y HDV son de mayor tamaño y por lo tanto utilizan motores mucho más grandes.

Tabla 3.

Clasificación de fuentes para la medición de emisiones de Estados Unidos

Categoría	Subcategoría		Capacidad	Peso bruto (kg)	RW (kg)	
					Para vehículos ciclo Otto	Para vehículos ciclo Diesel
M	M1		≤ 8 Pasajeros			
	M2		> 8 Pasajeros	≤ 5.000		
	M3			> 5.000		
N	N1	Clase I		≤ 3.500	< 1.250	≤ 1.305
		Clase II			≥ 1.250 ≤ 1.700	> 1.305 ≤ 1.760
		Clase III			> 1.700	> 1.760
	N2			> 3.500 ≤ 12.000		
	N3			> 12.000		

Clasificación de las fuentes móviles para la medición de emisiones conforme a los ciclos de prueba de la Unión Europea. Por IDEAM (s.F.-a)

Categoría M: vehículo automotor con al menos cuatro ruedas, diseñado y construido para el transporte de pasajeros. Está dividido en tres categorías, según el número de pasajeros que pueda transportar en M1, M2 y M3.

Categoría N: vehículo automotor con al menos cuatro ruedas diseñado y construido para el transporte de carga. Está dividido en tres categorías N1, N2 y N3, según la cantidad de peso bruto vehicular de la carga que pueda transportar. (IDEAM, s. f.-b)

La norma NTC 4231 mencionada anteriormente es para motores que funcionan bajo el ciclo diésel, mientras que las normas NTC 4983 y NTC 5365 regulan la emisión de gases de motores que funcionan bajo el ciclo Otto.

4.2.3 NTC 4983

Calidad del aire: evaluación de gases de escape de vehículos automotores que operan con ciclo Otto. Método de ensayo en marcha mínima (ralentí) y velocidad crucero, y especificaciones para los equipos empleados en esta evaluación.

Esta norma establece la metodología para la determinación de las concentraciones de diferentes contaminantes en los gases de escape de los vehículos automotores, que utilizan motores que operan bajo el ciclo Otto, realizadas en condiciones de marcha mínima o ralentí y velocidad de crucero (para este caso $2500 \text{ rpm} \pm 250 \text{ rpm}$ sin carga). De igual forma se establecen las características mínimas de los equipos necesarios para realizar y certificar dichas mediciones dentro del desarrollo de los programas de control vehicular. Por ello deben cumplir con ciertos requisitos de software y hardware para que sean avalados.

Para determinar las concentraciones de gases de escape se deben tener ciertas consideraciones y seguir ciertos pasos:

- Condiciones ambientales:

Temperatura entre 5°C y 55°C, humedad relativa entre 30% y 90%, si el recinto es cerrado, debe contar con ventilación para no afectar los resultados de las pruebas ni la salud de los inspectores.

- preparación del equipo de medición:

Se verifica el estado de los filtros y sondas eliminando el material particulado que pueda alterar las lecturas, asegurar el correcto funcionamiento y calibración del analizador de gases cada vez que se vaya a tomar una muestra. El equipo de mediciones debe contar con una serie de especificaciones de rango y error.

- inspección y preparación previa del vehículo por parte del inspector.

La transmisión debe estar en neutro, poner en marcha el motor hasta llegar a la temperatura mínima de prueba, 45°C cuando se mide en el bloque del motor y 60°C cuando se mide en el aceite lubricante del motor, tomar la lectura de las revoluciones del motor y verificar que en ralentí correspondan a las especificadas por el fabricante; en caso de que dichas especificaciones sean desconocidas, estas deben estar entre 400 rpm y 1100 rpm o presentar una inestabilidad inferior a ± 150 rpm. Efectuar una aceleración a 2500 rpm durante 20 segundos y observar que no haya emisión de humo negro o azul.

El banco de gases debe funcionar bajo el principio de absorción infrarroja no dispersiva, para la determinación de las concentraciones de monóxido de carbono, hidrocarburos y dióxido de carbono, aunque se aceptan otros principios de operación siempre y cuando sean avalados por la autoridad competente y cumplan con los requisitos establecidos por la norma.

Los gases de escape cuyas concentraciones se deben determinar y las unidades de medida en que se deben reportar son:

Tabla 4.

Parámetros de medición.

Parámetro	Símbolo	Intervalo mínimo de medición	Unidad
Monóxido de carbono	CO	0 a 10	% en volumen
Dióxido de carbono	CO ₂	0 a 20	% en volumen
Hidrocarburos (en términos de n-hexano)	HC	0 a 10 000	ppm (partes por millón)
Oxígeno	O ₂	0 a 22	% en volumen

Gases por medir en un motor de gasolina. Por ICONTEC (2001)

Los elementos electrónicos deben contar con la suficiente resolución y exactitud como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5.

Resolución mínima de los datos

Parámetro	Resolución
HC	1 ppm.
CO	0,01 %
CO ₂	0,1 %
O ₂	0,1 %
r/min.	10 r/min
Temperatura	1 °C

Resolución mínima exigida para los instrumentos de medición de gases de escape. Por ICONTEC (2001)

El analizador de gases debe cumplir con los siguientes requisitos

Tabla 6.

Requisitos mínimos del analizador de gases

Canal	Rango	Exactitud	Ruido	Repetibilidad
HC (ppm)	0 - 400	± 12	6	8
	401 - 1 000	± 30	10	15
	1 001 - 2 000	± 80	20	30
CO (%)	0 - 2	± 0,06	0,02	0,03
	2,01 - 5	± 0,15	0,06	0,08
	5,01 - 10	± 0,40	0,10	0,15
CO ₂ (%)	0 - 4	± 0,60	0,20	0,3
	4,1 - 14	± 0,60	0,20	0,3
	14,1 - 16	± 0,60	0,20	0,3
O ₂ (%)	0 - 10,0	± 0,5	0,3	0,4
	10,1 - 22,0	± 1,3	0,6	1,0

Requisitos mínimos para un analizador de gases. Por ICONTEC (2001)

4.2.4 NTC 5365

Calidad del aire: evaluación de gases de escape de motocicletas, motociclos, mototriciclos, motocarros y cuatrimotos, accionados tanto con gas o gasolina (motor de cuatro tiempos) como con mezcla gasolina aceite (dos tiempos). Método de ensayo en marcha mínima (ralentí) y especificaciones para los equipos empleados en esta evaluación.

Esta norma establece la metodología para determinar las concentraciones de diferentes contaminantes en los gases de escape de las motocicletas, motociclos, mototriciclos, motocarros y cuatrimotos tanto de dos tiempos como de cuatro tiempos, realizada en condiciones de marcha mínima o ralentí. Así mismo establece las características mínimas de los equipos necesarios para realizar dichas mediciones, dentro del desarrollo de los programas de verificación y control vehicular.(ICONTEC, 2012)

Es muy similar a la NTC 4983, con la diferencia de que cambian algunos valores en los rangos de medición, se agregan ciertos conceptos, equipos de medición y fórmulas

matemáticas, sin embargo, el procedimiento de medición y los requerimientos de los equipos son los mismos.

5 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.

Una vez revisados los conceptos básicos necesarios para el desarrollo del proyecto, se procede con el diseño e implementación, especificando parte mecánica, electrónica y de control que conforman el proyecto.

Se presenta el análisis de los parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna de cuatro tiempos Suzuki DF6, haciendo uso de sensores ubicados de forma estratégica. Dado que se necesita encontrar la dosificación ideal de la mezcla gasolina-aire, hay que utilizar sensores que midan los gases resultantes de la combustión; para ello se requieren dispositivos sensibles a diferentes tipos de gases que determinen su eficiencia. Utilizando la información obtenida se espera encontrar la incidencia de la dosificación de aire y gasolina en las variables físicas del motor. Se busca establecer la apertura apropiada que necesita el carburador para que el motor funcione de forma óptima. Adicionalmente, se hará un monitoreo constante de la temperatura del motor, estableciendo una relación con la cantidad de gases y la velocidad del motor.

El proyecto se divide en tres secciones principales.

5.1 Diseño mecánico

Dado que el proyecto se realiza con base en un motor ya ensamblado, el diseño mecánico consiste en agregar y acoplarle piezas que faciliten la realización de pruebas. Las piezas inicialmente se diseñan en el software CAD Solidworks, para asegurar la mínima probabilidad de errores a la hora de la implementación. Los materiales utilizados durante la

implementación se escogieron por cuestiones de fiabilidad, economía, y por la facilidad de manufacturarlos.

Inicialmente se diseña una estructura para fijar el motor, teniendo en cuenta una altura apropiada para manipular cómodamente las diferentes partes del motor. El diseño de la estructura debe permitir a cualquier operario, maniobrar el motor fácilmente y a la vez estar libre de sujeciones a paredes o suelo, de manera que se pueda transportar y reubicar libremente. La estructura más simple es una estructura tipo piramidal con punta rebanada, con soportes laterales que le dan firmeza e impiden que los soportes verticales se separen (muy utilizada en la construcción para soportar peso), tal como se muestra en la figura 7.

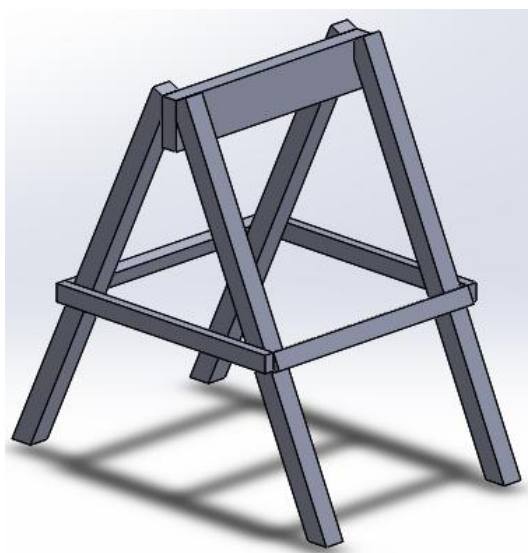


Figura 7. Estructura de soporte para el motor, diseñada en Solidworks. Elaboración propia

El diseño de la estructura permite distribuir el peso del motor uniformemente en los cuatro soportes verticales, además el ángulo de incidencia del esfuerzo por la carga (componente vertical) que juega un papel fundamental en la resistencia de la estructura, es de tan solo 24° aproximadamente. Esos dos factores garantizan que el esfuerzo no es un factor de preocupación (siempre y cuando el material de fabricación se encuentre en buen estado)

dado que el motor es pequeño. En la figura 8, se visualiza la estructura ensamblada en madera, con tornillos y pegamento en las uniones.

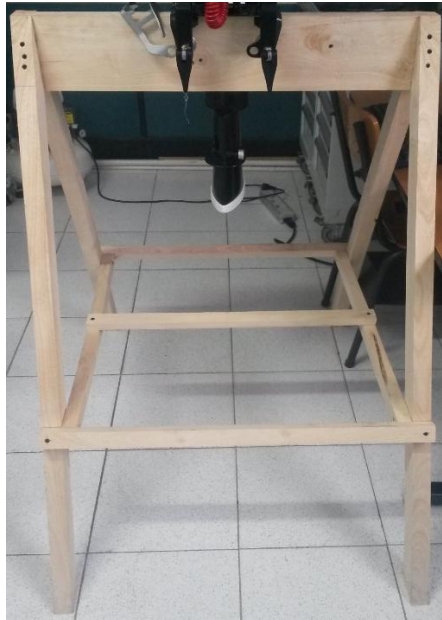


Figura 8. Estructura armada en madera con el motor montado. Elaboración propia

Con el fin de realizar el estudio adecuado de los gases emitidos por el motor, se necesitan redireccionar dichos gases, a un espacio cerrado para su posterior sensado. Para ello se identifican previamente las rutas de salida. Por facilidad en el redireccionamiento de los gases se toma la salida de la figura 10, mientras que la salida de la figura 9 se sella para asegurar que todos los residuos de la combustión sean conducidos al banco de sensores. Esto no afecta el funcionamiento del motor dado que normalmente la salida de la figura 9 se encuentra cerrada por una estructura a la cual se fija la hélice.



Figura 9. Espacio en el que se monta la hélice del motor. Elaboración propia.



Figura 10. Exosto. Elaboración propia.

Se diseña en Solidworks un tapón (figura 11 y figura 12) para fijarlo en el lugar donde normalmente se ubica la hélice del motor, con la finalidad de impedir que los gases generados por la combustión salgan por ese lugar.

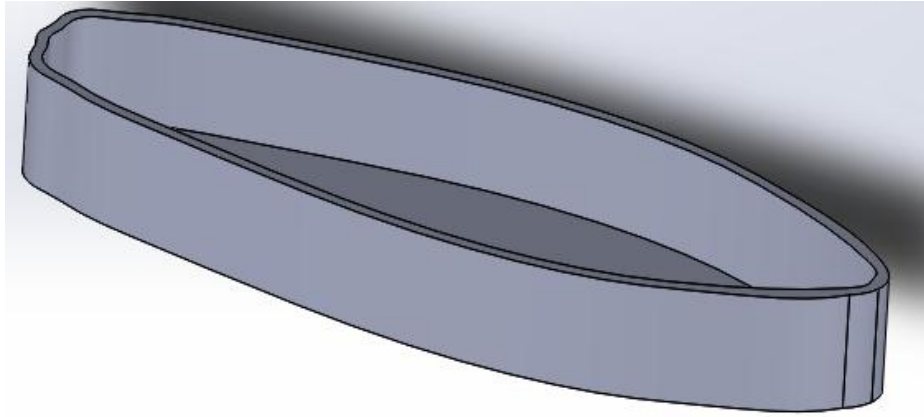


Figura 11. Tapa diseñada para impedir la salida de gases del motor, diseño en Solidworks. Elaboración propia.



Figura 12. Tapa impresa con PLA en 3D. elaboración propia.

Para redireccionar los gases resultantes de la combustión se diseñó una pieza sencilla que se agrega al motor, como acople a la tubería que lleva al banco de sensores. Tal como se puede apreciar en la figura 13.

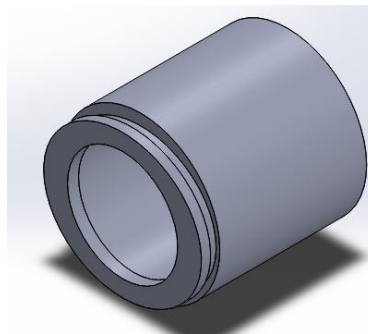


Figura 13. Acople para el desvío de gases del exosto hacia el banco de sensores, diseño en Solidworks. Elaboración propia.

En la figura 14 se encuentran montadas en el motor las dos piezas diseñadas para direccionar los gases de la combustión.



Figura 14. Piezas para el redireccionamiento de gases montadas en el motor. Elaboración propia.

Montado el motor en la estructura, listo para pruebas, se da por finalizada la parte mecánica dando paso al diseño del banco de sensores y su ubicación estratégica, con el fin de conseguir un sensado óptimo.

5.2 Diseño Electrónico.

Uno de los componentes fundamentales del proyecto es el diseño del banco de sensores, así como su adecuada ubicación con respecto al motor. Para conseguir, se debe realizar un estudio previo de los gases que se generan en una explosión de gasolina, teniendo en cuenta las proporciones que usualmente se obtienen en un motor de combustión interna.

5.2.1 Selección de componentes.

Teniendo en cuenta las investigaciones realizadas en la amplia teoría (detallada en el capítulo anterior) que se maneja en cuanto al funcionamiento de los motores de combustión

interna, se realiza la selección de sensores, de modo que los resultados que se obtengan muestren un claro reflejo de lo que está sucediendo en la cámara de combustión y las implicaciones que esto trae al rendimiento del motor. De acuerdo con la teoría mencionada, los gases más comunes dentro de la combustión son, O, CO₂, CO, algunos óxidos nitrosos y vapor de agua. Sus proporciones varían con la eficiencia de la combustión. En una combustión ideal solo se obtendría CO₂, pero ya que esto nunca ocurre, monitorear la cantidad de O, CO y de vapor de agua sería un buen indicador de que tan buena es la explosión. Con esta información y sabiendo de antemano que se dispone de un microcontrolador que maneja en sus salidas 3.3 v y 5v, se realizó la siguiente selección de sensores:

Factores considerados durante la selección de sensores:

Exactitud: es el valor de la concordancia entre el resultado de una medición y el valor real. Si la medición es próxima al valor real, significa que es exacta. (midebien.com, 2013). La hoja de características establece un rango de exactitud para cada sensor, y la selección se hace verificando que ese rango no afecte los resultados.

Precisión: “se define como el grado de coincidencia existente entre los resultados independientes de una medición, obtenidos en condiciones estipuladas, ya sea de repetitividad, de reproducibilidad o intermedias.” (midebien.com, 2013-a)

Rango: conjunto de valores comprendidos entre un límite superior y uno inferior que un instrumento puede leer (Álvarez, s.F.). Para seleccionar los sensores adecuados, las variables a medir deben estar dentro del rango de éstos.

Costo: es uno de los factores más determinantes, ya que, por lo general, en aplicaciones donde se miden gases, se utilizan dispositivos equipados con sensores calibrados y con su propia interfaz de visualización. Sin embargo, dichos instrumentos tienen un costo elevado y de ahí la necesidad de fabricar el banco de sensores.

Disponibilidad: en algunos casos se seleccionaron sensores como reemplazo de otros por cuestión de disponibilidad en el país, lo cual es fundamental teniendo en cuenta que se debe cumplir con un cronograma de actividades.

También se tuvo en consideración el controlador con el que se cuenta, para que la comunicación pueda realizarse sin complicaciones. Después de analizar las características planteadas anteriormente, se seleccionaron los siguientes sensores

- **Sensor MQ-135 de calidad del aire (CO, CO₂):** proporciona una señal de salida dual, analógica y digital. La señal analógica es proporcional al incremento de voltaje, en tanto que la señal digital presenta niveles bajos de tensión. Se seleccionó como reemplazo del sensor MG-811 el cual sería el ideal porque mide únicamente CO₂, pero, por el momento, no se encuentra disponible en el país. Por otro lado, la medida no requiere exactitud ni precisión ya que la cantidad de CO₂ por ser mayoría, no es tan buen indicador de la calidad de la combustión como si lo es la presencia de CO. Por lo tanto, basta con tener solo una referencia de lo que ocurre con la calidad del aire (incluye CO₂ y CO) cuando se varía la dosificación de la mezcla.



Figura 15. Módulo sensor MQ-135. Por rees52.com (s.F.).

En la tabla 7, se muestran los principales parámetros de funcionamiento obtenidos de la hoja de características.

Tabla 7. Características del sensor MQ-135

Voltaje de operación	5v
Corriente de operación	150 mA
Potencia de consumo	800 mW
Resistencia de carga	Potenciómetro ajustable
Resistencia de sensado	30K Ω - 200K Ω
Detección de partes por millón	10ppm - 1000ppm
Concentración detectable	Amoniac, sulfuro, benceno, humo
Tasa de concentración	$\leq 0,65$
Concentración de oxígeno	2% - 21%
Humedad de operación	<95% Rh
Temperatura de operación	-20°C ~ 70°C

Características del módulo del sensor MQ-135. Por hoja de características (s.F.)

Para la calibración del sensor para CO₂ es necesario observar las gráficas de la hoja de características, la de mayor relevancia se muestra en la figura 16.

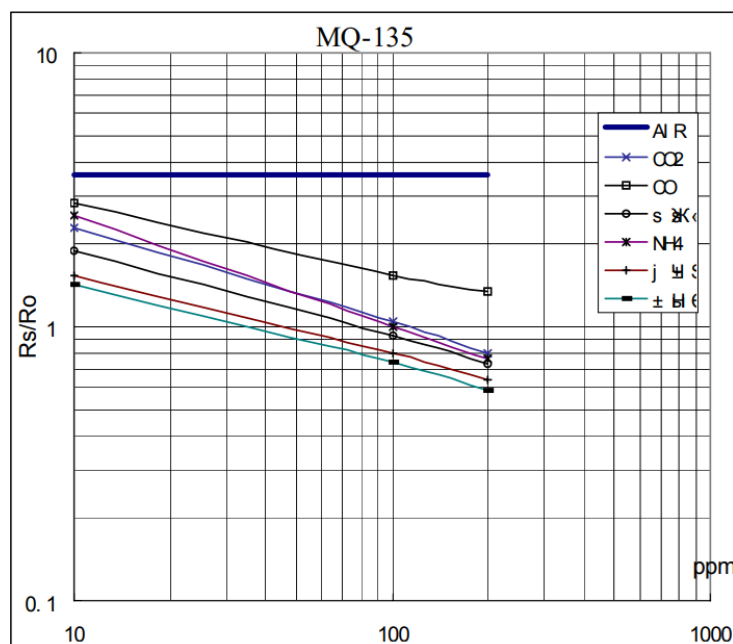


Figura 16. Respuesta del sensor ante diferentes gases en escala logarítmica. Por datasheet MQ-135 (s.F)

De la gráfica se puede obtener una ecuación que relaciona ppm con R_s/R_o y ya que la gráfica está en escala logarítmica, dicha ecuación será de la forma:

$$y = ax^b \quad \longrightarrow \quad \frac{R_s}{R_o} = a * \text{ppm}^b$$

Donde la relación R_s es un valor asociado a la resistencia del sensor que varía de acuerdo con la concentración del gas; R_o es un valor constante que se calcula una sola vez durante la calibración del sensor y también está relacionado con la resistencia del sensor al gas; a , es la pendiente de la curva que modela el comportamiento del sensor ante el gas; ppm, son las partes por millón del gas y b , es el exponente que define el punto de corte de la curva con el eje y.

La meta es calcular las partes por millón del gas, entonces aplicando álgebra y despejando ppm, se obtiene:

$$\text{ppm}^b = \frac{R_s}{a * R_o}$$

$$\text{ppm} = \sqrt[b]{\frac{1}{a} * \sqrt[b]{\frac{R_s}{R_o}}} \quad (1)$$

Seguidamente se calcula el valor de b y para hacerlo se utiliza la ecuación que calcula el punto de corte con el eje y para funciones logarítmicas:

$$b = \frac{\log(y2) - \log(y1)}{\log(x2) - \log(x1)} \quad (2)$$

Donde y1, y2, x1, x2 son puntos cualesquiera sobre la curva.

Dado que es difícil establecer a simple vista los puntos exactos para el CO2, se utilizó la aplicación WebPlotDigitizer, diseñada especialmente para encontrar las coordenadas exactas de un punto sobre una gráfica. Los resultados obtenidos fueron los siguientes (figura 17).

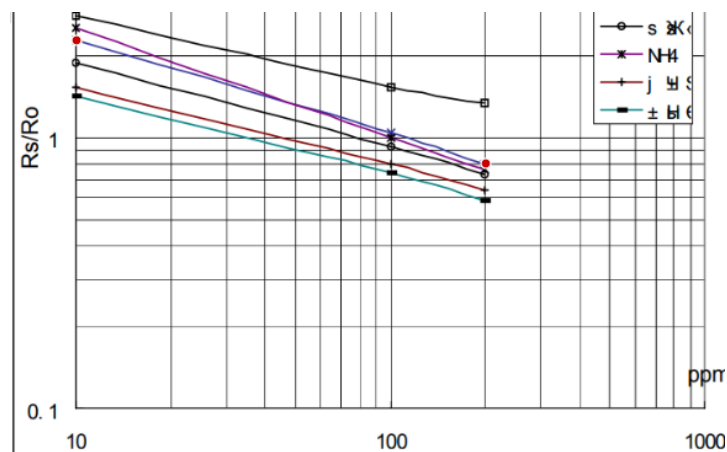


Figura 17. Respuesta del sensor ante CO2 (línea azul con puntos rojos en los extremos, realizada tomando como base la figura 16). Elaboración propia (2017)

Las coordenadas de los puntos rojos son (10, 2.3) y (200, 0.8). Reemplazando en la ecuación (2):

$$b = \frac{\log(0.8) - \log(2.29)}{\log(200) - \log(10)} = -0.3511$$

Para encontrar el valor de a, se escoge un punto conocido (x_0, y_0) y un punto arbitrario (x_1, y_1). Utilizando la ecuación de punto de corte con el eje k :

$$m = \frac{\log(y_1) - \log(y_0)}{\log(x_1) - \log(x_0)}$$

Por propiedades del logaritmo:

$$m = \frac{\log(y_1/y_0)}{\log(x_1/x_0)}$$

Pasando el denominador a multiplicar y aplicando propiedades de logaritmo:

$$\log\left(\frac{y_1}{y_0}\right) = \log\left(\frac{x_1}{x_0}\right)^m$$

Eliminando logaritmos a ambos de la igualdad:

$$\frac{y_1}{y_0} = \left(\frac{x_1}{x_0}\right)^m$$

Despejando x_1 :

$$y_1 * \frac{x_0^m}{y_0} = x_1^m$$

$$x_1 = \frac{x_0}{\sqrt[m]{y_0}} * \sqrt[m]{y_1} \quad (3)$$

Si se comparan la ecuación 1 y la ecuación 3, es evidente la similitud que tienen:

$$x1 = \frac{x0}{\sqrt[m]{y0}} * \sqrt[m]{y1} \quad \wedge \quad ppm = \sqrt[b]{\frac{1}{a}} * \sqrt[b]{\frac{Rs}{Ro}}$$

Entonces, igualando términos:

$$b = m$$

$$\sqrt[b]{\frac{1}{a}} = \frac{x0}{\sqrt[b]{y0}}$$

Despejando a y reemplazando:

$$x0 = \sqrt[b]{\frac{y0}{a}}$$

$$a = \frac{y0}{x0^b} = \frac{2.29}{10^{-0.3511}} = 5.14$$

Se calcula el valor de R_s , midiendo R_l (resistencia de carga, incorporada en el módulo) y el voltaje en dicha resistencia. El valor de R_s será variable dependiendo de la concentración de CO_2 y se calcula así:

$$R_s = R_l * \frac{v_{cc} - v_{Rl}}{v_{Rl}}$$

Donde R_l es la resistencia de carga del módulo; v_{cc} es el voltaje de alimentación; v_{Rl} es el voltaje en la resistencia de carga y R_s es un valor asociado a la resistencia del sensor que varía de acuerdo con la concentración del gas.

Volviendo a la ecuación 1:

$$\text{ppm} = \sqrt[b]{\frac{1}{a}} * \sqrt[b]{\frac{R_s}{R_o}}$$

Solo falta por calcular el valor de R_o , para hacerlo se toma un valor conocido de ppm y con la curva del datasheet, se obtiene el valor correspondiente de la relación R_s/R_o . Despejando R_s/R_o se obtiene:

$$\frac{R_s}{R_o} = a * \text{ppm}^b = 5.14 * 404.17^{-0.3511}$$

$$\frac{R_s}{R_o} = 0,6249$$

Con esta relación se puede calcular R_o que es valor constante y por lo tanto solo se halla una vez. El valor de ppm se tomó del nivel de CO_2 promedio mundial, para el momento 404,37 ppm.

Para comprobar que el sensor quedó bien calibrado, se mide ppm utilizando la ecuación para hallada para calcular ppm, y si el resultado obtenido no es el promedio mundial de CO_2 , se reajusta R_l hasta obtener el valor requerido.

- **Sensor MQ-7 de monóxido de carbono**, detecta concentraciones de monóxido de carbono, siempre que se encuentren en un rango de 200 y 2000 ppm con un porcentaje de error del 0.1%, aunque puede detectar valores muy por fuera del rango con un mayor error en la medida.



Figura 18. Módulo sensor MQ-7. Por ardobot (2017)

En la tabla 8, se muestran los principales parámetros de funcionamiento obtenidos de la hoja de características.

Tabla 8.

Características del sensor MQ-7

Voltaje de operación	5v
Corriente de operación	150 mA
Potencia de consumo	350 mW
Resistencia de carga	Potenciómetro ajustable
Resistencia de sensado	2K Ω - 20K Ω
Detección de partes por millón	20ppm - 2000ppm
Concentración detectable	Monóxido de carbono
Tasa de concentración	$\leq 0,6$
Concentración de oxígeno	2% - 21%
Humedad de operación	<70% Rh
Temperatura de operación	-20°C ~ 70°C

Características del módulo del sensor MQ-7. Por hoja de características (s.F.)

Para la calibración del sensor para CO₂ es necesario observar las gráficas de la hoja de características, en la figura 19 se muestra la más relevante de ellas.

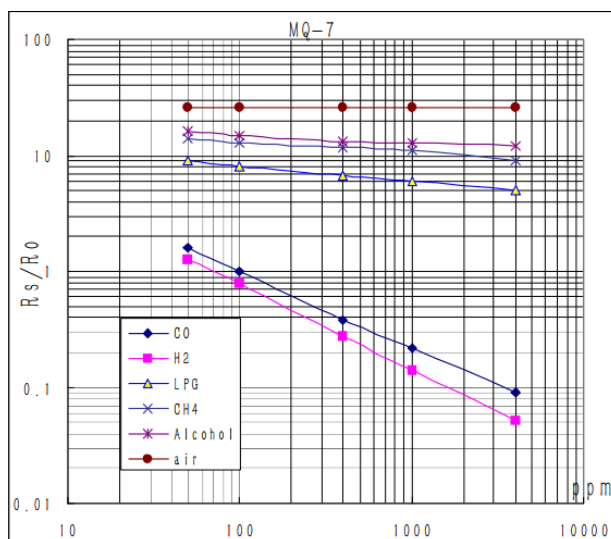


Figura 19. Respuesta del sensor ante diferentes gases. Por hoja de características MQ-7(s.F.)

Las coordenadas de los puntos obtenidos con WebPlotDigitizer para la gráfica de CO fueron (1.61,50) y (0.09,4000), uno de ellos se evidencia en la figura 20.

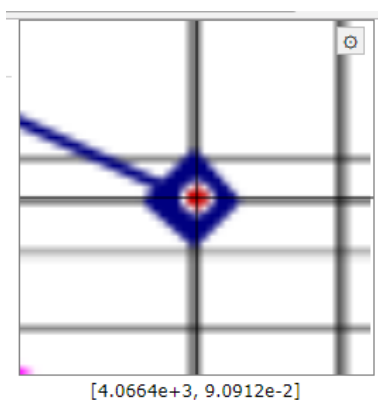


Figura 20. Punto obtenido utilizando WebPlotDigitizer. Elaboración propia.

Gracias a que este sensor al igual que el MQ-135 funciona bajo una escala logarítmica, para calcular ppm de CO se utiliza las mismas ecuaciones que con el sensor MQ-135.

$$\frac{R_s}{R_o} = a * ppm^b$$

Del mismo modo se obtienen las constantes b y a:

$$b = \frac{\log(0.09) - \log(1.61)}{\log(4000) - \log(50)} = -0.6582$$

$$a = \frac{y_o}{x_o^b} = \frac{1.61}{50^{-0.6582}} = 21.1392$$

Se calcula el valor de Rs, midiendo el valor de RI y el valor del voltaje en dicha resistencia, este valor será variable dependiendo de la concentración de CO:

$$R_s = R_I * \frac{v_{cc} - v_{RI}}{v_{RI}}$$

Obteniendo la relación Rs/Ro para un valor de ppm conocido.

$$\frac{R_s}{R_o} = a * ppm^b = 21.1392 * ppm^{-0.6582}$$

$$\frac{R_s}{R_o} = x$$

En este caso no es posible calcular el valor de Ro de forma tan simple ya que no hay un valor aproximado de concentración de CO en el ambiente, sin embargo, las ecuaciones quedan planteadas para cuando se calibre el sensor.

- **Sensor DTH22 AM2302 Temperatura y Humedad**, es un buen indicador, así como un apoyo para establecer la eficiencia de la combustión. Su doble funcionalidad permite comparar la temperatura del gas en el lugar de la explosión y en exosto.



Figura 21. Módulo sensor dht22. Por Invent electronics (s.F.)

Los sensores DHT22 usan su propio sistema de comunicación bidireccional mediante un único conductor, empleando señales temporizadas. En cada envío de medición el sensor envía un total de 40 bits, en 4ms. Estos 40 bits corresponden con 2 Bytes para la medición de humedad, 2 Bytes para la medición de temperatura, más un Byte final para la comprobación de errores (8bit integral RH data + 8bit decimal RH data + 8bit integral T data + 8bit decimal T data + 8bit check sum).

- **Modulo sensor temperatura MAX6675 termopar tipo K - SPI**, Este módulo está diseñado para medir temperatura, está provisto de una termocupla tipo K la cual se conecta a la tarjeta de interfaz SPI basada en el integrado MAX6675. La tarjeta de control MAX6675 realiza la compensación y linealización de la respuesta del sensor con un ADC. La resolución es de 0.25°C y el rango de uso de la tarjeta es de 3.0V a 5.5V, por lo que se puede utilizar con cualquier tarjeta de desarrollo.

En la tabla 9 se presentan sus principales características:



Figura 22. Módulo sensor temperatura MAX6675 termopar tipo K. Por Geekfactory (s.F.)

Tabla 9.

Características del termopar tipo k.

Voltaje de operación	3.3v a 5v
Corriente de operación	50 mA
Rango de medición	-200 a 1300°C
Precisión	1,5°C
Tipo de salida (interfaz)	SPI
Resolución	0,25
Impedancia de entrada termopar	60kΩ

Principales características del termopar tipo K. Por datasheet (s.F.)

- **Modulo Sensor de Efecto Hall:** Sensor de velocidad (rpm), para verificar la eficiencia del motor cuando se varíe la dosificación de la mezcla gasolina-aire.

Detecta el imán del rotor, cada que se lleva a cabo una revolución.



Figura 23. Módulo sensor de efecto hall. Por Moviltronix (s.F.)

- **EK-TM4C123GXL de Texas Instruments**, fue el microcontrolador elegido para el presente proyecto principalmente por cuestión de disponibilidad, compatibilidad de software y porque puede suplir fácilmente las necesidades que se tienen en el proyecto.

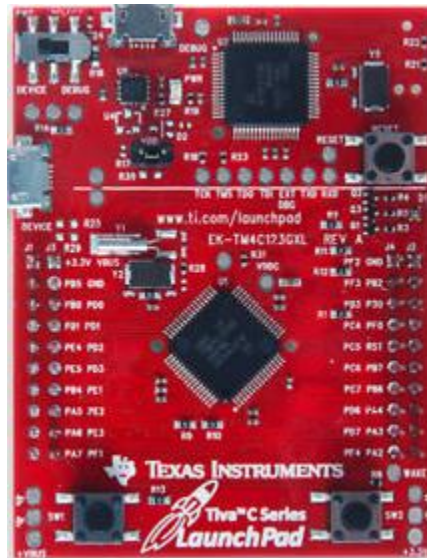


Figura 24. EK-TM4C123GXL. Por Robiz.net (s.F.)

En la tabla 10 se muestran las principales características de este microcontrolador.

Tabla 10. Características tiva 123

Microcontrolador TM4C123GH6PM

ARM-Cortex M4.
Velocidad de reloj: 80MHz
256 KB en memoria flash
2KB en EEPROM
32KB de SRAM
Interface de depuración embebida tipo ICDI.
Voltaje de operación: 5Vdc.
Opciones de alimentación: puerto microUSB e ICDI.

Características tiva 123. Por hoja de características (s.F.)

5.2.2 Circuito de acople de sensores:

El circuito se diseña para eliminar el cableado entre el banco de sensores y el microcontrolador, mejorando la estética y evitando posibles fallas durante cada conexión.

Para el diseño se utiliza el software Proteus en su versión 8.5 y se muestra en la figura 25 y la figura 26.

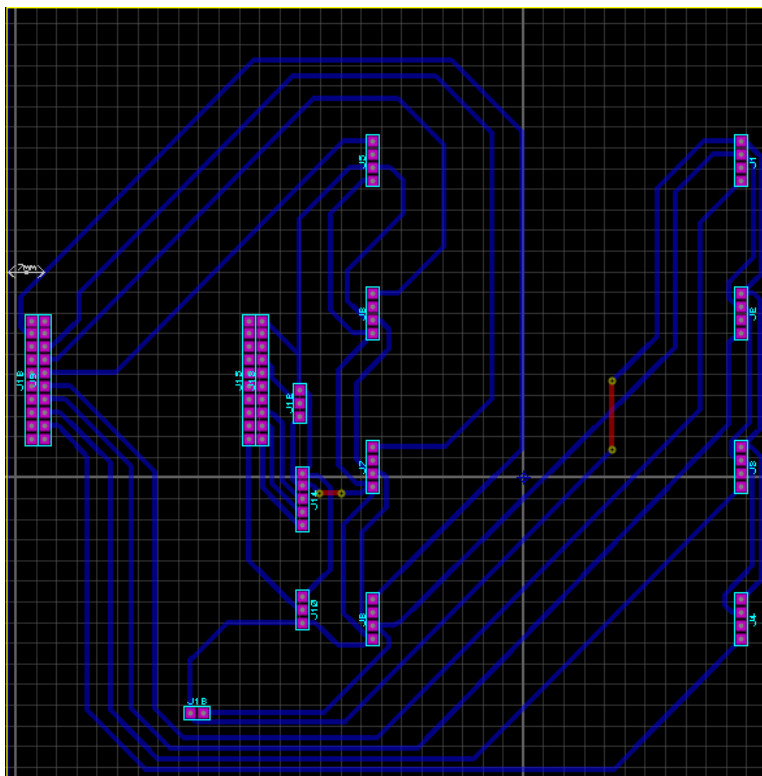


Figura 25. Diseño de las pistas del circuito. Elaboración propia.

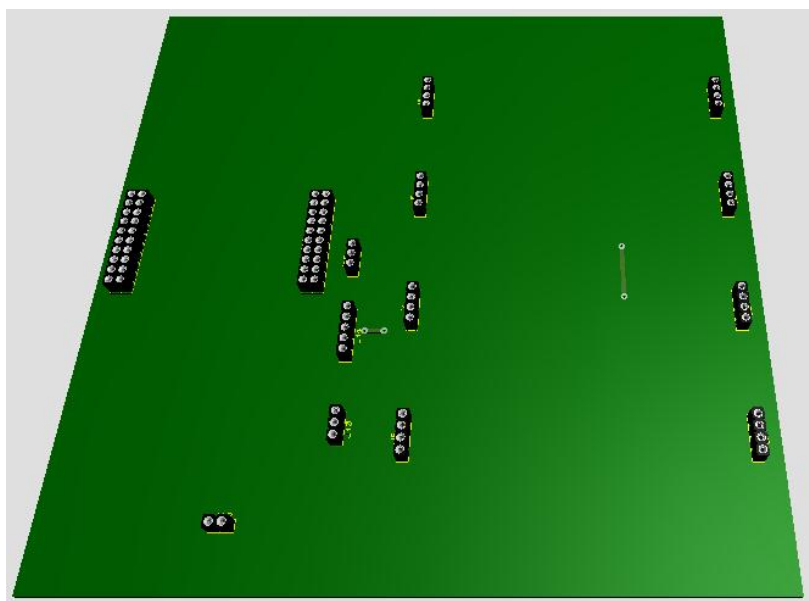


Figura 26. Visualización 3D del circuito, únicamente se usaron borneras. Elaboración propia

Por cuestiones de diseño mecánico, en lugar de fijar los sensores a la baquela, el circuito se diseñó con borneras, lo cual permite adicionalmente intercambiar fácilmente algún componente en caso de fallas o averías. La ubicación de los sensores dentro del circuito se debe fundamentalmente al diseño mecánico del banco de sensores, teniendo en cuenta la entrada de gases (que va acorde a las medidas del exosto) y el tamaño de los sensores. La ubicación dentro del banco les permite a los sensores percibir las variables del motor de forma óptima. Por este motivo, el diseño mecánico del banco de sensores de la figura 27 se realiza de la mano con el diseño del circuito.

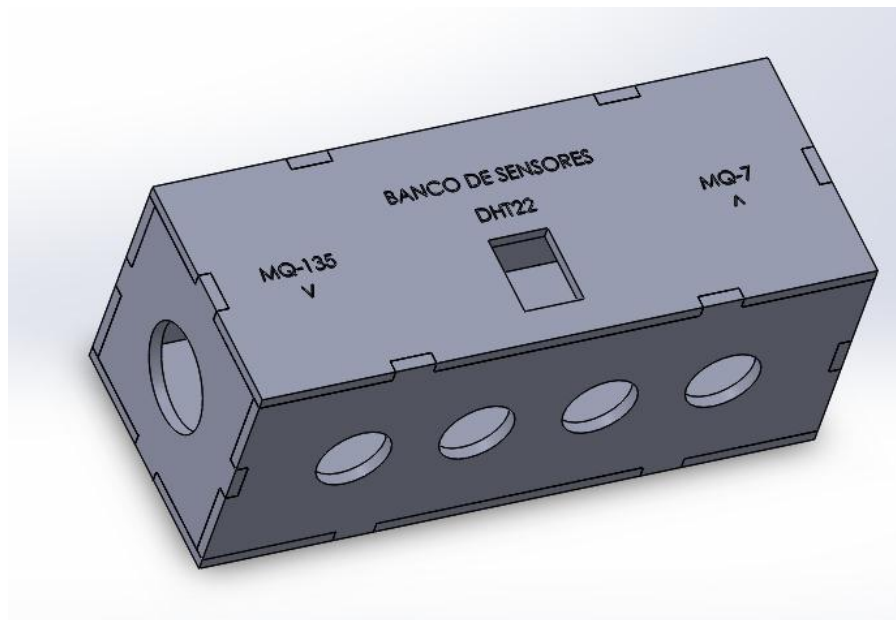


Figura 27. Diseño mecánico banco de sensores. Elaboración propia.

Posterior al diseño, se realiza la quema del circuito en baquela y el ensamble del banco de sensores en acrílico, como se evidencia en la figura 28 y figura 29 respectivamente.

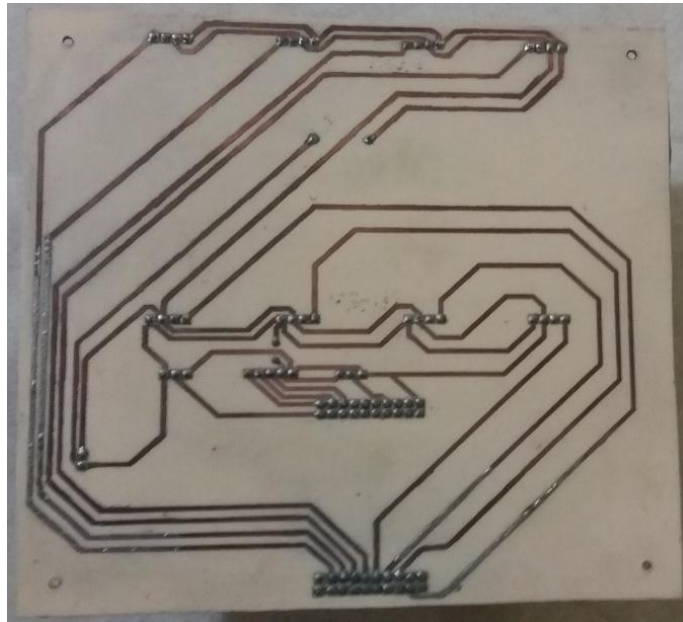


Figura 28. Circuito quemado en baquela. Elaboración propia.



Figura 29. Banco de sensores y microcontrolador ubicados en la baquela. Elaboración propia

5.3 Diseño SCADA

Se escogió el software LabView en su versión 2016 por la facilidad que brinda para la visualización de datos en tiempo real, así como para guardar dichos datos en tablas que permitan un análisis posterior. Además, la programación en bloques facilita su uso.


```

        recortar cadena de caracteres haciendo la partición en el lugar donde
        haya una coma;

        acumulación de caracteres ordenadamente;

    }

    Convertir caracteres ya separados, en números y enviarlos a una salida;

    Graficar datos y o guardar;

}

}

Si no{

    No inicia la toma de datos;

}

```

En la figura 31 se observa la parte gráfica que permite un monitoreo del motor en tiempo real, permitiendo detallar las implicaciones que tiene variar la mezcla gasolina-aire en el carburador. Para hacerlo se escogieron formas estandarizadas por el software utilizadas para visualizar cada tipo de variable.

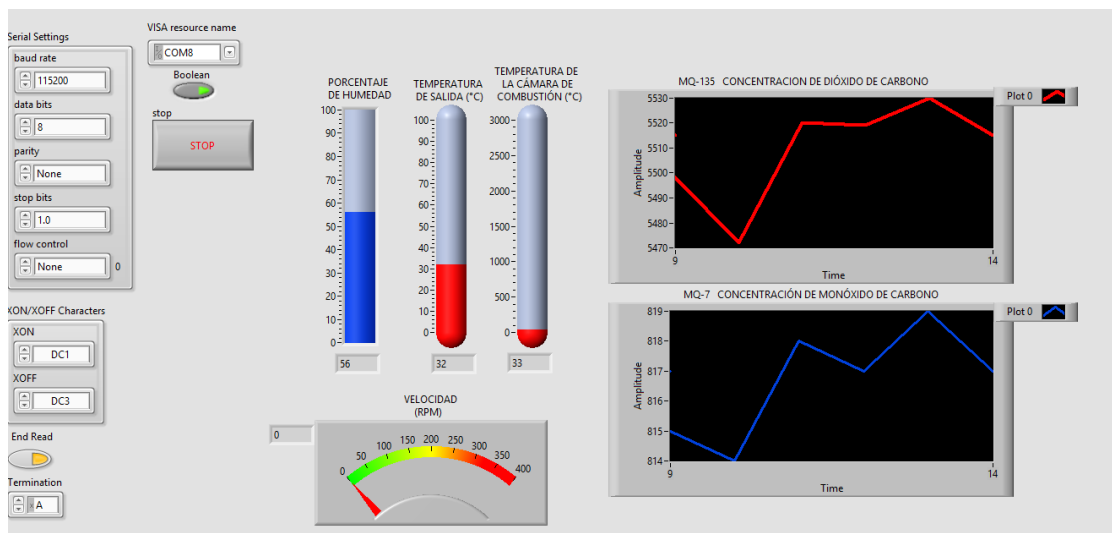


Figura 31. visualización de las variables físicas del motor y de algunas configuraciones para el microcontrolador. Elaboración propia.

6 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Inicialmente se realizó el precalentamiento de 24 horas para los sensores MQ-135 y de 48 horas para los sensores MQ-7. Según el fabricante, este procedimiento solo se realiza una vez, y para las siguientes ocasiones el tiempo de precalentamiento disminuye por ello se realizó una toma de datos para determinar ese tiempo. El comportamiento de los sensores MQ-135 durante su calentamiento y bajo unas mismas condiciones de aire, se muestra en la figura 31. El tiempo aproximado de calentamiento que indica la gráfica es de 40 minutos, sin embargo, esto depende de la temperatura ambiente (variable), por eso se observa que la curva de todos los sensores va en ascenso. En la figura 32 se presentan los resultados obtenidos en voltaje para los cuatro sensores MQ-135 tomando muestras al aire libre durante 60 minutos. Como se puede observar, todos los sensores tienen un nivel diferente de voltaje para una misma concentración de gas, de ahí la necesidad de calibrarlos.

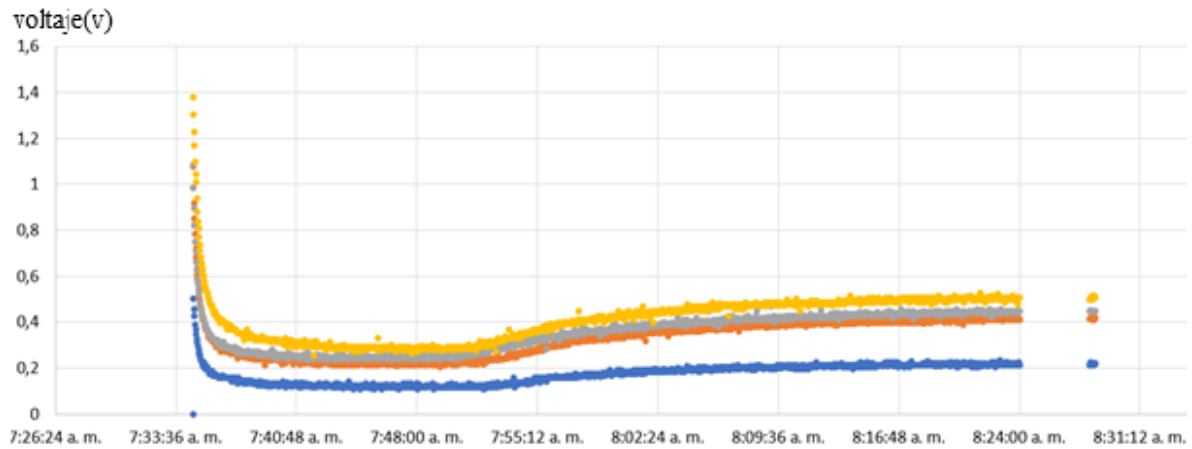


Figura 32. Voltaje vs tiempo (1 hora) sensores MQ-135. Elaboración propia.

Realizando las medidas con los sensores MQ-135, se obtuvieron valores excesivamente variables y oscilantes, para medidas tomadas en un mismo ambiente, por ello se utilizó el sensor de CO₂ modelo: GCH-2018 que se muestra en la figura 33, para verificar que la conversión de voltaje a ppm calculada mediante la curva proporcionada por el datasheet de los sensores, era correcta.



Figura 33. CO2 Meter GCH-2018. Elaboración propia.

Se tomaron 6 mediciones a diferentes concentraciones de CO₂ bajo ambiente controlado (en el interior de una bolsa sellada herméticamente), esperando 10 minutos entre cada toma para estar seguros de que la mezcla de aire fuese homogénea en todos los puntos de la bolsa y esperando que el sensor de CO₂ modelo: GCH-2018 presentase pocas oscilaciones en las medidas que arrojaba. Dado que el CO₂ se adicionaba cada cierto tiempo con la exhalación de la respiración, las medidas de la concentración de este gas presentaron picos mientras se homogenizaba la mezcla, por tal motivo solo se tuvieron en cuenta medidas tomadas a partir del minuto 5 después de haber adicionado CO₂.

En la tabla 11 se muestran el promedio y la moda de los datos tomados con el sensor de CO₂ modelo: GCH-2018 para cada una de las 6 mediciones realizadas.

Tabla 11.

Datos del sensor industrial de CO2

Promedio (PPM)	Moda (PPM)
470	469
1196	1193
1883	1880
3236	3241
7159	7145
Fuera de rango	Fuera de rango

Datos sensor sensor de CO2 modelo: GCH-2018. Elaboración propia

En la figuras 34, figura 35, figura 36, y figura 37 se muestran los resultados de las medidas tomadas para cada uno de los sensores, así como dos formas pensadas para eliminar la sobre oscilación a la hora de visualizar los resultados cuando se realice la calibración. Las líneas azules representan la señal original de cada sensor, las grises la moda de las medidas a diferentes concentraciones y las líneas naranjas el promedio.

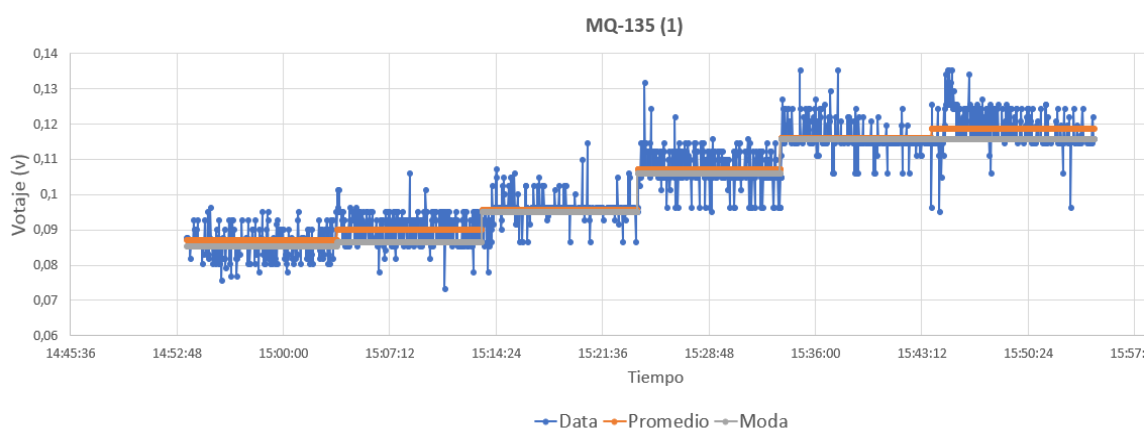


Figura 34. Resultados de las medidas del sensor 1. Elaboración propia.

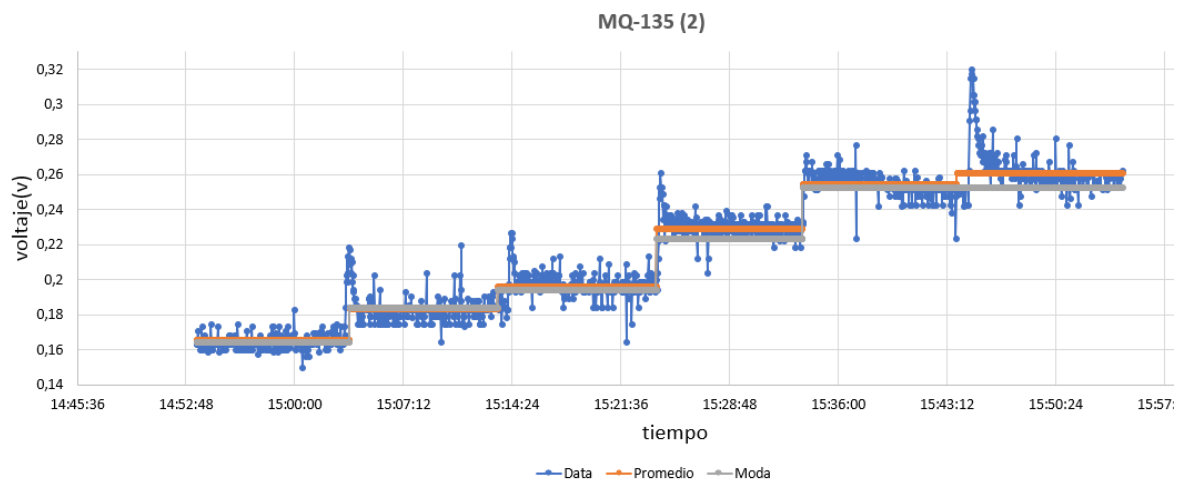


Figura 35. Resultados de las medidas del sensor 2. Elaboración propia.

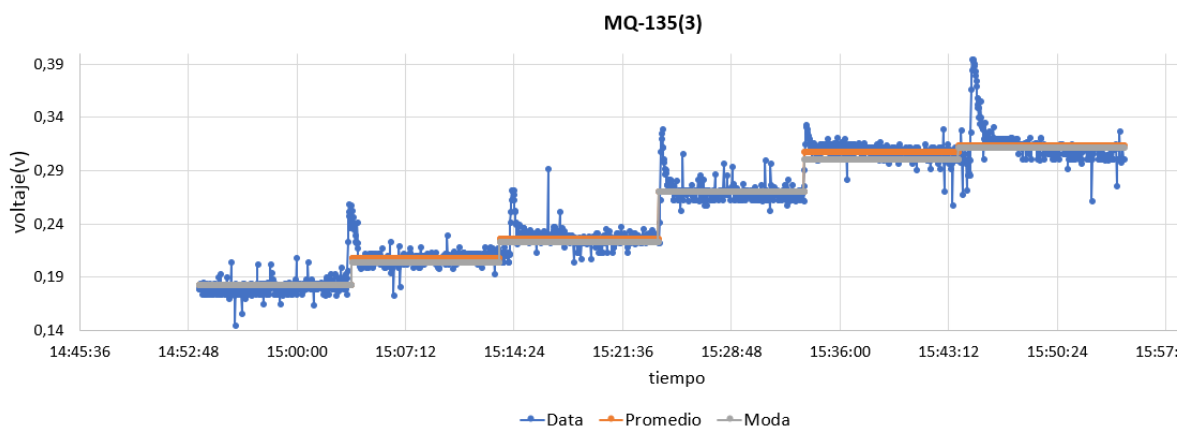


Figura 36. Resultados de las medidas del sensor 3. Elaboración propia.

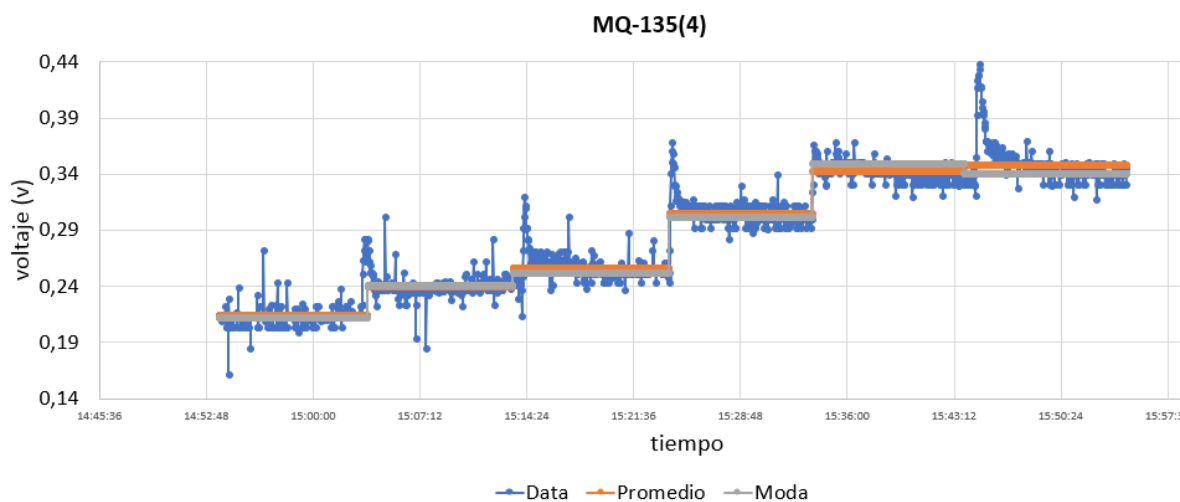


Figura 37. Resultados de las medidas del sensor 4. Elaboración propia.

Observando la figura 34, figura 35, figura 36 y figura 37 se concluye que es mejor utilizar el promedio en lugar de la moda, debido a que se pueden visualizar las variaciones pequeñas con mayor precisión. De igual manera, se toma el promedio del sensor de CO2 modelo: GCH-2018. En la tabla 12 se visualizan los promedios de los valores del sensor de CO2 modelo: GCH-2018 y de los voltajes correspondientes a cada uno de los sensores MQ-135.

Tabla 12.

Datos para calibración de sensores MQ-135

CO2 modelo: GCH-2018 (ppm)	MQ-135 (1) voltios	MQ-135 (2) voltios	MQ-135 (3) voltios	MQ-135 (4) voltios
470	0,08732702	0,1655716	0,18268562	0,21444763
1196	0,090108969	0,18350301	0,20816389	0,24062837
1883	0,095794405	0,19640326	0,22636799	0,25630181
3236	0,10743537	0,22903434	0,27096095	0,30521632
7159	0,116242392	0,25447076	0,30775983	0,34322071
Fuera de rango	0,118718464	0,260941179	0,31411018	0,34833782

Datos para experimentales utilizados para la calibración de sensores MQ-135. Elaboración propia

Como se observa en la tabla 12, las variaciones de CO2, están representados en pequeñas variaciones de voltaje, por lo cual, es fundamental realizar bien la calibración de modo que el error sea mínimo.

Aunque el rango del sensor de CO2 modelo: GCH-2018 es muy bajo, se pudo comprobar que los cálculos, aunque correctos eran imprecisos debido a que la calibración previa de los sensores MQ-135 no se hizo en un ambiente controlado, con concentraciones de CO2 conocidas, sino que se trabajó bajo el valor del promedio mundial. Y aunque para los cálculos se utilizó la información proporcionada por el observatorio Mauna Loa de Hawaii,

experimentalmente este dato tiene una variación promedio de 200 ppm aproximadamente (en lugares abiertos de Pamplona Norte de Santander), dependiendo de la cantidad de vehículos y personas que se encuentren en las cercanías del lugar de medición, lo cual representa un cambio significativo si se calibran los sensores con unos datos y estos están errados.

El sensor de CO2 modelo: GCH-2018 tiene un tiempo de respuesta lento aproximado de 2 minutos, lo que hizo necesario introducir la sonda de medición y el banco de sensores en una bolsa sellada como se muestra en la figura 38, de manera que el ambiente fuese estable y no se presentasen variaciones a la hora de realizar la toma de datos y la calibración.



Figura 38. Calibración de los sensores MQ-135 bajo ambiente controlado. Elaboración propia.

Teniendo todo dispuesto, como se visualiza en la figura 38 se dejó reposar el ambiente dentro de la bolsa durante 10 minutos, para que las medidas de los sensores se estabilizaran, sin embargo, las variaciones tanto en el sensor de CO2 modelo: GCH-2018 como en los sensores MQ-135, persistieron aunque disminuyendo su rango de oscilación significativamente a 12 ppm para el primero y a 30 ppm para los MQ-135 (esto se verificó

después de hacer la calibración). Como se mencionó anteriormente la calibración consiste en encontrar el valor de R_o para cada sensor, y haciendo uso de las ecuaciones planteadas, se establecieron los siguientes valores (tabla 13):

Tabla 13.

Valores de R_o hallados experimentalmente

R_o ($K\Omega$)
Sensor 1: 64274.8
Sensor 2: 31988.56
Sensor 3: 24071.29
Sensor 4: 23013.44

Valores de R_o de los sensores MQ-135 hallados experimentalmente. Elaboración propia

Los valores de la tabla 13 fueron calculados promediando 50 lecturas tomadas cada medio segundo, para asegurar exactitud. Un detalle importante fue la temperatura a la que se hizo la calibración, 28.5°C , debido a que temperaturas superiores las medidas de los sensores MQ-135 se alejaban de las medidas reales. A continuación, en la figura 38 se muestra el código empleado para calcular dichos valores. La ecuación utilizada para calcular R_o es la ecuación 1 y sirve también para calcular los valores de los sensores MQ-7, cambiando únicamente las constantes.


```

ppmi=431;
for(i=0;i<50;i++)
{
    s1 = analogRead(A11);
    rs1 += r11*(4095-s1)/s1;
    delay(50);
}
rs1=rs1/50;
ro1=rs1/(5.14*pow(ppmi,-0.3511));

```

Figura 39. Código empleado para calcular el valor Ro de los sensores, donde ppmi indica el valor real de gas, r11 es el valor medido para cada sensor y ro1 el valor a calcular. Elaboración propia.

El comportamiento de los sensores MQ-7 durante su calentamiento y bajo las mismas condiciones de aire que los MQ-135, se muestra en la figura 40. El tiempo aproximado de calentamiento que indica la gráfica es de 40 minutos, sin embargo, esto depende de la temperatura ambiente, por eso se observa que la curva de todos los sensores va en ascenso.

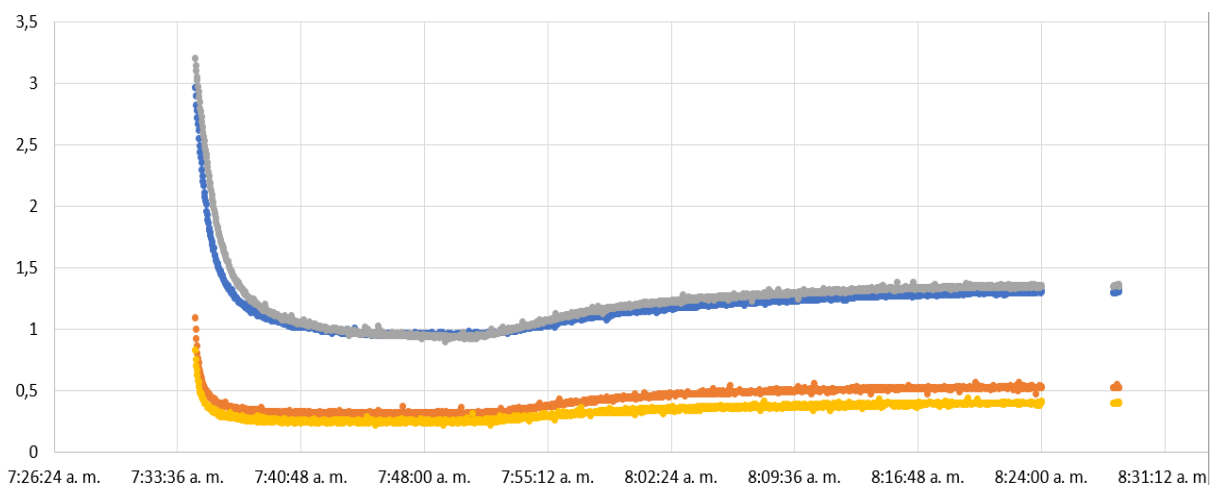


Figura 40. Voltaje vs tiempo (1 hora) sensores MQ-7. Elaboración propia.

Al igual que los sensores MQ-135, los sensores MQ-7 varían sus medidas cuando se toman al aire libre y por lo tanto para realizar la calibración es necesario promediar cierta cantidad de datos para obtener una medida más precisa. Para realizar la calibración de estos

sensores, se utilizó el sensor Bacharach PCA3 que se muestra en la figura 40 diseñado especialmente para analizar gases de combustión de motores diésel.



Figura 41. sensor Bacharach PCA3. Elaboración propia.

Para realizar la calibración de los sensores MQ-7 se necesita una concentración de CO conocida, por lo que se procedió a tomar medidas de la camioneta Mazda Bt50 Di Turbo que se muestra en la figura 42, cuyo motor opera bajo la norma Euro IV y por lo tanto se espera que sus emisiones se encuentren dentro del rango del sensor Bacharach.



Figura 42. Mazda Bt50 Di Turbo utilizado para calibración de los sensores MQ-7. Elaboración propia.

Para realizar la calibración de los sensores, se encendió el vehículo durante 10 minutos para calentar el motor y que las emisiones fuesen estables en ralentí. Seguidamente se midió la cantidad de CO con el sensor Bacharach PCA3 como se muestra en la figura 42 para tener la referencia en partes por millón e ingresar este valor en la ecuación que se utiliza para calcular R_o . Hecho esto, se tomaron las medidas con los sensores MQ-7, hallando así el valor de R_o para cada sensor utilizando la ecuación 1.



Figura 43. Medición de CO para calibración de los sensores MQ-7. Elaboración propia.

Como puede verse en la figura 43, el sensor tiene una sonda que captura y encierra los gases que se van a analizar, por lo tanto, no requiere de un tiempo prolongado de toma de muestras para arrojar un resultado. El sistema de captura resulta bastante novedoso, ya que la sonda mide la presión de los gases, garantizando que este no sea un factor que influya en la medida de concentraciones.

La medida obtenida con el sensor Bacharach PCA3 se muestra en la figura 44.



Figura 44. Medida de CO arrojada por el sensor Bacharach PCA3. Elaboración propia.

El inconveniente que presenta el sensor es que la sonda está diseñada para tomar 20 capturas, luego de eso, debe cambiársele una pieza que resulta bastante costosa. De ahí la razón de esperar a que el motor se caliente y se estabilice, para asegurar que las medidas tomadas con los sensores MQ-7 para la calibración tienen la misma concentración que la captura tomada por el Bacharach PCA3.

Implementando en el software de programación, la ecuación 1 se encontraron los valores de R_o que se muestran en la tabla 14.

Tabla 14.

Valores R_o de los sensores MQ-7 (en ohmios).

7975.07
1380.31
4757.07
1311.44

Elaboración propia

Al igual que con los sensores MQ-135, los valores de la tabla 14 fueron promediados de 50 lecturas tomadas cada medio segundo para así abarcar todas las fluctuaciones que se presentan durante la toma de datos.

Una vez encontrados los valores de R_o , la calibración se da por finalizada y se procedió a realizar el análisis de las emisiones de los gases del motor Suzuki DF6. Para realizar ese estudio, se hizo el montaje del banco de sensores adaptados al motor como se muestra en la figura 45.

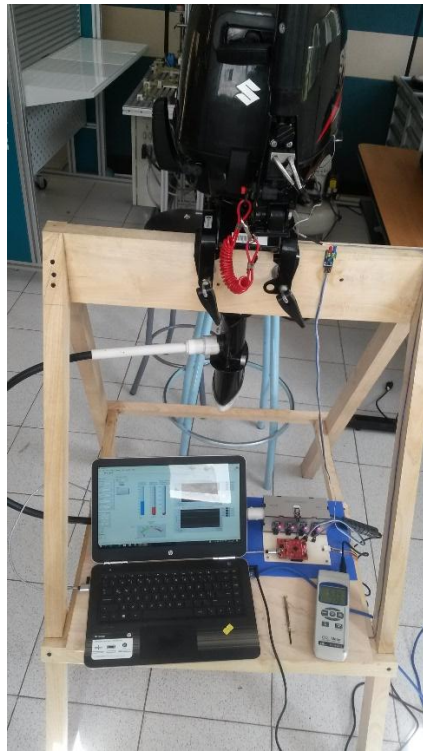


Figura 45. Montaje del sistema completo. Elaboración propia.

Inicialmente, como el motor es nuevo, en teoría la carburación se encuentra en el punto de mejor rendimiento del motor, por lo cual la toma inicial de datos se hizo sin realizar ningún ajuste.

Al realizar la toma de datos, la lectura de los sensores de gas variaba demasiado entre las diferentes muestras, aun sin haber realizado cambios, tan solo esperando un tiempo entre las mediciones. El motivo, se explica a continuación:

Importante: “Un punto de gran relevancia y que no se tuvo en cuenta anteriormente en los cálculos, es la incidencia tan fuerte que tienen la humedad y la temperatura en el voltaje que entregan los sensores de gas durante la toma de datos. Para no tener inconvenientes con la ecuación que modela un nuevo comportamiento de los sensores frente a esta situación como lo muestra la figura 45, mediante mediciones, se tomó un rango de temperatura y otro de humedad para no incluir otra ecuación completa, sino simplemente añadir un coeficiente”.

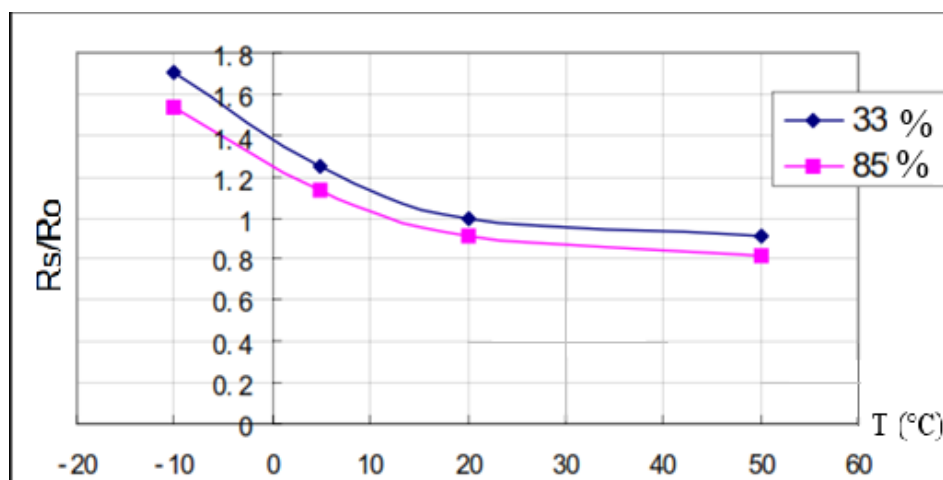


Figura 46. comportamiento sensor MQ-135 frente a la temperatura y la humedad. El eje x representa la temperatura y cada una de las dos líneas corresponde a un porcentaje de humedad indicado en el costado derecho la figura. Por datasheet.

Con ayuda del sensor DTH22, se comprobó que la humedad expulsada por el motor se encuentra normalmente entre 50 y 70 % (en ralentí), y analizando la figura 46, se observa que las curvas que representan humedad están muy próximas entre sí a pesar de la diferencia que hay entre los valores numéricos que representan. Lo anterior permitió concluir que la curva fucicia (de 85% de humedad) es una mejor aproximación del rango de humedad del motor. En cuanto a la temperatura, utilizando el mismo DHT22 se comprobó que la temperatura aproximada de los gases se encuentra entre 26°C y 33°C.

Sabiendo que se debe tomar la curva fuccia para la humedad y que la temperatura promedio es de 30°C, se recurrió nuevamente a web plot digitizer (figura 47) para hallar el coeficiente por el cual se deben multiplicar las ppm calculadas y así obtener un resultado más acertado. Según la figura 47 el coeficiente es 0,87.

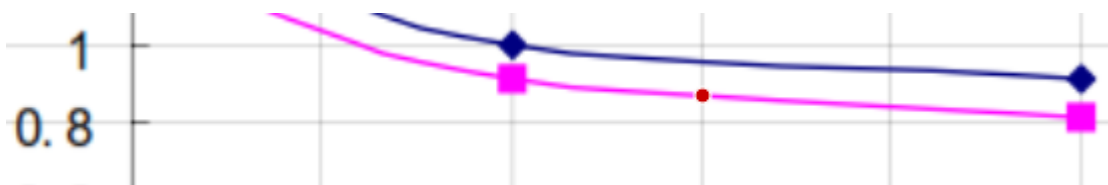


Figura 47. Coeficiente hallado para el sensor MQ-135 (punto rojo reflejado en el eje Y). Elaboración propia, editando el datasheet.

Utilizando el mismo procedimiento, se calculó un coeficiente para el sensor MQ-7 y como lo indica la figura 48, es aproximadamente 0,815.



Figura 48. Coeficiente hallado para el sensor MQ-7 (punto rojo reflejado en el eje Y). Elaboración propia, editando el datasheet.

Como dice la teoría del carburador, la calibración de la carburación afecta significativamente al motor únicamente en ralentí, ya que cuando se acelera, intervienen circuitos que proporcionan la cantidad de mezcla necesaria para que el motor responda adecuadamente. Por lo tanto, los resultados mostrados a continuación corresponden a medidas tomadas en ralentí, variando la dosificación de la mezcla en varias oportunidades.

Para comprender los resultados obtenidos, se da a continuación una descripción de cómo se varió la dosificación de la mezcla.

- Con el previo calentamiento de los sensores, la medición empieza a realizarse instantes antes de encender el motor, mientras se encendía el motor.
- Al encender el motor, se mantuvo dos minutos sin realizar ajustes a la mezcla.
- Posteriormente se realizaron 4 ajustes a la dosificación de la siguiente manera:

Disminución la cantidad de aire al mínimo sin que el motor se apague, aumento del paso de mezcla, aumento del paso de mezcla al máximo, disminución del aire a nivel intermedio. Cada una de las líneas verticales de la figura 49, figura 50, figura 51 y figura 52 representan el instante de tiempo en que se hizo el ajuste a la dosificación.

En la figura 49 se visualiza el comportamiento conjunto de los sensores de monóxido de carbono MQ-7, donde se puede apreciar que hay subidas y caídas en la señal. Generalmente, cuando se presentan una caída y un aumento súbito drástico, significa que se presentó una variación en la dosificación de la mezcla. Durante el primer ajuste representado a partir de la primera línea vertical, se observa que cuando se disminuye el flujo de aire al mínimo, después de una caída en la señal, esta tiende a mantenerse oscilando de forma similar a como se encontraba previo al ajuste, aunque con una ligera tendencia al aumento.

Al realizar el segundo ajuste aumentando la dosificación de la mezcla, las emisiones de CO aumentaron aproximadamente en 6.000 ppm pasando de 11.000 ppm a 17.000 ppm (en promedio).

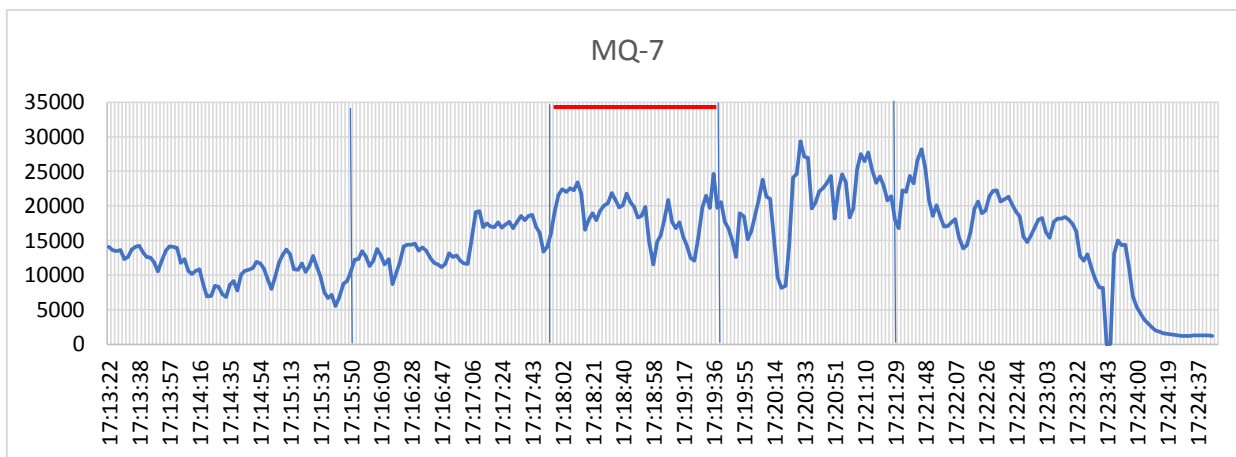


Figura 49. variación en las medidas de los sensores de monóxido de carbono MQ-7. Elaboración propia.

El tercer ajuste (paso de aire al máximo) permite corroborar que el promedio de concentración de gas aumentó hasta 21.000 ppm y se presentaron picos mucho mas elevados que en el ajuste anterior.

Finalmente, al realizar el último ajuste (disminución a nivel intermedio), la concentración de gas no bajó inmediatamente, esto debido a que los sensores después de ser expuestos a altas concentraciones requieren de un tiempo para que las partículas del gas se dispersen de la zona de sensado y así estabilizar sus medidas.

Los resultados obtenidos podrían mejorarse si las medidas se hubiesen tomado con un lapso más prolongado entre cada variación, para que los sensores se estabilizasen, lo cual no se puede hacer por los problemas de refrigeración del motor. A pesar de eso, las medidas se encuentran dentro del rango teórico de CO para motores a gasolina, el cual se encuentra entre 10.000 ppm y 25.000 ppm.

En la figura 50 se visualiza el comportamiento conjunto de los sensores de calidad del aire MQ-135, donde se puede apreciar un comportamiento en la señal muy similar al de la

figura 49, pero con diferentes valores de ppm. Evidentemente tomar las medidas obtenidas como concentración de CO₂ sería un error ya que estas superan las teóricas alcanzando valores hasta de 4.500.000 ppm, lo cual es imposible. Ese enorme error se debe a que el sensor no es exclusivamente para CO₂, sino que reacciona también ante el CO con una curva de comportamiento diferente, entonces al obtener de la combustión ambas partículas interactuando al tiempo con los sensores bajo una misma ecuación de modelamiento, el error crece exponencialmente.

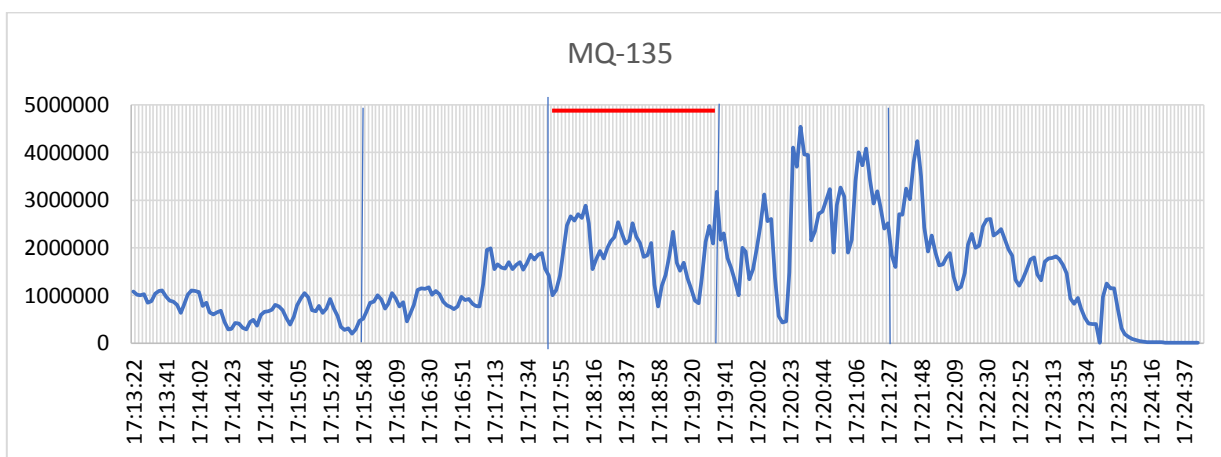


Figura 50. Variación de las medidas de los sensores MQ-135. Elaboración propia.

La información que se puede rescatar de la figura 50 es que, aunque no es útil para indicar la concentración de CO₂ en esta aplicación, si es un buen indicador de qué tan nocivo es el aire expulsado por el motor, y como es evidente, ese factor depende de la dosificación de la mezcla gasolina aire, y es directamente proporcional a la variación de CO.

Por otro lado, dado que el CO₂ es el compuesto más abundante resultante de la combustión, su variación no es un indicador de la eficiencia de la combustión como lo son la presencia de CO y de material particulado (su presencia está asociada sobre todo a la calidad del combustible).

La figura 51 representa la velocidad de giro del rotor del motor. Como puede verse, la velocidad luego del primer ajuste donde se disminuyó la dosificación, se reduce, alcanzando un promedio de 1.480 rpm y con una gran cantidad de oscilaciones que indican que el motor se encuentra trabajando de manera forzada.

Cuando se realiza el segundo ajuste aumentando la dosificación la velocidad promedio aumenta a 1.490, con menor oscilación.

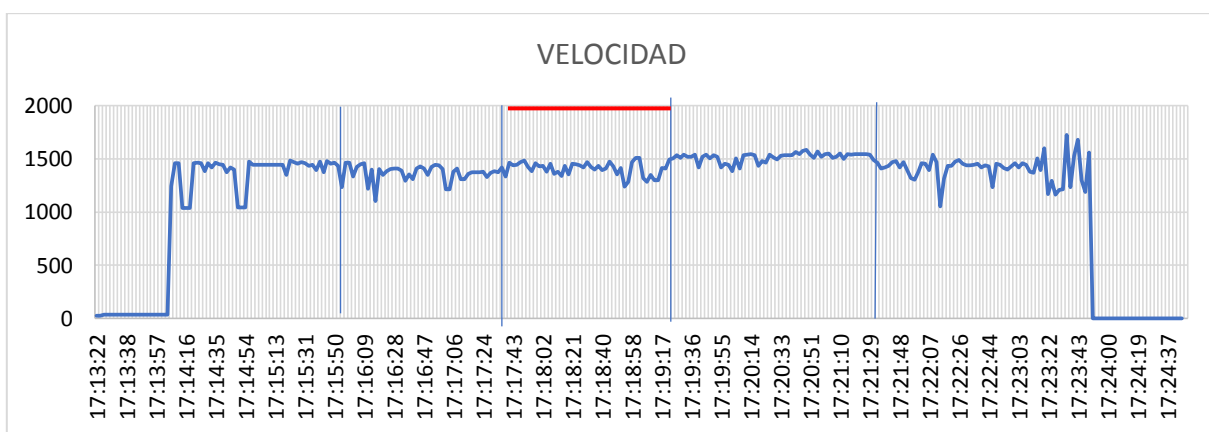


Figura 51. Velocidad. Elaboración propia.

Al tercer ajuste con el paso de mezcla abierto al máximo, la velocidad aumenta alcanzando un promedio de 1505 rpm. Cuando se ajusta la dosificación por última vez la velocidad disminuye a 1490 rpm.

En la figura 52 se puede observar la gráfica que representa la humedad en el banco de sensores; esta señal, aunque tomada al mismo tiempo que las demás no representa la humedad en tiempo real, ya que el vapor se va acumulando en el sensor y no se perciben de inmediato las variaciones, sino que requiere de un tiempo para realizar el cambio.

En la figura 52, las líneas verticales azules representan el instante de tiempo en que se realizó la variación de la dosificación y las líneas naranjas el instante en que los sensores perciben el cambio.

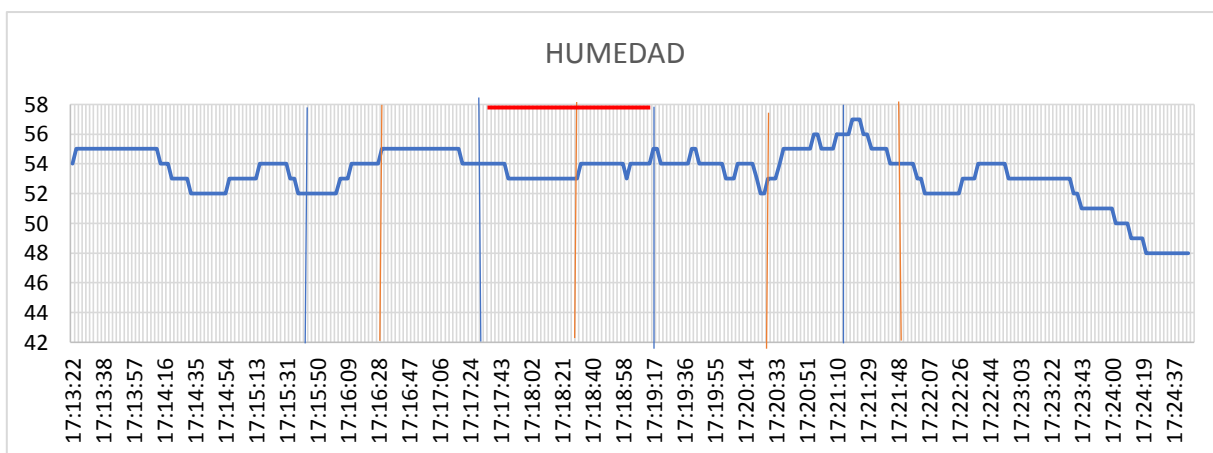


Figura 52. Humedad. Elaboración propia.

Encontrar el punto de mejor funcionamiento consiste en hallar el ajuste de la mezcla que permita (basados en las cuatro figuras anteriores) encontrar la menor cantidad de emisiones de CO, manteniendo una velocidad estable.

El tiempo entre cada explosión no está definido, sino que varía (dependiendo de la calidad del combustible, de la humedad relativa ambiental, del buen estado del motor y por supuesto de la dosificación de la mezcla gasolina aire) lo cual implica que la velocidad del rotor tampoco es estable, por lo tanto, hallar una velocidad estable se refiere a encontrar el ajuste en la dosificación de mezcla que permita una velocidad de rotor con las oscilaciones más bajas posible. Para eso se tomaron de la figura 49 y de la figura 51 las secciones (resaltadas con una línea roja por encima) que representan una velocidad promedio de 1.490 rpm y emisiones de 17.300 ppm de CO aproximadamente como las más adecuadas

para el funcionamiento del motor. Con un mayor paso de la mezcla, la velocidad es más estable, pero, las emisiones aumentan, y con un paso de mezcla inferior, las emisiones disminuyen, pero la inestabilidad en la velocidad aumenta hasta el punto de ser perceptible para el oído.

También se tomaron muestras en una motocicleta Auteco Platino 110 (figura 52). Y aunque no fue posible instalar el sensor de efecto hall porque el motor se encuentra completamente cubierto, sí que se analizaron las demás variables. La selección del motor se hizo teniendo en cuenta tres factores fundamentales, primero y más importante: que el motor es de cuatro tiempos a gasolina; segundo, la disponibilidad para realizar pruebas y tercero que el motor puede permanecer mucho tiempo encendido gracias a que su sistema de refrigeración así lo permite, lo cual facilita la toma de datos durante un periodo de tiempo más prolongado.



Figura 53. Toma de datos platino 110. Elaboración propia.

Inicialmente se hizo una toma de datos durante dos minutos y posteriormente se ajustó el tornillo de mezcla de la siguiente manera:

- Dos giros consecutivos para aumentar el paso de mezcla, giro para aumentar el paso de mezcla al máximo, giro para disminuir el paso de mezcla, giro para disminuir al mínimo la cantidad de mezcla, giro para ajustar el tornillo en su posición inicial, apagado del motor. Las líneas verticales de color naranja de las figura 54, figura 55, figura 56 y figura 57 representan los instantes en que se gira el tornillo que regula el paso de la mezcla en el carburador.

En la figura 54 se muestran los resultados de la medición de la calidad del aire, tal como ocurrió con el motor Suzuki DF6, las emisiones de CO y CO₂ a la vez, impiden que los sensores arrojen una medida en unidades de ppm. Aunque se hace más evidente que el hecho de disminuir el paso de la mezcla reduce también la cantidad de emisiones.

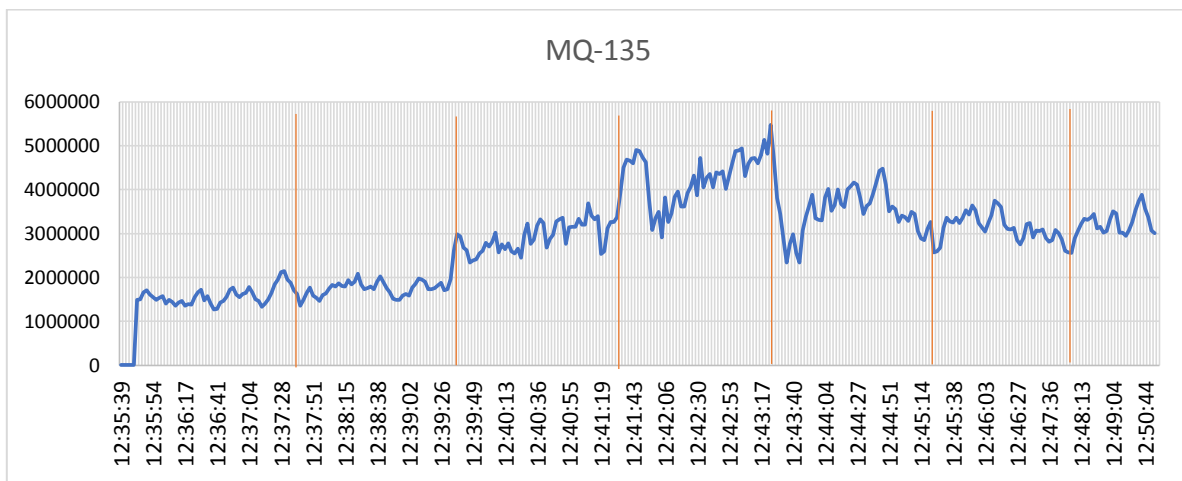


Figura 54. Datos MQ-135 para platino 110. Elaboración propia.

Si la figura 54 se divide en secciones delimitadas por las líneas verticales, se puede observar que en la cuarta sección donde el paso de la mezcla es máximo, las emisiones son máximas también. Y en las siguientes secciones donde se limita el paso de la mezcla, las emisiones disminuyen, sin embargo, no son mínimas únicamente cuando el paso de la mezcla es mínimo.

En la figura 55 se observan los resultados obtenidos de las medidas de emisiones de CO, las cuales se mantienen dentro del rango 10.000-25.0000 ppm excepto cuando el paso de la mezcla es máximo, que asciende hasta a 31.0000 ppm.

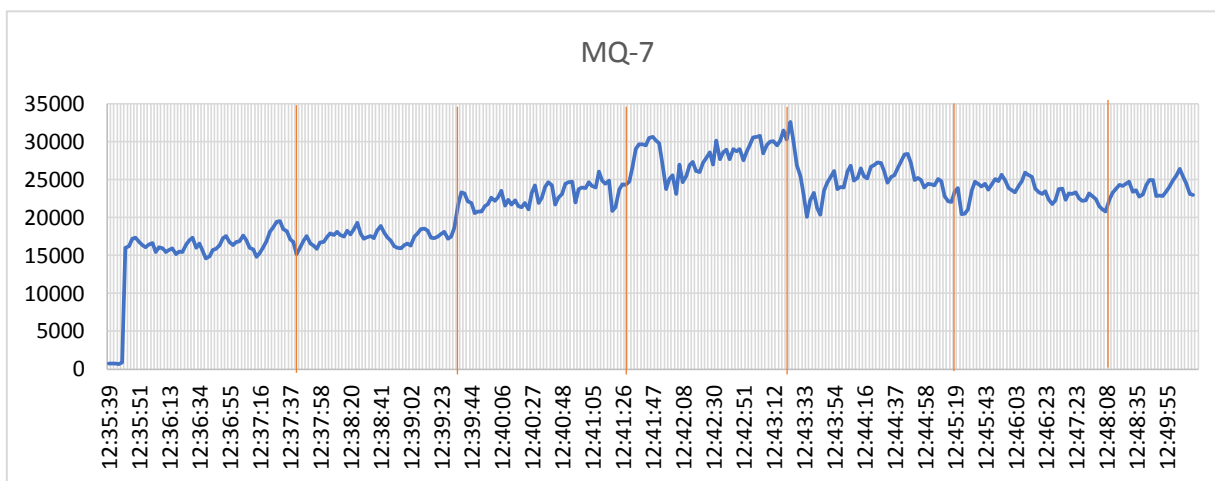


Figura 55. Datos MQ-7 para platino 110. Elaboración propia.

La figura 56 expone los resultados obtenidos de la humedad de los gases emitidos por el motor. Como puede observarse la humedad va en aumento todo el tiempo, excepto cuando se reduce el flujo de mezcla del máximo paso a un nivel intermedio, sin embargo, posteriormente tiende al alza nuevamente. Los factores que determinan ese comportamiento son dos: primero, que a diferencia del motor Suzuki DF6, las muestras se tomaron muy cerca al exosto, lo cual garantiza que toda la humedad expulsada llegue al banco de sensores y no se quede adherida en la tubería de conducción; y segundo, que como se presenta el primer factor, la humedad en el sensor de dht22 no se alcanza a dispersar, afectando las medidas que arroja. A pesar de ese inconveniente, la pequeña reducción de la humedad que se alcanza a presentar es un buen indicador de que la humedad de los gases disminuye cuando se reduce el paso de la mezcla.

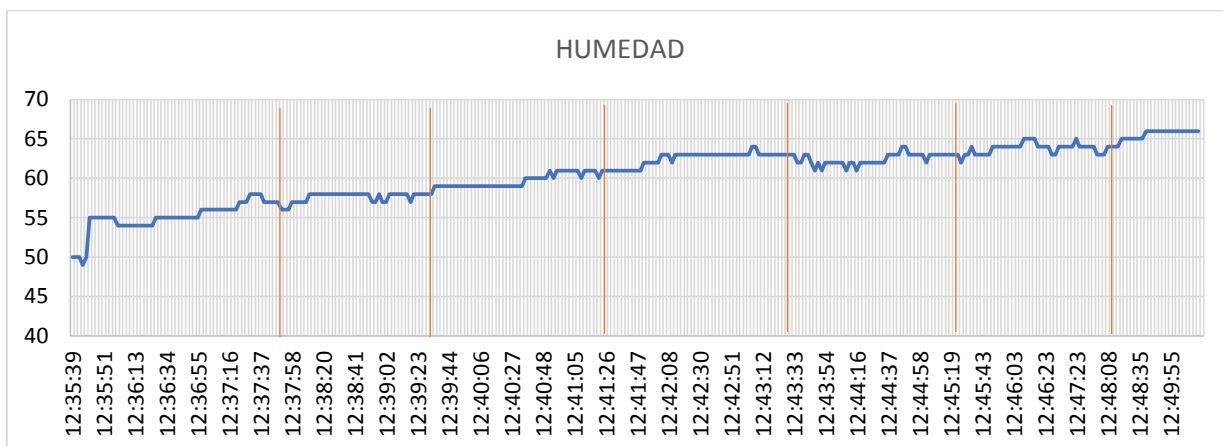


Figura 56. Humedad exosto platino 110. Elaboración propia.

En la figura 57 se observa la temperatura de los gases expulsados por el motor. A pesar de los picos que se presentan, es evidente que la temperatura se mantiene constante, con un ligero cambio de 1°C al final de la toma de datos. Es decir, más que de la dosificación de la mezcla, la temperatura de los gases depende del tiempo que permanezca encendido el motor. Para identificar la influencia que tiene la dosificación que tiene el ajuste de la mezcla, es necesario hacer pruebas más rigurosas en laboratorios con la temperatura ambiente controlada y comparando los resultados de largas pruebas con el motor trabajando bajo diferentes ajustes en su dosificación de mezcla.

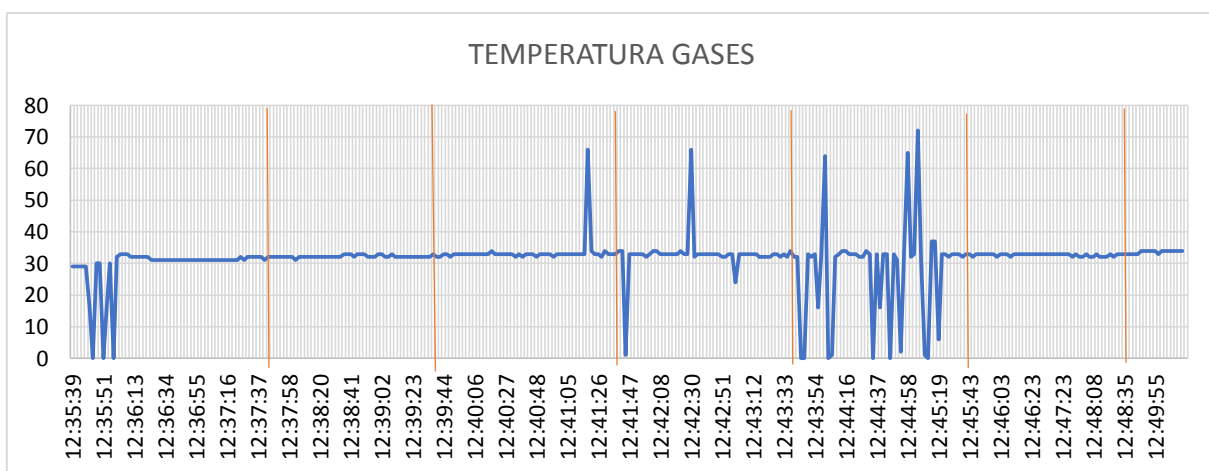


Figura 57 Temperatura tomada cerca de la cámara de combustión. Elaboración propia.

7 ANEXOS

Indicaciones y recomendaciones del manual

A continuación, se presentan algunas especificaciones indicadas en el manual de reparación del motor.

Se recomienda usar gasolina sin plomo.

Las diez primeras horas de operación del motor son críticas para determinar su funcionamiento durante el resto de su vida útil. Requiere cinco minutos de inactividad (calentamiento) cada vez que arranque en frío.

Para las dos primeras horas:

- Opere el motor durante los primeros 15 minutos en ralentí y los 45 minutos restantes a menos de la mitad de la velocidad.
- Durante la siguiente hora opere el motor a menos de $\frac{3}{4}$ de su velocidad máxima.

Durante las siguientes siete horas opere el motor a la velocidad deseada, sin embargo, no lo lleve a máxima velocidad continua por más de 5 minutos.

Precaución

instalar una hélice con paso demasiado alto o demasiado bajo causará una velocidad máxima incorrecta del motor, lo que puede ocasionar daños graves al motor. Para ello se recomiendan unas hélices con un peso y dimensiones específicas para el modelo del motor.

Aceite de motor / filtro del aceite del motor

Comprobar nivel de aceite

- Colocar el motor en posición vertical.
- Verificar el nivel de aceite por la ventana de inspección, el aceite debe verse en toda la ventana. Si el nivel es bajo, agregue hasta que cubra toda la ventana.
- Use aceite de 4 tiempos de clasificación api SE, SF, SG, SH, SJ, con rango de viscosidad SAE 10 W-40.

Siga los siguientes pasos para agregar aceite:

- Quitar la cubierta del motor.
- Quite la tapa de llenado, y limpie la varilla de medición
- Llene el tanque de aceite (0,7 litros)
- Verifique el nivel y ponga la tapa.

Cambiar el aceite cada 20 horas en el primer mes y cada 100 horas a partir de ahí. Cambie el aceite del motor cuando el motor está caliente.

Pruebas en ralentí

verifique el mecanismo de enlace y las válvulas de mariposa del carburador para un funcionamiento suave.

Conecte el tacómetro al cable de alta tensión de la bujía.

Encienda y caliente el motor.

La velocidad debe estar entre 1250 y 1350 rpm.

1. Si la velocidad está fuera de rango, gire el tornillo piloto a la especificación estándar, apriételo suavemente para evitar daños en la válvula.

2. Gire el tornillo de ajuste inactivo, en sentido horario, la velocidad del motor aumenta y en sentido contrario disminuye.

Girar el tornillo piloto en pequeños incrementos hasta conseguir una velocidad estable.

Cambie la configuración del tornillo piloto a $\pm \frac{3}{4}$ de vuelta de la especificación estándar.

En sentido horario, la mezcla gasolina aire se vuelve más fina. Y en sentido contrario la mezcla se hace rica.

8 CONCLUSIONES.

- La optimización del motor mediante la variación de la mezcla gasolina aire en el carburador, viene regulada por el manual de reparación en los motores nuevos. Experimentalmente se pudo encontrar que el cambio de las variables físicas del motor (principalmente la velocidad y las emisiones de gases) dependen en parte de la variación de la dosificación de la mezcla.
- Las emisiones de gases y la velocidad del motor Suzuki DF6 varían de forma diferente cuando se hacen cambios en la dosificación de la mezcla. Por lo tanto, encontrar el punto óptimo de funcionamiento para el motor, es hallar un punto intermedio en el que la velocidad es menos inestable y las emisiones se encuentran por debajo de la máxima, aunque si se omitiera la parte ambiental, al motor le conviene trabajar con una velocidad estable para efectos de conservación de sus piezas.
- El estudio de las variables físicas del motor depende de que tan a menudo se encienda el motor, así como de su edad. El motor con el que se trabajó es nuevo y el fabricante recomienda seguir una serie de pasos para las primeras horas de funcionamiento que, en la práctica, debido a que no se contaba con el sistema de refrigeración ni el medio ambiente apropiado para él, no se realizaron, por lo cual posiblemente el motor no mostró los resultados que se pueden obtener con un motor trabajado bajo condiciones apropiadas.
- Para realizar un ajuste adecuado de la mezcla gasolina-aire, es necesario también incluir al tornillo que regula el ralentí, debido a que van de la mano, el funcionamiento de uno incide en el otro y viceversa. Para realizar adecuadamente este ajuste, inicialmente se ajusta el tornillo ralentí hasta obtener una velocidad que se encuentre dentro del rango ideal especificado por el fabricante y posteriormente se ajusta el tornillo de la mezcla

verificando mediante el sistema SCADA diseñado, que el motor disminuye la oscilación en su velocidad de giro sin que aumente sustancialmente la concentración de gases tóxicos.

- Para que la combustión sea efectiva y haya una reducción en la emisión de gases contaminantes, es importante la calidad del combustible.
- Un estudio de gases de un motor de combustión interna es muy costoso de realizar, debido a que los equipos que se necesitan son poco comunes. Es decir que, con un banco de sensores similar al construido en este trabajo, agregando algunos componentes y sustituyendo otros, se podría realizar un estudio completo de gases para motores a gasolina con un costo mucho menor al de un sensor industrial.
- La calibración del tornillo de mezcla gasolina-aire viene dada por el fabricante del motor, sin embargo, en los talleres comunes de reparación de automotores, esto lo hacen a prueba y error, observando la suciedad y humedad en la bujía. Por lo tanto, el método utilizado en el presente proyecto, haciendo una lectura de gases y de la velocidad del motor podría resultar muy interesante de implementar en talleres.
- La temperatura tanto de los gases resultantes de la combustión como del motor dependen de una gran cantidad de variables, por lo tanto, es apresurado asegurar que la dosificación de la mezcla incide en el calentamiento del motor.

9 REFERENCIAS

Resolución 910 del 2008 (2008). Recuperado a partir de

<http://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/gestion-del-aire/emisiones-contaminantes#normativa-fuentes-m%C3%B3viles>

Sanz Acebes S. (2007a) El motor de dos tiempos. Motores (pp. 351-361). Madrid, España: Editorial Editex S.A.

Sanz Acebes S. (2007b) El motor de cuatro tiempos. Motores (pp. 21-25). Madrid, España: Editorial Editex S.A.

Bartsch, c. (2005). Revolución del motor diesel: desarrollo de la inyección directa. Barcelona, España. Ediciones ceac Planeta DeAgostini Profesional y de Formación SL.

MOTORGIGA (s. F.). Choke - definición - significado. Recuperado de <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/choke-definicion-significado/gmx-niv15-con193520.htm>

Licon Payares, L.E. (25 de junio del 2008) Clasificación de los motores diesel - aprendiendo mecánica diesel. Recuperado de <https://sites.google.com/a/misena.edu.co/aprendiendo-mecanica-diesel/clasificaci%C3%B3n-de-los-motores-diesel>

Crouse, w. H. (1993). Mecánica del automóvil. Barcelona, España: versión en español por Marcombo S.A.

El motor diésel, historia (26 de octubre del 2014). Recuperado de <http://cochesmiticos.com/el-motor-diesel-historia/>

Aficionados a la mecánica (s. F.). Gases de escape y sistemas de anticontaminación.

Recuperado de <http://www.aficionadosalamecanica.net/emision-gases-escape.htm>

IDEAM. (s. F. a). Emisiones por fuentes móviles. Recuperado de

<http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/emisiones-por-fuentes-moviles>

IDEAM. (s. F. b). Emisiones por fuentes móviles Recuperado de

<http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/emisiones-por-fuentes-moviles>

Alvarez Florez, J. Á., Callejón, I., Forns, S., Balsells, D., Casanova, J., Bonet, O.,... Villa, J. (2005). Motores alternativos de combustión interna. Univ. Politèc. De Catalunya. recuperado de

https://books.google.com.co/books?id=RLDuW6HWXA0C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Serna, A., Ros, F. A. y Rico, J. C. (2010). Guía práctica de sensores. España: Creaciones copyright sl.

Iso 5130:2007 - acoustics -- measurements of sound pressure level emitted by stationary road vehicles. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/38663.html>

Kates, E.J., Luck, W. E. (1981). Motores diesel y de gas de alta compresión. Barcelona, España: Editorial Reverté. S. A

Patiodeautos.com (s.f.) La historia del motor de combustión interna. Recuperado de

<https://patiodeautos.com/revista/generales/historia-motor-combustion-interna>

Bardahl (septiembre 27 de 2016). La historia del motor de lancha. Recuperado de

<http://www.bardahl.com.mx/historia-motor-lancha/>

- Fygueroa S., Araque J. (2005). El proceso de combustión en motores de combustión interna. Universidad de los Andes. Recuperado de http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/jaraque/JESUS/2_Publicaciones/Libros/Combustion/El%20Proceso%20de%20Combustion%20en%20MCI.pdf
- Baer A. (6 de octubre del 2017) Motor de explosión de 4 tiempos - qué es, cómo funciona un motor de explosión de 4 tiempos. Recuperado de <https://espaciocoche.com/motor-de-explosion-de-4-tiempos/>
- ICONTEC (2001). NTC 4983. Recuperado a partir de http://www.pyxis.com.co/normatividad/1.6._ntc4983_calidad_del_aire_evaluacion_de_gases_de_escape.pdf
- ICONTEC (2012). NTC 5365 Recuperado a partir de cdaavenidasexta.com/wp-content/uploads/2015/11/ntc5365.pdf
- Electronicaestudio.com (s. F.). ¿qué es un microcontrolador? Recuperado de <http://www.electronicaestudio.com/microcontrolador.htm>
- Ortmann, R., Haming, W., Hess, W., Mencher, B., Knirsch, M., Schnaibel, E., Gunther, H.,... (2003). Técnica de gases de escape para motores de gasolina. Alemania: Robert Bosch GmbH.
- Zipps B. (s. F.) The antique outboarder - july, 1988. Recuperado de 2017, a partir de <http://www.aomci.org/oldarticles/>
- Sanz Acebes S. (2007) El motor rotativo Wankel. Motores (pp. 371). Madrid, España: Editorial Editex S.A.
- Midebien.com (29 de septiembre del 2013). ¿Cuál es la diferencia entre precisión y exactitud? Recuperado de <https://www.midebien.com/consejos-practicos-para-medir-bien/cual-es-la-diferencia-entre-exactitud-y-precision>

Midebien.com (29 de septiembre del 2013-a). ¿Cuál es la diferencia entre precisión y exactitud? Recuperado de <https://www.midebien.com/consejos-practicos-para-medir-bien/cual-es-la-diferencia-entre-exactitud-y-precision>

Álvarez, E.N., (s.F.). Introducción a la instrumentación. Recuperado de <http://laboratorios.fi.uba.ar/lscm/Instrum01.pdf>

Baer, A. (2017) Motor de explosión de 4 tiempos - qué es, cómo funciona un motor de explosión de 4 tiempos. [Figura]. Recuperado de <https://espaciocoches.com/motor-de-explosion-de-4-tiempos/>

Nautic expo (s.F.). Motor fueraborda/gasolina/ de cuatro tiempos DF6 [Figura]. Recuperado de <http://www.nauticexpo.es/prod/suzuki-marine/product-21237-227381.html>

Sabelotodo.org (s.F.). Arranque en frío del motor de gasolina. [Figura]. Recuperado de <http://www.sabelotodo.org/automovil/arranquefrio.html>

Aficionados a la mecánica (s.F.). Gases de escape y sistemas anticontaminación. [Figura]. Recuperado de <http://www.aficionadosalamecanica.net/emision-gases-escape.htm>

Civies, J. (2011). La sonda Lambda como elemento de control de emisiones. [Figura]. Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid, España.

Rees52.com (s.F.). mq135 hazardous gas detection module for arduino. [Figura]. Recuperado de <http://rees52.com/575-mq135-hazardous-gas-detection-module-for-arduino.html>

Ardobot (s.F.). Sensor MQ7 monoxido de Carbono CO. [Figura]. Recuperado de <https://www.ardobot.com/sensor-mq7-monoxido-de-carbono.html>

Invent Electronics (s.F.). DHT22 temperature-humidity sensor. [Figura]. Recuperado de <https://www.inventelectronics.com/product/dht22-temperature-humidity-sensor/>

Geekfactory (s.F.). MAX6675 Módulo interfaz para termopar tipo K. [Figura]. Recuperado de <https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos-para-desarrollo/max6675-modulo-interfaz-termopar/>

Moviltronix (s.F.). Sensor efecto Hall 49E. [Figura]. Recuperado de <https://moviltronics.com.co/sensores/175-sensor-efecto-hall-44e.html>

Robiz.net (s.F.). TI EK-TM4C123GXL LaunchPad. [Figura]. Recuperado de <https://www.robiz.net/ek-tm4c123gxl>

Resolución 910 del 2008 (2008). Resolución número (910). [Tabla]. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/gestion-del-aire/emisiones-contaminantes#normativa-fuentes-m%C3%B3viles>