

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Mecánico Automotriz

PROYECTO TÉCNICO:

**“DESARROLLO DE UN ALGORITMO PARA LA ADQUISICIÓN Y
ALMACENAMIENTO DE DATOS PROVENIENTES DEL SISTEMA DE
DIAGNÓSTICO A BORDO OBD II”**

AUTOR:

Danilo Abelardo Gárate Montalvo

TUTOR:

Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, M.Sc

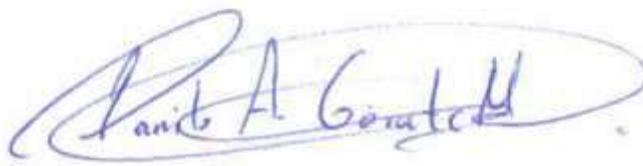
Cuenca – Ecuador

2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Danilo Abelardo Gárate Montalvo, con documentación N°. 0105764856 manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo de Titulación: “DESARROLLO DE UN ALGORITMO PARA LA ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS PROVENIENTES DEL SISTEMA DE DIAGNÓSTICO A BORDO OBD II”, mismo que ha sido desarrollado para optar el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

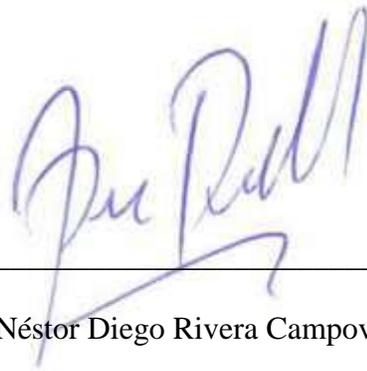


Danilo Abelardo Gárate Montalvo

CI. 0105764856

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación: “DESARROLLO DE UN ALGORITMO PARA LA ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS PROVENIENTES DEL SISTEMA DE DIAGNÓSTICO A BORDO OBD II”, realizado por Danilo Abelardo Gárate Montalvo, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

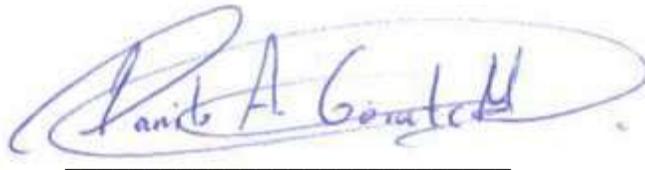


Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, M.Sc

CI: 0103898995

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Danilo Abelardo Gárate Montalvo, con documentación N°. 0105764856, autor del Trabajo de Titulación: “DESARROLLO DE UN ALGORITMO PARA LA ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS PROVENIENTES DEL SISTEMA DE DIAGNÓSTICO A BORDO OBD II”, certifico que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

A handwritten signature in blue ink, reading "Danilo A. Gárate Montalvo", enclosed within a large, light blue oval scribble. Below the signature is a horizontal line.

Danilo Abelardo Gárate Montalvo

CI. 0105764856

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Eufrania que con sus consejos ha logrado encaminarme por el camino correcto poniendo por sobre todas las cosas el honor, la humildad, la honradez y el valor para realizar mi vida de la manera correcta, por mostrarme un gran ejemplo de vida y por ser siempre mi pilar fundamental en todos los aspectos de mi ser.

A mi padre Danilo que siempre me enseñó a hacer las cosas de la manera correcta, apoyándome en todo aspecto de mi vida, siendo siempre el pilar fundamental en mi vida para tomar las decisiones correctas y siendo un gran ejemplo de trabajo y dedicación.

A Anais, que me ha sabido acompañar y apoyar en los momentos más dificultosos, estando conmigo desinteresadamente y por ofrecerme siempre su apoyo con todo el cariño, gracias.

A mi familia y amigos que de una u otra manera han estado apoyándome siempre. Y de manera muy especial agradezco al Ing. Néstor Rivera, por cada uno de sus consejos, por su disposición en la realización de este proyecto, por su confianza y sobre todo por su amistad.

Danilo

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Danilo y Eufrania, quienes son mi ejemplo de lucha y fortaleza, que me impulsan día a día a ser mejor, quienes jamás han dejado de creer en mí y han sabido estar presente en todo momento.

A mi abuelo Abelardo, que siempre ha sido mi ejemplo del hombre justo, sincero, honrado y valiente que ha sabido sobrepasar todas las adversidades, sabiendo siempre elegir el mejor camino y siendo el pilar más importante de toda la familia.

Danilo

RESUMEN

Mediante este proyecto se realiza la programación del dispositivo Freematics One + para la adquisición de datos provenientes del sistema de diagnóstico a bordo OBD II, teniendo en consideración los requerimientos para el posterior análisis del funcionamiento del motor.

Luego se estructuran los datos obtenidos mediante el software de ingeniería Matlab obteniendo una matriz de datos consistente con lo requerido.

Se realizan los filtros correspondientes a las señales de los PIDs del vehículo eliminando los ruidos provenientes de las vibraciones mecánicas, con el objetivo de obtener las señales lo más claras posibles y los mejores resultados.

Una vez adquiridas las señales filtradas y procesadas, se realiza el entorno interactivo con el objetivo de analizar los datos, dando la posibilidad de trabajar mediante máquinas de soporte vectorial o redes neuronales, dando paso a investigaciones posteriores sobre el modo de conducción, emisiones contaminantes o el funcionamiento real del motor de combustión interna.

ABSTRACT

Through this project, the device, Freematics One +, is programmed to the acquisition of data from the on-board diagnostic system OBD II, considering the requirements for the subsequent analysis of the operation of the engine.

The data obtained is then structured using engineering software, Matlab, obtaining a data matrix consistent with what is required.

The corresponding filters are made to the signals of the PIDs of the vehicle eliminating the mechanical vibrations noises, in order to obtain the cleanest possible signals for the best results.

Once the filtered and processed signals are acquired, the interactive environment is created with the objective of analyzing the data, giving the possibility of working through vector support machines or neural networks, giving way to further investigations on driving mode, polluting emissions or the actual operation of the internal combustion engine.

ÍNDICE

1	Introducción	1
2	Problema.....	2
3	Objetivos	3
3.1	Objetivo General.....	3
3.2	Objetivos Específicos	3
4	Fundamentos Teóricos	4
4.1	Sistema de diagnóstico a bordo OBD I	4
4.2	Sistema de diagnóstico a bordo OBD II.....	5
4.2.1	Generalidades Históricas.....	5
4.2.2	Concepto.....	5
4.2.3	Conexión con la ECU.....	6
4.2.4	Opciones de medición	7
4.3	Sensores Automotrices	8
4.4	Parámetros de identificación (PIDs).....	10
5	Estado del arte	13
6	Marco metodológico	15
6.1	Desarrollo de la programación mediante el dispositivo “Freematics One+” para la adquisición y almacenamiento de datos OBD II.....	15

6.1.1	Señales por obtener del dispositivo Freematics One +	17
6.1.2	Resultados del dispositivo Freematics One +	31
6.2	Estructuración los datos obtenidos mediante el software de ingeniería “Matlab ®”	32
6.2.1	Identificación de cada señal y elaboración de la matriz principal.....	35
6.2.2	Filtrado de las señales	36
6.2.3	Organización de los valores satélite	37
6.3	Análisis de los datos obtenidos y estructurados por medio de métodos estadísticos multivariantes	39
6.3.1	Representación de señales mediante series de tiempo	39
6.4	Desarrollo de un entorno mediante el software de ingeniería “Matlab ®” para la visualización y análisis de resultados.....	47
6.4.1	Visualización de datos.....	49
6.4.2	Cargar datos adicionales.....	51
6.4.3	Valores en recorrido	52
6.4.4	Resultados	54
6.4.5	Nuevo	55
7	Conclusiones	55
8	Recomendaciones.....	56
9	Referencias Bibliográficas	57
11	Anexos.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Conector OBD II.....	6
Figura 2: Representación del sistema electrónico del automóvil.....	9
Figura 3: Freematics One + y GPS.....	15
Figura 4: PID del sensor VSS y ubicación.....	17
Figura 5: Sensor CKP y rueda dentada.	18
Figura 6: Señal del sensor CKP inductivo.	19
Figura 7: Señal del sensor CKP tipo Hall.	19
Figura 8: Señal del sensor TPS.	20
Figura 9: Ubicación del sensor ECT.	21
Figura 10: PID del sensor ECT.....	21
Figura 11: Ubicación del sensor IAT.	22
Figura 12: PID del sensor IAT.	23
Figura 13: Ubicación del sensor MAP.	23
Figura 14: Gráfica de la presión absoluta del colector.....	24
Figura 15: Ubicación del sensor MAF.	25
Figura 16: Ajuste a corto plazo del combustible.....	26
Figura 17: Ajuste a largo plazo del combustible.....	27
Figura 18: Ubicación del sensor de oxígeno.	27
Figura 19: Señal del sensor de oxígeno.....	28
Figura 20: Gráfica de acelerómetro de 3 ejes. (x, y, z).....	29
Figura 21: Gráfica de latitud.	29
Figura 22: Gráfica de longitud.	30

Figura 23: Gráfica de Altitud.	30
Figura 24: Vehículo utilizado para los recorridos.	32
Figura 25: Filtro de la señal de las revoluciones del motor.	37
Figura 26: Comportamiento de la señal del sensor VSS en un trayecto de la ciudad.	39
Figura 27: Representación temporal de los ajustes de combustible de corto y largo alcance.	40
Figura 28: Representación de las mediciones unitarias de cada valor medido a lo largo de todo el ciclo de manejo.	41
Figura 29: Histograma de ajuste de corto y largo plazo.	42
Figura 30: Histograma del sensor de oxígeno.	43
Figura 31: Relación MAP – Sensor de Oxígeno.	43
Figura 32: Relación RPM – Velocidad con respecto al sensor de Oxígeno.	44
Figura 33: Relación entre la apertura del acelerador, la velocidad de giro del motor y la presión del colector de admisión.	45
Figura 34: Relación entre la carga del motor cuantificada a través de la presión absoluta del colector de admisión y la velocidad del motor.	46
Figura 35: Planeación del entorno gráfico.	47
Figura 36: Presentación del entorno.	48
Figura 37: Pantalla Cargar Archivo.	48
Figura 38: Menú.	49
Figura 39: Gráfica de la velocidad en valores reales.	50
Figura 40: Gráfica del TPS y el MAP normalizados.	51
Figura 41: Carga de Nuevos Datos.	52
Figura 42: Valor en recorrido de la velocidad en Mapa Completo.	53
Figura 43: Valor en recorrido de la velocidad en el cuadrante C21.	53

Figura 44: Resultados del trayecto.....54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Modos de operación..... 10

Tabla 2: PIDs utilizados en el proyecto. 11

Tabla 3: Especificaciones del dispositivo Freematics One+..... 15

Tabla 4: Ficha técnica del vehículo.....32

Tabla 5: Fragmento de datos del dispositivo Freematics One + y representación.....34

Tabla 6: Fragmento de la primera matriz de datos estructurados.35

ÍNDICE DE ANEXOS

Figura A- 1: Dispositivo Freematics One + conectado.	60
Figura A- 2: Menú principal del entorno interactivo.	60
Figura A- 3: Valores obtenidos normalizados.....	61
Figura A- 4: Ajustes a corto y largo plazo y sensor de oxígeno.	61
Figura A- 5: Valores de los acelerómetros en x, y, z.	62
Figura A- 6: Valores en recorrido de la velocidad del motor.....	62
Figura A- 7: Valores en recorrido de las revoluciones del motor.	63
Figura A- 8: Valores en recorrido de la apertura de la mariposa de aceleración.	63
Figura A- 9: Valores en recorrido de la temperatura del refrigerante del motor.	64
Figura A- 10: Valores en recorrido de la temperatura del aire de admisión.	64
Figura A- 11: Valores en recorrido de la presión absoluta del colector.....	65
Figura A- 12: Valores en recorrido del ajuste a corto plazo del combustible.....	65
Figura A- 13: Valores en recorrido del ajuste a largo plazo del combustible.....	66
Figura A- 14: Valores en recorrido del sensor de oxígeno.	66
Figura A- 15: Valores en recorrido del acelerómetro en el eje x.	67
Figura A- 16: Valores en recorrido del acelerómetro en el eje y.	67
Figura A- 17: Valores en recorrido del acelerómetro en el eje z.	68
Figura A- 18: Valores en recorrido de la resultante del acelerómetro.	68

1 Introducción

La industria automotriz ha avanzado a pasos agigantados en las últimas décadas, desarrollando nuevos sistemas en aras de conseguir mayores prestaciones del vehículo, mayor seguridad para los ocupantes y peatones, reducir las emisiones contaminantes de los vehículos y facilitar el diagnóstico del motor gracias a los diferentes sistemas electrónicos implementados a este.

Debido a dichos avances tecnológicos implementados en la actualidad, se tiene la posibilidad de monitorear el estado real del vehículo gracias al sistema de diagnóstico a bordo (OBD II) el cual ofrece información de los sensores y de las fallas ocurrentes permitiendo repararlas a tiempo y realizar recorridos con la mayor seguridad posible.

La importancia de este proyecto radica en la adquisición de los datos provenientes del sistema OBD II con la finalidad de analizarlos y obtener una base de datos del comportamiento del motor en diferentes recorridos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. El objetivo de adquirir esta base de datos puede extenderse a muchos resultados como, por ejemplo, identificar el modo de conducción y como afecta al comportamiento del vehículo, también se puede conocer la contaminación real del vehículo en dicho recorrido haciendo más accesible la reducción de esta al observar la señal obtenida de cada sensor del vehículo involucrado en el proceso de combustión.

2 Problema

Existen varias maneras adquirir los datos del sistema de diagnóstico a bordo en vehículos (OBD II), como lo es, un scanner automotriz, sin embargo, para almacenar dichos datos con una frecuencia de muestreo aceptable, 50 Hz o superior, es necesario de un sistema de adquisición de datos que debe incluir un dispositivo embebido más programación adicional. Los dispositivos para realizar dicho trabajo son costosos, (HEM, 2009) no realizan el almacenamiento automático y algunos de estos, no dan como resultado datos estructurados por lo que es necesario de un usuario para complementar el trabajo. (Industry, 2015). Al momento que se requiere analizar los datos obtenidos resulta muy laborioso ya que se debe trabajar cuidadosamente en cada sensor, además las señales obtenidas se comportan de manera aperiódica por lo que es muy complicado caracterizarlas con el objetivo de determinar el estado actual del motor, diagnosticar fallas en ese momento o predecir un comportamiento próximo del motor de combustión interna.

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Desarrollar un algoritmo destinado a la adquisición de datos generados del sistema de diagnóstico a bordo OBD II mediante un dispositivo programable y el uso del software de ingeniería, Matlab ®, para la elaboración de un programa de visualización y análisis de las señales obtenidas

3.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar la programación mediante el dispositivo “Freematics One+” para la adquisición y almacenamiento de datos OBD II.
- Estructurar los datos obtenidos mediante el software de ingeniería “Matlab ®”.
- Analizar los datos obtenidos y estructurados por medio de métodos estadísticos multivariantes.
- Desarrollar un entorno mediante el software de ingeniería “Matlab ®” para la visualización y análisis de resultados.

4 Fundamentos Teóricos

4.1 Sistema de diagnóstico a bordo OBD I

Aunque en la actualidad existe tecnología desarrollada para facilitar el diagnóstico de los MCI de un vehículo, el sistema OBD se desarrolló alrededor de la década de los 60, en la cual, los automotores comenzaron a evolucionar a pasos agigantados, obteniendo cada vez más implementación electrónica de sensores, actuadores o implementos de confort.

A principios de la década de los 70 los vehículos en Estados Unidos se fabricaban con la electrónica para el control de sistemas, con la posibilidad de diagnosticar fallos en el vehículo con el objetivo de reducir al mínimo la contaminación, justamente al aprobarse la Ley de Aire Limpio y el establecimiento de la agencia de protección del aire (EPA).

Sin embargo, los diferentes sistemas de diagnóstico implementados variaban entre fabricantes y años de modelo, por lo que, el diagnóstico era complicado debido a que cada fabricante tenía diferentes sistemas.

En 1979 la sociedad de ingenieros automotrices, SAE, recomienda un conector de diagnóstico estandarizado y un conjunto de señales de prueba de diagnóstico.

Desde 1991 se crean una serie de requisitos para los nuevos vehículos llamados OBD I, con las siguientes características:

- Conector y enlace de datos no estandarizados.
- Protocolos de datos no estandarizados.
- Lámpara indicadora de fallos MIL.
- Monitorizaban algunos elementos relacionados con las emisiones.
- No se ajustaban con respecto a las emisiones.

4.2 Sistema de diagnóstico a bordo OBD II

4.2.1 Generalidades Históricas

Debido a las alertas de contaminación cada vez más importantes en los Ángeles y la población en rápido crecimiento, la junta de recursos del aire de California, CARB, requirió en 1994 que todos los vehículos del año 1996 en adelante estén equipados con el sistema OBD II, por lo que el conector y el protocolo recomendados por la SAE de datos fueron incorporados en la regulación y el gobierno de los Estados Unidos exigió que todos los vehículos nuevos vendidos deban tener OBD II.

La unión europea declaró en diciembre de 1998 que todos los vehículos nuevos vendidos deben tener OBD II, por lo que los vehículos que utilizan gasolina como combustible debieron ser regulados desde el año 2000, y los que utilizan Diesel fueron regulados desde el año 2003.

4.2.2 Concepto

El sistema OBD II es el encargado de examinar en todo momento los elementos que influyen en la contaminación ocasionada por la combustión, además de controlar el correcto funcionamiento del vehículo a través de todos los sensores disponibles.

La adaptación del sistema implantado en EE. UU. para Europa se denomina EOBD II.

El sistema OBD, no solo se encarga de los elementos sino también del correcto desarrollo de la gestión del motor, haciendo posible el reconocimiento de fallas producidas en los sistemas electrónicos del automóvil. (Blasco, 2013)

Algunas novedades del OBD II con respecto al OBD I son las siguientes:

- Detectan fallos eléctricos o mecánicos que pueden afectar a las emisiones.
- Verifica el estado de todos los sensores involucrados con las emisiones.
- Guarda un registro de fallo y las condiciones en las que ocurrió.

- Conector estandarizado para todos los vehículos.
- Protocolo de datos estandarizado para todos los vehículos.

Generalmente el conector de OBD II se encuentra en la zona inferior del conductor, por debajo del asiento del copiloto o consola central.

4.2.3 Conexión con la ECU

Para la correcta interacción entre el sistema OBD II y la ECU se realiza mediante un protocolo, existiendo 5 distintos: (Arévalo & Ortega, 2016)

- ISO-9141 -2: Utilizado en vehículos asiáticos o europeos.
- SAE-J1850 VPW: Funciona mediante un ancho de pulso variable – General Motors – EE. UU.
- SAE-J1850-PWM: Funciona mediante modulación de ancho de pulso – Ford – EE. UU.
- KWP-1281 y KWP-2000: Utilizado por el grupo VAG
- ISO-14230: Utilizado por los vehículos del grupo Renault

En la figura 1 se presenta el diagrama del conector OBD II estandarizado.

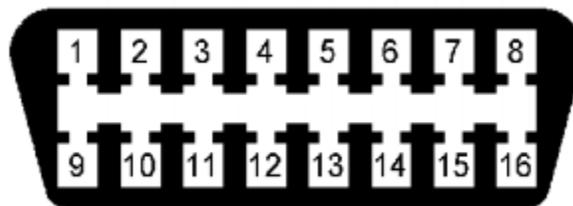


Figura 1: Conector OBD II.

Fuente: (Blasco, 2013)

Los pines del conector OBD II se detallan a continuación

1. Libre para el fabricante.
2. SAE - J1850. (Bus +)
3. Libre para el fabricante.
4. Conexión a tierra del vehículo.
5. Conexión a tierra de la señal.

6. CAN High. (J-2284).
7. ISO 9141-2 Línea K.
8. Libre para el fabricante.
9. Libre para el fabricante.
10. J1850. (Bus -)
11. Libre para el fabricante.
12. Libre para el fabricante.
13. Libre para el fabricante.
14. CAN Low. (J-2284)
15. ISO 9141-2 Línea L.
16. Batería +.

4.2.4 Opciones de medición

Debido a que el OBD II es estandarizado para la mayoría de los vehículos, permite obtener una base de datos para comprobar el funcionamiento del vehículo, realizar pruebas dinámicas de actuadores, extraer códigos de averías, borrarlos.

La información obtenida del sistema se presenta de la siguiente forma:

- **Parámetros de Identificación (PID).** Es la representación analógica o digital de datos en vivo de respuesta y entradas a la ECU.
- **Cuadro de Datos Congelados.** Esta opción permite acceder a una muestra, tomada por la ECU, de todos los datos obtenidos relacionados con las emisiones, cuando se produce una avería, con el objetivo de conocer las condiciones exactas por las que se produjo la avería.
- **Códigos de falla almacenados.** Mediante esta opción es posible obtener todos los códigos de fallo almacenados en la ECU. Los códigos de falla se conocen como DTC (Data Trouble Code).
- **Eliminación de DTC.** Mediante esta función se pueden borrar todos los códigos de error registrados, al igual que el cuadro de datos.
- **Pruebas a sensores de oxígeno.** Esta función permite visualizar los resultados obtenidos de las pruebas efectuadas a los sensores de oxígeno, con el objetivo de comprobar el

correcto funcionamiento de los sensores y el catalizador.

- **Pruebas a bordo.** Esta función permite visualizar los resultados de todas las pruebas realizadas a bordo.
- **DTC Pendientes.** Esta función permite visualizar todos los DTC almacenados en la memoria de la ECU.
- **Prueba de actuadores.** Mediante esta función es posible realizar la prueba de actuadores. Se puede accionar y detener dispositivos como bombas de combustible, válvulas, etc.

4.3 Sensores Automotrices

Los sensores son los encargados de controlar las condiciones de operación del vehículo, acceden a la información de operación y la transforma en una señal de voltaje eléctrico el cual es transmitido a la ECU, la cual procesa la información y compara con datos de referencia grabados en su memoria, una vez obtenido los valores referenciales envía la orden a los actuadores para que puedan operar sobre ciertos parámetros según sea necesario.

Los sensores del automóvil captan la aceleración, posición, rotación, temperatura, caudal, oxígeno y diferentes magnitudes fundamentales procedentes del vehículo y convierten esos fenómenos en señales eléctricas.

La respuesta que proporciona el sensor depende de la magnitud detectada y posteriormente traducida en una señal eléctrica, y el principio físico en que se base. (Guarella, Heredia, Rodríguez, & Bagatto, 2011)

Los actuadores intervienen en los cambios en la operación del vehículo, gracias a la señal enviada por la ECU, ante diferentes condiciones específicas.

Según el principio de funcionamiento se realiza la siguiente clasificación:

- Magnético.
- Efecto Hall.
- Conductividad eléctrica.

- Termoeléctricos.
- Fotoeléctricos.
- Piezoeléctricos.
- Por ultrasonido.
- Por radiofrecuencia.
- Interruptores y conmutadores.

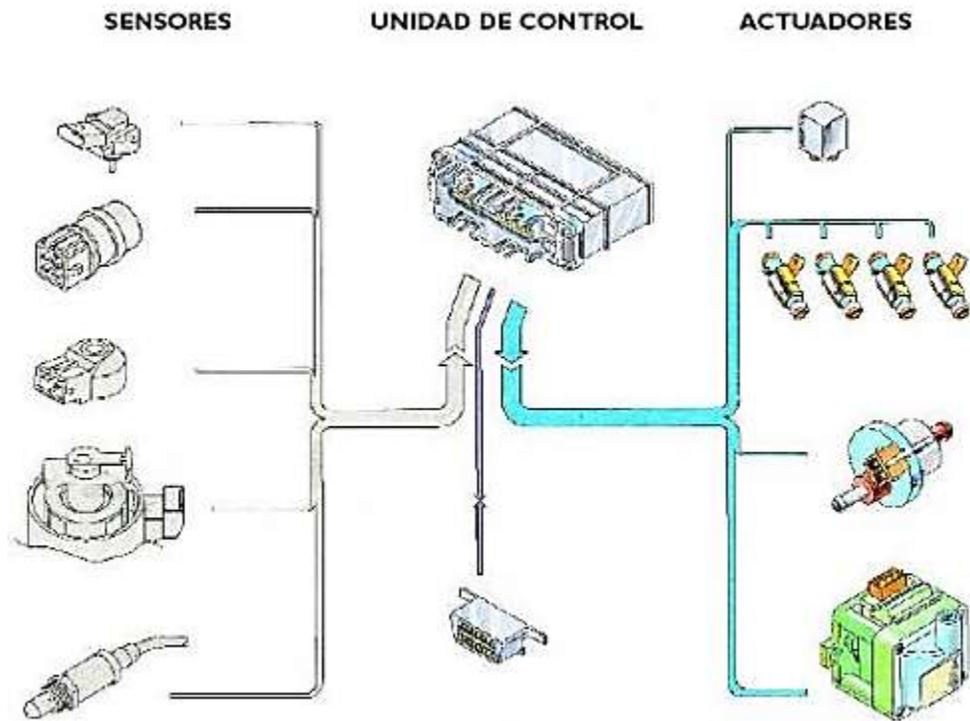


Figura 2: Representación del sistema electrónico del automóvil.

Fuente: (Guarella, Heredia, Rodríguez, & Bagatto, 2011)

4.4 Parámetros de identificación (PIDs)

Los parámetros de identificación son una representación de los valores entregados por los sensores en estado de funcionamiento.

El estándar OBD-II SAE J1979 determina diez modos de operación presentados en la tabla 1.

Tabla 1: Modos de operación.

Fuente: (SAE, 2014)

Modo(hex)	Descripción
01	Muestra los parámetros disponibles.
02	Muestra los datos almacenados por evento.
03	Muestra los códigos de fallas de diagnóstico. (Diagnostic Trouble Codes, DTC)
04	Borra los datos almacenados, incluyendo los códigos de fallas. (DTC)
05	Resultados de la prueba de monitoreo de sensores de oxígeno. (solo aplica a vehículos sin comunicación Controller Area Network, CAN)
06	Resultados de la prueba de monitoreo de componentes/sistema. (resultados de la prueba de monitoreo de sensores de oxígeno en vehículos con comunicación CAN)
07	Muestra los códigos de fallas (DTC) detectados durante el último ciclo de manejo o el actual.
08	Operación de control de los componentes/sistema a bordo.
09	Solicitud de información del vehículo.
0A	Códigos de fallas (DTC) permanentes. (borrados)

La SAE determina los códigos PIDs para cada modo de operación según el estándar J1939, el fabricante tiene la libertad de añadir todos los modos de operación o sus propios códigos.

En la tabla 2 se presenta los PIDs para el modo 01 de operación, se muestra únicamente los PIDs utilizados en el presente proyecto.

Tabla 2: PIDs utilizados en el proyecto.

Fuente: (SAE, 2014)

PID	Bytes	Detalle	V. mínimo	V. máximo	Unidad de medida	Fórmula de cambio
5	1	Temperatura del refrigerante del motor.	-40	215	°C	A-40
6	1	Ajuste a corto plazo del combustible.	-100 Reducción de combustible	99.2 Aumento de combustible	%	A/1.28-100
7	1	Ajuste a largo plazo del combustible.				
0B	1	Presión absoluta del múltiple de admisión.	0	255	kPa	A
0C	2	Revoluciones por minuto del motor.	0	16,383.75	rpm	(256A+B) /4
0D	1	Velocidad del vehículo.	0	255	km/h	A

0F	1	Temperatura del aire de admisión.	-40	215	°C	A-40
10	2	Rapidez del flujo del aire MAF.	0	655.35	gr/seg	(256A+B)/100
11	1	Posición de la mariposa de aceleración.	0	100	%	A/2.55
14	2	Sensor de oxígeno 1	0	1.275	voltios	A: A/200
		A: Voltaje	-100	99.2	%	B: B/1.28-100
		B: Ajuste de combustible a corto plazo				(Si B==FF, entonces el sensor no se usa en el cálculo del ajuste)

5 Estado del arte

La necesidad de monitorear el comportamiento del vehículo en tiempo real ha incentivado varios proyectos nacionales e internacionales, como se muestra en (Montero & Abril, 2012) se ha diseñado un dispositivo capaz de almacenar información acerca del consumo y recorrido de un automóvil, aquí se tiene en cuenta la importancia de la selección de componentes necesarios considerando la economía y la accesibilidad, sin embargo, solo se utilizan los sensores MAF y VSS para monitorear el funcionamiento del vehículo.

También se puede adquirir los datos basado en STM32 como se muestra en (Xie, et al., 2017) donde los datos transferidos en las redes CAN se adquieren a través de la interfaz OBD II, luego analizan preliminarmente los datos de acuerdo con el protocolo correspondiente mostrándolos posteriormente en un visualizador LED. Mediante este proyecto se verifica la viabilidad y la eficacia del diseño propuesto de toma de datos.

Tomando como importancia los valores satelitales, es decir, ubicación, tiempo y fecha exacta en (Chen & Wei, 2010) se desarrolló una interfaz controlada por voz para el sistema OBD. El sistema OBD del vehículo propuesto consta de tres partes, un módulo de sistema de posición global (GPS-OBD) integrado en OBD, interfaz controlada por voz y servidor de vigilancia del vehículo. El módulo GPSOBD está diseñado para monitorear la ubicación en tiempo real, así como la información de operación del vehículo. La información de ubicación en tiempo real contiene la fecha de conducción, el tiempo de conducción, la longitud y la latitud obtenidos del receptor GPS. También puede registrar la información de operación del vehículo en tiempo real, por ejemplo, la velocidad del vehículo, las revoluciones del motor, la temperatura del refrigerante, el voltaje de la batería, el número de código de falla y otros del sistema OBD. Tanto la ubicación como la información de operación en tiempo real se cargarán al servidor de

vigilancia del vehículo a través de la red inalámbrica 3.5G. Al mismo tiempo, la interfaz controlada por voz se puede utilizar para operar el módulo GPS-OBD. El módulo GPS-OBD puede reconocer los comandos de voz y hacer las respuestas correctas en formato de texto a voz (TTS) a los controladores. El sistema propuesto es muy útil para la detección de la contaminación del vehículo, la advertencia de mal funcionamiento del vehículo, el diagnóstico remoto y la reparación en el camino.

6 Marco metodológico

6.1 Desarrollo de la programación mediante el dispositivo “Freematics One+” para la adquisición y almacenamiento de datos OBD II

Freematics ONE + es una plataforma Arduino, se conecta al puerto OBD de un vehículo y funciona como un dispositivo independiente de registro de datos que tiene acceso a la ECU del vehículo. Consta de un sensor de movimiento 9-DOF (9 grados de libertad) y posiblemente algunos sensores externos. Los datos recopilados pueden procesarse en tiempo real, almacenarse en una memoria interna o tarjeta microSD y transmitirse a través de BLE, Wifi o red celular. Es un hardware de código abierto, incorpora SDK (bibliotecas Arduino) y firmware (bocetos Arduino).



Figura 3: Freematics One + y GPS.

Fuente: (Huang, 2013)

Las especificaciones del dispositivo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3: Especificaciones del dispositivo Freematics One+.

Fuente: (Huang, 2013)

Especificaciones del dispositivo Freematics ONE +	
Controlador Principal	Espressif ESP32

Transceptor	Construido HT40
Red inalámbrica	Bluetooth, contiene modo dual
Suplemento	Co - procesador STM – 32
Rastreador de desplazamiento	Sensor MPU – 9250
Dispositivo GPS	M8030 10Hz
Comunicación inalámbrica	SIM800L o SIM5360 para red celular
Potencia nominal	80 MHz: 20 mA (Wifi Inactivo) 80 MHz: 50 mA (Wifi Activo) 80 MHz: 180 mA (3G Activo)

Las ventajas de este dispositivo frente a otros como el ELM 327 o el Ulbotech 102 son las siguientes:

- Programación accesible mediante Arduino.
- Frecuencia de muestreo bastante rápida, alrededor de 50 a 60 Hz.
- Almacenamiento automático externo.
- Disponibilidad de rastrear los datos en tiempo real mediante la conexión a internet.

Este dispositivo soporta los siguientes protocolos:

- Protocolo CAN 500 Kbps de velocidad y 29 bit de respuesta.
- Protocolo CAN 250 Kbps de velocidad y 29 bit de respuesta.
- Protocolo CAN 500 Kbps de velocidad y 11 bit de respuesta.
- Protocolo CAN 250 Kbps de velocidad y 11 bit de respuesta.
- Protocolo KWP2000 Fast.
- Protocolo KWP2000 5Kbps.

Siendo accesible a la mayoría de los vehículos en el mercado nacional.

Los valores de velocidad del vehículo por lo general en el mercado nacional pueden ir de 0 a 240 km/h, sin embargo, se ha considerado un rango de 0 a 120 km/h para la visualización de datos.

6.1.1.2 Revoluciones del motor (RPM)

Las revoluciones del motor son captadas por el sensor CKP (Crankshaft Position Sensor) su funcionamiento radica registrar el movimiento de una rueda de dientes perdidos, la cual gira junto con el cigüeñal, para localizar la posición de exacta de los pistones cuando realizan la carrera dentro de los cilindros. La ECM puede calcular las revoluciones por minuto del motor gracias a la señal enviada por el CKP con el objetivo de controlar el momento y la duración de la inyección.



Figura 5: Sensor CKP y rueda dentada.

Fuente: (Castro, 2013)

Se pueden distinguir dos tipos de sensor según su principio de funcionamiento:

6.1.1.2.1 Sensor CKP inductivo

El sensor inductivo consta de un sensor permanente y una bobina. El campo magnético es interrumpido por el paso de los dientes de la rueda dentada, generando una corriente alterna mostrada en la figura 6.

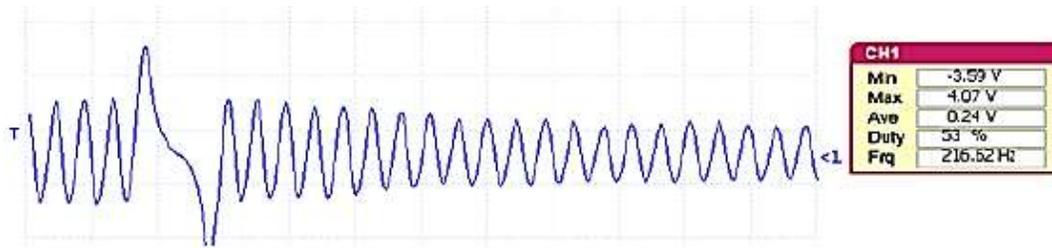


Figura 6: Señal del sensor CKP inductivo.

Fuente: (UPS, 2017)

6.1.1.2.2 Sensor CKP tipo Hall – óptico

Es un sensor de tipo óptico el cual contiene un diodo foto receptor, un led y una placa con orificios. Al moverse esta placa se obtiene información de la posición del cigüeñal.

Este sensor radica su funcionamiento en un elemento de tipo hall con un semiconductor, cuando el flujo magnético cambia, el elemento es activado conociendo así la rotación del eje.

Sus terminales corresponden a uno de 5 voltios que corresponde a la señal, otro de 12 voltios que corresponde a la alimentación y otro destinado a tierra.

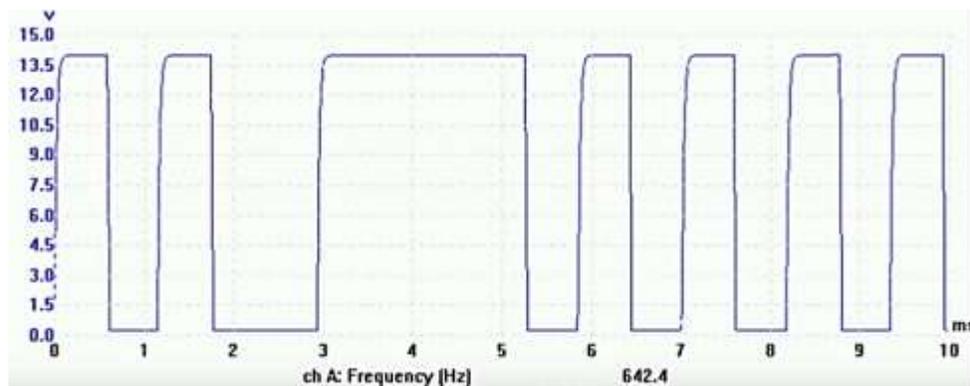


Figura 7: Señal del sensor CKP tipo Hall.

Fuente: (Castro, 2013)

El rango considerado para las revoluciones del motor es de 0 a 6000 rpm.

6.1.1.3 Posición del acelerador

La posición del acelerador será captada por el Sensor de Posición del Aceleración, (Throttle Position Sensor) TPS por sus siglas en ingles.

Funciona como un resistor variable, controla el porcentaje de apertura de la mariposa de aceleración entregando una señal al módulo de control electrónica para determinar el estado de operación con el objetivo de controlar adecuadamente la mezcla estequiométrica de aire combustible, entre otras funciones.

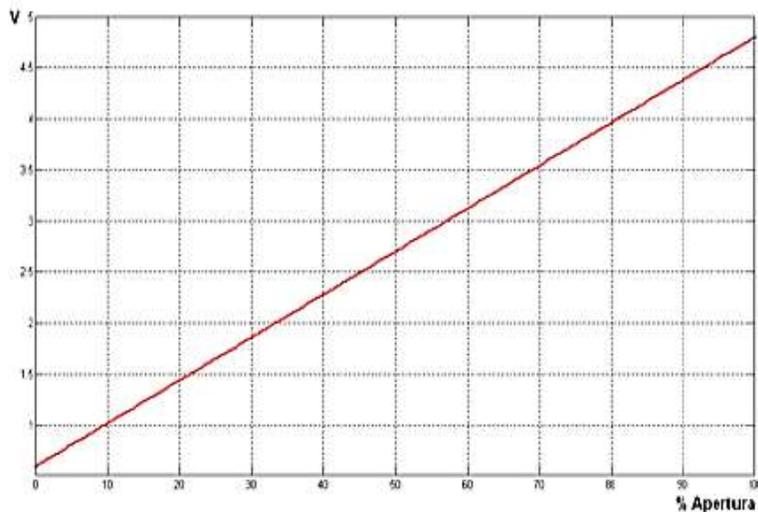


Figura 8: Señal del sensor TPS.

Fuente: (UPS, 2017)

La señal obtenida del sensor TPS será en función del porcentaje de apertura de la mariposa de aceleración por lo tanto se considera de 0 a 100 %.

6.1.1.4 Temperatura del refrigerante del motor

La temperatura del refrigerante del motor es controlada por el sensor ECT (Engine Coolant Temperature), dicho sensor está compuesto por un termo resistor del tipo NTC (Negative Temperature Coefficient), es decir, cuando la temperatura del refrigerante disminuye la resistencia del sensor aumenta causando que el voltaje aumente al igual que cuando la

temperatura del refrigerante se eleva la resistencia del sensor disminuye causando que el voltaje disminuye.

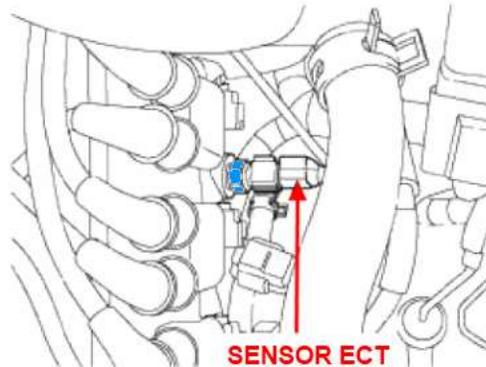


Figura 9: Ubicación del sensor ECT.

Fuente: (AutoDaewooSpark, 2018)

La señal de voltaje que genera el sensor se encuentra en un rango de 0 a 5 V, es enviada a la ECM la cual transforma la señal de voltaje en una de temperatura, con el objetivo de controlar funciones básicas de los accesorios y dispositivos principales del motor como inyectores, la válvula EGR o el ventilador del radiador.

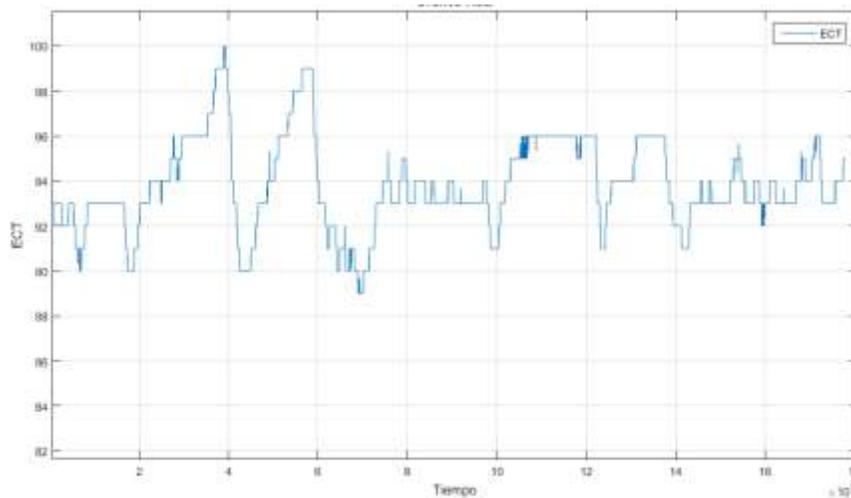


Figura 10: PID del sensor ECT

El rango de temperatura considerado será de 0 a 120 °C.

6.1.1.5 Temperatura de aire de admisión

Es captada por el sensor IAT (Intake Air Temperature), al igual que el ECT, este se compone de un termistor y funciona como un NTC. La resistencia es de aproximadamente 100 ohmios cuando el aire está a unos 10° C, y cuando el aire está a unos 130 °C, la resistencia estaría en unos 70 ohmios.



Figura 11: Ubicación del sensor IAT.

Fuente: (Soul, 2018)

La señal que genera el IAT es una señal de voltaje que es enviada al ECM para decidir sobre el tiempo de inyección ya que la densidad del aire que entra al motor puede variar debido a la temperatura.

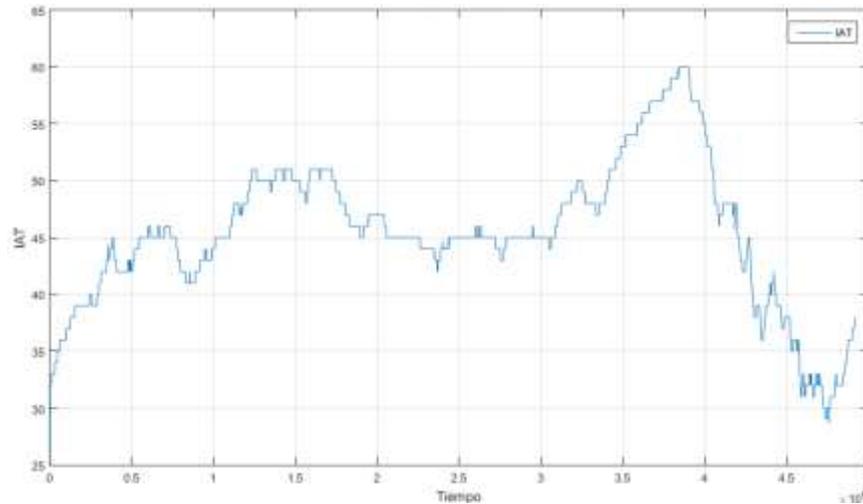


Figura 12: PID del sensor IAT.

El rango de la temperatura de del aire de admisión considerado es de 0 a 100 °C teniendo en cuenta la temperatura ambiente de Cuenca se encuentra alrededor de los 20 °C.

6.1.1.6 Presión absoluta del colector

La presión absoluta del colector se obtiene gracias al sensor MAP (Manifold Absolute Pressure), el cual está constituido por un piezoeléctrico capaz de medir las variaciones de presión – vacío y entregar una señal de voltaje. Se encuentra en el múltiple de admisión.



Figura 13: Ubicación del sensor MAP.

Fuente: (Castro, 2013).

Dependiendo del valor de vacío presente entrega mayor o menor voltaje al ECM la cual se encarga de controlar la cantidad de combustible a través de los inyectores. El valor del voltaje puede variar de 0.2 a 5 V. En el caso de ralentí la salida del sensor MAP es entre 0.9 y 1.5 V, que corresponde con alto vacío o succión. Para aceleración la señal del MAP va desde 1.5 V hasta 4.8 - 5.0 V, en otras palabras, a plena aceleración el voltaje de salida es de alrededor 5.0 V que corresponde a un vacío muy bajo - succión prácticamente nula.

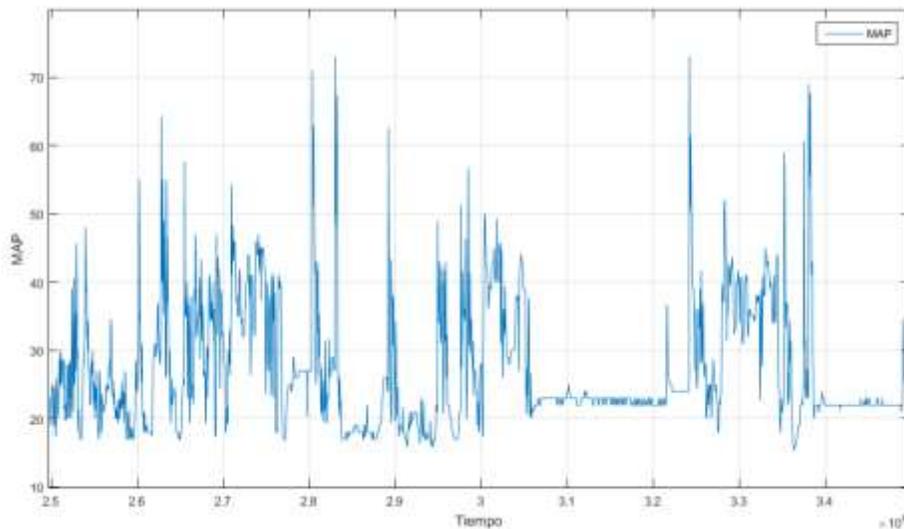


Figura 14: Gráfica de la presión absoluta del colector.

El rango considerado para a presión absoluta del colector es de 0 a 100 kPa.

6.1.1.7 Flujo de masa del aire

El flujo de masa de aire es controlado por el sensor MAF (Mass Air Flow) el cual mide el volumen de aire que ingresa al motor. Se compone de un termistor, un circuito de control electrónico y un alambre de platino, conocido como hilo caliente que trabaja en temperaturas muy altas y a medida que el aire ingresa dicho alambre se enfría causando una variación en la señal de voltaje que es entregada al ECM. Se encuentra ubicado entre el filtro de aire y el múltiple de admisión.



Figura 15: Ubicación del sensor MAF.

Fuente: (Ávila, 2017)

6.1.1.8 Ajuste a corto plazo del combustible

El ajuste del combustible a corto plazo, (Short Term Fuel Trim) STFT, ayuda a nivelar la mezcla estequiométrica dependiendo de la señal del sensor de oxígeno. (Calderón, 2012)

El valor obtenido se presenta como porcentaje (%) positivo o negativo.

Gracias a esta señal se puede enriquecer o empobrecer la mezcla combustible – aire según lo requerido.

Generalmente el STFT estará entre + o - 10 %. Cuando se da lugar a una variación de esfuerzo grande para el motor, es común tener un ajuste de corta duración de + o - 25 %.

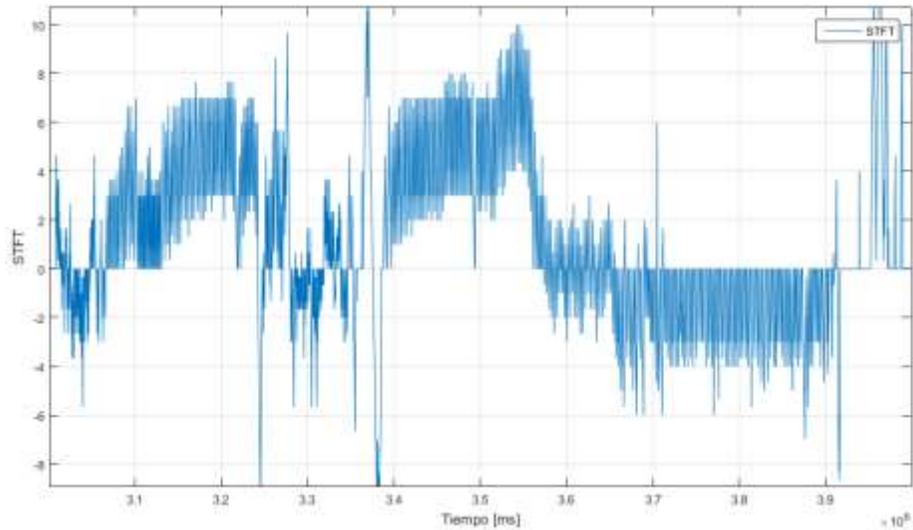


Figura 16: Ajuste a corto plazo del combustible.

6.1.1.9 Ajuste a largo plazo del combustible

El ajuste a largo plazo de combustible muestra la variación programada del ajuste de acuerdo con la señal del sensor de oxígeno. Este puede ser positivo o negativo de acuerdo con la condición. (Calderón, 2012). Mediante esta información se puede conocer cuanto ha corregido la ECU.

El valor máximo de ajuste a largo plazo antes de que se genere un DTC es de 25%.

Normalmente el ajuste oscila entre + o - un 12 %, teniendo como máximo una corrección permitida de + o - un 20 %.

Los valores del LTFT son una advertencia de que la ECU está percibiendo un problema en desarrollo (marcha lenta pobre o alta presión de combustible).

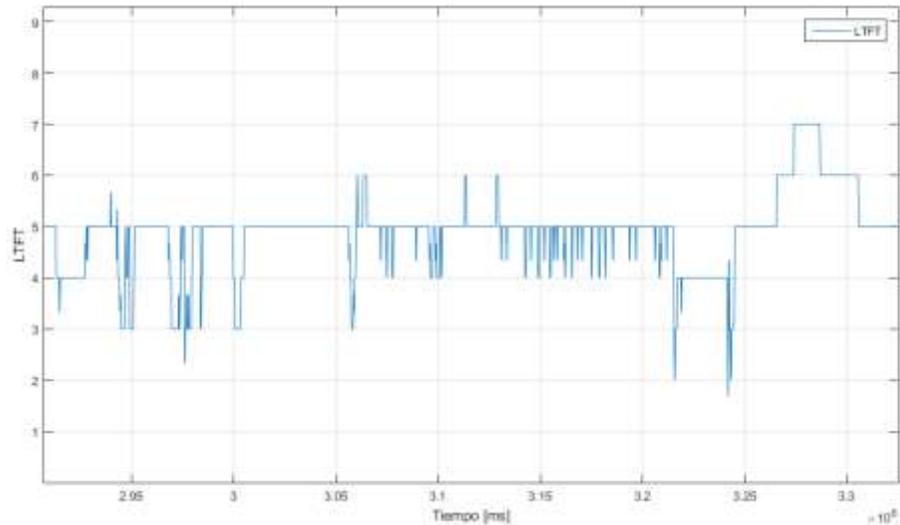


Figura 17: Ajuste a largo plazo del combustible.

6.1.1.10 Oxígeno (O₂)

El oxígeno en los gases de escape resultantes de la combustión producida en el motor es utilizado para medir la relación lambda de los gases de escape. El sensor de oxígeno emite una señal eléctrica, el valor de voltaje se envía a la ECU para saber si la mezcla está muy pobre o muy rica para que realice las correcciones necesarias. El sensor de oxígeno suele ubicarse a la salida del múltiple de escape.



Figura 18: Ubicación del sensor de oxígeno.

Fuente: (AutoDaewooSpark, 2018)

La señal del sensor de oxígeno está comprendida entre 0 y 1 V, teniendo que el valor deseado se encuentra en los 0.45 V por lo que siempre se encontrara fluctuando ante este valor.

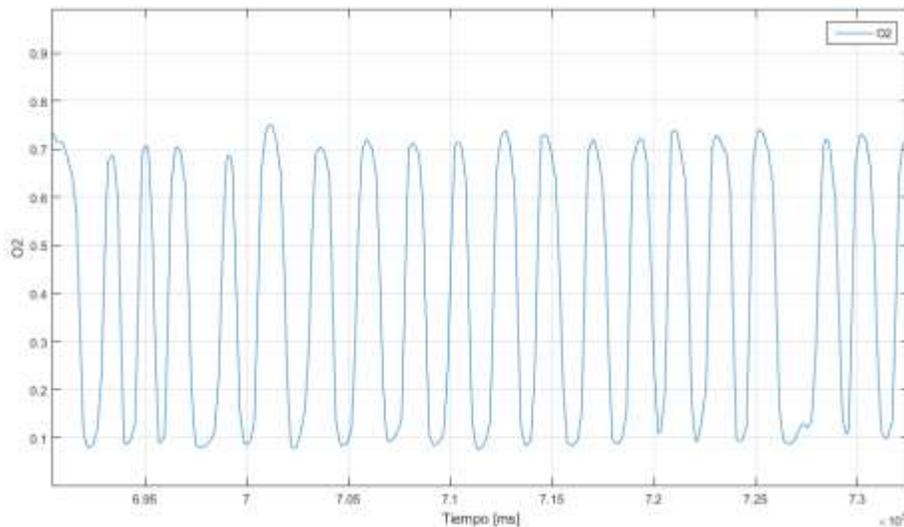


Figura 19: Señal del sensor de oxígeno.

6.1.1.11 Aceleración en 3 ejes

Los dispositivos encargados de medir la aceleración son llamados acelerómetros, lo hacen midiendo respecto a la masa inercial interna del objeto.

El acelerómetro que se utiliza se encuentra dentro de un integrado, el MPU-9250, el cual es una unidad de procesamiento de movimiento de 9 ejes utilizado comúnmente en teléfonos inteligentes. (InvenSense, 2018)

El acelerómetro permitirá saber cuáles son los movimientos del vehículo durante el recorrido, es decir, cuáles son las vibraciones que son causadas por la calzada o por fallas mecánicas en el vehículo al igual que reconocer los giros y diferentes maniobras de conducción.

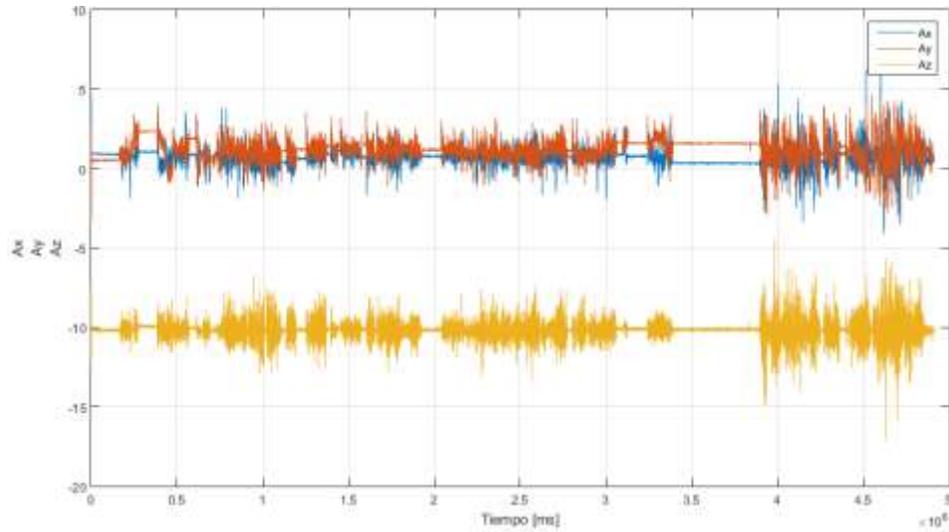


Figura 20: Gráfica de acelerómetro de 3 ejes. (x, y, z)

6.1.1.12 Posicionamiento, hora y ubicación global

Para tener los datos del posicionamiento, hora y ubicación real del vehículo se utiliza un sensor de posicionamiento global (GPS) M8030 el cual permite obtener los datos necesarios para conocer el recorrido del vehículo al igual que la hora, fecha, latitud, longitud y altitud exacta de manera de adquirir los valores de los distintos sensores del vehículo en el momento exacto.

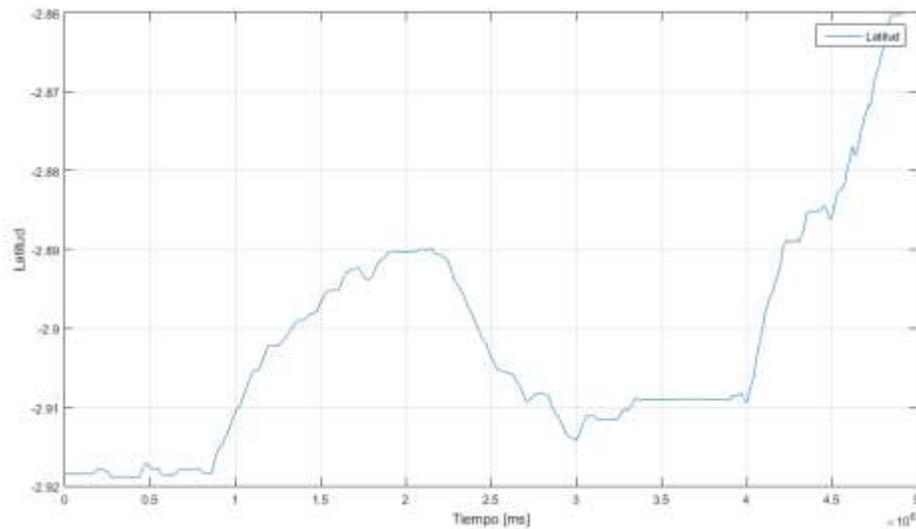


Figura 21: Gráfica de latitud.

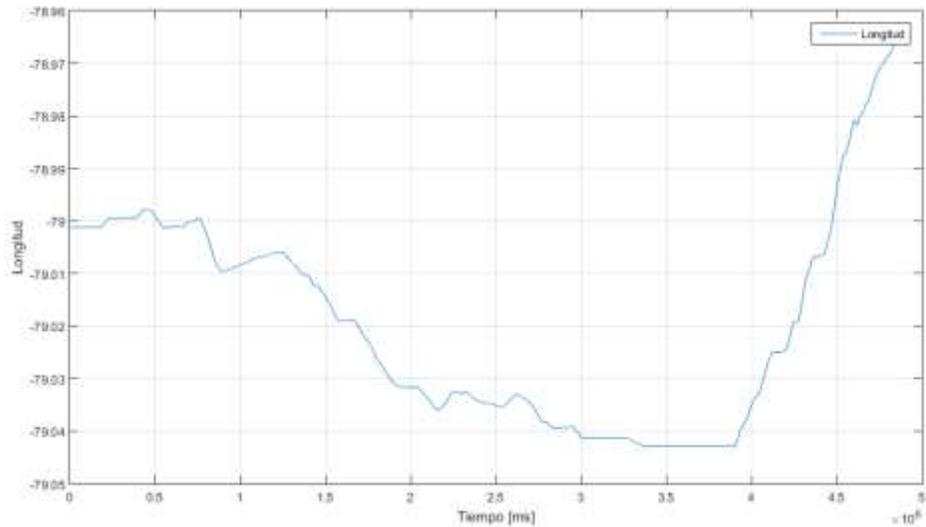


Figura 22: Gráfica de longitud.

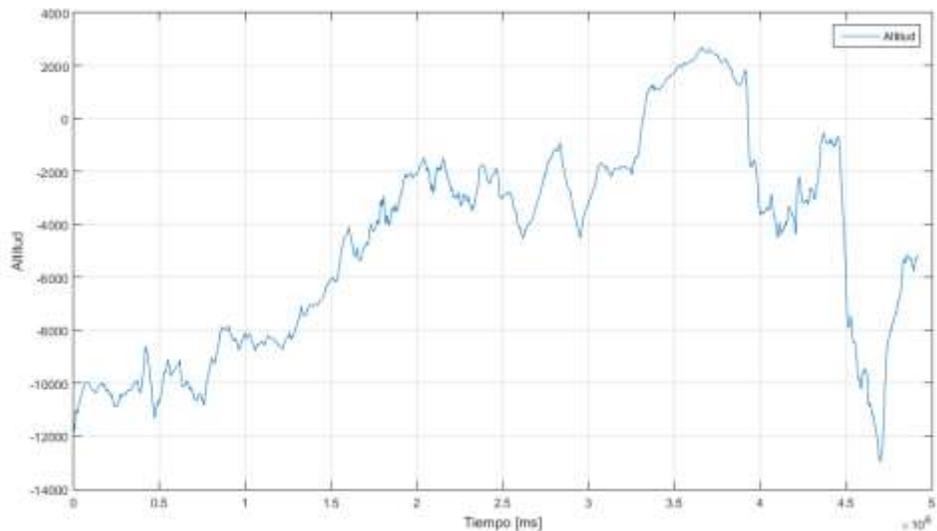


Figura 23: Gráfica de Altitud.

Esto nos ayudara en posteriores investigaciones a saber las emisiones o las fallas del vehículo en un lugar específico de la ciudad con el objetivo de diagnosticar de mejor manera el motor o realizar investigaciones ambientales.

Una vez conocidos los requerimientos para la programación se procede a trabajar con las librerías disponibles de Arduino para el dispositivo Freematics One +, en las que se encuentran los

parámetros de identificación mencionados anteriormente, mediante el software Arduino IDE y Arduino Builder se realiza la programación para la adquisición de datos.

6.1.2 Resultados del dispositivo Freematics One +

Los resultados obtenidos del dispositivo Freematics One + se almacenan en un texto delimitado por comas (.CSV) debido a que es posible intercambiar datos con diferentes softwares, en este caso se trabaja con el software de ingeniería Matlab, por lo que es más fácil reconocer los datos de los parámetros de identificación, del acelerómetro y del GPS al igual que el valor de tiempo que se genera por cada toma de datos.

6.2 Estructuración los datos obtenidos mediante el software de ingeniería “Matlab ®”

Una vez realizada la programación en el dispositivo Freematics One +, se procede a realizar los recorridos correspondientes para la verificación y la posterior estructuración de datos. Para esto se trabaja con el vehículo presentado en la figura 24

Cabe recalcar que el dispositivo se puede utilizar en todos los vehículos que sean compatibles con el sistema OBD II.



Figura 24: Vehículo utilizado para los recorridos.

En la tabla 4 se presenta la ficha técnica del vehículo.

Tabla 4: Ficha técnica del vehículo.

Fuente: (TODOAutos, 2017)

Ficha Técnica Hyundai I30, 2014, 1800 cm³	
Motor	1.8 DOHC D-CVVT
Inyección	MPI
Número de válvulas	16
Potencia Máxima (hp/rpm)	148 / 6,500

Torque Máximo (Kg*m/rpm)	18.2 / 4,700
Cilindrada (cm ³)	1,797
Tipo de Combustible	Gasolina
Transmisión / Nro. de velocidades	Mecánica de 6 velocidades
Suspensión Y Dirección	
Suspensión delantera	McPherson Multi-link
Suspensión posterior	Eje de Torsión
Dirección	Asistida electrónicamente
Dimensiones y Capacidad	
Largo (mm)	4,300
Ancho (mm)	1,780
Alto (mm)	1,470
Distancia entre Ejes (mm)	2,650
Peso bruto vehicular (kg.)	1,328
Capacidad del Tanque de Combustible (galones.)	14
Número de pasajeros / Número puertas	4 / 5
Capacidad de la maletera (litros)	378
Radio mínimo de giro (m.)	5.3
Frenos y neumáticos.	
Delanteros	Discos Ventilados
Posteriores	Discos
Neumáticos	205/55 R16

Una vez seleccionado el vehículo para realizar los recorridos los cuáles se planifican al azar, tratando de cubrir la mayor parte de la ciudad de Cuenca, sin embargo, se hace énfasis en el centro de la ciudad para posteriores análisis de contaminación, tráfico, accidentes, etc.

En la tabla 5 se presenta un fragmento de los datos obtenidos del dispositivo Freematics One + junto con la representación de cada fila.

Tabla 5: Fragmento de datos del dispositivo Freematics One + y representación.

Freematics One+	Identificador	Valor	Señal representada
0,10963	0	10963	Temporizador [ms]
10D,0	10D	0	Velocidad del vehículo [km/h]
10C,640	10C	640	Revoluciones del motor [rpm]
111,12	111	12	Apertura del TPS [%]
105,9	105	9	ECT [°C]
10F,57	10F	57	IAT [°C]
10B,23	10B	23	MAP [kPa]
106	106	0	STFT [%]
107,1	107	1	LTFT [%]
114,84	114	84	O2 [mV]
20,5,19,-102	20	Ax: 5 Ay: 10 Az: -102	Acelerómetros [m]
0,11153	0	11153	Temporizador [ms]
11,70918	11	70918	Fecha [día – mes - año]
10,1905502	10	1905502	Hora [HHMMSSS]
A, -2899156	A	-2899156	Latitud [° x 10 ⁵]
B, -78985029	B	-78985029	Longitud [° x 10 ⁵]
C, -10184	C	-10184	Altitud [m]

En la tabla anterior se muestran todos los valores que se pueden obtener del vehículo, es por esto por lo que no se muestra el valor del sensor MAF debido a que el vehículo de prueba no cuenta con dicho sensor, sin embargo, la programación se realiza contemplando las dos posibilidades.

6.2.1 Identificación de cada señal y elaboración de la matriz principal

Del formato CSV obtenido se procede a importar desde Matlab la columna para identificar el valor característico y su respectivo valor numérico, dichos valores se guardan en vectores para poder trabajar sobre estos de la mejor manera.

Los vectores obtenidos se estructuran en una primera matriz de datos, un fragmento de dicha matriz se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 6: Fragmento de la primera matriz de datos estructurados.

Tiempo	VSS	RPMS	TPS	ECT	IAT	MAF	MAP	STFT	LTFT	O2	Ax	Ay	Az	AR	Lat.	Long	Alt
5708 30	13	11 06	1 4	9 6	3 9	- 1E+ 10	3 6	-7	1	0,8 3	0, 3	0, 9	- 9,4	- 0,36224 894	- 2,9179 76	- 79,001 181	- 101 94
5710 19	13	11 06	1 4	9 6	3 9	- 1E+ 10	3 6	-7	1	0,8 3	0, 3	0, 9	- 9,4	- 0,36224 894	- 2,9179 75	- 79,001 174	- 102 04
5710 30	14	10 81	1 1	9 6	3 9	- 1E+ 10	3 3	-7	1	0,8	- 0, 5	1, 1	- 9,7	- 0,03503 197	- 2,9179 75	- 79,001 174	- 102 04
5712 19	14	10 81	1 1	9 6	3 9	- 1E+ 10	3 3	-7	1	0,8	- 0, 5	1, 1	- 9,7	- 0,03503 197	- 2,9179 73	- 79,001 167	- 102 04
5712 30	14	11 25	1 1	9 6	3 9	- 1E+ 10	2 7	-8	1	0,6 6	0, 1	0, 8	- 9,6	- 0,17620 532	- 2,9179 73	- 79,001 167	- 102 04
5714 49	14	11 25	1 1	9 6	3 9	- 1E+ 10	2 7	-8	1	0,6 6	0, 1	0, 8	- 9,6	- 0,17620 532	- 2,9179 71	- 79,001 16	- 102 14
5714 60	14	11 65	1 3	9 6	3 9	- 1E+ 10	2 7	-6	1	0,0 6	0, 1	1	- 9,9	- 0,14087 936	- 2,9179 71	- 79,001 16	- 102 14
5716	14	11	1	9	3	-	2	-6	1	0,0	0,	1	-	0,14087	-	-	-

49		65	3	6	9	1E+ 10	7			6	1		9,9	936	2,9179 7	79,001 152	102 14
5716 60	14	11 68	1 4	9 6	3 9	- 1E+ 10	2 8	-5	2	0,1	0, 7	1, 3	- 10, 5	0,79330 137	2,9179 7	79,001 152	- - 102 14
5718 69	14	11 68	1 4	9 6	3 9	- 1E+ 10	2 8	-5	2	0,1	0, 7	1, 3	- 10, 5	0,79330 137	2,9179 69	79,001 141	- - 102 34
5718 80	14	11 89	1 4	9 6	3 9	- 1E+ 10	2 8	-7	2	0,7 55	0, 8	1	- 10, 6	0,86707 825	2,9179 69	79,001 141	- - 102 34
5720 69	14	11 89	1 4	9 6	3 9	- 1E+ 10	2 8	-7	2	0,7 55	0, 8	1	- 10, 6	0,86707 825	2,9179 68	79,001 133	- - 102 44
5720 93	15	12 31	1 4	9 6	3 9	- 1E+ 10	2 8	-8	2	0,7 95	0, 8	0, 8	- 9,3	0,44143 554	2,9179 68	79,001 133	- - 102 44
5723 00	15	12 31	1 4	9 6	3 9	- 1E+ 10	2 8	-8	2	0,7 95	0, 8	0, 8	- 9,3	0,44143 554	2,9179 67	79,001 125	- - 102 44

6.2.2 Filtrado de las señales

Al analizar los datos obtenidos iniciales se puede observar que existe ruido en la toma de datos, esto es comprensible debido a las vibraciones a las que se encuentra sometido el vehículo al realizar los recorridos y sobre todo por las calles del centro urbano de la ciudad de Cuenca que se encuentran adoquinadas generando una mayor contaminación en la señal.

Teniendo esto en cuenta se procede a realizar la etapa de filtrado de cada señal considerando los valores de funcionamiento normales del vehículo versus los valores obtenidos en el dispositivo Freematics One +.

La etapa de filtrado se puede considerar en dos partes, la primera que tiene relación a las vibraciones producidas por el movimiento del vehículo, mencionadas anteriormente, y la segunda parte se considera filtrar la señal con el objetivo de evitar pendientes infinitas en la señal, dichas

pendientes infinitas se producen cuando se obtienen dos puntos distintos en mismo instante lo cual no es conveniente por lo que se realiza dicho filtrado.

En la figura 25 se muestra el filtro realizado a una de las señales.

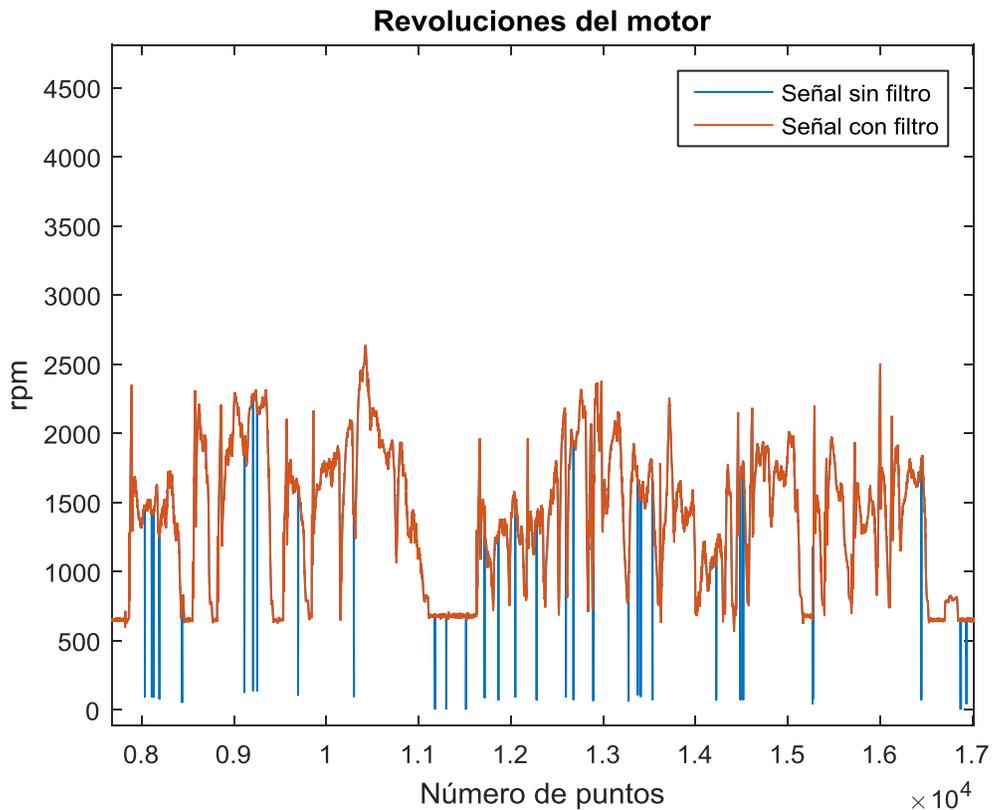


Figura 25: Filtro de la señal de las revoluciones del motor.

De igual manera se realiza el filtro para todas las señales obtenidas en la matriz principal con el objetivo de obtener señales muy limpias y sobre todo que sean viables para trabajar estadísticamente con estas.

6.2.3 Organización de los valores satélite

Alguno de los valores que se obtienen gracias al dispositivo externo de GPS son las señales de hora, fecha, latitud, longitud y altitud, sin embargo, se encuentran algunos inconvenientes en esta fase debido a que dichos valores no son registrados en lugares en que la señal del satélite GPS es

muy baja o tal vez inexistente, o como se ha observado, se tiene un tiempo de retardo para comenzar a registrar los datos satélite, dicho tiempo oscila entre los 5 y 10 segundos, que aunque no resulta ser un tiempo grande considerando a que el tiempo de recorrido oscila entre 1 a 3 horas, las señales principales no se pueden coordinar automáticamente con las señales satélites debido a que se encuentran en una cantidad distinta, por lo que en esta etapa de la estructuración de datos se procede a autocompletar los datos satélite en función de las señales principales, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- La hora registrada se encuentra en la zona horaria 0.
- La fecha registrada presentara inconvenientes cuando se trabaje en horas de la madrugada.
- Se toma un valor de GPS constante durante el tiempo de retardo inicial.
- La señal de la hora se guarda en un vector para los gráficos posteriores.
- El vector hora también necesita ser filtrado para evitar pendientes infinitas.

Teniendo en cuenta dichas consideraciones se procede a elaborar un grupo de procesos para obtener un vector de latitud, uno de longitud y uno de altitud con la misma cantidad de datos que el de las señales principales, esto es muy necesario para obtener el comportamiento de cada señal en cada punto de la ciudad.

En la figura 26 se presenta un ejemplo del comportamiento de la señal del sensor de velocidad del vehículo en un recorrido corto de la ciudad con sus respectivos rangos de funcionamiento.

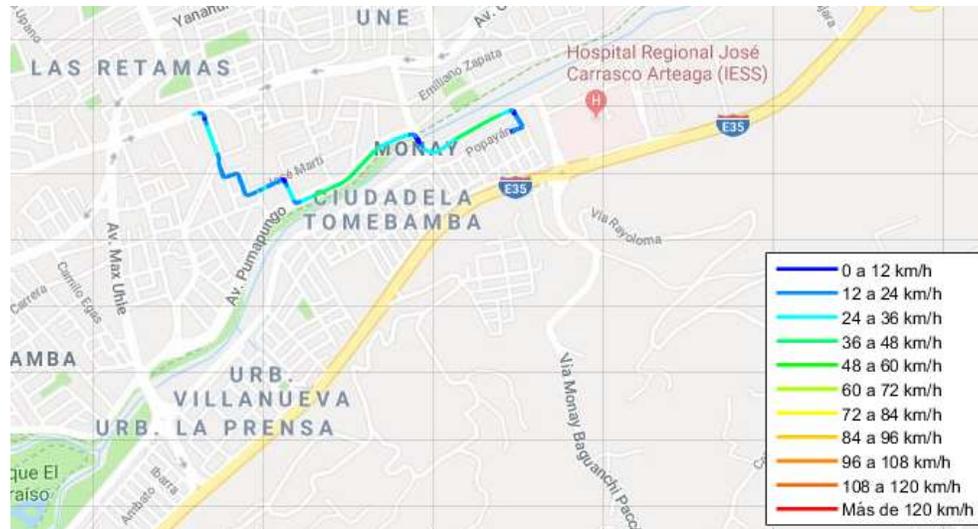


Figura 26: Comportamiento de la señal del sensor VSS en un trayecto de la ciudad.

6.3 Análisis de los datos obtenidos y estructurados por medio de métodos estadísticos multivariados

Las variables obtenidas contienen información importante tanto para el funcionamiento del vehículo como para su mantenimiento. Es importante destacar que existen relaciones matemáticas entre las variables obtenidas, y estas relaciones se ven afectadas por diversas variables entre las que destacan el estado físico del vehículo, en particular del motor y el estilo de conducción. Para tal efecto es necesario obtener información de estas variables aplicando técnicas estadísticas multivariadas.

6.3.1 Representación de señales mediante series de tiempo

Para iniciar con la obtención de información es necesario comprender que los datos generados se obtienen en función del tiempo, por lo que se deben representar y analizar en función del mismo, la representación temporal de los ajustes de combustible de corto y largo alcance se muestra en la figura 27.

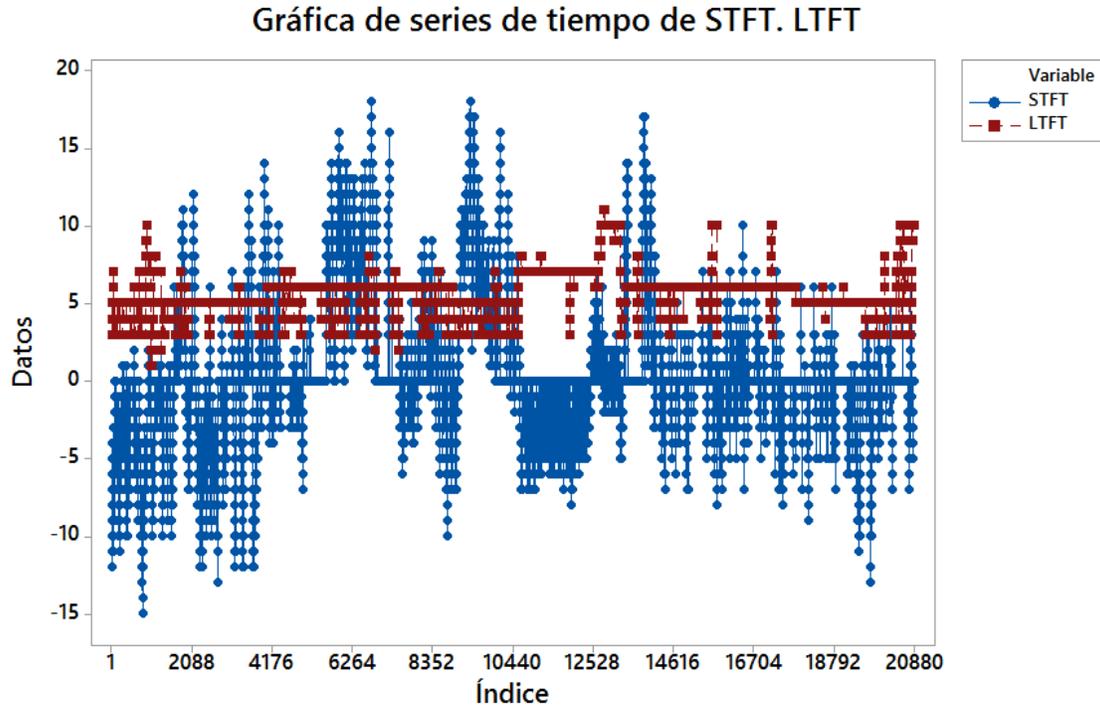


Figura 27: Representación temporal de los ajustes de combustible de corto y largo alcance.

Según (Palacios & Pesántez, 2016) y (Álvarez & Calle, 2018) los mejores indicadores del estado físico del motor y del correcto funcionamiento del sistema de inyección son los ajustes de combustible de corto y largo alcance. Para el caso de análisis de cualquier vehículo es necesario caracterizar medidas tanto de tendencia central como de dispersión, siendo requerido la representación de las mediciones unitarias de cada valor medido a lo largo de todo el ciclo de manejo, como se muestra en la figura 28.

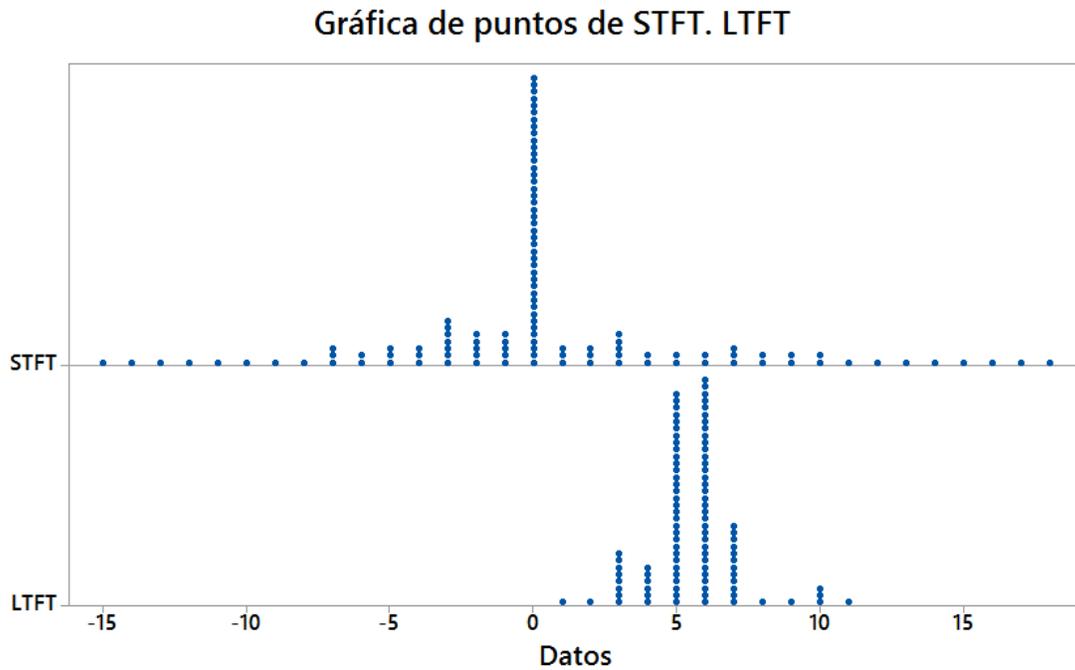


Figura 28: Representación de las mediciones unitarias de cada valor medido a lo largo de todo el ciclo de manejo.

Pueden apreciarse que existen determinados patrones de comportamiento de las señales de los PIDs STFT y LTFT, por lo cual es necesario determinar las medidas de tendencia central y verificar si su comportamiento obedece a una distribución normal como se puede apreciar en la figura 29.

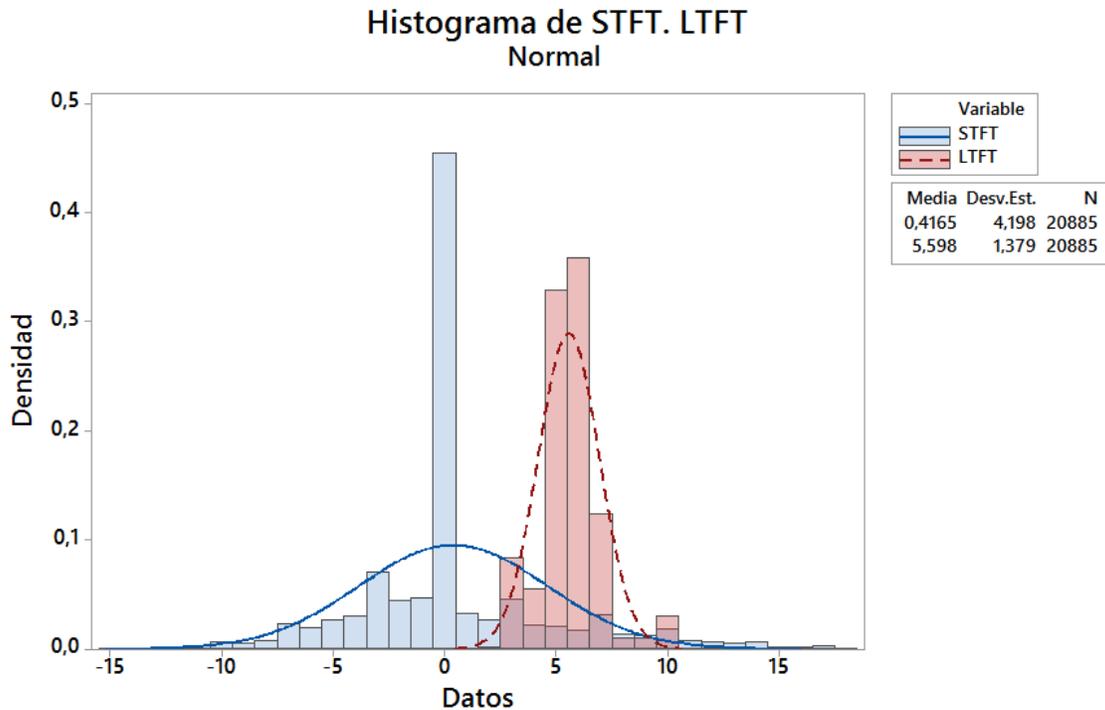


Figura 29: Histograma de ajuste de corto y largo plazo.

Para el caso del STFT puede establecerse que el mismo está fluctuado en torno al 0% teniendo como valores máximo y mínimo el 15 y -16% respectivamente. El valor del LTFT se encuentra oscilando en torno al 5.59% con valores máximo y mínimo de 2% y 10% respectivamente, lo que demuestra que el sistema de inyección requiere de un ligero enriquecimiento de la mezcla a partir de que existe algún evento que actualmente está consiguiendo empobrecer la mezcla.

Los ajustes de combustible obedecen a la señal del sensor de oxígeno a través del cual se genera la retroalimentación del sistema de inyección. Debe indicarse que como se muestra en la figura 30 esta señal no tiene comportamiento basado en la distribución normal, debido a los cortes de inyección que generan valores bajos de voltaje y también a los enriquecimientos de la señal durante altas cargas y aceleraciones del motor.

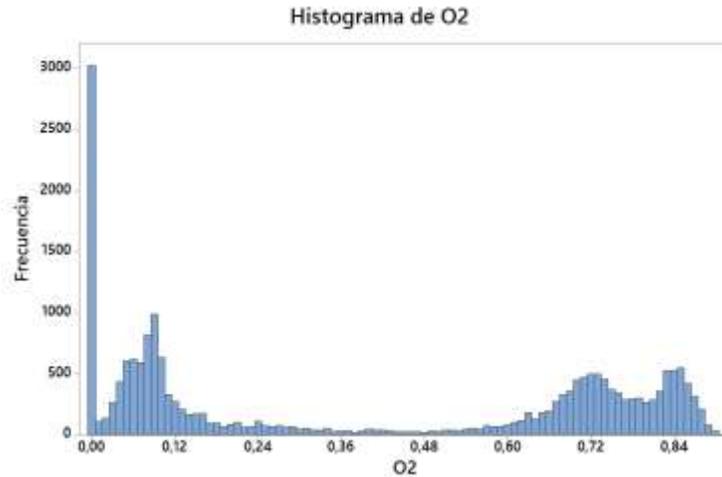


Figura 30: Histograma del sensor de oxígeno.

En la figura 31 se puede apreciar que el valor del ajuste de combustible de corto plazo depende no solo del valor del sensor de oxígeno sino también de la carga del motor representada por la lectura del sensor MAP. Se notan de color azul los valores de baja carga que generalmente son los que corresponde a los cortes de inyección, dado que al final del corte de inyección se debe incrementar rápidamente la tasa de inyección de combustible.

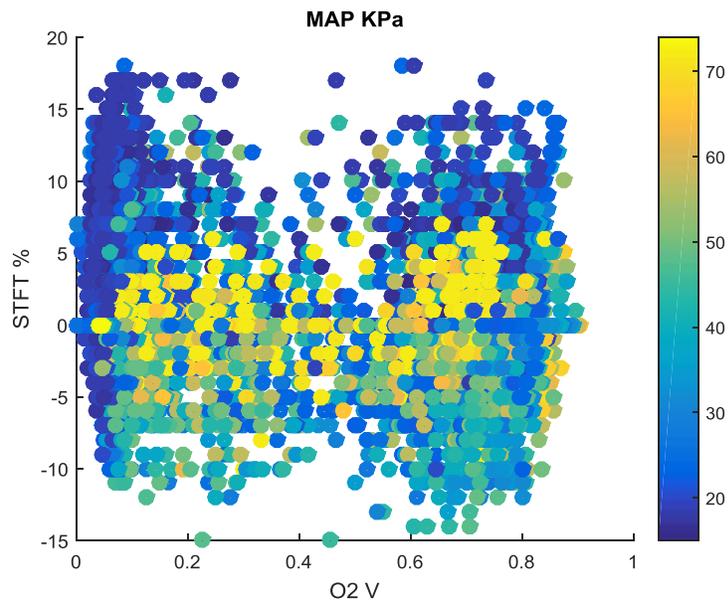


Figura 31: Relación MAP – Sensor de Oxígeno.

En un recorrido del vehículo el conductor adopta diferentes marchas y aplica diferentes cargas al motor por lo cual las relaciones de transmisión se ven afectadas y la concentración de oxígeno en los gases de escape, en la figura 32 se puede apreciar las diferentes relaciones de transmisión mostradas en las pendientes que se generan entre la velocidad de giro del motor y la velocidad del vehículo, el color muestra el voltaje del sensor de oxígeno en donde se aprecia el dosado de la mezcla.

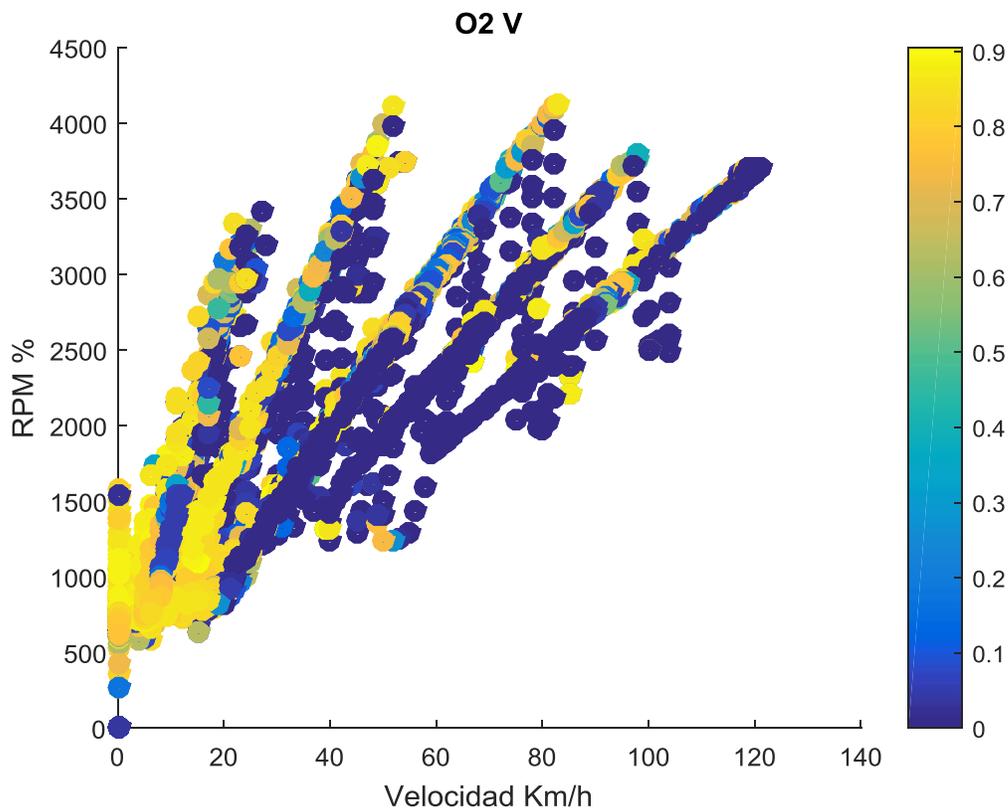


Figura 32: Relación RPM – Velocidad con respecto al sensor de Oxígeno.

Durante los ciclos de manejo realizados en diversos vehículos se pueden verificar las relaciones existentes entre los PIDs generados, en la figura 33 se puede apreciar el vínculo entre la apertura del acelerador la velocidad de giro del motor y la presión del colector de admisión. De azul

oscuro se pueden apreciar las zonas de corte de combustible, mientras que de turquesa el funcionamiento a baja carga, hasta llegar a la zona de amarillo que es la zona de color amarillo en donde destaca la plena carga del motor y el mayor consumo de combustible.

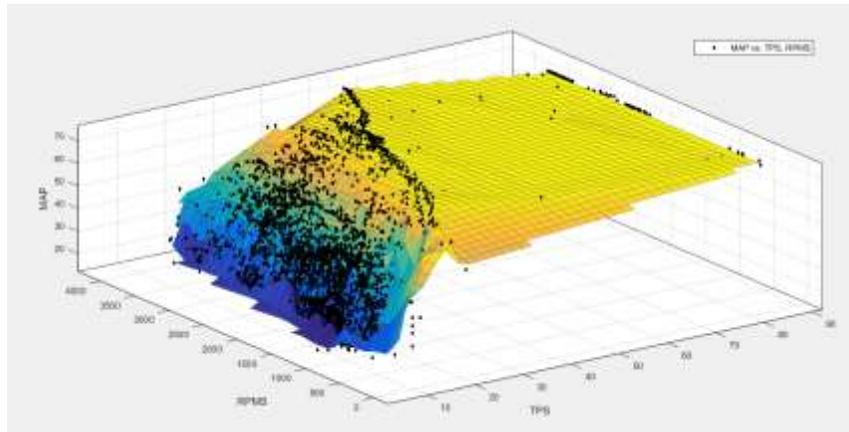


Figura 33: Relación entre la apertura del acelerador, la velocidad de giro del motor y la presión del colector de admisión.

Durante los recorridos los motores adoptan diversas etapas de funcionamiento en función de la velocidad de giro del mismo y la carga aplicada. En la figura 34 se muestra la relación existente entre la carga del motor cuantificada a través del sensor de presión absoluta del colector de admisión y la velocidad del motor. Este vínculo se ve afectado según la marcha seleccionada por el conductor. Según la gráfica de color verde oscuro se muestran las zonas de trabajo en plena carga que se dan a altas velocidades del motor y del vehículo, de azul claro las zonas que corresponden a la media carga y de azul oscuro las zonas de menor consumo de combustible.

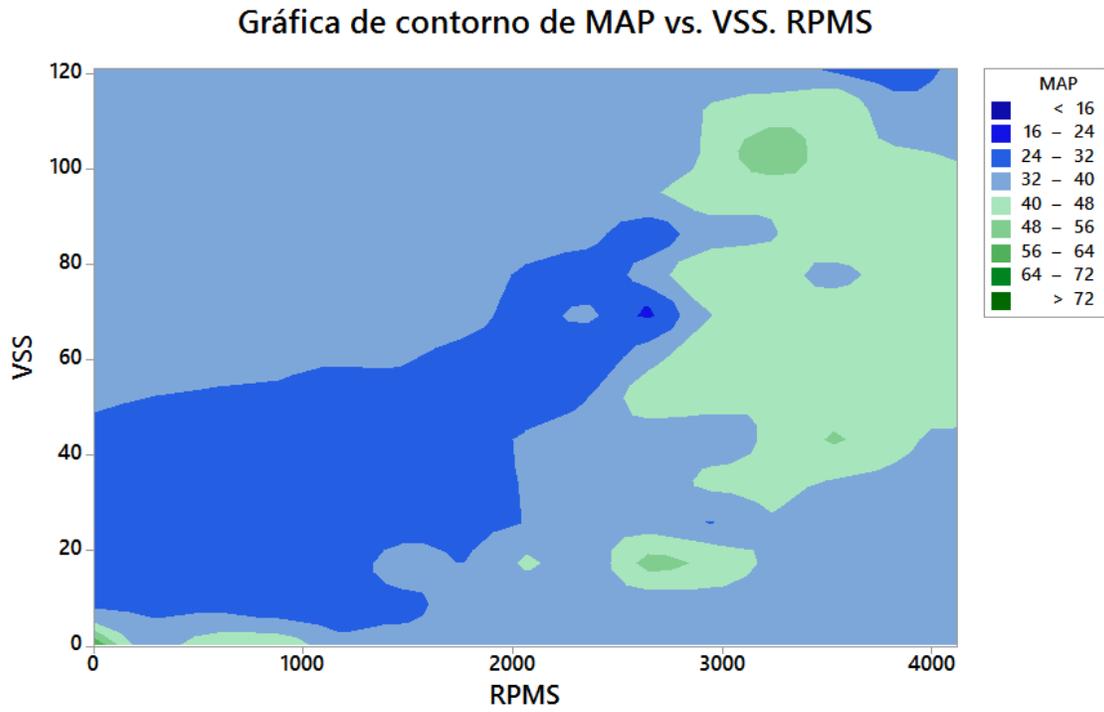


Figura 34: Relación entre la carga del motor cuantificada a través de la presión absoluta del colector de admisión y la velocidad del motor.

6.4 Desarrollo de un entorno mediante el software de ingeniería “Matlab ®” para la visualización y análisis de resultados

Se considera muy importante la interpretación de los datos, para lo cual se genera un entorno interactivo para el usuario.

Este entorno se desarrolla en consideración de una interacción sencilla y específica a los requerimientos del usuario, teniendo esto en cuenta se plantea la siguiente planificación:

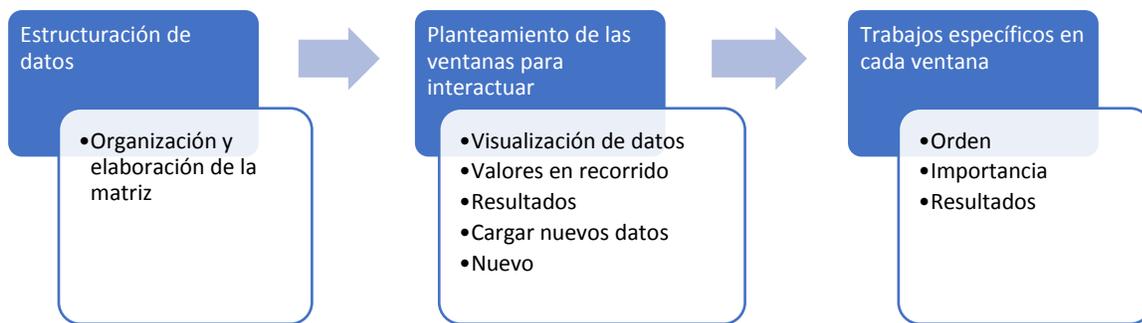


Figura 35: Planeación del entorno gráfico.

El entorno gráfico comienza con una presentación presentada en la figura 36.

En la primera pantalla del entorno gráfico llamada “Presentación” se presenta la institución, carrera perteneciente al igual que el tipo de proyecto, su título y al autor del proyecto.



Figura 36: Presentación del entorno.

Mediante el botón “CONTINUAR” se da paso a la siguiente pantalla.

La siguiente pantalla, mostrada en la figura 37, llamada “Cargar Archivo” presenta únicamente dos botones, el primero sirve para seleccionar el archivo que contiene los datos obtenidos del Freematics One +, una vez seleccionado el archivo se pulsa el botón “Siguiete”, con el cual se accede a la siguiente pantalla.

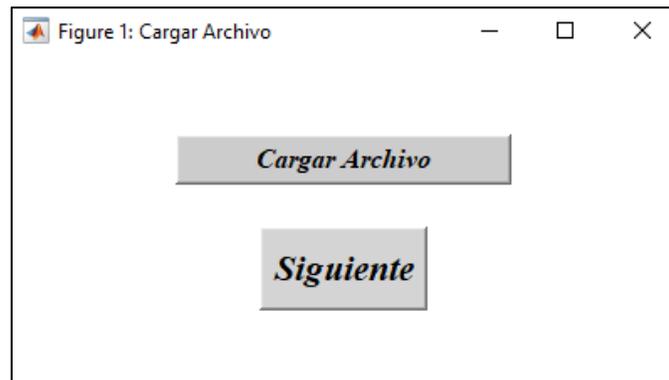


Figura 37: Pantalla Cargar Archivo.

Una vez cargado el archivo se procede a observar la pantalla “Menú” la cual muestra varias opciones que permiten al usuario dependiendo de sus requerimientos.

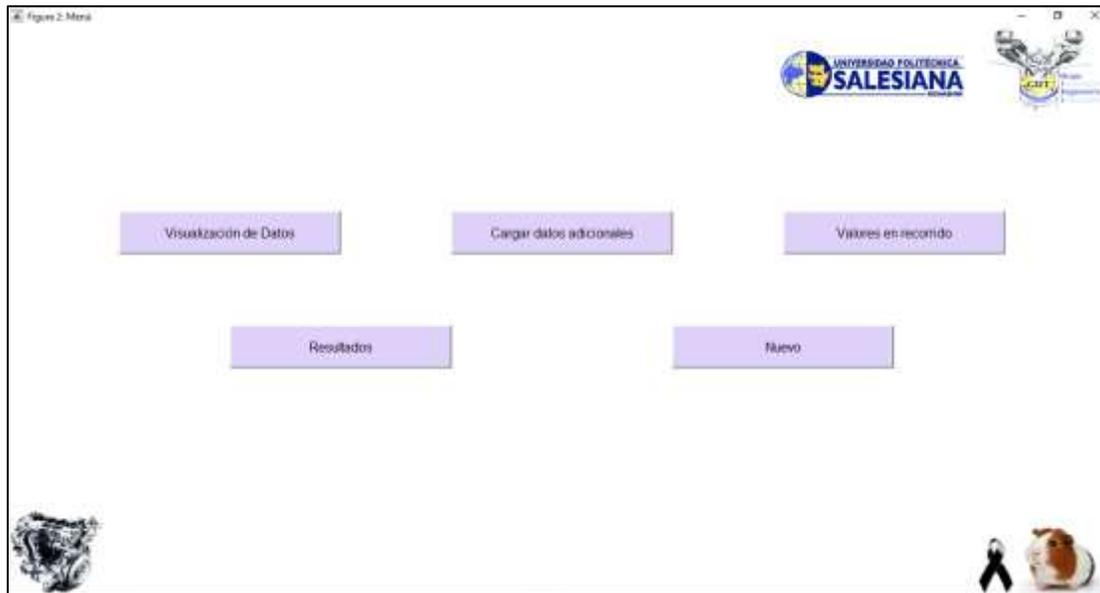


Figura 38: Menú.

Dentro de las opciones presentadas por el menú principal se detallan a continuación:

6.4.1 Visualización de datos

La pantalla de visualización de datos presenta una lista seleccionable de todos los datos tomados obtenidos para graficarlos, se pueden seleccionar uno o varios de los datos disponibles.

En la figura 39 se presenta la gráfica de la velocidad del motor en valores reales.

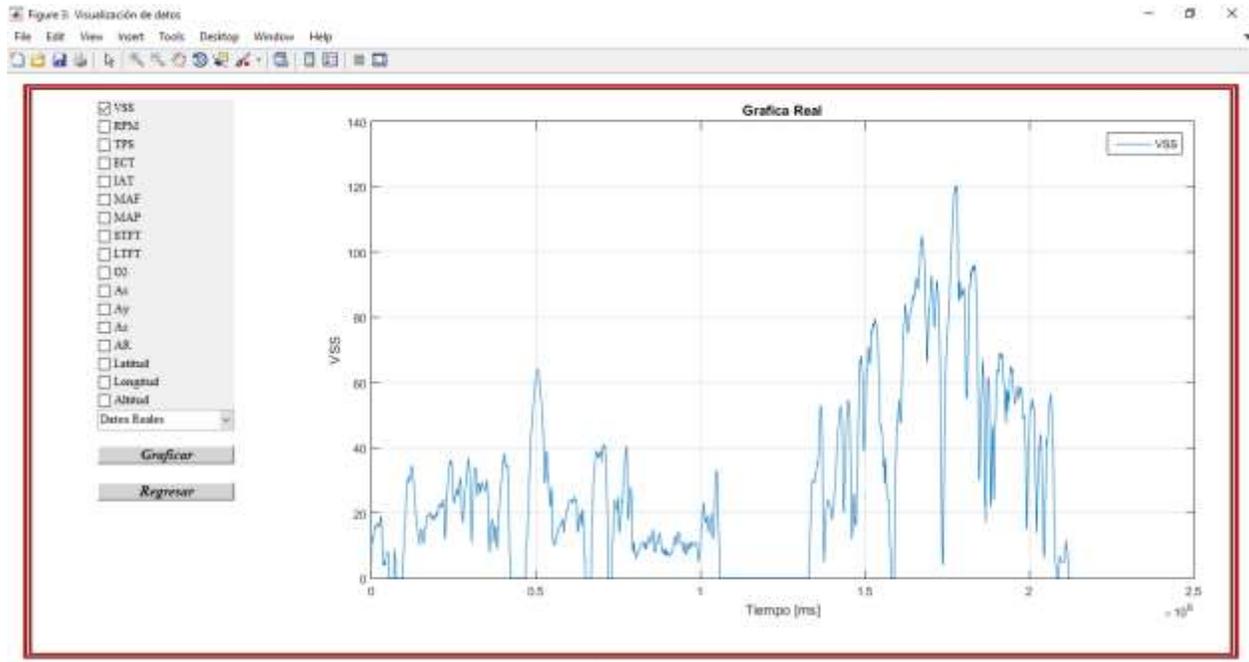


Figura 39: Gráfica de la velocidad en valores reales.

También se pueden graficar estos datos en una amplitud normalizada con el objetivo de analizar el comportamiento de un valor respecto a otro o a otros.

De igual manera se presenta en la figura 40 la gráfica del TPS y el MAP en valores normalizados de manera que se puede observar como varían ambos valores en determinados instantes obteniendo un mejor análisis de la gráfica.

Cabe recalcar que la normalización que se efectúa en estos valores se realiza con respecto al máximo.

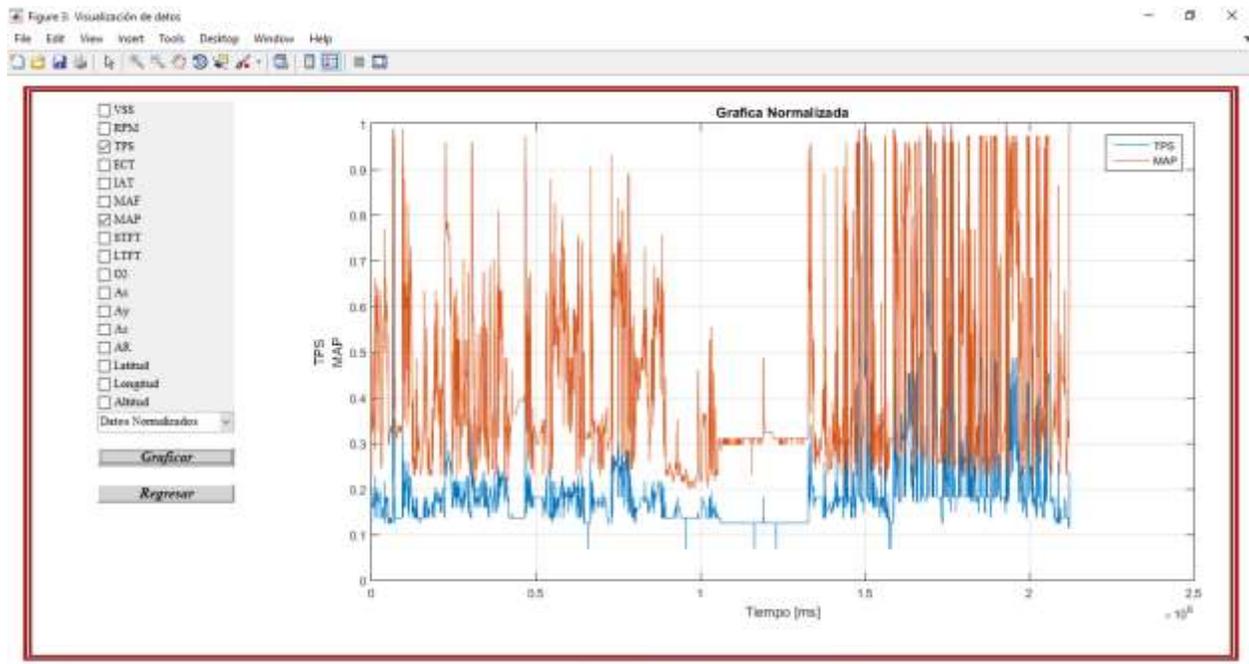


Figura 40: Gráfica del TPS y el MAP normalizados.

Una vez analizados los datos requeridos la pantalla ofrece el botón “Regresar” para volver al menú principal.

6.4.2 Cargar datos adicionales

Esta opción del programa permite trabajar con los datos obtenidos, mediante esta opción se tiene la posibilidad de observar los resultados de los posteriores análisis, aquí se puede incluir el análisis del modo de conducción o el análisis mediante máquinas de soporte vectorial para la obtención de los gases emitidos por el vehículo, para esto se realiza la programación en el script “Pn_DATOS_NUEVOS”, antes de correr el programa, de esta forma se carga automáticamente una vez obtenidos los datos y se crea un archivo de Excel, seleccionable en la siguiente ventana.



Figura 41: Carga de Nuevos Datos.

En esta ventana, el cuadro “Introduzca una descripción” se puede modificar e introducir el título del nuevo vector obtenido de los procesos utilizados por el usuario, en el botón “Seleccionar Archivo” da la posibilidad de dirigirse a la carpeta en la que se guarda el nuevo dato.

Mediante el botón “Regresar” se redirige nuevamente al menú principal.

6.4.3 Valores en recorrido

Esta opción permite dirigirse a la pantalla “Valores en recorrido”, la cual presenta una lista despegable con los valores obtenidos mediante el dispositivo Freematics One + y, si es el caso, mediante los procesos realizados por el usuario y cargados mediante la opción anterior.

También contiene un mapa completo de la ciudad de Cuenca dividido en 28 cuadrantes, por lo que se puede elegir mediante otra lista desplegable con los 28 cuadrantes o el mapa completo a elegir, por lo que, se debe graficar inicialmente en el mapa completo y luego elegir el cuadrante que se quiere analizar.

En la figura 42 se presenta un ejemplo del valor en recorrido de la velocidad en el mapa completo de la ciudad de Cuenca.

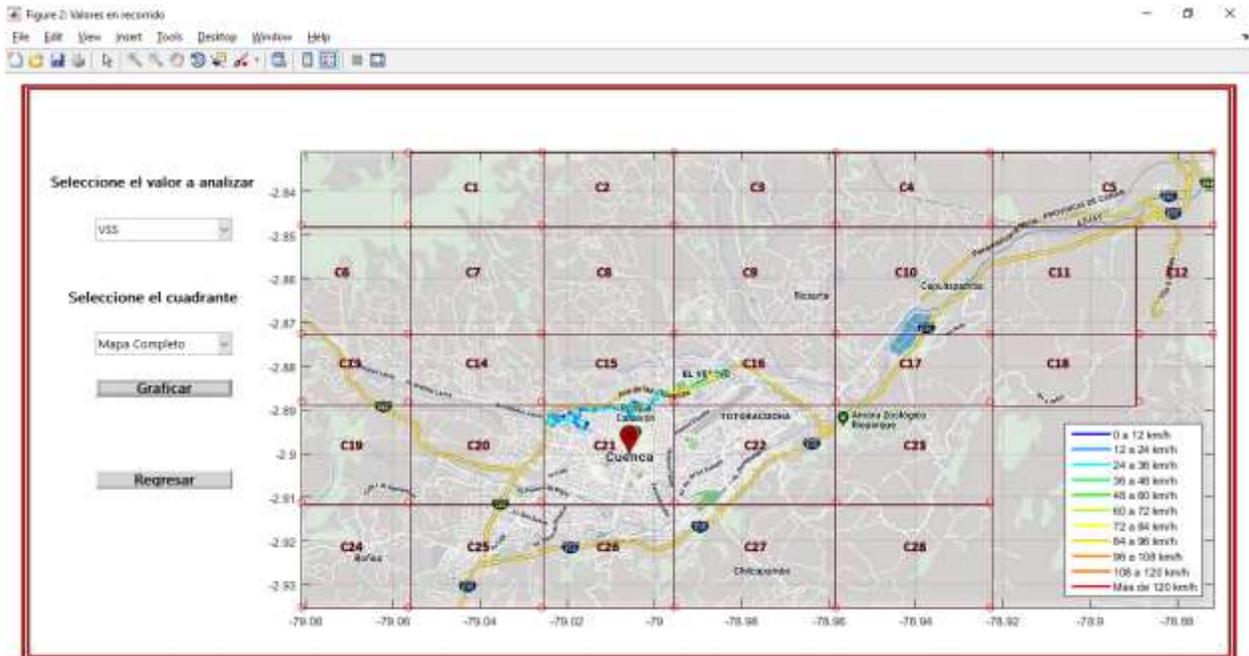


Figura 42: Valor en recorrido de la velocidad en Mapa Completo.

Al analizar el valor en recorrido en el mapa completo se selecciona el cuadrante en el cual se desea analizar más detalladamente.

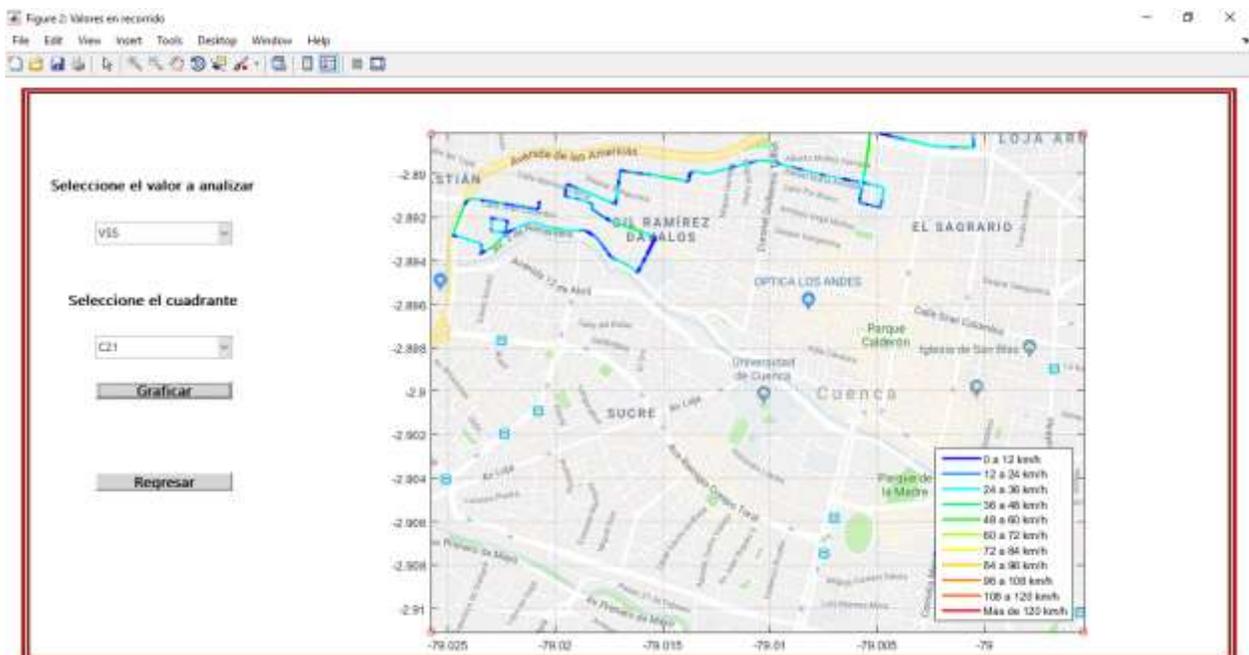


Figura 43: Valor en recorrido de la velocidad en el cuadrante C21.

El botón “Regresar” dirige nuevamente al menú principal.

6.4.4 Resultados

Esta opción dirige hacia una nueva pantalla llamada “Resultados” la cual ofrece una breve información del trayecto, detallada a continuación:

- Fecha de inicio.
- Fecha de fin.
- Hora de inicio.
- Hora de fin.
- Distancia total recorrida.
- Tiempo total recorrido.
- Velocidad media.
- Velocidad máxima.

En la figura 44 se presenta un ejemplo de los resultados de un trayecto en la ciudad de Cuenca.



Figura 44: Resultados del trayecto.

6.4.5 Nuevo

Esta opción permite cargar un nuevo archivo para comenzar un nuevo análisis, al seleccionar el botón “Nuevo”, esta carga nuevamente todo el programa volviendo a mostrar la figura 37.

7 Conclusiones

- Mediante el dispositivo Freematics One + es posible la adquisición y almacenamiento de datos provenientes del sistema de diagnóstico a bordo OBD II, mientras que el software de ingeniería Matlab fue muy útil para la creación del entorno interactivo para el usuario de manera que se puede analizar fácilmente los datos obtenidos.
- La programación del dispositivo Freematics One + permite obtener todos los valores requeridos mediante sus librerías en Arduino, lo cual hace muy accesible la adquisición de datos del vehículo.
- La estructuración de datos mediante Matlab permite acceder a la mayor información posible de todos los datos obtenidos, de manera que se pueden realizar posteriores análisis e investigaciones con el objetivo de reducir contaminaciones o analizar el comportamiento del vehículo en función del modo de conducción o del estado físico del vehículo.
- Los datos estructurados al ser analizados mediante métodos estadístico-multivariados permiten verificar los datos adquiridos, observar la forma de conducción, los gases emitidos observando la contaminación real del vehículo, lo cual puede ayudar a tener conocimiento de la contaminación real del parque automotor a pequeña y grande escala.
- El entorno desarrollado mediante Matlab permite al usuario observar y comparar los diferentes PIDs, verificando el correcto funcionamiento del vehículo o también puede ser de gran ayuda para diagnosticar las fallas del motor de combustión interna al tener la posibilidad de observar varias señales al mismo tiempo sin necesidad de una herramienta costosa como un scanner automotriz o un osciloscopio.
- Mediante los valores en recorrido se pueden apreciar la intensidad de cada uno de los datos obtenidos, facilitando el análisis y posteriores investigaciones.
- Al finalizar el entorno interactivo, junto con el dispositivo Freematics One + se ha

desarrollado un poderosa herramienta de monitoreo que podrá ser de mucha utilidad para controlar a los vehículos que transitan dentro de la ciudad y posteriormente dentro del territorio nacional por lo que es accesible para la agencia nacional de tránsito, ANT, o la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca, EMOV, para el monitoreo de las flotas de transporte público para ayudar a controlar el desplazamiento de los vehículos dentro de la normativa aplicable vigente, teniendo en cuenta, que se respete los límites de velocidad dentro de la ciudad, en carreteras y curvas.

8 Recomendaciones

- Es indispensable verificar la programación realizada en el dispositivo Freematics One + de manera que se pueda obtener todos los datos requeridos.
- El dispositivo GPS depende mucho de las señales de los satélites respectivos por lo que se recomienda obtener un buen dispositivo externo de toma de datos satelitales con el objetivo de no perder demasiada información de ubicación y horario.
- La toma de datos del dispositivo Freematics One + requiere un tiempo de espera al terminar cualquier prueba por lo que se debe mantener al dispositivo conectado alrededor de un minuto, de manera que se almacenen correctamente los datos.
- La frecuencia de muestreo del dispositivo Freematics One + es bastante buena por lo que se obtienen una gran cantidad de datos por lo que al analizarlos en el algoritmo creado se toma una gran cantidad de tiempo, de manera que se recomienda analizar o tomar datos de cortos periodos de tiempo para obtener un análisis rápido de ser posible.

9 Referencias Bibliográficas

- Álvarez, D., & Calle, P. (2018). *Creación de una base de datos a partir del análisis de las señales de los sensores del sistema de inyección para la localización de averías en motores de combustión interna*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Arévalo, F., & Ortega, A. (2016). *Desarrollo de un interfaz para la visualización y adquisición de datos provenientes de la ECU a través de OBD-II mediante un dispositivo de comunicación serial y del analizador de gases QROTECH 6000*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- AutoDaewooSpark. (03 de 10 de 2018). *AutoDaewooSpark*. Obtenido de <https://www.autodaewoospark.com/sensor-temperatura-refrigerante-motor-engine-coolant-temperature-sensor-ECTS-kia-sportage.php>
- Ávila, D. (1 de Febrero de 2017). *ACTUALIDADMOTOR*. Obtenido de <https://www.actualidadmotor.com/sensor-maf-o-sensor-de-flujo-de-aire/>
- Blasco, V. (2013). *Sistema de diagnóstico a bordo OBD*.
- Calderón, A. (2012). *Optimización de la potencia en un motor de combustión interna gasolina mediante el control de ajustes de combustible y el monitoreo del sensor de oxígeno*. Latacunga: Escuela Politécnica del Ejército.
- Castro, T. (12 de Junio de 2013). *Auto Avance*. Obtenido de <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/149-que-es-un-sensor-de-posicion-del-ciguenal-sensor-ckp-y-cmp>
- Chen, S. H., & Wei, Y. R. (2010). *A Study on Speech Control Interface for Vehicle On-Board Diagnostic System*. Taiwan: Computer Society.
- Guarella, J., Heredia, J., Rodríguez, L., & Bagatto, I. (2011). *Sensores y actuadores automotores*. La Plata: Universidad Nacional de la Plata.

- HELLA. (s.f.). Wheel speed sensors in motor vehicles. *HELLA*, 12.
- HEM. (11 de Junio de 2009). *www.ecnmag.com*. Obtenido de <https://www.ecnmag.com/product-release/2009/11/data-logger-acquires-obd-can-bus-data>
- Huang, S. (2013). *Freematics*. Obtenido de <https://freematics.com/pages/products/freematics-one-plus/>
- Industry, N. T. (16 de Septiembre de 2015). *CompaniesandMarkets.com:Global automotive on-board diagnostics (OBD) market: New insights (2015)*. . Chatham: Newstex. Obtenido de <https://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2598/docview/1712471139?accountid=32861>
- InvenSense, T. (25 de Junio de 2018). *TDK InvenSense*. Obtenido de <https://www.invensense.com/products/motion-tracking/9-axis/mpu-9250/>
- Montero, W., & Abril, J. (2012). *Software y Hardware para monitorear parámetros de movilidad y consumo de combustible en vehículos OBD2*. Riobamba : Escuela Politécnica de Chimborazo.
- Palacios, E., & Pesántez, J. (2016). *1 Creación de una base de datos a partir del análisis de las señales de los sensores del motor para la localización de averías que no generan código*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- SAE. (11 de Agosto de 2014). *SAE International*. Obtenido de https://www.sae.org/standards/content/j1979_201408/
- Soul, J. (3 de 10 de 2018). *JDM Soul*. Obtenido de <https://jdmsoul.wordpress.com/2011/10/13/hablemos-de-sensores/>
- TODOAutos. (26 de 05 de 2017). *TODOAutos*. Obtenido de <http://www.todoautos.com.pe/portal/hyundai/i30/4917-autos>
- UPS. (2017). *Banco de diagnóstico de sensores automotrices*. Cuenca.

Xie, Y., Su, X., Chen, X., Cai, G., Xu, B., & Ye, W. (2017). *STM32 - based Vehicle Data Acquisition System for Internet - of - Vehicles*. Wuhan: ICIS.

11 Anexos



Figura A- 1: Dispositivo Freematics One + conectado.

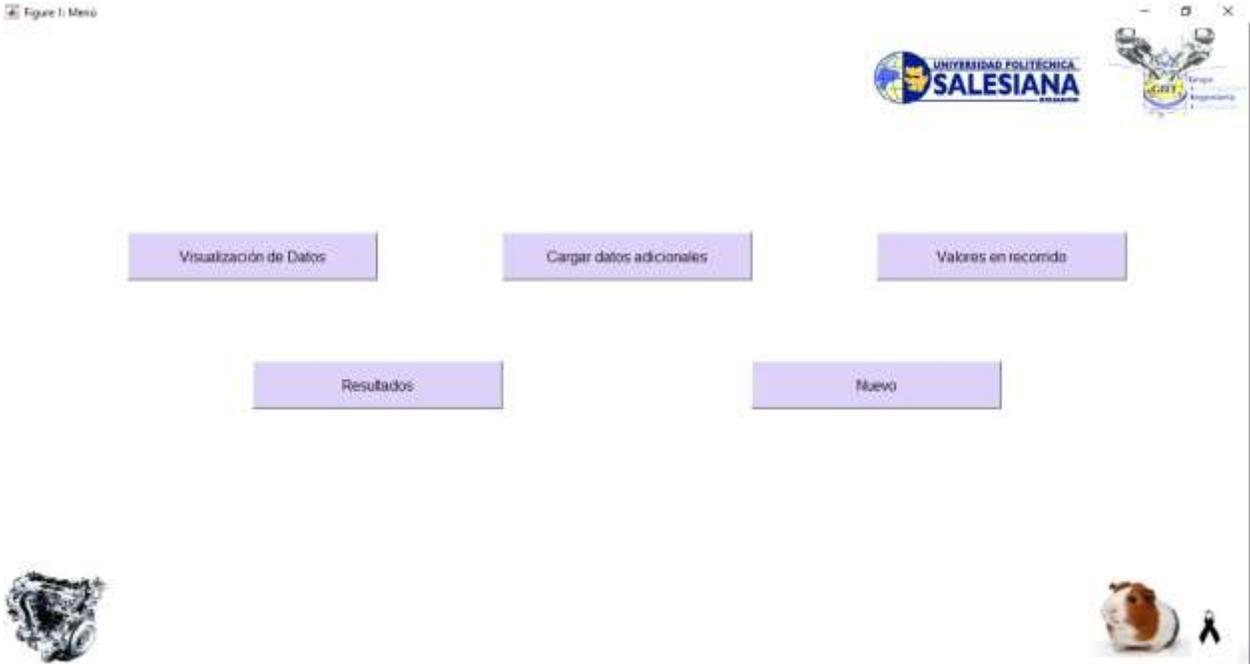


Figura A- 2: Menú principal del entorno interactivo.

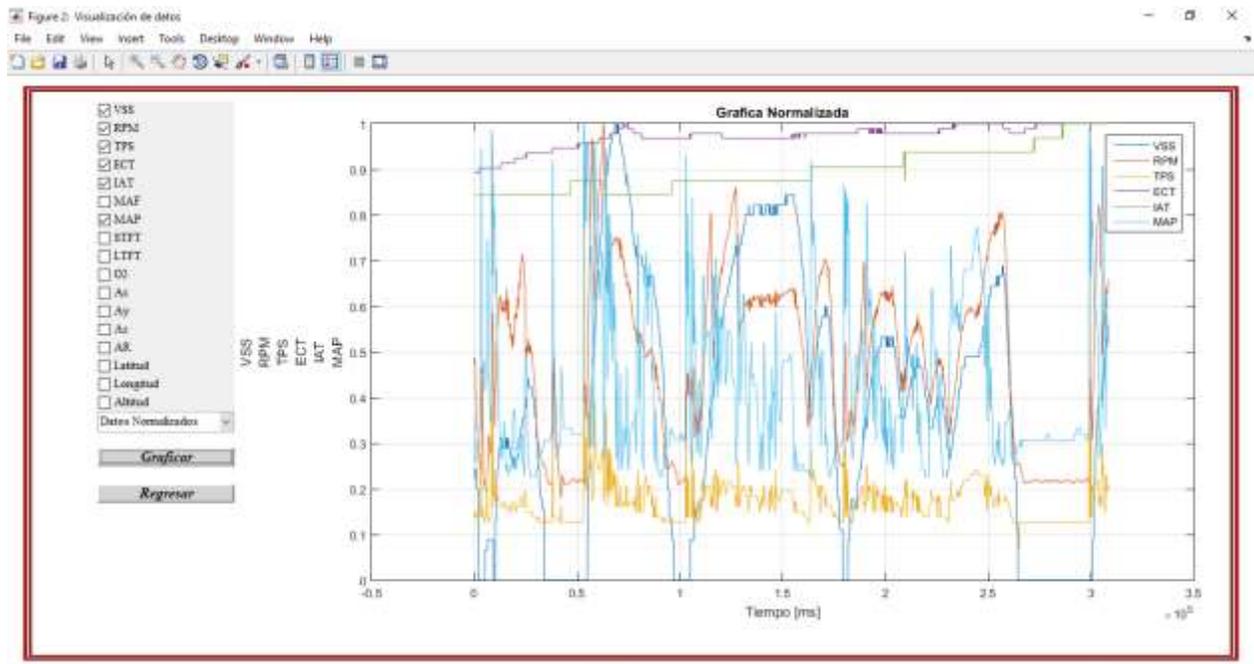


Figura A- 3: Valores obtenidos normalizados.

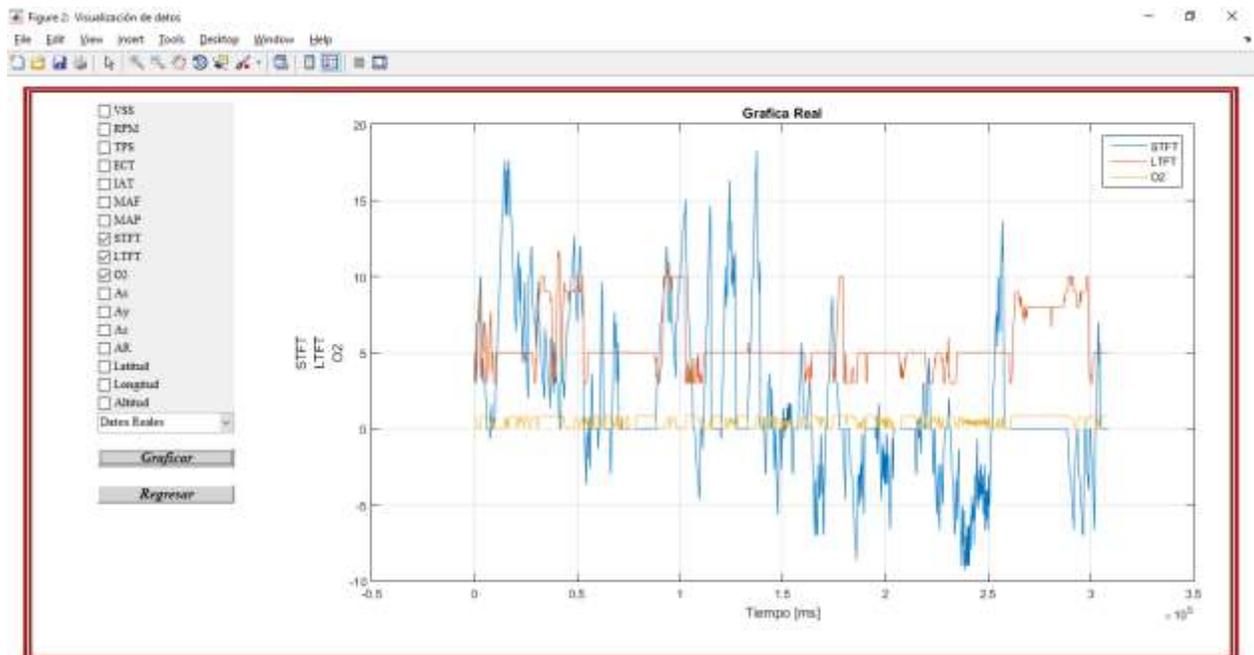


Figura A- 4: Ajustes a corto y largo plazo y sensor de oxígeno.

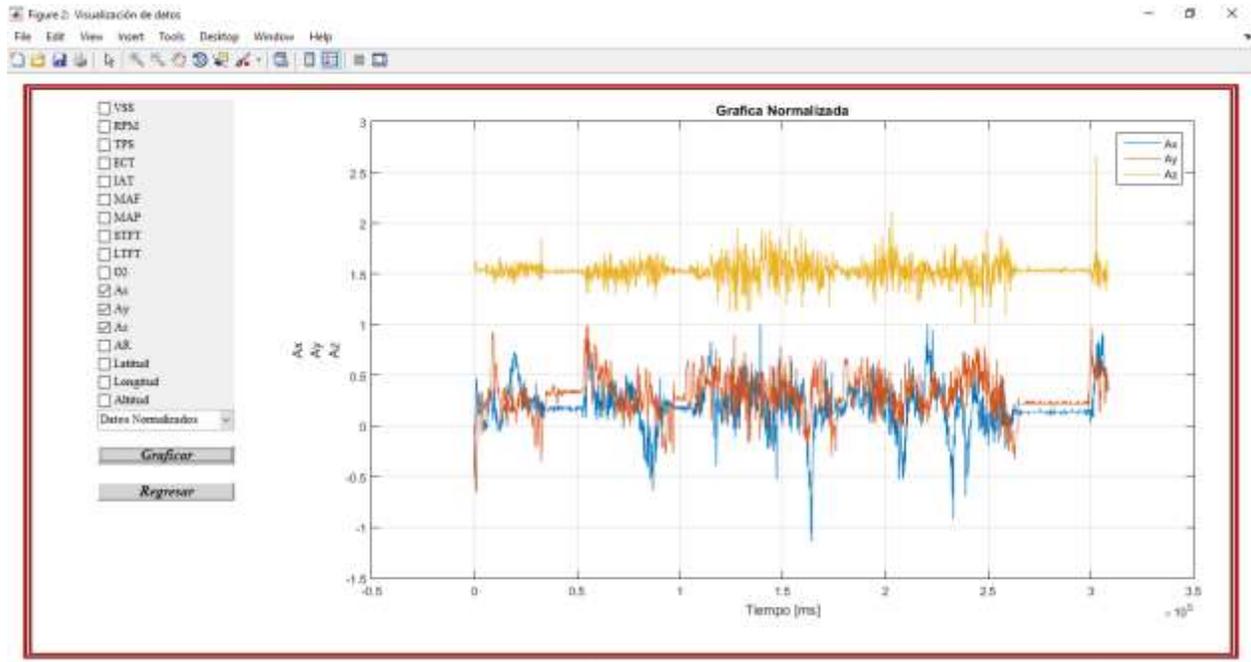


Figura A- 5: Valores de los acelerómetros en x, y, z.

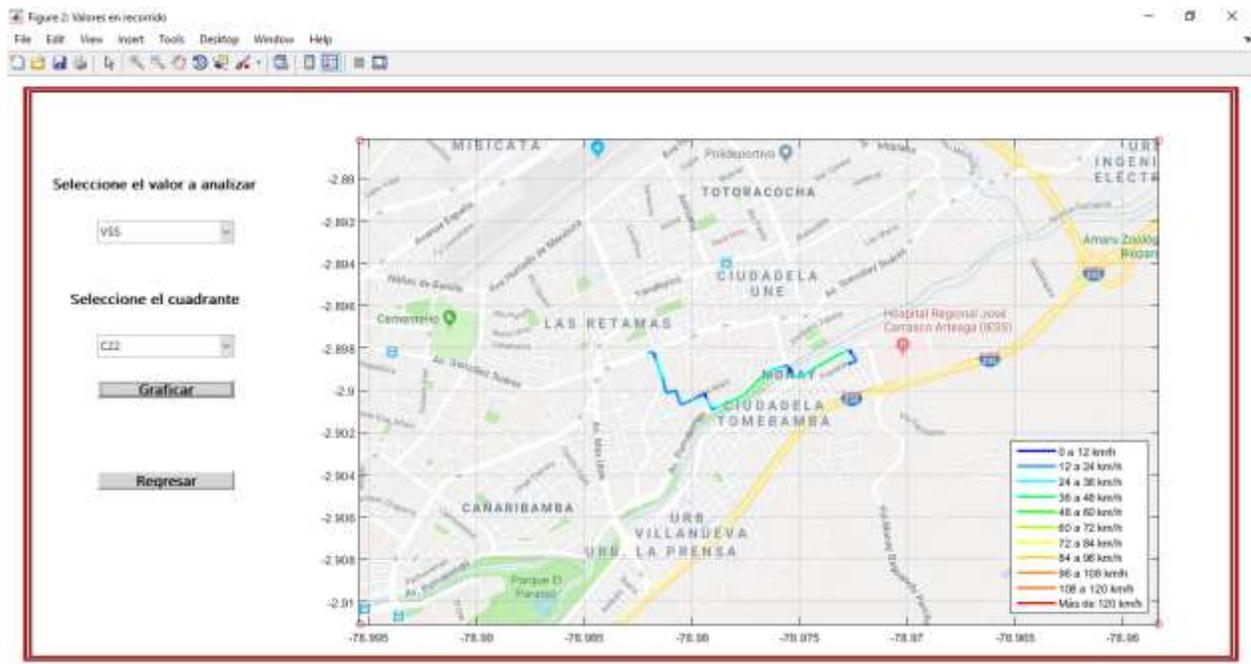


Figura A- 6: Valores en recorrido de la velocidad del motor.

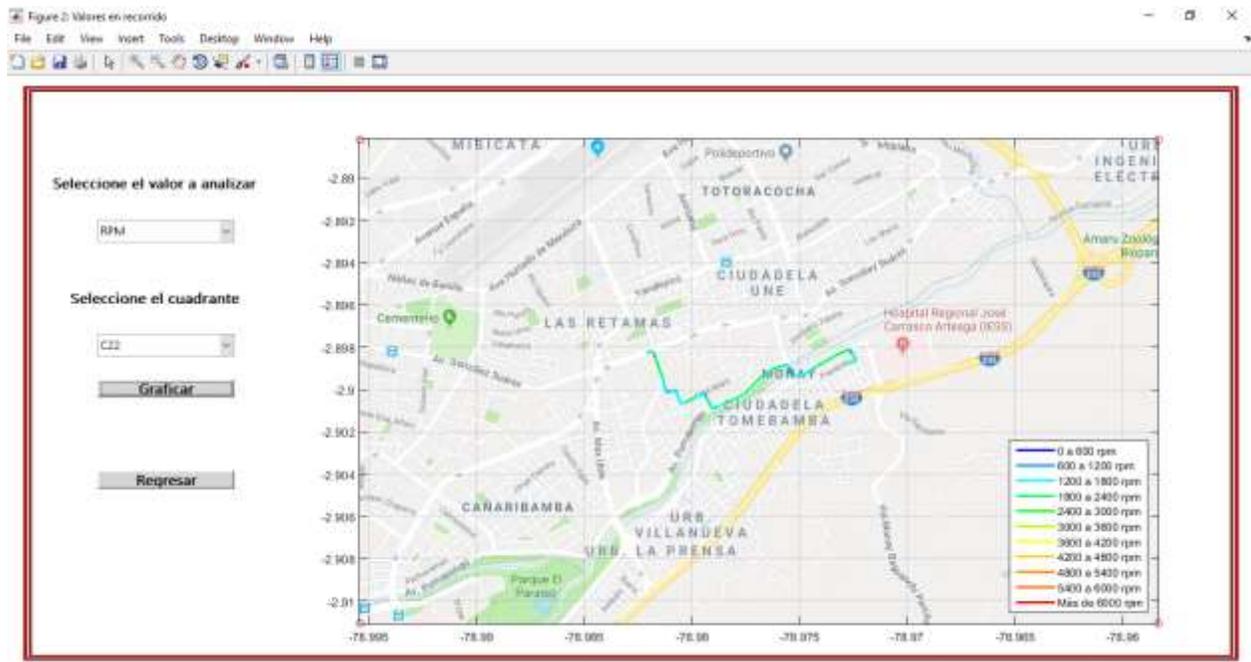


Figura A- 7: Valores en recorrido de las revoluciones del motor.

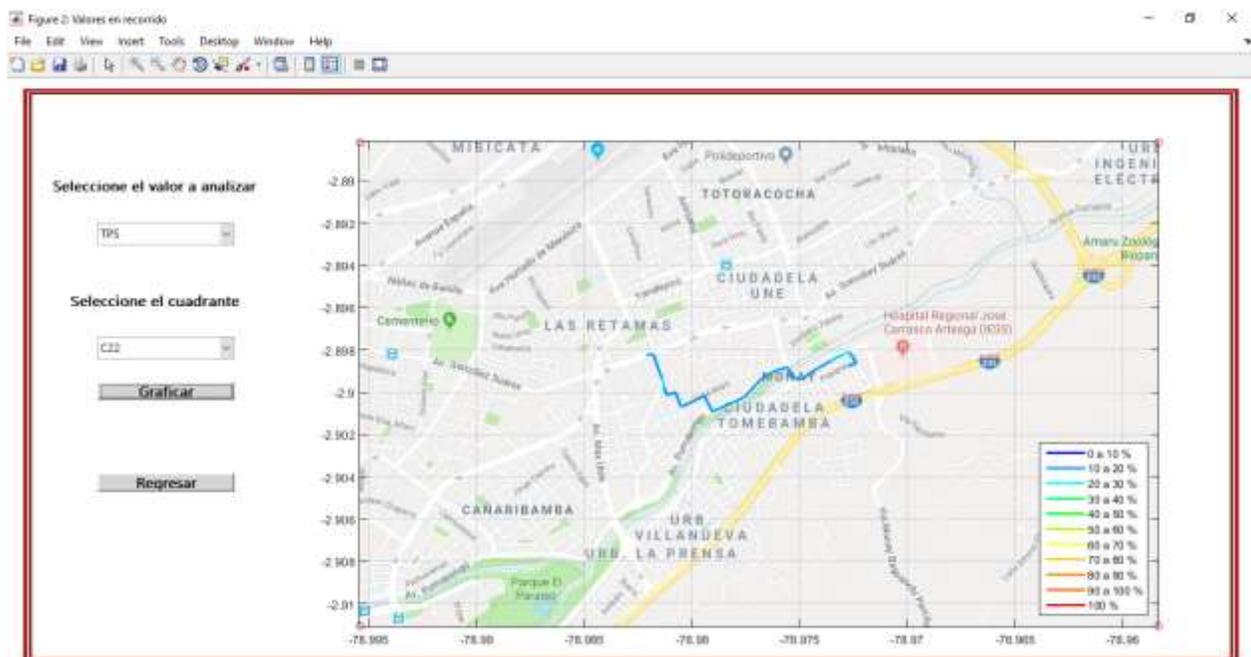


Figura A- 8: Valores en recorrido de la apertura de la mariposa de aceleración.



Figura A- 9: Valores en recorrido de la temperatura del refrigerante del motor.

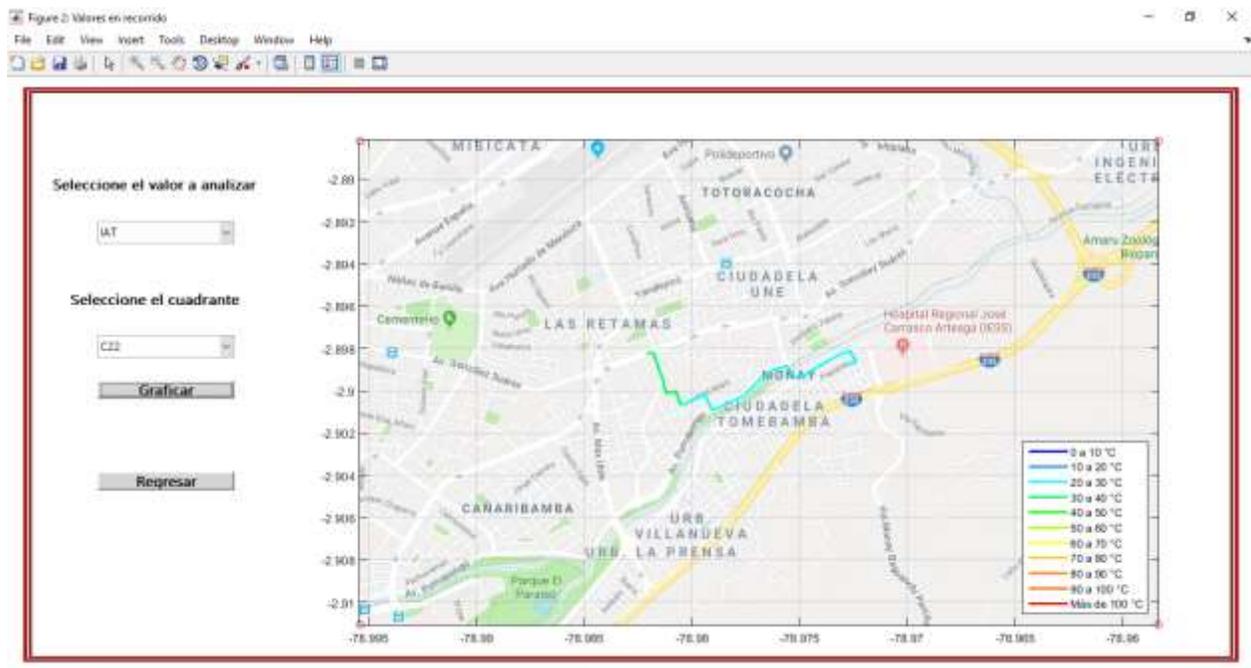


Figura A- 10: Valores en recorrido de la temperatura del aire de admisión.

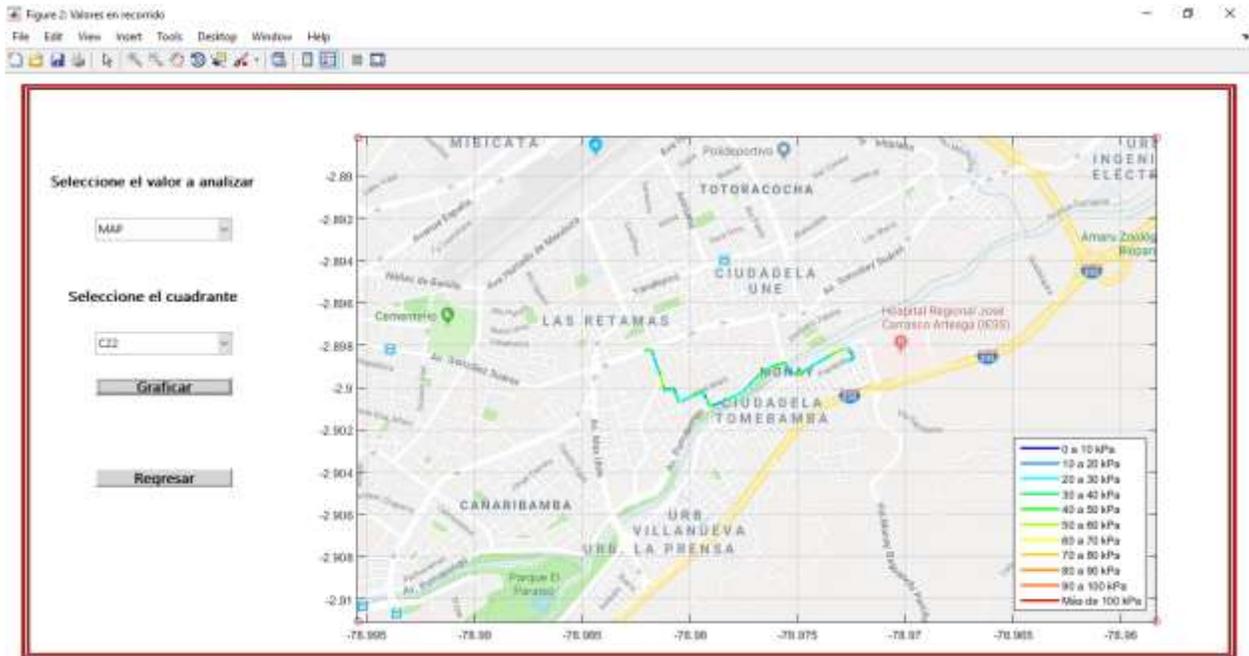


Figura A- 11: Valores en recorrido de la presión absoluta del colector.

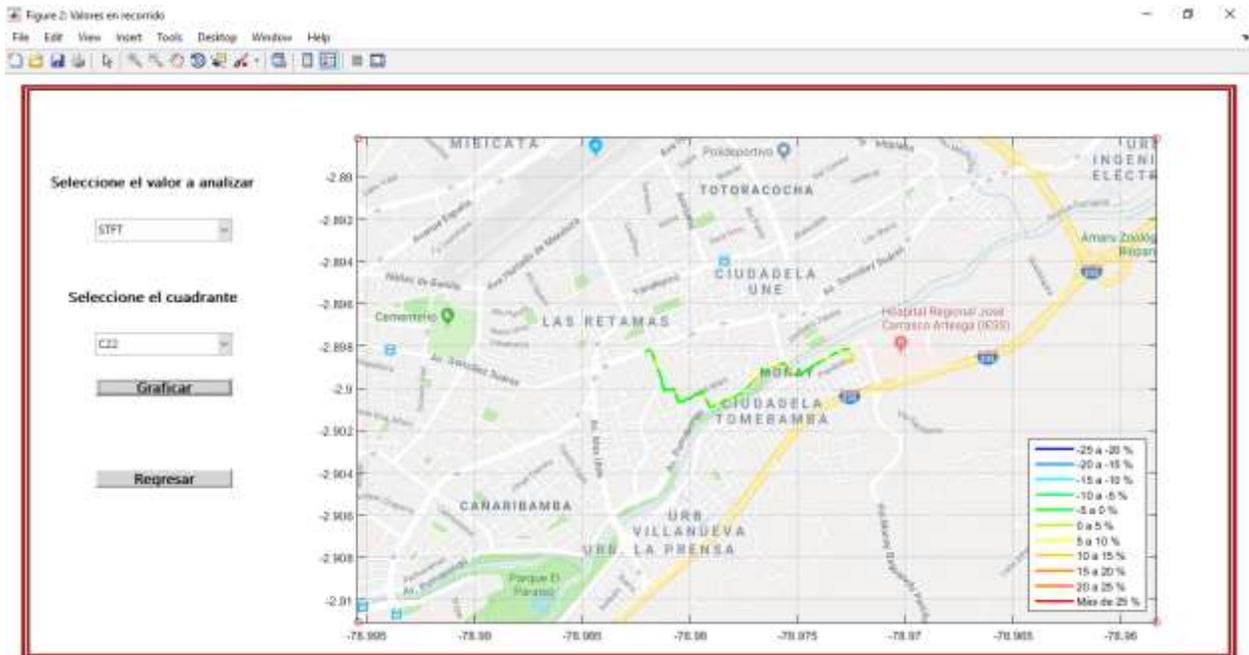


Figura A- 12: Valores en recorrido del ajuste a corto plazo del combustible.

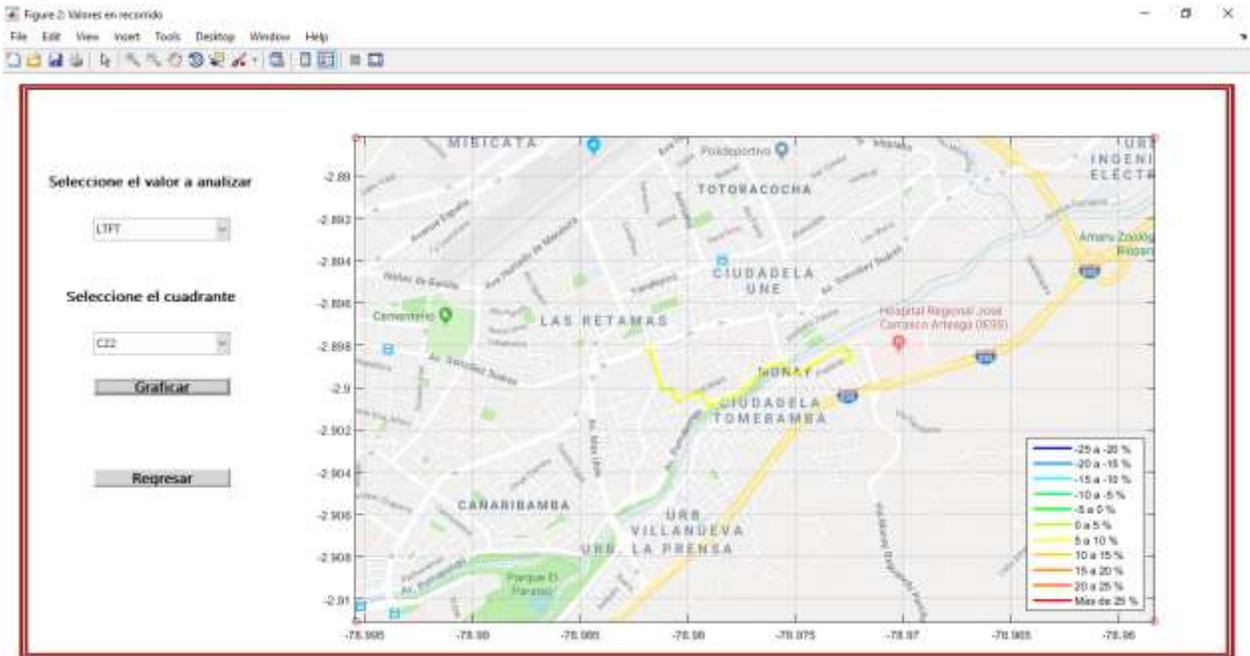


Figura A- 13: Valores en recorrido del ajuste a largo plazo del combustible.

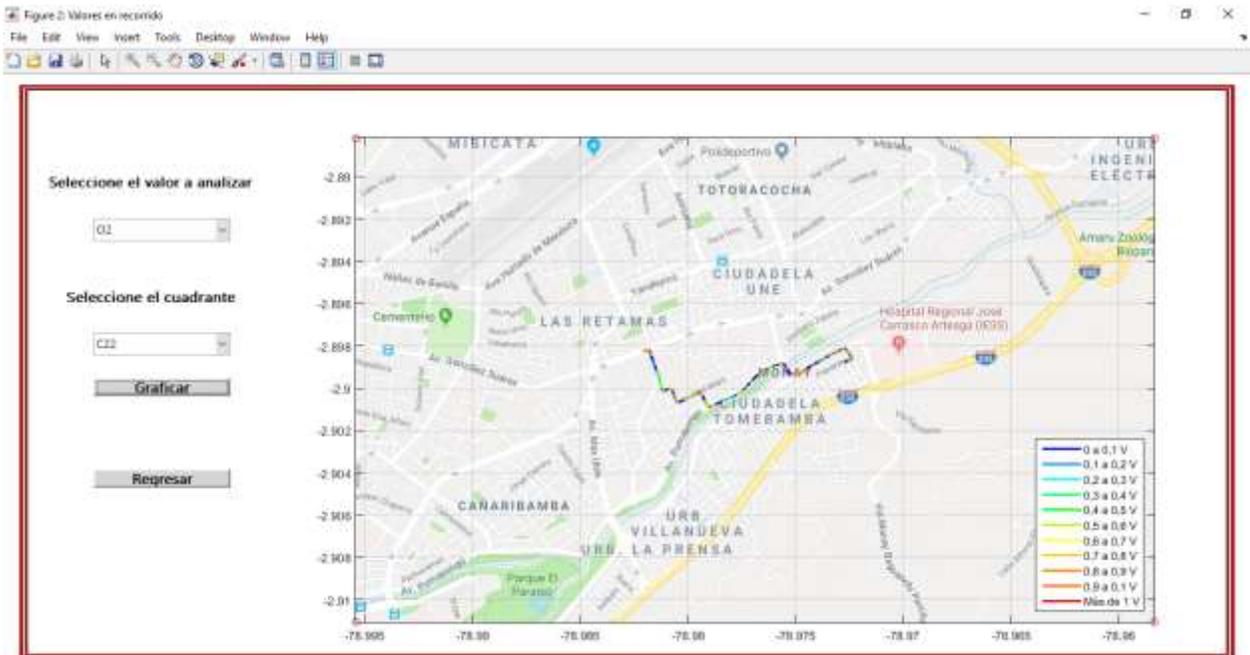


Figura A- 14: Valores en recorrido del sensor de oxígeno.

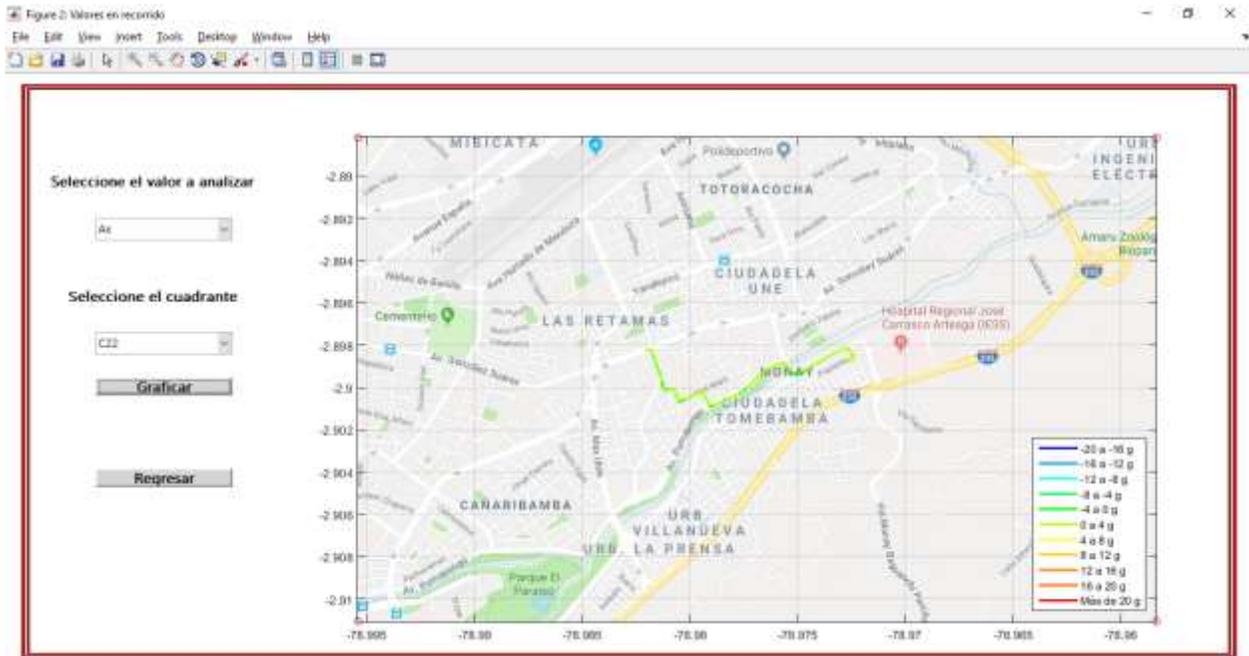


Figura A- 15: Valores en recorrido del acelerómetro en el eje x.



Figura A- 16: Valores en recorrido del acelerómetro en el eje y.

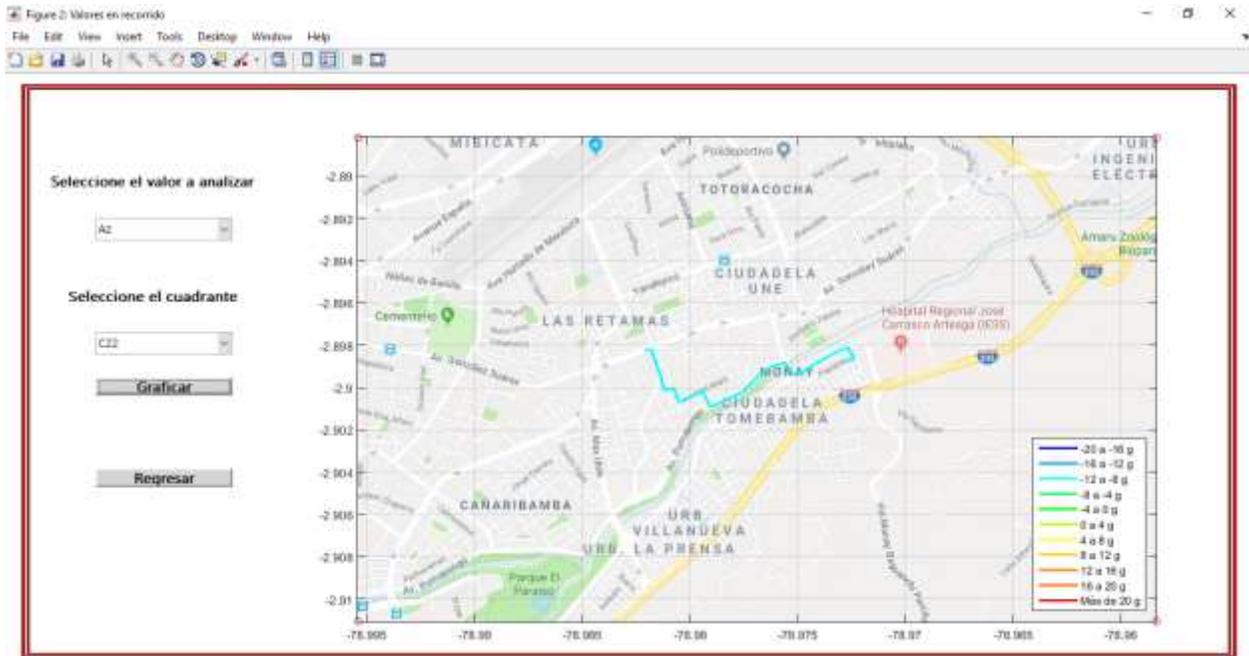


Figura A- 17: Valores en recorrido del acelerómetro en el eje z.

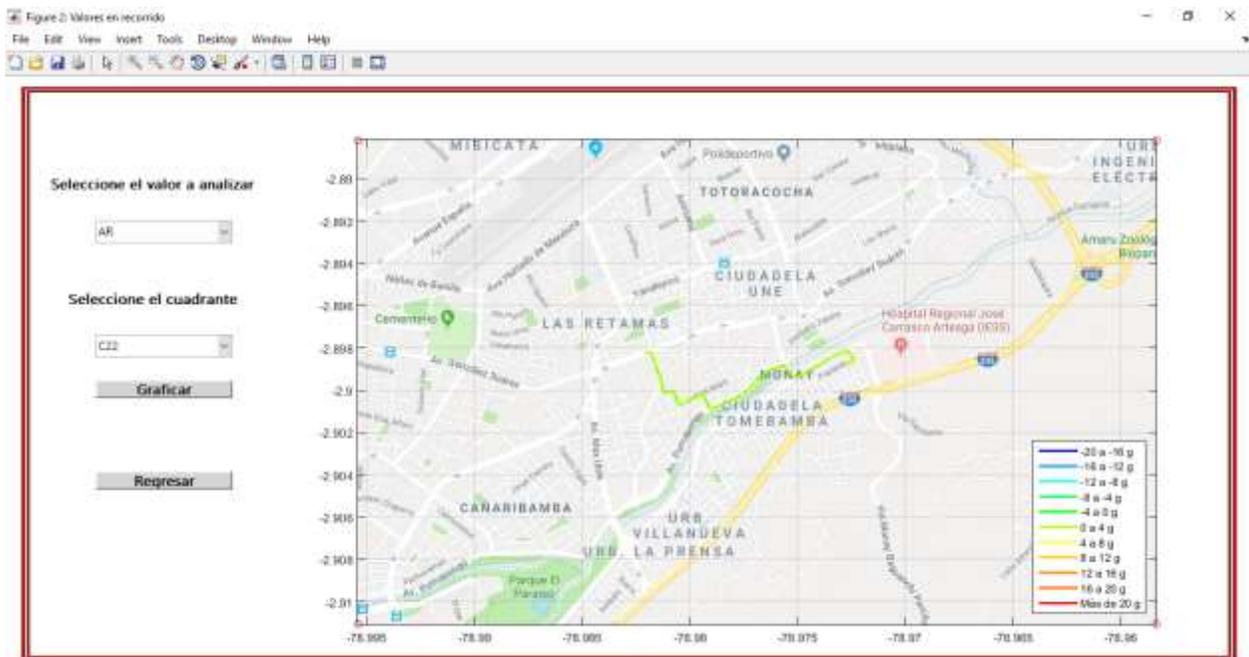


Figura A- 18: Valores en recorrido de la resultante del acelerómetro.