



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**“Implementación de un Sistema de Adquisición y
Transmisión de Datos para la Medición de Consumo de
Combustible.”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autor:

CARLOS SANTIAGO ZEAS CARILLO

Director:

ING. GUSTAVO ANDRÉS ÁLVAREZ COELLO

CUENCA, ECUADOR

2019

Implementación de un Sistema de Adquisición y Transmisión de Datos para la Medición de Consumo de Combustible

RESUMEN

La medición del consumo de combustible, es uno de los factores determinantes al momento de evaluar vehículos. Para este fin, existen dispositivos que miden el flujo de combustible, pero estos no se comunican con módulos como GPS o OBD. Es por ello, que este trabajo presenta un dispositivo integrador que puede comunicarse con los diferentes módulos, registrar su información en sola trama de datos y enviarlos por una red de comunicación. Este dispositivo es flexible, económico y de gran utilidad en la logística del transporte, ya que permite la visualización de los diferentes parámetros censados en tiempo real.

Palabras clave: Consumo de combustible, OBD, GPRS, Arduino.



Ing. Daniel Iturralde Piedra. Ph.D
Coordinador de Carrera



Ing. Gustavo Andrés Álvarez Coello
Director de Trabajo de Titulación



Carlos Santiago Zeas Carrillo
Autor

Implementation of a Data Acquisition and Transmission System to Measure Fuel Consumption

ABSTRACT

The measure of fuel consumption is one of the determining factors when evaluating vehicles. For this purpose, there are devices that measure fuel flow. However, such devices do not communicate with modules such as GPS or OBD. Therefore, this work presents an integrating device that can communicate with different modules, register their information in a single data frame and send them through a communication network. This device is flexible, affordable and very useful in transport logistics, since it allows the visualization of different parameters registered in real time.

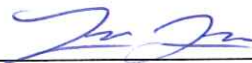
Keywords: Fuel consumption, OBD, GPRS, Arduino.



Ing. Daniel Iturralde Piedra. Ph.D
Faculty Coordinator



Ing. Gustavo Andrés Álvarez Coello
Thesis Director



Carlos Santiago Zeas Carrillo
Author



Translated by
Ing. Paúl Arpi

Implementación de un Sistema de Adquisición y Transmisión de Datos para la Medición de Consumo de Combustible.

Carlos Santiago Zeas Carrillo
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
tamanq@hotmail.com

Resumen- La medición del consumo de combustible, es uno de los factores determinantes al momento de evaluar vehículos. Para este fin, existen dispositivos que miden el flujo de combustible, pero estos no se comunican con módulos como GPS o OBD. Es por ello, que este trabajo presenta un dispositivo integrador que puede comunicarse con los diferentes módulos, registrar su información en sola trama de datos y enviarlos por una red de comunicación. Este dispositivo es flexible, económico y de gran utilidad en la logística del transporte, ya que permite la visualización de los diferentes parámetros censados en tiempo real.

Palabras Claves. - Consumo de combustible, OBD, GPRS, Arduino.

Glosario

TÉRMINO	DEFINICIÓN
CAN	Controller Area Network
CPU	Central Processing Unit
Ecodriving	Análisis de técnicas de manejo ecológico
ECU	Engine Control Unit
ERGON	Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Automotriz
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
IOT	Internet de las Cosas
IoV	Internet de los Vehículos
IMUs	Miniature Internal Sensor
MCU	Microcontrolador
MMS	Multimedia Messaging
OBD	On Board Diagnosis
OMS	Organización Mundial de la Salud
PID	Process Identification
SMS	servicio de mensajes cortos
SPI	Serial Peripheral Interface
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
WAP	Wireless Application Protocol

I. INTRODUCCION

En la actualidad, la contaminación del aire es uno de los mayores riesgos ambientales para la salud humana en el mundo[1]. La OMS confirma con su modelo de calidad del aire que el 92% de la población mundial vive en lugares donde los niveles de calidad del aire superan las "pautas de calidad del aire ambiente de la OMS", y reporta alrededor de tres millones de muertes al año relacionadas a la contaminación del aire exterior[2].

Entre las principales fuentes de contaminación del aire se incluyen los modos ineficientes de transporte [2]. La Agencia Internacional de Energía (IEA) informa que la contaminación por transporte motorizado representa el 75%, frente a las

modalidades aérea (12%), marítima (11%) y férrea (2%) [3]. La IEA indica también que la eficiencia energética en el sector del transporte no ha mejorado, en parte debido a la ausencia de políticas de eficiencia con el uso del combustible [4], de ahí que el impacto en la contaminación del aire y en la salud humana de las emisiones de vehículos urbanos puede disminuirse con mejoras en esta industria [1].

En el creciente mercado automotriz, la tecnología tiene cada vez un papel fundamental para garantizar estándares de seguridad, reducir la contaminación y aumentar la eficiencia. Un monitoreo constante de los eventos que ocurre en el automotor como la medición del consumo de combustible por vehículo-kilómetro y las emisiones a gran escala son factores importantes en el marco del análisis de la eficiencia energética y de los niveles de contaminación generados [1]. Las investigaciones actualmente están enfocadas además en el desarrollo de sistemas de transporte inteligente que, a partir de la información de la posición, la velocidad y de los sensores de los automotores permitan mejorar la operación y seguridad del transporte, además de aumentar la eficiencia del tráfico.

Para el desarrollo de este tipo de plataformas, trabajos recientes han planteado soluciones con base a la creación de redes de vehículos aprovechando el potencial de Big Data [5] [6] o realizando el monitoreo indirecto utilizando redes neuronales recurrentes que procesan la posición GPS (latitud, longitud, altitud), la velocidad, la aceleración (longitudinal, lateral, vertical) y el número de satélites visibles empleando teléfonos inteligentes [7]. Se han publicado resultados positivos para una planificación de transporte óptima aplicando modelos basados en algoritmos de Maximización de Expectativas y de Dijkstra, para reconstruir trayectorias y encontrar rutas de transporte con un consumo mínimo de combustible[8], [9]. También se emplean modelos de consumo de combustible para predecir el consumo de los sistemas de combustible y evaluar las nuevas tecnologías de los vehículos [10] [11] [7]. Un estudio desarrollado en Ecuador para estimar el consumo de combustible del transporte e identificar los grupos de vehículos con mayores necesidades de combustible indica que estos factores son importantes para implementar mejores políticas y garantizar el consumo eficiente de energía [12]. Especialmente en países en vías de desarrollo, el parque automotor ha mostrado un gran aumento de vehículos livianos privados; más no, de vehículos destinados al transporte de pasajeros y carga [12].

A pesar del avance tecnológico aún es difícil contar con modelos de consumo de combustible precisos para los cálculos en tiempo real debido a la incertidumbre y a la no linealidad de estos sistemas [10]. La implementación de propuestas para el monitoreo de automotores a tiempo real exige de sistemas robustos para el envío y recepción de un gran flujo de datos y procesamiento de la información, que en su mayoría son poco accesibles en el mercado por factores como la dificultad para su adaptación al parque automotor de un país específico, altos costos y por el desconocimiento sobre su uso.

En este contexto, el presente trabajo propone el desarrollo de un sistema de adquisición y transmisión de datos del consumo de combustible de un vehículo de nuestro parque automotor, que permita la visualización de la información en tiempo real para su análisis. El sistema estará orientado a garantizar la transmisión segura de datos sin pérdidas que pueda ser empleado por flotas de vehículos de transporte de nuestro país para realizar estudios para la optimización del consumo de combustible, informes sobre niveles de contaminación y análisis de ciclos de conducción y de técnicas de manejo eficiente (Eco-driving).

El objetivo general es el implementar un sistema de adquisición y transmisión de datos para la medición de consumo de combustible. Como objetivos específicos se plantea:

- Realizar una revisión del estado del arte sobre los diferentes métodos para medir el consumo de combustible y para la transmisión de datos en entornos vehiculares.
- Diseñar e implementar un sistema que permita la adquisición de la señal de sensores de medición de consumo de combustible en vehículos y el almacenamiento de esta información.
- Crear una interfaz gráfica para la visualización de los datos del sistema.
- Realizar pruebas de calibración y análisis de los datos adquiridos.

La estructura del presente documento es la siguiente: en la Sección II se presenta una revisión del estado del arte sobre métodos para la medición del consumo de combustible, telemetría de vehículos y transmisión de datos. En la Sección III se presenta una descripción general de la propuesta, en la Sección IV se describen los materiales y métodos empleados, en la Sección V se presentan los resultados obtenidos y su análisis, finalizando con la Sección VI con las conclusiones y recomendaciones.

II. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

A. Métodos para la medición de consumo de combustible

Para la medición del consumo de combustible existen métodos directos e indirectos. Los métodos directos emplean sensores de flujo que se conectan a la línea de alimentación del motor y los métodos indirectos obtienen la información sobre el consumo de combustible por medio de otros sensores del automotor, como sensores de temperatura, peso, volumen, nivel del tanque o directamente desde el sistema de diagnóstico a bordo en vehículos OBD.

Entre los trabajos que han empleado los métodos directos, se puede citar la publicación de S, Zuriaga [13], en donde para

medir el consumo de un tren de diésel se emplearon flujómetros OMG-20 conectados a una unidad de procesamiento de datos mediante comunicación RS232 y se realizó la transmisión a un computador portátil. En el trabajo de D. Barbosa se empleó un sensor de flujo de combustible DFM250D para medir el consumo de combustible en un sistema integrado de transporte masivo [14]. T. Jiménez, et.al. [15], implementó un medidor de caudal por efecto Venturi utilizando dos sensores de caudal MPX 5500 DP conectados a un PIC 16F877A. El primer sensor fue conectado a la línea principal y el segundo a la línea de retorno para estimar el consumo de combustible. En el trabajo de A. Baquero [16], se realiza el análisis de consumo de combustible empleando un dispositivo Arduino y un flujómetro. Los resultados obtenidos permitieron crear un modelo de Ecodriving, para guiar al conductor con reglas de conducción para que el vehículo sea eficiente en la ruta donde se realizaron las pruebas.

Los métodos indirectos pueden ser empleados para comprobar sensores de medición y requieren calcular por medio de la masa, volumen y temperatura el consumo de combustible.

Existen también métodos basados en modelos predictivos del consumo de combustible. Ejemplos de su aplicación son los trabajos de J. Posada, en el cual se creó un modelo en función de la carga y el recorrido del vehículo [11], S. Kanarachos quien obtuvo información sobre el consumo de combustible por medio de estimaciones con redes neuronales [7], y Z. Kan quien realizó una estimación del consumo por medio de una trayectoria GPS [9].

Respecto a los sensores de flujo, se emplearán los sensores que están disponibles en la Universidad del Azuay y estos son el *MaxP213*, *DFM100D* y *KVM-2012*.

El *MaxP213* es un medidor que cuenta con cuatro pistones y cuatro cilindros dispuestos en forma radial alrededor de un cigüeñal central. Posee dos puertos de fluido en la pared del cilindro, uno en la parte superior del cilindro y el otro en un pistón ranurado que permiten que el fluido entre en la cavidad central del sensor para ser medido en cada vuelta del pistón. La acción de la válvula se basa en el movimiento de un pistón adyacente a ella y la precisión del sensor se logra por medio de la tolerancia estrecha de la pared. Los movimientos de los pistones se convierten en movimiento circular hacia el cigüeñal que está acoplado a un imán y son detectados por un transmisor que convierte los pulsos del sensor en voltaje.

El *DFM100* se emplea para la medición directa del consumo de combustible basado en el aumento o disminución del volumen del combustible. Cuando el combustible pasa a través de una cámara de medición y llega con presión por la entrada del sensor, un anillo interno se desplaza dentro de la cámara y empuja el fluido dentro y fuera de la cámara hasta dar una vuelta completa expulsando un volumen de fluido igual al de la cámara, instante en el que un sensor interno genera un pulso eléctrico [17]. Este sensor cuenta con un CPU interno que se encarga de interpretar los pulsos y transmitir los resultados de la medición por una comunicación serial. El sensor envía datos del total de combustible consumido en litros, el consumo de combustible instantáneo en litros/hora y la temperatura del combustible en grados centígrados.

El KVM-2012 es un medidor de flujo de combustible que puede medir capacidades de flujo hasta de 500 l/h. Posee un CPU completo que analiza los datos y los almacena internamente. Ha sido empleado en trabajos para la determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 Y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis con buenos resultados [18].

En la tabla 1 se muestra una descripción de ventajas y desventajas de estos sensores.

TABLA 1. Comparación de medidores de flujo

SENSOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
MAXP213	Se puede programar en función del caudal máximo a medir, lo que regula la resolución del sensor. Fácil instalación. Pequeño y fácil de transportar.	Al no poseer un sensor de retorno solo sirve para ciertos vehículos.
DFM100D	Entrega los datos en una trama definida por lo que es más fácil obtener la información sobre el consumo. Posee una interfaz con el computador que permite visualizar datos. Puede medir el retorno.	Su tamaño dificulta su instalación. El tiempo en que devuelve la trama tiene un efecto en la velocidad de transmisión de los datos.
KVM-2012	Fácil de usar. Ofrece una pantalla táctil. Es portátil. Calcula el consumo total.	Los datos se guardan de manera externa y en casos de utilizar otros sensores hay que hacer un análisis de los tiempos.

B. Telemetría de vehículos

Los vehículos cuentan con un computador para registrar e interpretar las señales de los sensores instalados para un correcto funcionamiento del vehículo. Por lo general, estos computadores utilizan el protocolo de comunicación CAN y el protocolo OBD para obtener los datos del computador. Para la transmisión se pueden utilizar métodos inalámbricos, conectados a bases de datos o a una interfaz gráfica. Entre dispositivos OBD se pueden citar el *DashDaq XL* de la marca Drew Technologies, que se utiliza para el análisis de consumo de combustible y posee una interfaz gráfica para la visualización de los datos requeridos por el usuario en tiempo real. En el trabajo de S. Park [19] se han publicado resultados positivos con este equipo en un estudio para comparar el consumo en diferentes vehículos a distintas velocidades crucero.

El *ELM327* es un microcontrolador programable producido por ELM Electronics [20] que tiene el propósito de facilitar la interpretación de los datos de vehículos mediante comandos PID – OBDII. Como aplicaciones, se ha empleado este dispositivo por sus características, para medir las rpm del motor y estudiar el ruido emitido en vehículos durante el arranque y parada [21], para medir la velocidad de vehículos y determinar la relación que tiene la velocidad con las emisiones de gases [22], para medir las RPM, velocidad y carga del motor con el propósito de crear un vehículo inteligente en una plataforma con Arduino, módulo Xbee y un smartphone [23] y para obtener datos de vehículos y conductores para realizar un análisis de los movimientos que éste último realiza en una plataforma Web

[24], empleando un Raspberry PI conectado al OBD, datos de posición con el GPS e información del conductor con sensores IMUs.

Existen otros sistemas integrados en algunos vehículos para obtener los datos del ODB que emplean módulos de interfaz de vehículo y software propio de los fabricantes de vehículos [25]. Por ejemplo, la marca Toyota con el sistema Global Tech Stream o los camiones Volvo con el sistema Dynafleet. Existen investigaciones que empleando estos sistemas realizan estudios para analizar la influencia del conductor en el consumo de combustible [26].

C. Transmisión de Datos

En cuanto a la transmisión inalámbrica de información en las investigaciones relacionadas a aplicaciones con vehículos, los protocolos más utilizados son el *IEEE 802.11p* y *GPRS*.

La norma *IEEE 802.11p* es una norma con el propósito de IoV y consta de un grupo de protocolos de acceso inalámbrico en entornos vehiculares destinados para realizar comunicaciones. Los datos se pueden enviar de manera inalámbrica por medio de una antena receptora creada solo con este propósito, siendo esta su principal desventaja [27].

GPRS es un protocolo de comunicación establecido en los años 80 que tiene el propósito de ofrecer servicios de WAP, SMS, MMS, Internet y servicios de comunicación. Esta tecnología no necesita implementar ninguna red de conexión ya que utiliza la red celular, permitiendo crear un sistema más económico. Los datos de cualquier sensor pueden ser conectados a un microcontrolador y este a un módulo GPRS. Entre los trabajos que emplean el protocolo GPRS se puede citar el realizado por R. Ionel quien usa un microcontrolador conectado a un módulo GPRS y un servidor PHP; el sistema trabaja con interfaz gráfica realizada en Labview [28]. Otro ejemplo es el trabajo presentado por W. Simbaña, quien emplea un módulo GPRS para enviar los datos obtenidos de un OBD ELM327 a un servidor para poder visualizarlos [29]. En L. Pastrano empleó un sensor cardiaco y un alcoholímetro dentro del vehículo para monitorear el estado del conductor y empleando una red GPRS transmitir información que permita tomar acciones para evitar accidentes y hacer análisis de los ciclos de conducción [30].

Existen también aplicaciones que emplean transmisiones de datos de forma inalámbrica a servidores WEB o redes de internet con teléfonos inteligentes [24] [23].

III. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

En la Fig. 1 se presenta el sistema de adquisición y transmisión de datos para la medición de consumo de combustible propuesto. El módulo de adquisición de datos consta de un microcontrolador que adquiere los datos de sensores de flujo MaxP213 y DFM100D e información de GPS y de un módulo Freemetics OBD II UART. Estos datos son almacenados en el módulo de memoria que contiene una micro SD y también son transmitidos mediante un módulo GPRS. Para recibir los datos se cuenta con un servidor UDP, el cual recepta y almacena la información en una base de datos. El sistema posee una interfaz gráfica en la cual se visualizan los datos obtenidos del sistema de adquisición y genera reportes de la base de datos en archivos “.xls”.

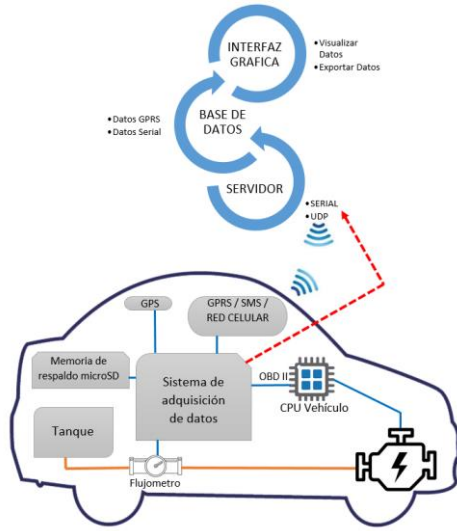


Fig. 1. Esquema del sistema propuesto

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se describen los sensores de medición de flujo, microcontrolador, módulo OBD, sistema de transmisión de datos y almacenamiento. También, se presentan los criterios de diseño de la placa electrónica para la conexión de los módulos de adquisición de información y la interfaz gráfica para la visualización de la misma. Finalmente se presentan las pruebas realizadas al sistema.

A. Medidores de flujo

El módulo de adquisición de datos está compuesto por sensores de flujo para la medición del nivel de combustible y un microcontrolador. Para la selección del sensor de flujo a emplear en el sistema se analizaron las características de los sensores MaxP213, DFM100D y KVM-2012 y se realizaron pruebas de enlace de la trama de datos, en donde el KVM-2012 fue incompatible por el formato de entrega de sus datos. Entonces, se emplearon el *MaxP213* y el *DFM100D* para este trabajo.

Para obtener el valor del sensor *MAXP213* en cm^3/min , se convierte el voltaje que este nos da en bits con la ecuación (1).

$$\text{Bits Sensor} = \frac{5(\text{Voltaje medido})}{1023} \quad (1)$$

Una vez convertido el voltaje en bits se emplea la ecuación (2), que está en función de la medición máxima del sensor este valor se obtiene de la calibración del sensor.

$$\text{Consumo} = \frac{(\text{Bits Sensor}) (\text{Medición Máxima})}{5} [\text{cm}^3/\text{min}] \quad (2)$$

En la Fig. 2 se muestra la interfaz de calibración del sensor, proceso para el cual se requiere colocar los datos de máximo y mínimo consumo del vehículo, y los voltajes máximo y mínimo que entrega el sensor. La trama de datos de este sensor está formada por el consumo calculado por la fórmula (2). Información sobre las características de este sensor se encuentra en la página del fabricante [31].

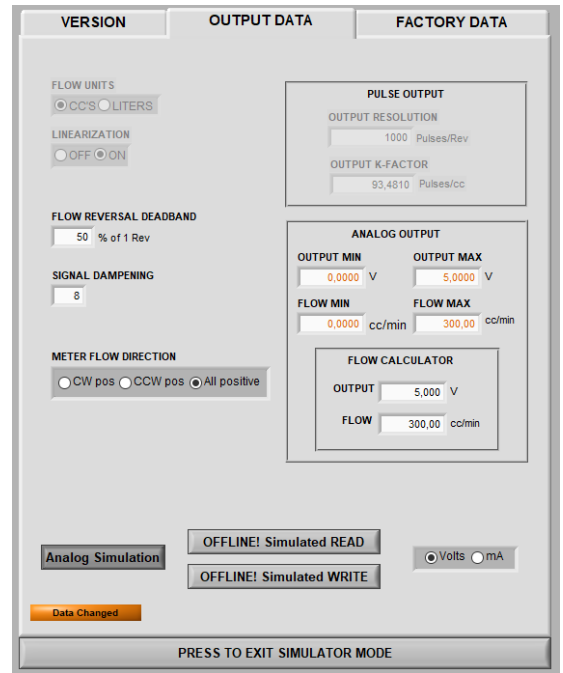


Fig. 2. Interfaz de calibración del sensor MaxP213

En la Fig. 3 se muestra la interfaz gráfica para calibración del sensor *DFM100*, en la cual se colocan los valores mínimos, normales de funcionamiento, y el máximo a ser medido. La trama de datos de este sensor tiene la información del consumo instantáneo y la temperatura del combustible. Las características de este sensor se encuentran en página del fabricante [17].

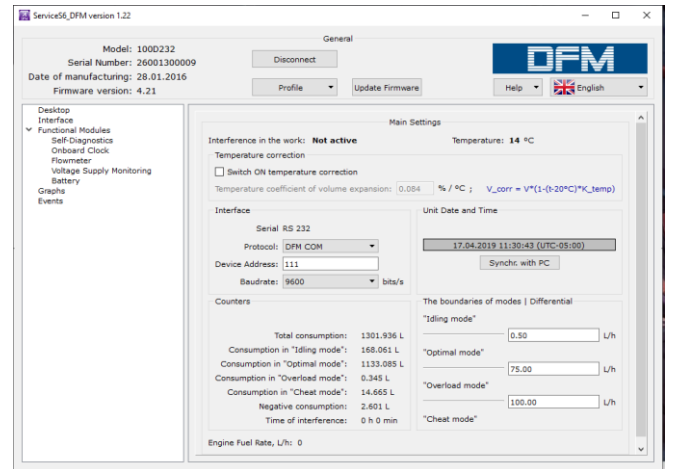


Fig. 3. Interfaz gráfica para calibración del medidor de flujo DFM100D

B. Microcontrolador

Para el trabajo planteado, el microcontrolador debe ser capaz de adquirir la señal de los sensores de medición de consumo de combustible, e interpretar y guardar la información de manera eficiente y segura.

Con base a la Fig. 1 y a los objetivos planteados en este trabajo, los requerimientos para la etapa de adquisición de datos se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2. Requerimientos para la etapa de adquisición de datos

DISPOSITIVO	TIPO DE DATOS	COMUNICACIÓN
MAXP213	2 señales de voltaje	Analógico
DFM100D	Texto	UART
GPS	Texto	RX/TX
MicroSD	Cadena de bits	SPI
HC-SR04	Sonido	Digital
Celda de Carga	GPIO	Digital
OBD II	Texto	RX/TX
GPRS	Datos	RX/TX
LM35	Voltaje	Analógico

Para esta etapa, el microcontrolador debe contar con mínimo 3 puertos UART, 3 puertos analógicos, 2 puertos digitales, 1 puerto SPI y además se requiere de una memoria de mínimo 32 Kb debido a la cantidad de datos que llegan de los sensores. Después de comparar las características de las tarjetas de desarrollo se eligió para este trabajo la placa de Arduino Mega que posee un microcontrolador con las siguientes características: una velocidad de procesamiento de 16 MHz, 16 entradas analógicas, 4 Kb de EEPROM, 8 Kb de SRAM, 256 Kb Flash y 4 puertos UART. En esta etapa del prototipo, se ha desarrollado un sistema de tipo open-source, que brinde mucha información y sea fácil de entender para cualquier usuario.

C. Módulo OBD

Como se especificó en la sección II se empleó como módulo OBD el Freematics OBD II UART. Este módulo trabaja mediante comandos PID de OBD-II y está diseñado específicamente para trabajar con Arduino ya que posee librerías de tipo open-source, las cuales resultan ser de mucha utilidad para el desarrollo del trabajo. El módulo se puede programar para leer los datos que se deseen en función del vehículo.

Para probar la funcionalidad del módulo OBD se conectó el módulo a diferentes vehículos para obtener una lista completa de los comandos PID obteniendo los datos más comunes entre diferentes vehículos. Esto con el objetivo de obtener una lista de comandos que puedan ser ejecutados en diferentes vehículos sin problemas.

En esta investigación el vehículo de pruebas fue un Kia Picanto 1.1 LX, modelo 2010, del cual se han obtenido los siguientes datos OBD: "Engine load", "Coolant temp", "Intake map", "Rpm", "Speed", "Timing advance", "Intake Temperature", "Throttle", "Warms ups", "Commanded Evaporative Purge", "Catalyst Temperature", "Absolute Engine Load", "Air Fuel Equivalent Ratio", "Relative Throttle Position" y "Ambient Temperature". Esta información es la que se considera para la trama de datos a ser enviada.

D. Sistema de Transmisión de Datos

Para garantizar el envío de datos, es necesario contar con un dispositivo capaz de enviar información con la menor pérdida de paquetes de datos, así como es imprescindible poder interpretar y almacenar esta información de forma segura. Para obtener los mejores resultados posibles se ha optado por utilizar un dispositivo GPRS y un servidor.

Como dispositivo GPRS, se empleó el modem SIM808, el cual se puede conectar a la red GPRS. Además, posee GPS y

conexión Bluetooth. El modem se encuentra en la placa de desarrollo de Waveshare [32], con el cual se obtienen los datos del GPS mediante comandos AT. Los datos GPRS obtenidos son: "Fecha", "Hora", "Latitud", "Longitud", "Altura" y "Velocidad GPS".

La trama enviada contiene los siguientes datos: tiempo, información de sensores, posición y datos ODB. Estos se organizan con separadores como se indica a continuación:

```
*fecha(mm-dd-aaaa)>hora(hh:mm:ss)*consumo(cm3/min);
gps_latitude(deg.dddddd);gps_longitude(deg.dddddd);gps_altitude(m);gps_speed(km/h)*engine_load(%);coolant_temp(°C);intake_map(kPa);rpm;velocidad(km/h);timing_advance(°);intake_temp(°C);throttle(%);commanded_evaporative_purge(%);warms_ups(frecuencia);catalyst_temp_b1s1(°C);absolute_engine_load(%);air_fuel_equiv_ratio(prop);relative_throttle_pos(%);ambient_temp(°C).
```

Respecto al servidor, su función principal es la de comunicar los datos que provienen del GPRS con la base de datos. Para esto, se utilizan dos tipos de conexiones: la primera emplea el protocolo UDP para los datos provenientes del GPRS que se encuentra dentro de un servidor de la Universidad del Azuay. La segunda conexión emplea comunicación UART, la cual sirve para realizar pruebas de calibración y pruebas en laboratorio. Esta base de datos se guarda dentro del PC en el que se realiza la prueba.

Para la programación del servidor se empleó la interfaz de NodeJS que permite crear los servidores de manera más fácil con en el lenguaje de programación JavaScript.

E. Almacenamiento de Datos

Para respaldar la información obtenida y mantener historial del uso del vehículo se empleó una tarjeta de almacenamiento micro SD y el almacenamiento de la información en una base de datos.

Como se muestra en la Fig. 1, el sistema de adquisición de datos basado en un Arduino Mega se encarga de enviar los datos obtenidos de manera constante a la memoria microSD la cual permite contar con un respaldo ante cualquier interrupción que pueda ocurrir durante el envío de paquetes de información.

Respecto a la base de datos, se utilizó PostgreSQL para recibir los datos desde el servidor. Con este objetivo, se creó una tabla que recibe la trama de datos y separa los datos de tiempo, sensores y OBD en 3 columnas. Posteriormente, por medio de comandos SQL éstos se dividen en una tabla más específica que será la base de datos final, la cual se comunica con la interfaz gráfica. De esta forma el envío de datos desde el microcontrolador hacia el servidor es más eficiente.

F. Diseño de la Placa Electrónica del Sistema de Adquisición

Para el diseño de la tarjeta electrónica que permita conectar todos los dispositivos para la adquisición de datos al Arduino se analizaron los requerimientos de cada módulo que se presentan en la Tabla 3.

TABLA 3. Análisis de parámetros de consumo de voltaje y corriente de los módulos del sistema propuesto

MÓDULO	VOLTAJE (V)	AMPERAJE (mA)
MAXP213	24	45
DFM100D	12	50
GPS	5	37
MicroSD	5	200
Ultrasonido HC-SR04 *	5	15
Celda de Carga *	5	10
OBD II	5	2.1A
GPRS	9	1.2A
LM35 *	5	60 μ A = 1
Análisis de gases *	5	200 (4 módulos) = 1A
Termocupla x6675*	5	50
Arduino	9	93
Sensor Cardíaco*	5	20

*Módulos extras que se pueden implementar en futuras investigaciones.

A partir del análisis de la tabla 3, se determinó que para el diseño de la placa se debe considerar la necesidad de 4 fuentes de alimentación: 12 V/50 mA, 24 V /45 mA, 9 V/ 1.5A y 5 V/ 3.5 A. La fuente de alimentación principal de la placa es una batería de 12 V. Para poder obtener 24 V se utilizó un módulo XY-016 convertidor DC/DC elevador de 12 V a 24 V que ofrece una capacidad máxima de 2A. Para el voltaje de alimentación de 9 V del Arduino y del GPRS, se utilizó un módulo XL4015 convertidor DC/DC reductor de 12 V a 9 V que ofrece una capacidad de 5 A. Para el voltaje de 5 V se utilizó un módulo XL4015 convertidor DC/DC reductor de 12 V a 5 V. En la Fig. 4 se presenta el esquema final del diseño de la etapa de alimentación.

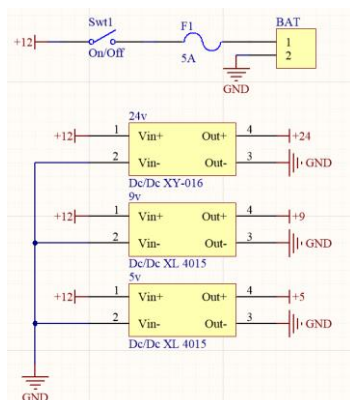


Fig. 4. Esquema de la etapa de alimentación

En la Fig. 5, se muestra el diseño final del Shield cuyo diagrama completo se encuentra en el Anexo 1. En la placa se utilizaron conectores tipo molex para asegurar los cables en su posición, y en caso de requerir conectar otro dispositivo se implementa un riel de 5V y GND, para la alimentación de estos.

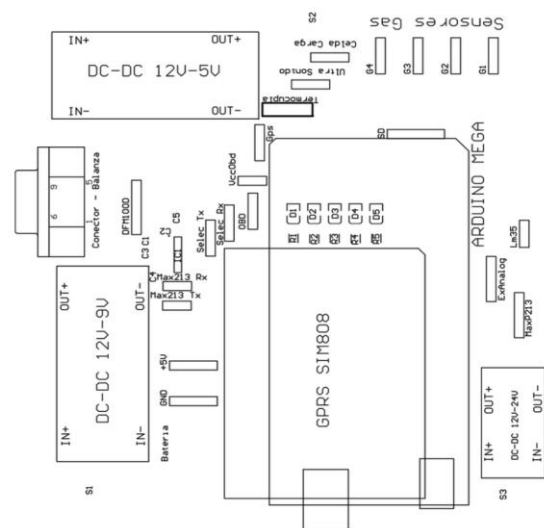
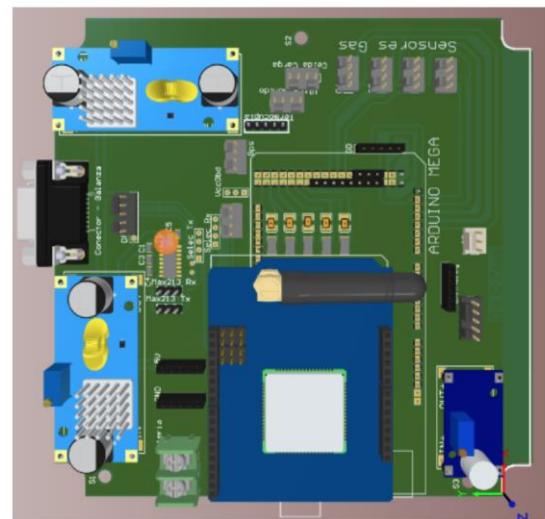


Fig. 5. Shield de la tarjeta de adquisición diseñada

En la Fig. 6 se muestra el diagrama de flujo de la estructura de la programación del Arduino Mega en el cual la comunicación UDP queda abierta para el envío en el intervalo de un segundo. El programa permite obtener datos de la hora y la posición GPS de la red GPRS y OBD; enlazados mediante la conexión serial. El sensor de flujo se conecta al puerto analógico y la tarjeta microSD ocupa el puerto SPI. Se utiliza la configuración UDP para el envío de datos a la IP pública del servidor que se leen y envían cada segundo.

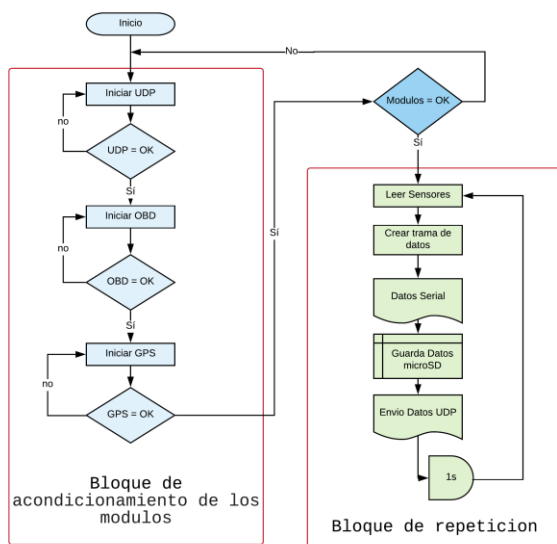


Fig. 6. Diagrama de flujo de la programación del Arduino

G. Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica fue desarrollada bajo el concepto de open-source en el entorno gráfico de Java FXML de la plataforma Java. Esta es compatible con la base de datos PostgreSQL y puede comunicarse con el sistema de medición. La interfaz recibe la información de la base de datos final y los muestra en una pantalla principal. Los datos que se visualizan son: “hora”, “datos del GPS”, “información del sensor de flujo” y “datos del OBDII”. Además, existe la opción para mostrar en un mapa la ubicación del vehículo, así como la trayectoria que se ha recorrido, como se muestra en la Fig. 7.

Esta interfaz también permite exportar los datos obtenidos de una prueba a un archivo .xls para poder analizar y visualizar fácilmente los resultados.

H. Pruebas

Para verificar la adquisición de los datos, se realizaron pruebas con el vehículo instrumentado en el dinamómetro de chasis. Luego, se verificó la lectura y almacenamiento de los diferentes datos. También, la correcta visualización en la interfaz gráfica y finalmente la correcta exportación a una hoja de cálculo.

Posteriormente, se realizaron pruebas en carretera a lo largo de una trayectoria preestablecida empleando el sistema de medición conectado, al mismo tiempo almacenando los datos en la memoria microSD y verificando la conexión GPRS con el servidor. El recorrido tiene una distancia aproximada de 8 kilómetros (ver Fig. 13).

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. Prueba con el dinamómetro

En la Fig. 7 se puede observar el ambiente en el que se realizó la prueba con el dinamómetro, en la prueba se comparan los tres métodos de consumo, el primero el flujo, el segundo OBD y el último es por gravimetría. El sistema de adquisición se conectó a través del servidor UART.



Fig. 7. Pruebas en el dinamómetro

En la Fig. 8 se observa la interfaz gráfica con la información de los módulos del sistema durante esta prueba. Se midió el consumo del vehículo a 1500 RPM por 30 segundos visualizando los datos en tiempo real.



Fig. 8. Interfaz gráfica durante la prueba de dinamómetro.

En la Fig. 9 se observa el comportamiento de los sensores durante la prueba realizada, además de la información sobre el tipo de prueba y los datos técnicos del vehículo.

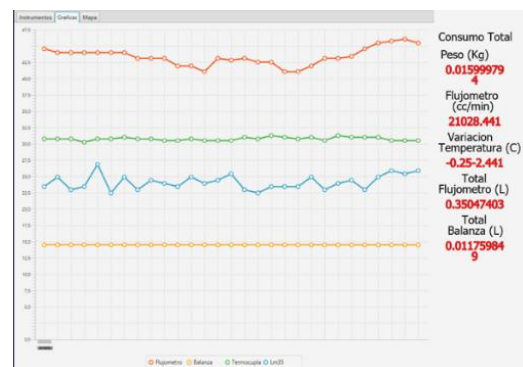


Fig. 9. Gráficas de las señales de los sensores del sistema durante la prueba del dinamómetro.

Los datos adquiridos permitieron verificar que la información fue correcta y que puede ser exportada a una hoja de cálculo de forma ordenada para su análisis. En la Fig. 10 se muestra los datos de la hoja de cálculo.

Tipo De Prueba	Ruta1	Combustible	gasolina	Fecha	3-25-2019
Tipo De Vehículo	Kia Picanto	Volumen Del Tanque	35	Inicio	13:11:43
Peso Inicial	1200	Peso Final	1248	Fin	13:21:24

Dato	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Altura GPS	Velocidad GPS	Maxp213 cm ³ /min	Engine Load	Coolant Temp	Intake Map	RPM	Velocidad OBD
8399	3-25-2019	13:16:43	-2,92117480	-7,900163300	2537	29.35	12.90	21	89	23	1680	32
8400	3-25-2019	13:16:44	-2,92108960	-7,900176200	2536	31.67	3.23	25	89	24	1709	33
8401	3-25-2019	13:16:45	-2,92104480	-7,900183100	2536	32.22	0.59	25	89	24	1731	34
8402	3-25-2019	13:16:46	-2,92098780	-7,900191500	2536	33.91	4.99	19	89	19	1685	34
8403	3-25-2019	13:16:47	-2,92087980	-7,900207500	2535	34.04	10.56	19	88	19	1774	34
8404	3-25-2019	13:16:48	-2,920833000	-7,900215900	2535	33.95	12.32	19	88	19	1793	35
8405	3-25-2019	13:16:49	-2,92077990	-7,900223500	2535	33.82	12.32	20	88	19	1789	35
8406	3-25-2019	13:16:50	-2,92073180	-7,900231900	2534	33.93	18.48	40	88	31	1848	34
8407	3-25-2019	13:16:51	-2,92063500	-7,900245700	2533	33.91	26.10	41	88	36	1841	36
8408	3-25-2019	13:16:52	-2,92058680	-7,900254100	2533	34.56	27.86	41	88	35	1882	36
8409	3-25-2019	13:16:53	-2,92053680	-7,900260900	2533	34.45	28.45	41	88	35	1897	36
8410	3-25-2019	13:16:54	-2,92044190	-7,900275400	2532	33.58	36.07	56	87	46	1897	36
8411	3-25-2019	13:16:55	-2,92039180	-7,900283800	2531	34.13	39.88	56	87	47	1931	37
8412	3-25-2019	13:16:56	-2,92034170	-7,900290700	2531	34.45	41.64	56	87	47	1958	37
8413	3-25-2019	13:16:57	-2,92024280	-7,900305900	2530	34.41	41.94	57	87	48	1901	37
8414	3-25-2019	13:16:58	-2,92010500	-7,900329600	2527	30.93	41.64	58	87	49	1867	36

RESULTADOS

Peso (kg)

0.02082006

Flujo Total (cm³/min)

2172.7275

Total Flujo (L)

0.036212124

Δ Termocupla

0.25

Densidad

0,71

Total Volumen (L)

0.028820062

Δ Lm35

0.2

Fig. 10. Datos de la hoja de cálculos.

En la Fig. 11 se pueden observar los resultados de la comparación entre los tres métodos de medición de consumo se obtuvo. Entre el flujómetro y el gravimétrico un valor de $R^2=0.7065$. Entre el flujómetro y el ELM327 un valor de $R^2=0.8918$. Entre el ELM327 y el gravimétrico un valor de $R^2=0.7603$.

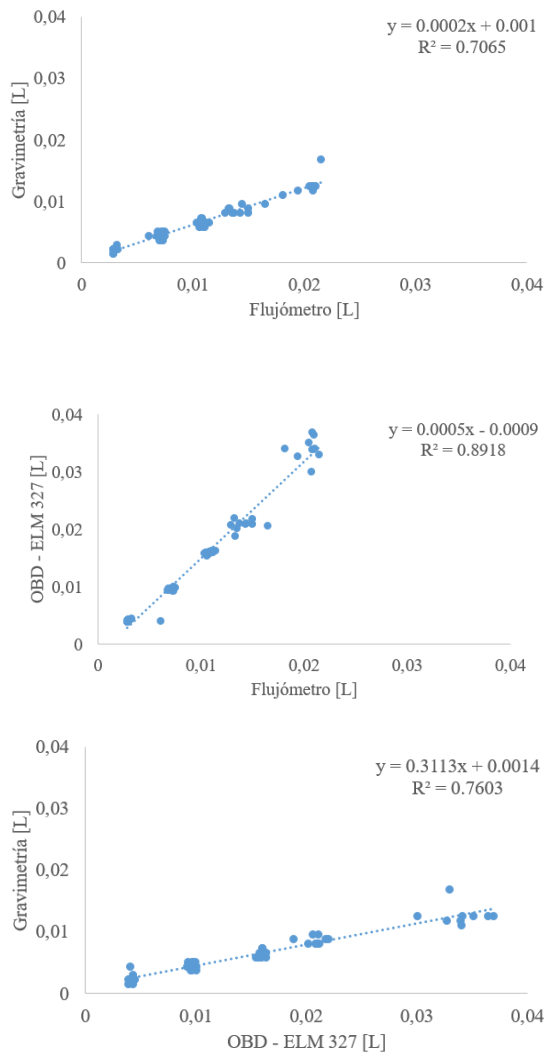


Fig. 11. Resultados de las pruebas.

B. Prueba en carretera

En la prueba en carretera, se utilizó el sensor MAXP213 para obtener el consumo de combustible, el módulo de Freematics para obtener la información del OBD y el microcontrolador GPRS SIM808 para la posición GPS y el envío de los datos. En la Fig. 12 se puede observar el sensor MAXP213 y el sistema de adquisición durante la prueba.

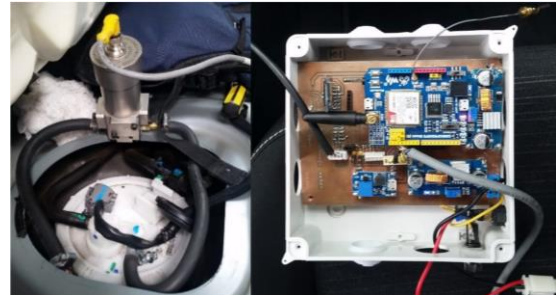


Fig. 12. Sensor y Sistema de adquisición durante la prueba en carretera

Se verificó el funcionamiento del sistema de adquisición, de almacenamiento de los datos obtenidos en la memoria microSD y de la conexión GPRS con el servidor. En la Fig. 13 se observa el sistema conectado al vehículo de prueba y en la Fig. 14 la trayectoria adquirida por el microcontrolador GPRS SIM808 durante esta prueba.



Fig. 13. Sistema conectado al vehículo

La trayectoria tiene un recorrido de 8 km en el cual se comprobó que los datos lleguen correctamente y estos se respaldan en la MicroSD, se comprobó la lectura de los datos en tiempo real.

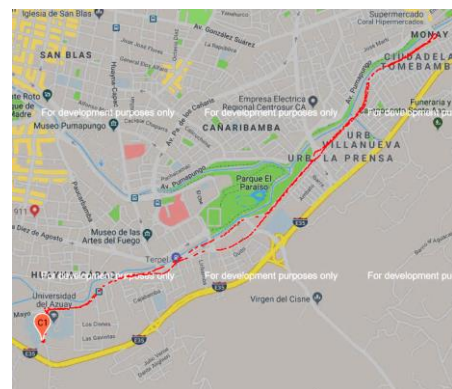


Fig. 14. Trayectoria recorrida por el vehículo durante la prueba en carretera

Durante las pruebas se comprobó que los datos recibidos llegan en un promedio de 1,4 s; los 0.4 s de retraso se le atribuyen a la pérdida de la señal GPRS. El servidor funciona de manera correcta al recibir los datos y clasificarlos en grupos de tiempo, información OBD y lectura de sensores (entre ellos flujómetro, GPS, entre otros). Luego, la base de datos reclasifica estos en una tabla más amplia.

Finalmente, en la interfaz gráfica se visualizan correctamente los datos en tiempo real y estos se pueden exportar a la hoja de cálculo.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El método más utilizado en la medición de consumo de combustible es mediante los datos obtenidos del puerto OBD. Sin embargo, algunos estudios emplean flujómetros de combustible. Por lo que, este trabajo fusiona la instrumentación para la medida del consumo de combustible del puerto OBD con el sensor de flujo. Además, incluye geolocalización y entradas digitales y analógicas. Estos datos son registrados mediante una tarjeta de adquisición, la cual tiene conectados mediante puertos UART la conexión GPRS, la posición GPS, el flujómetro DFM100D, y el módulo OBD; entradas analógicas: flujómetro MAXP213, el sensor de temperatura LM35 y sensores de gases; por entradas digitales: termocupla, el sensor ultrasonido y sensores de gas; la microSD se conecta por comunicación SPI. También, la tiene un conector DB9 que permite conectar balanzas digitales.

Las dimensiones de la tarjeta son de 14.5x14.5 cm; esta va dentro de un cobertor plástico de 15x15x10cm.

La interfaz gráfica está diseñada en lenguaje Java. Esta presenta un entorno de ejecución en tiempo real de los principales parámetros de los sensores conectados a la tarjeta, amigable con el usuario. Para su instalación se cuenta con un ejecutable para el sistema operativo Windows.

En las pruebas en laboratorio, se comprobó los tres métodos de medición, gravimétrico, flujómetro y ELM327 con el objetivo de verificar la correlación entre métodos descubriendo que la mejor relación fue entre el flujómetro y el ELM327 obteniendo una correlación de 89%. El método menos eficiente es el gravimétrico ya que las variaciones de temperatura influyen en la medida.

Con esto, se puede decir que el sistema diseñado cumple su función principal de que un usuario de manera sencilla; a un precio módico; pueda registrar en un sólo dispositivo información de distintas fuentes relacionadas al consumo de combustible.

Debido a la gran cantidad de sensores que utilizan la comunicación UART se podría buscar la opción de un microcontrolador que permita más entradas de este tipo.

La transmisión de datos que actualmente funciona mediante GPRS se podría mejorar su frecuencia de envío de datos empleando un módulo 4G LTE.

Se recomienda cambiar módulo OBD a un módulo CAN, el cual permitiría desplegar mayor información del vehículo.

Finalmente, se debería considerar un ambiente más controlado para la calibración de los flujómetros.

REFERENCIAS

- [1] E. I. E. Agency, "Multiple benefits: Air Quality," 2019. [Online]. Available: <https://www.iea.org/topics/energyefficiency/multiplebenefits/air-quality.html>.
- [2] "WHO releases country estimates on air pollution exposure and health impact." [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>.
- [3] E. Telégrafo, "El transporte motorizado es el que más contamina," 2018. [Online]. Available: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/transporte-motorizado-contaminacion-ambiental-ecuador>.
- [4] E. I. E. Agency, "Energy Efficiency 2017," 2017. [Online]. Available: <https://www.iea.org/efficiency2017/>.
- [5] G. Knieps, "Internet of Things, big data and the economics of networked vehicles," *Telecommunications Policy*, 2018.
- [6] F. Perrotta, T. Parry, L. C. Neves, T. Buckland, E. Benbow, and M. Mesgarpour, "Verification of the HDM-4 fuel consumption model using a Big data approach: A UK case study," 2018.
- [7] S. Kanarachos, J. Mathew, and M. E. Fitzpatrick, "Instantaneous vehicle fuel consumption estimation using smartphones and recurrent neural networks," *Expert Syst. Appl.*, 2019.
- [8] S. Wörz and H. Bernhardt, "A novel method for optimal fuel consumption estimation and planning for transportation systems," *Energy*, vol. 120, pp. 565–572, 2017.
- [9] Z. Kan *et al.*, "Fine-grained analysis on fuel-consumption and emission from vehicles trace," *J. Clean. Prod.*, 2018.
- [10] M. Zhou, H. Jin, and W. Wang, "A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving and eco-routing," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 49, no. 5, pp. 203–218, 2016.
- [11] J. J. Posada Henao and C. A. González-Calderón, "Fuel Consumption in Vehicles for Highway Transportation - Predictive Models," *Rev. Ing. Univ. Medellín*, vol. 12,

- no. 23, pp. 35–46, 2013.
- [12] J. C. Sierra, “Estimating road transport fuel consumption in Ecuador,” *Energy Policy*, vol. 92, pp. 359–368, 2016.
- [13] I. Villalba Sanchis, R. Insa Franco, P. Salvador Zuriaga, P. Martínez Fernández, and R. Sánchez Alandi, “Medición Del Consumo De Combustible En Automotores Diésel Para Su Gestión Energéticamente Eficiente,” *XI Congr. Ing. del Transp. (CIT 2014)*, no. June, 2014.
- [14] D. Katherine, B. Rojas, and D. B. Ramírez, “Medición del consumo de combustible en un bus articulado de la empresa integra s.a. Operadora del sistema integrado de transporte ‘MEGABÚS,’” p. 58, 2016.
- [15] C. T. Rodrigo Toasa, “Diseño y construcción de un sistema medidor de flujo de combustible con visualizador consumo vs. Recorrido, para vehículos a gasolina con sensor de caudal,” ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, 2012.
- [16] A. Baquero and G. Alvarez, “Consumption in diesel engine vehicles,” vol. i, p. 4, 2018.
- [17] Massflow, “DFM 100.” [Online]. Available: <https://www.massflow-online.com/shop/en/100-l-h-differential-fuel-flow-meter-wired-170.html>.
- [18] J. S. B. C. P. A. P. CASTRO, “Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP 75 y EPA HWFET, en dinamómetro,” Universidad del Azuay, 2018.
- [19] S. Park, H. A. Rakha, K. Ahn, and K. Moran, “Fuel Economy Impacts of Manual, Conventional Cruise Control, and Predictive Eco-Cruise Control Driving,” 2013.
- [20] Elmelectronics, “ELM 327.” [Online]. Available: <https://www.elmelectronics.com/ic/elm327/>.
- [21] D. Ibarra, R. A. Ramirez-Mendoza, E. López, and R. Bustamante, “Influence of the automotive Start/Stop system on noise emission: Experimental study,” *Appl. Acoust.*, 2015.
- [22] T. Li, X. Chen, and Z. Yan, “Comparison of fine particles emissions of light-duty gasoline vehicles from chassis dynamometer tests and on-road measurements,” *Atmos. Environ.*, 2013.
- [23] O. Briante, C. Campolo, A. Iera, A. Molinaro, S. Y. Paratore, and G. Ruggeri, “Supporting augmented floating car data through smartphone-based crowd-sensing,” *Veh. Commun.*, 2014.
- [24] G. Andria, F. Attivissimo, A. Di Nisio, A. M. L. Lanzolla, and A. Pellegrino, “Development of an automotive data acquisition platform for analysis of driving behavior,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, 2016.
- [25] S. Pitanuwat and A. Sripakagorn, “An Investigation of Fuel Economy Potential of Hybrid Vehicles under Real-World Driving Conditions in Bangkok,” in *Energy Procedia*, 2015.
- [26] H. J. Walnum and M. Simonsen, “Does driving behavior matter? An analysis of fuel consumption data from heavy-duty trucks,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, 2015.
- [27] Q. Kong, R. Lu, M. Ma, and H. Bao, “A privacy-preserving sensory data sharing scheme in Internet of Vehicles,” *Future Generation Computer Systems*, 2017.
- [28] R. Ionel, G. Vasiu, and S. Mischie, “GPRS based data acquisition and analysis system with mobile phone control,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, 2012.
- [29] W. A. S. COYAGO, “Diseño e implementación de una solución telemática basada en obd-ii (on-board diagnostic) que permita obtener y procesar la información de los sensores del motor de un automóvil,” Escuela Politécnica Nacional, 2015.
- [30] L. G. PASTRANO, “Diseño e implementación de un sistema electrónico para conducción segura, basado en monitorización de señales biométricas, utilizando tecnologías GSM, GPRS,” *Esc. Super. Politécnica Chimborazo*, vol. 1, p. 177, 2017.
- [31] Max, “Piston Flow Meters,” 8, 2017. [Online]. Available: <https://www.maxmachinery.com/wp-content/uploads/2018/05/Max-PistonFlowMeter-Manual-Rev8.pdf>.
- [32] Waveshare, “GSM/GPRS/GPS Shield (B).” [Online]. Available: <https://www.waveshare.com/gsm-gprs-gps-shield-b.htm>.

Anexo 1: Esquema Final

