



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

“VALIDACIÓN DE DATALOGGER EN CICLOS DE CONDUCCIÓN DE VEHÍCULOS CATEGORÍA M1 EN LA CIUDAD DE QUITO- ECUADOR”

Realizado por:

Ronald Paul Rubio Pacheco

Director del proyecto

PhD. Edilberto Antonio Llanes Cedeño

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ

Quito, octubre de 2022

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Ronald Rubio, con cédula de identidad # 1714591458, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

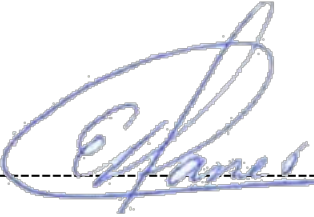


Ronald Paul Rubio Pacheco

C.I.: 1714591458

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'E. Llanes', is written over a horizontal dashed line.

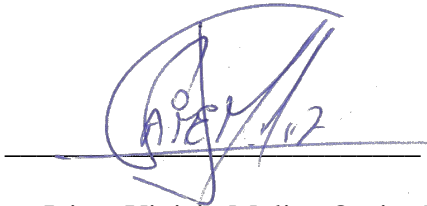
Antonio Edilberto Llanes Cedeño

LOS PROFESORES INFORMANTES:

Ing. Jaime Vinicio Molina Osejos Msc.

Ing. Diego Fernando Bustamante V. Msc.

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa
oral ante el tribunal examinador.



Ing. Jaime Vinicio Molina Osejos Msc.



Ing. Diego Fernando Bustamante

Quito, octubre de 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.



Ronald Paul Rubio Pacheco

C.I.: 1714591458

DEDICATORIA

Durante todos los años que ha tomado este proceso han pasado muchas cosas, algunas positivas y otras negativas. Hice amigos, me divertí, me esforcé, sufrí, encontré grandes personas a quien admirar. No fue un proceso solo mío, mi familia, mis compañeros, mis amigos y mis profesores han sido parte de quizá la etapa más destacable que he vivido.

El primero de julio del año pasado, recibí la peor noticia de mi vida. Mi padre había fallecido y mi corazón con él también. Yo le hice una promesa, posiblemente tarde, pero la estoy cumpliendo. Unos meses atrás me casé, unas semanas atrás me enteré que tendré un hijo (quien se va a llamar como mi padre, Jorge Isaac) y hoy me estoy graduando. Cumplí la promesa que te hice Pa.

Este trabajo y todo el proceso que con lleva va dedicado a cuatro personas, que irónico. Dos de aquellas no están físicamente, pero son las que más siento dentro de mí. Ambos se llaman Jorge Isaac. A mi esposa que siempre ha sido un lucero en mi camino, ahora la madre de mi hijo y a la persona que más orgullosa se siente de mí, mi madre, quien con su esfuerzo y amor eterno ha sido incondicional. Por la vida, gracias.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi tutor de tesis, Edilberto Llanes; a mis profesores lectores, Jaime Molina y Diego Bustamante y a todos los profesores que durante este proceso entregaron su tiempo y conocimiento para guiarnos.

A mi esposa y a mi madre, las mujeres más importantes en mi vida.

A mi padre. Gracias Pa, nunca dudaste de mí, me enseñaste con tu ejemplo a ser un caballero a carta cabal, a nunca rendirme, a ser un buen padre... Lo hiciste bien y con tu ejemplo yo también lo haré bien. Estés donde estés un día te alcanzaré y te contaré que lo logré.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	2
Ciclos de conducción	3
Ciclos de conducción utilizados frecuentemente.....	6
Situación Mundial.....	6
Japón	7
Países de Europa	8

Estados Unidos.....	8
Ciclos de conducción en Ecuador	9
Métodos de recolección de información para los ciclos de conducción	10
Técnica On Board	10
Técnica de seguimiento del vehículo	11
Herramientas de registro de datos – datalogger	11
Definición de datalogger.....	13
Vehículos categoría M1	15
MATERIALES Y MÉTODOS	16
Diseño y construcción de datalogger	16
Diseño de estructura.....	16
Software	18
Software de obtención de datos	20
Software para análisis de datos.....	22
Segmentación del ciclo de conducción	23
Selección de ruta	24
Zona urbana	24
Zona de carretera.....	24
Zona combinada.....	24

Variables	25
Técnica de recolección de datos.	27
RESULTADOS.....	27
Ciclos de conducción	27
Zona Urbana.....	27
Zona de Carretera.....	30
Zona Combinada.....	32
DISCUSIÓN	35
En cuanto al consumo de gasolina, en la zona.....	35
CONCLUSIONES	37
RECOMENDACIONES.....	38
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS	43

Índice de figuras

Figura 1. Ciclos de conducción NEDC- Europa – ciclos modales	4
Figura 2. Ciclo de conducción japonés 10-15 MODE – ciclos modales	4
Figura 3. Ciclo de conducción FTP 75 – ciclos transitorios	5
Figura 4. Ciclo de conducción ARTEMIS - ciclo transitorio	5
Figura 5. Ciclos de conducción en el Distrito Metropolitano de Quito	10
Figura 6. Ejemplo de conexión a un dispositivo serial ELM327	14
Figura 7. Data Logger Shiedl VI y Arduino UNO.....	16
Figura 8. Conexión HC-05 y Arduino UNO.....	17
Figura 9. Dispositivo ELM 327	17
Figura 10. Conexión del módulo Bluetooth.....	18
Figura 11. Configuración inicial.....	19
Figura 12. Flujo del software de obtención de datos	21
Figura 13. Comparativa Resultados de la Zona urbana: velocidad vs tiempo.....	27
Figura 14. Comparativa Resultado zona de carretera: velocidad vs tiempo.....	31
Figura 15. Comparativa Resultado zona combinada: velocidad vs tiempo	33

Índice de tablas

Tabla 1. Ponderaciones W respecto a las variables de estudio	25
Tabla 2. Resultados generales de la zona urbana.....	29
Tabla 3. Resultados generales de la zona de carretera.....	32
Tabla 4. Resultados generales de la zona combinada.....	34

RESUMEN

En la actualidad, debido al incremento de la contaminación ambiental, la comunidad científica a nivel mundial se encuentra buscando constantemente alternativas para reducir la contaminación generada por los vehículos, siendo uno de los mecanismos identificados la caracterización de rutas por medio de ciclos de conducción, usando para ello diferentes mecanismos que permitan recopilar información sobre la emisión de gases de los automóviles. En este sentido, este proyecto se enfoca en validar el diseño de un prototipo de recolección de datos “datalogger” a través del uso de microcontroladores, sensores y aplicación del sistema OBD-II para el análisis de un ciclo de conducción de un vehículo categorizados como M1, en el Distrito Metropolitano de Quito. Para ello, se procedió a realizar el diseño y construcción del datalogger, después con base en la revisión e investigaciones previas, se seleccionaron tres rutas: zona urbana, zona de carretera y zona combinada; en las cuales se probó el prototipo con un vehículo Great Wall 4x2 ya que permite tener control adecuado de las variables y factores de este análisis; el cual funcionó correctamente, ya que al comparar los valores obtenidos el margen de variabilidad fue de 3,33 % (consumo de combustible medio).

Palabras clave: Datalogger, Ciclos de conducción, Vehículos M1.

ABSTRACT

Currently, due to the increase in environmental pollution, the scientific community worldwide is constantly looking for alternatives to reduce the pollution generated by vehicles, one of the mechanisms identified being the characterization of routes through driving cycles, using different mechanisms that allow collecting information on the emission of gases from cars. In this sense, this project focuses on validating the design of a prototype of data collection "datalogger" using microcontrollers, sensors, and application of the OBD-II system for the analysis of a driving cycle of a vehicle categorized as M1, in the Metropolitan District of Quito. To do this, the design and construction of the datalogger was carried out, then based on the review and previous research, three routes were selected: urban area, road area and combined zone; in which the prototype was tested with a Great Wall 4x2 vehicle; which worked correctly, since when comparing the values obtained the margin of variability was 3.33% (average fuel consumption).

Keywords: Datalogger, Driving Cycles, M1 Vehicles.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el cambio climático, contaminación del aire y fragmentación de los ecosistemas son la señal del deterioro medio ambiental que ha sido gestado en los últimos años a raíz del impacto de la industrialización acarreado producción y consumo en niveles nunca vistos. De acuerdo con la Organización de Naciones Unidas (ONU) a través del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2020) se establece en el informe de medio ambiente del 2020 que la contaminación del aire se cataloga como uno de los grandes riesgos que las urbes deben enfrentar, dicha contaminación es en su mayoría ocasionada por la emisión de gases industriales y del parque automotor, siendo así que incluso en América Latina el problema se agrava ya que la región tiene que fungir como centro de acopio de los desperdicios de los países desarrollados, quienes exportan vehículos utilizados a América Latina y transfieren el problema de la contaminación del aire a los países del sur.

El problema no se limita a la esfera mundial y regional, puesto que las ciudades principales de Ecuador también presentan grandes parques automotores que generan contaminación, siendo así que en la última década el país ha presentado un crecimiento de 1.4 millones en el volumen de su parque automotriz, siendo Quito una de las ciudades más afectadas ya que cada año se suman 17.539 vehículos a la circulación; el crecimiento promedio anual del parque automotor es de 4,9% repercutiendo de manera directa en la movilidad y el medio ambiente (El Comercio, 2022). En este sentido, la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) establece que los autos mayormente comercializados son los denominados *Sports Utility Vehicule* (SUV) los cuales se caracterizan por estar dirigidos al transporte de pasajeros dentro y fuera de las ciudades y de acuerdo al Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) son catalogadas con la clasificación

“M1”, mismos que presentan una participación en el mercado de 34,2% y son adquiridos especialmente por hogares (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador , 2019).

Debido a la constante amenaza que significan estos problemas, la comunidad científica reúne esfuerzos por buscar alternativas de reducción de emisión de gases, para lo cual en primera instancia es necesario analizar los diferentes factores inmersos en la problemática para lo cual, siguiendo a Benalcázar et al., (2013) se deben caracterizar rutas a través de ciclos de conducción ya que la herramienta permite analizar las emisiones de gases contaminantes para así realizar un mejor control a nivel gubernamental, la recolección de dichos datos se complejiza en la acción ya que a pesar de que los vehículos tienen la capacidad de registrar los datos necesarios para análisis de emisiones y variables inmersas en el estudio, no existen sistemas registradores de datos que alberguen todos los datos generados y los sintetizen de acuerdo a las necesidades de información; es por ello que se busca crear un registrador de datos “datalogger” para la información generada por los ciclos de conducción de los automóviles M1 del Distrito Metropolitano de Quito, lo cual se desarrolla continuación.

Objetivo general

Validar el diseño de un prototipo de recolección de datos “datalogger” a través del uso de microcontroladores, sensores y aplicación del sistema OBD-II para el análisis de ciclos de conducción en un vehículo categorizado como M1, en el Distrito Metropolitano de Quito.

Objetivos específicos

- Construir datalogger a partir de la interconexión de elementos electrónicos para la adquisición de datos por medio del OBDII.

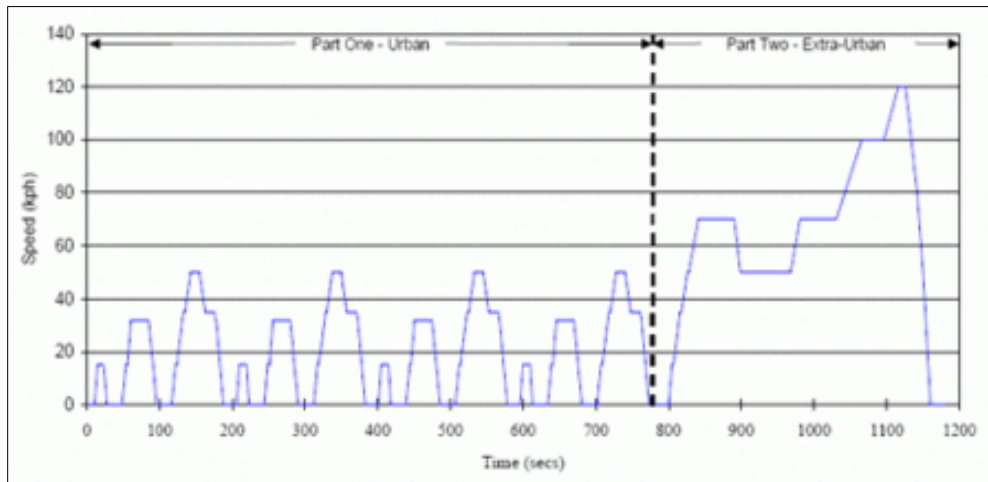
- Seleccionar ciclos de conducción en el Distrito Metropolitano de Quito a partir de la revisión de investigaciones desarrolladas con anterioridad para la validación del datalogger.
- Validar el funcionamiento del datalogger construido mediante pruebas en ruta de los ciclos seleccionados con un vehículo categoría M1.

Ciclos de conducción

Se configura como un método de cálculo de consumo de combustible y emisión de gases de carbono que al ser evaluados puede llevar a cabo análisis medioambientales. Quinchimbla Pisuña y Solís Santamaría (2017) establecen que los ciclos de conducción analizan la relación entre velocidades y tiempo para así conocer el comportamiento normalizado de vehículo que transitan en diferentes tipos de carreteras. Los tipos de ciclos de conducción existentes son: modales y transitorios, el primer tipo es el menos exacto ya que integra secuencias de tiempo prolongadas que se combinan con velocidades constantes y aceleraciones lineales, que en conjunto no puede ser catalogado como una representación fiel del comportamiento real de los conductores, en esta modalidad se presenta el ciclo europeo NEDCy japonés 10- 5 MODE demostrados en la figura 1 y 2.

Figura 1.

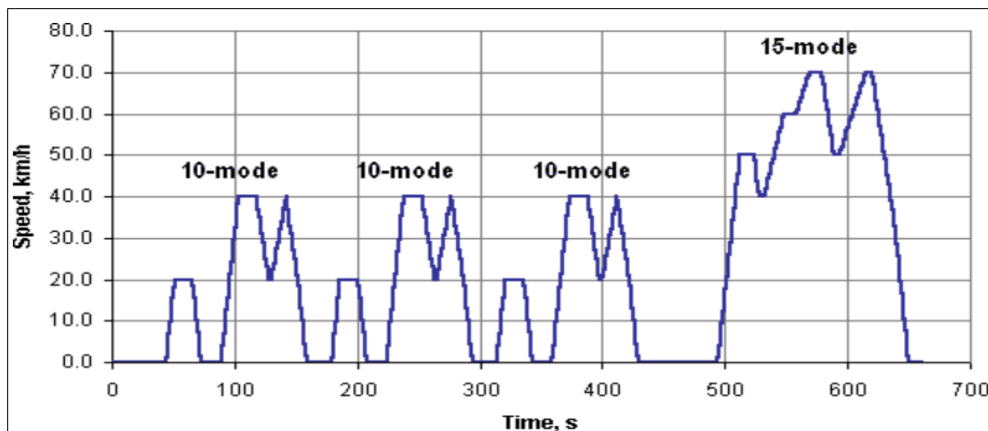
Ciclos de conducción NEDC- Europa – ciclos modales



Nota. La figura representa el análisis gráfico de un ciclo de conducción de tipo europeo denominado NEDC. Fuente: (Acosta, 2011) Recuperado de: www.motorpasion.com

Figura 2.

Ciclo de conducción japonés 10-15 MODE – ciclos modales



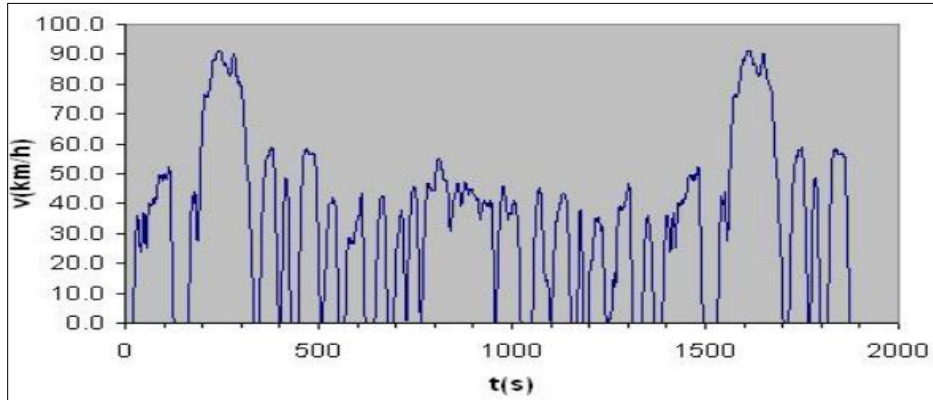
Nota. La figura representa el análisis gráfico de un ciclo de conducción de tipo japonés. Recuperado: (DieselNet, 2013)

El segundo tipo definido como transitorio presenta ciclos más complejos que se caracterizan por tomar en cuenta velocidades y aceleraciones que varían en un mismo tiempo,

simulando así condiciones de conducción más fieles a la realidad que los ciclos modales. Los ciclos de conducción transitorios comprenden dos ciclos como el FTP 75 o el Artemis que se presenta en las figuras 3 y 4.

Figura 3.

Ciclo de conducción FTP 75 – ciclos transitorios

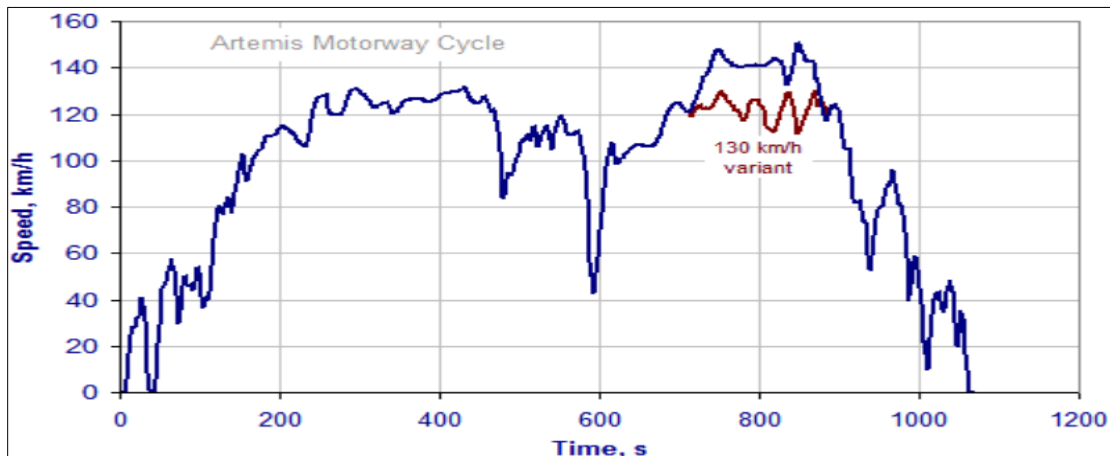


Nota. La figura representa el análisis gráfico de un ciclo de conducción transitorio, denominado como FTP 75.

Recuperado de: (Valdez Aguilera, 2004)

Figura 4.

Ciclo de conducción ARTEMIS - ciclo transitorio



Nota. La figura representa el análisis gráfico de un ciclo de conducción transitorio, denominado ARTEMIS.

Recuperado de: (Estévez, 2013)

Siguiendo con la base teórica de Benalcázar et al., (2013) el FTP 75 es uno de los ciclos de conducción más relevantes en Estados Unidos; este se configura como un ciclo de conducción legislativo o gubernamental su función principal fue controlar las emisiones de gases que generaban los automóviles a nivel estatal. De manera análoga existe un ciclo con características similares que es el FTP 72, el cual se consolida como programa urbano de dinamómetro, su objetivo principal es simular rutas urbanas de 12 km con paradas frecuentes, los componentes característicos son velocidades máximas de 91.26 km/h con una velocidad promedio de 31.6 km/h; dichos ciclos se encuentran comprendidos en dos fases.

En este entorno, para poder detallar de mejor manera los diferentes ciclos de conducción se puede hacer alusión a aquellos que se utilizan con mayor frecuencia en el mundo.

Ciclos de conducción utilizados frecuentemente

El cálculo o definición de ciclos de conducción implica el estudio de varios parámetros como el tráfico que se presenta en determinada ubicación geográfica, la geografía general de las ciudades e incluso el comportamiento del conductor y sus estilos de conducción. Debido a estas diferencias es necesario homogenizar procesos para así consolidar información que sea comparable entre países; bajo este enfoque Jiménez, et al., (2013) señalan que con el surgimiento y evolución de la tecnología se han establecido ciclos estandarizados alrededor de los diferentes países los cuales se detallan a continuación:

Situación Mundial

Se emplean los ciclos denominados como WLTP diferenciados en tres clases:

- La clase III refleja una velocidad promedio de 46, 5 km/h con tiempo de 1800 segundos, alcanzando una distancia de 23, 26 km. Analiza a vehículos que tienen una relación

potencia-peso mayores a 34 dentro de cuatro zonas de conducción siendo estas: autopista, urbana, rural y urbana extra.

- La clase II refleja una velocidad promedio de 35.7 km/h con una duración de 1477 segundos que alcanza una distancia de 14, 64 km. Los vehículos analizados en este cálculo son aquellos que tienen una relación potencia peso mayor a 22 y menor a 34 en zonas de velocidad que son bajas, medias y relativamente altas. Los automóviles calculados en este ejemplo son aquellos de baja potencia que se encuentran en países como India, Japón y el continente europeo.
- La clase I presenta una velocidad promedio de 28.5 km con un tiempo de 1022 segundos y una distancia de 8,09 km. Los vehículos analizados en el cálculo reflejan una relación potencia - peso menor igual a 22 con velocidades bajas y medias, dichos vehículos caracterizados como de baja potencia se encuentran principalmente en países como la India.

Japón

Presenta dos tipos de ciclos de conducción

- 10-15 MODE: alcanza una velocidad promedio de 22,7 km/h con un tiempo de 660 segundos y una distancia de 4,17 km; este tipo de ciclos realiza dos tipos de subciclos (urbanos y autopista)
- JC-08, alcanza una velocidad promedio de 24, 4 km/h con un tiempo de 1204 segundos y una distancia de 8,17 km; para su cálculo alberga el análisis de las circunstancias ambientales que se presentan cuando existe congestión vehicular con un elevado número de aceleraciones y desaceleraciones. (Leguísamo, Llanes Cedeño, Ortega, Santiago, & Rocha Hoyos, 2020, p. 231)

Países de Europa

De manera análoga el continente europeo posee dos clases de ciclos de conducción:

- NEDC: la velocidad promedio alcanza a los 33, 6 km/h con un tiempo de 1180 segundos a un trayecto de 11, 02 km, los cálculos deben ser enfocados y aplicados en vehículos que se enmarquen en la normativa euro seis.
- ARTEMIS, se divide en cuatro categorías: (1) la categoría urbana alcanza una velocidad promedio de 17, 6 km con un tiempo de 993 segundos llegando a 4,87 km de distancia; (2) categorías rurales alcanza una velocidad promedio de 57, 5 km/h con un tiempo de 1082 segundos llegando a desplegarse de 17,27 km; (3) categoría autopista: representa los ciclos de conducción de autopista de 130 km/h; donde se alcanza una velocidad promedio de 99.6 km/h con un tiempo de 1068 segundos llegando a desplazarse 28, 73 km. (4) categoría autopista 150 km: refleja valores similares a los de la autopista de 130 km/h con una pequeña variación en la distancia que alcanzan, llegando esta ser de 29.54 km. Estos ciclos de conducción Artemis no son utilizados para analizar el grado de consumo de combustible o de las emisiones de metidas por los vehículos, sirven como un indicador de referencia para analizar las condiciones reales de manejo de los consumidores y así evaluar el rendimiento de sus vehículos. (González Oropeza, 2005, p. 7)

Estados Unidos

Para el cálculo de sus ciclos de conducción se ha identificado características principales inherentes del país como que las acciones de autopista y las carreteras urbanas presentan secciones de paradas frecuentes, el cálculo analiza un viaje rutinario de la casa al trabajo de un individuo en un horario diurno en ciudades como Los Ángeles, los ciclos no presentan velocidades mayores a 91 km/h y la aceleración no excede los 5.3 km/h. El ciclo de vida que define esta diferenciación es

el FTP 75 que presenta una velocidad promedio de 34, 1 km por hora 874 segundos de duración y 17, 7 km de distancia.

Por su parte, una clasificación diferente de los ciclos se configura a través de los ciclos legislativos y los no legislativos, los primeros son de tipo estatal cuyo objetivo es controlar las emisiones de gases provocadas por los motores de combustión, mientras que la segunda toma en cuenta ciclos no legislativos toma en cuenta el análisis de uso de gasolina y de la emisión de gases que generan los motores dentro de los laboratorios, existen ciclos abarcan el análisis de series de tráfico fluido y congestionado o contaminados.

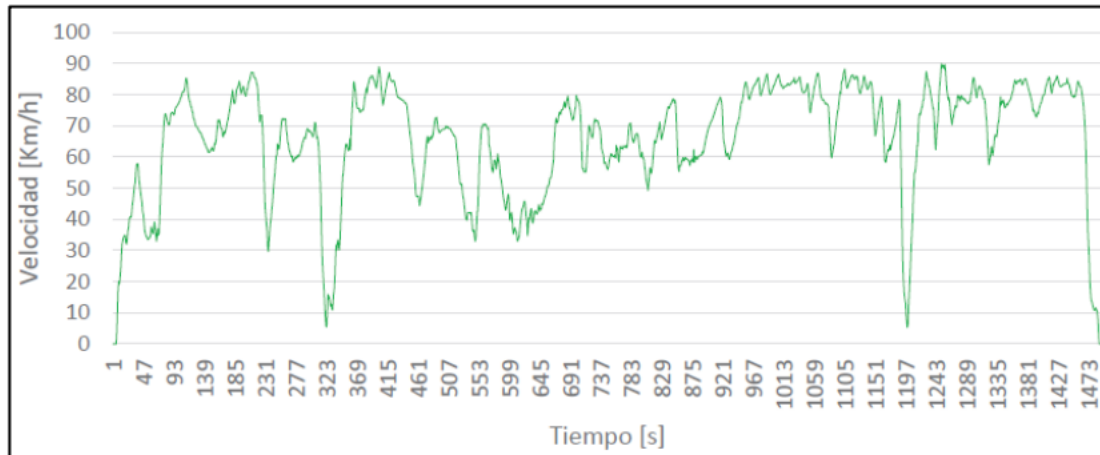
Ciclos de conducción en Ecuador

Desde un enfoque micro se debe analizar los ciclos de conducción prevalentes en Ecuador, Calva & Flores (2020) establecen que de acuerdo a las recomendaciones de 2204 y 2207 INEN se debe emplear el ciclo transitorio FTP 74 que es utilizado en Estados Unidos, a lo cual se puede adherir el uso del ciclo de conducción europeo NEDC para evaluar y controlar las emisiones de gases; sin embargo, la institución oficial no realiza una aclaración profunda sobre el desarrollo de perfil de las velocidades de los vehículos y tampoco el consumo de combustible; por cuanto es importante realizar cálculos particulares para así entender los ciclos de conducción dentro del Ecuador.

Existen estudios que han logrado realizar ciclos de conducción de manera independiente en Quito, la metodología consistió en aplicar tres ciclos en diferentes rutas: en el área urbana en sentido sur – norte, en la carretera en sentido norte – sur, y una combinación de ambas en sentido este – oeste. Dichos ciclos se realizaron en ambientes de conducción normales y reales, siendo aplicadas en rutas con mayor nivel de tránsito donde se realizó un recorrido de 1325.84 km con una duración de 59 horas (Quinchimbla Pisuña & Solís Santamaría, 2017, p. 40).

Figura 5.

Ciclos de conducción en el Distrito Metropolitano de Quito



Nota. La figura representa el análisis gráfico de un ciclo de conducción en la ciudad de Quito. Recuperado de: (Quinchimbla Pisuña & Solís Santamaría, 2017)

Los autores realizan un análisis comparativo entre los tres tipos de ciclos de conducción analizados en el Distrito Metropolitano de Quito y encuentran que el ciclo de conducción que se realiza en la ciudad alcanza 1200 segundos de tiempo de aceleración, $1,89 \text{ m/s}^2$ de aceleración máxima, $0,348 \text{ m/s}^2$ de aceleración promedio y una distancia recorrida de 11.914 metros

Métodos de recolección de información para los ciclos de conducción

Una vez establecido que es fundamental realizar el análisis de ciclos de conducción para la determinación de rendimiento de automóviles y su impacto en el medio ambiente, es importante poseer un sistema de recolección de datos que permita reunir la información y sintetizarla con los fines pertinentes del estudio, dentro de los mecanismos para obtener información de ciclos de conducción se encuentran las siguientes técnicas:

Técnica On Board

La aplicación de esta técnica requiere de recursos óptimos para cálculos eficientes, es así que establecen que se necesita contar con instrumentación adecuada y situaciones reales de trabajo

para lograr obtener datos de tiempo, velocidad y aceleración fieles a la realidad. La aplicación de la técnica requiere de la presencia de más de un conductor que visualice el comportamiento del conductor activo dentro de una ruta, la técnica data su origen en Los Ángeles-Estados Unidos como método de cálculo para la obtención del FTP 75; el desarrollo de la ruta tomó lugar en el centro de la ciudad buscando circular en segmentos de la ciudad que presentarán alto flujo vehicular. (Quinchimbla Pisuña & Solís Santamaría, 2017)

Técnica de seguimiento del vehículo

La metodología empleada consistió en relacionar a dos actores, un vehículo cazador y un vehículo objetivo, el vehículo denominado cazador deberá perseguir al vehículo objetivo dentro de una ruta establecida con la finalidad de replicar el comportamiento del conductor y su forma de conducción dentro del vehículo objetivo. Esta técnica se consolida como una adecuada forma de representar el manejo, si el vehículo objetivo se despliega de la ruta que se especificó inicialmente, el vehículo cazador deberá seleccionar a otro vehículo objetivo de manera aleatoria y continuar con la persecución. La técnica data sus orígenes en el año 2001 en Edimburgo Escocia y es recomendable que la persecución de vehículos no se realice a vehículos públicos. (Quinchimbla Pisuña & Solís Santamaría, 2017)

Herramientas de registro de datos – datalogger

El problema tecnológico en el que se centra esta investigación se origina en poseer información que pueda ser fiable y coherente con los ciclos de conducción, en este sentido existe el interrogante de cómo se puede acceder a los datos para determinar si los vehículos son eficientes cuando se establecen rutas específicas y controladas. Arévalo Calderón & Ortega Ulloa (2016) señalan que para poder responder a la pregunta es importante realizar un análisis histórico de la evolución de los vehículos, ya que con el tiempo la construcción de dichos bienes se transformó,

iniciando como un diseño mecánico para volverse una construcción electromecánica que presentaba en primeras instancias sistemas controlados de manera básica por una computadora.

Para que pueda existir una unidad controladora como la computadora surgió el sistema de unidad de control del motor (ECU) con el objetivo de optimizar los recursos de los motores reduciendo el consumo de combustible y eliminando ciertos niveles de contaminación. La evolución de lo mecánico a electromecánico o electrónico permitió ejecutar y regular distintos parámetros antes no tomados en cuenta como el combustible, de esa forma se pudo controlar de mejor manera la combustión de los motores. (Arévalo Calderón & Ortega Ulloa, 2016)

En esta línea, siguiendo a (Camarillo) se puede evidenciar que en la actualidad los vehículos en su mayoría son controlados por el sistema ECU, mismo que es el encargado de remitir señales a los actores en respuesta a la información obtenida a través de sus sensores; la funcionalidad de los sistemas depende del establecimiento eficiente de un protocolo de comunicación que ayude al usuario acceder a los datos que los sistemas emiten. Es así que en 1988 en California-Estados Unidos frente a la demanda de vehículos que tuvieran la capacidad de reducir su emisión de gases de carbono surge un sistema evolucionado caracterizado como “integrado” al cual se le denominó diagnóstico abordo representado en las siglas OBD-II por sus siglas en inglés referentes al término *On Board Diagnostics*, cuyo principal objetivo fue establecer líneas de comunicación adecuadas entre la computadora y los sensores ubicados en el vehículo.

Frente a la necesidad de poseer sistemas que puedan albergar toda la información correspondiente a los ciclos de conducción, se consolidó al uso del sistema ECU y el protocolo de comunicación OBD-II como mecanismos oficiales para adquirir los datos de los sensores y los dictadores de manera directa desde la computadora del vehículo, lo cual permitió sintetizar la

información sobre el uso de combustibles del vehículo, su eficiencia, rendimiento y consumo en relación a diferentes trayectos.

Definición de datalogger

Un datalogger es el término en inglés para registrador de datos, es un artefacto tecnológico que se configura como un grabador independiente del sistema vehicular el cual monitorea y registra datos como voltaje, temperatura, velocidad, corriente, entre otros en tiempo real. Generalmente los datalogger son dispositivos pequeños y relativamente económicos, su preferencia ante el uso de sistemas de adquisición de datos se emplea cuando dentro de los objetivos de captación de información no se requiere grabar datos a altas velocidades, por el contrario, se requiere grabar tiempos prolongados. Los registradores de datos o datalogger son instrumentos que pueden permanecer desarrollando sus funciones días, semanas o años, tienen la capacidad de registrar millones de datos durante periodos de tiempo prolongados consolidándose como herramientas eficientes para la recolección de datos (Smith, 2020).

En este sentido, Saad et al., (2009) señala que a medida que la tecnología evoluciona y la problemática ambiental se complejiza cada vez son más imperantes las construcciones de vehículos que posean sistemas de recolección y adquisición de información los cuales brinden un conjunto de datos sobre variables ambientales y además funjan como mecanismos para que las empresas identifiquen el desempeño de sus vehículos, por lo tanto el fin de la investigación presente es la creación de un sistema datalogger para vehículos M1, como ejemplo teórico se observa en el trabajo de Arévalo Calderón & Ortega Ulloa (2016) el desarrollo de un sistema de fácil uso para los usuarios, el sistema permite establecer interfaz gráfica a través de una computadora conectada al sistema OBD-II mencionado previamente, la interfaz que realizan los autores se establece a través de cables que emplean comunicaciones seriales, dentro de dicha

construcción se puede mencionar que un defecto importante es el uso de grandes extensiones de cables para la conexión lo cual resulta en un sistema inestable y más costoso, evidenciado en la figura 6. Sin embargo, la metodología aplicada puede realizarse a través del establecimiento de protocolos de comunicación que no requieran de amplias extensiones de cableado, en este enfoque uno de los protocolos que más se utilizan para resolver dichas necesidades es el estándar Bluetooth IEEE 802.15.1 el cual se configura como un sistema de conexión con mayor estabilidad en el que la velocidad y movimiento del vehículo no interfieren en su captación y transmisión de datos.

Figura 6.

Ejemplo de conexión a un dispositivo serial ELM327



Nota. Construcción de conexión serial ELM327 con un dispositivo PC, investigación realizada por (Arévalo Calderón & Ortega Ulloa, 2016)

Bajo esta dinámica, en la actualidad existen sistemas que ocupan la conexión directa entre el ELM327 con el OBD-II estableciendo una conexión con una aplicación móvil para transmitir los datos captados, no obstante, las aplicaciones mencionadas son limitadas y no pueden establecer parámetros completos ya que la interfaz no permite visualizar más de dos variables en la pantalla.

Por tanto, en este estudio se pretende solventar la necesidad de diseñar dispositivos que registren los datos de ciclos de conducción y se diferencia de diversos estudios ya que se espera corregir las falencias que se han encontrado en investigaciones previas que han utilizado el OBD-II como una interfaz de enlace entre el almacenamiento de datos datalogger y los sensores del vehículo, empleando un módulo ELM 37 cuya función principal será llevar un monitoreo de los diferentes sensores del vehículo en tiempo real.

Vehículos categoría M1

El estudio se diferencia de investigaciones previas ya que tomará en cuenta los ciclos de conducción específicos de un tipo de vehículo utilizado en el Distrito Metropolitano de Quito como son los M1. De acuerdo con el Sistema de Información sobre el Comercio Exterior (SICE) (2022) la configuración de los vehículos M1 responde al reglamento armonizado de clasificación de los vehículos del Mercado común del Sur (Mercosur) donde la categoría M concentra a los vehículos automotores que presentan por lo menos cuatro ruedas y son utilizados para el transporte de pasajeros, dentro de esto la sub categoría de vehículos M1 se cataloga en vehículos para transporte de pasajeros los cuales no contengan más de 8 asientos, aparte del asiento del conductor. El empleo de los vehículos M1 en el análisis se debe a que como se mencionó en secciones previas, dichos vehículos presentan una alta participación en el mercado automotor de la ciudad de Quito.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño y construcción de datalogger

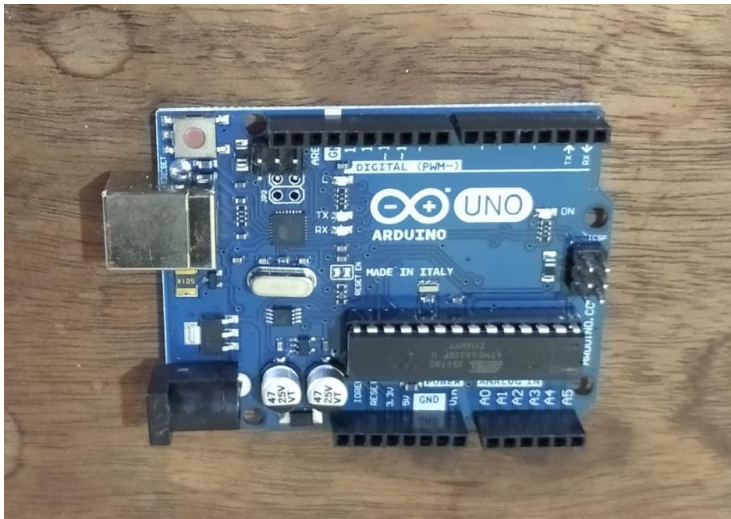
Diseño de estructura

El dispositivo de registro de datos comprenderá tres elementos principales: ELM327 (OBD-II Bluetooth), *data logger shield* y Arduino uno. Se empleará además un módulo de Bluetooth HCE-05 que permitirá establecer un enlace de comunicación entre el dispositivo ELM327 y el Arduino Uno.

El Arduino Uno y el *data logger shield* V1 serán conectados de manera sobrepuesta para así reducir la cantidad de cables necesaria y preservar la cantidad de puertos de los que dispone el Arduino Uno.

Figura 7.

Data Logger Shield VI y Arduino UNO



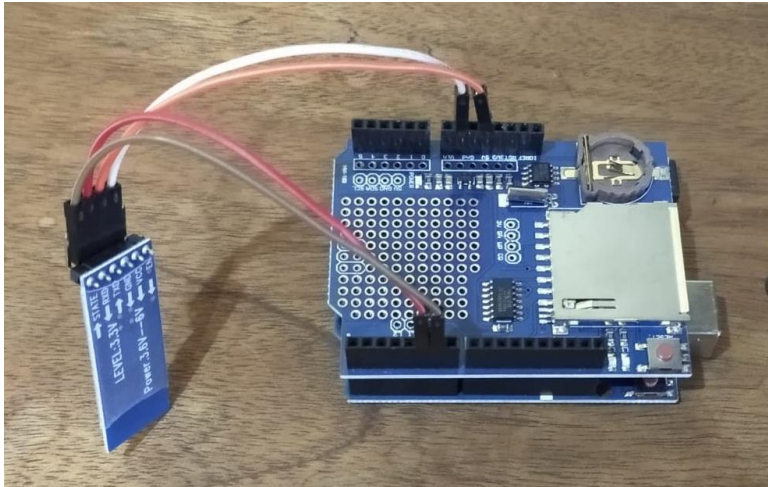
Nota. En la figura se muestra el montaje del Arduino UNO y el datalogger Shield VI

Para realizar la conexión entre el HC-05 y el Arduino se emplearán los puertos 5 y 6 ya que se caracterizan por ser entradas PWM lo cual implica que se pueda recibir una señal eléctrica

de manera análoga cuyo valor podrá variar con el tiempo. Por su parte el módulo estará conectado a las entradas RX y TX.

Figura 8.

Conexión HC-05 y Arduino UNO



Finalmente, el dispositivo ELM327 será conectado de manera directa al puerto de entrada del OBD-II, para poder monitorear los sensores del vehículo por medio del dispositivo se puede realizar una prueba que utilice la aplicación *motor data* para así poder comprobar que el módulo empleado se encuentra en buen estado.

Figura 9.

Dispositivo ELM 327



Nota. Este dispositivo se conectará a l OBD-II del vehículo de prueba. Tomado de: (Amazon, 2022).

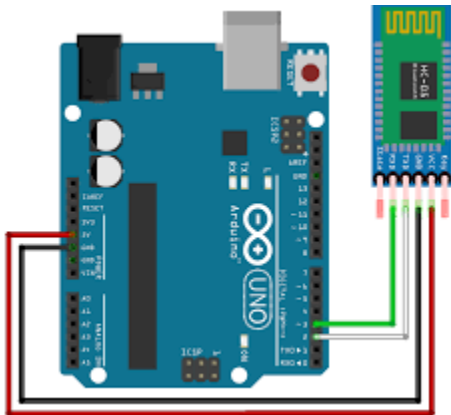
Software

En primera instancia se realizará una configuración HC-05 para esto se debe hacer ajustes en ese módulo ejecutando así la modalidad determinada dentro del sistema como “maestro”; al momento de encender el dispositivo este deberá conectarse de manera automática a una MAC específica, la cual dentro de la investigación estará configurada por el ELM327. La manera en la que se determinará que MAC se utilizará será a través de la aplicación “Bluetooth Mac Finder”. Cuando la dirección MAC del dispositivo identificado se ha realizado a través de la aplicación, se procede a configurar el HC-05 mediante los pasos que especifica el manual de usuario de NAYLAMP mechatronics.

1. Se conecta el módulo Bluetooth

Figura 10.

Conexión del módulo Bluetooth



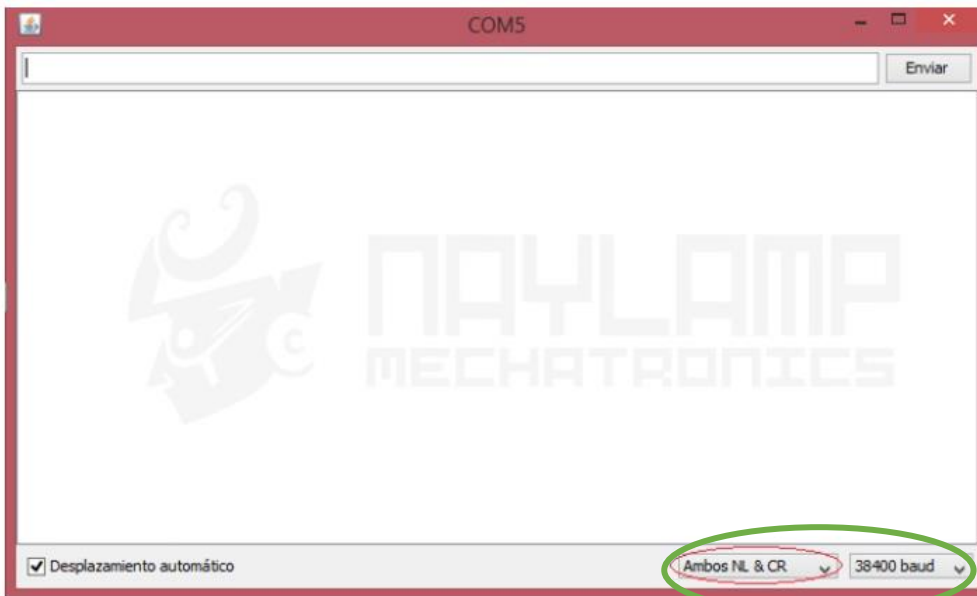
Nota. Tomado de AranaCorp, 2022

2. Se carga el código que se encuentra en el manual del usuario
3. Se desconecta el módulo Bluetooth para poder volverlo a conectar de distinta manera manteniendo pulsado el botón del dispositivo HC-05 hasta que muestre intermitencia o parpadeo, posteriormente se activa el modo de configuración manual.

4. Se abre el monitor serial para establecer la velocidad de comunicación que se requiere
5. Se escribe el comando AT a lo cual se deberá responder con la palabra OK para así establecer una conexión exitosa.
6. Para personalizar el dispositivo y poder modificar su nombre se debe ingresar el comando AT+NAME = <Nombre>. Utilizado: AT+NAME = OBDII. Que será respondido con el comando “OK”
7. La velocidad de conexión será establecida a través del comando AT+UART = <Baud>, <StopBit>, <Parity>. Utilizado: AT+UART = 38400, 1,1. Dentro de la configuración, este paso no puede ser obviado o mal realizado, ya que si no se establece un parámetro no se podrá recibir valores ELM327.

Figura 11.

Configuración inicial



Nota. Tomado de (Naylampmechatronics, 2016)

8. Se configurará el HC-05 como dispositivo maestro para propender que se conecte de manera automática a una MAC específica, para lo cual se emplea el comando: AT+ROLE = <Role> Utilizado: AT+ROLE = 1. Dentro de la especificación se debe colocar el número “1” ya que ello implica que se catalogue al HC-05 como maestro
9. Se configura el emparejamiento específico del HC-05 con el MAC, para lo cual se emplea el comando: AT+CMODE = <Mode> Utilizado = AT+CMODE = 0. El cero colocado en este paso implica que la conexión que se realice sea a una MAC específica
10. Se especifica el MAC del ELM327 encontrado previamente mediante la aplicación MAC Finder. (Naylampmechatronics, 2016)

Software de obtención de datos

El uso de este software dependerá de la comprobación de conexión y uso de librerías; la conexión automática gracias a la consecución de pasos previos del HC-05 y el ELM-327 se podrá comprobar cuando los dispositivos parpadeen de manera simultánea.

Para la obtención de los valores de los sensores del OBD-II se empleará una librería denominada Elmduino, la cual convertirá los paquetes de datos de los sensores y mostrará el valor requerido por medio de diferentes comandos del programa.

Cuando el código haya sido cargado se debe comprobar que los dispositivos están emparejados para así poder abrir el monitor serial del Arduino y visibilizar la impresión de los datos del vehículo, una vez ejecutada con éxito las pruebas se puede añadir cualquier tipo de comando necesario con respecto a las demandas del programa.

Para un adecuado funcionamiento del sistema es importante facilitar su uso a través del apoyo en las librerías ya instaladas como SD.lib, adicionalmente es fundamental crear una carpeta

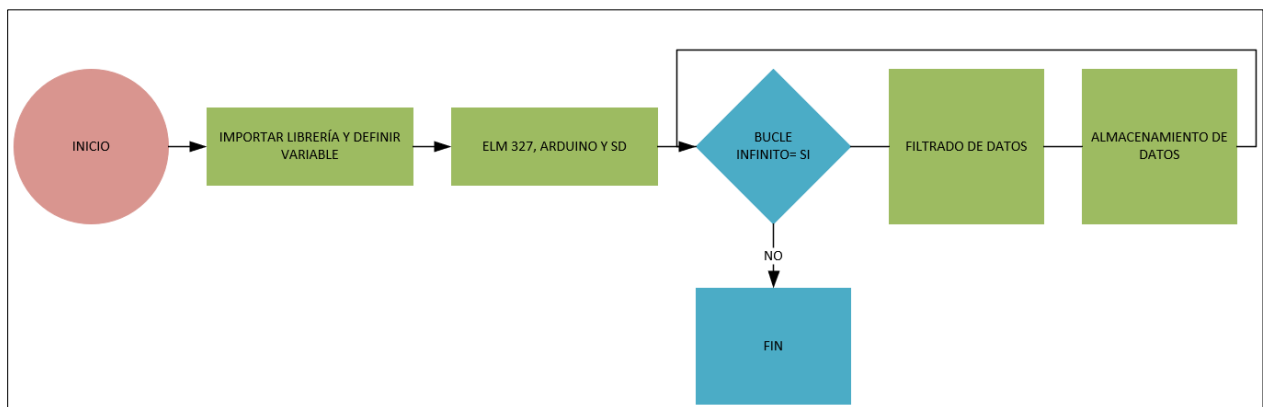
que pueda almacenar la información de los sensores, la misma que es creada siguiendo los pasos que se detallan a continuación:

1. Verificar conexión exitosa del Data Logger Shield V1
2. Abrir un ejemplo DS1307RTC y seleccionar “set time” dicho comando servirá para que cuando se carguen los códigos se pueda registrar fecha y hora.
3. Una vez la hora y fecha estén instaladas se cargará el código de ejemplo de la librería y apoyado de ELmduino se podrán imprimir los valores receptados por el OBD-II, este paso permitirá que la información almacenada pueda ser visualizada de manera gráfica gracias al sistema Jupyter.

Para una mejor comprensión del funcionamiento del software se detallará su proceso a través del diagrama presentado en la figura 7, la secuencia del proceso inicia con la importación de librerías y la creación de variables, posteriormente se da inicio al puerto serial y el puerto ELM327 con una velocidad de 5700 baudios, de manera posterior, el sistema genera un proceso automático en el que se crea un bucle infinito para la adquisición de datos, el filtrado y almacenamiento de estos.

Figura 12.

Flujo del software de obtención de datos



Una vez que se apague el sistema el bucle de almacenamiento de datos finalizará, en ese momento se podrá retirar de manera manual la memoria SD configurada en procesos previos, para así dirigirlo al computador y analizar los datos a través de la plataforma Pandastable.

El bloque catalogado como: conexión “ELM327 y Arduino” representa la comunicación establecida entre el estándar Bluetooth IEEE 802.15.1 y el módulo ELLM327 que ha sido conectado al sistema ECU del vehículo al prototipo que se desarrolló en la plataforma Arduino.

Es importante además señalar de manera gráfica el proceso de conexión entre el módulo ELM327 y el módulo HC-05, cuando ya se haya realizado la conexión previa, el sistema ingresa en un bucle infinito donde la acción primera es poder obtener los datos del módulo ELM327, posteriormente se filtra los datos para cada uno de los valores.

Software para análisis de datos

Para poder analizar los datos se empleará un sistema de desarrollo de entorno integrado (IDE), se podrá programar por medio de la web con lenguaje Python en base a JupyterLab. donde se puede presentar los códigos bloque por bloque en una bitácora organizada. De acuerdo con la plataforma oficial de (JUPYTER-ORG, 2021) a través del empleo de Machine Learning lo cual admite una amplia gama de datos.

Se optó por el uso de dicho sistema ya que puede ser utilizado a través de la web, lo que permite que sea de mayor acceso por su fácil uso e instalación simplificada. Por su parte, la librería a utilizarse; PANDAS facilita el manejo de los datos mediante de hojas de cálculo, se combina sin inconvenientes con Jupyter y permite al usuario trabajar con datos estilo Data Frame al igual que una hoja de Excel.

Segmentación del ciclo de conducción

Dentro del análisis de los ciclos de conducción uno de los factores primordiales es el establecimiento de las rutas que se analizarán, Hunga et al., (2005) mencionan que para lograr dicho objetivo se debe conocer las zonas en las que existe mayor flujo vehicular, las horas pico de la ciudad y tener claridad en que las vías son utilizadas para actividades cotidianas como transporte y movilización por estudios, trabajo, compras u ocio.

De acuerdo con el trabajo realizado por Rodríguez (2021) se evidencia que las principales zonas de flujo vehicular dentro de Quito corresponden al Sector centro norte de la ciudad, con un 31% de concentración, seguido del norte de la ciudad con 27% y el centro con 14%, las calles con mayores flujos se presentan a continuación:

- Zona norte: Mariscal Sucre, Simón Bolívar, Panamericana Norte, Galo Plaza Lasso, Shyis, Simón Bolívar, Naciones Unidas
- Zona centro – norte: Avenida 10 de agosto, Mariscal Sucre y Shyris, Galo Plaza Lasso, Amazonas, Eloy Alfaro, 6 de diciembre. (Quinchimbla Pisuña & Solís Santamaría, 2017)

En cuanto a los días de mayor tránsito vehicular, se identificó que el flujo vehicular entre semana es mayor que los fines de semana en 10% y 60% para los sábados y domingos, respectivamente. Por su parte, las horas pico identificadas entre semana fueron el periodo 07h00 – 09h00, seguido de las 13h00 y el periodo comprendido entre las 18h00 y 20h00; lo cual es explicado por el desarrollo de las actividades económicas entre semana, movilización a trabajos y centros educativos en las mañanas, a la media tarde salida a almuerzos por parte de los trabajos y salida de las unidades educativas, finalmente retorno de trabajo a casa en el último periodo de la tarde. (Vega & Parra Narváez, 2014, p. 5)

Selección de ruta

Las rutas identificadas fueron tres: urbana, carretera y combinada ocupando las horas pico establecidas, se planifica realizar rutas a las ocho de la mañana, una de la tarde y en la noche a las 18 horas; se triplicará la repetición de cada ciclo de acuerdo a lo que se recomienda en las normas INEN 2205 y 2477 las cuales demandan registrar y promediar tres lecturas mínimas por prueba, en este caso nueve viajes por zona.

Zona urbana

El recorrido a emplearse partirá de la avenida Eloy Alfaro y Mortinos, tomando la avenida Granados, 6 de diciembre, Naciones Unidas y culminando en la 10 de agosto a la altura de la Mariana de Jesús. Los tramos importantes dentro del viaje son la Universidad de las Américas, Quicentro Shopping, centro comercial Iñaquito (CCI) entre otros. Dicho trayecto será de 5,6 km y se realizará entre lunes a viernes.

Zona de carretera

El tramo analizarse dentro de la zona de carretera tendrá una distancia de 25,9 km, se inicia el trayecto en el redondel del ciclista y el punto de finalización será el ingreso a San Rafael en la autopista General Rumiñahui; los hitos importantes dentro de este proyecto son colegios, conjuntos residenciales a lo largo de la vía y el peaje de la autopista; esta vía es catalogada como la ruta más rápida para la conexión entre Quito y los Valles.

Zona combinada

El tramo constará de 12,4 km con una combinación de 5,75 km en la zona urbana y 6,65 km de zona de carretera, se iniciará el recorrido en el parque la “Y” ubicado en la avenida 10 de

Agosto finalizando en Carapungo cerca del parque de la calle Padre Luis Vaccari. Los puntos de interés dentro de este trayecto serán los negocios ya que es una zona productiva, la presencia de bancos y conjuntos residenciales

Variables

La revisión literaria realizada establece que los parámetros fundamentales para analizar el desarrollo de los ciclos de conducción son la velocidad promedio, velocidad máxima, número de paradas, tiempo ralenti, tiempo total de recorrido, distancia recorrida, aceleración positiva promedio, aceleración positiva máxima y tiempo con aceleración positiva; dichas variables fueron electas gracias a la comparación entre los ciclos de conducción que existen alrededor del mundo, adicional a esto se realizará el análisis del consumo de combustible para así responder a los objetivos iniciales del proyecto que tiene un carácter medio ambiental (Quinchimbla Pisuña & Solís Santamaría, 2017).

El análisis de datos se realizará a través de la técnica de análisis de promedios ponderados la cual consiste en seleccionar el recorrido más cercano a la media de todos los recorridos analizados. Al comparar las variables de interés con el valor medio dentro de las curvas experimentales se identificó que es importante jerarquizar las variables con un factor de corrección de mínimo 0,25 y máximo uno. Los factores de corrección se configuran como pesos de ponderación para el análisis de promedios catalogados con la W. Las ponderaciones de las variables se presentan en la tabla continuación

Tabla 1.

Ponderaciones W respecto a las variables de estudio

Ponderación W	Variable i
1	Velocidad máxima

Ponderación W	Variable i
1	Aceleración positiva máxima
1	Distancia recorrida
1	Tiempo de recorrido
1	Consumo de combustible
1	Tiempo aceleración positiva
0,75	Tiempo ralentí
0,75	Aceleración positiva máxima
0,25	Velocidad máxima
0,25	Paradas totales
8	Total

Fuente: (Restrepo, Carranza, & Tibaquira, 2007)

En segundo lugar, se aplicará la ecuación 1 de promedios ponderados con base en los fundamentos teóricos de Restrepo et al., (2007) se desglosa en los siguientes términos.

$$Y = \frac{\sum_i W_i \cdot \frac{|P_{ij} - \bar{P}|}{\bar{P}}}{\text{Total de las ponderaciones}} \quad (1)$$

Donde:

- Y: Valor del promedio ponderado
- W_i : Ponderación del parámetro i
- P_{ij} : Valor del parámetro i para el ciclo j
- \bar{P} : Promedio del parámetro i
- $\frac{|P_{ij} - \bar{P}|}{\bar{P}}$: Desviación respecto a la media en términos adimensionales

Finalmente, se crea una hoja de cálculo para obtener un promedio ponderado por cada viaje y se escoge el valor mínimo para cada zona de estudio puesto que este valor representará la menor desviación que abarcarán todos los parámetros/variables frente al valor medio.

Técnica de recolección de datos.

De acuerdo a lo expuesto en el marco teórico se optará por aplicar la técnica On Board ya que la recolección de datos es más fácil y la instrumentación se acopla al diseño de datalogger que se realizará en el presente estudio.

RESULTADOS

A continuación se presentan los ciclos de conducción más representativos de cada zona seleccionada, mismas que se definieron por medio del uso del Módulo ELM 327 OBD-II, del Car Scanner y de la tabulación de datos en Excel. Estos ciclos fueron construidos considerando los parámetros mencionados en la Tabla 1.

Ciclos de conducción

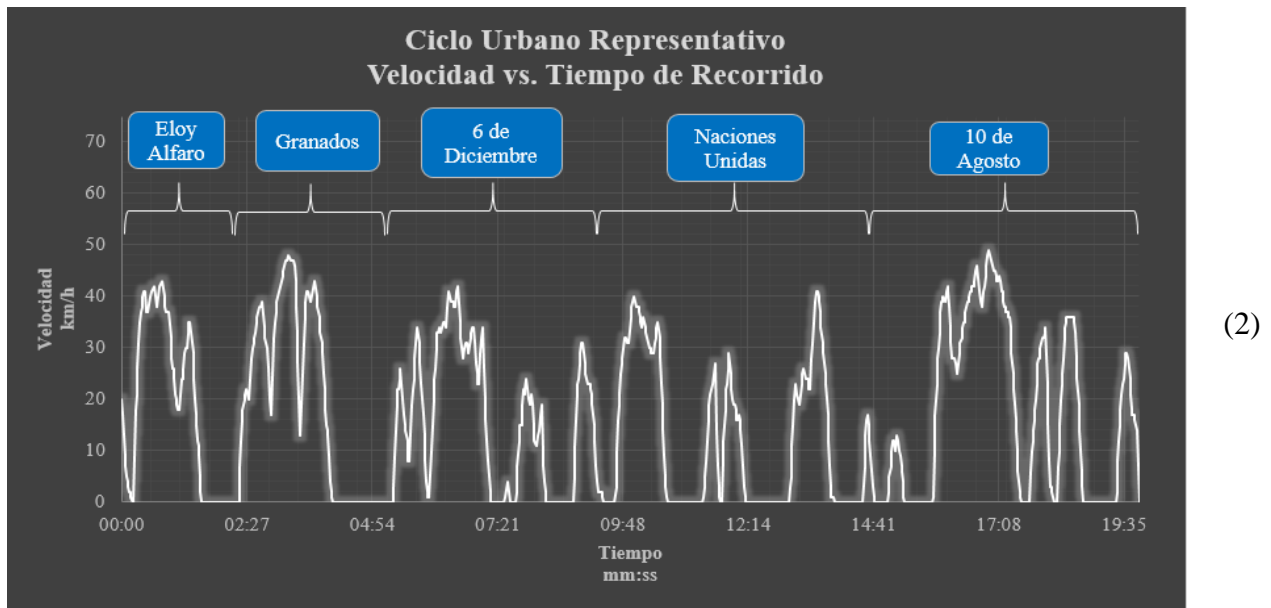
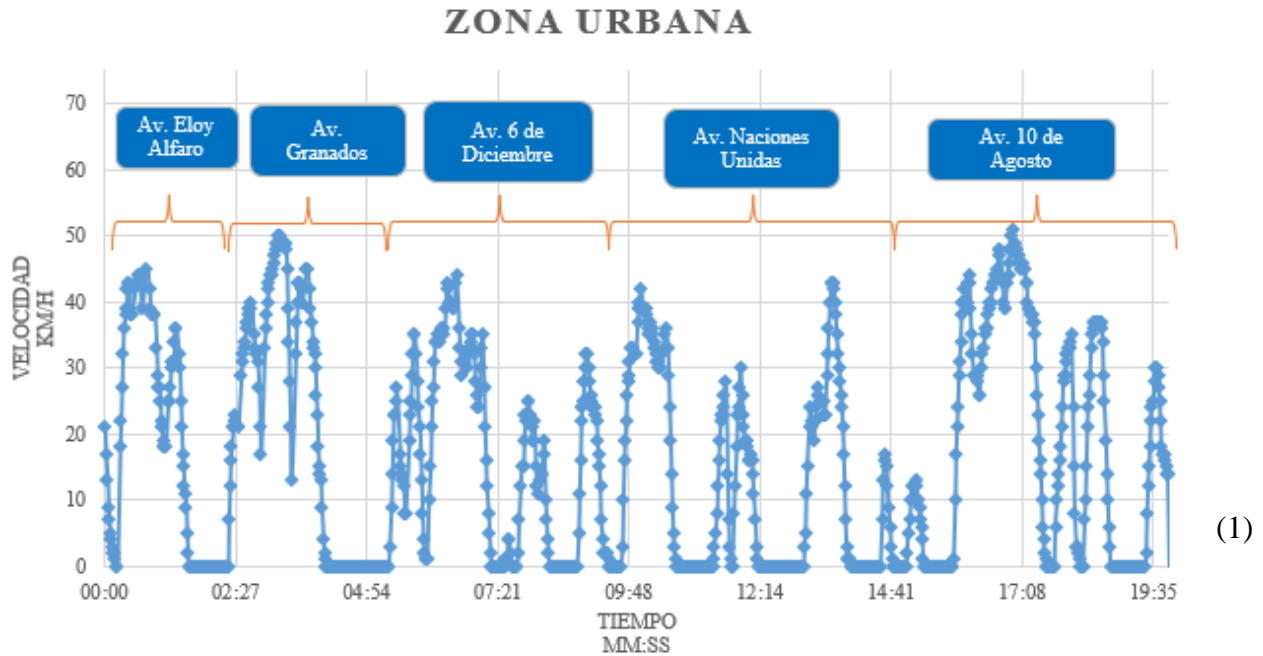
Entre las tres zonas definidas se realizaron un total de 27 viajes durante la mañana tarde y noche. A continuación se muestran los resultados obtenidos según las mínimas desviaciones de las ponderaciones realizadas con la ecuación 1 y los parámetros definidos en la Tabla 1, de cada zona de conducción.

Zona Urbana

En la Figura 13 se muestra el ciclo representativo de la zona urbana, mismo que se realizó al medio día, cuya media ponderada fue de $Y=0,06063$. En tanto que, en el caso de Rodríguez (2021) el valor obtenido en este trayecto fue de $Y = 0,04133$, siendo su desviación un 32 % menor a la de esta investigación; pudiendo deberse a las condiciones climatológicas del día en que se realizaron las pruebas.

Figura 13.

Comparativa Resultados de la Zona urbana: velocidad vs tiempo



Nota. El gráfico 1 corresponde a los datos de este estudio y el gráfico 2 a los de la investigación de Rodríguez (2021)

En esta zona fue que, en la Av. Eloy Alfaro la duración del recorrido fue de 2:26 minutos, alcanzando una velocidad máxima de 45 km/h; en la Av. De Los Granados la duración promedio

fue de 2:28 minutos y una velocidad máxima de 50 km/h; en la Av. 6 de Diciembre el trayecto fue de 4:54 minutos y la velocidad máxima de 40 km/h; en la Av. Naciones Unidas tomó 4:53 minutos con una velocidad máxima de 43 km/h y en la Av. 10 de Agosto fue de 5:11 minutos con una velocidad máxima de 51 km/h. Es importante mencionar que, el trayecto de la Av. Naciones Unidas fue el trayecto con menor velocidad alcanzada debido a que es una zona de alta congestión vehicular y con una mayor cantidad de paradas de buses, al concentrarse en ella la zona financiera de la ciudad, al igual que múltiples comercios y de tránsito de personas lo que hace que la duración del trayecto se amplíe.

En la Tabla 2 se muestra la comparación de los valores obtenidos de cada parámetro en la zona urbana considerando la media, promedio, máximo y mínimos.

Tabla 2.

Resultados generales de la zona urbana

	Ciclo	Prom.	Máx.	Mín.
Velocidad Máx. (km/h)	54	53	59	49
Velocidad Prom. (km/h)	16,61	16,78	23,74	5,81
Aceleración Positiva. Máx. (m/s ²)	0,1698	0,1737	0,2615	0,1510
Aceleración Positiva Prom. (m/s ²)	0,06470	0,0557	0,0677	0,0464
Distancia Recorrida (km)	5,877	5,781	-	-
Paradas Totales	21	15	21	8
Tiempo Recorrido (s)	1338	1260	1686	931
Combustible Consumido (L)	0,8692	0,7849	0,9316	0,6431
Tiempo Ralentí [s]	520	453	920	231
Tiempo Aceleración Positiva [s]	417	398	466	339

Nota: Estos valores corresponden a los ciclos individuales realizados en la zona norte.

La duración del trayecto total de la zona urbana estuvo entre los 16 y 28 minutos, el que mayor tiempo duró fue el realizado en horario de 18:00 debido a la alta congestión vehicular, derivada de la salida de los trabajadores de los establecimientos en la zona; mientras el rango de velocidad que se tuvo fue entre 49 km/h y 59 km/h. El consumo de combustible fue entre 0,6431

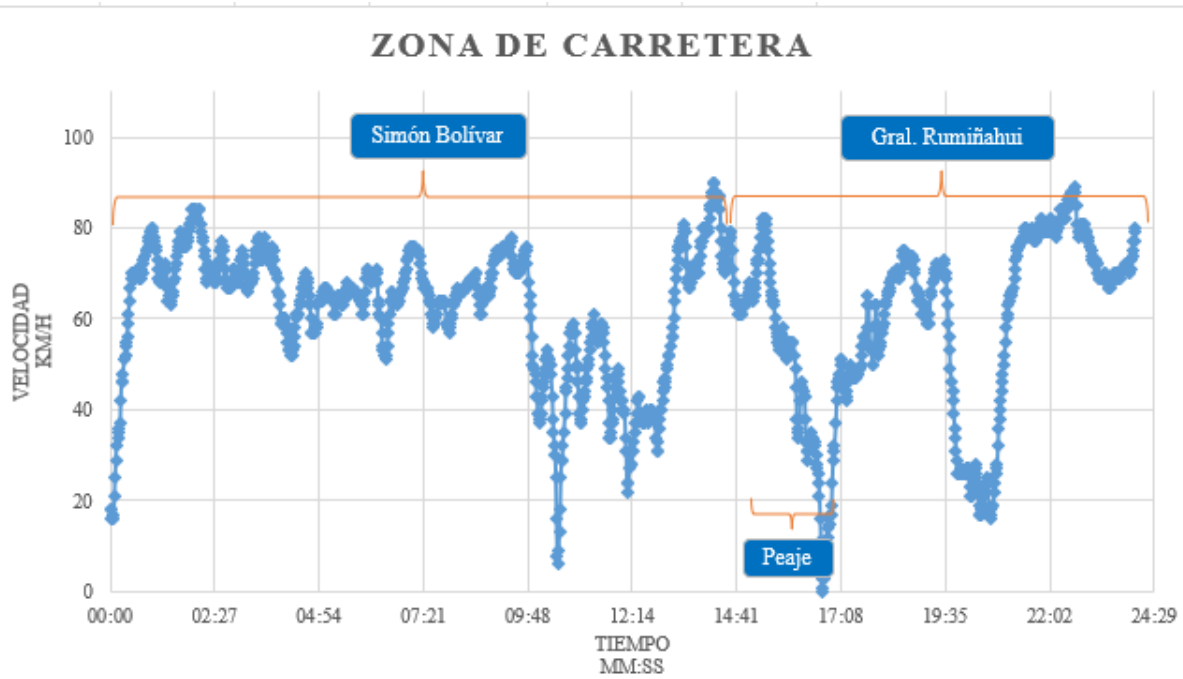
L y 0,9316L con una media de 0,7849 L; derivado de las aceleraciones positivas, la duración del trayecto y el número de paradas.

Zona de Carretera

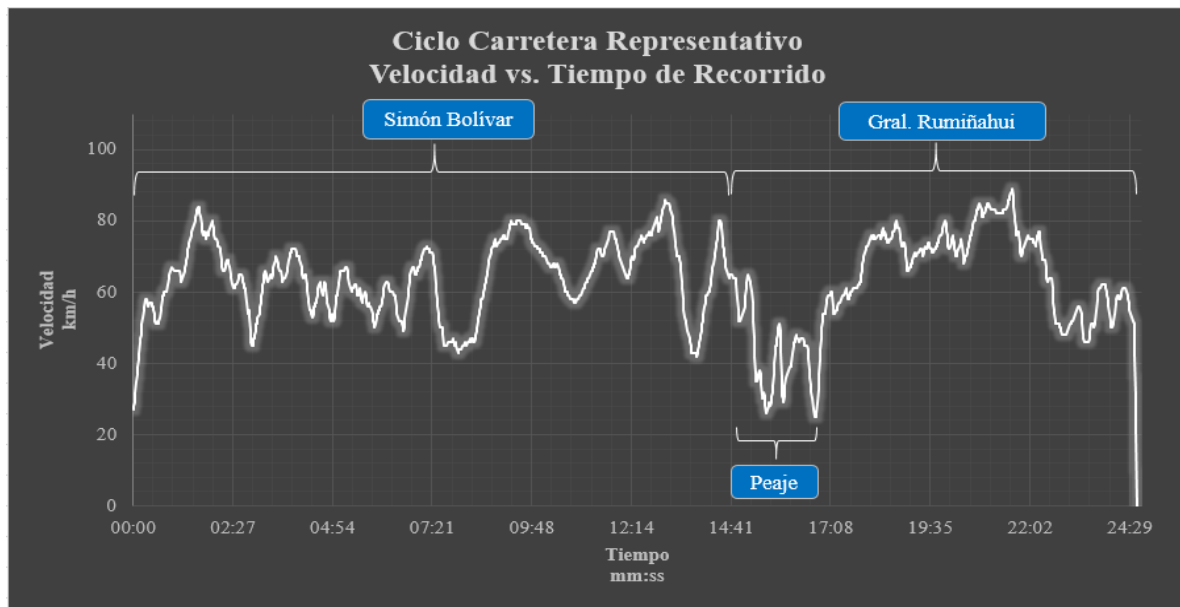
Para la zona de carretera se consideró el viaje realizado a las 17h00, siendo este el que tuvo la menor diferencia de la media ponderada de $Y=0,18579$; mientras que en el estudio de Rodríguez (2021) fue de $Y=0,16626$; evidenciando una variabilidad del 11% menor a la registrada en este estudio, pudiendo deberse a que este proyecto se llevó a cabo cuando aún había medidas restrictivas de circulación por la pandemia del COVID-19.

Figura 14.

Comparativa Resultado zona de carretera: velocidad vs tiempo



1)



2)

Nota. El gráfico 1 corresponde a los datos de este estudio y el gráfico 2 a los de la investigación de Rodríguez (2021)

La Figura 14 refleja que, en el recorrido por la Av. Simón Bolívar dura 14:40 minutos, alcanzando una velocidad máxima de 90 km/h; en tanto que, en la Autopista General Rumiñahui el trayecto es de 9:21 minutos y una velocidad máxima de 89 km/h. Estas diferencias en duración se derivan a que, si bien en la Autopista Rumiñahui existe un peaje que genera cierta congestión vehicular y existen sectores aledaños como Conocoto, San Rafael y Capelo; en la Av. Simón Bolívar existen más conexiones con sectores aledaños como Guápulo, Llano Grande, Llano Chico, Nayón y Zámbriza, lo que hace que se presenten más variaciones en los parámetros analizados.

Tabla 3.

Resultados generales de la zona de carretera

	Ciclo	Prom.	Máx.	Mín.
Velocidad Máx. (km/h)	90	91	93	86
Velocidad Prom. (km/h)	61,23	66,22	72,78	61,23
Aceleración Positiva. Máx. (m/s ²)	0,1357	0,1285	0,1695	0,0967
Aceleración Positiva Prom. (m/s ²)	0,03049	0,0258	0,0305	0,0217
Distancia Recorrida (km)	27,228	27,244	-	-
Paradas Totales	1	0	1	0
Tiempo Recorrido (s)	1680	1560	1680	1415
Combustible Consumido (L)	1,9283	1,8078	1,9283	1,6536
Tiempo Ralentí [s]	0	0	1	0
Tiempo Aceleración Positiva [s]	918	774	918	609

De acuerdo con los resultados que se muestran en la Tabla 3, el tiempo de duración de los viajes puede variar entre 24 a 28 minutos, a una velocidad entre 86 y 93 km/h. El consumo de combustible del trayecto va entre los 1,6536 L y 1,9283 L, mismo que se relaciona con las aceleraciones, tiempo de duración y distancia del trayecto.

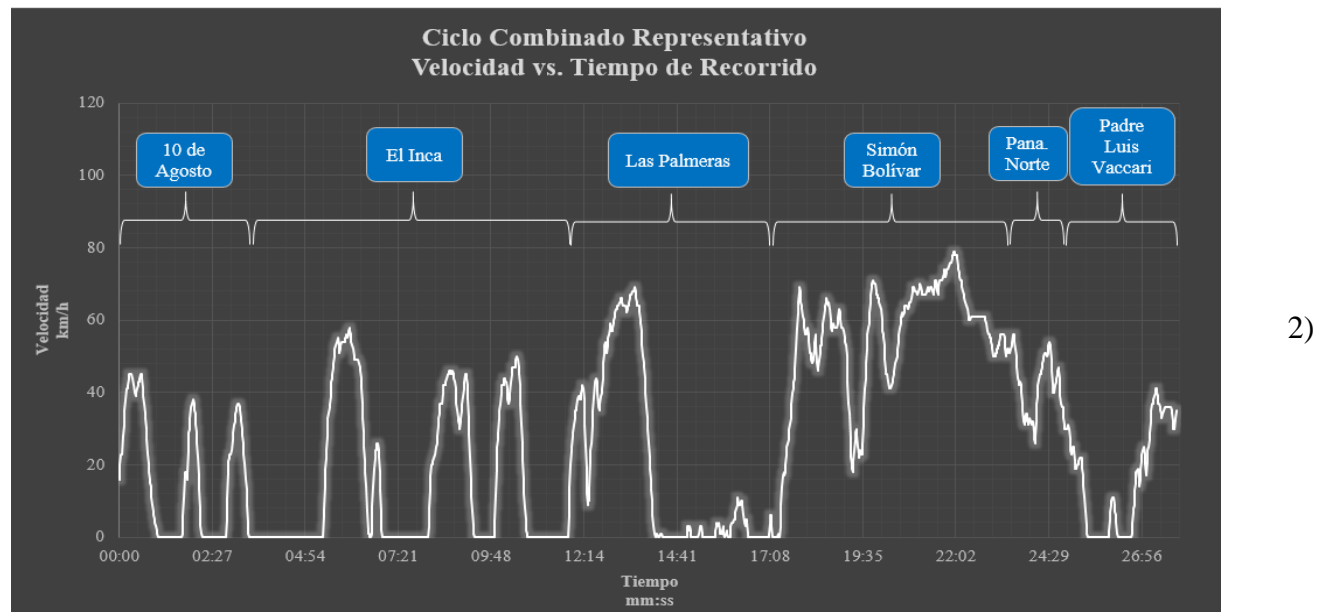
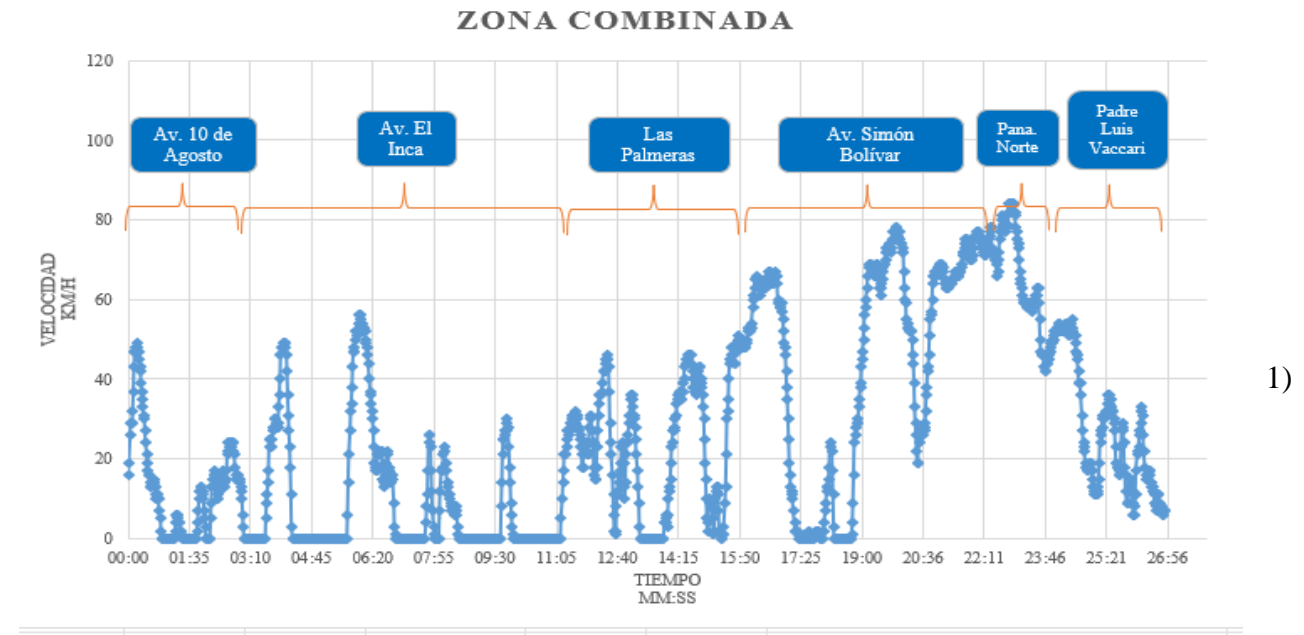
Zona Combinada

A continuación, se muestran los resultados de la zona combinada, del viaje realizado a las 16h30, ya que registró la menor media ponderada de $Y=0,06720$; mientras que en el estudio de

Rodríguez (2021) $Y=0,03960$, apreciándose que su desviación es un 41% menor a la de presente investigación.

Figura 15.

Resultado zona combinada: velocidad vs tiempo



Nota. El gráfico 1 corresponde a los datos de este estudio y el gráfico 2 a los de la investigación de Rodríguez (2021)

De acuerdo con los datos obtenidos en este circuito, en la Av. 10 de Agosto la duración del trayecto es de 3:10 minutos a una velocidad máxima de 49 km/h; en la Av. El Inca es de 7:55 minutos y la velocidad máxima de 56 km/h; en la Av. De Las Palmeras es de 4:44 minutos y una velocidad máxima de 51 km/h; en la Av. Simón Bolívar la duración del recorrido es de 6:21 minutos con una velocidad de velocidad máxima de 78 km/h; en la Panamericana Norte el tiempo es de 1:35 minutos y la velocidad de 84 km/h; y, en la Av. Padre Luis Vaccari la duración es de 3:05 minutos con una velocidad máxima de 55 km/h.

Tabla 4.

Resultados generales de la zona combinada

	Ciclo	Prom.	Máx.	Mín.
Velocidad Máx. (km/h)	84	88	96	86
Velocidad Prom. (km/h)	25,74	29,06	40,85	21,32
Aceleración Positiva. Máx. (m/s ²)	0,1868	0,1664	0,1880	0,1418
Aceleración Positiva Prom. (m/s ²)	0,04428	0,04416	0,04868	0,03873
Distancia Recorrida (km)	12,876	12,869	-	-
Paradas Totales	18	21	33	7
Tiempo Recorrido (s)	1903	1747	2282	1192
Combustible Consumido (L)	1,3940	1,2857	1,4670	1,0165
Tiempo Ralentí [s]	492	482	770	152
Tiempo Aceleración Positiva [s]	727	634	802	522

Según los resultados registrados en la Tabla 4, en la zona combinada el trayecto dura entre 20 y 38 minutos, donde la congestión vehicular causa el aumento del tiempo del recorrido; la velocidad alcanzada va desde los 86 km/h hasta los 96 km/h. El consumo de combustible en el trayecto va desde los 1,0165 L hasta los 1,4670 L, que de igual manera se desprende de las aceleraciones positivas, el tiempo de duración, la distancia del trayecto que es de 12,2 km y el número de paradas.

DISCUSIÓN

Respecto al comportamiento del vehículo empleado en cada una de las tres zonas definidas: urbana, carretera y combinada, se tuvieron como resultados que, en la zona urbana es donde se alcanza menor velocidad, con un promedio de 53 km/h; en la zona combinada la velocidad máxima promedio es de 88 km/h y en la zona de carretera se alcanza una velocidad media de 91 km/h. En cuanto a la duración del trayecto, la zona urbana fue la más corta con una distancia de 5,58 km y tiempo de recorrido promedio de 21 minutos; en la zona de carretera el trayecto fue de 25,94 km con una duración promedio de alrededor de 26 minutos; y, en la zona combinada el trayecto fue de 12,21 km con un tiempo promedio de recorrido de 29 minutos. Estos datos se deben a que, en la zona urbana, y por tanto, en la combinada, existe más congestión vehicular, lo que incrementa el tiempo de recorrido y que se alcance una menor velocidad.

En el caso de la investigación realizada por Rodríguez (2021) la duración del trayecto de la zona urbana fue de 20 minutos a una velocidad máxima promedio de 51 km/h; en la zona de carretera el recorrido dura 24 minutos con una velocidad máxima promedio de 89 km/h; y, en la zona combinada la duración fue de 27 minutos a una velocidad máxima de 91 km/h. Estos datos muestran que, las variaciones existentes son bajas, por lo que se valida el prototipo del datalogger para la medición de los datos.

En cuanto al consumo de gasolina, en la zona combinada y carretera es en promedio de 1,2857 L y 1,8078 L respectivamente. En tanto que, en la zona urbana a el consumo promedio de gasolina es de 0,7849 L; dejando en evidencia que es en este último recorrido donde menos gasolina se consume. En el estudio realizado por Rodríguez (2021) el consumo de gasolina tiene un comportamiento similar, es decir, tomando en cuenta la distancia en kilómetros, se gasta menos gasolina en la zona urbana y en mayor cantidad en carretera y en la zona combinada con valores

promedio de 0,7476 L, 1,722 L y 1,2244 L, respectivamente, aunque si bien son rubros mayores se debe a que las distancias también lo son.

Respecto a la validación del datalogger, se debe mencionar que, el prototipo funcionó correctamente dado que se pudo importar, almacenar y analizar completa y adecuadamente los datos de las tres zonas, sin que fuera necesario transcribir dichos valores a una hoja de cálculo para poder procesarlos manualmente. Comparando el proceso empleado por Arévalo (2016) donde para la importación de los datos del OBD-II uso un adaptador conectado al computador, lo que causó ruido eléctrico; mientras que en este estudio se empleó comunicación Bluetooth IEEE 802.15.1, evitando el inconveniente del ruido, así como alteraciones debido a la desconexión del cable por el movimiento del vehículo.

Sin embargo, se debe mencionar que el prototipo empleado en este estudio requiere que se haga un adecuado uso del software, para lo cual debe practicarse la utilización del mismo, a fin de poder emplear todas las herramientas y aplicaciones que dispone para la interacción con la base datos. Después de ello, el manejo de la interfaz es sumamente sencillo, ya que la aplicación es amigable con el usuario.

CONCLUSIONES

El protocolo de comunicación Bluetooth IEEE 802.15.1. ayudó en la comunicación entre el OBD-II y el microcontrolador correctamente, así como certificar la integridad del circuito impidiendo desconexiones o ruido en la admisión de datos, como ocurre al emplear conexión por cable.

A partir de investigaciones previas se seleccionaron tres ciclos de conducción, siendo estas la zona urbana, zona de carretera y la zona combinada. Por medio de la conducción en estas rutas se obtuvieron como mínimas desviaciones en cuanto a los valores promedio de los ciclos, un resultado de $Y=0,06063$ en la zona urbana, de $Y=0,18579$ en carretera y $Y=0,06720$ en la zona combinada; los cuales al ser comparados con el estudio de Rodríguez (2021) que realiza las mismas rutas, resultan ser mayores en un 32%, 11% y 41% respectivamente. Además, fue la zona urbana donde menos tiempo de duración tuvo el trayecto, al igual que el consumo de gasolina; mientras que en la zona de carretera la duración del recorrido fue mayor y de igual manera el gasto de gasolina; esto debido a que la distancia del trayecto fue mayor.

Al realizar la prueba en ruta en las tres zonas: urbana, de carretera y combinada se pudo evidenciar que el prototipo funciona adecuadamente, ya que el margen de variabilidad obtenido mediante el promedio de las tres rutas es únicamente del 3,33% (usando de referencia la media del consumo de gasolina). Esto también, gracias a la correcta comunicación entre el módulo bluetooth y el Arduino UNO, lo que hace que tengan la misma velocidad, y con ello se logra una mejor lectura de los datos del sensor.

RECOMENDACIONES

Es recomendable el uso de un protocolo de comunicación Bluetooth IEEE 802.15.1. para establecer la comunicación entre el OBD-II y el microcontrolador, ya que este evita la generación de ruidos en la recepción de datos, como ocurre al emplear conexión por cable. Por tanto, vuelve al dispositivo más estable.

Es importante realizar los ciclos de conducción en las mismas zonas, pero en distintos horarios, en especial durante los fines de semana, ya que en este estudio al igual que en el comparativo se hicieron de lunes a viernes. Por lo que, un nuevo horario brindaría nueva información.

Para validar el funcionamiento del prototipo es importante el uso de un vehículo de características similares al de esta prueba, ya que uno de menor cilindraje podría generar una variabilidad mayor, que dará información imprecisa sobre el funcionamiento del dispositivo y el datalogger.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, J. (23 de junio de 2011). *Motor pasión*. Obtenido de Ciclo NEDC, o cómo entender los consumos homologados: <https://www.motorpasion.com/otros/ciclo-nedc-o-como-entender-los-consumos-homologados>
- Arévalo Calderón, F. E., & Ortega Ulloa, A. G. (abril de 2016). *Desarrollo de una 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*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12029>
- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador . (2019). *Informe de adquisición de vehículos* . Quito: AEDE.
- Benalcázar, L. C., Acevedo, E., Osses, M., & Rojas, N. (2013). *Construcción de los ciclos de conducción de Bogotá para la estimación de factores de emisión vehiculares y consumo de combustible* . Bogotá.
- Calva Montoya, R. C., & Flores Díaz, A. E. (23 de enero de 2020). *Obtención del ciclo de conducción urbano para la ciudad de Riobamba en horas pico y no pico mediante la recolección de datos de los factores de operación y consumo energético obtenido por un dispositivo OBD II*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13823>
- Camarillo, D. (s.f.). *Diagnóstico a bordo OBD*. Ciudad de México: Dirección de Movilidad y Transporte de México. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187221/diagnosticoabordo_1_260117.pdf

DieselNet. (junio de 2013). *Japanese 10-15 Mode*. Obtenido de https://dieselnet.com/standards/cycles/jp_10-15mode.php

El Comercio. (06 de enero de 2022). *Cada año se suman 17 539 vehículos nuevos en Quito*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/suman-vehiculos-nuevos-quito-2022.html>

Estévez, J. (19 de agosto de 2013). *Inteligencia artificial, robótica, historia y algo más*. Obtenido de ¿Qué son y qué demuestran los ciclos de conducción? (Parte II): https://jeibros.blogspot.com/2013/08/que-son-y-que-demuestran-los-ciclos-de_29.html

González Oropeza, R. (2005). Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 6(3), 147 - 162. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432005000300147&lng=es&tlng=es.

Hunga, W.-T., Tam, K.-M., Lee, C.-P., Chan, L.-Y., & Cheung, C.-S. (2005). Comparison of driving characteristics in cities of Pearl River Delta, China. *Atmospheric Environment*, 39(4), 615-625. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.10.019>

Jiménez Alonso, F., Román, A., & López Martínez, J. M. (2013). Determinación de ciclos de conducción en rutas urbana fijas. *DYNA*, 88(6), 681-688. doi:<https://recyt.fecyt.es/index.php/DY/article/view/43170>

JUPYTER-ORG. (2021). Obtenido de <https://jupyter.org/>

- Leguísamo, J. C., Llanes Cedeño, E., Ortega, C., Santiago, & Rocha Hoyos, J. C. (2020). Evaluación de la conducción eficiente en un motor de encendido provocado, a 2810 msnm. *Información tecnológica*, 31(1), 227-236. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000100227>
- Naylampmechatronics. (12 de 2016). *Configuración del módulo bluetooth HC05*. Obtenido de https://naylampmechatronics.com/blog/24_configuracion-del-modulo-bluetooth-hc05-usando-comandos-at.html
- Quinchimbla Pisuña, F. E., & Solís Santamaría, J. M. (2017). *Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera y combinado para evaluar el rendimiento real del combustible de un vehículo con motor de ciclo Otto en el Distrito Metropolitano De Quito*. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17000>
- Restrepo, A., Carranza, Y., & Tibaquirá, J. (2007). Design and application of methodology to determine vehicular conduction cycles in Pereira city. *Scientia et Technica*, 8(37), 229-234. Obtenido de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4071/2241>
- Rodríguez, M. (2021). *Determinación de ciclos de conducción en la ciudad de Quito-Ecuador para un vehículo categoría M1*. Quito: Universidad SEK.
- Saad, Z., Hafizi Norma, N., Efendi Md Saad, A., Nazmie Osman, F., & Azman Ahmad, K. (2009). Design and Development of Universal Data Logger for Testing Vehicle Performance. *Scientific Research Journal*, 6(2), 45-54. Obtenido de <https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/12928>

- Sistema de Información sobre Comercio Exterior (SICE). (2022). *Resoluciones del grupo común del Mercado Común del Sur (MERCOSUR)*. Organización de Estados Americanos. Obtenido de <http://www.sice.oas.org/trade/mrcsrs/resolutions/an3594.asp>
- Smith, G. M. (03 de abril de 2020). *DEWESoft*. Obtenido de ¿Qué es un Data Logger y cómo funciona?: <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-un-data-logger>
- Valdez Aguilera, A. (diciembre de 2004). *Desarrollo de ciclos de conducción vehicular en el municipio de Naucalpan*. (Tecnológico de Monterrey) Obtenido de https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/572354/DocsTec_2175.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vega, D., & Parra Narváez, R. (2014). Caracterización de la intensidad media diaria y de los perfiles horarios del tráfico vehicular del Distrito Metropolitano de Quito. 6(2). doi:<https://doi.org/10.18272/aci.v6i2.186>

ANEXOS

Anexo 1. Cálculo de la ecuación

				Velocidad Máx (km/h)	Velocidad Prom (km/h)	Aceleración Positiva Máx (g)	Aceleración Positiva Prom (g)	Distancia recorrida (km)	Paradas Totales	Tiempo de recorrido (s)	Combustible consumido (L)	Tiempo Ralenti [s]	Tiempo Aceleración Positiva [s]	Total
			W	0.25	1	0.75	1	1	0.25	1	1	0.75	1	8
			P_{urb}	53	16.78	0.17373	0.05572	5.7812	15	1260	0.78495	453	398	
			P_{ij}	51	5.53	0.24909	0.06445	5.3296	20	1305	0.77190	447	323	
			Y	0	0.08377	0.04067	0.01957	0.0098	0.00922	0.00444	0.00208	0.00127	0.02363	0.19575
Urbano	1	Mañana	P_{ij}	49	15.17	0.14383	0.05554	5.3508	16	1193	0.73660	474	372	
			Y	0.00251	0.01198	0.01613	0.00042	0.0093	0.00112	0.00667	0.00770	0.00432	0.00825	0.06841
		Mediodía	P_{ij}	51	10.48	0.16095	0.04984	5.5050	20	1588	0.85033	876	390	
			Y	0.001336027	0.04694	0.00689	0.01319	0.0060	0.00922	0.03251	0.01041	0.08749	0.00260	0.21657
		Tarde	P_{ij}	48	22.61	0.14935	0.04415	5.4969	8	887	0.61246	229	379	
			Y	0.00310	0.04349	0.01315	0.02597	0.0061	0.01506	0.03702	0.02747	0.04637	0.00606	0.22384
	2	Mañana	P_{ij}	52	21.94	0.15050	0.05091	5.6049	9	921	0.62668	220	340	
			Y	0.00075	0.03847	0.01253	0.01079	0.0038	0.01304	0.03365	0.02520	0.04823	0.01830	0.20478
		Mediodía	P_{ij}	52	18.31	0.15172	0.04651	5.6072	13	1102	0.67058	312	409	
			Y	0.00075	0.01147	0.01187	0.02066	0.0038	0.00495	0.01569	0.01821	0.02920	0.00336	0.11993
		Tarde	P_{ij}	56	21.52	0.15189	0.05583	5.5324	12	926	0.74453	241	360	
			Y	0.00160	0.03537	0.01178	0.00024	0.0054	0.00697	0.03315	0.00644	0.04389	0.01202	0.15683
	3	Mañana	P_{ij}	51	15.82	0.16170	0.06162	5.5973	21	1274	0.82776	495	397	
			Y	0.001336027	0.00710	0.00649	0.01323	0.0040	0.01124	0.00137	0.00682	0.00866	0.00041	0.06063
		Mediodía	P_{ij}	49	12.40	0.17005	0.04878	5.5292	20	1606	0.88726	590	444	
			Y	0.00251	0.03258	0.00198	0.01557	0.0054	0.00922	0.03430	0.01629	0.02832	0.01434	0.16055
		Tarde	P_{ij}	91	66.22	0.1285	0.02580	27.244	0	1560	1.8078	0	774	
			Y	0.00251	0.03258	0.00198	0.01557	0.0054	0.00922	0.03430	0.01629	0.02832	0.01434	0.16055
Carretera	1	Mañana	P_{ij}	82	65.27	0.1173	0.02071	25.938	0	1430	1.6954	0	580	
			Y	0.00316	0.00180	0.00815	0.02468	0.00599	0.03125	0.01041	0.00777	0.09375	0.03130	0.21827
		Mediodía	P_{ij}	89	63.14	0.0948	0.02134	25.942	0	1479	1.7409	0	732	
			Y	0.00076	0.00581	0.02458	0.02159	0.00597	0.03125	0.00649	0.00462	0.09375	0.00674	0.20157
		Tarde	P_{ij}	89	61.50	0.1482	0.0278	25.933	1	1516	1.6843	1	802	
			Y	0.00076	0.00890	0.01438	0.00965	0.00602	0.03906	0.00352	0.00853	0.17411	0.00457	0.26950
	2	Mañana	P_{ij}	87	62.63	0.0921	0.0239096	25.955	0	1494	1.7437	0	610	
			Y	0.00145	0.00676	0.02653	0.00916	0.00591	0.03125	0.00528	0.00443	0.09375	0.02645	0.21098
		Mediodía	P_{ij}	87	66.35	0.1614	0.0229130	25.962	1	1409	1.7065	1	751	
			Y	0.00145	0.00025	0.02402	0.01399	0.00588	0.03906	0.01210	0.00700	0.17411	0.00367	0.28154
		Tarde	P_{ij}	85	58.39	0.1511	0.02757	25.948	0	1599	1.7686	0	817	
			Y	0.00214	0.01478	0.01652	0.00859	0.00595	0.03125	0.00313	0.00270	0.09375	0.00699	0.18579
	3	Mañana	P_{ij}	89	62.68	0.1135	0.0249728	25.957	1	1496	1.7443	1	777	
			Y	0.00076	0.00669	0.01091	0.00401	0.00591	0.03906	0.00512	0.00439	0.17411	0.00053	0.25149
		Mediodía	P_{ij}	88	69.31	0.0936	0.0228951	25.956	0	1348	1.5748	0	689	
			Y	0.00111	0.00584	0.02545	0.01408	0.00591	0.03125	0.01698	0.01611	0.09375	0.01369	0.22416
		Tarde	P_{ij}	86	58.32	0.1292	0.0290	25.932	1	1600	1.8365	1	874	
			Y	0.00179	0.01492	0.00052	0.01570	0.00602	0.03906	0.00321	0.00199	0.17411	0.01620	0.27352
Combinado	1	Mañana	P_{comb}	88	29.06	0.1664	0.04416	12.869	21	1747	1.2857	482	634	
			Y	0.00311	0.01176	0.00534	0.01323	0.00639	0.00267	0.00552	0.00548	0.01346	0.00626	0.07323
		Mediodía	P_{ij}	90	22.94	0.1578	0.04636	12.278	22	1930	1.3419	733	578	
			Y	0.00081	0.02632	0.00486	0.00622	0.00574	0.00184	0.01308	0.00547	0.04887	0.01099	0.12420
		Tarde	P_{ij}	81	20.30	0.1745	0.0425	12.244	30	2173	1.3972	631	764	
			Y	0.00240	0.03767	0.00457	0.00470	0.00607	0.01387	0.03046	0.01084	0.02902	0.02569	0.16529
	2	Mañana	P_{ij}	86	30.21	0.1372	0.0417454	12.251	15	1467	1.1359	304	549	
			Y	0.00062	0.00493	0.01646	0.00684	0.00600	0.00869	0.02005	0.01456	0.03460	0.01671	0.12946
		Mediodía	P_{ij}	83	38.91	0.1350	0.0368855	12.293	6	1135	0.9681	145	497	
			Y	0.00169	0.04236	0.01769	0.02059	0.00560	0.02223	0.04380	0.03087	0.06554	0.02697	0.27733
		Tarde	P_{ij}	82	22.16	0.1399	0.0385	12.297	33	2015	1.3175	572	726	
			Y	0.00204	0.02968	0.01496	0.01605	0.00556	0.01838	0.01916	0.00310	0.01754	0.01820	0.14468
	3	Mañana	P_{ij}	80	30.60	0.1791	0.0458653	12.229	10	1443	1.1834	443	512	
			Y	0.00275	0.00664	0.00711	0.00483	0.00622	0.01621	0.02176	0.00995	0.00756	0.02401	0.10703
		Mediodía	P_{ij}	91	33.13	0.1682	0.0450174	12.240	7	1331	1.1189	282	512	
			Y	0.00116	0.01750	0.00100	0.00243	0.00611	0.02072	0.02978	0.01621	0.03888	0.02401	0.15780
		Tarde	P_{ij}	80	24.51	0.1779	0.0422	12.263	18	1812	1.3276	469	692	
			Y	0.00275	0.01957	0.00647	0.00563	0.00589	0.00418	0.00464	0.00408	0.00250	0.01149	0.06720