

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

*Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniera
Mecánica Automotriz e Ingeniero
Mecánico Automotriz*

PROYECTO TÉCNICO:

**“ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE NOX DURANTE EL ARRANQUE SOBRE
PENDIENTES MEDIANTE EL ESTUDIO DE SEÑALES PID’S EN UN
CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L PARA LA DETERMINACIÓN DE SU
INFLUENCIA EN LAS EMISIONES CONTAMINANTES EN LA CIUDAD DE
CUENCA”**

AUTORES:

JOSELYN ELIZABETH MORALES ESPINOZA

GABRIEL MOISÉS RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ

TUTOR:

ING. NÉSTOR DIEGO RIVERA CAMPOVERDE, MSc.

CUENCA - ECUADOR

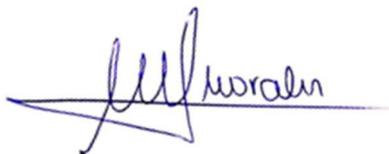
2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Joselyn Elizabeth Morales Espinoza con documento de identificación N° 0705129013 y Gabriel Moisés Rodríguez Fernández con documento de identificación N° 0105029631, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE NOX DURANTE EL ARRANQUE SOBRE PENDIENTES MEDIANTE EL ESTUDIO DE SEÑALES PID’S EN UN CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L PARA LA DETERMINACIÓN DE SU INFLUENCIA EN LAS EMISIONES CONTAMINANTES EN LA CIUDAD DE CUENCA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar el título de: *Ingeniera Mecánica Automotriz e Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En la aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, diciembre del 2020



Joselyn Elizabeth Morales Espinoza
C.I. 0705129013



Gabriel Moisés Rodríguez Fernández
C.I. 0105029631

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE NOX DURANTE EL ARRANQUE SOBRE PENDIENTES MEDIANTE EL ESTUDIO DE SEÑALES PID’S EN UN CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L PARA LA DETERMINACIÓN DE SU INFLUENCIA EN LAS EMISIONES CONTAMINANTES EN LA CIUDAD DE CUENCA”**, realizado por Joselyn Elizabeth Morales Espinoza y Gabriel Moisés Rodríguez Fernández, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, diciembre del 2020

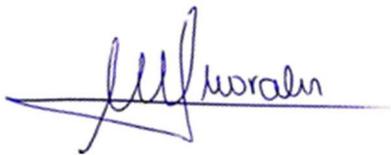


Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, MSc.
C.I. 0103898995

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Joselyn Elizabeth Morales Espinoza con documento de identificación N° 0705129013, y Gabriel Moisés Rodríguez Fernández, con documento de identificación N° 0105029631, autores del trabajo de titulación: **“ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE NO_x DURANTE EL ARRANQUE SOBRE PENDIENTES MEDIANTE EL ESTUDIO DE SEÑALES PID_s EN UN CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L PARA LA DETERMINACIÓN DE SU INFLUENCIA EN LAS EMISIONES CONTAMINANTES EN LA CIUDAD DE CUENCA”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, diciembre del 2020



Joselyn Elizabeth Morales Espinoza
C.I. 0705129013



Gabriel Moisés Rodríguez Fernández
C.I. 0105029631

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres José y Emérita, por direccionarme y aconsejarme sabiamente, impulsándome cada día a ser mejor, quienes estuvieron en todo momento presentes en cada paso que he dado.

A Thalía, por cuidarme y brindarme la claridad de la vida, gracias por llenarme de resplandor y vigor desde el cielo.

Para Iker, mi motor y mi luz.

Joselyn

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres Gladys y Jorge, los pilares fundamentales de mi vida, quienes siempre me han apoyado para cumplir mis sueños y ayudaron a mi crecimiento personal y académico.

A mis hermanos Diego y Pedro, por cuidarme y guiarme durante los momentos más difíciles.

Para Diego Emilio y Victoria Paz, los motores de la familia.

Gabriel

AGRADECIMIENTO

A Dios y la Virgen, por guiarme y bendecirme cada día.

A mi mamá Emérita, por ser mi mayor ejemplo y motivación, por enseñarme la fuerza y el valor de luchar por tus sueños, gracias por creer en mí.

A mi papa José, por siempre estar ahí, por inspirarme y demostrarme el valor del trabajo duro, perseverancia y honestidad, se logran grandes cosas.

A mis hermanos Christian y Andrea, por ser mis modelos a seguir, gracias por el amor y apoyo inagotable.

A Lissette, por todo lo que haces por mí, por ser mi fortaleza y no dejarme decaer, gracias por ser y estar siempre.

A Iker, por ser la razón de mis alegrías, por siempre sacarme una sonrisa y tu inmenso amor.

A mis familiares y amigos, por animarme y darme aliento para continuar.

De manera muy especial al Ing. Néstor Rivera, por su ilustración y guía en el desarrollo de este proyecto y por su disposición en este tiempo.

Joselyn

AGRADECIMIENTO

A Dios y la Virgen, por guiarme y bendecirme cada día.

A mi mami Gladys, por ser mi ejemplo de superación personal y profesional.

A mi papi Jorge, por enseñarme que la persistencia no tiene límites.

A mis hermanos Diego y Pedro, por ayudarme en todo lo que necesite durante la universidad.

A Karla y Daniela, por brindarme siempre su apoyo.

A mis familiares y amigos, por siempre estar en los momentos más complicados.

Y por último mi profundo agradecimiento al Ing. Néstor Rivera, por siempre compartir su amplio conocimiento, por su confianza y tiempo prestado para la realización de este proyecto.

Gabriel

RESUMEN

El presente proyecto precede a inducir conocimientos de estimación de las emisiones de NOx durante el arranque sobre pendientes mediante el estudio de señales PIDs captados por un dispositivo Freematic ONE+, paulatinamente se utilizó información del sistema de posicionamiento (GPS). Recopilando de las emisiones contaminantes simultáneamente mediante un Portable Emissions Measurement System (PEMS). Para la adquisición de datos se empleó pruebas de ciclos conducción real en rutas con pendientes entre 27.16% y -38.59%, permitiendo obtención de información según las características anteriormente descritas.

Una vez constituida la base de datos, se procedió a estimar relaciones entre las variables de análisis, aplicando técnicas de aprendizaje automático mediante el procesamiento del software MATLAB. Enfocado en mostrar el índice de NOx en cada punto de la pendiente al arrancar, se estimó el impacto que tiene la aceleración entre los principales parámetros de conducción. Siendo necesario la consideración de la influencia del arranque en pendientes durante las predicciones de emisiones contaminantes de los vehículos y en su consumo de combustible. Los resultados muestran que existe una fuerte correlación entre las RPM y las emisiones de NOx durante el arranque. Al realizarse la maniobra de arranque en carreteras con inclinaciones que van desde el 2.5% al 6.4% se produce un incremento del 60.45% de emisiones contaminantes de NOx. Por otro lado, existe una disminución de los valores en las emisiones contaminantes de NOx en un 87%, cuando se producen arranques durante el descenso de carreteras cuyas inclinaciones van desde -4.9% hacia -0.9%.

Keywords: *Pendiente, Arranque, NOx, PEMS*

ABSTRACT

The present project precedes the knowledge of estimating NO_x emissions during start up on slopes by studying PIDs signals captured by a Freematics ONE + device. Information from the positioning system (GPS) was gradually used. Collecting pollutant emissions simultaneously using a Portable Emissions Measurement System (PEMS). For data acquisition, tests of real driving cycles were used on routes with slopes between 27.16% and -38.59%, allowing obtaining information according to the characteristics previously described.

Once the database was constituted, we proceeded to estimate relationships between the analysis variables, applying machine learning techniques through MATLAB software processing. Focused on showing the NO_x index at each point of the slope in the start up, the impact of acceleration among the main driving parameters was estimated. It is necessary to consider the influence of starting on slopes during the predictions of polluting emissions from vehicles and on their fuel consumption. The results show that there is a strong correlation between RPM and NO_x emissions during start up. When the start up maneuver is carried out on roads with slopes ranging from 2.5% to 6.4%, there is an increase of 60.45% in polluting of the NO_x emissions. In another situation, there is a decrease in the values of NO_x polluting emissions by 87%, when start ups occur during the descent of roads whose slopes range from -4.9% to -0.9%.

Keywords: *Slope, Start up, NO_x, PEMS*

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 17 |
| 2. PROBLEMA | 17 |
| 1.1. Antecedentes | 17 |
| 1.2. Importancia y alcances | 18 |
| 3. OBJETIVOS..... | 18 |
| 3.1. Objetivo General | 18 |
| 3.2. Objetivos Específicos..... | 18 |
| 4. REVISIÓN DE LA LITERATURA..... | 19 |
| 4.1. Óxidos de Nitrógeno (NOx)..... | 19 |
| 4.2. Parámetros de Identificación (PIDs) | 19 |
| 4.3. Diagnostico a Bordo (OBD II)..... | 20 |
| 4.4. Freematics ONE+..... | 21 |
| 4.5. Analizador de Gases..... | 22 |
| 4.6. Analizador Brain Bee ags-688 | 23 |
| 4.7. Real Driving Emissions (RDE)..... | 24 |
| 4.8. Machine Learning | 24 |
| 4.8.1. Aprendizaje supervisado | 25 |
| 4.8.2. Aprendizaje no supervisado..... | 25 |
| 4.9. Arranque..... | 26 |
| 4.9.1. Las Fuerzas Opositoras al Movimiento. | 26 |
| 5. MARCO METODOLÓGICO | 27 |
| 5.1. Selección de Rutas | 27 |
| 5.2. Características del vehículo..... | 30 |
| 5.3. Mediciones de Datos en Pruebas de Conducción Real | 31 |
| 5.3.1. PEMS | 32 |
| 5.3.2. Recopilación de PIDs..... | 34 |
| 5.4. Tratamiento de los datos obtenidos..... | 35 |
| 5.5. Cálculo de la pendiente de la carretera..... | 38 |
| 5.6. Cálculo de la aceleración..... | 40 |
| 5.7. Discriminador de Arranque..... | 41 |
| 5.8. Variables discriminadas durante el arranque del vehículo..... | 48 |
| 5.9. Importancia de las variables medidas..... | 52 |

| | | |
|------|--|----|
| 6. | ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 56 |
| 6.1. | Variables más influyentes en las emisiones contaminantes de NOx | 56 |
| 6.2. | Variables mediamente influyentes en las emisiones contaminantes de NOx | 59 |
| 6.3. | Variables poco influyentes en las emisiones contaminantes de NOx | 63 |
| 7. | CONCLUSIONES..... | 67 |
| 8. | RECOMENDACIONES | 69 |
| 9. | BIBLIOGRAFÍA..... | 70 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Conector OBD II (DLC)..... | 21 |
| Figura 2: Freematics ONE + con GPS..... | 21 |
| Figura 3: Esquema de un Analizador de Gases. | 23 |
| Figura 4: Analizador de Gases Brain Bee ags-688..... | 23 |
| Figura 5: Técnicas de aprendizaje automatizado..... | 25 |
| Figura 6: Esquema de un Analizador de Gases. | 26 |
| Figura 7: Metodología a aplicar..... | 27 |
| Figura 8: Ruta 1 en Google Earth..... | 28 |
| Figura 9: Ruta 2 en Google Earth..... | 28 |
| Figura 10: Ruta 3 en Google Earth..... | 29 |
| Figura 11: Ruta 4 en Google Earth..... | 29 |
| Figura 12: Vehículo de prueba acondicionado con los equipos de medición..... | 32 |
| Figura 13: Vehículo de prueba acondicionado con los equipos de medición..... | 32 |
| Figura 14: Analizador acoplado al PC y recopilación de datos mediante Software omniBUS 800..... | 33 |
| Figura 15: Acoplamiento de la sonda al vehículo de pruebas..... | 33 |
| Figura 16: Conexión del inversor de corriente de DC a AC..... | 34 |
| Figura 17: Conexión del Freematics One+ en el puerto OBD II..... | 34 |
| Figura 18: Archivo proveniente del Freematics One+..... | 35 |
| Figura 19: Datos provenientes del PEMS y Data Logger..... | 36 |
| Figura 20: Porcentaje de ajuste de la ANN de cada señal de NOx..... | 37 |
| Figura 21: Parámetros de la Ruta 1 y Ruta 2..... | 39 |
| Figura 22: Parámetros de la Ruta 3 y Ruta 4..... | 39 |
| Figura 23: Aceleraciones durante cada ruta..... | 41 |
| Figura 24: Ruta para entrenamiento del clasificador..... | 42 |
| Figura 25: Clasificación de las marchas del vehículo en la ruta de entrenamiento..... | 42 |
| Figura 26: Primera matriz de confusión de la máquina de soporte vectorial..... | 43 |
| Figura 27: Clasificación de las marchas del vehículo en las rutas de estudio..... | 44 |
| Figura 28: Discriminador de Neutro-Primera marcha..... | 44 |
| Figura 29: Segunda matriz de confusión de la máquina de soporte vectorial..... | 45 |
| Figura 30: Transformación del Vector Resultante..... | 46 |
| Figura 31: Transformación del Vector Discriminador..... | 47 |
| Figura 32: Discriminador de Arranque..... | 47 |
| Figura 33: PIDs-Discriminador de arranque..... | 48 |
| Figura 34: PIDs-Discriminador de arranque continuación..... | 49 |
| Figura 35: Variables calculadas-Discriminador de arranque..... | 49 |
| Figura 36: NOx-Discriminador de arranque..... | 50 |
| Figura 37: PIDs durante el arranque del vehículo..... | 50 |
| Figura 38: PIDs durante el arranque del vehículo continuación..... | 51 |
| Figura 39: Variables calculadas durante el arranque del vehículo..... | 51 |
| Figura 40: Emisiones contaminantes de NOx durante el arranque del vehículo..... | 52 |
| Figura 41: Categorización del VSS durante el arranque..... | 53 |
| Figura 42: Número de niveles de cada predictor..... | 53 |
| Figura 43: Dependencia entre predictores..... | 54 |
| Figura 44: Estimación de la importancia de cada variable predictora..... | 55 |

| | |
|--|----|
| Figura 45: Emisiones contaminantes RPM-NO _x -VSS..... | 57 |
| Figura 46: Emisiones contaminantes VSS-NO _x -ECT..... | 58 |
| Figura 47: Emisiones contaminantes TPS-NO _x -RPM..... | 59 |
| Figura 48: Emisiones contaminantes IAT-NO _x -Aceleración..... | 60 |
| Figura 49: Emisiones contaminantes MAP-NO _x -RPM..... | 61 |
| Figura 50: Emisiones contaminantes Pendiente-NO _x -Tps..... | 62 |
| Figura 51: Emisiones contaminantes Pendiente-NO _x -Tps..... | 63 |
| Figura 52: Emisiones contaminantes ECT-NO _x -Tps..... | 64 |
| Figura 53: Emisiones Contaminantes Aceleración-NO _x -Map..... | 65 |
| Figura 54: Emisiones Contaminantes O ₂ -NO _x -RPM..... | 66 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: PIDs en el modo de operación..... | 19 |
| Tabla 2: Especificaciones del Freematics ONE+ Model A..... | 22 |
| Tabla 3: Tabla 3 Rango de mediciones del analizador Brain Bee AGS-688..... | 24 |
| Tabla 4: Características de las rutas seleccionadas..... | 30 |
| Tabla 5: Características técnicas del Aveo Family..... | 30 |
| Tabla 6: Características de la prueba en las rutas seleccionadas..... | 31 |
| Tabla 7: Valores picos de las rutas seleccionadas..... | 40 |
| Tabla 8: Lógica de la operación matemática..... | 45 |
| Tabla 9: Número de niveles por predictor..... | 54 |
| Tabla 10: Importancia de cada predictor..... | 56 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación 1: Espacio..... | 38 |
| Ecuación 2: Pendiente de la carretera en grados decimales..... | 38 |
| Ecuación 3: Pendiente de la carretera en porcentaje..... | 38 |
| Ecuación 4: Aceleración lineal del vehículo..... | 40 |

1. INTRODUCCIÓN

Parámetros y variables generadas durante la conducción como son la topografía, temperatura, altitud, pendiente, entre otros, están relacionados a la emisión de NOx (Ricardo Suarez-Bertoa, 2018). Estudios (Costagliola, Costabile, & Prati, 2018) (Srikanth Prakash) determinan que el gradiente de la carretera tiene un efecto significativo en las emisiones contaminantes del vehículo: un gradiente positivo durante la conducción del vehículo genera una carga adicional, y un gradiente negativo una carga reducida. Las pendientes positivas influyen en gran medida en la demanda de combustible, mientras que las emisiones de NOx se reducen considerablemente en pendientes negativas (Murena, Prati, & Costagliola, 2019). Las diferencias en la generación de gases contaminantes dependen también de características propias de los vehículos tales como el modelo, peso, tipo de combustible, tecnología. La diferencia de los resultados de mediciones de gases entre ciclos reales de conducción y en laboratorios con procedimientos preestablecidos en el dinamómetro (Fontaras, Zacharof, & BiagioCiuffo, 2017), en donde la principal diferencia radica en las emisiones de NOx (Kurtykaa & Pielechaa, 2019).

En otras investigaciones el NOx aumenta hasta 5 veces en pendientes entre 4% y 5 % con respecto a gradientes ≤ 0 % (Kaishan Zhang, 2012) (Prati, Meccariello, Ragione, & Costagliola, 2015) .

2. PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Con el aumento progresivo de la contaminación del aire mediante la generación de gases contaminantes, se afecta de manera exponencial a la calidad del aire (EMOV, Informe de calidad del aire Cuenca, 2018) (EMOV, Inventario de Emisiones Atmosféricas del Cantón Cuenca, 2014) y como consecuencia al medio ambiente, a más de la expansión del parque automotor que se da con mayor rapidez, siendo participe en gran proporción en la contaminación del ambiente, por las emisiones contaminantes producidas por los vehículos que poseen motores de combustión interna. Se pone especial énfasis a la emisión de Óxidos Nitrosos (NOx), uno de los gases contaminantes más nocivos, ya que al entrar en contacto con la atmosfera forma compuestos que constituyen parte de la lluvia ácida, generando un deterioro en el ecosistema (Cox & Blaszcak, 1999).

En tal virtud, la falta de estudios, acerca de las emisiones de NOx en las condiciones de geografía y altitud que posee la ciudad de Cuenca, no proporcionan información del impacto de las emisiones en el ambiente de la misma. Enfocando el estudio a una situación crítica como es el arranque sobre pendientes con diferentes gradientes cuyas inclinaciones de +4% y +5% emiten 5.5 veces el límite del EURO 5 (0.180 g/km) en NOx (Costagliola, Costabile, & Prati, 2018). Por ende, existe una fuerte correlación entre los gradientes de las vías y las emisiones de NOx.

1.2. Importancia y alcances

Esta investigación tiene la finalidad de generar nuevos conocimientos referentes a la reducción de emisiones de NOx, por medio del análisis durante el arranque sobre pendientes de vehículos con motores de encendido provocado (vehículos a gasolina). Con la base de datos y el análisis realizado se mostrará el comportamiento real del vehículo que circulan por la ciudad. Lo cual, permitirá reducir niveles de incertidumbre con respecto a emisiones contaminantes, por parte de las instituciones dedicadas a la materia de transporte terrestre y tránsito mediante el control y regularización en los índices de contaminación de los gases NOx, representando el tráfico vehicular el 71.2 % de las emisiones del mismo (EMOV, Informe de calidad del aire Cuenca, 2018). Que tienen un efecto negativo en la salud y el medio ambiente. Adicionalmente los datos obtenidos en esta investigación podrán ser de utilidad para futuras investigaciones.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Estimar las emisiones de NOx durante el arranque sobre pendientes mediante el estudio de señales PIDs en un Chevrolet Aveo Family 1.5L para la determinación de su influencia en las emisiones contaminantes en la ciudad de Cuenca.

3.2. Objetivos Específicos

- Analizar el estado del arte mediante revisiones bibliográficas para la determinación de conceptos importantes de estudio.
- Obtener datos de las pruebas de emisiones de conducción real (RDE) a través del OBD II mediante un diseño experimental multivariable para obtención de señales PIDs.
- Evaluar los datos obtenidos mediante métodos estadísticos multivariados en el software de ingeniería “MATLAB” para la obtención de una base de datos.

- Estudiar el factor de emisiones durante el arranque sobre pendientes mediante la representación estadística para la determinación de la influencia en las emisiones de NOx en la ciudad de Cuenca.

4. REVISIÓN DE LA LITERATURA

4.1. Óxidos de Nitrógeno (NOx)

El óxido nítrico (NO) se produce por la composición entre el nitrógeno (N₂) y el oxígeno (O₂). Y a su vez, la oxidación del NO genera dióxido de nitrógeno (NO₂), un gas reactivo, irritante y tóxico en concentraciones altas (EMOV, Informe de calidad del aire Cuenca, 2018). Ocasionados por la combustión y oxidación del nitrógeno de los carburantes. En elevados índices de condensación se desarrollan afecciones al sistema respiratorio.

El término “óxidos de nitrógeno” (NOx) se origina por la agrupación del NO y NO₂; estableciendo además la formación de ácido nítrico (HNO₃), el cual se desplaza conjuntamente con la lluvia o por la gravedad, componiendo en parte la lluvia ácida. Acotando la relevancia del papel que desempeñan las emisiones contaminantes en el deterioro de la salud humana y en el cambio climático (Cédric et al., 2016).

4.2. Parámetros de Identificación (PIDs)

Los parámetros de identificación especifican los datos recibidos por los sensores en condiciones de funcionamiento. La SAE establece códigos PIDs para cada modo de operación establecido por el estándar J1939, el fabricante tiene facultad de adicionar modos de operación o códigos de su autoría. (SAE, 2014)

En la Tabla 1 se expone los PIDs en el modo de operación 01, detallando los PIDs utilizados en la presente investigación.

Tabla 1: PIDs en el modo de operación.

Fuente: (SAE, 2014).

| PID | Bytes | Detalle | V. mínimo | V. máximo | Unidad de medida |
|-----|-------|--|-----------|-----------|------------------|
| 5 | 1 | Temperatura del refrigerante del motor | -40 | 215 | °C |
| 6 | 1 | Ajuste a corto plazo del combustible | -100 | 99.2 | % |

| | | | | | |
|----|---|---|--------------------------|------------------------|---------|
| 7 | 1 | Ajustar a largo plazo del combustible | Reducción de combustible | Aumento de combustible | |
| 0B | 1 | Presión absoluta del múltiple de admisión | 0 | 255 | kPa |
| 0C | 2 | Revoluciones por minuto del motor | 0 | 16,383.75 | rpm |
| 0D | 1 | Velocidad del vehículo | 0 | 255 | km/h |
| 0F | 1 | Temperatura del aire de admisión. | -40 | 215 | °C |
| 10 | 2 | Rapidez del flujo del aire MAF. | 0 | 655.35 | gr/seg |
| 11 | 1 | Posición de la mariposa de aceleración | 0 | 100 | % |
| 14 | 2 | Sensor de oxígeno 1 | 0 | 1.275 | voltios |
| | | A: Voltaje | -100 | 99.2 | % |
| | | B: Ajuste de combustible | | | |

4.3. Diagnostico a Bordo (OBD II)

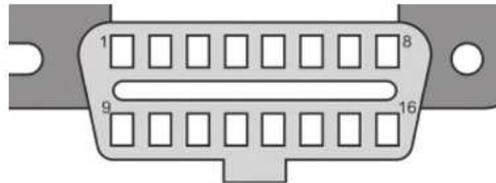
El diagnostico a bordo OBD II (On Board Diagnostics) surge en California en 1994; el cual permite tener un mayor control sobre las emisiones de los gases contaminantes, a través de los sensores que brindan información relevante e indican un diagnóstico del funcionamiento del vehículo (Gárate, 2018). Permite leer códigos de falla (DTC's), obtiene un registro en tiempo real de los sensores y de condiciones de fallos, los cuales coadyuva a las emisiones de gases de escape (Molina, 2020).

Según (Sánchez, 2017), los cinco principales protocolos para la comunicación OBD II, los cuales son homologados tanto por la EPA (Agencia De Protección Al Ambiente) como por la UE (Unión Europea) son:

- SAE J1850 PWM
- SAE J1850 VPW
- ISO 9141-2

- ISO 14230-4 (KWP2000)
- CAN (ISO 11898/15765)

El conector OBD II también conocido como Diagnostic Link Conector (DLC) que se muestra en la Figura 1 tiene la siguiente distribución estandarizada de pines:



| OBD II PIN | DESCRIPCIÓN | OBD II PIN | DESCRIPCIÓN |
|------------|--------------------------------|------------|--------------------------|
| 1 | Libre para Fabricante | 9 | Libre para el Fabricante |
| 2 | SAE-J1850 (BUS+) | 10 | J1859 (Bus -) |
| 3 | Libre para Fabricante | 11 | Libre para el Fabricante |
| 4 | Conexión a tierra del vehículo | 12 | Libre para el Fabricante |
| 5 | Conexión a tierra de la señal | 13 | Libre para el Fabricante |
| 6 | CAN High (J-2284) | 14 | CAN Low (J-2284) |
| 7 | ISO 9141-2 Línea K | 15 | ISO 9141-2 Línea L |
| 8 | Libre para el Fabricante | 16 | Batería + |

Figura 1: Conector OBD II (DLC).

Fuente: (McCord, 2011).

4.4. Freematics ONE+



Figura 2: Freematics ONE + con GPS.

Fuente: (Huang, 2013).

El Freematics ONE+, en su modelo A, Figura 2, es un dispositivo programable de telemetría vehicular que funciona de manera independiente al vehículo con comunicación a la ECU. Es un dispositivo programable de código abierto, se especifica los PIDs, obtiene información en formato de extensión CSV., además de poder almacenarlos en una memoria interna o tarjeta micro SD (Cusco, 2019). Es importante señalar que el dispositivo tiene envergadura para transmitir los valores de los PIDs en tiempo real, a una frecuencia de muestreo entre 50 – 60 Hz.

Las características principales del Freematics ONE+ se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Especificaciones del Freematics ONE+ Model A.

Fuente: (Huang, 2013).

| | |
|-----------------------------------|--|
| Controlador Principal | Espressif ESP32 (Totalmente programable) |
| Transceptor Wi-Fi | Construido HT40 |
| Red inalámbrica | Bluetooth, contiene modo dual |
| Protocolo Suplementario | Co-procesador STM 32 |
| Sensor de movimiento | ICM 20948 (9-DOF) |
| Dispositivo GPS (GNSS) | M8030 10Hz (Receptor externo) |
| Módulos de celular (comunicación) | XBee Seat para 3G/4G |
| Potencia nominal @ 80Mhz | 20mA (Wifi Inactivo) 50mA (Wifi Activo) 180mA (Celular Activo) |

4.5. Analizador de Gases

El analizador de gases es un equipo que analiza la concentración de los gases provenientes del funcionamiento del motor de combustión interna alternativo, específicamente la concentración de los gases presentes después de la combustión de la mezcla de oxígeno y combustible.

Funciona con una bomba de vacío, que permite absorber una muestra de los gases de escape a través de una manguera flexible conectada al tubo de escape mediante la inserción de una sonda metálica. Su principio de funcionamiento, como se puede observar en la Figura 3, se basa en estimular el paso de una luz infrarroja por una celda que contiene la muestra de los gases de escape del vehículo. Seguidamente se detecta la energía absorbida por cada uno de los gases con el uso de detectores apropiados, los cuales contienen un filtro óptico que fomenta el paso de las longitudes de onda del espectro infrarrojo correspondiente a cada uno de los gases a medir. Finalmente, después del filtro la luz es censada por un sensor óptico electrónico para

concluir con la impresión de los resultados de las concentraciones de cada gas, o la visualización de los mismos en tiempo real por medio de una pantalla digital. (Augeri, 2011)

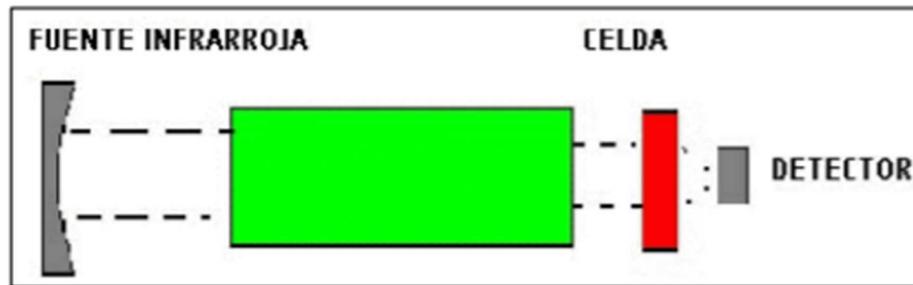


Figura 3: Esquema de un Analizador de Gases.

Fuente: (Augeri, 2011).

4.6. Analizador Brain Bee ags-688

El equipo Brain Bee ags-688 que se observa en la Figura 4 es un analizador de gases fabricado en Italia bajo las normas de calidad de la Comunidad Europea (Norma UNE 8251:2004) y TUV Norma Alemana de Calidad (ISO 9001). Tiene capacidad de medir HC, CO, CO₂, O₂ y NO_x. Conjuntamente con su conexión al computador por medio de USB o módulo Bluetooth BT-1, permite guardar los datos obtenidos en tiempo real (AGS-688).



Figura 4: Analizador de Gases Brain Bee ags-688.

Fuente: Autores.

En la Tabla 3 se plasma el rango de mediciones de los gases del analizador:

Tabla 3: Tabla 3 Rango de mediciones del analizador Brain Bee AGS-688.

Fuente: (AGS-688).

| Parámetros | Rango | Unidad | Resolución |
|---|--------------|---------------|-------------------|
| CO | 0 – 9.99 | % vol. | 0.01 |
| CO2 | 0 – 19.9 | % vol. | 0.1 |
| HC HEXANO | 0 – 9999 | PPM | 1 |
| O2 | 0 – 25 | % | 0.01 |
| NOx | 0 – 5000 | PPM | 1 |
| Lambda | 0.5 – 5.0 | - | 0.001 |
| Revoluciones Inductancia/ capacitancia | 300 – 9990 | rpm | 10 |
| Temperatura del aceite | 20 – 150 | °C | 1 |

4.7. Real Driving Emissions (RDE)

La prueba de emisión de conducción real (RDE) es un test que permite medir las emisiones de gases contaminantes del vehículo durante un trayecto. Es un ciclo de conducción dinámico sometido a condiciones reales de manejo, verificando las emisiones del escape. La prueba RDE está bajo las normas Euro, planteado los parámetros de aceleración, temperatura, topografía, carga útil y situaciones de tráfico aleatorias (Morales & Bonnel, 2018).

El RDE test procede con el sistema portátil de medición de emisiones (PEMS) conectado al automóvil permite establecer los niveles de emisiones de óxidos nitrógeno (NOx) y número de partículas (PN) en condiciones reales de conducción.

Presentando un porcentaje de error en las mediciones del 30%, el 10% (margen del 0.1) por el analizador de gases y 20% (margen 0.2) adicional que las segundas mediciones afectadas por las concentraciones NOx de las anteriores mediciones (Commission, 2019).

4.8. Machine Learning

El aprendizaje automático es un método que asimila la función de analizar y entrenar datos, con el fin de aprender para la predicción. El Machine Learning utiliza la base de datos y la adapta mediante expresiones matemáticas para instruir los resultados sin un modelo matemático definido. Para un mayor grado de certeza depende de un amplio número de muestras. Los algoritmos que emplea esta herramienta se basan en observar patrones repetitivos que originen información y adquieran técnicas de predicción más precisas. Se divide

en dos métodos: el aprendizaje supervisado y aprendizaje no supervisado (MathWorks, s.f.), como se muestra en la Figura 5.

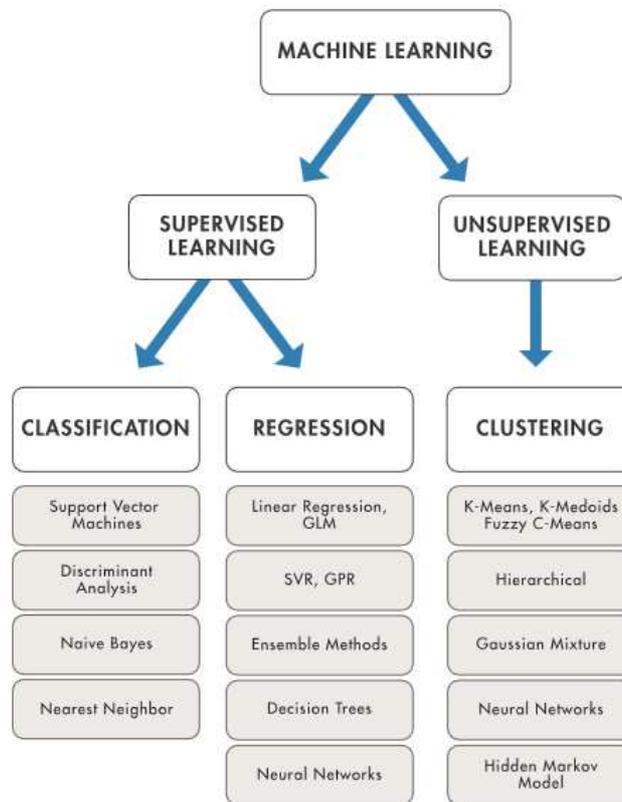


Figura 5: Técnicas de aprendizaje automatizado.

Fuente: (MathWorks, s.f.).

4.8.1. Aprendizaje supervisado

El aprendizaje supervisado (Supervised Learning) supervisado genera arquetipos predictivos a partir de datos de entrada y salida determinados, adiestrando el modelo de aprendizaje, por ende, ejecutar salidas futuras son alto grado de certeza. El aprendizaje supervisado ejecuta algoritmos de las técnicas de clasificación (classification) y regresión (regression) para desarrollar modelos predictivos, tales se observan en la Figura 5. La clasificación se utiliza en datos categóricos y la regresión en predicción de respuestas.

4.8.2. Aprendizaje no supervisado

El aprendizaje no supervisado (Unsupervised Learning) se base en determinar pautas intrínsecas en los datos. Se utiliza con el objeto de determinar las salidas a partir de solo datos de entrada. El agrupamiento (clustering) es la herramienta que elabora un análisis exploratorio, cuyo propósito es encontrar modelos en las bases de datos. Los algoritmos más comunes son los que se muestran en la Figura 5.

4.9. Arranque

El arranque es el instante que el motor genera una fuerza tractora en las ruedas, que vence los esfuerzos resistentes al movimiento, los cuales son generados por la interface neumático-calzada, como se observa en la Figura 6; como consecuencia a los esfuerzos sometidos a las ruedas, desde el motor, mediante la interacción del sistema de transmisión.

4.9.1. Las Fuerzas Opositoras al Movimiento.

4.9.1.1. Efecto de un desnivel longitudinal

El vehículo se desplaza sobre una superficie con inclinación θ , la componente del peso en sentido longitudinal, cuya fuerza ejerce oposición al movimiento al ascender sobre calzadas con gradientes, y en descenso como una adición positiva a la fuerza propulsora.

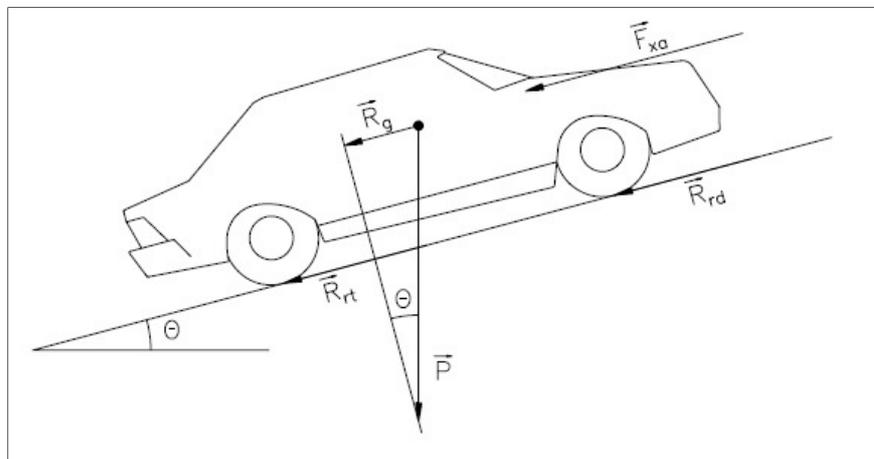


Figura 6: Esquema de un Analizador de Gases.

Fuente: (Aparicio, Vera, & Díaz, 1995).

4.9.1.2. Resistencia a la rodadura

La resistencia a la rodadura es el esfuerzo que actúa como fuerza retardadora al movimiento.

4.9.1.3. Resistencia aerodinámica

Es la fuerza retardadora ejercida por el flujo de aire que impacta en el área del plano perpendicular al eje longitudinal del vehículo.

4.9.1.4. Resistencia del motor y transmisión

Una fuerza de resistencia constituida por la inercia y pérdidas de energía causada por los componentes que constituyen el sistema de transmisión.

Tanto la potencia y el par resistente del motor, depende del número de revoluciones y la relación de la transmisión (Aparicio, Vera, & Díaz, 1995).

El presente estudio se centra en la estimación de emisiones durante el arranque sobre pendientes, por ende, el concepto de arranque en función a la investigación lo conformaran las marchas pertenecientes a neutro y primera marcha, antes de embragar y acoplar la segunda marcha; y valores indistintamente de cero, ya que puede estar el vehículo encendido y parado. Con el objeto de eliminar valores no deseados y fuera del rango de análisis descrito anteriormente se realiza la segregación de datos en el arranque sobre pendientes.

5. MARCO METODOLÓGICO

En esta sección se establece la obtención de datos; mediante los datos recopilados en el ciclo de conducción real con el Freematics One+ y el analizador de gases, adicionalmente se empleó datos del sistema de posicionamiento (GPS). Obteniendo parámetros de información del vehículo en distintas condiciones de operación, siendo el enfoque del proyecto durante el arranque sobre pendientes; los datos se centrarán en las vías cuyo grado de inclinación es el más adecuado de la ciudad de Cuenca para el análisis. Posteriormente se describe las diferentes fases del programa generado en el software de ingeniería MatLab, para realizar la comparativa entre las distintas señales PIDs y las emisiones de NOx. La figura 7 detalla de manera breve lo anteriormente descrito.

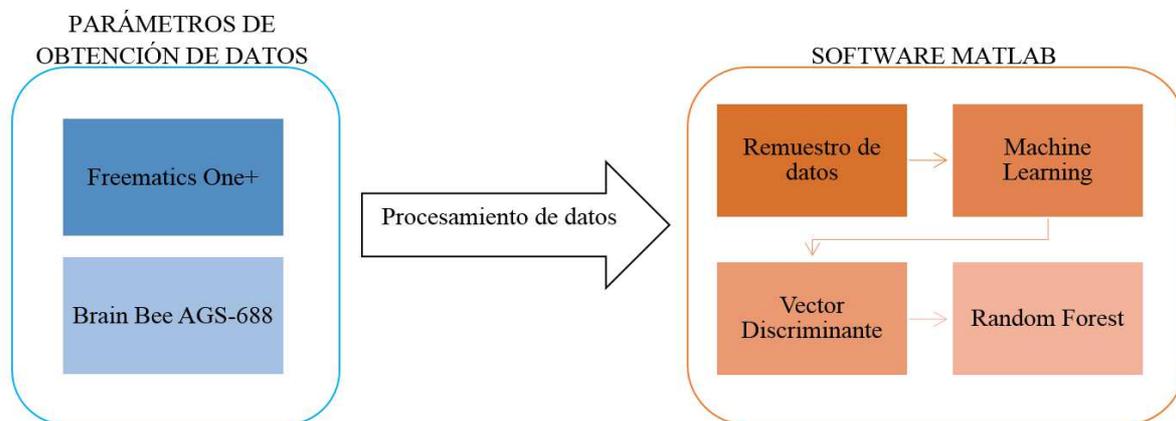


Figura 7: Metodología a aplicar.

Fuente: Autores.

5.1. Selección de Rutas

Siendo la situación de análisis en el arranque sobre pendientes, se propuso cuatro trayectos de la ciudad de Cuenca-Azuay donde se desarrollará la medición del estudio; las mismas que

cuenta con altos porcentajes de pendientes que conforman cada trayecto. En las Figuras 8, 9, 10 y 11 se puede observar los recorridos selectos.

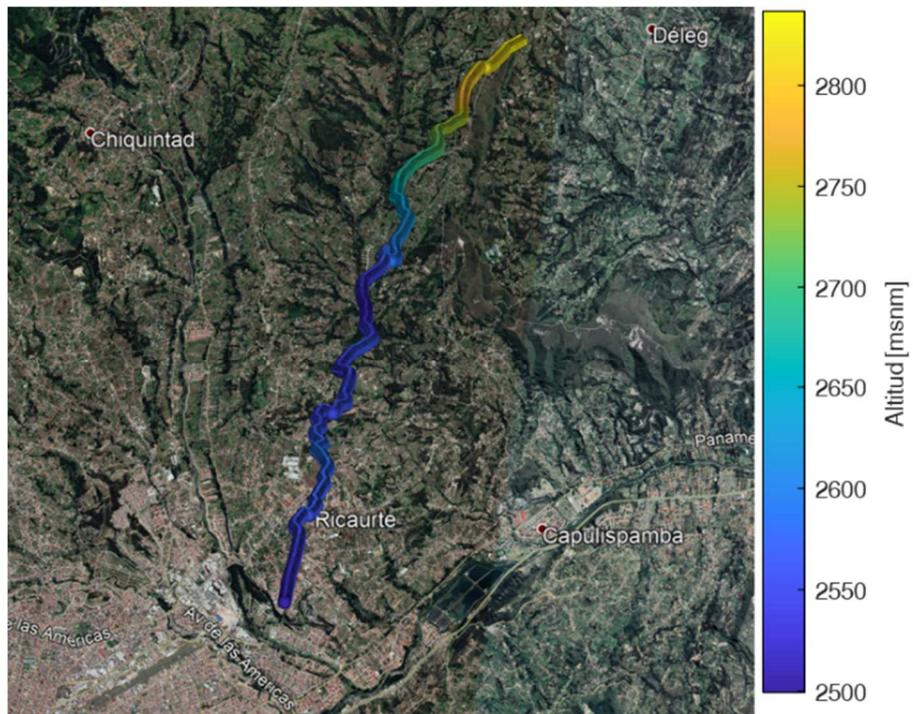


Figura 8: Ruta 1 en Google Earth.

Fuente: Autores.

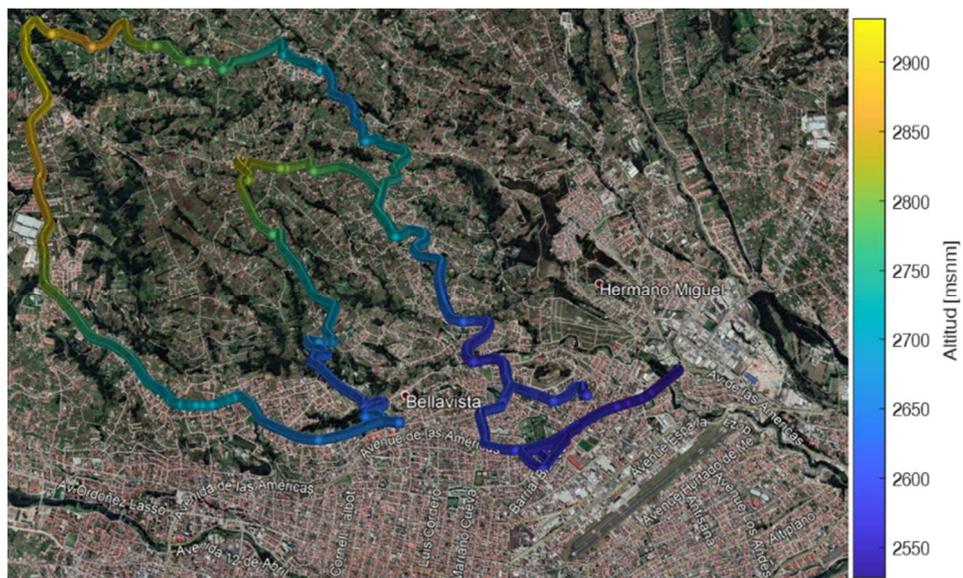


Figura 9: Ruta 2 en Google Earth.

Fuente: Autores.



Figura 10: Ruta 3 en Google Earth.

Fuente: Autores.

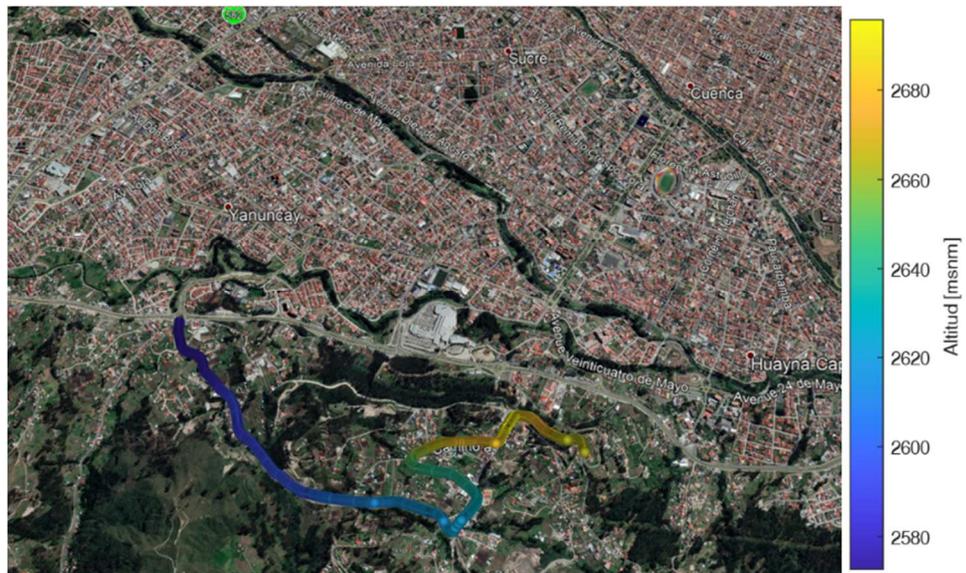


Figura 11: Ruta 4 en Google Earth.

Fuente: Autores.

Para la geolocalización el Freematics ONE + adiciona un GPS como complemento para adquirir puntos de latitud, longitud, altitud, entre otros. Estos datos son procesados en el Software de ingeniería Matlab y a su vez graficados con Google Earth para representar las vías de mayor altitud, presentes en los trayectos recorridos. Se puede identificar en las Figuras 8, 9, 10 y 11; los trayectos señalizados con distinta tonalidad, siendo los puntos de mayor altitud de color rojo y los de menor altitud de color azul como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Características de las rutas seleccionadas.

Fuente: Autores.

| Características de la ruta | Ruta 1 | Ruta 2 | Ruta 3 | Ruta 4 | Unidades |
|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|
| Distancia total | 12.21 | 31.08 | 19.22 | 4 | Km |
| Punto de Menor Altitud | 2499.3 | 2528.3 | 2546.6 | 2572.7 | msnm |
| Punto de mayor altitud | 2836.7 | 2931.2 | 2932.6 | 2695.7 | msnm |

Mediante los datos obtenidos por el Freematics ONE + se obtiene los parámetros de identificación mediante el uso de un algoritmo de adquisición y almacenamiento de datos en Matlab desarrollado por (Gárate, 2018). El cual se encuentra en el archivo digital del Grupo de Investigación en Ingeniería del Transporte (GIIT), en la línea de investigación de eficiencia energética y contaminación ambiental. Para la obtención de la base de datos.

5.2. Características del vehículo

El vehículo en cual se ejecutaron las pruebas de la ruta es un Aveo Family 2015; este es el sedán más vendido en el Azuay de acuerdo a (AEADE, 2018). En la Tabla 5 se plasma las características técnicas del vehículo.

Tabla 5: Características técnicas del Aveo Family.

Fuente: (Chevrolet, 2016).

| | |
|-------------------------------|--------------------|
| Cilindraje | 1500 cc |
| Torque | 128 Nm / 3.000 rpm |
| Potencia | 83 HP / 5.600 rpm |
| Peso bruto vehicular | 1365 kg |
| Relación de compresión | 9,5 |

5.3. Mediciones de Datos en Pruebas de Conducción Real

En las mediciones realizadas existen variaciones del RDE test, ya que para los parámetros de estudio es necesario analizar rutas con pendientes de diversos porcentajes, los cuales no se encuentran en autopistas o en zonas urbanas, la trayectoria determinada posee pendientes consecutivas que permiten el análisis de la investigación con el fin de observar las incidencias en el NOx, como se observa en la Tabla 6. Sin embargo, es importante aclarar que se realizaron pruebas de ciclos de conducción real en vez de ciclos de conducción en pruebas en el dinamómetro, ya que existe variaciones en las mediciones de emisiones de gases contaminantes (Fontaras, Zacharof, & BiagioCiuffo, 2017), demostrando que en pruebas de conducción real las emisiones de NOx incrementan, en promedio, un 23% más alto que el valor límite Euro 5/6. (May, Bosteels, & Favre, 2014)

Tabla 6: Características de la prueba en las rutas seleccionadas

Fuente: Autores

| Características de pruebas del ciclo de conducción real | Ruta 1 | Ruta 2 | Ruta 3 | Ruta 4 | Unidades |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|
| Número de muestras | 12060 | 40339 | 22972 | 3673 | - |
| Tiempo Total | 29.69 | 99.73 | 56.74 | 9.06 | min |
| Velocidad media | 24.68 | 18.70 | 20.32 | 26.52 | Km/h |
| Diferencia de altitud entre el punto de salida y llegada | 337.36 | 402.86 | 386.00 | 123.00 | msnm |

El vehículo en cual se ejecutaron las pruebas de la ruta es un Aveo Family 2015; este es el sedán más vendido en el Azuay de acuerdo a (AEADE, 2018) . Durante las mediciones la temperatura era de 18°C, sin presencia de humedad, viento y lluvia. Con un peso incluido cuatro pasajeros y el tanque lleno de combustible fue de 1535 kg. El vehículo de prueba utilizó combustible de 87 octanos, sin accionamiento del aire acondicionado y con ventanillas elevadas. En las Figuras 12 y 13 se aprecia el vehículo de prueba, con las adaptaciones necesarias para las mediciones en las rutas seleccionadas para el estudio.



Figura 12: Vehículo de prueba acondicionado con los equipos de medición.

Fuente: Autores.



Figura 13: Vehículo de prueba acondicionado con los equipos de medición.

Fuente: Autores.

5.3.1. PEMS

El analizador de gases utilizado es el Brain Bee ags-688. El analizador se acopló al vehículo de pruebas y se fue recolectando los datos con ayuda del software omniBUS 800, el cual es el usado para visualizar los datos en tiempo real mediante una PC portátil. En la Figura 14 se puede apreciar la interfaz del programa omniBUS 800 en el PC conectado al vehículo de pruebas.

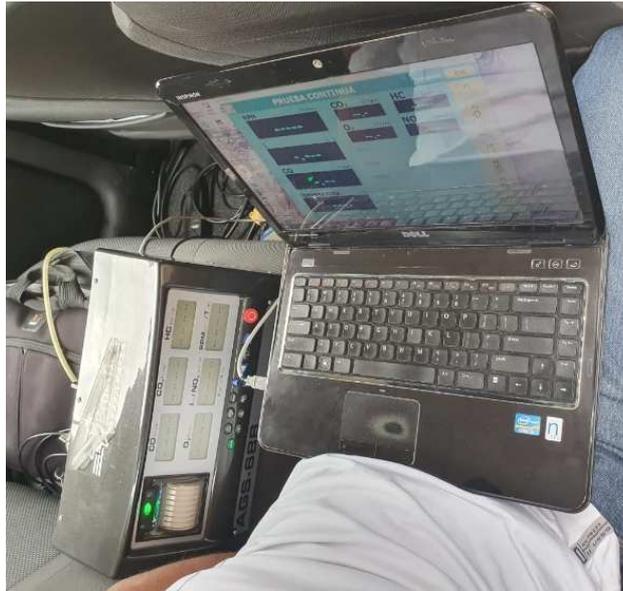


Figura 14: Analizador acoplado al PC y recopilación de datos mediante Software omniBUS 800.

Fuente: Autores.

La sonda de medición del analizador se adapta al tubo de escape del vehículo mediante sujeciones externas implementadas como se observa en la Figura 15, con el fin de ejecutar el muestreo de las emisiones contaminantes en tiempo real, simultáneamente con la toma de datos de los PIDs durante las pruebas en rutas.



Figura 15: Acoplamiento de la sonda al vehículo de pruebas.

Fuente: Autores.

El analizador de gases Brain Bee ags-688 funciona a corriente alterna (AC), ya que el vehículo no cuenta con fuentes de voltaje AC, es necesario el uso de un inversor de corriente de 400W de corriente continua (DC) a AC, por ende, se conecta a la toma de 12 Voltios del conector eléctrico en el interior del habitáculo del vehículo para el funcionamiento del mismo, como se muestra en la Figura 16.



Figura 16: Conexión del inversor de corriente de DC a AC.

Fuente: Autores.

5.3.2. Recopilación de PIDs

El Freematics One+ es el dispositivo usado para la obtención de las señales PIDs. La programación se ejecutó mediante la compilación de las librerías, cuya autoría es de la (Huang, 2013) adaptando a los requerimientos del presente estudio, ya que dicho dispositivo tiene envergadura para captar más PIDs de los necesarios para el presente estudio. En la Figura 17 se aprecia la conexión del Data Logger Freematics One+ al conector OBD II del vehículo de pruebas.



Figura 17: Conexión del Freematics One+ en el puerto OBD II.

Fuente: Autores.

Se destaca que el Freematics One+ almacena por medio de un micro SD los parámetros de funcionamiento del vehículo, los cuales se generan en un archivo cuya extensión es “.CSV”, los mismos que se transfieren a MatLab una vez terminada la prueba. En la Figura 18 se observa el formato de gravado de los archivos en la MicroSD del Freematics One +.

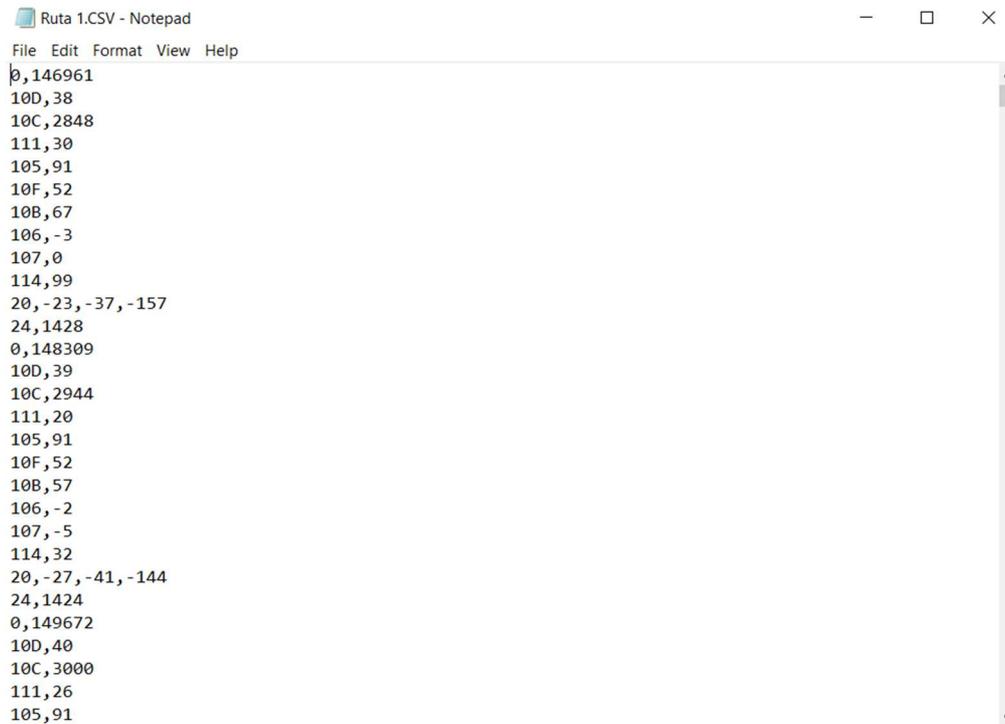


Figura 18: Archivo proveniente del Freematics One+.

Fuente: Autores.

5.4. Tratamiento de los datos obtenidos

Los dos equipos utilizados para las mediciones de los PIDs (Data Logger) y gases contaminantes (PEMS) trabajan con frecuencias de muestreo diferentes. Razón por la cual, es necesario un remuestreo y redimensionado de los datos con el fin de contar con señales resultantes sincronizadas y de igual tamaño en sus vectores como se muestra en la Figura 19.

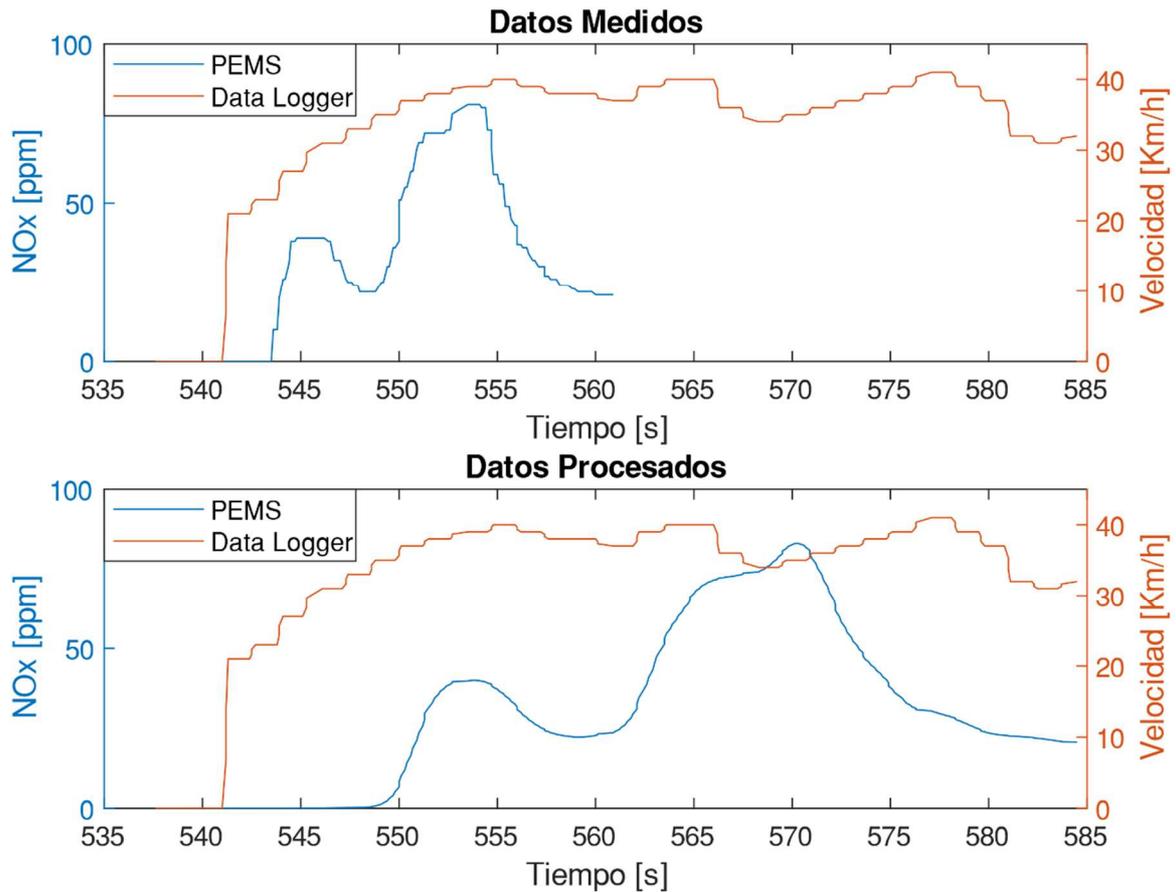


Figura 19: Datos provenientes del PEMS y Data Logger.

Fuente: Autores.

Para lograr la similitud en tamaño y sincronización de los datos obtenidos durante las mediciones se creó un algoritmo. En donde se utilizó redes neuronales artificiales (ANN) enfocadas a trabajar en específico con los datos provenientes del PEMS. Lo que se procedió a realizar es una simulación de cada señal de NOx obtenida en las mediciones con ayuda de una ANN, para después aumentar su número de muestras, haciéndola posteriormente compatible en tamaño con las señales provenientes del Data Logger. El porcentaje de ajuste de la ANN de cada una de las 13 señales resultantes obtenidas en las mediciones por parte del PEMS se muestra en la Figura 20.

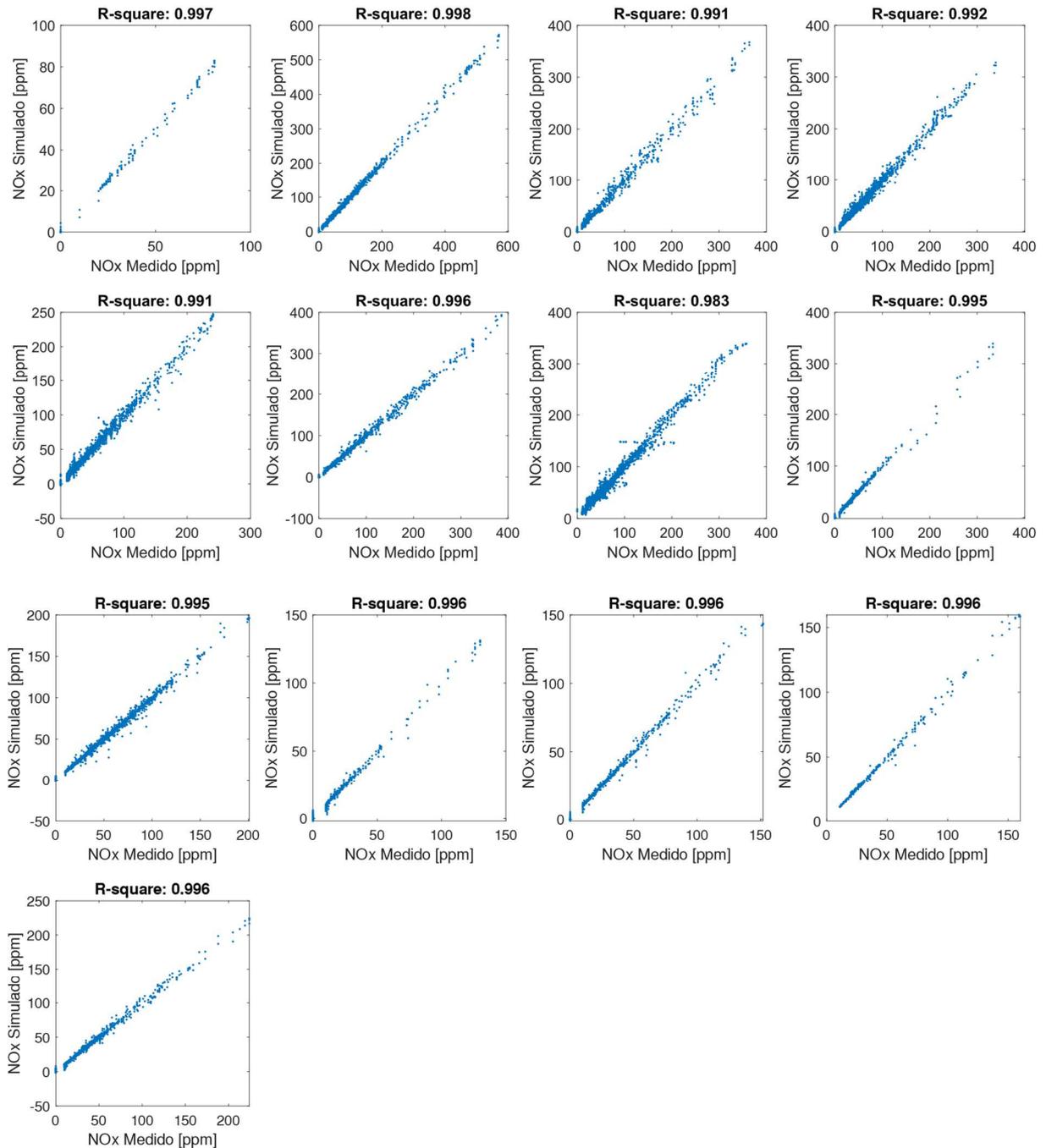


Figura 20: Porcentaje de ajuste de la ANN de cada señal de NOx.

Fuente: Autores.

El acondicionamiento de los datos obtenidos de emisiones contaminantes de NOx se dió gracias a los PIDs segmentados. Es decir, una vez obtenido los vectores resultantes de las uniones de cada PID medido en las cuatro rutas, se procede a cortar los tramos de datos en donde exista información de NOx medida por el PEMS. De esta manera se logró sincronizar a los datos del PEMS con su respectiva información del Data Logger.

5.5. Cálculo de la pendiente de la carretera

La pendiente de la carretera se calculó con ayuda de datos provenientes del Data Logger. Entre estos destaca los valores del sensor de velocidad del vehículo (VSS) y la altitud sobre el nivel del mar. Con ayuda de la Ecuación 1 se procedió a calcular el espacio del recorrido.

$$Sp_i = \sum_{i=1}^n Vss_i \Delta t \quad (1)$$

Ecuación 1: Espacio

En donde:

- Sp_i = Espacio [m]
- Vss_i = Velocidad [m/s]
- Δt = Tasa de cambio del tiempo [s]

Una vez que se tenía el espacio se calculó la pendiente de la carretera utilizando la Ecuación 2.

$$\theta_i = \sin^{-1} \left(\frac{a_i}{d_i} \right) \quad (2)$$

Ecuación 2: Pendiente de la carretera en grados decimales

En donde:

- θ_i = Pendiente de la carretera [grados decimales]
- a_i = Altitud [msnm]
- d_i = Espacio [m]

La transformación de las unidades de medición de grados decimales a porcentaje se realizó con la Ecuación 3.

$$Rs_i = \tan(\theta_i) * 100 \quad (3)$$

Ecuación 3: Pendiente de la carretera en porcentaje

En donde:

- θ_i = Pendiente de la carretera [grados decimales]
- Rs_i = Pendiente de la carretera [%]

Para calcular la pendiente se desarrolló un algoritmo cuyas bases matemáticas para el cálculo fueron las ecuaciones (1), (2) y (3) anteriormente descritas. En la Figura 21 se puede apreciar

la pendiente de la carretera al igual que su altitud sobre el nivel del mar en contraste con la distancia recorrida de la ruta 1 y 2, mientras que en la Figura 22 se aprecia los mismos parámetros de la ruta 3 y 4.

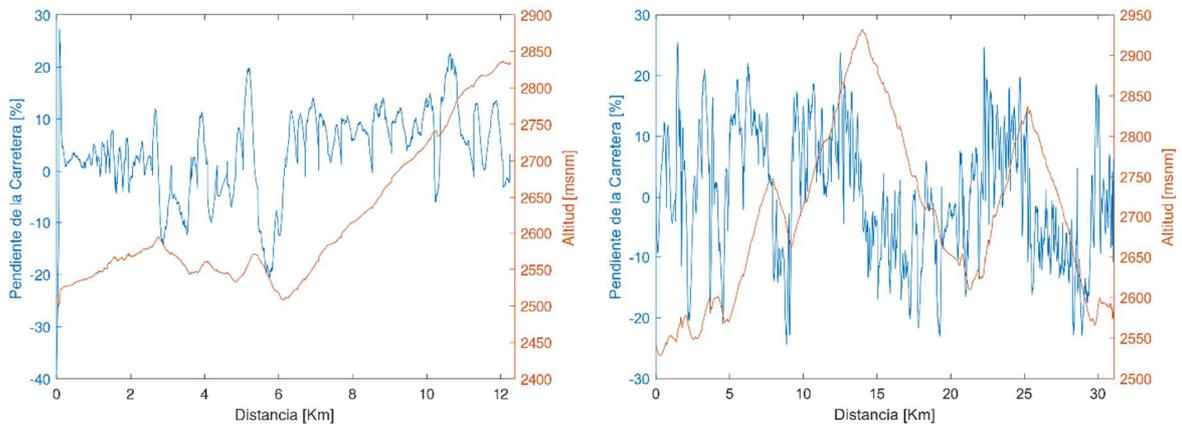


Figura 21: Parámetros de la Ruta 1 y Ruta 2.

Fuente: Autores.

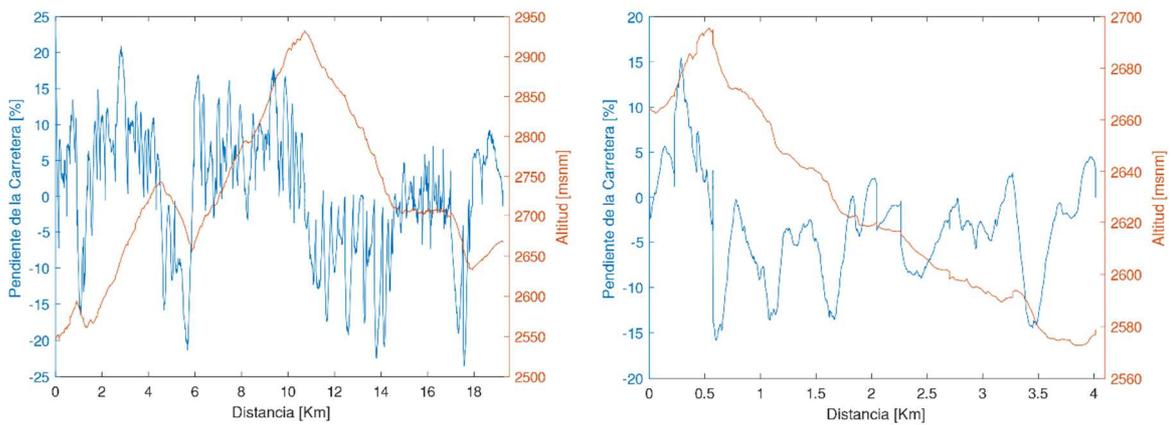


Figura 22: Parámetros de la Ruta 3 y Ruta 4.

Fuente: Autores.

En la Tabla 7, se observa los valores picos de la altitud sobre el nivel del mar al igual que las pendientes de las carreteras de cada una de las cuatro rutas seleccionadas para el presente estudio.

Tabla 7: Valores picos de las rutas seleccionadas.

Fuente: Autores.

| Rutas | Pendiente de la Carretera positiva máxima [%] | Pendiente de la Carretera negativa máxima [%] | Altitud máxima [msnm] | Altitud mínima [msnm] |
|---------------|--|--|------------------------------|------------------------------|
| Ruta 1 | 27.16 | -38.59 | 2836.7 | 2499.4 |
| Ruta 2 | 25.44 | -24.40 | 2931.2 | 2528.3 |
| Ruta 3 | 22.15 | -23.55 | 2932.6 | 2546.6 |
| Ruta 4 | 15.43 | -15.78 | 2695.7 | 2572.7 |

5.6. Cálculo de la aceleración

El cálculo de la aceleración se desarrolló utilizando los datos provenientes del sensor de velocidad del vehículo, para esto se aplicó la Ecuación 4.

$$a_i = \frac{V_i - V_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad (4)$$

Ecuación 4: Aceleración lineal del vehículo

En donde:

- a_i = Aceleración lineal del vehículo [m/s^2]
- V_i = Velocidad [m/s]
- t_i = Tiempo [s]

La aceleración del vehículo durante todas las rutas analizadas presenta partes positivas y negativas como se muestra en la Figura 23. Las partes negativas son deceleraciones producidas por frenadas normales al circular en carretera o para detener al vehículo por completo.

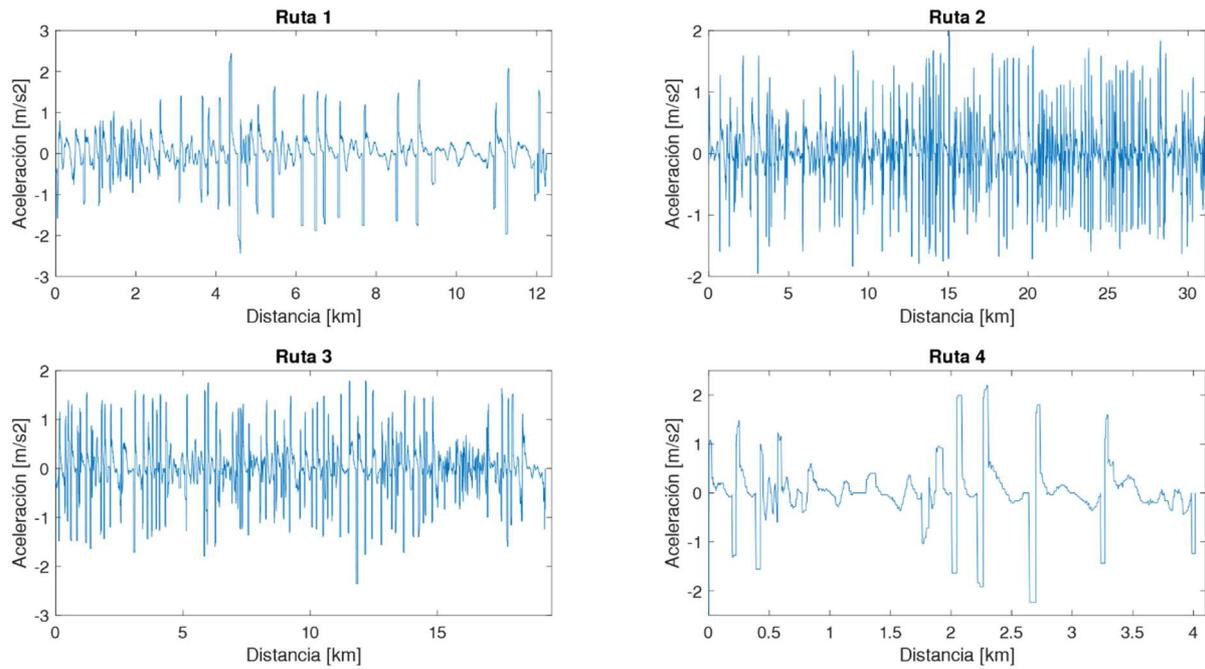


Figura 23: Aceleraciones durante cada ruta.

Fuente: Autores.

5.7. Discriminador de Arranque

Para discriminar todos los PIDs y gases contaminantes de NO_x medidos se procede a realizar un algoritmo cuyo funcionamiento se basa en Machine Learning. En donde primeramente se requiere clasificar las 5 marchas del vehículo y neutro. Para solventar esto se parte de una herramienta de aprendizaje no supervisado como lo es el agrupamiento K-means. En este apartado se usó un agrupamiento de 6 conjuntos, con el fin de obtener las 5 marchas más neutro del vehículo durante su recorrido. Sin embargo, para garantizar una buena eficacia del clasificador, se requiere un archivo de entrenamiento en donde el vehículo haya circulado engranando todas sus marchas. La ruta seleccionada para obtener las etiquetas de manera correcta se muestra en la Figura 24.

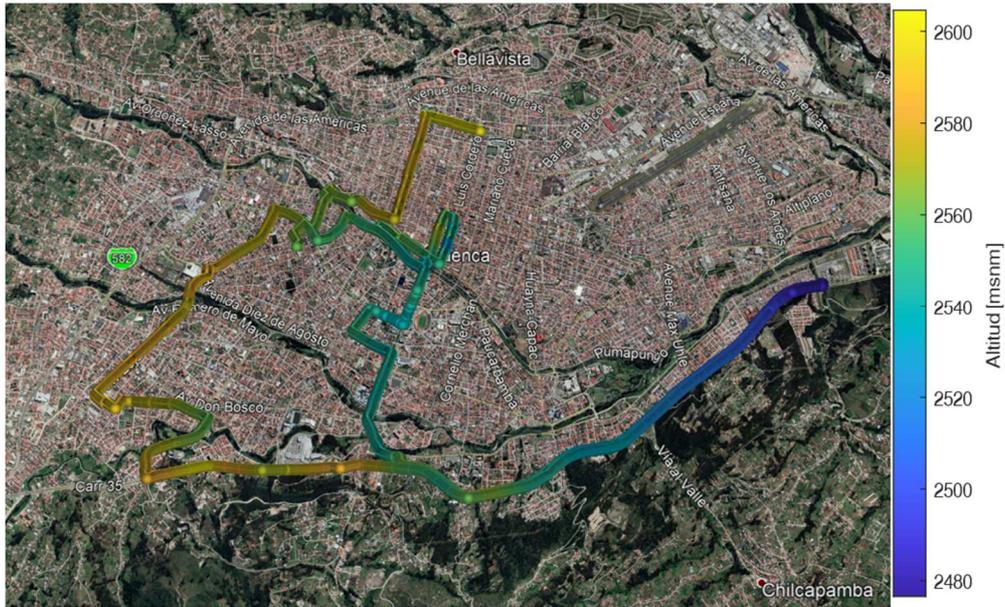


Figura 24: Ruta para entrenamiento del clasificador.

Fuente: Autores.

Una vez obtenido por el Data Logger el archivo de entrenamiento, se procedió a aplicar el agrupamiento k-means de 6 grupos como ya se mencionó anteriormente. Una vez ordenada las etiquetas de cero (Neutro) a cinco (Quinta marcha) se obtuvo las marchas del vehículo durante la ruta de entrenamiento como se observa en la Figura 25.

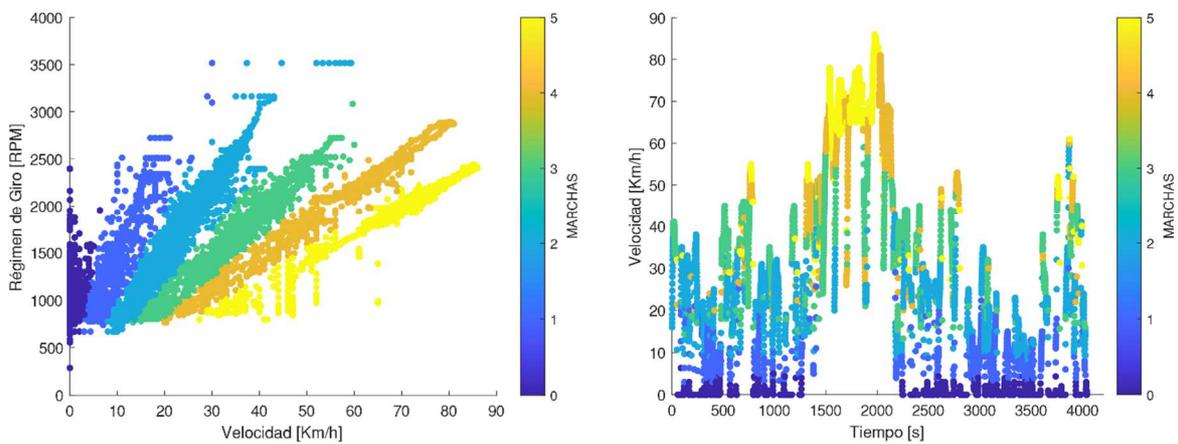


Figura 25: Clasificación de las marchas del vehículo en la ruta de entrenamiento.

Fuente: Autores.

Seguidamente con ayuda del aprendizaje supervisado se generó una máquina de soporte vectorial lineal para guardar las etiquetas establecidas por el agrupamiento k-means. La máquina de soporte vectorial tuvo un porcentaje de exactitud de prácticamente 100%. En donde

se obtuvo apenas dos falsos positivos. El primero resultado en la intersección de la primera marcha de la clase predecida con la segunda marcha de la clase verdadera. Mientras que el segundo falso positivo se dio en la tercera marcha de la clase predecida con respecto a la misma segunda marcha de la clase verdadera como se muestra en la Figura 26.



Figura 26: Primera matriz de confusión de la máquina de soporte vectorial.

Fuente: Autores.

Una vez se tiene la clasificación de las marchas del vehículo usando la máquina de soporte vectorial, se procede a clasificar las mismas de manera directa en los PIDs resultantes de la unión de los datos provenientes de las cuatro rutas, como se muestra en la Figura 27.

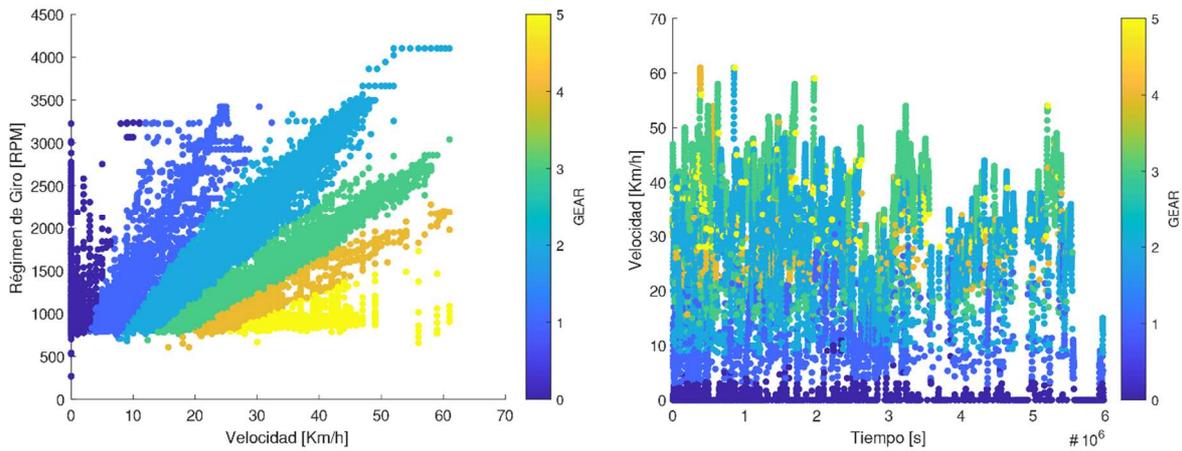


Figura 27: Clasificación de las marchas del vehículo en las rutas de estudio.

Fuente: Autores.

El discriminador de neutro y primera marcha tuvo una lógica similar basada igualmente en Machine Learning. Para lograr este fin se utiliza directamente el clasificador de las marchas del vehículo de las rutas de estudio. Igualmente se empieza usando aprendizaje no supervisado para generar un agrupamiento de 2 ítems. De esta manera se genera la etiqueta de cero y uno. Siendo los valores de cero los pertenecientes a segunda, tercera, cuarta y quinta marcha. Por el contrario, neutro y primera marcha que son las requeridas para el presente análisis fueron etiquetadas con un valor de uno como se muestra en la Figura 28.

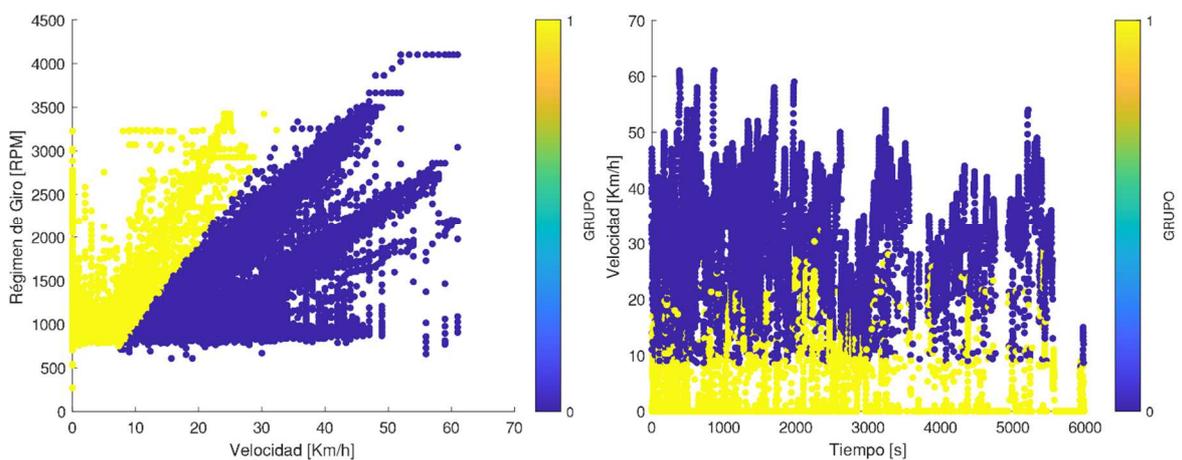


Figura 28: Discriminador de Neutro-Primera marcha.

Fuente: Autores.

Con la etiqueta generada gracias al agrupamiento K-means, se procede a realizar un aprendizaje supervisado con ayuda nuevamente de una máquina de soporte vectorial lineal para evitar

perder las etiquetas obtenidas. La máquina de soporte vectorial tuvo un porcentaje de exactitud de 100%. En donde no se presentaron falsos positivos como se muestra en la Figura 29.

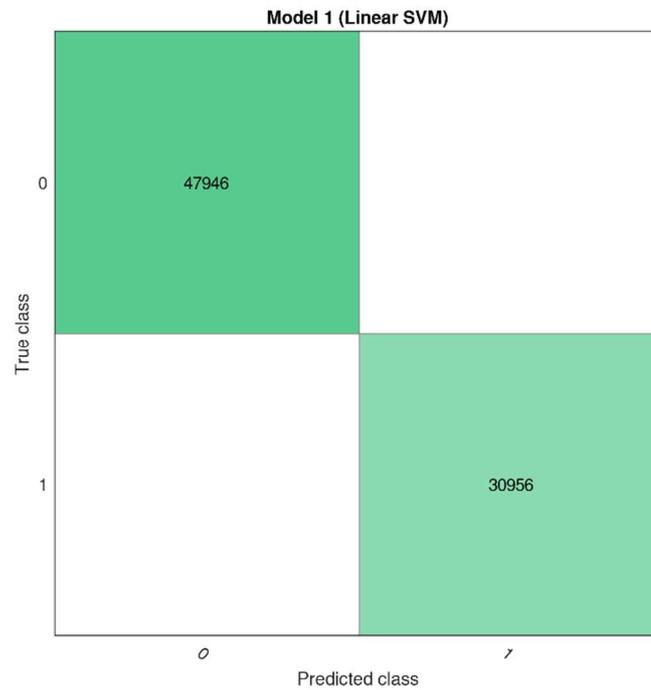


Figura 29: Segunda matriz de confusión de la máquina de soporte vectorial.

Fuente: Autores.

El discriminador de arranque tiene sus bases en una operación matemática y tres operaciones lógicas. La parte matemática se da en la multiplicación del vector discriminador de neutro-primera marcha con la señal del sensor de velocidad. Esto debido a que se puede estar en una situación en donde el vehículo se encuentre con el motor encendido pero estacionado en neutro, condición que no representa el arranque. La lógica que permite esta operación matemática garantiza un solo resultado como se observa en la Tabla 8.

Tabla 8: Lógica de la operación matemática.

Fuente: Autores.

| VSS | Discriminador de Neutro-Primera marcha | Resultado de la multiplicación |
|-----|--|--------------------------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |

El resultado de la operación matemática será valores de cero y diferentes de cero debido a que el VSS tiene valores continuos. Para lograr un vector cuyos valores sean únicamente cero y uno, se procede con la primera operación lógica. En donde únicamente se reemplaza todos los valores diferentes de cero por el valor de uno en todo el vector resultante de la operación matemática como se observa en el fragmento de la Figura 30.

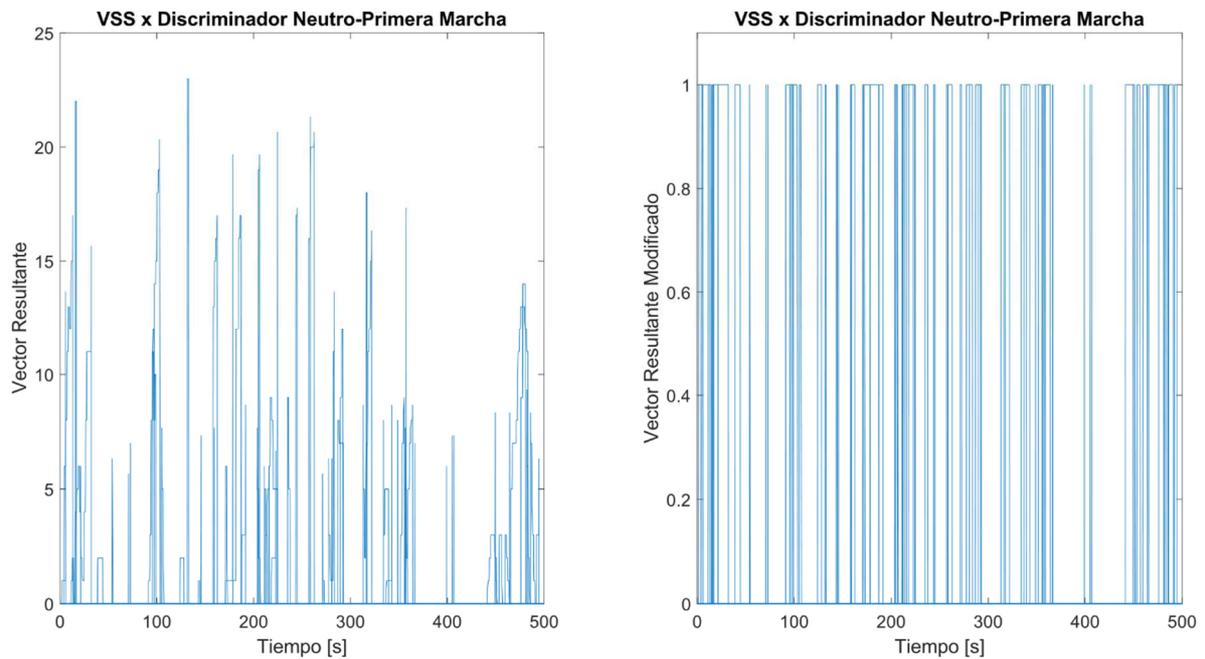


Figura 30: Transformación del Vector Resultante.

Fuente: Autores.

La segunda operación lógica se realiza para solventar la situación de un mal ajuste en el vector resultante como discriminador para los PIDs. El vector discriminador actual admite al descenso de velocidades como inicios de arranques del vehículo. Esta condición es errada, razón por la cual, se procede a aplicar una lógica que permite comenzar en el valor de uno al vector discriminante, solo cuando el anterior valor en el VSS sea cero como se observa en el fragmento de la Figura 31, asegurando de esta manera un correcto ajuste del vector discriminador para todos los PIDs.

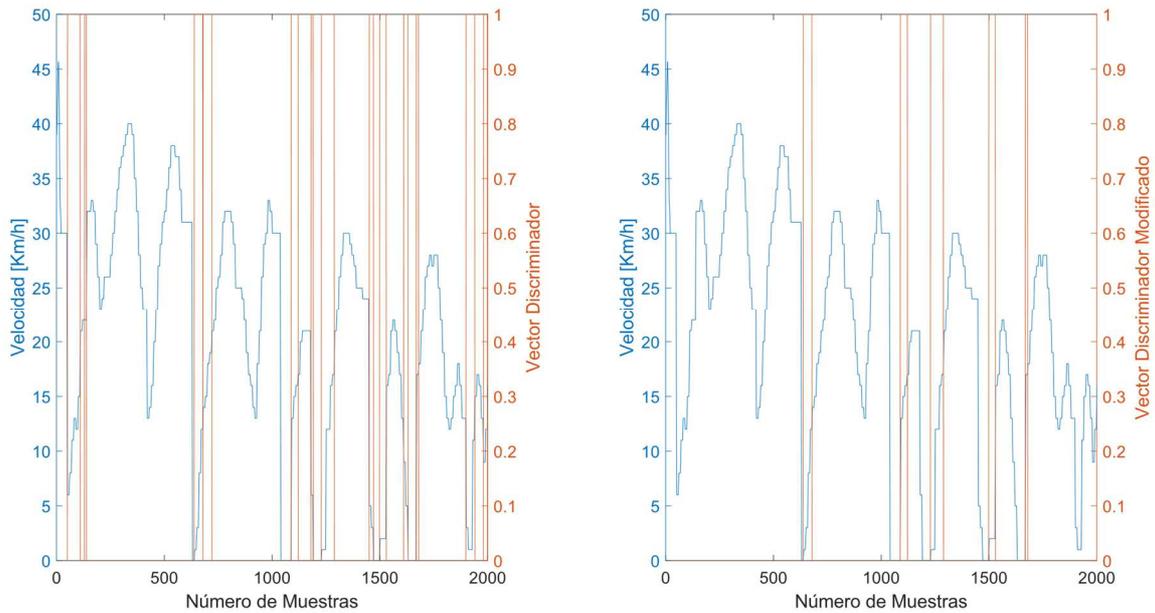


Figura 31: Transformación del Vector Discriminador.

Fuente: Autores.

El discriminador de arranque se crea a partir de la tercera y última operación lógica. En este apartado se busca únicamente restringir a que el mismo no genere valores de 1 al inicio de cada una de las cuatro rutas reflejadas en los PIDs resultantes. Esto se da debido a que el Data Logger no empieza a registrar datos inmediatamente en el instante que se enciende el motor del vehículo. Sino el mismo empezara a discriminar en el primer arranque presentado posterior al producido únicamente cuando se enciende el motor. El discriminador de arranque tiene un tamaño similar a todos los PIDs resultantes de la unión de los datos de las cuatro rutas seleccionadas como se muestra en la Figura 32.

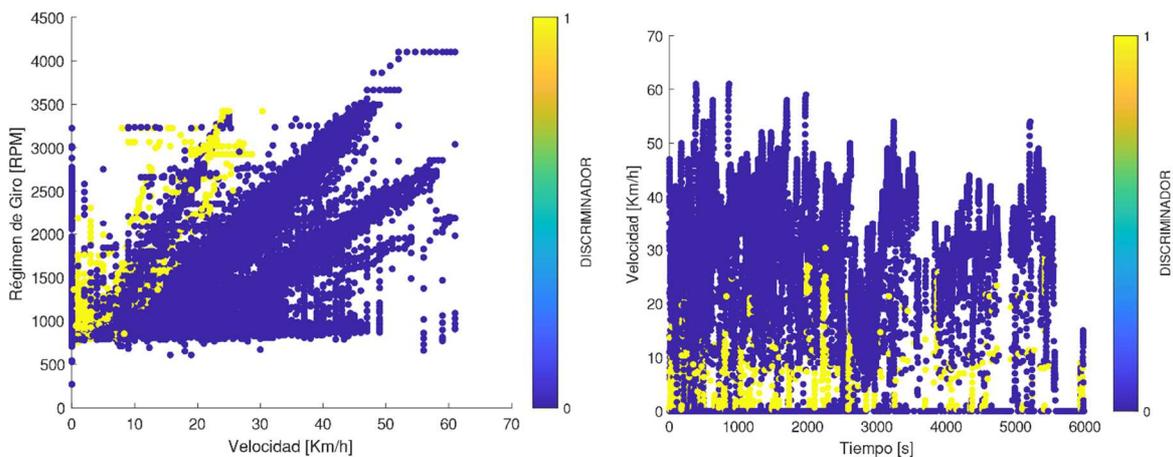


Figura 32: Discriminador de Arranque.

Fuente: Autores.

5.8. Variables discriminadas durante el arranque del vehículo

Una vez se obtuvo los PIDs resultantes de las cuatro rutas seleccionadas para el estudio, se procedió a segmentarlos en los rangos que se contaba con información del PEMS. Para lograr este fin se utilizó la variable de tiempo, la cual es medida tanto por el dispositivo Data Logger como el PEMS. De esta manera se pudo sincronizar de manera exacta los 13 segmentos de emisiones contaminantes de NOx medidos, con cada PID resultante. Seguidamente se construyen los vectores resultantes de la unión de los segmentos de cada PID resultante.

Se procede de igual manera con el discriminador de arranque. En donde, la información que contiene al ser proveniente de los PIDs resultantes, requiere ser segmentada para poder estar sincronizada con los datos provenientes del PEMS.

Las variables calculadas como lo son la aceleración lineal del vehículo y la pendiente de la carretera, también provienen de información de PIDs resultantes. Por ende, requieren la misma segmentación en 13 fragmentos como ya se mencionó anteriormente, para estar sincronizados con el resto de variables en estudio.

Una vez se tiene a las variables calculadas, PIDs resultantes y, emisiones contaminantes de NOx sincronizadas y con un tamaño de vectores iguales, se procede a multiplicar al discriminador de arranque por todas las variables en estudio. Los datos de los PIDs que serán válidos se observan de color amarillo, mientras que los que no pertenecen al instante del arranque estarían de color azul, como se muestra en la Figura 33 y Figura 34.

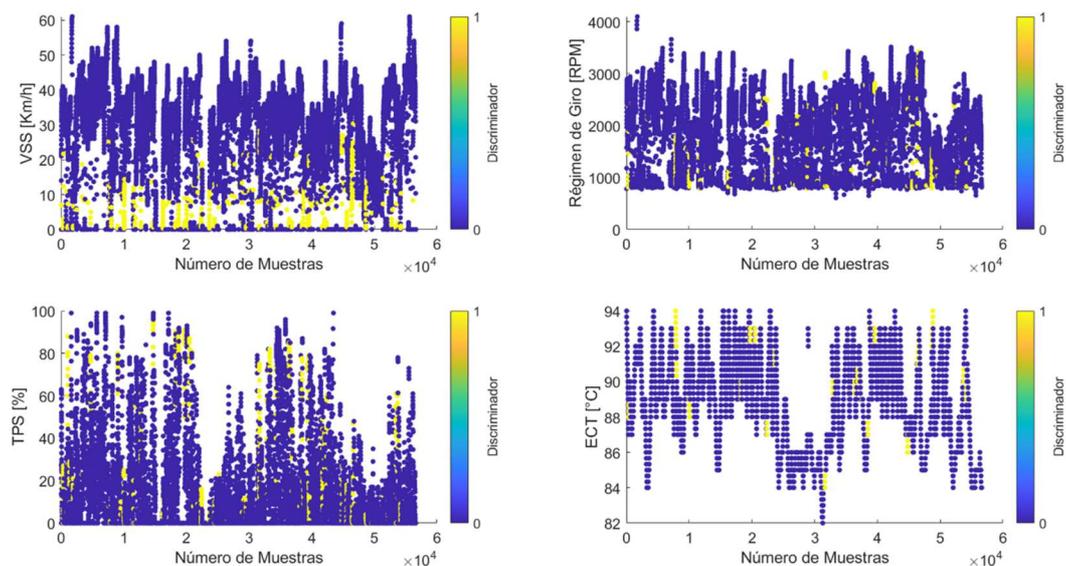


Figura 33: PIDs-Discriminador de arranque.

Fuente: Autores.

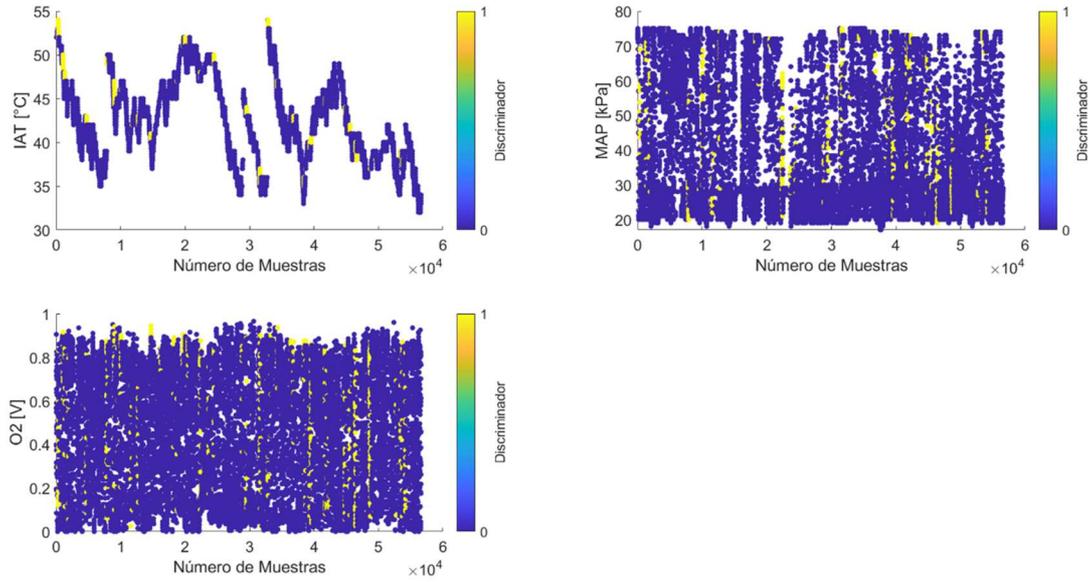


Figura 34: PIDs-Discriminador de arranque continuación.

Fuente: Autores.

Para el caso de la multiplicación entre el discriminador de arranque y la aceleración lineal del vehículo, conjuntamente con la pendiente de la carretera se observa en la Figura 35.

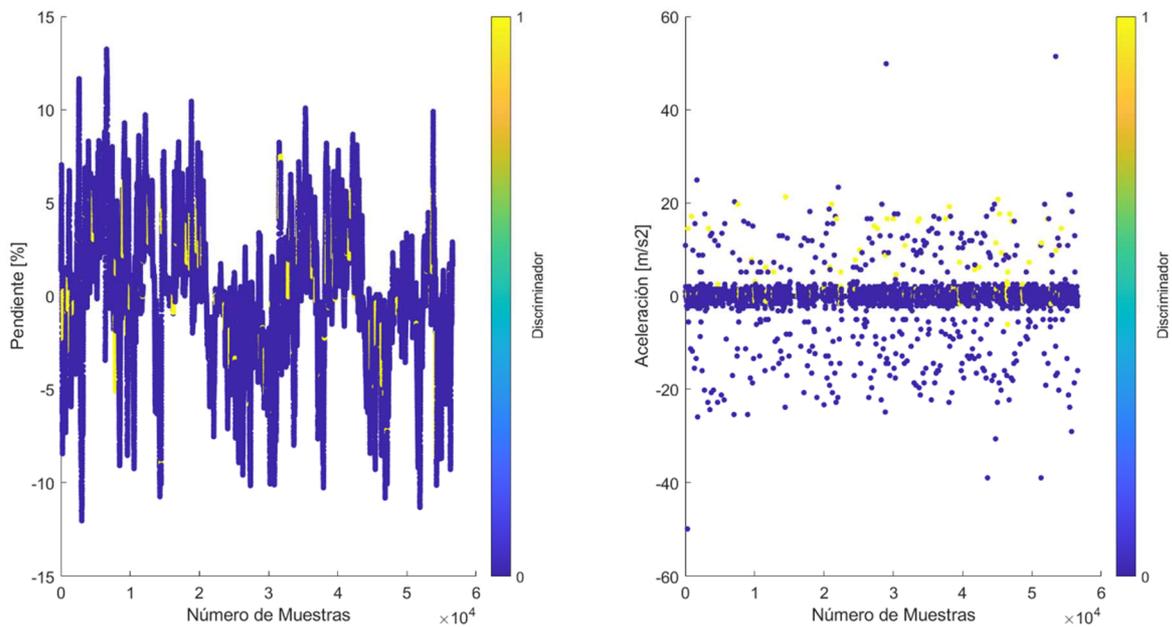


Figura 35: Variables calculadas-Discriminador de arranque.

Fuente: Autores.

Con la misma tonalidad de color amarillo para los datos pertenecientes al arranque y de color azul para los no pertenecientes al arranque, se ilustra las emisiones contaminantes de NO_x en la Figura 36.

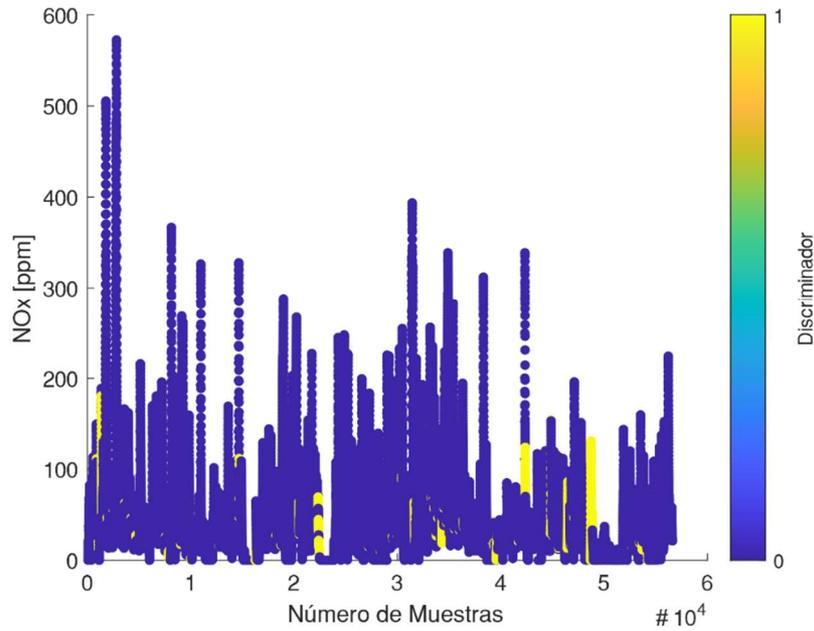


Figura 36: NOx-Discriminador de arranque.

Fuente: Autores.

Con esto se busca tener información de los PIDs, variables calculadas y emisiones contaminantes de NOx únicamente durante el arranque del vehículo. Debido a que todos los arranques fueron en pendientes con diferentes porcentajes de inclinación, se cumple con los parámetros especificados para el presente estudio. Las señales resultantes de cada PID durante el arranque se muestran en la Figura 37 y Figura 38.

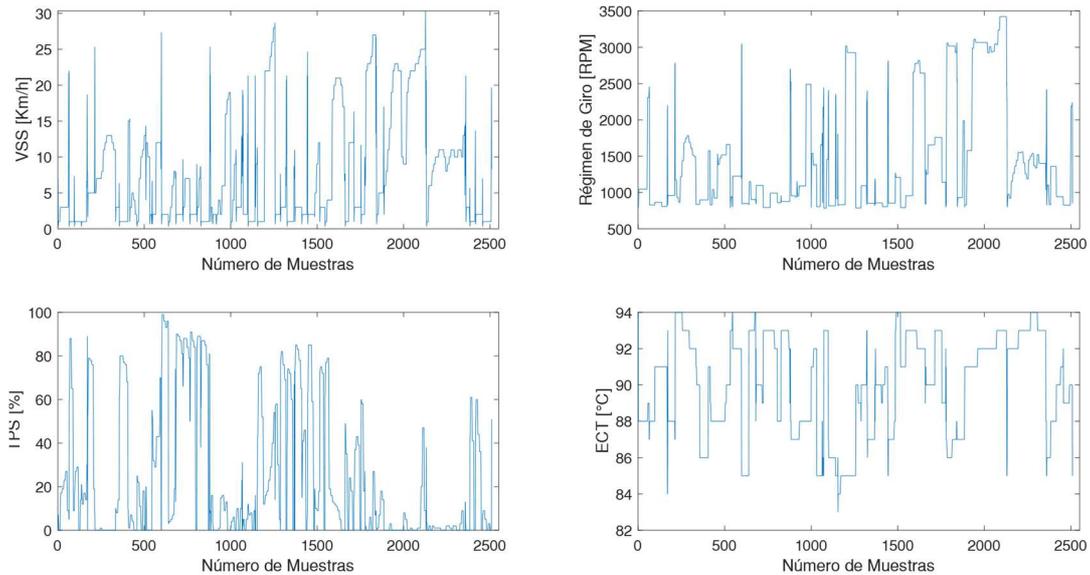


Figura 37: PIDs durante el arranque del vehículo.

Fuente: Autores.

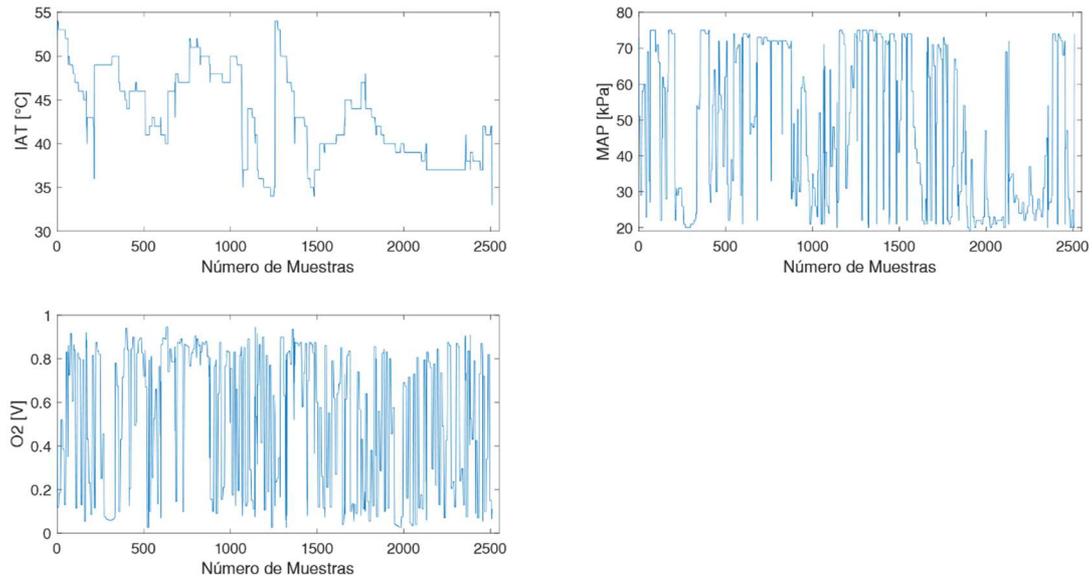


Figura 38: PIDs durante el arranque del vehículo continuación.

Fuente: Autores.

Por otra parte, las señales referentes a la aceleración lineal del vehículo y la pendiente de la carretera se observan en la Figura 39.

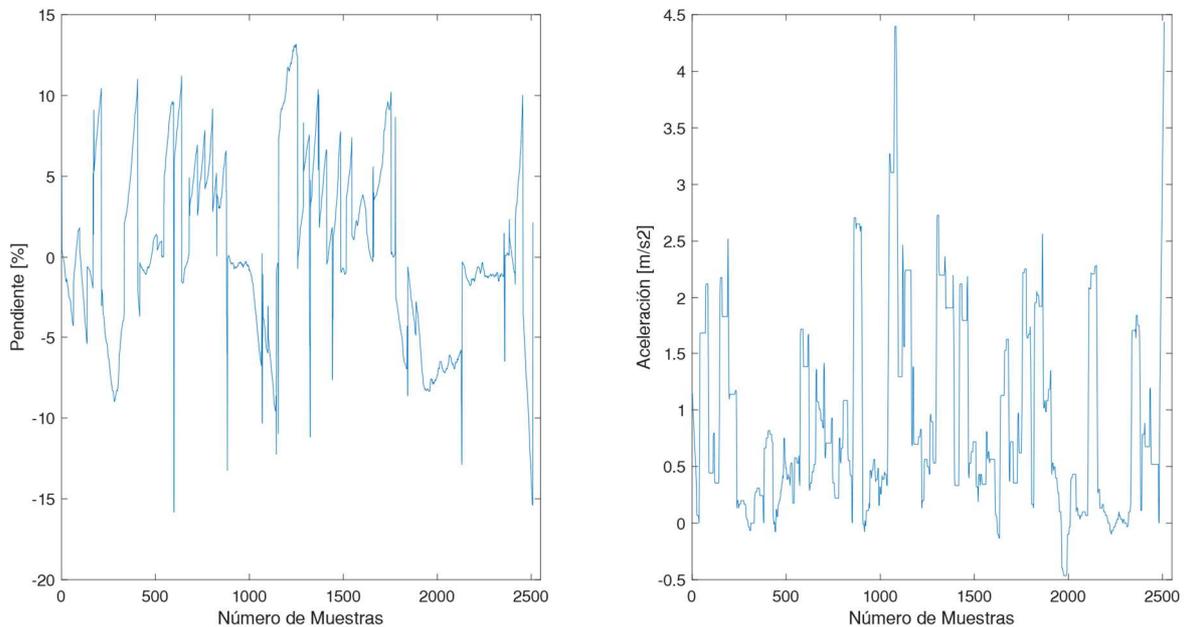


Figura 39: Variables calculadas durante el arranque del vehículo.

Fuente: Autores.

El comportamiento de las emisiones contaminantes de NO_x durante el arranque del vehículo en carreteras con diferentes porcentajes de pendientes se refleja en la Figura 40.

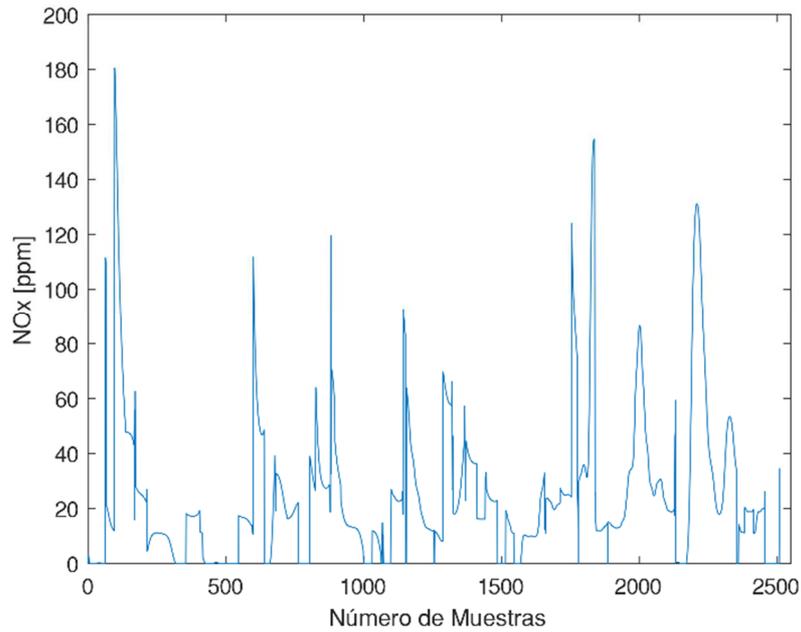


Figura 40: Emisiones contaminantes de NOx durante el arranque del vehículo.

Fuente: Autores.

5.9. Importancia de las variables medidas

Utilizando la técnica del Random Forest, se logra obtener menores parámetros de ajuste y mayor capacidad de generalización, en grandes conjuntos de datos (Gislason, Benediktsson, & Sveinsson, 2006). Esta técnica permite conocer cuáles son las variables más influyentes con respecto a alguna en específico, para el caso del presente estudio es las emisiones contaminantes de NOx. La técnica del Random Forest trabaja con variables de tipo categórica. Razón por la cual, los valores de cada PID resultante y variables calculadas como aceleración y pendiente, fueron transformadas a tipo categórica como se muestra en la Figura 41.

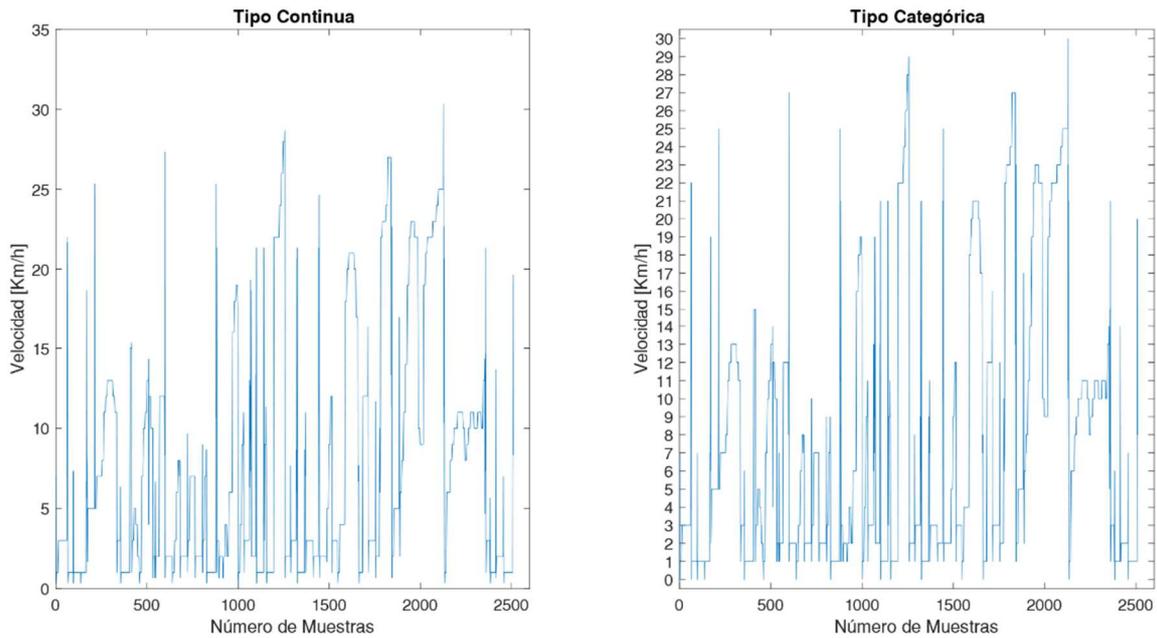


Figura 41: Categorización del VSS durante el arranque.

Fuente: Autores.

El número de niveles de las variables predictoras es un parámetro usado para reducir el gasto computacional en las que no presentaran mayor influencia. Sin embargo, para el presente estudio se mantuvo el número de niveles original de cada variable predictora como se muestra en la Figura 42.

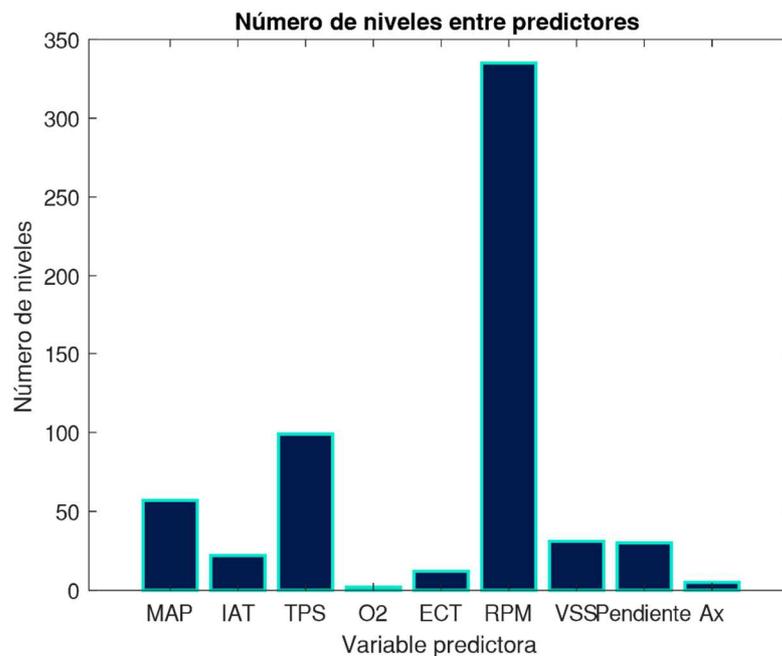


Figura 42: Número de niveles de cada predictor.

Fuente: Autores.

El número de niveles de cada variable predictora se detalla en la Tabla 9:

Tabla 9: Número de niveles por predictor.

Fuente: Autores.

| Variable Predictora | Número de Niveles |
|---------------------|-------------------|
| MAP | 57 |
| IAT | 22 |
| TPS | 99 |
| O2 | 2 |
| ECT | 12 |
| RPM | 335 |
| VSS | 31 |
| Pendiente | 28 |
| Ax | 5 |

El último paso antes de realizar el análisis con el Random Forest, es la revisión de la independencia entre predictores como se muestra en la Figura 43.

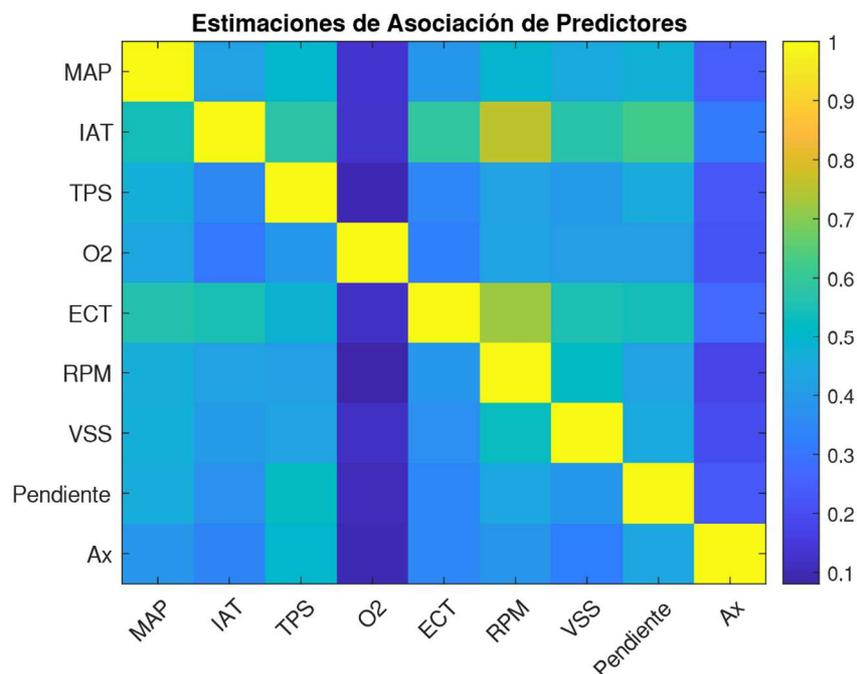


Figura 43: Dependencia entre predictores.

Fuente: Autores.

Si existiese una variable predictora que dependiese de otra (cuadro de color amarillo entre predictores distintos) la técnica del Random Forest fracasaría rotundamente. Para el presente

estudio se puede apreciar que la mayoría de los predictores no dependen entre sí. Esto se da debido a que tienen en su mayoría de intersecciones tonalidades de color que representan la ponderación de 0.5 aproximadamente.

Siendo el valor de 1 cuya tonalidad es de color amarillo, la representante de una correlación entre variables predictoras. Los únicos predictores con mayor relación o dependencia entre sí, son la IAT y RPM, con una tonalidad que representa aproximadamente 0.8. Las cuales al no tener una correlación de 1 serían válidas para el análisis de manera general. La diagonal amarilla se da debido a que es la intersección entre las mismas variables predictoras, razón por la cual tienen correlación de 1.

En la aplicación de la técnica de Random Forest se obtuvo un factor de determinación del 84.41%, en donde se estableció que las tres variables más influyentes en las emisiones contaminantes de NOx durante el arranque sobre pendientes son: RPM, VSS y TPS. Las mismas que son seguidas en importancia por: IAT, MAP y Pendiente. Por otro lado, las variables menos influyentes en comparación con las anteriores son: ECT, Ax y O2 como se observa en la Figura 44.

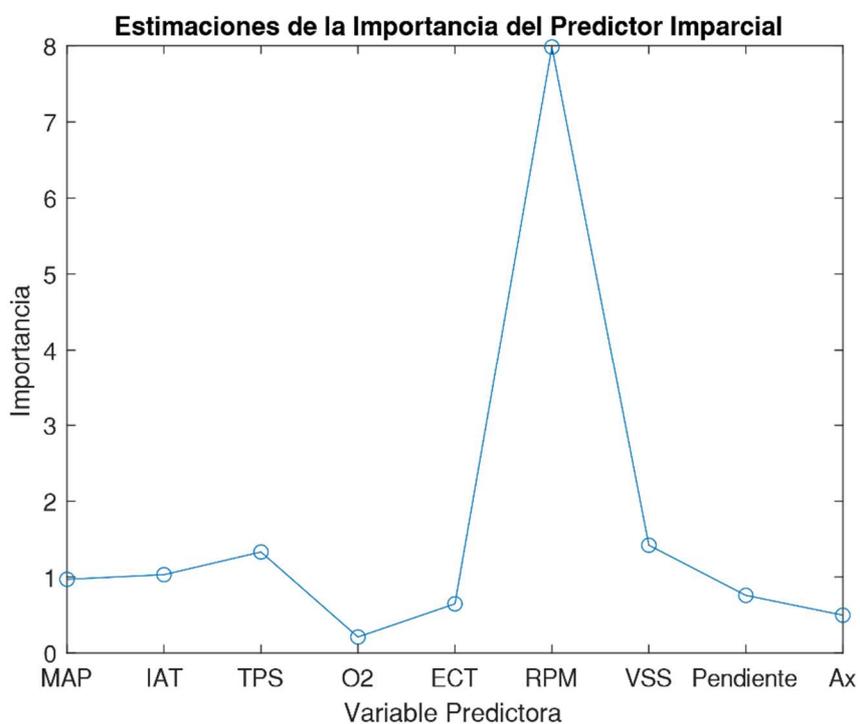


Figura 44: Estimación de la importancia de cada variable predictora.

Fuente: Autores.

La importancia de cada variable predictora representa un valor adimensional, los cuales se detallan en la Tabla 10.

Tabla 10: Importancia de cada predictor.

Fuente: Autores.

| Variable Predictora | Importancia |
|----------------------------|--------------------|
| RPM | 7.98 |
| VSS | 1.42 |
| TPS | 1.33 |
| IAT | 1.03 |
| MAP | 0.97 |
| Pendiente | 0.76 |
| ECT | 0.65 |
| Ax | 0.5 |
| O2 | 0.21 |

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. Variables más influyentes en las emisiones contaminantes de NOx

De todos los PIDs analizados, el régimen de giro del motor es el más influyente en las emisiones contaminantes de NOx, teniendo un comportamiento durante el arranque sobre pendientes como se puede apreciar en la Figura 45. En donde, a medida que se aumentan las revoluciones del motor, desde 1085 rpm hacia 1554 rpm, las emisiones contaminantes de NOx aumentan en un 100%. Por el contrario, existe un decremento del 54.71% de emisiones contaminantes de NOx cuando las revoluciones del motor disminuyen de 1554 rpm hacia 1201 rpm. Teniendo presente que la velocidad tuvo un valor máximo de 11 km/h a las 1554 revoluciones por minuto del motor durante el arranque del vehículo.

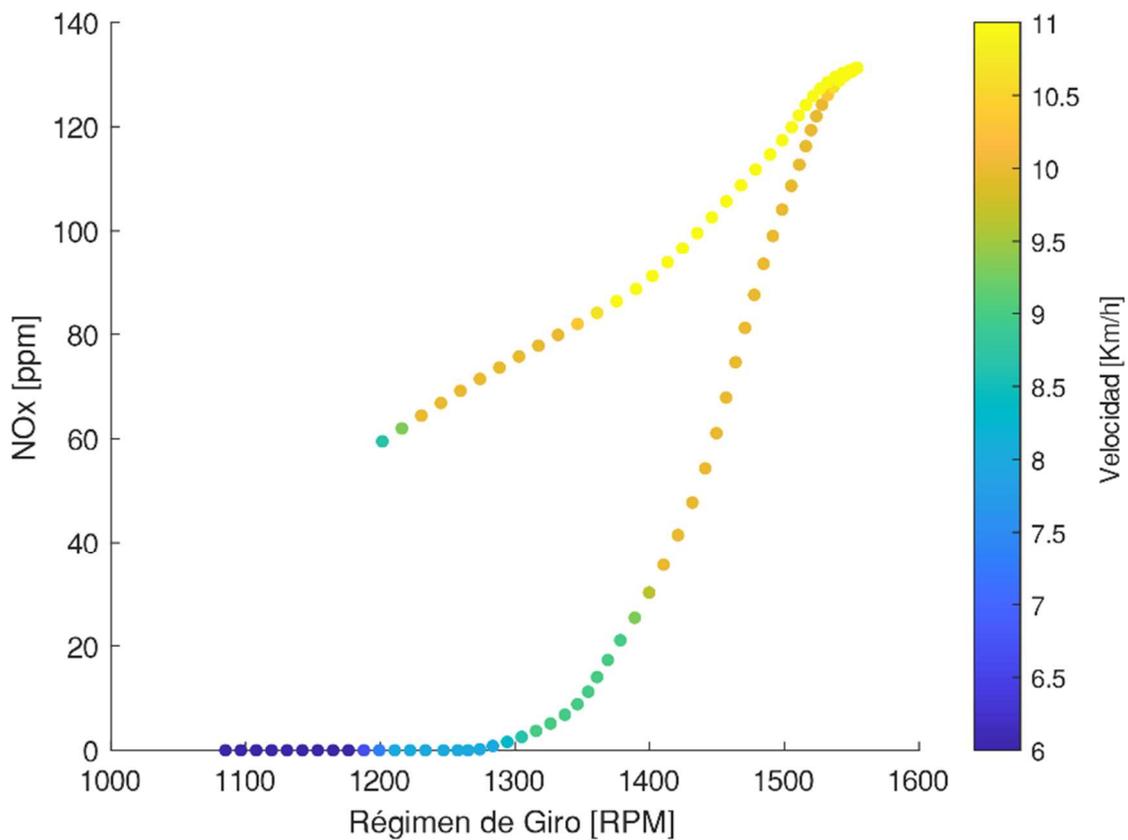


Figura 45: Emisiones contaminantes RPM-NOx-VSS.

Fuente: Autores.

En orden de importancia al instante de generar emisiones contaminantes de NOx, la velocidad del vehículo se encuentra segunda. A medida que aumenta la velocidad del vehículo como se muestra en la Figura 46, de 5 km/h a 18km/h los valores del NOx aumentan en un 84.31%. Sin embargo, cuando se da un descenso drástico de la velocidad desde los 18km/h hacia los 15km/h, las emisiones contaminantes del NOx también lo hace disminuyendo 82.31%. Durante el descenso de velocidad la temperatura del refrigerante del motor tuvo su punto máximo de 92 °C, partiendo al inicio del arranque con 90.8 °C. Es decir, la temperatura tuvo en aumento del 1.30%.

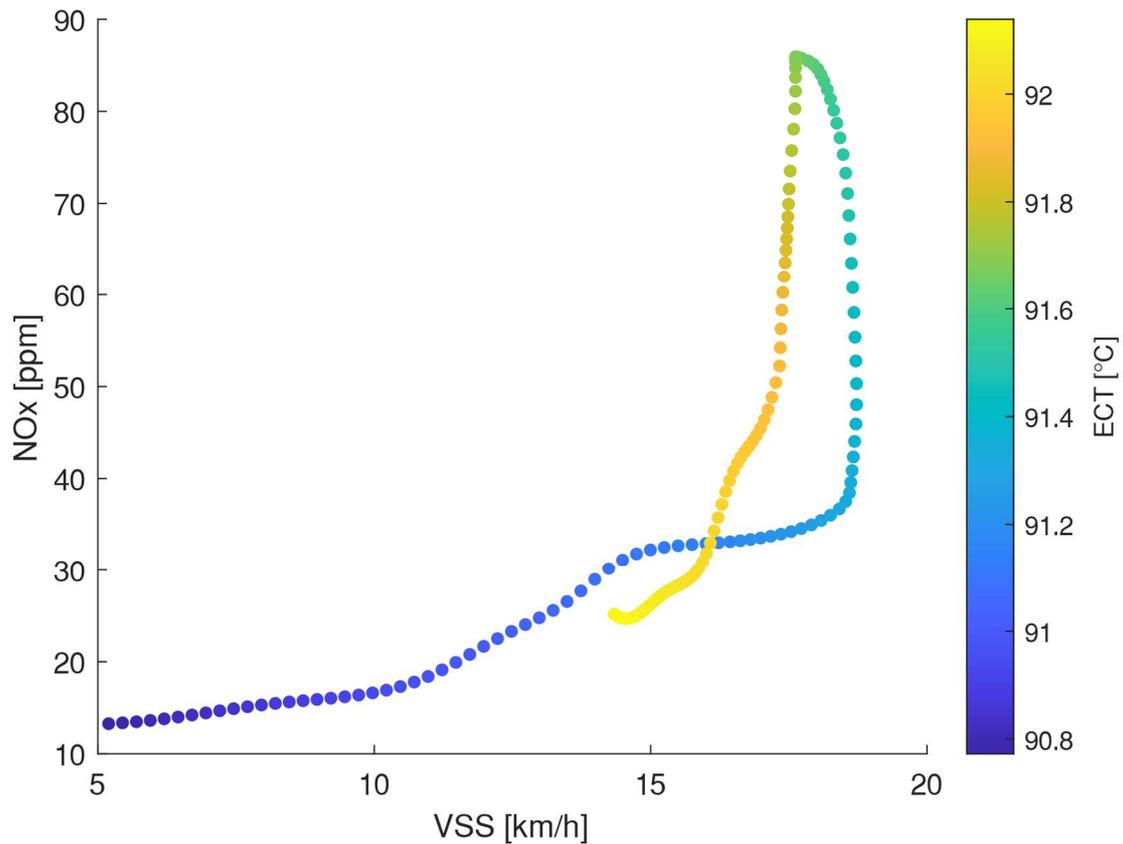


Figura 46: Emisiones contaminantes VSS-NOx-ECT.

Fuente: Autores.

La posición de la mariposa del cuerpo de aceleración del vehículo de prueba, se presentó como la tercera variable con mayor importancia al momento de generar emisiones contaminantes de NOx. Durante un arranque del vehículo se pudo captar el instante en donde la mariposa de gases aumentando apenas 1% de apertura los valores de NOx crecieron en un 39.38% como se observa en la Figura 47. Durante este incremento el régimen de giro del motor tuvo un grado de responsabilidad igualmente. El mismo que empezó en 1350 rpm y termino en su punto más alto de 1500 rpm. A medida que se soltó el pedal del acelerador, disminuyo las revoluciones del motor hacia 1250 rpm con un cierre casi total de la mariposa del cuerpo de aceleración. Conjuntamente con una disminución en las emisiones contaminantes de NOx en un 44.27%.

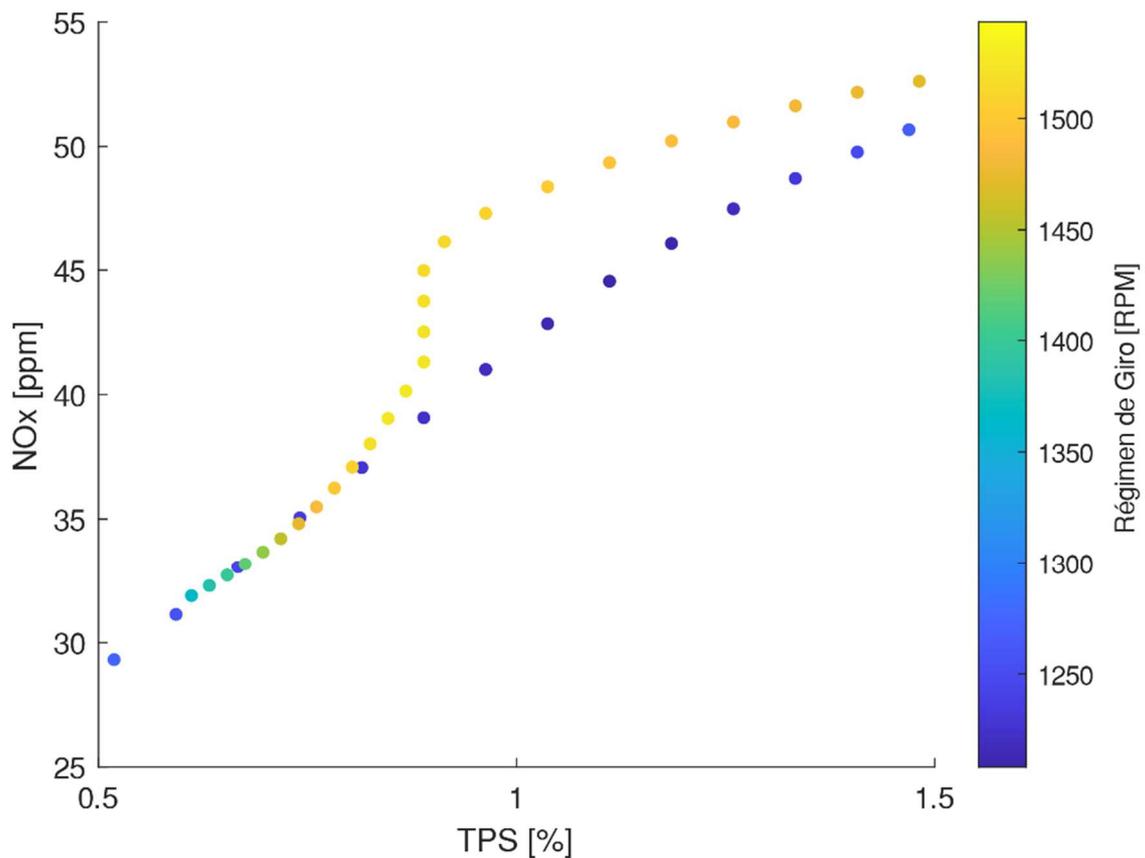


Figura 47: Emisiones contaminantes TPS-NOx-RPM.

Fuente: Autores.

6.2. Variables mediamente influyentes en las emisiones contaminantes de NOx

Al igual que las RPM, VSS y TPS anteriormente mencionadas, la IAT presentó variaciones en el comportamiento de las emisiones contaminantes de NOx como se ilustra en la Figura 48. En donde se observa que durante la variación de temperatura del aire durante su recorrido del depurador hacia el cuerpo de aceleración los valores de NOx son incrementados en un 48.13%. Variación de temperatura que se dio de 39°C hacia 39.43 °C. Mismo intervalo en donde la aceleración lineal del vehículo de 0.5 m/s². Al incrementarse a 39.98 °C la temperatura del aire de admisión, las emisiones contaminantes de NOx disminuyeron en un 84.70%.

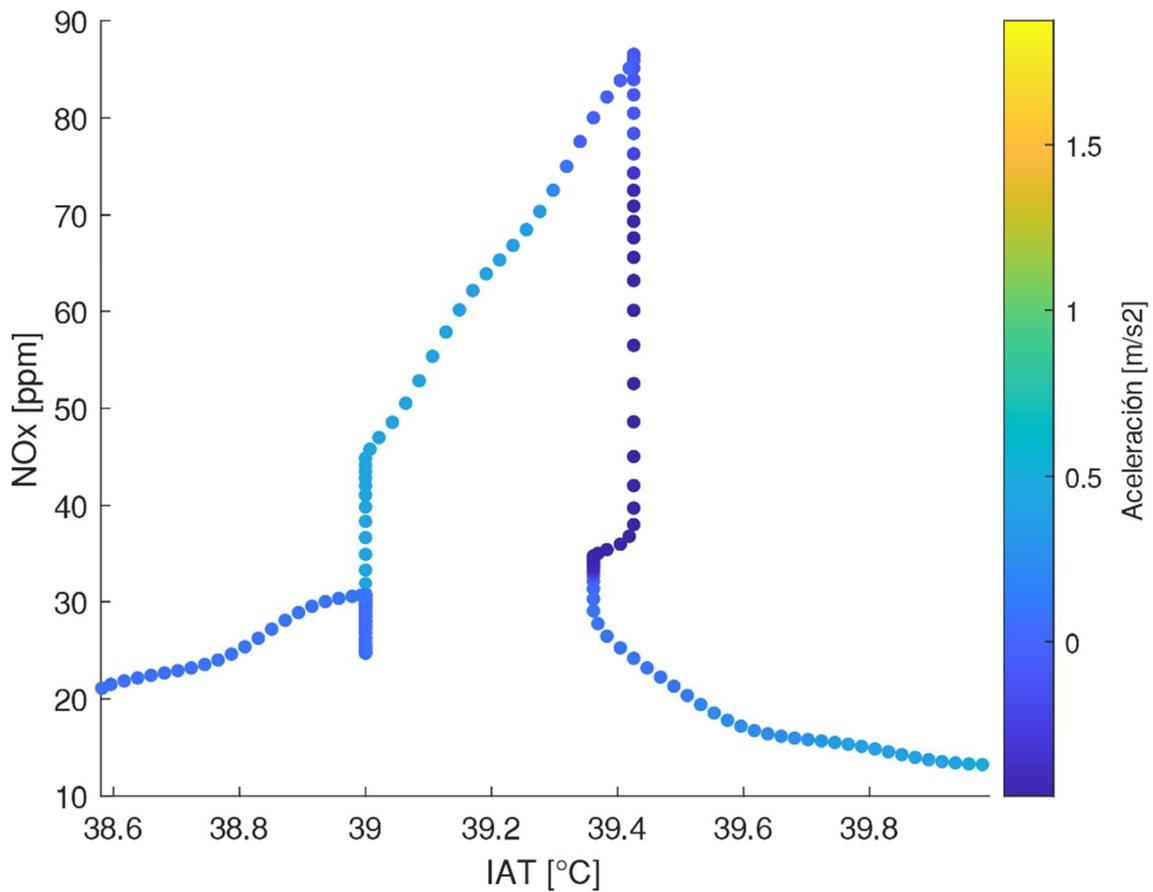


Figura 48: Emisiones contaminantes IAT-NOx-Aceleración.

Fuente: Autores.

Con una importancia de 0.97 el MAP se ubica en el quinto lugar al instante de influenciar al comportamiento de las emisiones contaminantes de NOx. Cuando el vehículo arrancó llevando un régimen de giro del motor de 1400 rpm a 1500 rpm, la presión absoluta del colector de admisión estuvo en un rango de 21.5 kPa a 27.79kPa, generando un incremento de 39.38% en los valores de emisiones contenientes de NOx como se observa en la Figura 49. Por otro lado, al disminuirse la presión absoluta del colector de admisión de 28.26 kPa a 21.45kPa, las emisiones contaminantes de NOx disminuyeron un 65.60% con un régimen de giro del motor variable.

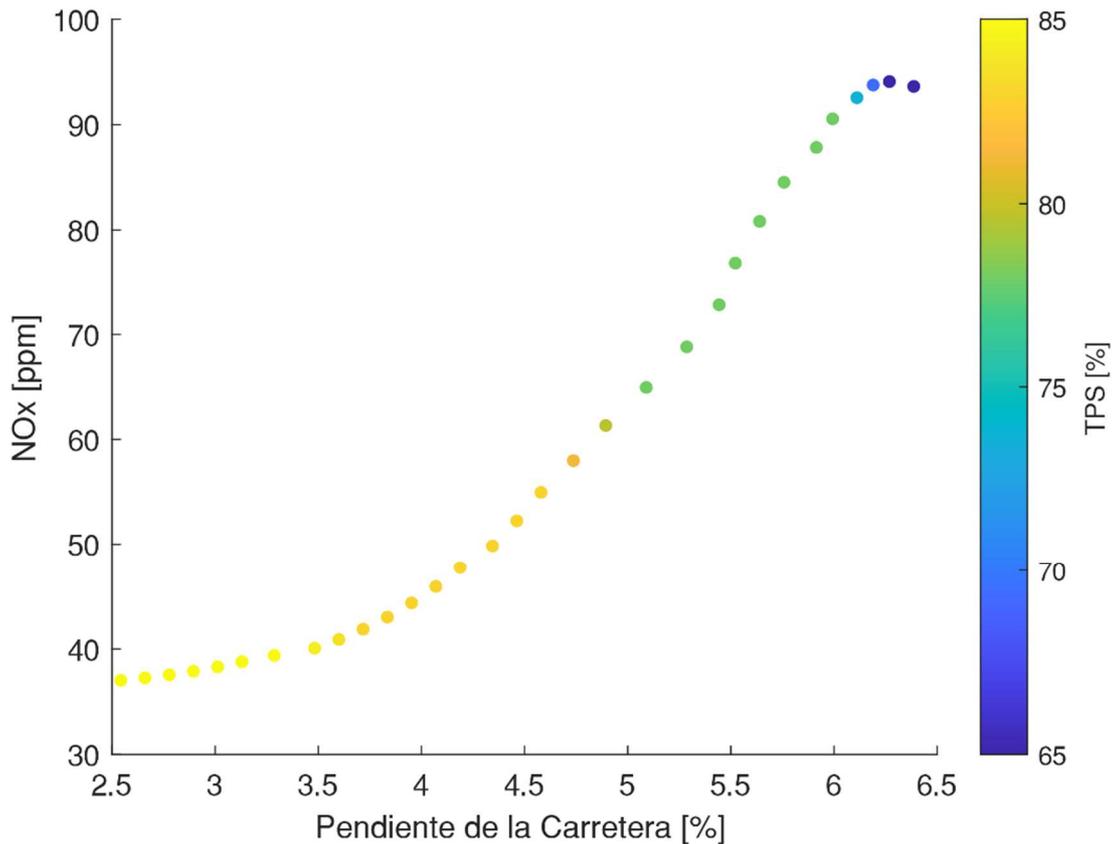


Figura 50: Emisiones contaminantes Pendiente-NOx-Tps.

Fuente: Autores.

Por el contrario, cuando se realiza arranques en carreteras con porcentajes de pendientes negativas, es decir, cuando el vehículo parte del reposo en una orientación de descenso en una calzada cuya orientación es contraria a la mencionada en la Figura 50. Las emisiones contaminantes de NOx disminuyen a medida que el porcentaje de inclinación de la pendiente se aproxima hacia el 0% como se observa en la Figura 51. En donde de igual manera se relaciona como a medida que disminuye el valor del TPS de un valor máximo de 18% hacia un valor mínimo del 2%, disminuye también las emisiones contaminantes de NOx en un 87%, las cuales son durante el descenso en carreteras cuyas inclinaciones van desde -4.9% hacia -0.9%. Es importante destacar que las emisiones contaminantes de NOx en bajadas tienen un decremento mayor que durante los ascensos. Esto se da debido a que el vehículo adquiere velocidad por la inercia del movimiento que adquieren las ruedas durante el descenso. Por lo tanto, el conductor requiere de menos porcentaje de apertura de la mariposa del cuerpo de aceleración, disminuyendo así la carga del motor y por ende las emisiones contaminantes de NOx.

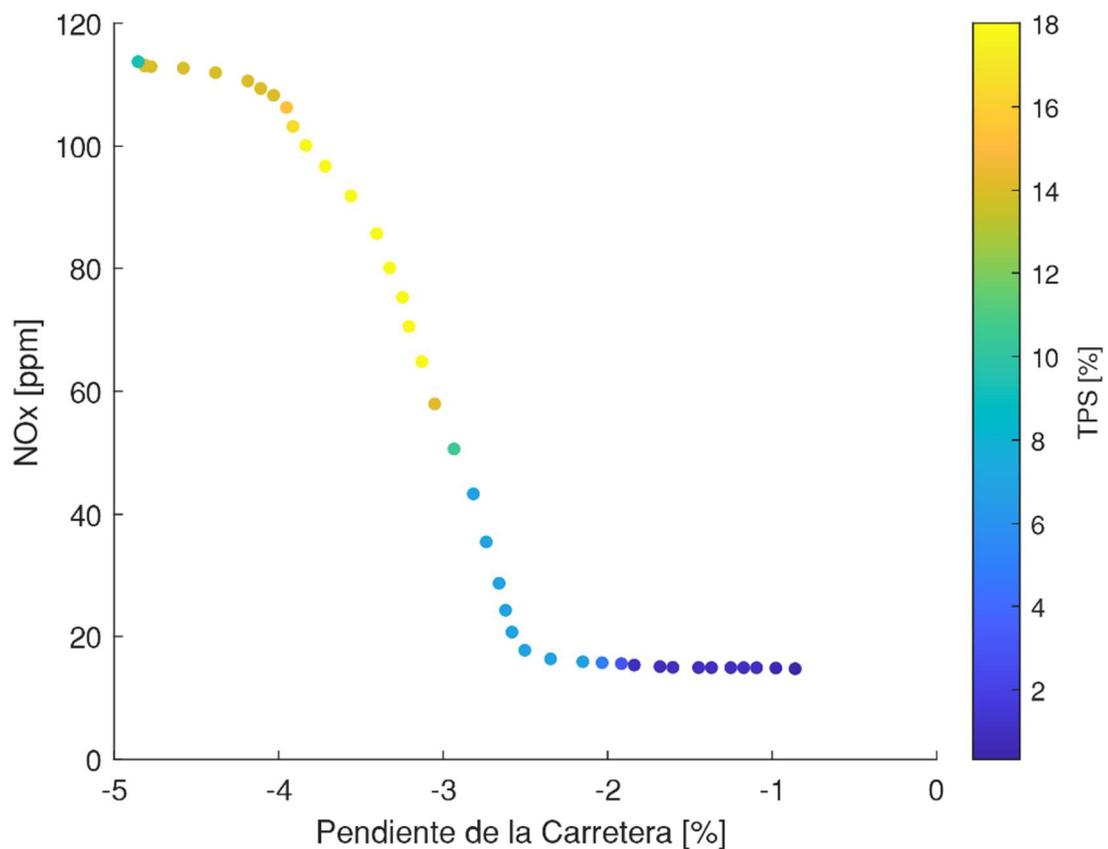


Figura 51: Emisiones contaminantes Pendiente-NOx-Tps.

Fuente: Autores.

6.3. Variables poco influyentes en las emisiones contaminantes de NOx

La temperatura del refrigerante del motor lidera como variable poco influyente en las emisiones contaminantes de NOx. Razón por la cual se nota un comportamiento peculiar en la Figura 52. Con una temperatura de 92.96 °C a 93.36 °C en el refrigerante del motor, se tiene un aumento de los valores de NOx en un 66.42%. Instante en el que se presenta una apertura progresiva de la mariposa del cuerpo de aceleración hacia un valor máximo de 2%. Sin embargo, a medida que aumentan los valores registrados de la ECT durante el arranque presentado, las emisiones contaminantes de NOx dejan de aumentar y decrecen en un 40.33% al igual que los valores del TPS.

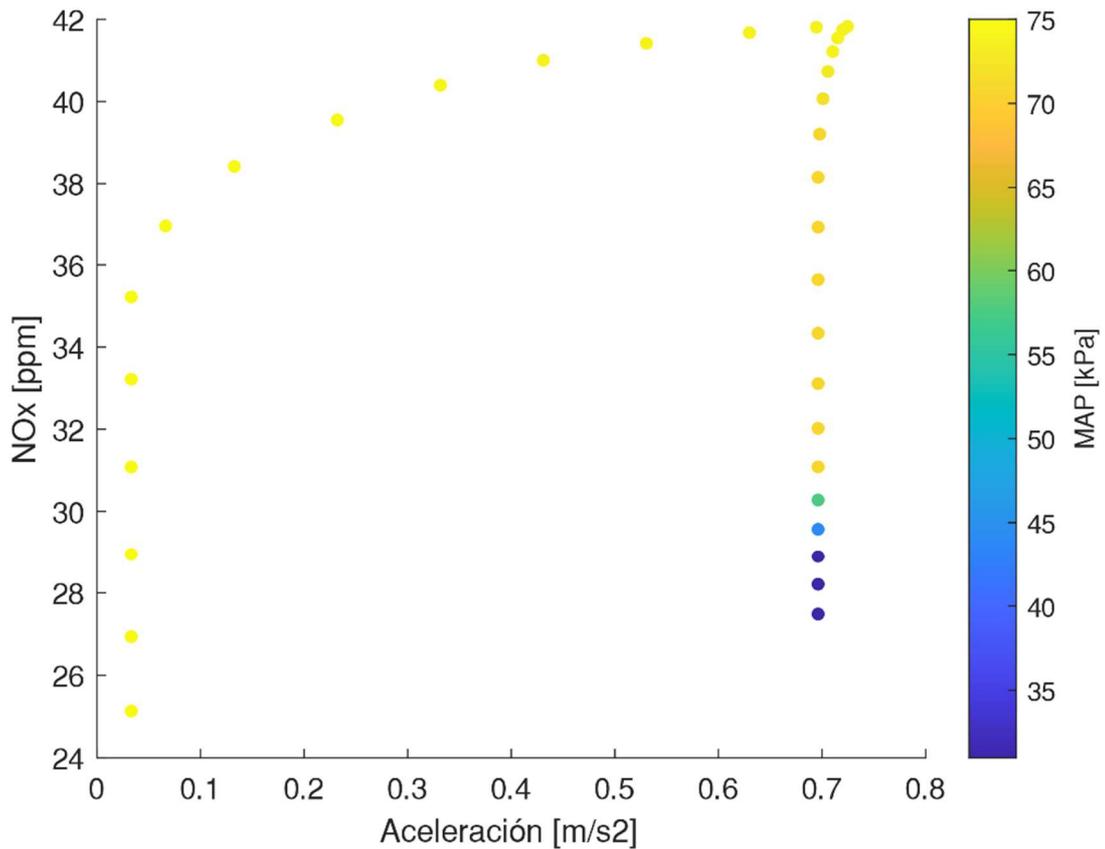


Figura 53: Emisiones Contaminantes Aceleración-NOx-Map.

Fuente: Autores.

La última variable poco influyente en las emisiones contaminantes de NOx es la concentración de oxígeno en los gases de escape. La misma que presento la menor influencia de todas las variables analizadas con una ponderación de 0.21. Debido a la naturaleza de la señal cíclica del sensor de oxígeno del vehículo, las emisiones contaminantes presentan un patrón peculiar como se observa en la Figura 54. Los valores de NOx crecen en un 71.41% durante la variación de mezcla rica (más de 0.45V) y pobre (menos de 0.45V). Sin embargo, este cambio puede estar sujeto más por el régimen de giro del motor, ya que es en su valor más alto de 2800 rpm, cuando se genera las emisiones contaminantes de NOx mayores para el presente arranque.

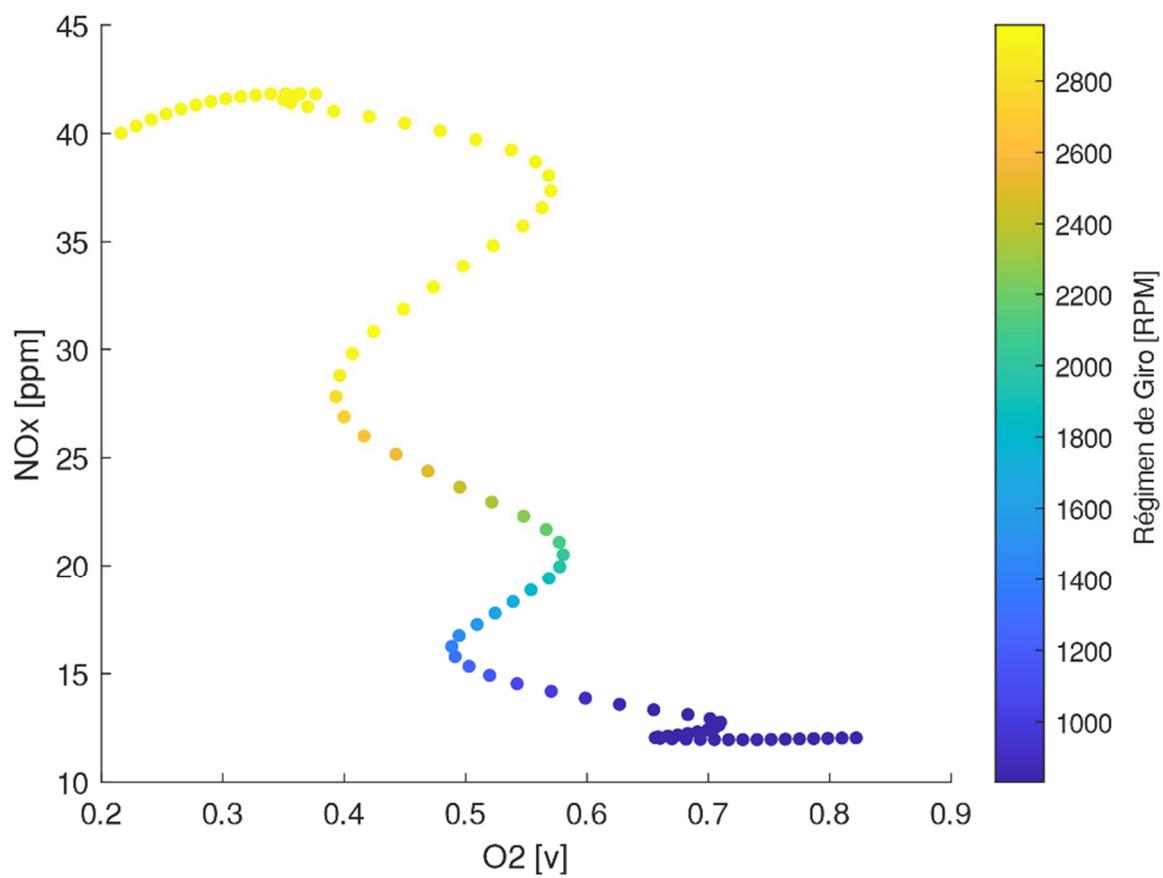


Figura 54: Emisiones Contaminantes O2-NOx-RPM.

Fuente: Autores.

7. CONCLUSIONES

- Mediante la revisión de la literatura se pudo determinar los fundamentos teóricos más relevantes para la realización de este proyecto. En donde se destacó que la instrumentación necesaria para obtener los datos de emisiones contaminantes de NO_x, es el analizador de gases Brain Bee ags-688. De igual manera, para la obtención de los PIDs el equipo necesario, es el Freematics ONE+. También se estudió las técnicas de aprendizaje automatizado, las cuales permitieron conformar el pilar fundamental del procesamiento de los datos obtenidos en las mediciones. Finalmente se obtuvo información de la manera correcta en la que se debe realizar las mediciones durante las pruebas de emisión de conducción real.
- Para obtener los datos tanto de las señales PIDs y emisiones contaminantes de NO_x se realizó un procedimiento de dos fases. La primera fase consistió en la adquisición propiamente de los PIDs mediante un Data Logger conectado al puerto OBD del vehículo y, con ayuda de un PEMS se adquirió los valores de NO_x durante las pruebas realizadas. En la segunda fase se utiliza aprendizaje no supervisado y supervisado para discriminar el arranque en las variables de estudio. Para esto se utilizó máquinas de soporte vectorial cuyo porcentaje de exactitud fue del 100% con los datos previamente etiquetados con ayuda del método de agrupamiento K-means.
- Para la evaluación de los datos obtenidos, se utilizó una técnica de Machine Learning conocida como Random Forest. La misma que fue utilizada para estimar los PIDs más influyentes en las emisiones contaminantes de NO_x durante el arranque sobre pendientes. Esta técnica que tuvo un factor de determinación del 84.26%, determinó que, de todas las variables analizadas, las revoluciones del motor son las más influyentes en las emisiones contaminantes de NO_x. Seguida en importancia por la velocidad del vehículo y finalmente por el porcentaje de apertura de la mariposa del cuerpo de aceleración.
- El factor de importancia en las emisiones de NO_x durante el arranque sobre pendientes tiene de valor máximo 7.98. Perteneciente a las revoluciones del motor, siendo la variable más influyente para el incremento de emisiones contaminantes de NO_x en el rango específico de estudio. Durante el incremento de 1085 rpm hacia 1554 rpm, las emisiones contaminantes de NO_x aumentaron en un 100% y, a medida que disminuían, también lo hacían los valores del NO_x.
- A pesar que la técnica de Random Forest determino que la pendiente de la carretera es mediamente influyente en las emisiones contaminantes de NO_x durante el arranque, el

mismo si presento resultados significativos. En donde, se pudo apreciar cómo se daba un incremento del 60.45% de emisiones de NOx a medida que el arranque se daba en carreteras cuyas pendientes tenían inclinaciones desde 2.5% hacia 6.4%. Por otro lado, existe disminución de los valores en las emisiones contaminantes de NOx de un 87%, cuando se producen arranques durante el descenso de carreteras cuyas inclinaciones van desde -4.9% hacia -0.9%.

- Las rutas seleccionadas constituyen puntos de elevada altitud sobre el nivel del mar, además que componen lugares cuyas pendientes son relativamente significantes durante el arranque de los vehículos.

8. RECOMENDACIONES

- Como desarrollos futuros, el análisis se puede extender a las estimaciones de las emisiones contaminantes de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e hidrocarburos no combustionados (HC), ya que aportaría información para la logística de señalética de tránsito, entre otros.
- Para simplificar y mejorar el procesamiento y análisis de datos se recomienda usar equipos cuyas frecuencias de muestreo sean iguales. De esta manera se podría realizar estudios de mayor complejidad y exactitud.
- Mediante los resultados obtenidos, se recomienda realizar estudios referentes a las estimaciones de las emisiones contaminantes de NO_x, CO, CO₂ y HC, durante los arranques de los vehículos sobre pendientes en ciudades localizadas a nivel del mar.

9. BIBLIOGRAFÍA

- AEADE. (2018). Anuario Aeade. Obtenido de Anuario Aeade: <http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2019/03/Anuario%202018.pdf>
- AGS-688. (s.f.). Brain Bee Workshop Solutions . Obtenido de <https://www.brainbee.mahle.com/es/product-lines/emission/ags-688/>
- Aparicio, F., Vera, C., & Díaz, V. (1995). Teoría de los vehículos automóviles . Madrid.
- Augeri, F. (10 de Enero de 2011). Análisis de los gases de escape de los motores de combustión interna. Obtenido de Cise Electronica & Cise Electronics Corp.: <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/302-an%C3%A1lisis-de-los-gases-de-escape-de-los-motores-de-combusti%C3%B3n-interna.html>
- Cédric, L., Goriaux, M., Tassel, P., Perret, P., André, M., & Liu, Y. (2016). Impact of aftertreatment device and driving conditions on black carbon, ultrafine particle and NOx emissions for Euro 5 Diesel and gasoline vehicles. *Transportation Research Procedia*, 3079-3088.
- Chevrolet. (2016). Ficha Técnica. Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiAp93Gv-_sAhVGmVkkHSoQA-kQFjAAegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.chevrolet.com.ec%2Fcontent%2Fdam%2Fchevrolet%2Fsouth-america%2Fecuador%2Fespanol%2Findex%2Faxis%2Faveo%2
- Commission, E. (14 de 06 de 2019). European Commission. Obtenido de Clean Mobility: Commission tables proposal on car emissions testing in realdriving conditions: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/QANDA_19_2850
- Costagliola, M. A., Costabile, M., & Prati, M. V. (2018). Impact of road grade on real driving emissions from two Euro 5 diesel. *Applied Energy*, 586-593.
- Cox, L., & Blaszcak, R. (1999). Nitrogen Oxides (NOx) Why and how they are controlled. DIANE Publishing.

- Cusco, L. (2019). Caracterización de la respuesta dinámica en la aceleración de un vehículo Aveo 1.6 en función de los PIDs obtenidos a través de OBD II. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- EMOV. (2014). Inventario de Emisiones Atmosféricas del Cantón Cuenca. Cuenca.
- EMOV. (2018). Informe de calidad del aire Cuenca. Obtenido de <http://www.emov.gob.ec/sites/default/files/CALIDAD%20DEL%20AIRE%202018.pdf>
- Fontaras, G., Zacharof, N.-G., & BiagioCiuffo. (2017). Fuel consumption and CO2 emissions from passenger cars in Europe – Laboratory versus real-world emissions. Progress in Energy and Combustion Science, Volume 60, Pages 97-131.
- Gárate, D. A. (2018). Desarrollo de un algoritmo para la adquisición y almacenamiento de datos provenientes del sistema de diagnóstico a bordo OBD II. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16587>
- Huang, S. H. (2013). Obtenido de Freematics: <https://freematics.com/>
- Kaishan Zhang, H. C. (2012). Road Grade Estimation for On-Road Vehicle Emissions Modeling Using Light Detection and Ranging Data. Journal of the Air & Waste Management Association , 777-788.
- Kurtykaa, K., & Pielechaa, J. (2019). The evaluation of exhaust emission in RDE tests including dynamic driving conditions. Transportation Research Procedia 40, 338-345.
- M. Weiss, P. B. (2011). Analyzing on-road emissions of light-duty vehicles with portable emission measurement systems (PEMS).
- MathWorks. (s.f.). Obtenido de Machine Learning: <https://la.mathworks.com/discovery/machine-learning.html#-c%C3%B3mo-funciona>
- May, J., Bosteels, D., & Favre, C. (2014). Obtenido de A COMPARISON OF LIGHT-DUTY VEHICLE EMISSIONS OVER DIFFERENT TEST CYCLES AND IN REAL DRIVING CONDITIONS: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-COMPARISON-OF-LIGHT-DUTY-VEHICLE-EMISSIONS-OVER-May-Bosteels/6a2a81f5f03b8e6b3a90294adcd9fea40a051b34>

- McCord, K. (2011). *Automotive Diagnostic Systems: Understanding OBD I and OBD II*. CarTech.
- Molina, B. (2020). Análisis de un motor ciclo Otto ante diferentes factores atmosféricos mediante un estudio comparativo de parámetros de identificación para obtener el rendimiento energético. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana.
- Morales, V., & Bonnel, P. (2018). *On-road testing with Portable Emissions Measurement Systems (PEMS)*. Comisión Europea.
- Murena, F., Prati, M. V., & Costagliola, M. A. (2019). Real driving emissions of a scooter and a passenger car in Naples city. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 46-55.
- Prati, M. V., Meccariello, G., Ragione, L. D., & Costagliola, M. A. (2015). Real Driving Emissions of a Light-Duty Vehicle in Naples. Influence of Road Grade.
- Ricardo Suarez-Bertoa, C. A. (2018). Impact of cold temperature on Euro 6 passenger car emissions. *Environmental Pollution Volume 234*, 318-329.
- SAE. (11 de Agosto de 2014). SAE International. Obtenido de https://www.sae.org/standards/content/j1979_201408
- Sánchez, J. (2017). *Simulador de una ECU y Diagnostico mediante CAN y OBD II*. Cuenca: Universidad de Castilla-La Mancha.
- Srikanth Prakash, T. A. (s.f.). An investigation into the effect of road gradient and driving style on NOX emissions from a diesel vehicle driven on urban roads. *Transportation Research Part D*.

ANEXOS

Anexo 1. Fragmento de los datos obtenidos del PEMS de la Ruta 1.

| Time | RPM | CO | CO2 | HC | O2 | NOx |
|----------|-----|-----------|------------|-------|-----------|--------|
| 10:52:06 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 3 ppm | 5,28 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:06 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 3 ppm | 5,28 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:06 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 3 ppm | 5,28 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:07 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 3 ppm | 5,28 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:07 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 3 ppm | 5,28 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:07 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 3 ppm | 5,28 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:08 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 3 ppm | 5,28 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:08 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 3 ppm | 5,28 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:08 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 3 ppm | 5,28 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:08 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 3 ppm | 5,28 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:09 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 3 ppm | 5,28 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:09 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 2 ppm | 5,29 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:09 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 2 ppm | 5,29 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:10 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 2 ppm | 5,30 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:10 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 2 ppm | 5,30 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:10 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 2 ppm | 5,32 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:10 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 2 ppm | 5,32 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:11 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 2 ppm | 5,32 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:11 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 2 ppm | 5,32 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:11 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 2 ppm | 5,32 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:11 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 2 ppm | 5,32 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:12 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 2 ppm | 5,32 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:12 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 2 ppm | 5,32 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:12 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 2 ppm | 5,32 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:13 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 2 ppm | 5,32 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:13 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 2 ppm | 5,32 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:13 | 0 | 0,04 %Vol | 11,00 %Vol | 2 ppm | 5,32 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:13 | 0 | 0,04 %Vol | 11,80 %Vol | 3 ppm | 5,32 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:14 | 0 | 0,04 %Vol | 11,80 %Vol | 3 ppm | 5,32 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:14 | 0 | 0,04 %Vol | 11,80 %Vol | 3 ppm | 5,23 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:14 | 0 | 0,04 %Vol | 11,80 %Vol | 3 ppm | 5,06 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:15 | 0 | 0,04 %Vol | 11,80 %Vol | 3 ppm | 5,06 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:15 | 0 | 0,03 %Vol | 12,60 %Vol | 3 ppm | 4,57 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:15 | 0 | 0,03 %Vol | 12,60 %Vol | 3 ppm | 4,57 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:16 | 0 | 0,04 %Vol | 12,60 %Vol | 3 ppm | 4,30 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:16 | 0 | 0,04 %Vol | 12,60 %Vol | 3 ppm | 4,30 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:16 | 0 | 0,03 %Vol | 13,20 %Vol | 4 ppm | 4,00 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:16 | 0 | 0,03 %Vol | 13,20 %Vol | 4 ppm | 3,37 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:17 | 0 | 0,03 %Vol | 13,20 %Vol | 4 ppm | 3,37 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:17 | 0 | 0,03 %Vol | 13,70 %Vol | 4 ppm | 3,09 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:17 | 0 | 0,03 %Vol | 13,70 %Vol | 4 ppm | 3,09 %Vol | 0 ppm |
| 10:52:18 | 0 | 0,03 %Vol | 13,70 %Vol | 4 ppm | 2,79 %Vol | 10 ppm |

Anexo 2. Fragmento de los datos obtenidos del Data Logger de la Ruta 1.

| Identificador | Primer Valor | Segundo Valor | Tercer Valor |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 0 | 177543 | | |
| 11 | 70920 | | |
| 10 | 15431040 | | |
| A | -2.876274 | | |
| B | -78.966354 | | |
| C | 2499.8 | | |
| D | 8 | | |
| F | 6 | | |
| 106 | 3 | | |
| 0 | 177701 | | |
| 11 | 70920 | | |
| 10 | 15431060 | | |
| A | -2.876271 | | |
| B | -78.966354 | | |
| C | 2499.6 | | |
| D | 7.39 | | |
| F | 6 | | |
| 107 | -5 | | |
| 0 | 177848 | | |
| 11 | 70920 | | |
| 10 | 15431080 | | |
| A | -2.876267 | | |
| B | -78.966354 | | |
| C | 2499.6 | | |
| D | 7.13 | | |
| F | 6 | | |
| 114 | 162 | | |
| 0 | 177998 | | |
| 11 | 70920 | | |
| 10 | 15431090 | | |
| A | -2.876266 | | |
| B | -78.966354 | | |
| C | 2499.5 | | |
| D | 7.37 | | |
| F | 6 | | |
| 20 | -27 | -50 | -144 |
| 24 | 1440 | | |
| 0 | 178007 | | |
| 10D | 11 | | |
| 0 | 178154 | | |
| 11 | 70920 | | |
| 10 | 15431110 | | |
| A | -2.876263 | | |
| B | -78.966354 | | |
| C | 2499.5 | | |
| D | 6.72 | | |
| F | 6 | | |
| 10C | 941 | | |
| 0 | 178303 | | |
| 11 | 70920 | | |
| 10 | 15431120 | | |
| A | -2.876261 | | |

Anexo 3. Fragmento de los datos obtenidos del PEMS de la Ruta 2.

| Time | RPM | CO | CO2 | HC | O2 | NOx |
|----------|-----|-----------|------------|--------|-----------|--------|
| 11:53:24 | 0 | 0.38 %Vol | 12.90 %Vol | 23 ppm | 2.98 %Vol | 0 ppm |
| 11:53:24 | 0 | 0.38 %Vol | 12.90 %Vol | 23 ppm | 2.98 %Vol | 0 ppm |
| 11:53:24 | 0 | 0.42 %Vol | 12.90 %Vol | 27 ppm | 2.92 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:25 | 0 | 0.42 %Vol | 12.90 %Vol | 27 ppm | 2.92 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:25 | 0 | 0.42 %Vol | 12.80 %Vol | 27 ppm | 2.92 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:25 | 0 | 0.42 %Vol | 12.80 %Vol | 28 ppm | 2.92 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:26 | 0 | 0.42 %Vol | 12.80 %Vol | 28 ppm | 2.92 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:26 | 0 | 0.40 %Vol | 12.80 %Vol | 28 ppm | 2.92 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:26 | 0 | 0.40 %Vol | 12.80 %Vol | 28 ppm | 2.92 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:27 | 0 | 0.40 %Vol | 12.80 %Vol | 30 ppm | 2.92 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:27 | 0 | 0.40 %Vol | 12.80 %Vol | 30 ppm | 2.92 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:27 | 0 | 0.36 %Vol | 12.80 %Vol | 30 ppm | 2.92 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:27 | 0 | 0.36 %Vol | 13.30 %Vol | 30 ppm | 2.87 %Vol | 11 ppm |
| 11:53:28 | 0 | 0.36 %Vol | 13.30 %Vol | 30 ppm | 2.87 %Vol | 11 ppm |
| 11:53:28 | 0 | 0.32 %Vol | 13.30 %Vol | 30 ppm | 2.75 %Vol | 11 ppm |
| 11:53:29 | 0 | 0.32 %Vol | 13.80 %Vol | 30 ppm | 2.60 %Vol | 11 ppm |
| 11:53:29 | 0 | 0.32 %Vol | 13.80 %Vol | 30 ppm | 2.60 %Vol | 11 ppm |
| 11:53:29 | 0 | 0.27 %Vol | 13.80 %Vol | 30 ppm | 2.23 %Vol | 11 ppm |
| 11:53:29 | 0 | 0.27 %Vol | 13.80 %Vol | 30 ppm | 2.23 %Vol | 11 ppm |
| 11:53:30 | 0 | 0.27 %Vol | 14.00 %Vol | 30 ppm | 2.04 %Vol | 11 ppm |
| 11:53:30 | 0 | 0.27 %Vol | 14.00 %Vol | 30 ppm | 2.04 %Vol | 11 ppm |
| 11:53:30 | 0 | 0.22 %Vol | 14.00 %Vol | 30 ppm | 1.71 %Vol | 11 ppm |
| 11:53:30 | 0 | 0.22 %Vol | 14.00 %Vol | 30 ppm | 1.71 %Vol | 11 ppm |
| 11:53:31 | 0 | 0.22 %Vol | 14.00 %Vol | 30 ppm | 1.58 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:31 | 0 | 0.22 %Vol | 14.00 %Vol | 30 ppm | 1.58 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:31 | 0 | 0.22 %Vol | 14.00 %Vol | 30 ppm | 1.47 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:32 | 0 | 0.22 %Vol | 14.00 %Vol | 30 ppm | 1.47 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:32 | 0 | 0.17 %Vol | 13.90 %Vol | 30 ppm | 1.39 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:32 | 0 | 0.17 %Vol | 13.90 %Vol | 30 ppm | 1.39 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:33 | 0 | 0.17 %Vol | 13.90 %Vol | 30 ppm | 1.39 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:33 | 0 | 0.13 %Vol | 13.90 %Vol | 30 ppm | 1.39 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:33 | 0 | 0.13 %Vol | 13.90 %Vol | 30 ppm | 1.39 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:33 | 0 | 0.13 %Vol | 14.00 %Vol | 30 ppm | 1.44 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:34 | 0 | 0.13 %Vol | 14.00 %Vol | 30 ppm | 1.44 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:34 | 0 | 0.12 %Vol | 14.00 %Vol | 30 ppm | 1.44 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:34 | 0 | 0.12 %Vol | 14.00 %Vol | 30 ppm | 1.44 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:35 | 0 | 0.12 %Vol | 14.20 %Vol | 30 ppm | 1.44 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:35 | 0 | 0.12 %Vol | 14.20 %Vol | 30 ppm | 1.44 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:35 | 0 | 0.12 %Vol | 14.20 %Vol | 27 ppm | 1.32 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:36 | 0 | 0.12 %Vol | 14.30 %Vol | 27 ppm | 1.24 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:36 | 0 | 0.12 %Vol | 14.30 %Vol | 27 ppm | 1.24 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:36 | 0 | 0.12 %Vol | 14.30 %Vol | 27 ppm | 1.14 %Vol | 10 ppm |
| 11:53:36 | 0 | 0.12 %Vol | 14.30 %Vol | 27 ppm | 1.14 %Vol | 10 ppm |

Anexo 4. Fragmento de los datos obtenidos del Data Logger de la Ruta 2.

| Identificador | Primer Valor | Segundo Valor | Tercer Valor |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 0 | 149959 | | |
| 11 | 70920 | | |
| 10 | 16453940 | | |
| A | -2.879079 | | |
| B | -78.981567 | | |
| C | 2540.2 | | |
| D | 0.09 | | |
| F | 12 | | |
| 20 | -49 | 0 | -147 |
| 24 | 1411 | | |
| 0 | 149968 | | |
| 10D | 0 | | |
| 0 | 150115 | | |
| 11 | 70920 | | |
| 10 | 16453950 | | |
| A | -2.879079 | | |
| B | -78.981567 | | |
| C | 2540.2 | | |
| D | 0.13 | | |
| F | 12 | | |
| 111 | 0 | | |
| 0 | 150412 | | |
| 11 | 70920 | | |
| 10 | 16453980 | | |
| A | -2.879079 | | |
| B | -78.981567 | | |
| C | 2540.2 | | |
| D | 0.11 | | |
| F | 12 | | |
| 20 | -51 | -8 | -150 |
| 24 | 1410 | | |
| 0 | 151322 | | |
| 10D | 0 | | |
| 0 | 151469 | | |
| 11 | 70920 | | |
| 10 | 16454090 | | |
| A | -2.87908 | | |
| B | -78.981567 | | |
| C | 2540.2 | | |
| D | 0.28 | | |
| F | 12 | | |
| 10C | 794 | | |
| 0 | 151625 | | |

Anexo 5. Fragmento de los datos obtenidos del PEMS de la Ruta 3.

| Time | RPM | CO | CO2 | HC | O2 | NOx |
|----------|-----|-----------|------------|--------|-----------|--------|
| 13:32:07 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 11 ppm | 0,59 %Vol | 20 ppm |
| 13:32:08 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 11 ppm | 0,59 %Vol | 19 ppm |
| 13:32:08 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 11 ppm | 0,59 %Vol | 19 ppm |
| 13:32:08 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 11 ppm | 0,59 %Vol | 18 ppm |
| 13:32:09 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 11 ppm | 0,59 %Vol | 18 ppm |
| 13:32:09 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 11 ppm | 0,59 %Vol | 18 ppm |
| 13:32:09 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 11 ppm | 0,61 %Vol | 17 ppm |
| 13:32:10 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 11 ppm | 0,61 %Vol | 17 ppm |
| 13:32:10 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 11 ppm | 0,61 %Vol | 17 ppm |
| 13:32:10 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 11 ppm | 0,61 %Vol | 17 ppm |
| 13:32:10 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 11 ppm | 0,63 %Vol | 16 ppm |
| 13:32:11 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 11 ppm | 0,63 %Vol | 16 ppm |
| 13:32:11 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 10 ppm | 0,66 %Vol | 15 ppm |
| 13:32:12 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 10 ppm | 0,67 %Vol | 14 ppm |
| 13:32:12 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 10 ppm | 0,67 %Vol | 14 ppm |
| 13:32:12 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 11 ppm | 0,68 %Vol | 14 ppm |
| 13:32:12 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 11 ppm | 0,68 %Vol | 14 ppm |
| 13:32:13 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 11 ppm | 0,69 %Vol | 14 ppm |
| 13:32:13 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 11 ppm | 0,70 %Vol | 13 ppm |
| 13:32:13 | 0 | 0,01 %Vol | 14,30 %Vol | 11 ppm | 0,70 %Vol | 13 ppm |
| 13:32:14 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 11 ppm | 0,71 %Vol | 13 ppm |
| 13:32:14 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 11 ppm | 0,71 %Vol | 13 ppm |
| 13:32:14 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 10 ppm | 0,72 %Vol | 13 ppm |
| 13:32:15 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 10 ppm | 0,72 %Vol | 13 ppm |
| 13:32:15 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 10 ppm | 0,73 %Vol | 13 ppm |
| 13:32:15 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 10 ppm | 0,75 %Vol | 13 ppm |
| 13:32:16 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 10 ppm | 0,75 %Vol | 13 ppm |
| 13:32:16 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 10 ppm | 0,76 %Vol | 13 ppm |
| 13:32:16 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 10 ppm | 0,76 %Vol | 13 ppm |
| 13:32:17 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 10 ppm | 0,77 %Vol | 12 ppm |
| 13:32:17 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 10 ppm | 0,77 %Vol | 12 ppm |
| 13:32:17 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 10 ppm | 0,79 %Vol | 12 ppm |
| 13:32:17 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 10 ppm | 0,80 %Vol | 12 ppm |
| 13:32:18 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 10 ppm | 0,80 %Vol | 12 ppm |
| 13:32:18 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 10 ppm | 0,81 %Vol | 12 ppm |
| 13:32:18 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 10 ppm | 0,81 %Vol | 12 ppm |
| 13:32:19 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 10 ppm | 0,83 %Vol | 12 ppm |
| 13:32:19 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 10 ppm | 0,83 %Vol | 12 ppm |
| 13:32:19 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 9 ppm | 0,83 %Vol | 12 ppm |
| 13:32:20 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 9 ppm | 0,83 %Vol | 12 ppm |
| 13:32:20 | 0 | 0,01 %Vol | 14,20 %Vol | 9 ppm | 0,84 %Vol | 12 ppm |
| 13:32:20 | 0 | 0,01 %Vol | 14,10 %Vol | 9 ppm | 0,85 %Vol | 12 ppm |
| 13:32:20 | 0 | 0,01 %Vol | 14,10 %Vol | 9 ppm | 0,85 %Vol | 12 ppm |

Anexo 6. Fragmento de los datos obtenidos del Data Logger de la Ruta 3.

| Identificador | Primer Valor | Segundo Valor | Tercer Valor |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 0 | 155988 | | |
| 11 | 90920 | | |
| 10 | 18302300 | | |
| A | -2.884334 | | |
| B | -78.989777 | | |
| C | 2548.9 | | |
| D | 41.95 | | |
| F | 10 | | |
| 20 | 5 | -37 | -87 |
| 24 | 1427 | | |
| 0 | 155997 | | |
| 10D | 43 | | |
| 0 | 156145 | | |
| 11 | 90920 | | |
| 10 | 18302320 | | |
| A | -2.884325 | | |
| B | -78.989799 | | |
| C | 2549.1 | | |
| D | 41.56 | | |
| F | 10 | | |
| 10C | 1916 | | |
| 0 | 156303 | | |
| 11 | 90920 | | |
| 10 | 18302330 | | |
| A | -2.884321 | | |
| B | -78.989807 | | |
| C | 2549.2 | | |
| D | 41.36 | | |
| F | 10 | | |
| 111 | 5 | | |
| 0 | 156456 | | |
| 11 | 90920 | | |
| 10 | 18302350 | | |
| A | -2.884313 | | |
| B | -78.989822 | | |
| C | 2549.3 | | |
| D | 40.65 | | |
| F | 10 | | |
| 105 | 91 | | |
| 0 | 156606 | | |
| 11 | 90920 | | |
| 10 | 18302360 | | |
| A | -2.884309 | | |

Anexo 7. Fragmento de los datos obtenidos del PEMS de la Ruta 4.

| Time | RPM | CO | CO2 | HC | O2 | NOx |
|----------|-----|-----------|------------|--------|-----------|-------|
| 15:09:41 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:41 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:42 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:42 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:42 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:43 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:43 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:43 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:43 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:44 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:44 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:44 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:44 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:45 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:45 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:45 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:45 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:45 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:46 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:46 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:46 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:47 | 0 | 0,02 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:47 | 0 | 0,03 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:47 | 0 | 0,03 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:48 | 0 | 0,03 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:48 | 0 | 0,03 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,42 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:48 | 0 | 0,03 %Vol | 12,60 %Vol | 9 ppm | 3,41 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:48 | 0 | 0,03 %Vol | 12,70 %Vol | 9 ppm | 3,41 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:49 | 0 | 0,03 %Vol | 12,70 %Vol | 9 ppm | 3,41 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:49 | 0 | 0,03 %Vol | 12,70 %Vol | 9 ppm | 3,40 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:49 | 0 | 0,03 %Vol | 12,70 %Vol | 9 ppm | 3,40 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:50 | 0 | 0,03 %Vol | 12,70 %Vol | 9 ppm | 3,40 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:50 | 0 | 0,03 %Vol | 12,70 %Vol | 9 ppm | 3,39 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:50 | 0 | 0,03 %Vol | 12,70 %Vol | 9 ppm | 3,39 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:51 | 0 | 0,03 %Vol | 12,90 %Vol | 9 ppm | 3,35 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:51 | 0 | 0,03 %Vol | 12,90 %Vol | 9 ppm | 3,35 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:51 | 0 | 0,03 %Vol | 12,90 %Vol | 9 ppm | 3,32 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:52 | 0 | 0,03 %Vol | 12,90 %Vol | 9 ppm | 3,32 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:52 | 0 | 0,02 %Vol | 13,40 %Vol | 9 ppm | 3,21 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:52 | 0 | 0,02 %Vol | 13,40 %Vol | 9 ppm | 3,09 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:53 | 0 | 0,02 %Vol | 13,40 %Vol | 9 ppm | 3,09 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:53 | 0 | 0,05 %Vol | 13,40 %Vol | 9 ppm | 2,95 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:53 | 0 | 0,05 %Vol | 13,40 %Vol | 9 ppm | 2,95 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:54 | 0 | 0,04 %Vol | 13,80 %Vol | 10 ppm | 2,57 %Vol | 0 ppm |
| 15:09:54 | 0 | 0,06 %Vol | 13,80 %Vol | 10 ppm | 2,40 %Vol | 0 ppm |

Anexo 8. Fragmento de los datos obtenidos del Data Logger de la Ruta 4.

| Identificador | Primer Valor | Segundo Valor | Tercer Valor |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 0 | 154088 | | |
| 10D | 33 | | |
| 10C | 1804 | | |
| 111 | 0 | | |
| 105 | 88 | | |
| 10F | 38 | | |
| 10B | 23 | | |
| 106 | 0 | | |
| 107 | -7 | | |
| 114 | 1 | | |
| 20 | -31 | -88 | -99 |
| 24 | 1401 | | |
| 0 | 155440 | | |
| 10D | 28 | | |
| 10C | 1171 | | |
| 111 | 0 | | |
| 105 | 88 | | |
| 10F | 38 | | |
| 10B | 25 | | |
| 106 | -2 | | |
| 107 | -7 | | |
| 114 | 42 | | |
| 20 | -36 | -76 | -98 |
| 24 | 1417 | | |
| 0 | 162782 | | |
| 11 | 90920 | | |
| 10 | 20065520 | | |
| A | -2.923049 | | |
| B | -79.006111 | | |
| C | 2665 | | |
| D | 4 | | |
| F | 5 | | |
| 10F | 39 | | |
| 0 | 162939 | | |
| 11 | 90920 | | |
| 10 | 20065540 | | |
| A | -2.923046 | | |
| B | -79.006119 | | |
| C | 2665 | | |
| D | 5.15 | | |
| F | 5 | | |
| 10B | 74 | | |
| 0 | 163087 | | |

