



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ADQUISICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE DATOS DEL VEHÍCULO BLUE
DRIVE DEL LABORATORIO DE MOVILIDAD SOSTENIBLE DE LA CARRERA
DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA – SEDE GUAYAQUIL**

Trabajo de titulación previo a la Obtención del
Título de Ingeniero Automotriz

AUTORES:

KEVIN DAVID GONZÁLEZ SILVA

DARÍO NAPOLEÓN PESANTES PAREDES

TUTOR: ING. PABLO RENATO FIERRO JIMÉNEZ, MSc.

Guayaquil – Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Kevin David González Silva con documento de identificación N° 0923885644 y Darío Napoleón Pesantes Paredes con documento de identificación N° 0932089634; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 25 de febrero del año 2022

Atentamente,



Kevin David González Silva

0923885644



Darío Napoleón Pesantes Paredes

0932089634

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Kevin David González Silva con documento de identificación N° 0923885644 y Darío Napoleón Pesantes Paredes con documento de identificación N° 0932089634, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Adquisición Y Caracterización De Datos Del Vehículo Blue Drive Del Laboratorio De Movilidad Sostenible De La Carrera De Ingeniería Automotriz De La Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 25 de febrero del año 2022

Atentamente,

Kevin David González Silva

0923885644

Darío Napoleón Pesantes Paredes

0932089634

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pablo Renato Fierro Jiménez con documento de identificación N° 1103588578, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ADQUISICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE DATOS DEL VEHÍCULO BLUE DRIVE DEL LABORATORIO DE MOVILIDAD SOSTENIBLE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA – SEDE GUAYAQUIL, realizado por Kevin David González Silva con documento de identificación N° 0923885644 y por Darío Napoleón Pesantes Paredes con documento de identificación N° 0932089634, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 25 de febrero del año 2022

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Pablo Renato Fierro Jiménez', is written over a horizontal line.

Ing. Pablo Renato Fierro Jiménez, MSc

1103588578

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres y hermana, su ejemplo de búsqueda a la excelencia, su dedicación, esfuerzo y entrega me guían hacia el sendero del éxito. ¡Gloria a Dios!

Kevin David

Dedicado a mi padre Napoleón Pesantes y a mi madre Inés Paredes, siempre alentándome para ser lo que soy el día de hoy, y con el apoyo y afecto que me han dado mantendré un avance firme hacia el mañana.

Napoleón Pesantes

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer en primera instancia a la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, a los ingenieros David Cárdenas, Roberto López, Daniel Bayas y la doctora Mary Vergara, por habernos aconsejado, guiado y brindado apoyo para la realización del proyecto.

Al Ingeniero Renato Fierro, por hacer que nos desafiamos día a día para superarnos y poder dar lo mejor en cada situación. A su vez, por trabajar con nosotros codo a codo en este proyecto que ha traído risas, enfados, pero sobre todo aprendizaje.

RESUMEN

La investigación se basa en el proceso de adquisición y caracterización de datos del tren de potencia de un híbrido, utilizando como herramienta un escáner OBD¹ para la lectura de datos, y su conectividad para el almacenamiento de los datos de funcionamiento del vehículo Blue Drive del laboratorio de movilidad sostenible de la carrera de ingeniería automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana – sede Guayaquil.

Las variables provienen desde la unidad de control electrónico por sus siglas en inglés, ECU². Utilizando un equipo automático para la recolección de los datos desde los puntos de control de la ECU y registrarlos vía inalámbrica bajo la metodología IOT³. La toma de datos en cada modo de conducción permite conocer y analizar las características, que facilitará posteriormente el procesamiento de datos del tren de potencia de un vehículo híbrido que recorre las calles en la ciudad de Guayaquil - Ecuador.

Para alcanzar los objetivos planteados se realizará la caracterización, mediante la extracción y análisis de datos de las características de los modos de operación del vehículo, modo NORMAL, modo ECO, modo 100% eléctrico (EV) y modo SPORT tomando la data con métricas análogas, considerando las características de comparación de escenarios semejantes, los datos serán evaluados en los mismos recorridos en la ciudad de Guayaquil. Los datos serán tomados en tiempo real, su almacenamiento será de forma escalonada, para su posterior procesamiento.

Se plantea que la obtención de estos datos se realice mediante el sistema de diagnóstico a bordo OBDLINK MX. Esta información en tiempo real se receptó durante la realización de pruebas de ruta y se almacenaron todas las variables del tren de potencia. En base a esta información, se determinó las variables más relevantes que influyen en el funcionamiento del tren de potencia.

Palabras claves: Caracterización, Adquisición, Tren, Potencia, OBD.

¹ OBD: On Board Diagnostic.

² ECU: Electronic control unit.

³ IOT: Internet of Things.

ABSTRACT

The next investigation is based on the acquisition and characterization process of the powertrain of a hybrid vehicle using an OBD scanner. This is used for the lecture of data and his connectivity for the storage of functionality of the Blue Drive hybrid vehicle from the laboratory of sustainable mobility of the automotive engineering career of the Salesian Polytechnic University – Guayaquil campus.

Variables come from the electronic control unit, ECU. Using automatic equipment for the data recollection from the ECU checkpoints and recording them wirelessly by the IOT methodology. The data acquisition of each conduction mode allows us to know and analyze the characteristic of the powertrain of a hybrid vehicle that travels throw the streets of Guayaquil – Ecuador.

In order to achieve the raised objectives, the powertrain characterization will be done once the extraction of data is acquired and analyzed. This data is based on the conduction modes of the vehicles. These modes are NORMAL mode, ECO mode, 100% electric mode (EV), and SPORT mode. The data is obtained with analogous metrics and takes into consideration similar scenarios. The information from the powertrain will be evaluated by the same travels in Guayaquil city. This data collection is taken live, and his storage will be staggered for its subsequent processing.

It is proposed that the data acquisition be done by using an on-board diagnosis system, OBDLINK MX. This data information was obtained live during the travel throw the streets and storage all variables from the powertrain. Based on this information, it was determinate the most relevant variables that influence the function of the powertrain.

Key words: Characterization, Acquisition, Powertrain, OBDLINK.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
2.	CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y ESTUDIOS PREVIOS SOBRE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL TREN DE POTENCIA	5
2.1	Principio de funcionamiento de un vehículo híbrido	5
2.2	Sistema híbrido del vehículo BLUE DRIVE del laboratorio de movilidad sostenible de la carrera de ingeniería automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil ...	6
2.2.1	Modos de conducción.....	6
2.2.2	Funcionamiento	7
2.3	Protocolos y normativas	7
2.3.1	Protocolos de comunicación y normativa	9
2.4	Métodos de adquisición de datos	9
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA USADA PARA LA ADQUISICIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL TREN DE POTENCIA	14
3.1	Investigación descriptiva - encuesta.....	14
3.2	Programas computacionales para la obtención de datos y simulación numérica matemáticos	17
3.2.1	OBD WIZ.....	17
3.2.2	MINI TAB.....	17
3.3	Caracterización de datos del tren de potencia del vehículo Blue Drive.....	18
3.3.1	Variables involucradas en el funcionamiento del tren de potencia del vehículo Blue Drive.	18
3.3.2	Métodos estadísticos para la caracterización de datos	31
3.3.2.1	Análisis de normalidad.....	31
3.3.2.2	Correlación	32
3.3.2.3	Nivel de significancia.....	32
3.3.2.4	Regresión.....	32
4.	CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA ADQUISICIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL FUNCIONAMIENTO DEL TREN DE POTENCIA.....	33
4.1	Resultados de la investigación descriptiva.....	35

4.2 Resultados de pruebas de normalidad	36
4.3 Resultados de pruebas de correlación	36
4.4 Variables que caracterizan el tren de potencia según su modo	37
MODO NORMAL	38
MODO ECO.....	39
MODO SPORT	40
MODO EV	41
5. CAPÍTULO V: INTERPRETACIÓN DE LAS VARIABLES QUE CARACTERIZAN EL TREN DE POTENCIA DEL VEHÍCULO BLUE DRIVE.....	43
5.1 Variables involucradas en el funcionamiento del tren de potencia – MODO NORMAL 44	
5.1.1 Modo Normal – 40 km/h.....	44
5.1.2 Modo Normal – 60km/h.....	45
5.1.3 Modo Normal - 85km/h.....	45
5.2 Variables involucradas en el funcionamiento del tren de potencia – MODO ECO.....	46
5.2.1 Modo Eco – 40km/h.....	46
5.2.2 Modo Eco – 60km/h.....	47
5.2.3 Modo Eco – 85km/h.....	47
5.3 Variables involucradas en el funcionamiento del tren de potencia – MODO SPORT	48
5.3.1 Modo Sport – 40km/h	48
5.3.2 Modo Sport – 60km/h	49
5.3.3 Modo Sport – 85km/h	50
5.4 Variables involucradas en el funcionamiento del tren de potencia – EV.....	50
5.4.1 Modo EV – 40km/h.....	50
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS	54
ANEXOS.....	57
Anexos 1. Gráficas de correlaciones de variables.....	57
Anexos 1.1 Modo Normal – 40 km/h.....	57
Anexos 1.2 Modo Normal – 60 km/h.....	58
Anexos 1.3 Modo Normal 85km/h.....	61

Anexos 1.4 Modo Normal – 40 km/h _ Datos insuficientes	62
Anexos 1.5 Modo Normal – 60 km/h _ Datos insuficientes	63
Anexos 1.6 Modo ECO – 40 km/h.....	64
Anexos 1.7 Modo ECO – 60 km/h.....	66
Anexos 1.8 Modo ECO – 85 km/h.....	71
Anexos 1.9 Modo ECO – 40 km/h_Datos insuficientes	74
Anexos 1.10 Modo ECO – 85 km/h_Datos insuficientes	74
Anexos 1.11 Modo SPORT – 40 km/h	74
Anexos 1.12 Modo SPORT – 60 km/h	76
Anexos 1.13 Modo SPORT – 85 km/h	78
Anexos 1.14 Modo SPORT – 60 km/h_Datos insuficientes	80
Anexos 1.15 Modo EV – 40 km/h.....	81
Anexos 1.16 Modo EV – 40 km/h_Datos insuficientes	82
Anexos 2. Estudio de factibilidad	84
Anexos 3. Valores del tamaño de muestra	87
Anexos 4. Pruebas de normalidad de las variables estudiadas.....	90
Anexos 5. Correlación de las variables estudiadas	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Conector OBD. Fuente: (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)	8
Figura 2. Arquitectura del sistema de captación y almacenamiento de dato.. Fuente: (Kwon, Park, & Ryu, 2017)	10
Figura 3. Vista a la conexión del sistema de captación y almacenamiento de datos. Fuente: (Husni, y otros, 2016)	11
Figura 4. VISCar system architecture. Fuente: (Husni, Driving and fuel consumption monitoring with internet of things, 2017)	11
Figura 5. Propuesta de arquitectura de detección. Fuente: (Nair Narayanan, Mittal, & Joshi, 2015)	12
Figura 6. OBD LINK MX.....	13
Figura 7. Ruta DESDE campus Centenario HACIA campus María Auxiliadora (Vía A la costa).....	35
Figura 8. Ruta DESDE campus María Auxiliadora (Vía A la costa) HACIA campus Centenario.	35
Figura 9. Prueba de normalidad de la variable Hybrid/EV Battery System Current.	36
Figura 10. Correlación entre Absolute load value (%) vs Calculated Load Value.....	45
Figura 11. Absolute throttle position (%) vs Absolute throttle position B	45
Figura 12. Absolute Throttle Position (%) vs Absolute Throttle Position B (%).	46
Figura 13. Absolute Load Value (%) vs Actual Engine – Percent Torque.....	47
Figura 14. Absolute Load Value (%) vs Actual engine – percent torque.....	47
Figura 15. Absolute Throttle Position (%) vs Absolute Throttle position B (%).	48
Figura 16. Correlación entre Absolute load value (%) vs Actual engine percent torque.	49
Figura 17. Correlación entre Absolute Throttle Position (%) vs Absolute Throttle Position B (%).	49
Figura 18. Correlación entre Absolute Throttle Position (%) vs Mass air flow rate (lb/min).	50
Figura 19. Hybrid battery pack remaining life vs La economía del combustible.....	51
Figura 20. Correlación entre Absolute load value (%) vs Actual Engine – Percent Torque.	57
Figura 21. Correlación entre Absolute load value (%) vs Calculated Load Value.....	57
Figura 22. Correlación entre Absolute load value (%) vs Engine Exhaust Flow Rate (lb/mi). Fuente: Autores ..	58
Figura 23. Absolute throttle position (%) vs Absolute throttle position B.	58
Figura 24. Absolute throttle position (%) vs Commanded throttle actuator.....	59
Figura 25. Absolute load value (%) vs Actual engine – percent torque.....	59
Figura 26. Absolute load value (%) vs Calculated load value.	59
Figura 27. Absolute load value (%) vs Engine Fuel Rate.	60
Figura 28. Absolute load value (%) vs Engine RPM	60
Figura 29. Absolute load value (%) vs Engine RPM.	60
Figura 30. Engine RPM vs Relative Throttle position (%).	61
Figura 31. Engine RPM vs Mass air flow rate (lb/min).	61
Figura 32. Absolute Throttle Position (%) vs Absolute Throttle Position B (%).	62
Figura 33. Absolute Throttle Position (%) vs Commanded throttle actuator.....	62
Figura 34. Correlación entre Accelerator pedal position D (%) vs Accelerator pedal position E (%).	62
Figura 35. Correlación entre Accelerator pedal position E (%) vs Auxiliary inputs / outputs.	63

Figura 36. Correlación entre RPM vs Long term secondary oxygen sensor.....	63
Figura 37. Accelerator pedal position D (%) vs Accelerator pedal position E (%).....	63
Figura 38. Absolute Load Value (%) vs Actual Engine – Percent Torque.....	64
Figura 39. Absolute Load Value (%) vs Calculated load value (%).	64
Figura 40. Absolute Load Value (%) vs Engine Fuel Rate (lb/min).	64
Figura 41. Absolute Load Value (%) vs Mass air flow rate (lb/min).	65
Figura 42. Absolute Load Value (%) vs Velocidad del combustible.	65
Figura 43. Engine Relative throttle position (%) vs Velocidad del combustible.	65
Figura #35: Absolute throttle position (%) vs Commanded throttle actuator.	66
Figura 44. Absolute throttle position (%) vs Mass air flow rate (lb/min).	66
Figura 45. Absolute Load Value (%) vs Actual engine – percent torque.....	67
Figura 46. Absolute Load Value (%) vs Calculated Load Value.	67
Figura 47. Absolute Load Value (%) vs Commanded EGR A duty cycle/posi.	67
Figura 48. Absolute Load Value (%) vs Engine Fuel Rate.	68
Figura 49. Absolute Load Value (%) vs Engine RPM.	68
Figura 50. Absolute Load Value (%) vs Mass air flow rate (lb/min).	68
Figura 51. Absolute Load Value (%) vs Velocidad del combustible.	69
Figura 52. Absolute throttle position B (%) vs Commanded throttle actuator.	69
Figura 53. Engine RPM (RPM) vs Mass air flow rate (lb/min).	70
Figura 54. Engine RPM (RPM) vs Mass air flow rate (lb/min).	70
Figura 55. Engine RPM (RPM) vs Velocidad del combustible.	71
Figura 56. Absolute Throttle Position (%) vs Absolute Throttle position B (%).	71
Figura 57. Absolute Throttle Position (%) vs Commanded throttle actuator.	72
Figura 58. Hybrid/EV Battery System Voltage vs Short Term Fuel (%).	72
Figura 59. Correlación entre Absolute Throttle Position B vs Commanded Throttle Actuator.....	73
Figura 60. Correlación entre Accelerator pedal position D (%) vs Accelerator pedal position E (%).....	73
Figura 61. Accelerator pedal position D (%) vs Accelerator pedal position E (%).....	74
Figura 62. Hybrid Battery Pack Remaining vs Dsistance Traveled since DTCs.	74
Figura 63. Correlación entre Absolute load value (%) vs Actual engine percent torque.	75
Figura 64. Correlación entre Absolute load value (%) vs Engine fuel rate (lb/min).	75
Figura 65. Correlación entre Absolute load value (%) vs Mass air flow rate (lb/min).	75
Figura 66. Correlación entre Absolute Throttle Position (%) vs Absolute Throttle Position B (%).	76
Figura 67. Correlación entre Absolute Load Value (%) vs Actual engine – percent torque.	76
Figura 68. Correlación entre Absolute Load Value (%) vs Calculated Load Value (%).	77
Figura 69. Correlación entre Absolute Load Value (%) vs Engine Fuel Rate (lb/min).	77
Figura 70. Correlación entre Absolute Load Value (%) vs Mass air flow rate (lb/min).	77
Figura 71. Correlación entre Absolute Load Value (%) vs Velocidad del combustible (gal/h).	78
Figura 72. Correlación entre Absolute Throttle Position (%) vs Mass air flow rate (lb/min).	78
Figura 73. Correlación entre Absolute Throttle Position (%) vs Velocidad del combustible (gal/h).	79

Figura 74. Correlación entre Absolute load value (%) vs Actual Engine – Percent Torque.	79
Figura 75. Correlación entre Absolute load value D (%) vs Calculated load Value.	80
Figura 76. Correlación entre Accelerator pedal position D vs Accelerator pedal position E (%).	80
Figura 77. Correlación entre RPM vs Fuel system 1 status 1.	80
Figura 78. Hybrid battery pack remaining life vs La economía del combustible.	81
Figura 79. Accelerator pedal position D (%) vs Short Term fuel Trim.	81
Figura 80. Absolute throttle position B (%) vs Accelerator pedal position E (%)	82
Figura 81. Hybrid/EV Battery System Voltage vs Short Term fuel Trim.	82
Figura 82. Relative throttle position (%) vs Engine Run DTCs data.	82
Figura 83. Absolute load value vs Absolute throttle position B (%).	83
Figura 84. Horario para trasladarse DESDE la Universidad Politécnica Salesiana campus Centenario HACIA campus María Auxiliadora.	84
Figura 85. Elección de ruta para trasladarse DESDE la Universidad Politécnica Salesiana campus Centenario HACIA campus María Auxiliadora.	84
Figura 86. Motivo por el que escogió la ruta DESDE la Universidad Politécnica Salesiana campus Centenario HACIA campus María Auxiliadora.	85
Figura 87. Horario para trasladarse DESDE la Universidad Politécnica Salesiana campus María Auxiliadora HACIA campus Centenario.	85
Figura 88. Elección de ruta para trasladarse DESDE la Universidad Politécnica Salesiana campus María Auxiliadora HACIA campus Centenario.	85
Figura 89. Motivo por el que escogió la ruta DESDE la Universidad Politécnica Salesiana campus María Auxiliadora HACIA campus Centenario.	86
Figura 90. Prueba de normalidad del Hybrid Battery Pack Remaining.	90
Figura 91. Gráfica de probabilidad de Hybrid/EV Battery System Current.	90
Figura 92. Gráfica de probabilidad de Vehicle speed (MPH).	90
Figura 93. Gráfica de probabilidad de Absolute throttle position (%).	91
Figura 94. Gráfica de probabilidad de Hybrid battery pack remaining l.	91
Figura 95. Gráfica de probabilidad de Hybrid/EV Battery System Voltag.	91
Figura 96. Gráfica de probabilidad de Ignition timing advance x1 cyli.	92
Figura 97. Gráfica de probabilidad de Intake air temperature (F).	92
Figura 98. Gráfica de probabilidad de Time since engine start (sec).	92
Figura 99. Gráfica de probabilidad de Absolute load value (%).	93
Figura 100. Gráfica de probabilidad de Absolute throttle position B (%).	93
Figura 101. Gráfica de probabilidad de Accelerator pedal position D (%).	93
Figura 102. Gráfica de probabilidad de Accelerator pedal position E (%).	94
Figura 103. Gráfica de probabilidad de Actual engine - percent torque.	94
Figura 104. Gráfica de probabilidad de Ambient air temperature (F).	94
Figura 105. Gráfica de probabilidad de Auxiliary inputs / outputs stat.	95
Figura 106. Gráfica de probabilidad de Barometric pressure (inHg).	95

Figura 107. Gráfica de probabilidad de Calculated load value (%).	95
Figura 108. Gráfica de probabilidad de Commanded EGR A duty cycle/position.	96
Figura 109. Gráfica de probabilidad de Commanded evaporative purge (%).	96
Figura 110. Gráfica de probabilidad Commanded throttle actuator con.	96
Figura 111. Gráfica de probabilidad Control module voltage (V).	97
Figura 112. Gráfica de probabilidad Distance traveled since DTCs cl.	97
Figura 113. Gráfica de probabilidad EGR A error (%).	97
Figura 114. Gráfica de probabilidad EGR B error (%).	98
Figura 115. Gráfica de probabilidad Engine coolant temperature (F).	98
Figura 116. Gráfica de probabilidad Engine Fuel Rate (lb/min).	98
Figura 117. Gráfica de probabilidad Engine reference torque (lb•ft).	99
Figura 118. Gráfica de probabilidad Engine RPM (RPM).	99
Figura 119. Gráfica de probabilidad Engine run time since DTCs clea.	99
Figura 120. Gráfica de probabilidad Fuel system 1 status.	100
Figura 121. Gráfica de probabilidad Fuel type.	100
Figura 122. Gráfica de probabilidad Fuel/Air commanded equivalence.	100
Figura 123. Gráfica de probabilidad de Intake manifold absolute pressu.	101
Figura 124. Gráfica de probabilidad de Long term fuel % trim - Bank 1.	101
Figura 125. Gráfica de probabilidad de Long term secondary oxygen sensor.	101
Figura 126. Gráfica de probabilidad de Mass air flow rate (lb/min).	102
Figura 127. Gráfica de probabilidad de O2 sensor current wide range (B).	102
Figura 128. Gráfica de probabilidad de O2 sensor lambda (Bank 1 Sensor).	102
Figura 129. Gráfica de probabilidad de O2 sensor lambda wide range (cu).	103
Figura 130. Gráfica de probabilidad de O2 voltage (Bank 1 Sensor 2).	103
Figura 131. Gráfica de probabilidad de OBD requirements to which vehicle.	103
Figura 132. Gráfica de probabilidad de OBD requirements to which vehicle.	104
Figura 133. Gráfica de probabilidad de Relative throttle position (%).	104
Figura 134. Gráfica de probabilidad de Short term fuel % trim - Bank 1.	104
Figura 135. Gráfica de probabilidad de Short term secondary oxygen sensor.	105
Figura 136. Gráfica de probabilidad de Total de la economía de combustible.	105
Figura 137. Gráfica de probabilidad de Velocidad de combustible (gal/h).	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites permitidos de emisiones en marcha mínimo ralenti.....	3
Tabla 2. Puntuación z según el nivel de confianza.....	15
Tabla 3. 63 variables involucradas en el funcionamiento del Tren de Potencia.....	18
Tabla 4. Variables que definen el funcionamiento del tren de potencia.....	34
Tabla 3. Parte de correlaciones de la prueba N_40_4.....	37
Tabla 4. Código de colores de las correlaciones.....	37
Tabla 5. Variables involucradas en el Modo Normal.....	38
Tabla 6. Variables con datos insuficientes en el Modo Normal.....	38
Tabla 7. Variables involucradas en el Modo ECO.....	39
Tabla 8. Variables con datos insuficientes en el Modo ECO.....	40
Tabla 9. Variables involucradas en el Modo SPORT.....	40
Tabla 10. Variables con datos insuficientes en el Modo SPORT.....	41
Tabla 11. Variables involucradas en el Modo EV.....	41
Tabla 12. Variables con datos insuficientes en el Modo EV.....	42
Tabla 13. Correlaciones muy fuertes – N_40_3.....	106
Tabla 14. Correlaciones muy fuertes – N_40_4.....	107
Tabla 15. Variables de correlaciones muy fuertes – N_40_5.....	108
Tabla 16. Correlaciones muy fuertes – N_40_6.....	109
Tabla 17. Correlaciones muy fuertes – N_60_4.....	111
Tabla 18. Correlaciones muy fuertes – N_60_5.....	112
Tabla 19. Correlaciones muy fuertes – N_60_6.....	113
Tabla 20. Correlaciones muy fuertes – N_85_4.....	114
Tabla 21. Correlaciones muy fuertes – N_85_5.....	115
Tabla 22. Correlaciones muy fuertes – N_85_6.....	116
Tabla 23. Correlaciones muy fuertes – ECO_40_4.....	117
Tabla 24. Correlaciones muy fuertes – ECO_40_5.....	118
Tabla 25. Correlaciones muy fuertes – ECO_40_6.....	120
Tabla 26. Correlaciones muy fuertes – ECO_60_4.....	121
Tabla 27. Correlaciones muy fuertes – ECO_60_5.....	122
Tabla 28. Correlaciones muy fuertes – ECO_60_6.....	123
Tabla 29. Correlaciones muy fuertes – ECO_85_4.....	125
Tabla 30. Correlaciones muy fuertes – ECO_85_5.....	125
Tabla 31. Correlaciones muy fuertes – ECO_85_6.....	126
Tabla 32. Correlaciones muy fuertes – S_40_4.....	127
Tabla 33. Correlaciones muy fuertes – S_40_5.....	128
Tabla 34. Correlaciones muy fuertes – S_40_6. Fuente: Autores.....	129
Tabla 35. Correlaciones muy fuertes – S_60_4.....	131
Tabla 36. Correlaciones muy fuertes – S_60_5.....	131

Tabla 37. Correlaciones muy fuertes – S_60_6.	133
Tabla 38. Correlaciones muy fuertes – S_85_4.	135
Tabla 39. Correlaciones muy fuertes – S_85_5.	136
Tabla 40. Correlaciones muy fuertes – S_85_6.	136
Tabla 41. Correlaciones muy fuertes – EV_40_1.	137
Tabla 42. Correlaciones muy fuertes – EV_40_2.	139

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El presente trabajo busca adquirir y caracterizar datos de funcionamiento del tren de potencia de un vehículo híbrido en trayectos urbanos en la ciudad de Guayaquil – Ecuador, para conocer las variables que rigen su comportamiento operativo. Se extrae la información para la lectura de las variables como voltajes, corrientes, estado de carga (SOC), etc. Posteriormente, se clasifican los datos obtenidos en recorridos urbanos, y se ordena la información acorde a los modos de conducción del vehículo, preparando los escenarios para el análisis del comportamiento del tren de potencia. De esta forma, se logra determinar las variables que influyen en el funcionamiento del tren de potencia en los distintos modos de conducción.

Los transportes en el mundo, América Latina, y Ecuador se han incrementado significativamente en las últimas décadas, debido a la rápida tasa de motorización acompañada de un crecimiento de la población urbana (ONU - programa para el medio ambiente, 2021). La cantidad de carbono producido por las emisiones de CO₂ alcanzaron a nivel mundial 34.04 mil millones de toneladas métricas per cápita en el año 2018. En América Latina, el nivel de CO₂ fue 1.68 mil millones de toneladas métricas per cápita donde Ecuador emitió 39 530 toneladas métricas per cápita de CO₂ en el año 2018 (BIRF , 2018). Debido a estos altos niveles de contaminación se tienen como alternativa la movilidad eléctrica, donde se involucran a los vehículos eléctricos e híbridos.

A nivel mundial se observa un incremento de ventas de vehículos eléctricos e híbridos enchufables. Para el primer periodo del 2021 se obtuvo una venta de 1.82 millones de BEV⁴ y 0.83 millones de PHEV⁵ a nivel mundial, superando en un 168% al año 2020. Europa lidera la adquisición de estos automóviles con un 14% del total de ventas. Se espera que para finales del 2021 se lleguen a vender a nivel mundial, incluyendo los 2.65 millones del primer periodo, 4,4 millones de BEV y 2 millones de PHEV dando un total de 6.4 millones de vehículos. (Irle, 2021). América Latina ha iniciado la transición hacia soluciones más amigables con el medio ambiente. Se ha incorporado el uso de motores eléctricos para la propulsión en transportes públicos, sin embargo, se encuentran lejos de posicionarse como líderes en la movilidad eléctrica. (Statista, 2021). Ecuador por su parte muestra un incremento de ventas de BEV y PHEV en este primer periodo del 2021 comparado con el 2020. Para el primer periodo del 2020

⁴ BEV: Battery Electric Vehicle.

⁵ PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle.

se tuvo ventas de 27 BEV y 388 PHEV, y en el 2021 se llegó a la cifra 103 BEV y 1054 PHEV. (AEADE, 2021)

Debido al crecimiento acelerado de la población, que implica el consumo de energía, transporte y uso de combustibles fósiles, da como consecuencia el incremento de agentes perjudiciales para el medio ambiente. Por consiguiente, se busca fuentes de energía alternativas con eficiencia energética para la movilidad de las personas con el menor impacto ambiental posible. Una solución es la movilidad eléctrica, donde se implementa el uso de vehículos híbridos para el transporte del usuario, de modo que cambien su forma de transportarse y mejoren el uso del combustible. (Kreuzer & Wilmsmeier, 2014). La eficiencia energética de un vehículo 100% a combustión es del 27.57%, mientras que el de un vehículo híbrido es del 40%. (Llanes Cedeño, Carguchi Caizatoa, & Rocha Hoyos , 2018). El resultado de 27.47% es un resultado experimental, mientras que el de 40% es teórico. De ahí que, es de suma importancia el estudio del comportamiento del tren de potencia de un vehículo híbrido en trayectos urbanos de la ciudad de Guayaquil – Ecuador.

El parque automotor en el Ecuador creció a 2.7 millones de vehículos a la fecha del año 2021, siendo la provincia del Guayas la segunda más numerosa con un parque automotor de alrededor de 626.000 unidades. Esto genera significativos niveles de contaminación en la ciudad. Adicionalmente, el gobierno anterior dispuso la política de liberación de precios de los derivados de petróleo, así los combustibles de gasolina y diésel se incrementan en su valor mes a mes. Por lo que el cambio de un vehículo con motor de combustión interna por un vehículo híbrido se vuelve en una opción atractiva a la que se debe conocer en profundidad y con mayor detalle para comunicar las ventajas desde el punto de vista del cuidado del medio ambiente y la conveniencia del usuario. (AEADE, 2021). Según el estudio del programa Huella de Ciudades realizado en el año 2014, determinó que Guayaquil generaría 6.8 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) en promedio anual. Por parte del estudio del cabildo de Guayaquil, se determinó, que al ser el transporte uno de los factores de mayor impacto en la contaminación ambiental, el consorcio Metrovía debería renovar su flota en 80 unidades, para lograr disminuir la reducción a 5000 toneladas de CO₂ anuales. Todavía no se cuenta con un estudio actualizado que permita corroborar si se alcanzó la meta propuesta. (Erazo , Vasco , Morales , Alarcón , & Orbe Saltos , 2016)

El Ministerio de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad - MCPEC, el MERNNR y la ARCONEL han realizado análisis y pruebas operativas de diferentes modelos de vehículos eléctricos en las tres principales ciudades, Quito, Guayaquil y Cuenca, que permite concluir que no existe limitación de uso del vehículo eléctrico por la orografía de las ciudades. (ARCONEL, 2019). Para el año 2020 se vendieron un total de 132.208 vehículos en el Ecuador, donde 13.968 eran vehículos híbridos, es decir, uno de cada cien vehículos que se adquirieron en el año 2020 fue un híbrido. (AEADE, 2021). Una de las razones para inclinarse por los vehículos híbridos antes que uno eléctrico es el precio. En El Ecuador, un vehículo eléctrico, en promedio, es 26% más costoso que un vehículo híbrido.

Por lo expuesto, se presenta la necesidad de difundir información que motive a la comunidad la toma de decisión de adquirir un vehículo híbrido. El brindar conocimiento de las bondades de este tipo de automóvil, alentará al usuario a inclinarse por esta opción, contribuyendo a la disminución de la contaminación del medio ambiente en la ciudad de Guayaquil.

La ARCONEL⁶ y el MERNNR⁷ han desarrollado estudios sobre el impacto de los autos eléctricos en los sistemas de generación de electricidad, llegando a determinar que considerando un ingreso de 292472 vehículos eléctricos hasta el año 2032 el impacto es de 1,71% en potencia y 1.79% en energía sobre los valores proyectados de potencia y energía para el año 2017 de acuerdo al Plan Maestro de Electrificación –PME-, lo cual no llega ni al valor considerado como parámetro de seguridad del sistema de generación (20% en potencia y 10% en energía. (ARCONEL, 2019)

Según la normativa NTE INEN 2204 dispuesta en el año 2002 y vigente hasta la fecha, para los vehículos a gasolina de años posteriores al 2000, deben cumplir con los límites de emisiones que se presentan a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Límites permitidos de emisiones en marcha mínimo ralenti.

AÑO MODELO	% CO*		Ppm HC*	
	0-1500 **	1500-3000**	0-1500**	1500-3000**

⁶ ARCONEL: Agencia de Regulación y Control de Electricidad.

⁷ MERNNR: Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables.

2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1000	1200

Volumen

** Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm)

Fuente: (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN , 2002)

Por consiguiente, se destaca la importancia de adquirir y procesar los datos de funcionamiento del tren de potencia de un vehículo híbrido mediante el uso de un sistema OBD⁸. Para tales efectos se establece como alcance la adquisición y caracterización de **todas** las variables operativas del tren de potencia para la clasificación en los distintos modos de conducción en trayectos urbanos en la ciudad de Guayaquil – Ecuador.

Los beneficiados por esta investigación los hemos dividido en dos tipos: directos e indirectos. Esta investigación servirá de manera directa a los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil en el estudio de un vehículo híbrido para comprender las variables que rigen en el comportamiento del tren de potencia. En términos generales e indirectos, se beneficiará a todos quienes estudien movilidad eléctrica. De esta manera tendrán un respaldo y guía sobre el comportamiento de un vehículo híbrido y que datos son los que se toman en consideración para la caracterización del tren de potencia. A su vez, esto ayudará a la sociedad difundiendo información que permita la masificación del uso de un vehículo híbrido ayudando a reducir los niveles de contaminación ambiental. Por otra parte, contribuirá con el estado ecuatoriano, pues contaría con estudios actuales respecto al rendimiento de un vehículo híbrido.

⁸ OBD: On Board Diagnostic.

2. CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y ESTUDIOS PREVIOS SOBRE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL TREN DE POTENCIA

Dentro de este capítulo se abordan temas respecto a las características generales del sistema híbrido, y funcionamiento sobre el vehículo del laboratorio de automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana. También, se mencionan los protocolos de comunicación. A su vez, trabajos previos sobre adquisición de datos de un vehículo mediante la metodología IOT⁹ para el procesamiento de información.

2.1 Principio de funcionamiento de un vehículo híbrido

Los vehículos eléctricos híbridos o también conocidos con las siglas HEV¹⁰, están conformados por un motor a combustión y uno o más motores eléctricos. Estos vehículos híbridos son considerados como una gran solución a los de la contaminación por gases combustionados provenientes de los motores de combustión interna (ICE¹¹). (López & Maza, 2013)

El vehículo híbrido ayuda a reducir la dependencia del consumo de petróleo. Se ha implementado diferentes divisores de potencia, justamente para ayudar más todavía a la eficiencia del vehículo y ayudar a reducir las emisiones contaminantes. Existen algunos tipos de configuraciones en cuestiones de vehículos híbridos, pero las que se tomaran en cuenta serian la configuración en serie y la configuración en paralelo. Mientras que la configuración de un vehículo híbrido en serie es eficiente en demandas largas de energía, la versión en paralelo es más eficiente en cuestiones de demanda de poder para trayectos largos. (López & Maza, 2013)

El diferencial cumple la función de relacionar las velocidades de las ruedas con las de los motores, en este caso MG1, MG2 y el MACI. El MG1 absorbe la diferencia de velocidad entre las ruedas y el MACI. El diferencial es un conjunto de engranajes epiciloidales, la cual aloja a los 2 motores eléctricos en un transeje. Existen a su vez acoplamientos especiales y sensores para poder monitorizar la velocidad que nos proporciona la rotación de cada eje y el par que nos puede llegar a suministrar sobre los ejes de la transmisión. (López & Maza, 2013)

⁹ IOT: Internet of Things.

¹⁰ HEV: Hybrid Electric Vehicle

¹¹ ICE: Internal Combustion Engine.

Esta transmisión tan característica en el uso de los vehículos híbridos se la conoce como e-CVT¹². El diseño mecánico de este tipo de conjuntos de engranajes permite que la potencia mecánica del MACI¹³ sea dividida en tres modos: Que suministre el par extra hacia las ruedas (mediante una velocidad constante), mediante el aumento de velocidad de las ruedas (bajo un par constante) y aportando potencia de un generador eléctrico. La ECU gestiona y dirige los flujos de potencia de diferentes fuentes, ya sean térmicas o eléctricas. Esta división de potencia consigue los beneficios de una transmisión continua variable (CVT), exceptuando que esta conversión entre par/velocidad que utiliza el motor eléctrico, usa otro motor eléctrico en lugar de una unión entre engranajes de forma directa. (Acosta Jiménez, 2013)

2.2 Sistema híbrido del vehículo BLUE DRIVE del laboratorio de movilidad sostenible de la carrera de ingeniería automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil

El vehículo BLUE DRIVE es un Toyota Corolla Hybrid del 2022. Cuenta con un motor de combustión de 72kW, y se diferencia de un coche tradicional ya que cuenta con un motor eléctrico de 53kW, un generador que transforma la energía cinética que generan los frenos en energía eléctrica y una batería de níquel metal hidruro de 201.6V, donde almacena energía eléctrica. Conformando así el sistema Hybrid Synergy Drive de Toyota. (Toyota Latam, 2020). (TOYOTA, 2018)

2.2.1 Modos de conducción

El vehículo tiene cuatro modos de conducción que se adaptan a la manera de conducir del conductor. En el caso que el usuario desee, puede escoger en qué modo recorrer. Los cuatro modos de conducción son los siguientes:

-MODO NORMAL: está activado por defecto. Es el más balanceado de todos los modos de conducción. Es adecuado por conducir por ciudad o autopista. Usará parte eléctrica o gasolina según las necesidades de potencia y nivel de carga de la batería.

-MODO EV: el vehículo solo será impulsado por el motor eléctrico. Únicamente consumirá energía eléctrica, lo que implica que servirá para velocidades bajas, siempre y cuando las baterías estén cargadas.

¹² e-CVT: Transmisión continuamente variable.

¹³ MACI: Motor Alternativo de Combustión Interna.

-MODO ECO: se limita el uso del motor de combustión interna y se prioriza el uso del motor eléctrico. El vehículo no acelerará de una forma tan brusca. Este modo busca el ahorro del combustible.

-MODO SPORT: también llamado “modo power” exprime al máximo las virtudes del coche. Usa la energía del motor eléctrico y el motor de combustión interna para una reacción más rápida. Endurece la suspensión para ofrecer sensaciones más deportivas.

(Toyota España , 2021)

2.2.2 Funcionamiento

Exceptuando el modo EV, el cual no utiliza energía del motor de combustión interna y solo usa la energía proveniente de la batería para alimentar el motor eléctrico y así impulsar el vehículo, el resto de modos de conducción se rige a las siguientes características de funcionamiento:

- Arranque: utiliza el motor eléctrico alimentado por la energía almacenada en la batería.

-Conducción normal: utiliza el motor eléctrico alimentado por la energía almacenada por la batería. En el caso de requerir potencia adicional, el motor de combustión interna se enciende.

-Aceleración fuerte: el motor eléctrico ayuda al motor de combustión interna para brindar potencia.

-Desaceleración: el motor eléctrico funciona como un generador y recarga la batería utilizando el movimiento de las ruedas como un dínamo.

-En baja velocidad: solo opera el motor eléctrico.

-Con el vehículo detenido: El motor de combustión interna y el eléctrico se encuentran apagados, solo se enciende si hay que recargar la batería.

(Toyota Latam, 2020)

2.3 Protocolos y normativas

El sistema EOBD (Euro On Board Diagnostic) o Diagnóstico de Abordo Europeo, es un sistema de diagnóstico integrado en la gestión del motor, ABS, etc. del vehículo, por lo tanto, es un programa instalado en las unidades de control electrónica del motor (UCE). Su función es vigilar continuamente los componentes que intervienen en las emisiones de contaminantes de los gases de escape. En el momento en que se produce un fallo, el EOBD lo detecta, se encarga

de grabar el fallo en la memoria y avisa al usuario mediante un testigo luminoso situado en el cuadro de instrumentos.

La incorporación del sistema de diagnóstico EOBD viene impuesto por las directivas de la Unión Europea que pretenden minimizar y reducir la emisión de gases contaminantes de los automóviles para evitar la contaminación atmosférica y del medioambiente. El sistema EOBD obliga a los fabricantes de automóviles a incorporar un sistema de control de los contaminantes emitidos por el vehículo y en caso de fallo del sistema, que informe al conductor o usuario. (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

La comunicación entre la UCE y el equipo o instrumento de diagnóstico se establece mediante un protocolo (lenguaje). Hay tres protocolos básicos para la comunicación con la UCE y con el equipo de diagnóstico. En general, los vehículos europeos, Chrysler y algunos asiáticos utilizan el protocolo ISO 9141; General Motors utiliza el SAE J1850 VPW, modulación de anchura de pulso variable; y Ford SAE J1850 PWM, modulación de anchura de pulso.

El conector más implantado en los vehículos para realizar la conexión de los instrumentos de auto diagnóstico y lectura de averías memorizada es el conector ISO 15031-3 y se utiliza con el EOBD y OBDII. Cada pin tiene un uso en específico como se muestra en la Figura 1. (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

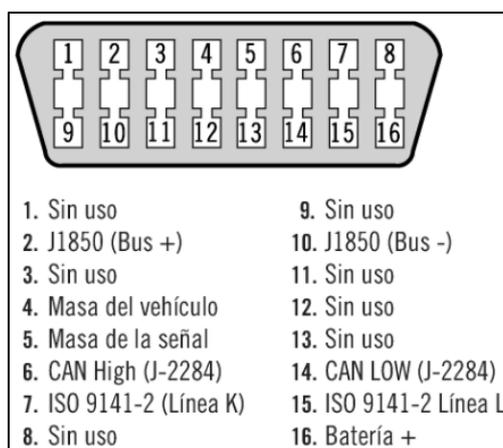


Figura 1. Conector OBD. Fuente: (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

El cable con conector de diagnóstico OBD y conector serie RS232C permite el diagnóstico a través del ordenador o equipo que posea el software de comunicación. De esta forma, con un ordenador, el cable y un programa, se puede realizar el diagnóstico.

2.3.1 Protocolos de comunicación y normativa

Existen 3 protocolos de comunicación del sistema OBDII, los fabricantes de estos han seleccionado un único protocolo que se verá envuelto en todos los vehículos que se fabrique, los cuales son:

ISO 9141-2: Se encuentra en vehículos europeos, asiáticos y Chrysler con variantes.

SAE J1850 VPW: Nos indica VPW que es el Ancho de Pulso Variable (Variable Pulse Width) y lo utiliza GM USA (General Motors).

SAE J1850 PWM: Indica la modulación del Ancho de Pulso (Pulse Width Modulación) utilizado por Ford USA.

KWP 1281 y KWP 2000: Utilizado por el grupo VAG.

ISO 14230: Utilizado por Renault.

Cada uno de estos protocolos requiere de un procesado diferente de información, esto conlleva a conectores diferentes. Hoy en día existe la posibilidad de utilizar interfaces multiprotocolo, las cuales son capaces de utilizar todos los protocolos e incluso seleccionar automáticamente cual está utilizando el vehículo. (Dimaté Cáceres & González Castillo, 2010)

2.4 Métodos de adquisición de datos

Se realizó el levantamiento de información con respecto a la captación de datos de funcionamiento del tren de potencia del vehículo en tiempo real. En esta investigación se encontró el uso del OBD II ELM 327 y OBD LINKMX para la obtención de datos. Para la transmisión de estos, se usó la metodología IOT¹⁴ que envía de manera inalámbrica (internet o bluetooth) la información adquirida mediante el uso de microprocesadores como son: módulo de transmisión de datos, Raspberry Pi o un teléfono celular. La visualización de estos datos se muestra en una computadora usando los programas IBM BLUEMIX, OBD WIZ, y en aplicaciones de celular desarrollada por los investigadores.

En el año 2017, en el estado de Texas, Estados Unidos, estudiantes de Texas A&M University – Commerce realizaron una investigación donde se utilizó la metodología de conexión IOT para captar y transmitir datos de funcionamiento de un vehículo. Estos alumnos desarrollaron un módulo de transmisión de datos, que cumple con los estándares OBDII, y crearon un software

¹⁴ IOT: Internet of things.

que permita visualizar la información obtenida por el módulo. Toda esta información captada al monitorear el modo de manejo de un usuario fue analizada en big data para proporcionar información sobre los hábitos de conducción de los usuarios. La arquitectura de conexión se logra apreciar en la Figura 2. (Kwon, Park, & Ryu, 2017)

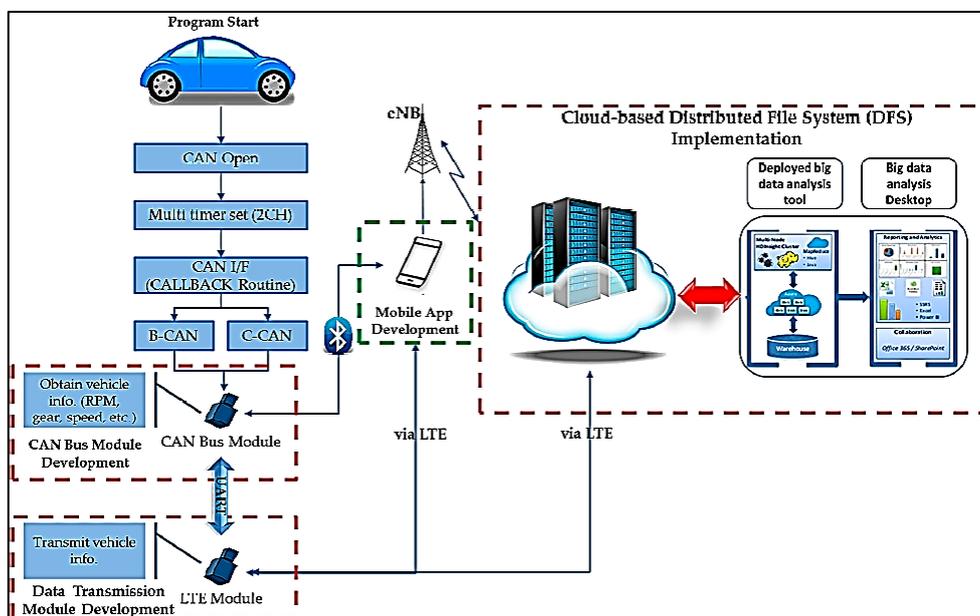


Figura 2. Arquitectura del sistema de captación y almacenamiento de datos. Fuente: (Kwon, Park, & Ryu, 2017)

Por otra parte, en el año 2016 en Indonesia se usó la metodología de conexión IOT para construir un sistema inteligente automovilístico que pueda monitorear y reportar activamente condiciones de funcionamiento del vehículo. A su vez, proveer información para alcanzar una manera eficiente de manejo por parte del usuario. Para lograr este objetivo, usaron el escáner OBD II ELM 327 para la captación de datos, un teléfono celular para la conexión entre el escáner y la nube IBM, donde el programa IBM BLUEMIX almacena toda la información captada por el escáner. De esta forma, lograron adquirir datos de funcionamiento y monitorear el comportamiento cuando se encuentra circulando por las calles de Bandung. La arquitectura de conexión se logra apreciar en la Figura 3. (Husni, y otros, 2016)

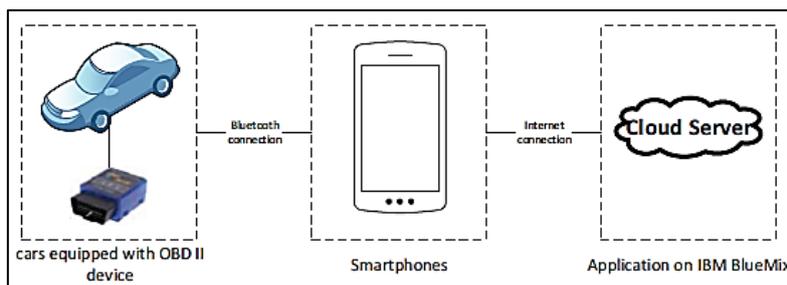


Figura 3. Vista a la conexión del sistema de captación y almacenamiento de datos. Fuente: (Husni, y otros, 2016)

Así mismo, Emir Husmi en Indonesia buscaba monitorear el funcionamiento del vehículo para determinar el consumo de combustible usando un escáner OBD II ELM 327. Uso este escáner para la captación de datos, y un microprocesador Raspberry Pi que servía como puente entre la adquisición y almacenamiento de información en la base de datos de IBM BLUEMIX, esta metodología de conexión es IOT. Al usar un microprocesador de altas prestaciones, Husmi necesitó programar el dispositivo con respecto a los códigos PID's¹⁵ del vehículo del programa Raspbian basándose en la normativa OBDII. Los datos almacenados en la nube IBM fueron procesados posteriormente y se lograron visualizar en un teléfono celular. La arquitectura de conexión se logra apreciar en la Figura 4. (Husni, Driving and fuel consumption monitoring with internet of things, 2017)

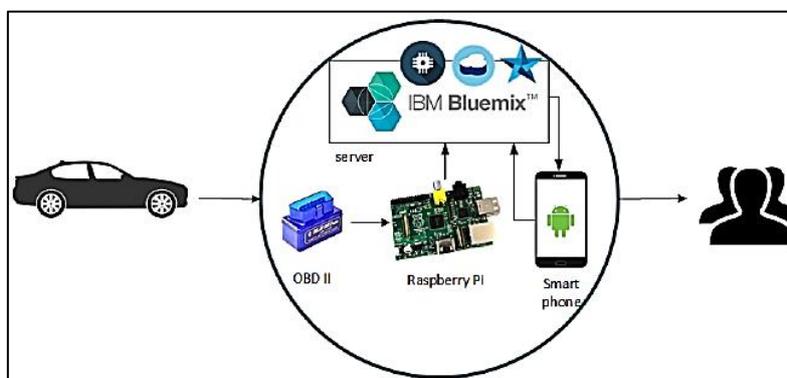


Figura 4. VISCAR system architecture. Fuente: (Husni, Driving and fuel consumption monitoring with internet of things, 2017)

En la investigación “Using Data Analytics to Detect Anomalous States in Vehicles” (Nair Narayanan, Mittal, & Joshi, 2015) realizada por Nair, Mittal y Joshi, recolectaron información de la ECU del vehículo para evitar cambios repentinos ocasionados por hackers. Según Hoppe (Hoppe, Kiltz, & Dittmann, 2008), el vehículo puede ser atacado por modificaciones maliciosas en el código de la ECU. Debido a esto, los investigadores de la Universidad de Maryland con la información captada en la ECU formularon el problema para que este sea analizado por el

¹⁵ PID's: Datos de codificación de la ECU.

método de data analytic. El modelo se basó en el método oculto de Markov para predecir cualquier anomalía en la data. Ellos usaron un transmisor-receptor asíncrono universal (UART) STN1100, basado en un OBDLINK MX, para la adquisición de datos. Luego, procesaron los datos en Matlab usando la herramienta de HMM¹⁶ y crearon el modelo visual de detección de anomalía usando el mismo software. La arquitectura de conexión se logra apreciar en la Figura 5. (Nair Narayanan, Mittal, & Joshi, 2015)

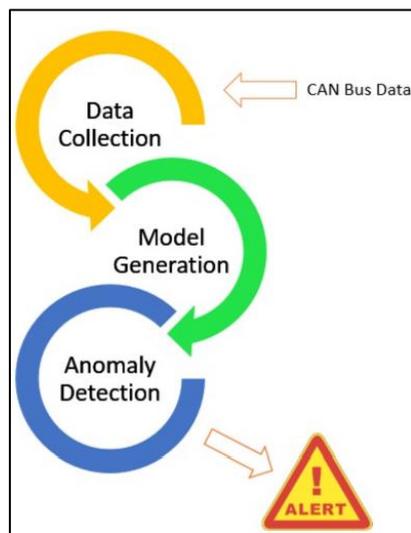


Figura 5. Propuesta de arquitectura de detección. Fuente: (Nair Narayanan, Mittal, & Joshi, 2015)

En base a estas investigaciones, se decidió trabajar con el tipo de conexión IOT. Nos basamos en los esquemas y arquitecturas de los sistemas de adquisición y almacenamiento de datos de un vehículo para nuestro sistema de conexión. A diferencia de trabajar con un módulo de transmisión o un OBD II ELM 327, nosotros trabajamos con el escáner OBDLINK MX el cual se conecta directamente al puerto DLC del vehículo para captar los datos de funcionamiento en tiempo real. Tiene conexión a un dispositivo móvil o laptop mediante bluetooth. Trabaja con los protocolos de la ISO 9141 – 2, J 1850 VPW SAE, J 1850 PWM SAE. Opera con una corriente de 62 mA, y tiene acceso a modelos vendidos en Estados Unidos desde 1996.

Realizada la conexión vía bluetooth a la laptop, se almacenan los datos obtenidos en las pruebas de ruta en el programa OBD WIZ. Este programa capta los datos de todos los sistemas del vehículo en tiempo real, y cuando termina de grabarse la información, entrega un archivo Excel con todas las variables obtenidas en la prueba. Así, este dispositivo brinda una conexión directa para el almacenamiento de datos sin el uso de algún dispositivo extra ni la necesidad de crear

¹⁶ HMM: Hidden Markov Model

alguna aplicación para visualización de información de datos del tren de potencia. Este microprocesador se lo puede observar en la Figura 6 (OBD Solutions, 2022)



Figura 6. OBD LINK MX.

3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA USADA PARA LA ADQUISICIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL TREN DE POTENCIA

La presente investigación trata sobre la adquisición y caracterización del tren de potencia de un vehículo híbrido en un trayecto urbano de la ciudad de Guayaquil - Ecuador. Los datos de funcionamiento se los tomó al momento de realizar un recorrido con el vehículo. La ruta escogida fue basada en una investigación descriptiva (encuesta). Determinado la ruta a recorrer, se procedió a recopilar los datos provenientes de la ECU mediante el uso de un escáner OBD LINK MX. Este escáner se conecta vía bluetooth a una computadora, y mediante el software OBDWIZ, almacena la información de todas las variables que intervienen en el funcionamiento BlueDrive. Finalizada la adquisición de los datos, se procedió al procesamiento de estos. Esto se realizó mediante el software MINITAB donde se realizaron pruebas de normalidad para identificar el modelo estadístico a implementar para la correlación de los datos. Los resultados de las pruebas determinaron que el método para identificar las variables que influyen directamente en el funcionamiento del tren de potencia es el coeficiente de correlación de Pearson.

3.1 Investigación descriptiva - encuesta

La ruta escogida tiene gran variedad de recorridos ya que mezcla zonas dentro del casco urbano y bordea los límites de la ciudad. Se busca satisfacer la necesidad de brindar información a los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, acerca de que ruta es conveniente para movilizarse entre los establecimientos. Tomamos como punto de partida el campus Centenario (sur de la ciudad) hacía el campus María Auxiliadora (vía a la costa) y viceversa. Para conocer esto, se procedió a realizar una encuesta. De esta forma, se logra servir a la comunidad universitaria al proporcionar una ruta conveniente para trasladarse entre sedes basadas en sus propias votaciones. A su vez, este trayecto permite captar datos para caracterizar el tren de potencia del vehículo del laboratorio de ingeniería automotriz, ya que, al ser recorridos en avenidas y carretera, existe mayor desempeño del tren de potencia ya que no habría mayor interrupción por semaforización.

Para poder determinar el número de estudiantes a encuestar, nos basamos en la fórmula del tamaño de una muestra mostrada a continuación en la fórmula (1). (Survey Monkey, s.f.)

$$TM = \frac{\frac{z^2 * p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 * p(1-p)}{e^2 * N}\right)} \quad (1)$$

Donde:

TM: Tamaño de la muestra. Número de personas a encuestar.

N: Tamaño de la población. Es la población completa que se desea representar, es decir, el grupo completo sobre el que se interesa sacar la población.

e: Margen de error (como decimal). El índice de error que implica una medida. Se trata de un porcentaje que describe en qué medida las opiniones y el comportamiento de la muestra a la que le estás realizando la encuesta pueden desviarse de la población total.

z: Nivel de confianza (como puntuación de z). El nivel de confianza te indica cuán confiable es una medida. Los investigadores utilizan estándares comunes del 90 %, el 95 % y el 99 %. Al calcular el tamaño de la muestra se usará la puntuación z que es la cantidad de desviaciones estándar de una proporción determinada respecto de la media.

Tabla 2. Puntuación z según el nivel de confianza.

NIVEL DE CONFIANZA	PUNTUACIÓN DE Z
90%	1.65
95%	1.96
99%	2.58

Fuente: (Survey Monkey, s.f.)

p: Valor del porcentaje (como decimal). Los requisitos del tamaño de la muestra varían según el porcentaje que elige una respuesta particular. Al realizar una encuesta por primera vez se recomienda usar el valor de p=0.5 para calcular el tamaño óptimo de la muestra. (Survey Monkey, s.f.)

Conociendo esto, se procede al cálculo considerando el tamaño de población de 8568 que representa los estudiantes matriculados en la Universidad Politécnica Salesiana – sede

Guayaquil según información del informe del rector 2019. (Parra González, Sánchez Armijos, Zhingre Baculima, & Solórzanos Jácome , 2019)

También, se considera un margen de error del 5% con un nivel de confianza del 95% que equivale a una puntuación en z de 1.96 con un valor de porcentaje de $p=0.5$. Con todas estas variables definidas tenemos el siguiente resultado:

$$N = 8658$$

$$e = 0.07$$

$$z = 1.96$$

$$p = 0.5$$

$$TM = \frac{\frac{z^2 * p(1 - p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 * p(1 - p)}{e^2 * N}\right)}$$

$$TM = 191.661$$

Nuestro tamaño de muestra equivaldría a 192. Esto quiere decir que necesitaremos encuestar a 192 personas para la elección de nuestra ruta.

Sabiendo el tamaño de nuestra muestra, procedemos a proponer la encuesta que nos dará la ruta a recorrer para adquirir los datos de funcionamiento del tren de potencia del vehículo. Nuestro punto de partida es la Universidad Politécnica Salesiana campus centenario hacia la Universidad Politécnica Salesiana campus María Auxiliadora. Se proponen realizar estos recorridos entre 06:00 – 07:00, 13:00 – 14:00 y 17:00 – 18:00. Para el recorrido de ida se proponen dos rutas:

RUTA A: Av. Domingo Comín - Av. Pio Jaramillo Alvarado - Vía Perimetral - Vía a la costa.

RUTA B: Calle Eloy Alfaro - Calle Portete - Av. Del Bombero - Vía a la costa.

Para el recorrido de retorno se proponen las siguientes rutas:

RUTA A: Vía a la costa - Vía Perimetral - Av. Pio Jaramillo Alvarado - Av. Domingo Comín.

RUTA B: Vía a la costa - Av. Del Bombero - Calle Portete - Calle Eloy Alfaro.

3.2 Programas computacionales para la obtención de datos y simulación numérica matemáticos

Se usó un escáner OBDLINK MX para la recopilación de información de funcionamiento del tren de potencia del híbrido. Se almacenó la información en una laptop bajo el uso del software OBD WIZ. Al adquirir la información se encontraron 63 variables involucradas en el funcionamiento del tren de potencia. Estas variables fueron procesadas para determinar cuáles son las de mayor importancia para caracterizar el tren de potencia del BlueDrive. Para ello, se usó el software estadístico MINITAB para pruebas de normalidad y correlación. Las variables que presentaban una correlación fuerte (mayor a 0,7) son aquellas que influyen en el funcionamiento del vehículo del laboratorio automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana – sede Guayaquil. Sin embargo, se decidió tomar en cuenta las variables que presentaban correlaciones muy fuertes (mayor a 0,9) ya que estas son las de mayor relevancia para el estudio.

3.2.1 OBD WIZ

Es un software de diagnóstico automotriz que permite visualizar en tiempo real los valores de las distintas variables que se encuentran trabajando en el vehículo. El escáner se conecta de manera inalámbrica (vía bluetooth) hacia el programa y registra la información de funcionamiento del tren de potencia.

Este programa permite que los datos obtenidos en un ciclo de manejo sean entregados en un archivo EXCEL para el posterior procesamiento de la información en programas computacionales estadísticos.

3.2.2 MINI TAB

Es una herramienta estadística la cual permite encontrar tendencias, predecir patrones, descubrir relaciones ocultas entre variables e identificar factores importantes dentro de una muestra poblacional. (Minitab, 2022)

Este software fue una herramienta poderosa para el procesamiento de datos que se obtuvieron en los ciclos de manejo. Nos permitió observar el comportamiento de las variables en forma visual al usar graficas de dispersión de los datos conseguidos. Así, fue mucho más accesible el análisis al momento de caracterizar los datos.

3.3 Caracterización de datos del tren de potencia del vehículo Blue Drive.

Los datos procesados se obtuvieron de los trayectos urbanos recorridos en la ciudad de Guayaquil. Nos basamos en los cuatro modos de conducción del vehículo a tres distintos tipos de velocidad. Para los modos NORMAL, ECO y POWER se realizó el recorrido a 40km/h, 60km/h y 85 km/h. Para el modo EV solo se realizó el recorrido a 40km/h ya que esa es la velocidad máxima permitida en ese modo de conducción

3.3.1 Variables involucradas en el funcionamiento del tren de potencia del vehículo Blue Drive.

Dentro de la adquisición de datos del tren de potencia se logró captar las 63 variables involucradas en el funcionamiento del tren de potencia del Blue Drive. Estas variables se muestran en la Tabla 3 a continuación:

Tabla 3. 63 variables involucradas en el funcionamiento del Tren de Potencia.

ITEM	VARIABLES	UNIDAD
ITEM 1	Vehicle Speed	MPH
ITEM 2	Absolute throttle position	%
ITEM 3	Hybrid battery pack remaining life	%
ITEM 4	Hybrid/EV Battery System Current	A
ITEM 5	Hybrid/EV Battery System Voltage	V
ITEM 6	Hybrid/EV Charging State	-----
ITEM 7	Ignition timing advance for #1 cylinder	°
ITEM 8	Intake air temperature	F°
ITEM 9	Time since engine start	s
ITEM 10	Absolute load value	%
ITEM 11	Absolute throttle position B	%
ITEM 12	Accelerator pedal position D	%
ITEM 13	Accelerator pedal position E	%
ITEM 14	Actual EGR A duty cycle/position	%
ITEM 15	Actual EGR B duty cycle/position	%
ITEM 16	Actual engine - percent torque	%
ITEM 17	Ambient air temperature	F°
ITEM 18	Auxiliary inputs / outputs status	-----
ITEM 19	Barometric pressure	inHg
ITEM 20	Calculated load value	%
ITEM 21	Commanded EGR A duty cycle/position	%
ITEM 22	Commanded EGR B duty cycle/position	%
ITEM 23	Commanded evaporative purge	%
ITEM 24	Commanded throttle actuator control	%
ITEM 25	Control module voltage	V
ITEM 26	Distance traveled since DTCs cleared	miles
ITEM 27	EGR A error	%

ITEM 28	EGR B error	%
ITEM 29	Engine coolant temperature	F°
ITEM 30	Engine friction - percent torque	%
ITEM 31	Engine Fuel Rate	lb/min
ITEM 32	Engine reference torque	lb*ft
ITEM 33	Engine RPM	RPM
ITEM 34	Engine run time run while MIL is activated	min
ITEM 35	Engine run time since DTCs cleared	min
ITEM 36	Enhanced Hybrid/EV Charging State	-----
ITEM 37	Fuel system 1 status	-----
ITEM 38	Fuel system 2 status	-----
ITEM 39	Fuel type	-----
ITEM 40	Fuel/Air commanded equivalence ratio	-----
ITEM 41	Intake manifold absolute pressure A	inHg
ITEM 42	Intake manifold absolute pressure B	inHg
ITEM 43	Location of oxygen sensors	-----
ITEM 44	Long term fuel % trim - Bank 1	%
ITEM 45	Long term fuel % trim - Bank 3	%
ITEM 46	Long term secondary oxygen sensor trim bank 1	%
ITEM 47	Long term secondary oxygen sensor trim bank 3	%
ITEM 48	Mass air flow rate	lb/min
ITEM 49	O2 sensor current wide range (Bank 1 Sensor 1)	mA
ITEM 50	O2 sensor lambda (Bank 1 Sensor 1)	-----
ITEM 51	O2 sensor lambda wide range (current probe) (Bank 1 Sensor 1)	-----
ITEM 52	O2 sensor voltage wide range (Bank 1 Sensor 1)	V
ITEM 53	O2 voltage (Bank 1 Sensor 2)	V
ITEM 54	OBD requirements to which vehicle or engine is certified	-----
ITEM 55	Relative throttle position	%
ITEM 56	Short term fuel % trim - Bank 1	%
ITEM 57	Short term fuel % trim - Bank 3	%
ITEM 58	Short term fuel trim (Bank 1 Sensor 2)	%
ITEM 59	Short term secondary oxygen sensor trim bank 1	%
ITEM 60	Short term secondary oxygen sensor trim bank 3	%
ITEM 61	Total, de la economía de combustible	MPG
ITEM 62	Velocidad de combustible	gal/h
ITEM 63	La economía de combustible instantánea	MPG

Velocidad del vehículo (1)

La velocidad es una magnitud física que expresa la relación entre el espacio recorrido por un objeto, el tiempo empleado para ello y su dirección. La palabra proviene de latín *velocitas, velocitatis*. Su unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el metro por segundo (m/s), e incluye la dirección del desplazamiento. (Cassini, 2015)

Posición absoluta de la válvula mariposa (2)

Es el responsable de controlar la entrada de aire al múltiple de admisión. Esta funciona utilizando una válvula (mariposa) que se abre, y se cierra al accionar el pedal del acelerador. La misión de este dispositivo es suministrar con absoluta precisión la cantidad de aire necesaria para combustión eficiente de la gasolina. Esta cantidad es de 14.7 por cada litro de gasolina. La posición absoluta del sensor TPS es lo que está leyendo en ese momento, no importa si la válvula está cerrada o abierta. (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

Remanente de vida de la batería (3)

El remanente de la vida de la batería es la fase de operación de la batería, esta tiene en cuenta las pérdidas de electricidad en la batería durante el uso (es decir, para alimentar el automóvil para el transporte) y la electricidad adicional que necesita el vehículo para transportar la batería. (Cusenza, Bobba, Ardente, Cellura, & Persio, 2019)

Corriente de la batería híbrida (4)

La corriente de carga se utiliza fundamentalmente para cargar la batería, pero se aprovecha también para el prea condicionamiento del automóvil. En la carga de la batería híbrida se carga simultáneamente también la batería de arranque. (Cusenza, Bobba, Ardente, Cellura, & Persio, 2019)

Voltaje de la batería híbrida (5)

El vehículo Toyota hybrid corolla 2022 cuenta con una batería de níquel metal hidruro metálico (Ni-MH) y en cada celda tiene 7.2V, el voltaje sería el potencial eléctrico para suministrar de energía a estas celdas. (Cusenza, Bobba, Ardente, Cellura, & Persio, 2019)

Hybrid ev charging state (6)

Definido como 100% para full carga de una celda y 0% para una celda totalmente descargada. (Wenzl, 2009)

Tiempo de avance al encendido del pistón #1 (7)

Los motores con ciclo Otto hacen la fase de detonación mediante la mezcla estequiométrica (14.7 moléculas de aire y 1 de gasolina) y la bujía. En el ciclo Otto teórico la explosión ocurre cuando el pistón está en PMS (Punto Muerto Superior). Es decir, cuando la mezcla está

completamente comprimida. Sin embargo, esto en el ciclo Otto real no sucede. Es por eso por lo que existe el “avance al encendido”, la medida en la cual se mide esto es en grados, y el punto de referencia es el cigüeñal, para un motor como este de 4 tiempos cada fase de admisión, compresión, combustión/explosión y escape son 90° , con lo cual 2 vueltas del cigüeñal es 1 vuelta del árbol de levas. El momento ideal para que toda la mezcla se quemara correctamente es entre los $17-24^\circ$, esto es adelantar el encendido antes que el pistón este en el PMS. Dicho de otra forma, antes de que este en 0° . (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

Temperatura de admisión (8)

Es la temperatura a la que ingresa el aire al múltiplo de admisión, este es gestionado por un sensor conocido como IAT (Inlet air temperatura), este debe estar normalmente en rangos de $23-25^\circ$ ya que absorbe el aire del exterior con lo cual estaría en temperatura ambiente. (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

Tiempo en el que enciende el motor (9)

El motor a combustión en este caso no siempre estará trabajando, esto se debe a la configuración del Toyota Corolla Hybrid (TCH), este vehículo es un full hybrid, con lo cual los motores eléctricos que posee, que serían 2 exactamente, funcionan como tracción y carga. Por lo tanto, el vehículo puede funcionar 100% eléctrico en el cual el motor de combustión no es necesario que este encendido. Este dato nos muestra el tiempo de encendido desde que se encendió el motor de combustión por última vez. (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

Valor absoluto de carga (10)

Indica un porcentaje del par máximo disponible. Alcanza el 100% con el acelerador completamente abierto a cualquier altitud o RPM tanto para motores de aspiración natural como impulsado. (Anand, 1979)

Absolute throttle position B (11)

Este me indica la actual de la apertura de la válvula mariposa. (BHP, 2005)

Accelerator pedal position D (12)

Este me indica en % el valor mínimo de apertura, pero, por ejemplo, si el mínimo es 10%, este será 5% por debajo del mínimo. (BHP, 2005)

Accelerator pedal position E (13)

Este me indica en % el valor máximo de apertura, pero, por ejemplo, si el mínimo es 10%, este será 5% por debajo del máximo. (BHP, 2005)

Actual EGR A duty cycle/position (14)

El error de EGR actual es la cantidad calculada del flujo que circula por la válvula EGR. La válvula PCM determina una aproximada cantidad total de flujo de masa de aire requerida para las revoluciones del motor. Si el % de la válvula de comando está abierta 10% y la válvula EGR A/B se mueve solo 5% $(5\% - 10\%) / 10\% = -50\%$ error. Si el scanner en el pid del Error EGR está en 99.2% y la EGR de comando está apagada, esto me indicaría que la PCM está recibiendo información y la válvula EGR es mayor de 0%. (MOTOR, 2005)

Actual EGR B duty cycle/position (15)

El error de EGR actual es la cantidad calculada del flujo que circula por la válvula EGR. La válvula PCM determina una aproximada cantidad total de flujo de masa de aire requerida para las revoluciones del motor. Si el % de la válvula de comando está abierta 10% y la válvula EGR A/B se mueve solo 5% $(5\% - 10\%) / 10\% = -50\%$ error. Si el escáner en el pid del Error EGR está en 99.2% y la EGR de comando está apagada, esto me indicaría que la PCM está recibiendo información y la válvula EGR es mayor de 0%. (MOTOR, 2005)

Actual engine – percent torque (16)

Este valor nos indica el % actual del torque transmitido hacia los neumáticos desde el motor. (Scannerdanner, 2019)

Temperatura de ambiente del aire (17)

Es la temperatura a la que ingresa el aire al múltiplo de admisión, este es gestionado por un sensor conocido como IAT (Inlet air temperatura), este debe estar normalmente en rangos de 23-25° ya que absorbe el aire del exterior con lo cual estaría en temperatura ambiente. (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

Auxiliary inputs / outputs status (18)

PID 1E designa si la transferencia de energía de salida (PTO) esta activada o no. (Exchange, 2016)

Presión barométrica (19)

Existe un sensor que es el MAP (Manifold Absolute Pressure), este se encarga de medir la presión de aire a la cual entra en el sistema de admisión. Esta normalmente debe estar a 1 bar que sería 29.8 inHg. (MOTOR, 2005)

Valor de carga calculada (20)

La carga calculada de OBD se define como:

$$\text{LOAD_PCT} = [\text{flujo de aire actual}] / [(\text{flujo de aire pico en WOT @ STP en función de rpm}) * (\text{BARO} / 29.92) * \text{SQRT}(298 / (\text{AAT} + 273))]$$

Indica un porcentaje del par máximo disponible. Alcanza el 100% con el acelerador completamente abierto a cualquier altitud o RPM tanto para motores de aspiración natural como impulsado. (Anand, 1979)

Commanded EGR A duty cycle/position (21)

El error de EGR es la cantidad calculada del flujo que circula por la válvula EGR. La válvula PCM determina una aproximada cantidad total de flujo de masa de aire requerida para las revoluciones del motor. Si el % de la válvula de comando está abierta 10% y la válvula EGR A/B se mueve solo 5% (5%-10%) / 10% = -50% error. Si el scanner en el pid del Error EGR está en 99.2% y la EGR de comando está apagada, esto me indicaría que la PCM está recibiendo información y la válvula EGR es mayor de 0%. La válvula EGR de comando solo comanda el % si está abierta o cerrada, no interviene ningún valor del flujo a diferencia del error. (MOTOR, 2005)

Commanded EGR B duty cycle/position (22)

El error de EGR es la cantidad calculada del flujo que circula por la válvula EGR. La válvula PCM determina una aproximada cantidad total de flujo de masa de aire requerida para las revoluciones del motor. Si el % de la válvula de comando está abierta 10% y la válvula EGR A/B se mueve solo 5% (5%-10%) / 10% = -50% error. Si el scanner en el pid del Error EGR está en 99.2% y la EGR de comando está apagada, esto me indicaría que la PCM está recibiendo información y la válvula EGR es mayor de 0%. La válvula EGR de comando solo comanda el % si está abierta o cerrada, no interviene ningún valor del flujo a diferencia del error. (MOTOR, 2005)

Commanded evaporative purge (23)

Este parámetro es utilizado por porcentaje y es normalizado para todos los tipos de sistemas de purga. Si está totalmente cerrado marca 0%, si está totalmente abierto 100%. Este es un PID importante de revisar ya que me indica si estoy teniendo problemas con el combustible. (MOTOR, 2005)

Commanded throttle actuator control (24)

Este pid controla la posición en la que se encuentra el actuador de la mariposa, si se mantiene con 5v o 4.39v es que está totalmente abierto, y hacia abajo es cerrado. (Tuners, 2017)

Control module voltage (25)

Este me indica el valor del voltaje de cada módulo para gestionar su control, el cual debe estar en valores entre 12,7-12,9V. (BHP, 2005)

Distance traveled since DTCs cleared (26)

Distancia de viaje desde que los DTCs han sido limpiados en millas. (MOTOR, 2005)

EGR A error (27)

El error de EGR es la cantidad calculada del flujo que circula por la válvula EGR. La válvula PCM determina una aproximada cantidad total de flujo de masa de aire requerida para las revoluciones del motor. Si el % de la válvula de comando está abierta 10% y la válvula EGR A/B se mueve solo 5% $(5\% - 10\%) / 10\% = -50\%$ error. Si el scanner en el pid del Error EGR está en 99.2% y la EGR de comando está apagada, esto me indicaría que la PCM está recibiendo información y la válvula EGR es mayor de 0%. (Mark, 2005) (MOTOR, 2005)

EGR B error (28)

El error de EGR es la cantidad calculada del flujo que circula por la válvula EGR. La válvula PCM determina una aproximada cantidad total de flujo de masa de aire requerida para las revoluciones del motor. Si el % de la válvula de comando está abierta 10% y la válvula EGR A/B se mueve solo 5% $(5\% - 10\%) / 10\% = -50\%$ error. Si el scanner en el pid del Error EGR está en 99.2% y la EGR de comando está apagada, esto me indicaría que la PCM está recibiendo información y la válvula EGR es mayor de 0%. (MOTOR, 2005)

Engine coolant temperature (29)

El motor de combustión interna cuenta con un sistema de refrigeración para poder mantener una temperatura de trabajo óptima, la cual es de valores menores a 100°C, caso contrario podría llegar a fundirse la máquina. Esto es obviando las temperaturas internas dentro de la cámara, ya que esa superara 700°C. Con lo cual este PID me determina la temperatura a la cual se encuentra el refrigerante del motor. (MOTOR, 2005)

Engine friction – percent torque (30)

El porcentaje de torque del motor por fricción máximo trabaja con datos de bombas, alternador, aceites, combustible, pistones, cigüeñales, arboles de leva, válvulas, etc. (BlueDriver, 2020)

Engine Fuel Rate (31)

El radio de combustible esta expresado en litros por minutos, este es calculado por la ECM usando el volumen del combustible durante los primeros 1000 ms. (BlueDriver, 2020)

Engine reference torque (32)

El torque de referencia esta dado en lb*ft y me indica específicamente el torque máximo del motor, con lo cual el valor siempre será el mismo en todo momento ya que es el que la computadora del vehículo (ECU) toma de referencia. (BlueDriver, 2020)

Engine RPM (33)

Los rpm vienen de las siglas “revoluciones por minuto”, esta es una unidad de medida utilizada para expresar lo que es frecuencia o velocidad angular y me indican las rotaciones por minuto que realiza el cigüeñal.

Engine run time run while MIL is activated (34)

Nos indica el tiempo de encendido desde que la luz del check engine ha sido activada. (BlueDriver, 2020)

Engine run time since DTCs cleared (35)

Me muestra los DTCs (Data troubleshooting codes) que han sido limpiados desde la última vez en minutos. (BlueDriver, 2020)

Enhanced Hybrid/EV Charging State (36)

Este parámetro me indica el voltaje de cara hacia la batería, pero como es full hybrid y no plug in me marca valor 0. Hybrid/EV Battery Voltage: 0 to 1024V. (BlueDriver, 2020)

Fuel System 1 Status (37)

Existe 2 tipos de sistemas de combustible, el abierto y el cerrado, en este caso es el cerrado “2”, esto significa que el ECM está trabajando con datos de los sensores o₂ para ajustar el rango de la mezcla estequiométrica para prevenir una mezcla muy pobre, o rica. (BlueDriver, 2020)

Fuel System 2 Status (38)

Existe 2 tipos de sistemas de combustible, el abierto y el cerrado, en este caso es el cerrado “2”, esto significa que el ECM está trabajando con datos de los sensores o₂ para ajustar el rango de la mezcla estequiométrica para prevenir una mezcla muy pobre, o rica. (BlueDriver, 2020)

Fuel type (39)

Esto me indica el tipo de combustible que se está manejando en el vehículo en ese momento. Para la gasolina, el valor de PIN el cual se basa el DTC es de 1. (Wikipedia OBD-II PIDs, 2015)

Relación equivalente de aire/combustible (40)

Los motores con ciclo otto hacen la fase de detonación mediante la mezcla estequiométrica (14.7 moléculas de aire y 1 de gasolina). Esta es regulada a través del sensor O₂ (Sensor de oxígeno), la cual mantiene mezcla rica > 1 < pobre. (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

Intake Manifold Absolute Pressure A (41)

Mide la presión del múltiple, es utilizada por el PCM para calcular la carga del motor. La lectura en unidades impresas normalmente se muestra en pulgadas de mercurio (in/Hg). No confundir el parámetro del sensor MAP con el vacío del colector de admisión; no son lo mismo. Una formula simple de usar es: presión barométrica/MAP = vacío del colector de admisión. (BlueDriver, 2020) (MOTOR, 2005)

Intake Manifold Absolute Pressure B (42)

Mide la presión del múltiple, es utilizada por el PCM para calcular la carga del motor. La lectura en unidades impresas normalmente se muestra en pulgadas de mercurio (in/Hg). No confundir

el parámetro del sensor MAP con el vacío del colector de admisión; no son lo mismo. Una formula simple de usar es: presión barométrica/MAP = vacío del colector de admisión. (BlueDriver, 2020) (MOTOR, 2005)

Location of Oxygen Sensors (43)

Este Pid me indica la cantidad de sensores de oxígeno. (BlueDriver, 2020) (MOTOR, 2005)

Long Term Fuel % trim – Bank 1 (44)

De manera similar a la compensación a corto plazo, la compensación de combustible a largo plazo reacciona con menor rapidez a los cambios repentino y representa el comportamiento “aprendido” del vehículo durante un periodo más largo. El banco 1 y 2 indica el lado del motor. El sensor 1 frente al sensor 2 indica los sensores del convertidor catalítico antes n°1 y después n°2. (BlueDriver, 2020)

Long Term Fuel % trim – Bank 3 (45)

De manera similar a la compensación a corto plazo, la compensación de combustible a largo plazo reacciona con menor rapidez a los cambios repentino y representa el comportamiento “aprendido” del vehículo durante un periodo más largo. El banco 1 y 2 indica el lado del motor. El sensor 1 frente al sensor 2 indica los sensores del convertidor catalítico antes n°1 y después n°2. (BlueDriver, 2020)

Long term secondary oxygen sensor trim bank 1 (46)

Los sensores de oxígeno bank 1, bank 3, bank 2, de largo alcance, corto alcance y secundarios nos indican todos el ratio de la mezcla estequiométrica que tiene el vehículo en ese momento, algunos vehículos cuentan con 3 o 2 sensores de oxígeno, y hay algunos tipos de sensores de oxígeno, como medio y largo alcance, o con calefactor integrado. (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

Long term secondary oxygen sensor trim bank 3 (47)

Los sensores de oxígeno bank 1, bank 3, bank 2, de largo alcance, corto alcance y secundarios nos indican todos el ratio de la mezcla estequiométrica que tiene el vehículo en ese momento, algunos vehículos cuentan con 3 o 2 sensores de oxígeno, y hay algunos tipos de sensores de

oxígeno, como medio y largo alcance, o con calefactor integrado. (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

Mass air flow rate (48)

El aire está formado principalmente por moléculas de nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂), y en menor cantidad por dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua (H₂O), hidrocarburos (HC), gases nobles y partículas sólidas como el polvo, etc. Cuanto menor sea la temperatura del aire, mayor será su densidad y cuanto mayor sea la altitud a la que se encuentre el aire, menor su densidad a una misma temperatura. Hay que tener en cuenta en general que a mayor altitud la temperatura del aire es menor. La densidad del aire normalmente en costa es de 1,18kg/m³ a 25°C con una presión de 1atm. (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

O₂ sensor current wide range (Bank 1 Sensor 1) (49)

Nos indica el pid que nos muestra la corriente del sensor o₂ de banda ancha. (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

O₂ sensor lambda (Bank 1 Sensor 1) (50)

Nos indica el valor del aire que recircula por el colector del escape. (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

O₂ sensor lambda wide range (current probe) (Bank 1 Sensor 1) (51)

Nos indica el valor del aire que recircula por el colector del escape. (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

O₂ sensor voltage wide range (Bank 1 Sensor 1) (52)

Nos indica el valor del aire que recircula por el colector del escape. (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

O₂ voltage (Bank 1 Sensor 2) (53)

Nos indica el valor del aire que recircula por el colector del escape. (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

OBD requirements to which vehicle or engine is certified (54)

Nos indica el valor del aire que recircula por el colector del escape. (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

Relative throttle position (55)

Nos indica el valor del aire que recircula por el colector del escape. Según el valor absoluto de la mariposa o absolute throttle position este, este me indicara a marcar. Por ejemplo, si mi absolute throttle position marca 9% cuando la válvula se encuentre totalmente cerrada, mi relative throttle position marcará 0%. (Rodríguez Melchor, 2012-01-01.)

Short term fuel % trim - Bank 1 (56)

Si él % es negativo es que esta rica y viceversa positivo. De manera similar a la compensación a corto plazo, la compensación de combustible a largo plazo reacciona con menor rapidez a los cambios repentino y representa el comportamiento “aprendido” del vehículo durante un periodo más largo. El banco 1 y 2 indica el lado del motor. El sensor 1 frente al sensor 2 indica los sensores del convertidor catalico antes n°1 y después n°2. (BlueDriver, 2020)

Short term fuel % trim - Bank 3 (57)

Si él % es negativo es que esta rica y viceversa positivo. De manera similar a la compensación a corto plazo, la compensación de combustible a largo plazo reacciona con menor rapidez a los cambios repentino y representa el comportamiento “aprendido” del vehículo durante un periodo más largo. El banco 1 y 2 indica el lado del motor. El sensor 1 frente al sensor 2 indica los sensores del convertidor catalico antes n°1 y después n°2. (BlueDriver, 2020)

Short term fuel trim (Bank 1 Sensor 2) (58)

Si él % es negativo es que esta rica y viceversa positivo. De manera similar a la compensación a corto plazo, la compensación de combustible a largo plazo reacciona con menor rapidez a los cambios repentino y representa el comportamiento “aprendido” del vehículo durante un periodo más largo. El banco 1 y 2 indica el lado del motor. El sensor 1 frente al sensor 2 indica los sensores del convertidor catalico antes n°1 y después n°2. (BlueDriver, 2020)

Short term secondary oxygen sensor trim bank 1 (59)

Si el % es negativo es que está rica y viceversa positivo. De manera similar a la compensación a corto plazo, la compensación de combustible a largo plazo reacciona con menor rapidez a los cambios repentinos y representa el comportamiento “aprendido” del vehículo durante un periodo más largo. El banco 1 y 2 indica el lado del motor. El sensor 1 frente al sensor 2 indica los sensores del convertidor catalítico antes nº1 y después nº2.

Short term secondary oxygen sensor trim bank 3 (60)

Si el % es negativo es que está rica y viceversa positivo. De manera similar a la compensación a corto plazo, la compensación de combustible a largo plazo reacciona con menor rapidez a los cambios repentinos y representa el comportamiento “aprendido” del vehículo durante un periodo más largo. El banco 1 y 2 indica el lado del motor. El sensor 1 frente al sensor 2 indica los sensores del convertidor catalítico antes nº1 y después nº2.

Total, de la economía de combustible (MPG) (61)

La economía de combustible de un vehículo está relacionada con la distancia recorrida y la cantidad de combustible que se es consumido. Este se puede expresar en términos del volumen utilizado para recorrer cierta distancia o la distancia recorrida por su unidad de volumen del combustible consumido. Esta energía del combustible se la necesita para superar las fuerzas de oposición al movimiento del vehículo, tales como: resistencia de rodadura, resistencia aerodinámica, entre otras, y para proporcionar energía a los sistemas del vehículo, como por ejemplo el encendido o el climatizador. (Wikipedia, 2021)

Velocidad de combustible (62)

La velocidad de combustible va de la mano con la economía de instantánea de ella, en la variable 63 indica al usuario cuánto combustible se está consumiendo al momento de pisar el acelerador, mientras que la velocidad de combustible permite visualizar la cantidad de volumen que está siendo suministrado en un rango de tiempo determinado por el sistema de control en base a las necesidades del usuario. (Wikipedia, 2021)

La economía de combustible instantánea (MPG) (63)

La economía de combustible instantánea de mpg no mide o no indica el consumo de combustible a largo plazo, sino más bien nos indica el combustible que se está consumiendo al pisar el acelerador, de esta manera se puede ir controlando el consumo. (Wikipedia, 2021)

3.3.2 Métodos estadísticos para la caracterización de datos

Los siguientes métodos estadísticos se usaron para determinar el grado de relación entre las variables. Se empleó el análisis de normalidad para comparar la función de distribución acumulada y así determinar la correlación entre variables mediante el valor p de Pearson.

3.3.2.1 Análisis de normalidad

Los resultados del análisis de la prueba de normalidad indican si el investigador debe o no puede negar la hipótesis nula de que los datos recopilados provengan de una población con distribución normal. Las mejores herramientas para evaluar la normalidad son mediante la prueba de normalidad y la gráfica de probabilidad. (MINITAB , Minitab - Soporte, 2022)

Dentro de las pruebas de normalidad tenemos las siguientes:

-Prueba de Anderson-Darling: La prueba de Anderson-Darling compara la función de distribución acumulada empírica (ECDF) de los datos de la muestra con lo que sería la distribución esperada si los datos fueran normales. Por otro lado, si la diferencia observada es adecuadamente grande, usted rechazará la hipótesis nula de normalidad de la población. (MINITAB , Minitab - Soporte, 2022)

-Prueba de normalidad de Ryan-Joiner: Esta prueba determina la normalidad calculando la correlación que existe entre los datos y las puntuaciones normales de ellos. Si el coeficiente de correlación se encuentra cerca de 1, es probable que la población sea normal. El estadístico de Ryan-Joiner evalúa la fuerza de esta correlación; En caso de que se encuentre por debajo del valor crítico apropiado, usted rechazará la hipótesis nula de normalidad de la población. (MINITAB , Minitab - Soporte, 2022)

-Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov: En esta prueba de Kolmogorov-Smirnov se compara la función de distribución acumulada empírica (ECDF) en la cual se toma en cuenta los datos de la muestra con la distribución esperada en el caso de que los datos sean normales. Si esta diferencia analizada es grande, la prueba rechazara la hipótesis nula de normalidad de la población. En el caso de que el valor p de esta prueba sea menor al nivel de significancia (α)

elegido, se rechazaría la hipótesis nula y se concluiría que se trata de una población no normal. (MINITAB , Minitab - Soporte, 2022)

3.3.2.2 Correlación

La correlación se la utiliza para medir la fuerza y la dirección de la asociación entre dos variables. Minitab trabaja con dos métodos de correlación: la correlación del momento del producto de Pearson y la correlación del orden de los rangos de Spearman. La correlación de Pearson (también conocida como r), que es el método más común, mide la relación lineal entre dos variables continuas. (MINITAB, Minitab - Soporte, 2022)

El coeficiente de correlación de **Pearson**, indica la situación relativa de los mismos sucesos respecto a las dos variables, es decir, son la expresión numérica que nos indica el grado de relación entre esas 2 variables. Son números que varían entre los límites -1 y +1. Su magnitud indica el grado de asociación entre las variables. Su signo nos indicara si son directamente proporcionales o inversamente proporcionales. (Suárez Ibujes, 2011)

3.3.2.3 Nivel de significancia

El nivel de significancia es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando esta es verdadera. Un nivel de significancia de 0.05 indica un riesgo del 5% de concluir que existe una diferencia cuando en realidad no hay ninguna diferencia. (MINITAB, El blog de Minitab, 2021)

3.3.2.4 Regresión

La regresión permite modelar la relación entre predictores categóricos o continuos y una respuesta. Este también se usa también para pronosticar valores de respuesta para nuevas observaciones. (MINITAB, Minitab - Soporte, 2022)

4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA ADQUISICIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL FUNCIONAMIENTO DEL TREN DE POTENCIA

El capítulo IV muestra los resultados de la investigación descriptiva, la cual se usó para determinar la ruta a recorrer con el fin de adquirir datos de funcionamiento del tren de potencia del vehículo. Durante la realización de los recorridos, se encontró que la aceleración y el porcentaje de carga de la batería estaban presentes en todos los modos, por lo que se procedió a seleccionar todas las variables relacionadas a ellas. Se muestran las variables relacionadas en la Tabla 4. Se clasificaron los datos según su modo de conducción y velocidad, y se aplicaron los métodos estadísticos antes expuestos en el capítulo 3.3.2.2, para obtener las variables que presentaban una mayor correlación. De esta manera, se filtraron las variables para conseguir las que influyen directamente en el funcionamiento del vehículo.

En el año 2021, se realizó en Chengdu, China un estudio de adquisición de datos en un ciclo de manejo mediante GPS con el fin de desarrollar un modelo de emisiones en base a una ruta en específico. Crearon un ciclo de conducción en base a la repetitividad de pruebas, al ser un análisis experimental el tiempo de esas muestras se seleccionó de manera aleatoria. Se basaron en tres conceptos que debe cumplir su trabajo, los cuales son: Una gran cantidad de datos, muestras aleatorias, y suficiencia en la precisión de ellos y los datos que tomaban variaban entre 2-4s por dato durante 30 días (Han, Wu, Gu, Ji, & Xu, 2021). Debido a que el tiempo para adquirir datos del vehículo se lo puede tomar de manera aleatoria ya que depende del tiempo en que tarde en la toma de la muestra, se decidió tomar como referencia a los investigadores Dimaté Cáceres, y González Castillo. Ellos indican en su trabajo de diseño de una interfaz gráfica en Labview para el diagnóstico de vehículos por medio de OBD2, que: “En un ciclo de manejo se debe realizar un diagnóstico de todos los sistemas. Normalmente toma alrededor de 15 minutos” (Dimaté Cáceres & González Castillo, 2010). La presente investigación captó datos en tres lapsos de 10 minutos por cada modo de funcionamiento del vehículo (normal, ev, eco y sport). A esto, sumarle que por cada modo de funcionamiento se han realizado pruebas a velocidad cruce de 40 km/h, 60 km/h y 85 km/h teniendo un total de 1'200.726 datos. El método estadístico para calcular el tamaño de la muestra por estimación mediante Minitab se descartó por dos motivos:

El primero es porque se necesita al menos dos tratamientos para determinar los márgenes de error para los intervalos de confianza. Nuestro experimento se basa en un tratamiento con varias muestras. Sin embargo, se procedió a realizar esta prueba de tamaño de la muestra¹⁷ donde se tomaba en consideración la diferencia entre las muestras, más no entre tratamientos¹⁸. Se consideró la diferencia de tiempo de una muestra y el tiempo expuesto por los investigadores Dimaté Cáceres, y González Castillo donde se tiene un valor de 5. Aquí es donde se hayo el segundo motivo.

Para descartar el tamaño de la muestra por estimación mediante Minitab, se necesita la desviación estándar de **una** variable que tenga mayor influencia en todos los modos de funcionamiento del vehículo, dentro de las 63 variables estudiadas, se observó mediante el flujo de energía proporcionado en la pantalla del vehículo, que la aceleración y el nivel de batería estaban presentes en todos los modos de funcionamiento del vehículo. En base a esto, se procedió a tomar en cuenta 11 variables que estaban directamente relacionadas con la aceleración y el porcentaje de carga de la batería. Once son las variables principales que influyen en el funcionamiento del tren de potencia, una sola variable no cumpliría con el requerimiento de estimación de muestra en Minitab.

Las once variables que definen el funcionamiento del tren de potencia del vehículo están expuestas a continuación en la Tabla 4

Tabla 4. Variables que definen el funcionamiento del tren de potencia

ITEM	VARIABLE	UNIDAD
ITEM 1	Vehicle Speed	MPH
ITEM 2	Absolute Throttle Position	%
ITEM 3	Hybrid Battery Pack Remaining life	%
ITEM 4	Hybrid/EV Battery System Current	A
ITEM 5	Hybrid/EV Battery System Voltage	V
ITEM 6	Absolute Load Value	%
ITEM 7	Absolute Throttle Position B	%
ITEM 8	Accelerator Pedal Position D	%
ITEM 9	Accelerator Pedal Position E	%
ITEM 10	Engine RPM	RPM
ITEM 11	Relative Throttle position	%

¹⁷ Muestra: Veces en que se repite la ruta.

¹⁸ Tratamiento: Una ruta en específico.

4.1 Resultados de la investigación descriptiva

Esta sección de la investigación se realizó para determinar una ruta a recorrer dentro del casco urbano de la ciudad de Guayaquil – Ecuador con el fin de **adquirir** los datos de funcionamiento del tren de potencia del Blue Drive. Se encuestaron un total de 221 personas donde se obtuvo los siguientes resultados:

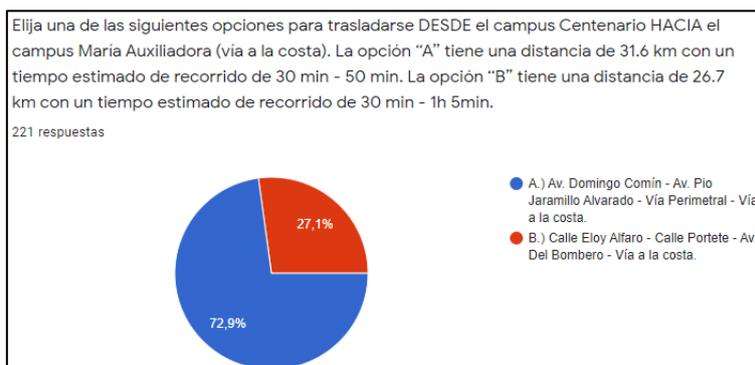


Figura 7. Ruta DESDE campus Centenario HACIA campus María Auxiliadora (Vía A la costa)



Figura 8. Ruta DESDE campus María Auxiliadora (Vía A la costa) HACIA campus Centenario.

La ruta a recorrer para captar los datos de funcionamiento del tren de potencia del vehículo fue:

Para el recorrido de ida:

RUTA A: Av. Domingo Comín - Av. Pio Jaramillo Alvarado - Vía Perimetral - Vía a la costa.

Para el recorrido de retorno:

RUTA A: Vía a la costa - Vía Perimetral - Av. Pio Jaramillo Alvarado - Av. Domingo Comín.

4.2 Resultados de pruebas de normalidad

Terminado el proceso de adquisición de datos, se procedió a **clasificar** toda la información según su modo de conducción y velocidad. Separadas las variables, se realizaron las pruebas de normalidad usando el método de Kolmogorov-Smirnov para determinar el valor “ p^{19} ”. Se usó este método estadístico ya que se basa en una función de distribución empírica al tener más de 30 muestras.

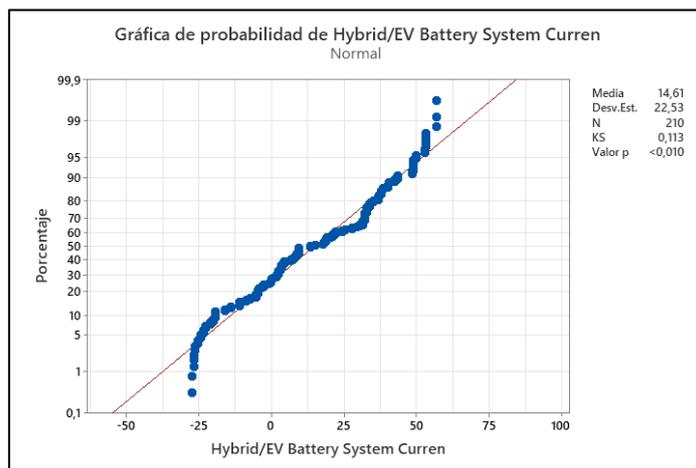


Figura 9. Prueba de normalidad de la variable Hybrid/EV Battery System Current.

Todas las pruebas de normalidad de las variables se encuentran en los anexos.

En la figura 8 se observa como una gran parte de los datos esta dentro de la línea de regresión. Esto indica que existe una buena relación entre esos datos de la variable analizada, también indica en el borde superior derecho el valor de “ p ”, con el valor de p determinamos que es una variable no lineal ya que posee un valor <0.05 , la prueba fue realizada mediante el método de Kolmogorov-Smirnov.

4.3 Resultados de pruebas de correlación

El método de correlación a usar fue el de “ r ” de Pearson. Bajo este método estadístico se **caracteriza** cuales son variables que influyen en el funcionamiento del tren de potencia. Este método estadístico es el más usado para determinar correlaciones entre variables cuando el valor de “ p ” es menor a 0.05. Debido a que todas nuestras variables dieron valores menores a ese nivel de significancia, se procedió a determinar las correlaciones de todos los datos mediante este método.

¹⁹ p : Probabilidad que mide la evidencia en contra la hipótesis nula.

Tabla 3. Parte de correlaciones de la prueba N_40_4.

TIEMPO	Vehicle Speed (MPH)	Absolute throttle position (%)	Hybrid battery pack remaining life (%)	Hybrid/EV battery system current (A)	Hybrid/EV battery system voltage (V)	Absolute load value (%)	Absolute throttle position B (%)	Accelerator pedal position D (%)
Time since engine start (sec)	0,01	0,782	0,329	0,018	0,622			
Absolute load value (%)	0,071	0,425	-0,284	-0,575	-0,022			
Absolute throttle position B (%)	-0,053	0,957	0,41	-0,033	0,842	0,168		
Accelerator pedal position D (%)	-0,001	0,891	0,456	0,031	0,867	0,017	0,979	
Accelerator pedal position E (%)	-0,001	0,891	0,456	0,031	0,867	0,017	0,979	1

Todas las pruebas de correlaciones entre variables se encuentran en los anexos.

Se puede observar dos colores distintos de correlaciones. Para que una correlación se considere fuerte, esta tiene que estar entre valores de -1 a -0,7 y 0,7 – 1. Para tener mayor exactitud en las variables que influyen directamente en el funcionamiento del tren de potencia, se dispuso a clasificar las correlaciones en “muy fuertes” aquellas que se encontraban entre -1 a -0,9 y 0,9 – 1. Esta clasificación se puede entender de mejor manera en la tabla #4 a continuación:

Tabla 4. Código de colores de las correlaciones.

CORRELACIONES FUERTES
CORRELACIONES MUY FUERTES

Todas las pruebas de correlaciones de las variables se encuentran en los anexos.

4.4 Variables que caracterizan el tren de potencia según su modo

Una vez identificadas las variables que presentaban una correlación muy fuerte, se procedió a clasificar los resultados según su modo de manejo junto con la velocidad en específico en la que recorrió el vehículo. Se consiguieron los siguientes resultados:

MODO NORMAL

Tabla 5. Variables involucradas en el Modo Normal

MODO NORMAL
Modo NORMAL - 40km/h
1. Absolute load value (%)
Actual Engine – Percent Torque.
Calculated Load Value
Engine Exhaust Flow Rate (lb/mi)
Modo NORMAL – 60km/h
1. Absolute throttle position (%)
Absolute throttle position B
Commanded throttle actuator
2. Absolute load value (%)
Actual engine – percent torque
Calculated load value
Engine Fuel Rate
Engine RPM
Mass air flow (lb/min)
3. Engine RPM
Relative Throttle position (%)
Mass air flow rate (lb/min)
Modo NORMAL - 85km/h
1. Absolute Throttle Position (%)
Absolute Throttle Position B (%).
Commanded throttle actuator.

Gráficas de correlacion en Anexos 1.1 – 1.3

Las siguientes variables de la Tabla 6, para este modo de manejo, muestran que no hay suficientes datos para poder determinar con certeza que es un dato que influye directamente en el funcionamiento del tren de potencia.

Tabla 6. Variables con datos insuficientes en el Modo Normal

MODO NORMAL
Modo NORMAL - 40km/h
1. Accelerator pedal position D (%)
Accelerator pedal position E (%).
2. Accelerator pedal position E (%) (3)
Auxiliary inputs / outputs.
3. Engine RPM
Long term secondary oxygen sensor.
Modo NORMAL – 60km/h

1. Accelerator pedal position D (%)

Accelerator pedal position E (%).

Modo NORMAL - 85km/h

-

Gráficas de correlación en Anexos 1.4 – 1.5

MODO ECO

Tabla 7. Variables involucradas en el Modo ECO

MODO ECO
Modo ECO - 40km/h
1.Absolute Load Value (%)
Actual Engine – Percent Torque.
Calculated load value (%)
Engine Fuel Rate (lb/min)
Mass air flow rate (lb/min)
Velocidad del combustible
2. Engine Relative throttle position (%)
Velocidad del combustible
Modo ECO - 60km/h
1. Absolute throttle position (%)
Commanded throttle actuator
Mass air flow rate (lb/min)
2.Absolute Load Value (%)
Actual engine – percent torque
Calculated Load Value
Commanded EGR A duty cycle/posi
Engine Fuel Rate
Engine RPM
Mass air flow rate (lb/min)
Velocidad del combustible
3. Absolute throttle position B (%)
Commanded throttle actuator
4. Engine RPM (RPM)
Mass air flow rate (lb/min)
Relative Throttle Position
Velocidad del combustible
Modo ECO - 85km/h
1.Absolute Throttle Position (%)
Absolute Throttle position B (%)
Commanded throttle actuator (%)
2.Hybrid/EV Battery System Voltage
Short Term Fuel (%)

3.Absolute Throttle Position B

 Commanded Throttle Actuator

4.Accelerator pedal position D (%)

 Accelerator pedal position E (%)

Gráficas de correlación en Anexos 1.6 – 1.8

Las siguientes variables de la Tabla 8, para este modo de manejo, muestran que no hay suficientes datos para poder determinar con certeza que es un dato que influye directamente en el funcionamiento del tren de potencia.

Tabla 8. Variables con datos insuficientes en el Modo ECO

MODO ECO
Modo ECO - 40km/h
1. Accelerator pedal position D (%)
Accelerator pedal position E (%).
Modo ECO - 60km/h
-
Modo ECO - 85km/h
1. Hybrid Battery Pack Remaining
Dsistance Traveled since DTCs.

Gráficas de correlación en Anexos 1.9 – 1.10

MODO SPORT

Tabla 9. Variables involucradas en el Modo SPORT

MODO SPORT
Modo SPORT - 40km/h
1. Absolute load value (%)
Actual engine percent torque
Engine fuel rate (lb/min)
2. Engine RPM (RPM)
Mass air flow rate (lb/min)
Modo SPORT – 60km/h
1.Absolute Throttle Position (%)
Absolute Throttle Position B (%).
Actual engine – percent torque
Calculated Load Value
Engine Fuel Rate (lb/min)
Mass air flow rate (lb/min)
Velocidad del combustible (gal/h)
Modo SPORT – 85km/h
1. Absolute Throttle Position (%)

Mass air flow rate (lb/min)
Velocidad del combustible (gal/h)
2.Absolute load value (%)
Actual Engine – Percent Torque
Calculated load Value
3.Accelerator pedal position D (%)
Accelerator pedal position E (%)

Gráficas de correlación en Anexos 1.11 – 1.13

Las siguientes variables de la Tabla 10, para este modo de manejo, muestran que no hay suficientes datos para poder determinar con certeza que es un dato que influye directamente en el funcionamiento del tren de potencia.

Tabla 10. Variables con datos insuficientes en el Modo SPORT

MODO SPORT
Modo SPORT - 40km/h
-
Modo SPORT – 60km/h
1.Engine RPM
Fuel system 1 status 1
Modo SPORT – 85km/h
-

Gráfica de correlación en Anexos 1.14

MODO EV

Tabla 11. Variables involucradas en el Modo EV

MODO EV
Modo EV - 40km/h
1. Hybrid battery pack remaining life
La economía del combustible
2. Accelerator pedal position D (%)
Short Term fuel Trim.
3. Absolute throttle position B (%)
Accelerator pedal position E (%)

Gráfica de correlación en Anexos 1.15

Las siguientes variables de la Tabla 12, para este modo de manejo, muestran que no hay suficientes datos para poder determinar con certeza que es un dato que influye directamente en el funcionamiento del tren de potencia.

Tabla 12. Variables con datos insuficientes en el Modo EV

MODO EV
Modo EV - 40km/h
1. Hybrid/EV Battery System Voltage
Short Term fuel Trim.
2. Relative throttle position (%)
Engine Run DTCs data
3. Absolute load value
Absolute throttle position B(%).

Gráfica de correlación en Anexos 1.16

5. CAPÍTULO V: INTERPRETACIÓN DE LAS VARIABLES QUE CARACTERIZAN EL TREN DE POTENCIA DEL VEHÍCULO BLUE DRIVE

El capítulo V explica a detalle las variables que tienen una influencia directa en el funcionamiento del tren de potencia del vehículo. Se explican los cuatro modos de conducción del vehículo a las velocidades crucero de 40 km/h, 60 km/h y 85 km/h. Cada muestra capto datos en tres lapsos de 10 minutos por cada modo de funcionamiento del vehículo, Llegando a tener un total de 1'200.726 datos.

Para la selección de variables características que definen el modo de manejo del vehículo BlueDrive, se realizó un desglose mediante MiniTab de todas las variables involucradas en el análisis, 63 variables. Dado que, para la gestión e interpretación de estos modos se necesita progresiones de datos que cambien con respecto al tiempo, se procedió a eliminar valores constantes y nulos. Sin embargo, al realizar esta limpieza todavía se contaba con muchas variables a analizar para caracterizar el tren de potencia. Por ello, se procedió a crear una hipótesis de correlaciones muy fuertes explicada en la Tabla 4, previamente expuesta.

Dada la filtración de las variables por este método de correlación muy fuerte, se empezó a dar criterios técnicos en base a las pruebas experimentales en ruta. Mediante las pruebas realizadas en los modos de manejo EV, ECO, SPORT y NORMAL, junto con la estructura en la que cada modo se aplicaba una velocidad constante correspondiente a 40 km/h, 60 km/h y 85 km/h, se logró determinar, al observar el flujo de energía del tren de potencia en la pantalla del vehículo, que la aceleración y el estado de carga de la batería influían en todos los modos de funcionamiento. Cabe recalcar que cada prueba tuvo un tiempo de 10 minutos, 3 pruebas para el modo ECO, SPORT y NORMAL, y 1 prueba para el modo EV, dando como resultado un total de 32 pruebas en un tiempo aproximado de 320-350 minutos.

En consiguiente, mediante el flujo de energía del vehículo, las variables involucradas con mayor peso serían las de aceleración y estado de carga del vehículo. Es por ello que mediante el filtro de las correlaciones de Pearson, la eliminación de variables constantes o nulas y el criterio técnico en base al flujo de energía del vehículo, se procedió a seleccionar 11 variables que están 100% regidas a la aceleración y el estado de energía de la batería. Estas variables 11 variables se compararon con las 63 variables mediante correlaciones para determinar en la repetitividad

cuales serían las que caracterizan el tren de potencia del vehículo Blue Drive del laboratorio de automotriz.

Para la obtención de las graficas tomando en cuenta todo lo que se a mencionado previamente se selecciono mediante algunos aspectos, entre ellos estarian: Visualización de datos, repetitividad, que no sea un valor constate, que sea una variable característica.

La grafica de la correlación debe mostrarme datos en los cuales se pueda ver si existe un cambio directamente proporcional o inversamente proporcional para saber si al aumentar el cambio de una, disminuye la otra o viceversa. También el que estén los datos cercanos a la línea de regresión lineal para ver una relación entre ellos.

5.1 Variables involucradas en el funcionamiento del tren de potencia – MODO NORMAL

A continuación, se presenta una de las variables más representativa con su respectiva velocidad.

5.1.1 Modo Normal – 40 km/h

Este modo de conducción presenta correlación muy fuerte con la siguiente variable:

Absolute load value (%) (1)

Presenta una correlación con la variable Calculated Load Value.

En la figura 9 se observa como a medida que el vehículo aspira aire por el colector de admisión, la variable calculated load value, dividiendo el flujo de aire que ingresa por el flujo de aire máximo registrado en la ECU, aumenta en relación con el flujo continuo de aire que ingresa al aumentar las revoluciones del motor, eso hace que estas 2 variables sean directamente proporcionales una de otra ya que son muy similares.

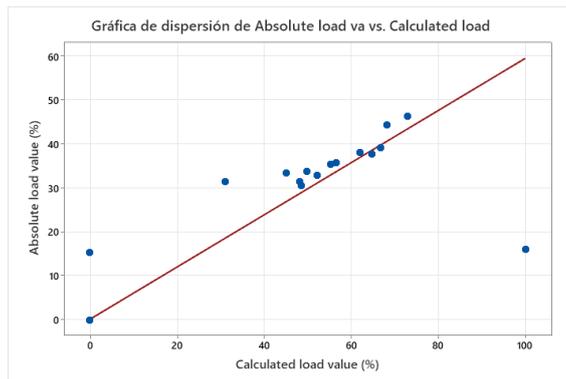


Figura 10. Correlación entre Absolute load value (%) vs Calculated Load Value.

5.1.2 Modo Normal – 60km/h

Este modo de conducción presenta correlación muy fuerte con la siguiente variable:

Absolute throttle position (%) (1)

Presenta una correlación con la variable Absolute throttle position B.

En la figura 10 se observa una correlación bastante fuerte por como están situados los datos, pero, se los está visualizando casi en el final, esto se debe a que durante la prueba se estuvo siempre a velocidad constante. Ambas variables están directamente correlacionadas ya que son dependientes una de la otra igual que en la figura 9, esto se debe a que, cuando mi absolute throttle position b presenta un cambio, mi absolute throttle position lo tendrá de igual manera, pero desde el último registro que tenga.

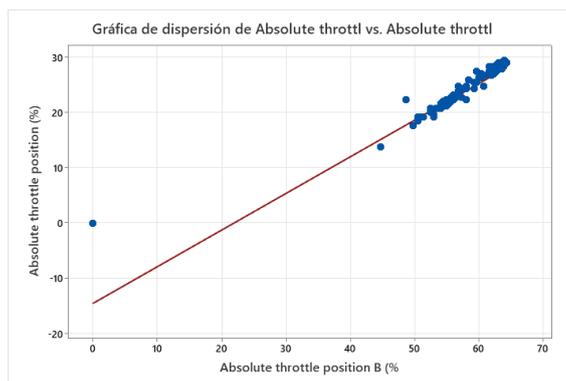


Figura 11. Absolute throttle position (%) vs Absolute throttle position B

5.1.3 Modo Normal - 85km/h

Este modo de conducción presenta correlación muy fuerte con la siguiente variable:

Absolute Throttle Position (%) (1)

Presenta una correlación con la variable Absolute Throttle Position B (%).

En la figura 11 se observa una correlación bastante fuerte por como están situados los datos, Ambas variables estan directamente correlacionadas ya que son dependientes una de la otra igual que en la figura 10, esto se debe a que, cuando mi absolute throttle position b presenta un cambio, mi absolute throttle position lo tendrá de igual manera, pero desde el ultimo registro que tenga.

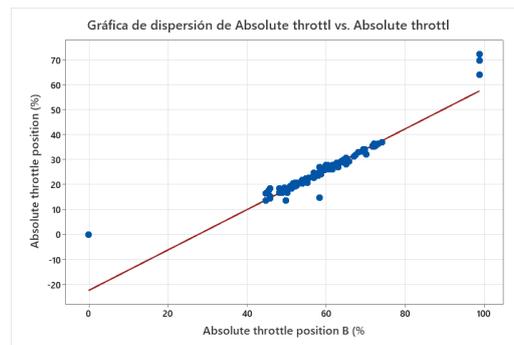


Figura 12. Absolute Throttle Position (%) vs Absolute Throttle Position B (%).

5.2 Variables involucradas en el funcionamiento del tren de potencia – MODO ECO

A continuación, se presenta una de las variables más representativa con su respectiva velocidad.

5.2.1 Modo Eco – 40km/h

Este modo de conducción presenta correlación muy fuerte con las siguientes variables:

Absolute Load Value (%) (1)

Presenta una correlación con la variable Actual Engine – Percent Torque.

La variable “absolute load value” ira en aumento progresivo según aumente de igual manera la variable “percent torque”, la dispersión de algunos datos que se muestra nos indica que al estar en modo eco a 40km/h el vehículo no llego a hacer trabajar el motor a combustión mucho tiempo, es por ello por lo que se ven puntos dispersos al comienzo ya que en ellos es cuando entraba a trabajar el motor. La correlación de estos datos en la figura 12 es bastante fuerte y directamente proporcional.

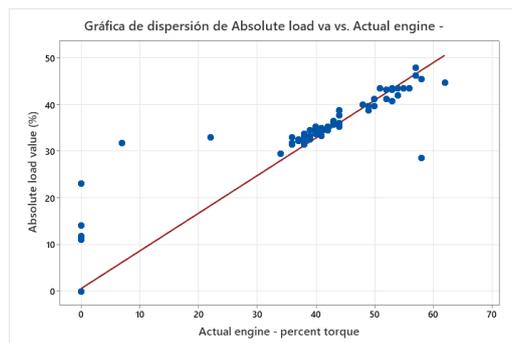


Figura 13. Absolute Load Value (%) vs Actual Engine – Percent Torque.

5.2.2 Modo Eco – 60km/h

Este modo de conducción presenta correlación muy fuerte con las siguientes variables:

Absolute Load Value (%) (2)

Presenta una correlación con la variable Actual engine – percent torque

La variable “absolute load value” ira en aumento progresivo según aumente de igual manera la variable “percent torque”, la dispersión de algunos datos que se muestra nos indica que al estar en modo eco a 60km/h el vehículo no llego a hacer trabajar el motor a combustión mucho tiempo, es por ello por lo que se ven puntos dispersos al comienzo ya que en ellos es cuando entraba a trabajar el motor. Sin embargo, a diferencia de la figura 12, se visualiza que el motor en esta ocasión necesito mas demanda de potencia y mayor entrada de aire suministrada. La correlación de estos datos en la figura 13 es bastante fuerte y directamente proporcional.

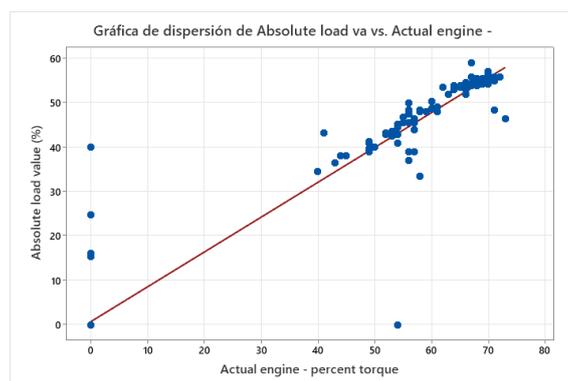


Figura 14. Absolute Load Value (%) vs Actual engine – percent torque.

5.2.3 Modo Eco – 85km/h

Este modo de conducción presenta correlación muy fuerte con las siguientes variables:

Absolute Throttle Position (%) (1)

Presenta una correlación con la variable Absolute Throttle position B (%)

En la figura 14 se observa una correlación bastante fuerte por como están situados los datos, Ambas variables estan directamente correlacionadas ya que son dependientes una de la otra igual que en la figura 10, esto se debe a que, cuando mi absolute throttle position b presenta un cambio, mi absolute throttle position lo tendrá de igual manera, pero desde el ultimo registro que tenga.

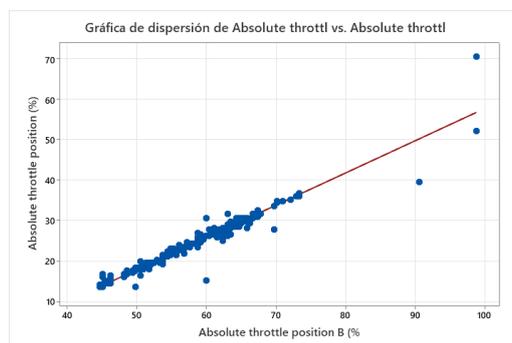


Figura 15. Absolute Throttle Position (%) vs Absolute Throttle position B (%).

5.3 Variables involucradas en el funcionamiento del tren de potencia – MODO SPORT

A continuación, se presenta una de las variables más representativa con su respectiva velocidad.

5.3.1 Modo Sport – 40km/h

Este modo de conducción presenta correlación muy fuerte con las siguientes variables:

Absolute load value (%) (1)

Presenta una correlación con la variable Actual engine percent torque

La variable “absolute load value” ira en aumento progresivo según aumente de igual manera la variable “percent torque”, la dispersión de algunos datos que se muestra nos indica que al estar en modo sport a 40km/h el vehículo no llego a hacer trabajar el motor a combustión mucho tiempo, es por ello por lo que se ven puntos dispersos al comienzo ya que en ellos es cuando entraba a trabajar el motor. Sin embargo, a diferencia de la figura 12, se visualiza que, al trabajar a velocidades bajas en modo sport, no requiere de mucha demanda de potencia con lo cual la apertura de entrada de aire y la ayuda del motor a combustión no estuvo presente en periodos

largos según nos muestra en la figura 15. La correlación de estos datos en la figura 15 es bastante fuerte y directamente proporcional.

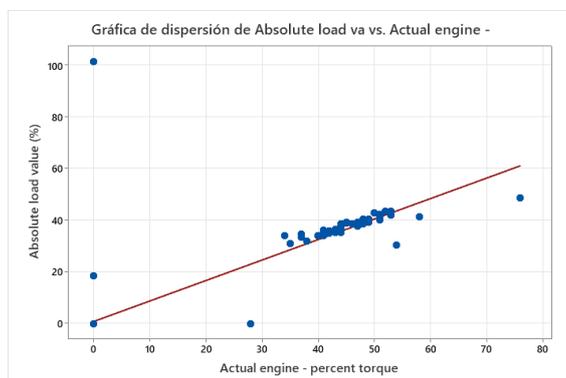


Figura 16. Correlación entre Absolute load value (%) vs Actual engine percent torque.

5.3.2 Modo Sport – 60km/h

Este modo de conducción presenta correlación muy fuerte con la siguiente variable:

Absolute Throttle Position (%) (1)

Presenta una correlación con la variable Absolute Throttle Position B (%).

En la figura 16 se observa una correlación bastante fuerte por como están situados los datos, Ambas variables estan directamente correlacionadas ya que son dependientes una de la otra igual que en la figura 10, esto se debe a que, cuando mi absolute throttle position b presenta un cambio, mi absolute throttle position lo tendrá de igual manera, pero desde el ultimo registro que tenga. En este caso el registro de la posición de la válvula mariposa es bastante alto teniendo en cuenta que el vehículo esta en modo sport a 85km/h.

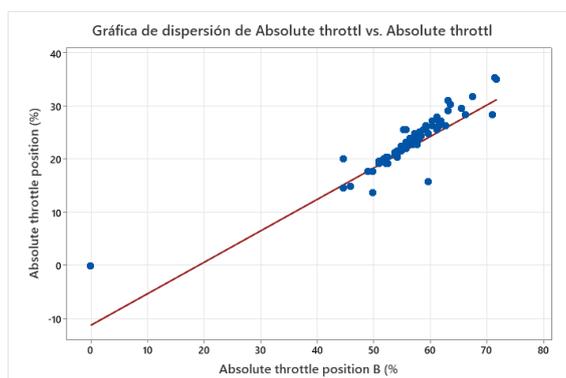


Figura 17. Correlación entre Absolute Throttle Position (%) vs Absolute Throttle Position B (%).

5.3.3 Modo Sport – 85km/h

Este modo de conducción presenta correlación muy fuerte con la siguiente variable:

Absolute Throttle Position (%) (1)

Presenta una correlación con la variable Mass air flow rate (lb/min)

En la figura 17, mientras mayor sea el flujo de aire que entra al colector de admisión mayor será la posición de la mariposa, lo cual es bastante claro. Al tener tantos datos de recirculación de aire esto indica que el motor a combustión estuvo trabajando durante toda la prueba. De igual manera se puede observar que es directamente proporcional una variable de la otra.

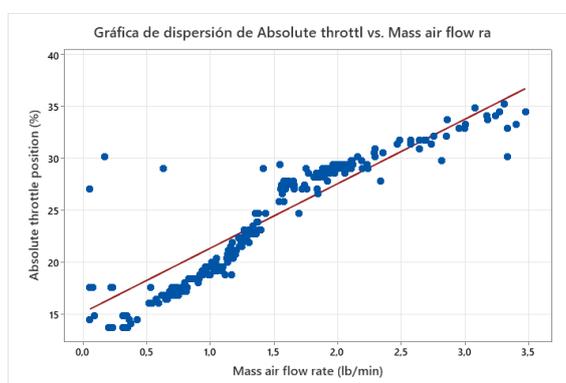


Figura 18. Correlación entre Absolute Throttle Position (%) vs Mass air flow rate (lb/min).

5.4 Variables involucradas en el funcionamiento del tren de potencia – EV

5.4.1 Modo EV – 40km/h

Este modo de conducción presenta correlación muy fuerte con las siguientes variables:

Hybrid battery pack remaining life (1)

Presenta una correlación con la variable de la economía del combustible.

En la figura 18 se puede observar una relación algo dispersa pero lo suficientemente lineal entre la variable Hybrid battery pack remainig life y la economía del combustible, el motivo por el cual se ven así los datos es porque se estuvo acelerando y deteniendo el vehículo durante toda la prueba para ver el gasto de combustible. Según se observa gráficamente y lo que se vio en la prueba física, cuando mi hybrid battery pack remainiling life esta por debajo del 51% el motor a combustión entra a trabajar para poder recargar la batería.

CONCLUSIONES

A lo largo del desarrollo de la investigación se han obtenido varias conclusiones de interés, las cuales logran respaldar la consecución de los objetivos planteados y que pueden resumirse en:

- Mediante el uso del microprocesador OBDLINK MX, y la metodología de conexión IOT, se logro **adquirir**, desde el puerto OBD, las 63 variables que caracterizan el funcionamiento del vehículo Blue Drive. Los datos registrados fueron tomados en lapsos de 1 segundo por 10 minutos al recorrer la ruta seleccionada por la investigación descriptiva.
- Terminada la fase de adquisición de datos, se procedió a **clasificar** los mismos según sus modos de conducción (NORMAL, ECO, SPORT y EV) y velocidades específicas (40km/h, 60km/h y 85km/h), con el fin de ordenar y entender que variables se encuentran directamente influyendo en el funcionamiento del tren de potencia del vehículo.
- La **caracterización** de estas variables se la realizó al identificar que durante las pruebas de ruta el dato de la aceleración y el porcentaje de carga de la batería influían directamente en el tren de potencia en todos los modos de conducción. De las 63 variables adquiridas, 11 están relacionadas directamente a la aceleración y el porcentaje de carga. Se procedió a relacionar mediante métodos estadísticos, como lo fueron la prueba de normalidad de Kolmogorov Smirnof y pruebas de correlaciones de Pearson, cada variable adquirida y determinar la conectividad entre ellas para así identificar que la variable que principalmente caracteriza el tren de potencia es: Absolute Load Value, Absolute Throttle Position para los modos híbridos, y Hybrid Battery Pack Remaining Life junto con Accelerator pedal position D para el modo EV.
- Al finalizar las pruebas de ruta en trayectos urbanos en la ciudad de Guayaquil que permitio caracterizar los modos de conducción, y conocer a detalle las variables que influyen en el comportamiento de un vehículo híbrido, se puede determinar que la aceleración y el porcentaje de carga de la batería toman un factor importante Por ello, para poder filtrar y determinar las 11 variables seleccionadas del presente trabajo que caracterizan mis 4 modos de manejo se aplicó el método de prueba de normalidad, método de correlaciones y un análisis técnico en base a las pruebas realizadas.

RECOMENDACIONES

- Al momento de hacer la recopilación de datos, es recomendable que se agrupen por carpetas y se respalde. También es necesario que se cuente con programas los cuales puedan ayudar a filtrar los datos y organizarlos, caso contrario el tiempo dedicado solo a la organización y el filtrado de ellos será exorbitante.

- Cuando se utilice Minitab para gestionar la parte estadística, es necesario que se mantenga todo en un solo archivo Minitab, caso contrario habrá datos que se puedan dañar o perder, también es bueno que se siga un orden. Este orden ocurriría de la siguiente manera:

1. Realizar una prueba de normalidad de todas las variables para cada modo en cada prueba.
2. Una vez realizada la prueba de normalidad y averiguado el valor de p que nos indica que si es <0.05 serían variables no normales y normales si es viceversa, realizar las correlaciones.
3. Por último hacer un filtrado de estas variables y determinar cuáles serían tus variables características.

REFERENCIAS

- Acosta Jiménez, J. E. (2013). Estudio del sistema híbrido, diseño, construcción e implementación de un modelo de conexión de fuerzas propulsoras de transmisión por medio de engranajes planetarios. Quito - Ecuador : Universidad Internacional del Ecuador .
- AEADE. (2021). *Sector automotriz en figuras*. Quito - Ecuador: AEADE.
- Anand, M. (1979). *¿Qué es exactamente la carga calculada de OBD?* Obtenido de *¿Qué es exactamente la carga calculada de OBD?*: <https://respuestas.me/q/que-es-exactamente-la-carga-calculada-de-obd-61051195508>
- ARCONEL. (2019). Proyecto de regulación sobre contrato de suministro para la comercialización de energía a estaciones de carga de vehículos eléctricos. Quito - Ecuador: Dirección Nacional de Regulación Técnica.
- BHP, T. (05 de 2005). *OBD2 Parameter IDs (PIDs)* . Obtenido de OBD2 Parameter IDs (PIDs) : <https://www.team-bhp.com/forum/technical-stuff/125767-obd2-parameter-ids-pids-what-they-mean.html>
- BIRF . (2018). *Banco Mundial de Reconstrucción y Fomento*. Obtenido de Emisiones de CO2 a nivel mundial: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?end=2018&start=1960&view=chart>
- BlueDriver. (4 de 2 de 2020). *Live Data Guide*. Obtenido de Live Data Guide: <https://support.bluedriver.com/support/solutions/articles/43000551789-live-data-guide>
- Cassini, A. (2015). *Un experimento de Galileo sobre la velocidad de la luz*. Pág 45 - 50.
- Cusenza, M. A., Bobba, S., Ardente, F., Cellura, M., & Persio, D. (2019). *Energy and environmental assessment of a traction lithium-ion battery pack for plug-in hybrid electric vehicles*. In Journal of Cleaner Production (Vol. 215, pp. 634-649).
- Dimaté Cáceres, J. M., & González Castillo, P. M. (2010). *Diseño de una interfaz gráfica en labview para el diagnóstico de vehículos por medio de OBD2*. Bucaramanga - Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Erazo , V., Vasco , A., Morales , N., Alarcón , F., & Orbe Saltos , A. (30 de MAYO de 2016). 36,8 toneladas de CO2 se generan anualmente en Guayaquil. *El Telégrafo*.
- Exchange, S. (2016). *Motor Vehicle Maintenance & Repair*. Obtenido de Motor Vehicle Maintenance & Repair: <https://mechanics.stackexchange.com/questions/24829/auxiliary-input-status-and-auxiliary-input-output-supported-obd2-pid>
- Han, B., Wu , Z., Gu, C., Ji, K., & Xu, J. (2021). *Developing a Regional Drive Cycle Using GPS-Based Trajectory Data from Rideshare Passenger Cars: A case of Chengdu, China*. Chengdu, China: School of Architecture and Urban Planning - Nanjing University.
- Hoover, B. (04 de JUL de 2017). *Hooovahh's Blog*. (CAN Part 8 - ISO 15765, KWP2000, OBD and UDS (Automotive Diagnostic Command Set)) Obtenido de <https://hooovahh.blogspot.com/2017/07/can-part-8-iso-15765-kwp2000-odb-and.html>
- Hoppe , T., Kiltz, S., & Dittmann, J. (2008). *Security Threats to Automotive CAN Networks - Practical Examples and Selected Short - Term Countermeasures*. Magdeburg, Alemania : ITI Research Group on Multimedia and Security - University of Magdeburg.
- Husni, E. (2017). *Driving and fuel consumption monitoring with internet of things*. Bandung - Indonesia: Institut Teknologi Bandung.
- Husni, E., Boy Hertantyo, G., Wahyu Wicaksono, D., Candrasyah Hasibuan, F., Ulus Rahayu , A., & Agus Triawan, M. (2016). *Applied Internet of things (IoT): Car monitoring System using IBM Bluemix*. Bandung - Indonesia: Institut Teknologi Bandung.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN . (2002). *NTE INEN: Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina*. Quito - Ecuador: INEN .
- Irle, R. (2021). *EV Volumes*. Obtenido de The Electric Vehicle World Sales Database: <https://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>

- Kreuzer, F. M., & Wilmsmeier, G. (2014). Eficiencia energética y movilidad en América Latina y El Caribe. Chile: CEPAL.
- Kwon, D., Park, S., & Ryu, J.-T. (2017). *A study on Big Data Thinking of the Internet of Things-Based Smart-Connected Car in conjunction with controller Area Network Bus and 4G-Long Term Evolution*. Texas, USA: Symmetry.
- Llanes Cedeño, E. A., Carguchi Caizatoa, J. B., & Rocha Hoyos, J. C. (2018). *Evaluación energética y exergética en un motor de combustión interna ciclo Otto de 1.6l*. Ecuador: Universidad Internacional SEK.
- López Aldea, E. (2017). *Raspberry Pi. Fundamentos y aplicaciones*. Madrid - España: RA-MA Editorial.
- López, S. A., & Maza, F. M. (2013). Estudio del tren de potencia del Toyota Prius y la influencia de la batería en los diferentes modos de conducción. Zaragoza - España: Universidad de Zaragoza - Departamento de Ingeniería Mecánica.
- Mark. (20 de Marzo de 2005). *Reading EGR Values - EGR Error 99.2%*. Obtenido de Reading EGR Values - EGR Error 99.2%: <https://www.thedieselstop.com/threads/reading-egr-values-egr-error-99-2.35781/>
- MINITAB . (2022). *Minitab - Soporte*. Obtenido de Prueba de normalidad: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/test-for-normality/>
- MINITAB. (2021). *El blog de Minitab*. Obtenido de Niveles de significancia (Alfa) y valores P en Estadística: <https://blog.minitab.com/es/entendiendo-las-pruebas-de-hipotesis-niveles-de-significancia-alfa-y-valores-p-en-estadistica>
- MINITAB. (2022). *Minitab - Soporte*. Obtenido de Revisión general de correlación : <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/correlation/before-you-start/overview/>
- MINITAB. (2022). *Minitab - Soporte*. Obtenido de ¿Qué es el análisis de regresión y correlación se incluyen en Minitab?: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/supporting-topics/basics/regression-analyses-in-minitab/>
- Minitab. (2022). *Minitab Statistical software*. Obtenido de Minitab insights 2022: <https://www.minitab.com/es-mx/products/minitab/>
- MOTOR. (03 de 2005). *INTERPRETING GENERIC SCAN DATA*. Obtenido de INTERPRETING GENERIC SCAN DATA: <https://www.motor.com/magazine-summary/interpreting-generic-scan-data-march-2005/>
- Nair Narayanan, S., Mittal, S., & Joshi, A. (2015). *Using Data Analytics to Detect Anomalous States in vehicles*. Maryland - USA: Department of Computer Science & Electrical Engineering - University of Maryland Baltimore County.
- OBD Solutions. (2022). *OBD LINK*. Obtenido de OBDLINK®MX BLUETOOTH: <https://www.obdlink.com/mx/bt/>
- ONU - programa para el medio ambiente. (2021). *Movilidad Eléctrica - Avances en América Latina y El Caribe*. Panamá: PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Parra González, G. E., Sánchez Armijos, J. C., Zhingre Baculima, V. A., & Solórzanos Jácome, A. F. (2019). *INFORME DEL RECTOR; Rendición de cuentas y ejecución del plan operativo anual*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Rodríguez Melchor, J. C. (2012-01-01.). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto*. IC Editorial.
- Scannerdanner, S. (6 de 03 de 2019). *OBD PID Explanatios*. Obtenido de OBD PID Explanatios: <https://www.scannerdanner.com/forum/diagnostic-tools-and-techniques/4031-obd-pid-explanations.html>
- Statista. (2 de Julio de 2021). *Statista*. Obtenido de <https://es.statista.com/temas/7203/e-mobility-en-america-latina/#dossierKeyfigures>
- Suárez Ibijes, M. O. (2011). *Coeficiente de correlación de Karl Person*. Ibarra - Ecuador: Uniersidad Técnica del Norte.

- Survey Monkey. (s.f.). *Cálculo del tamaño de muestra* . Obtenido de <https://es.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/>
- TOYOTA. (2018). *Hybrid Vehicle Dismantling Manual*. USA: Toyota Motor Corporation.
- Toyota España . (2021). *TOYOTA*. (Modos de conducción del híbrido de Toyota) Obtenido de Modos de conducción del híbrido Toyota: <https://www.toyota.es/world-of-toyota/articles-news-events/2017/modos-conduccion-coches-hibridos-toyota-eco-ev-sport>
- Toyota Latam. (2020). *TOYOTA - Latinoamérica y el Caribe*. Obtenido de Híbridos de Toyota: <https://www.toyota-latam.com/hibridos/>
- Tuners, H. (03 de 17 de 2017). Obtenido de <https://forum.hptuners.com/showthread.php?63500-Which-throttle-position-PID-to-use>
- Wenzl, H. (2009). *Consultoría para baterías y tecnología energética*. Osterode, Alemania: Elseiver .
- Wikipedia. (10 de 12 de 2021). *Economía de combustible en automóviles*. Obtenido de Economía de combustible en automóviles: https://es.wikipedia.org/wiki/Economía_de_combustible_en_automóviles
- Wikipedia *OBD-II PIDs*. (24 de June de 2015). Obtenido de Wikipedia *OBD-II PIDs*: https://en.wikipedia.org/wiki/OBD-II_PIDs#Fuel_Type_Coding

ANEXOS

Anexos 1. Gráficas de correlaciones de variables

Anexos 1.1 Modo Normal – 40 km/h

Este modo de conducción presenta correlación muy fuerte con las siguientes variables:

Absolute load value (%) (1)

Presenta una correlación con la variable Actual Engine – Percent Torque.

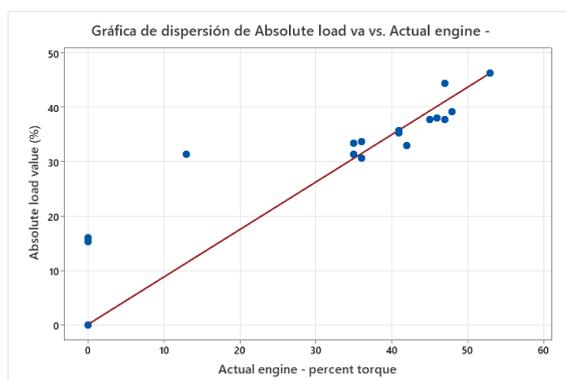


Figura 20. Correlación entre Absolute load value (%) vs Actual Engine – Percent Torque.

Presenta una correlación con la variable Calculated Load Value.

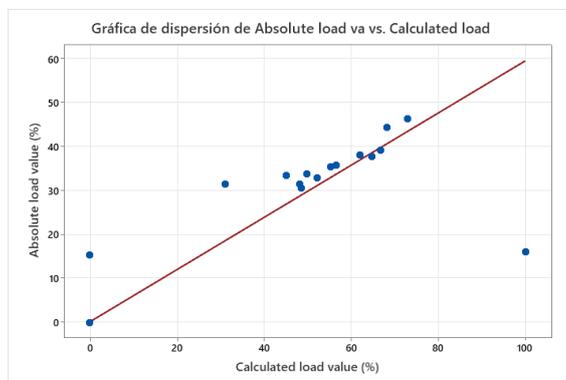
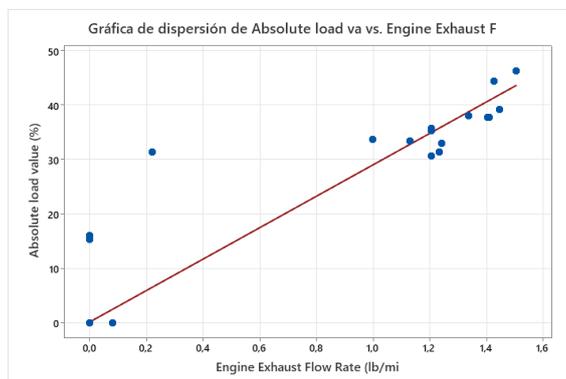


Figura 21. Correlación entre Absolute load value (%) vs Calculated Load Value.

Presenta una correlación con la variable Engine Exhaust Flow Rate (lb/mi)

Figura 22. Correlación entre Absolute load value (%) vs Engine Exhaust Flow Rate (lb/mi). Fuente: Autores



Anexos 1.2 Modo Normal – 60 km/h

Absolute throttle position (%) (1)

Presenta una correlación con la variable Absolute throttle position B

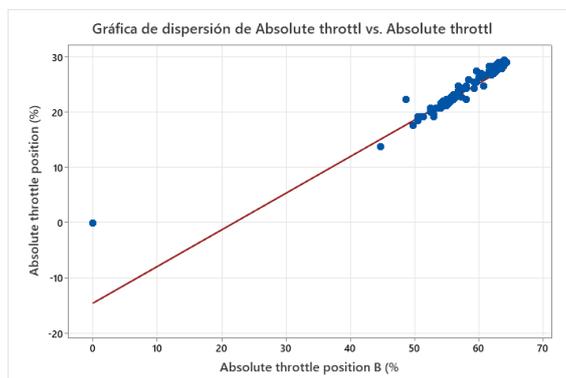


Figura 23. Absolute throttle position (%) vs Absolute throttle position B.

Presenta una correlación con la variable Commanded throttle actuator

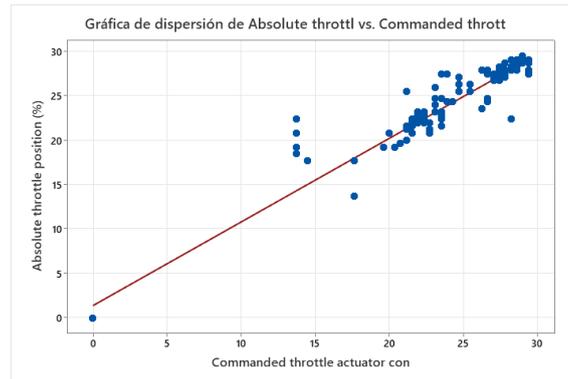


Figura 24. Absolute throttle position (%) vs Commanded throttle actuator.

Absolute load value (%) (2)

Presenta una correlación con la variable Actual engine – percent torque

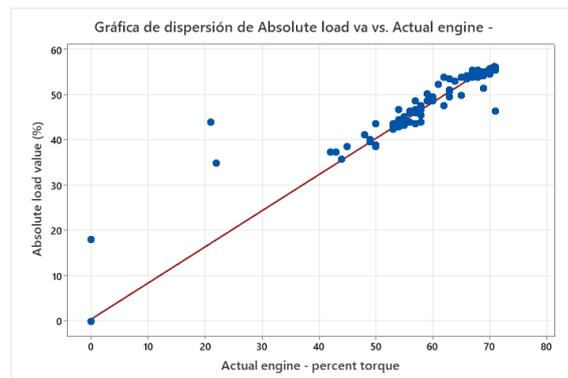


Figura 25. Absolute load value (%) vs Actual engine – percent torque.

Presenta una correlación con la variable Calculated load value

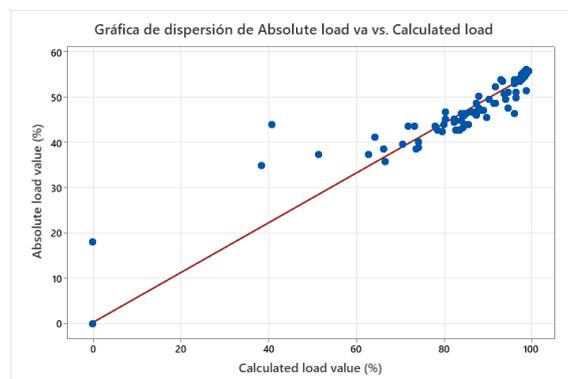


Figura 26. Absolute load value (%) vs Calculated load value.

Presenta una correlación con la variable Engine Fuel Rate

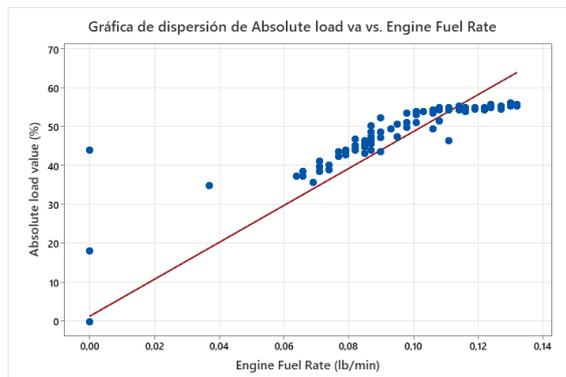


Figura 27. Absolute load value (%) vs Engine Fuel Rate.

Presenta una correlación con la variable Engine RPM

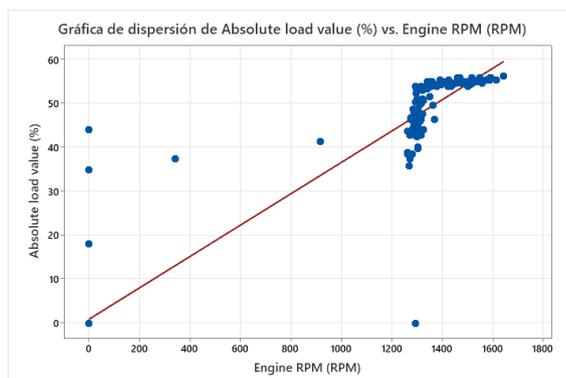


Figura 28. Absolute load value (%) vs Engine RPM

Presenta una correlación con la variable Mass air flow (lb/min)

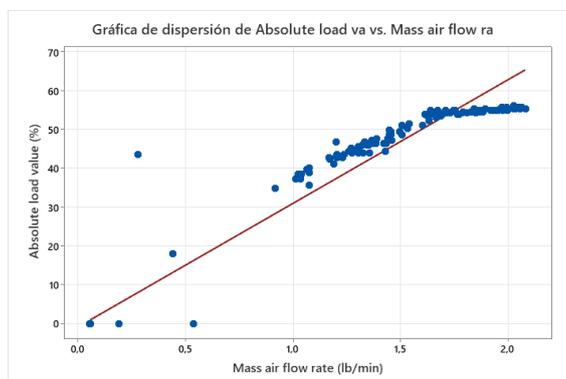


Figura 29. Absolute load value (%) vs Engine RPM.

Engine RPM (RPM) (3)

Presenta una correlación con la variable Relative Throttle position (%)

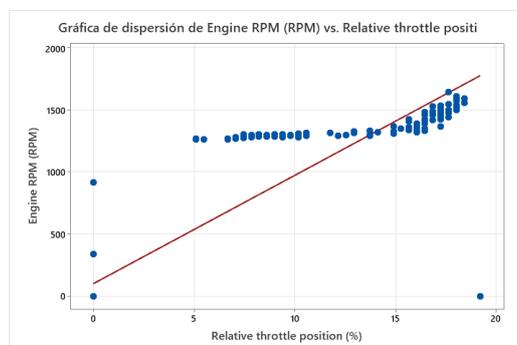


Figura 30. Engine RPM vs Relative Throttle position (%).

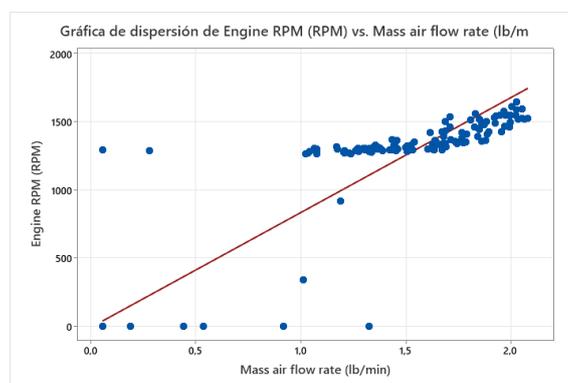


Figura 31. Engine RPM vs Mass air flow rate (lb/min).

Anexos 1.3 Modo Normal 85km/h

Este modo de conducción presenta correlación muy fuerte con la siguiente variable:

Absolute Throttle Position (%) (1)

Presenta una correlación con la variable Absolute Throttle Position B (%).

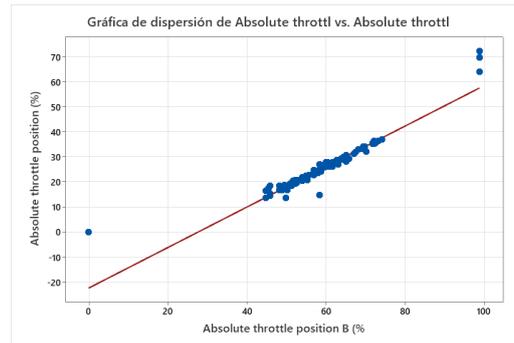


Figura 32. Absolute Throttle Position (%) vs Absolute Throttle Position B (%).

Presenta una correlación con la variable Commanded throttle actuador.

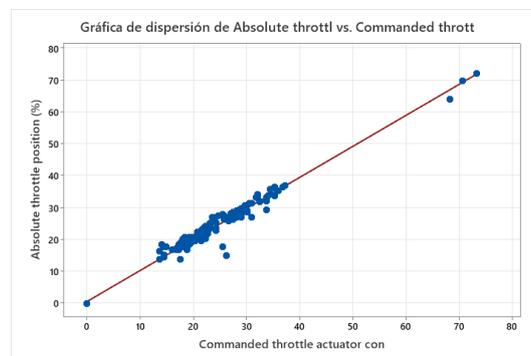


Figura 33. Absolute Throttle Position (%) vs Commanded throttle actuador.

VARIABLES CON DATOS INSUFICIENTES EN EL MODO NORMAL – 40km/h

Anexos 1.4 Modo Normal – 40 km/h _ Datos insuficientes

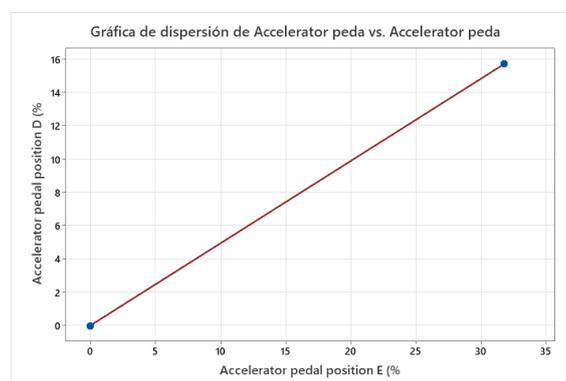


Figura 34. Correlación entre Accelerator pedal position D (%) vs Accelerator pedal position E (%).

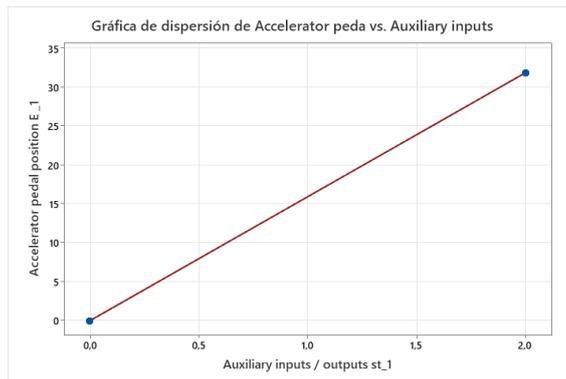


Figura 35. Correlación entre Accelerator pedal position E (%) vs Auxiliary inputs / outputs.

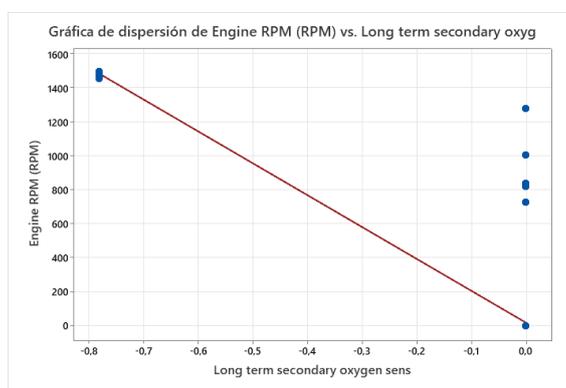


Figura 36. Correlación entre RPM vs Long term secondary oxygen sensor.

Anexos 1.5 Modo Normal – 60 km/h _ Datos insuficientes

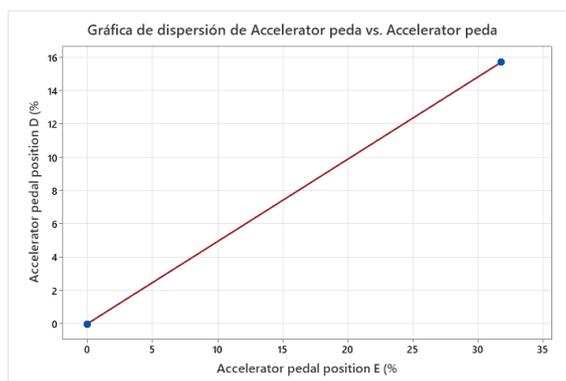


Figura 37. Accelerator pedal position D (%) vs Accelerator pedal position E (%).

Anexos 1.6 Modo ECO – 40 km/h

Absolute Load Value (%) (1)

Presenta una correlación con la variable Actual Engine – Percent Torque.

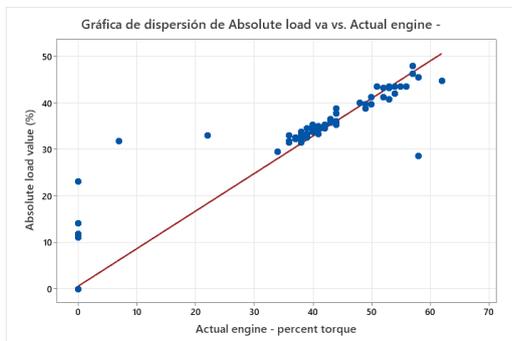


Figura 38. Absolute Load Value (%) vs Actual Engine – Percent Torque.

Presenta una correlación con la variable Calculated load value (%)

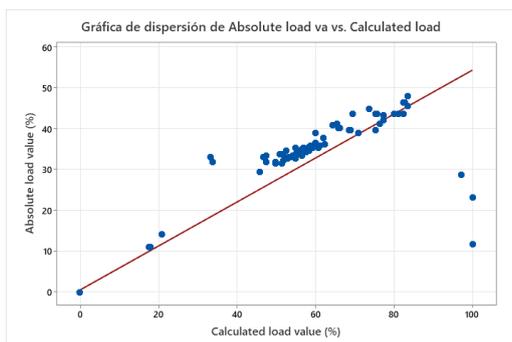


Figura 39. Absolute Load Value (%) vs Calculated load value (%).

Presenta una correlación con la variable Engine Fuel Rate (lb/min)

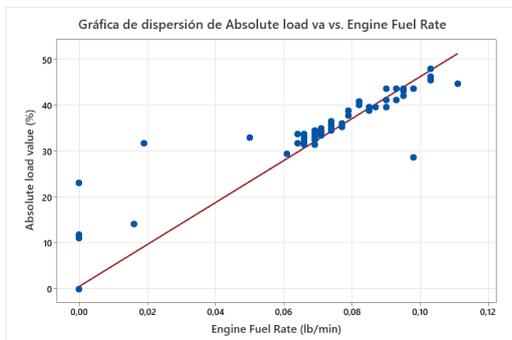


Figura 40. Absolute Load Value (%) vs Engine Fuel Rate (lb/min).

Presenta una correlación con la variable Mass air flow rate (lb/min)

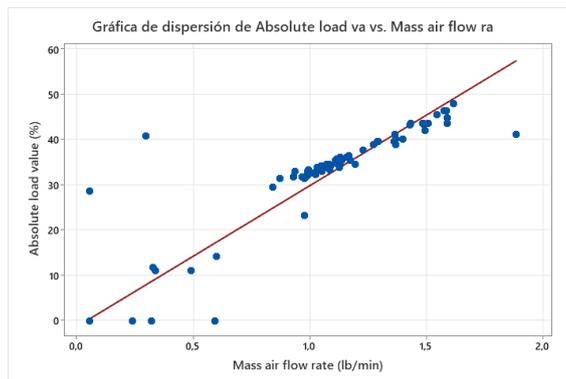


Figura 41. Absolute Load Value (%) vs Mass air flow rate (lb/min).

Presenta una correlación con la variable Velocidad del combustible

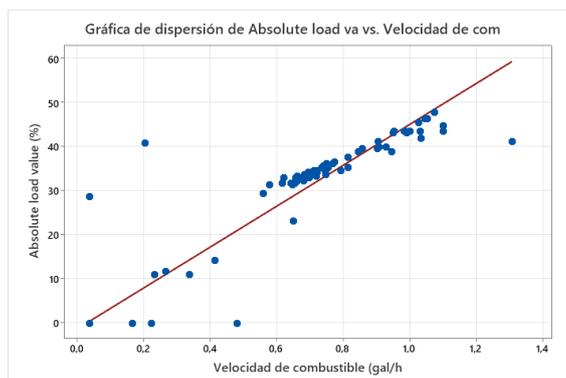


Figura 42. Absolute Load Value (%) vs Velocidad del combustible.

Engine Relative throttle position (%) (2)

Presenta una correlación con la variable Velocidad del combustible

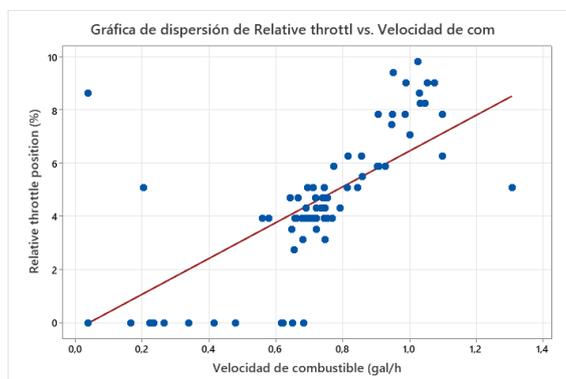


Figura 43. Engine Relative throttle position (%) vs Velocidad del combustible.

Anexos 1.7 Modo ECO – 60 km/h

Absolute throttle position (%) (1)

Presenta una correlación con la variable Commanded throttle actuator

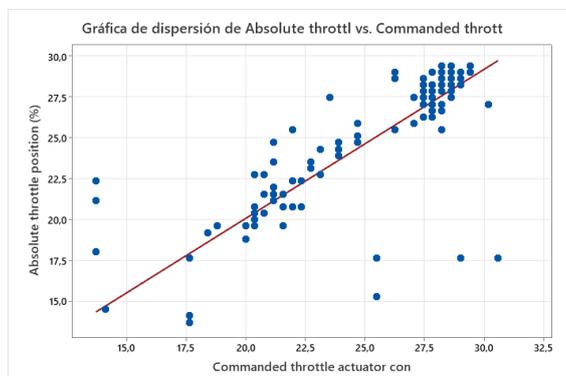


Figura #35: Absolute throttle position (%) vs Commanded throttle actuator.

Presenta una correlación con la variable Mass air flow rate (lb/min)

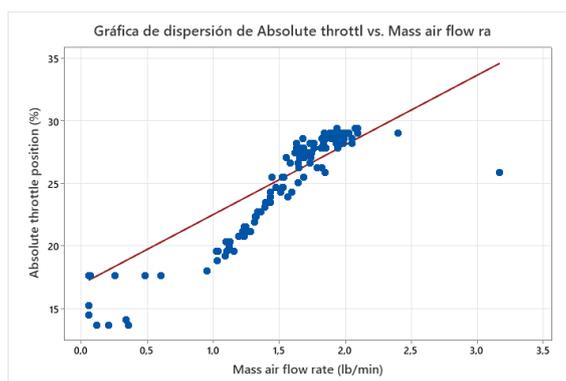


Figura 44. Absolute throttle position (%) vs Mass air flow rate (lb/min).

Absolute Load Value (%) (2)

Presenta una correlación con la variable Actual engine – percent torque

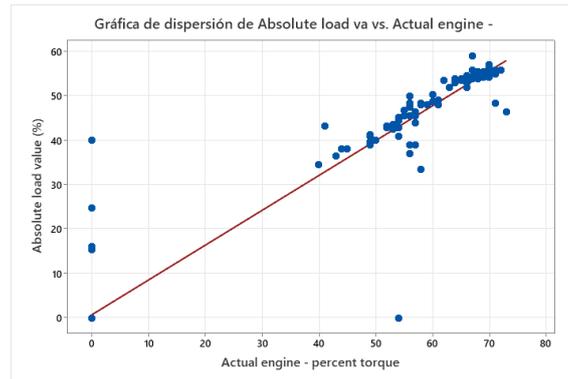


Figura 45. Absolute Load Value (%) vs Actual engine – percent torque.

Presenta una correlación con la variable Calculated Load Value

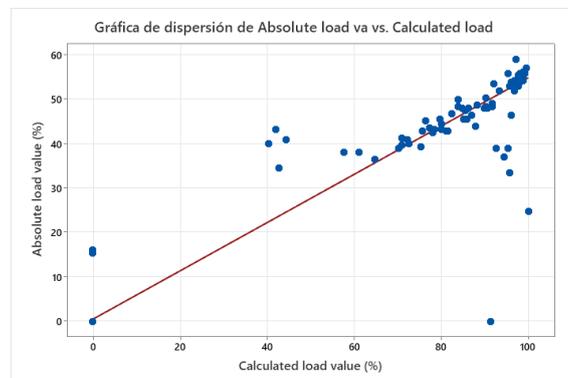


Figura 46. Absolute Load Value (%) vs Calculated Load Value.

Presenta una correlación con la variable Commanded EGR A duty cycle/posi

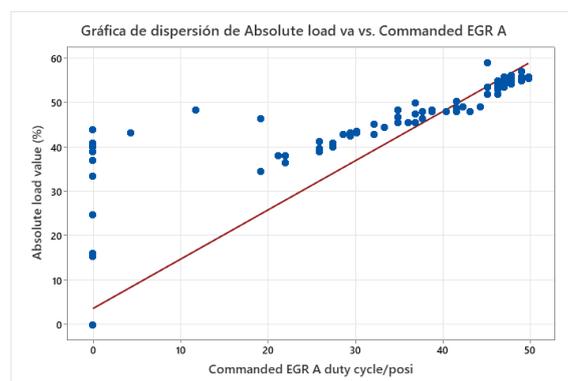


Figura 47. Absolute Load Value (%) vs Commanded EGR A duty cycle/posi.

Presenta una correlación con la variable Engine Fuel Rate

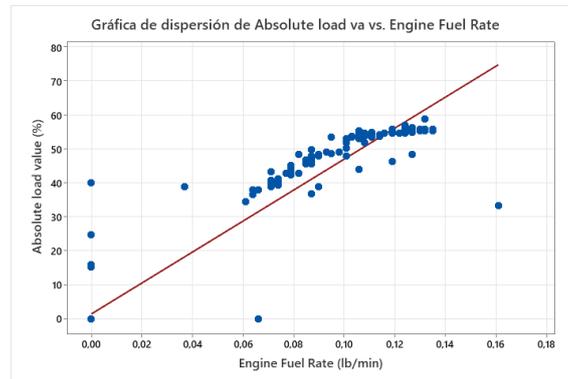


Figura 48. Absolute Load Value (%) vs Engine Fuel Rate.

Presenta una correlación con la variable Engine RPM

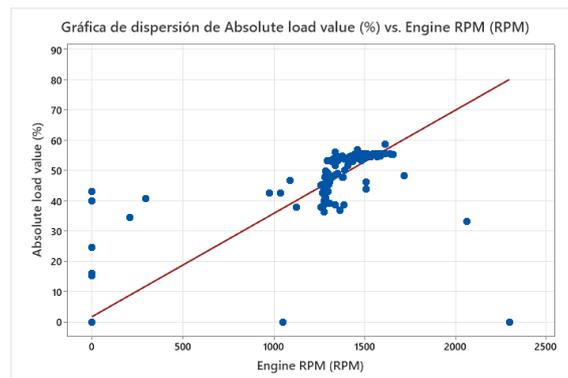


Figura 49. Absolute Load Value (%) vs Engine RPM.

Presenta una correlación con la variable Mass air flow rate (lb/min)

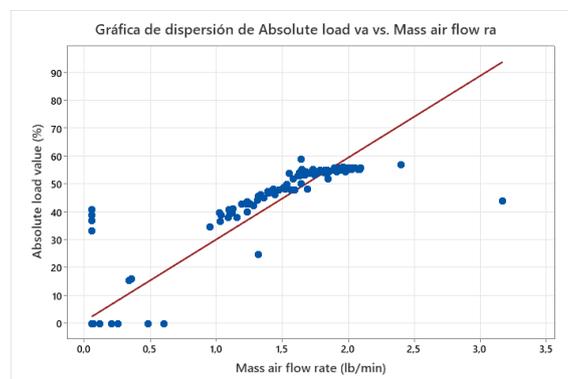


Figura 50. Absolute Load Value (%) vs Mass air flow rate (lb/min).

Presenta una correlación con la variable Velocidad del combustible

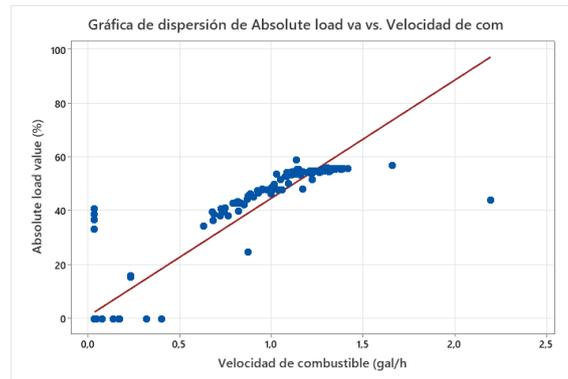


Figura 51. Absolute Load Value (%) vs Velocidad del combustible.

Absolute throttle position B (%) (3)

Presenta una correlación con la variable Commanded throttle actuator

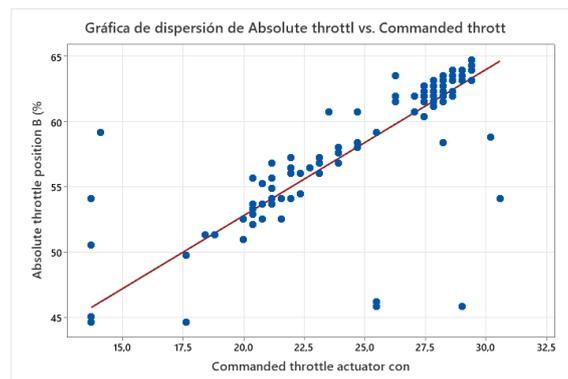


Figura 52. Absolute throttle position B (%) vs Commanded throttle actuator.

Engine RPM (RPM) (4)

Presenta una correlación con la variable Mass air flow rate (lb/min)

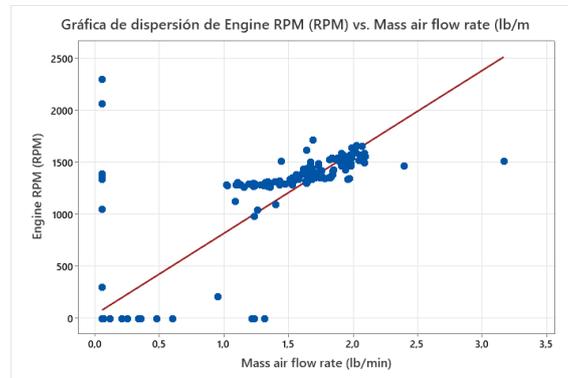


Figura 53. Engine RPM (RPM) vs Mass air flow rate (lb/min).

Presenta una correlación con la variable Relative Throttle Position

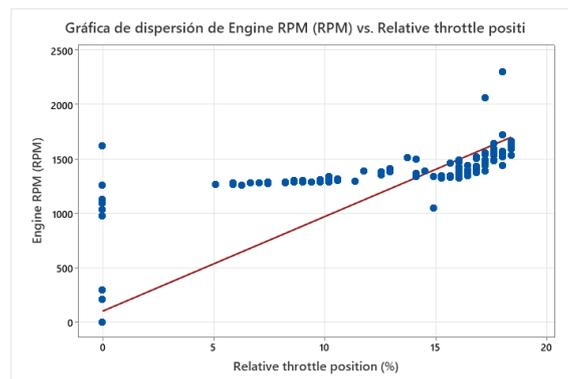


Figura 54. Engine RPM (RPM) vs Mass air flow rate (lb/min).

Presenta una correlación con la variable Velocidad del combustible

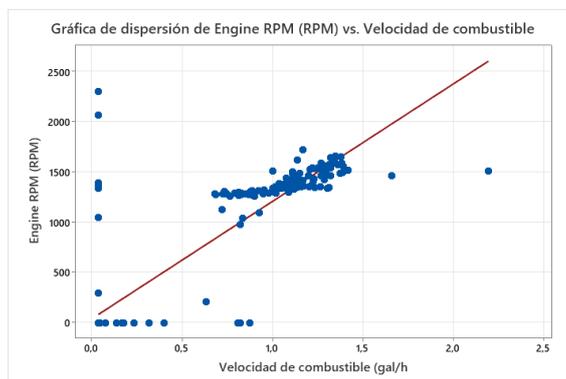


Figura 55. Engine RPM (RPM) vs Velocidad del combustible.

Anexos 1.8 Modo ECO – 85 km/h

Este modo de conducción presenta correlación muy fuerte con las siguientes variables:

Absolute Throttle Position (%) (1)

Presenta una correlación con la variable Absolute Throttle position B (%)

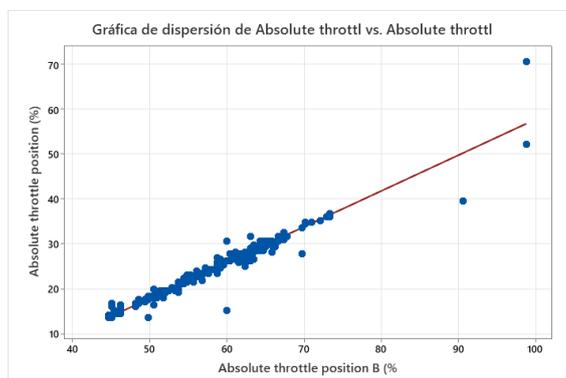


Figura 56. Absolute Throttle Position (%) vs Absolute Throttle position B (%).

Presenta una correlación con la variable Commanded throttle actuador (%)

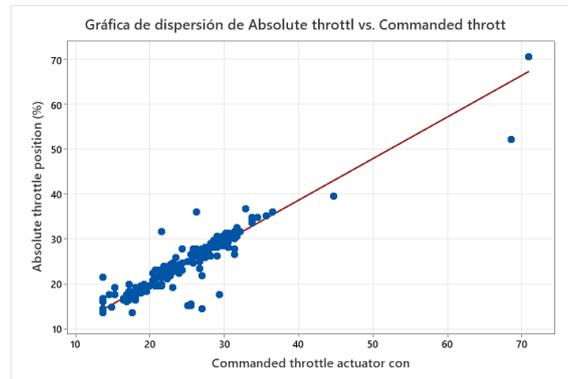


Figura 57. Absolute Throttle Position (%) vs Commanded throttle actuador.

Hybrid/EV Battery System Voltage (2)

Presenta una correlación con la variable Short Term Fuel (%)

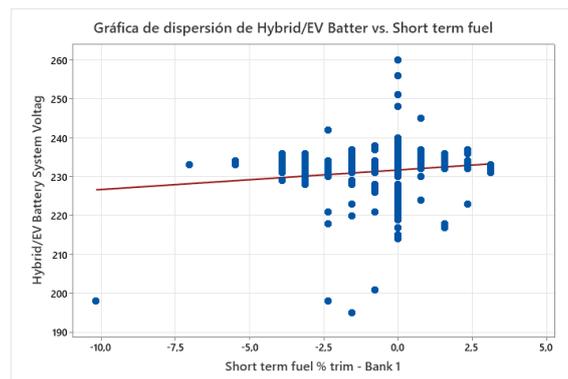


Figura 58. Hybrid/EV Battery System Voltage vs Short Term Fuel (%).

Absolute Throttle Position B (3)

Presenta una correlación con la variable Commanded Throttle Actuator

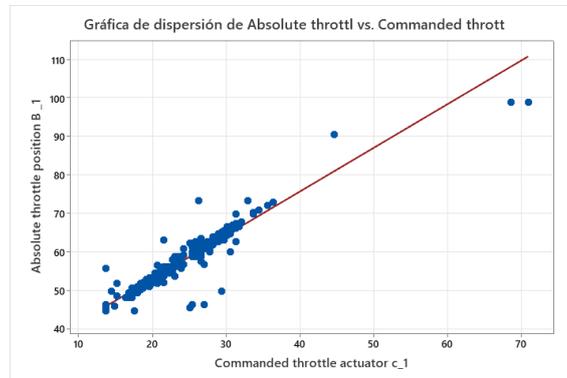


Figura 59. Correlación entre Absolute Throttle Position B vs Commanded Throttle Actuator

Accelerator pedal position D (%) (4)

Presenta una correlación con la variable Accelerator pedal position E (%)

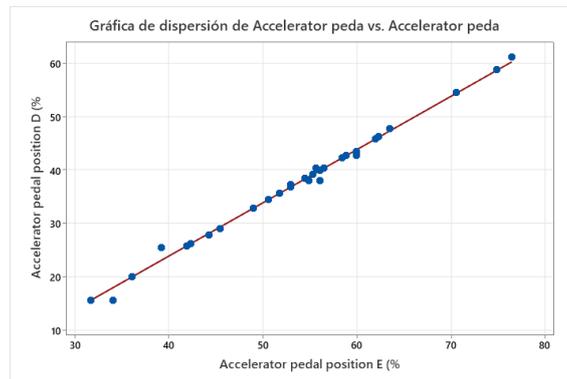


Figura 60. Correlación entre Accelerator pedal position D (%) vs Accelerator pedal position E (%)

Anexos 1.9 Modo ECO – 40 km/h_Datos insuficientes

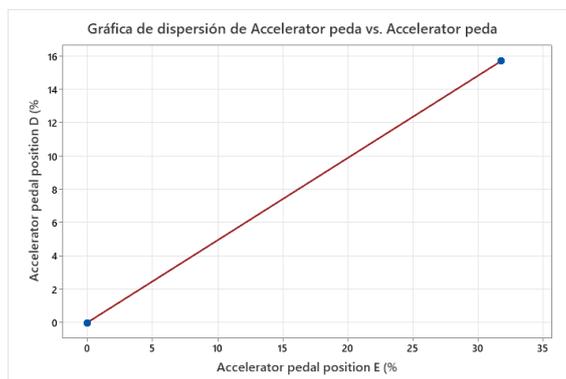


Figura 61. Accelerator pedal position D (%) vs Accelerator pedal position E (%).

Anexos 1.10 Modo ECO – 85 km/h_Datos insuficientes

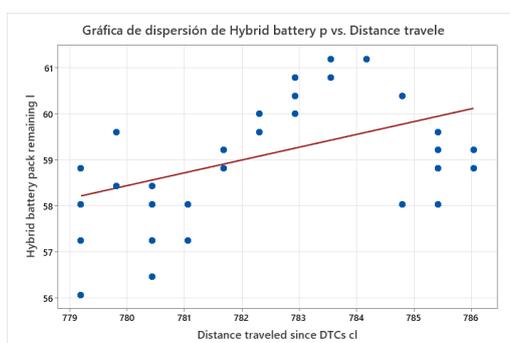


Figura 62. Hybrid Battery Pack Remaining vs Dsitance Traveled since DTCs.

Anexos 1.11 Modo SPORT – 40 km/h

Este modo de conducción presenta correlación muy fuerte con las siguientes variables:

Absolute load value (%) (1)

Presenta una correlación con la variable Actual engine percent torque

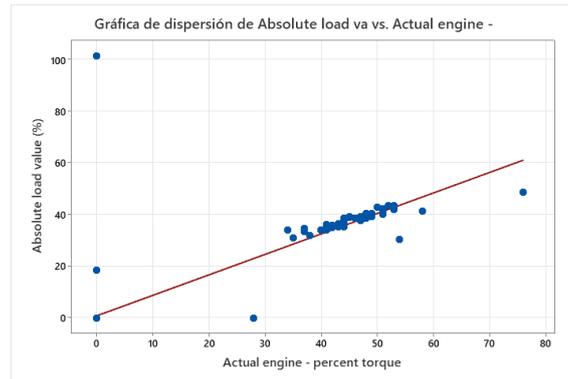


Figura 63. Correlación entre Absolute load value (%) vs Actual engine percent torque.

Presenta una correlación con la variable Engine fuel rate (lb/min)

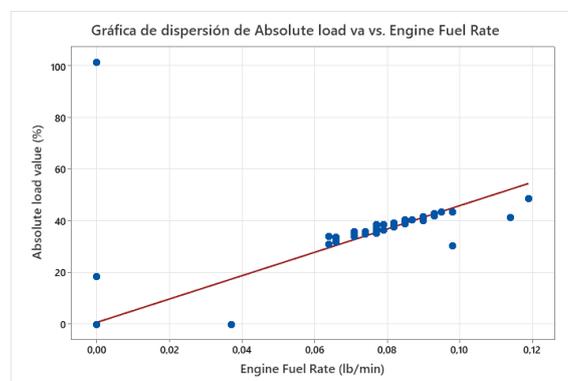


Figura 64. Correlación entre Absolute load value (%) vs Engine fuel rate (lb/min).

Engine RPM (RPM) (2)

Presenta una correlación con la variable Mass air flow rate (lb/min)

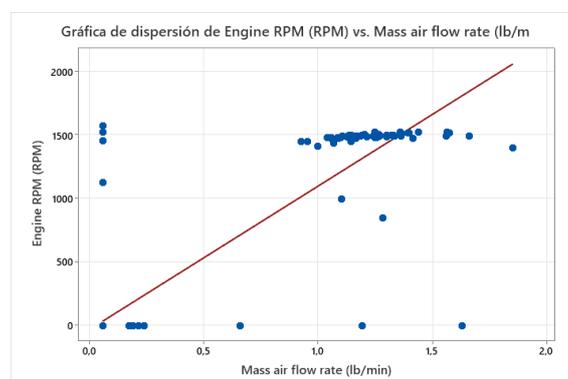


Figura 65. Correlación entre Absolute load value (%) vs Mass air flow rate (lb/min).

Anexos 1.12 Modo SPORT – 60 km/h

Este modo de conducción presenta correlación muy fuerte con las siguientes variables:

Absolute Throttle Position (%) (1)

Presenta una correlación con la variable Absolute Throttle Position B (%).

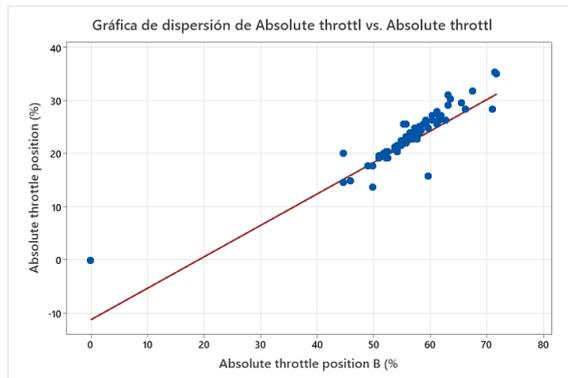


Figura 66. Correlación entre Absolute Throttle Position (%) vs Absolute Throttle Position B (%).

Presenta una correlación con la variable Actual engine – percent torque.

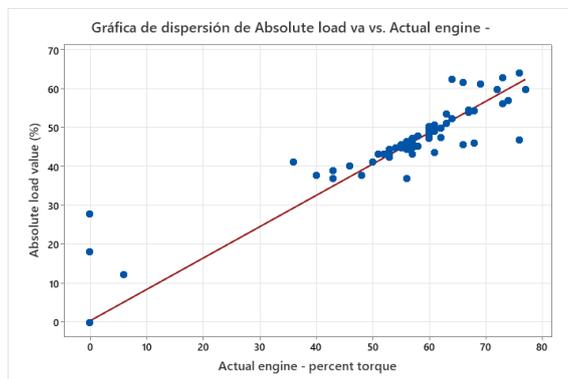


Figura 67. Correlación entre Absolute Load Value (%) vs Actual engine – percent torque.

Presenta una correlación con la variable Calculated Load Value

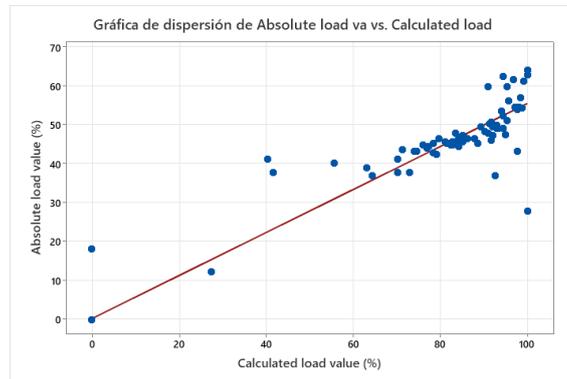


Figura 68. Correlación entre Absolute Load Value (%) vs Calculated Load Value (%).

Presenta una correlación con la variable Engine Fuel Rate (lb/min)

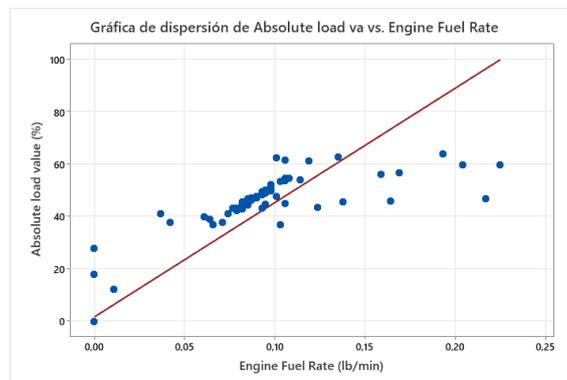


Figura 69. Correlación entre Absolute Load Value (%) vs Engine Fuel Rate (lb/min).

Presenta una correlación con la variable Mass air flow rate (lb/min)

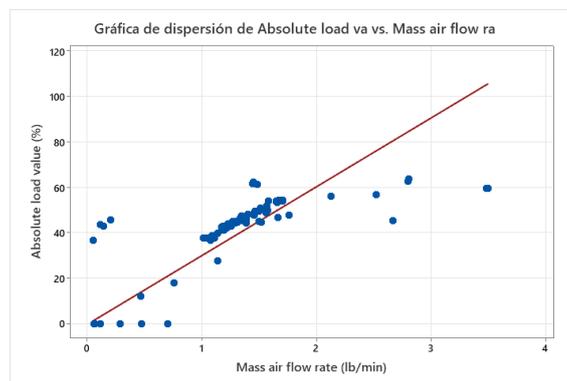


Figura 70. Correlación entre Absolute Load Value (%) vs Mass air flow rate (lb/min).

Presenta una correlación con la variable Velocidad del combustible (gal/h)

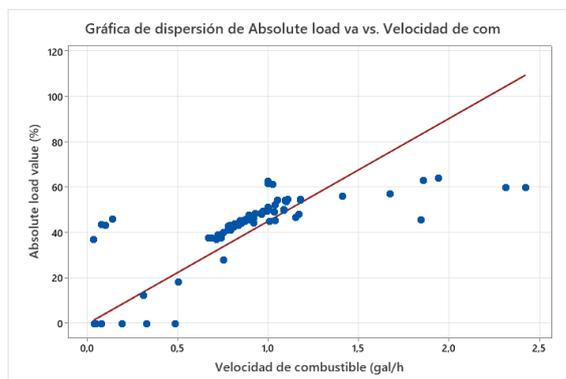


Figura 71. Correlación entre Absolute Load Value (%) vs Velocidad del combustible (gal/h).

Anexos 1.13 Modo SPORT – 85 km/h

Absolute Throttle Position (%) (1)

Presenta una correlación con la variable Mass air flow rate (lb/min)

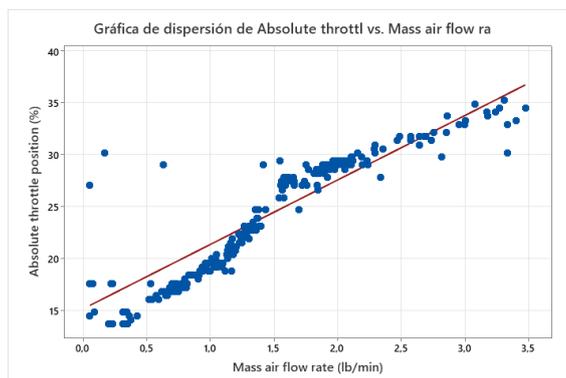


Figura 72. Correlación entre Absolute Throttle Position (%) vs Mass air flow rate (lb/min).

Presenta una correlación con la variable Velocidad del combustible (gal/h)

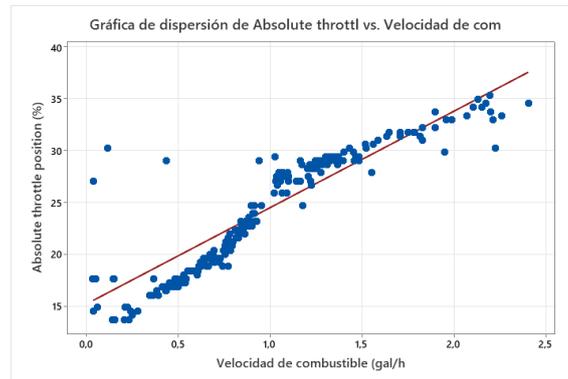


Figura 73. Correlación entre Absolute Throttle Position (%) vs Velocidad del combustible (gal/h).

Absolute load value (%) (2)

Presenta una correlación con la variable Actual Engine – Percent Torque

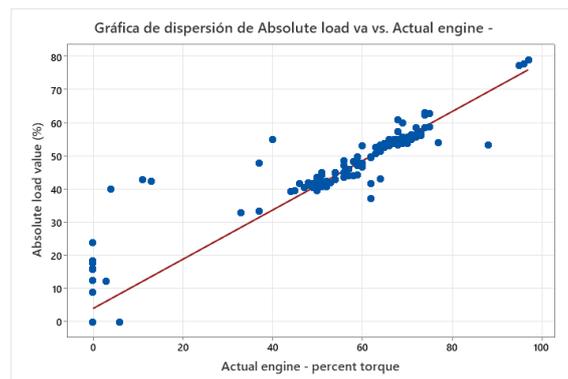


Figura 74. Correlación entre Absolute load value (%) vs Actual Engine – Percent Torque.

Presenta una correlación con la variable Calculated load Value

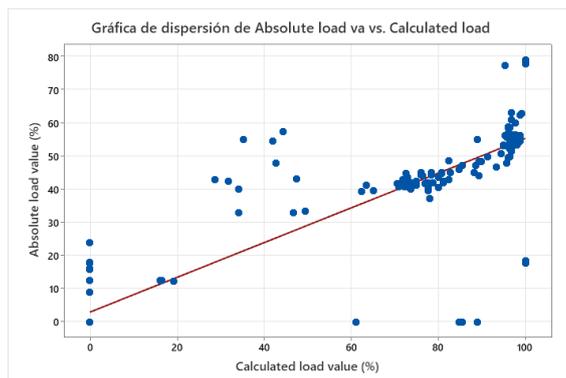


Figura 75. Correlación entre Absolute load value D (%) vs Calculated load Value.

Accelerator pedal position D (%) (3)

Presenta una correlación con la variable Accelerator pedal position E (%)

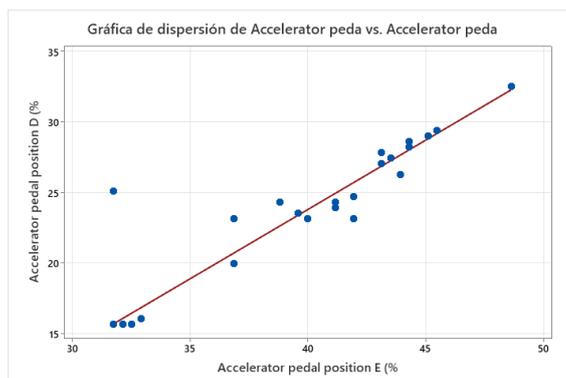


Figura 76. Correlación entre Accelerator pedal position D vs Accelerator pedal position E (%).

Anexos 1.14 Modo SPORT – 60 km/h_Datos insuficientes

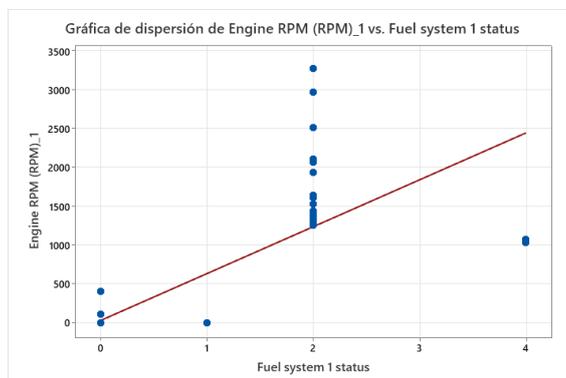


Figura 77. Correlación entre RPM vs Fuel system 1 status 1.

Anexos 1.15 Modo EV – 40 km/h

Este modo de conducción presenta correlación muy fuerte con las siguientes variables:

Hybrid battery pack remaining life (1)

Presenta una correlación con la variable de la economía del combustible

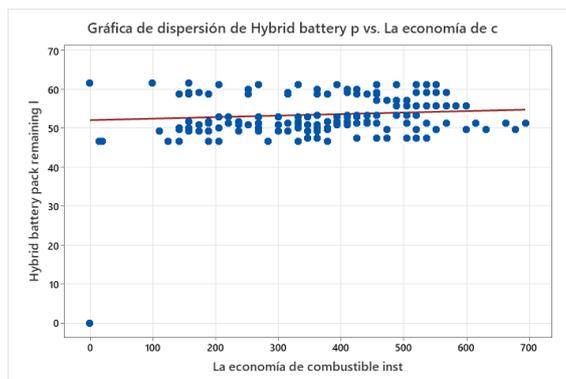


Figura 78. Hybrid battery pack remaining life vs La economía del combustible.

Accelerator pedal position D (%) (2)

Presenta una correlación con la variable de Short Term fuel Trim.

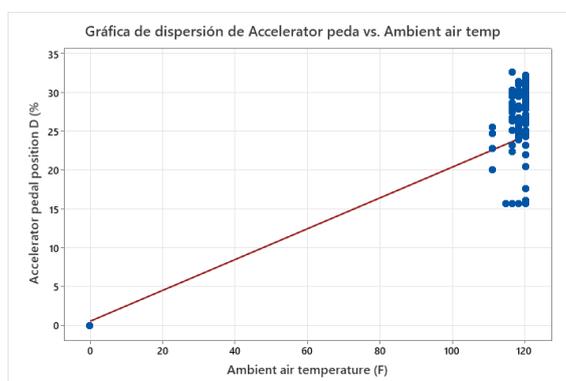


Figura 79. Accelerator pedal position D (%) vs Short Term fuel Trim.

Absolute throttle position B (%) (3)

Presenta una correlación con la variable de Accelerator pedal position E (%)

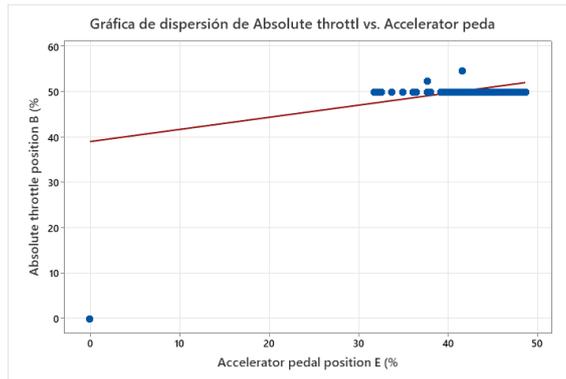


Figura 80. Absolute throttle position B (%) vs Accelerator pedal position E (%)

Anexos 1.16 Modo EV – 40 km/h_Datos insuficientes

Hybrid/EV Battery System Voltage (1)

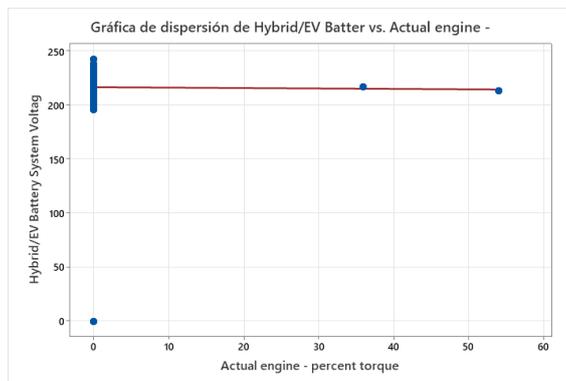


Figura 81. Hybrid/EV Battery System Voltage vs Short Term fuel Trim.

Relative throttle position (%) (2)

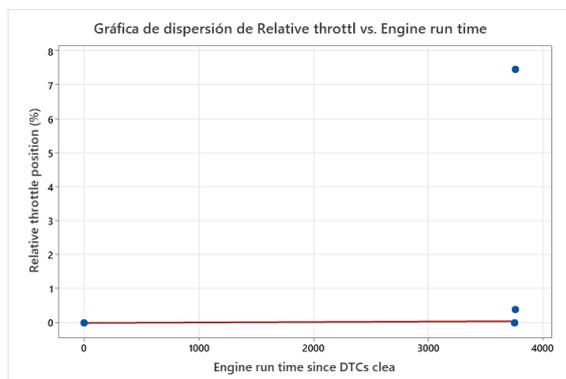


Figura 82. Relative throttle position (%) vs Engine Run DTCs data.

Absolute load value (3)

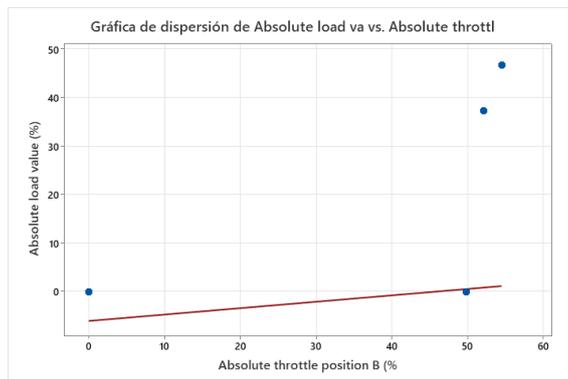


Figura 83. Absolute load value vs Absolute throttle position B (%).

Anexos 2. Estudio de factibilidad

A continuación se presentan los resultados de la encuesta realizada por los investigadores

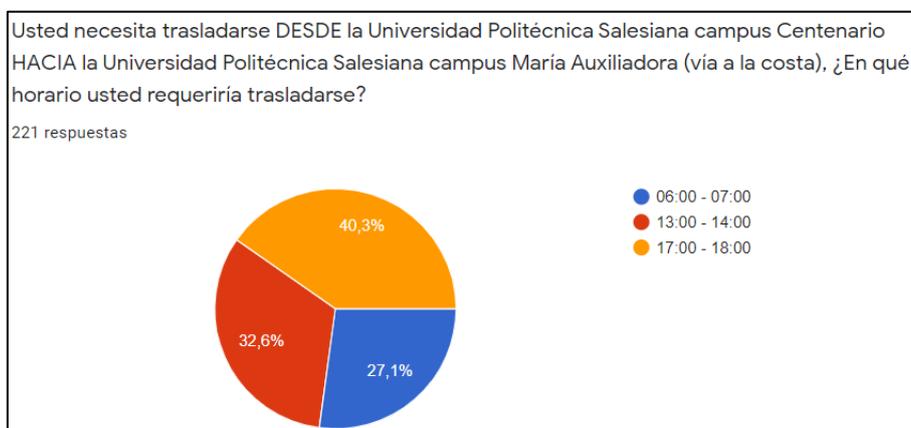


Figura 84. Horario para trasladarse DESDE la Universidad Politécnica Salesiana campus Centenario HACIA campus María Auxiliadora.

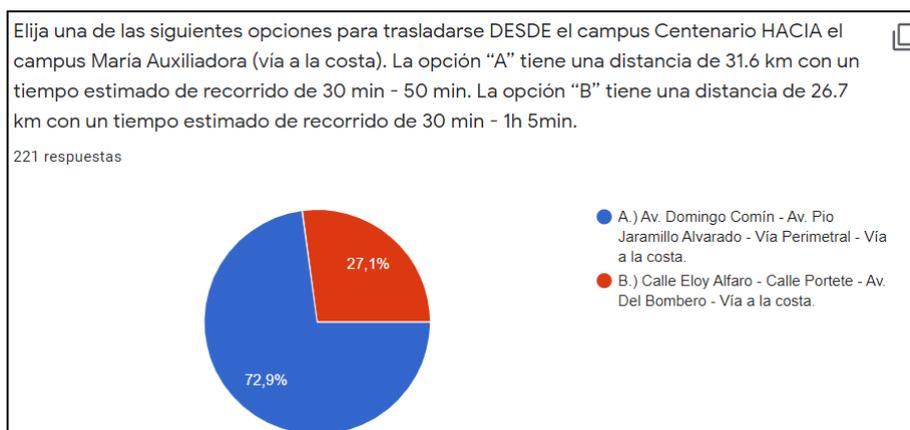


Figura 85. Elección de ruta para trasladarse DESDE la Universidad Politécnica Salesiana campus Centenario HACIA campus María Auxiliadora.

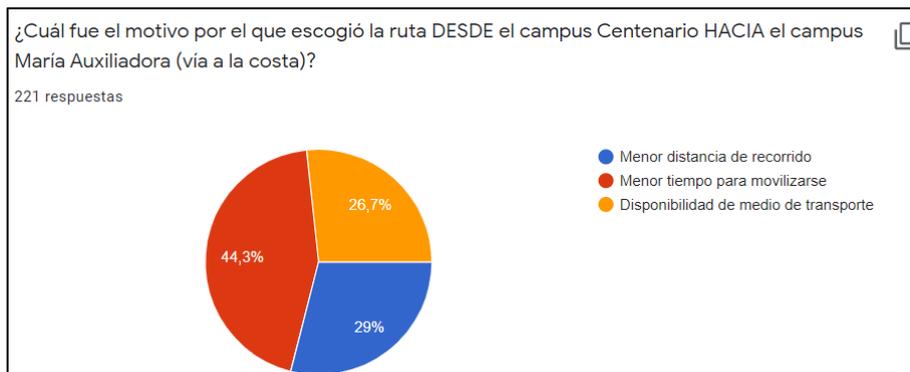


Figura 86. Motivo por el que escogió la ruta DESDE la Universidad Politécnica Salesiana campus Centenario HACIA campus María Auxiliadora.



Figura 87. Horario para trasladarse DESDE la Universidad Politécnica Salesiana campus María Auxiliadora HACIA campus Centenario.

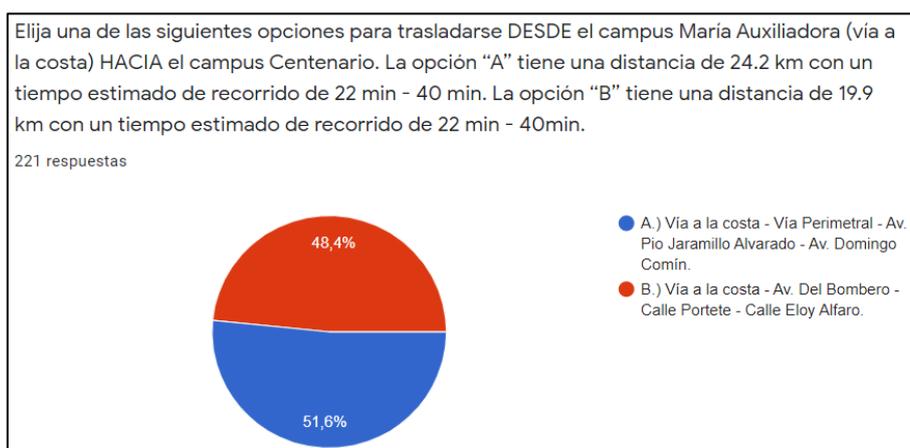


Figura 88. Elección de ruta para trasladarse DESDE la Universidad Politécnica Salesiana campus María Auxiliadora HACIA campus Centenario.

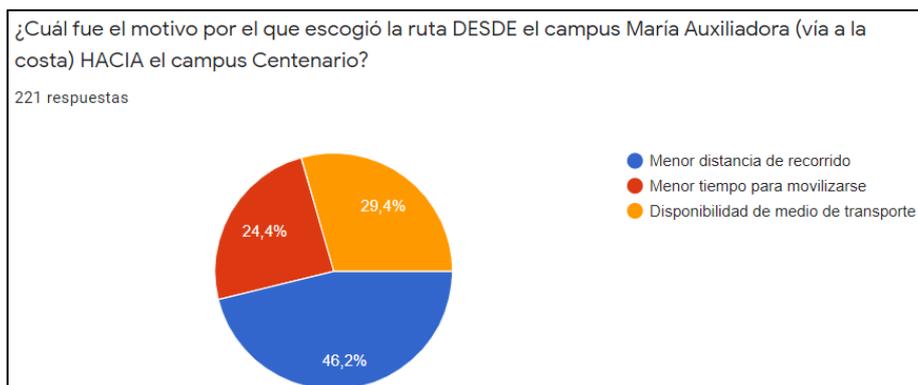


Figura 89. Motivo por el que escogió la ruta DESDE la Universidad Politécnica Salesiana campus María Auxiliadora HACIA campus Centenario.

Anexos 3. Valores del tamaño de muestra

A continuación se adjuntan los resultados de las once variables seleccionadas para el estudio del tren de potencia

1. Vehicle Speed (MPH)

Estadísticas

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	
Vehicle speed (MPH)	604	0	22,321	0,0138	0,339	18,641	22,369	22,369	22,369	
Variable	Q3 Máximo									
Vehicle speed (MPH)			22,369							

Resultados

Margen de error muestra	Tamaño de la muestra
5	2

2. Absolute Throttle Position (%)

Estadísticas

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3
Absolute throttle position (%)	604	0	18,090	0,0773	1,900	0,0000	17,647	17,647	
Variable	Q3 Máximo								
Absolute throttle position (%)			17,647	27,451					

Resultados

Margen de error muestra	Tamaño de la muestra
5	3

3. Hybrid Battery Pack Remaining life (%)

Estadísticas

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3
Hybrid battery pack remaining l	604	0	45,493	0,203	4,993	0,000	43,137	44,706	
Variable	Q3 Máximo								
Hybrid battery pack remaining l			49,314	51,765					

Resultados

Margen de error muestra	Tamaño de la muestra
5	7

4. Hybrid/EV Battery System Current (A)

Estadísticas

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3
Hybrid/EV Battery System Curren	604	0	1,798	0,591	14,513	-29,700	-11,100	6,400	
Variable	Q3 Máximo								
Hybrid/EV Battery System Curren			11,800	53,300					

Resultados

Margen de error muestra	Tamaño de la muestra
5	35

5. Hybrid/EV Battery System Voltage (V)

Estadísticas

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana
Hybrid/EV Battery System Voltag	604	0	218,10	0,700	17,19	0,000	214,00	219,00
Variable	Q3		Máximo					
Hybrid/EV Battery System Voltag	224,00		237,00					

Resultados

Margen de error muestra	Tamaño de la muestra
5	48

6. Absolute Load Value (%)

Estadísticas

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3
Absolute load value (%)	604	0	9,368	0,703	17,288	0,000	0,000	0,000	0,000
Variable	Máximo								
Absolute load value (%)	101,177								

Resultados

Margen de error muestra	Tamaño de la muestra
5	49

7. Absolute Throttle Position B (%)

Estadísticas

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana
Absolute throttle position B (%)	604	0	50,280	0,160	3,944	0,000	49,804	49,804
Variable	Q3		Máximo					
Absolute throttle position B (%)	49,804		60,784					

Resultados

Margen de error muestra	Tamaño de la muestra
5	5

8. Accelerator pedal position D (%)

Estadísticas

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana
Accelerator pedal position D (%)	604	0	15,608	0,0449	1,104	0,0000	15,686	15,686
Variable	Q3		Máximo					
Accelerator pedal position D (%)	15,686		15,686					

Resultados

Margen de error muestra	Tamaño de la muestra
5	3

9. Accelerator pedal position E (%)

Estadísticas

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Accelerator pedal position E (%)	604	0	31,607	0,0909	2,235	0,0000	31,765	31,765		
Variable			Q3	Máximo						
Accelerator pedal position E (%)			31,765	31,765						

Resultados

Margen de error muestra	Tamaño de la muestra
5	4

10. Engine RPM (RPM)

Estadísticas

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Engine RPM (RPM)	604	0	354,4	25,7	630,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1574,0

Resultados

Margen de error muestra	Tamaño de la muestra
5	61106

11. Relative Throttle position (%)

Estadísticas

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Relative throttle position (%)	604	0	1,417	0,115	2,831	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Variable			Máximo							
Relative throttle position (%)			15,294							

Resultados

Margen de error muestra	Tamaño de la muestra
5	4

Anexos 4. Pruebas de normalidad de las variables estudiadas

A continuación se adjuntan las pruebas de normalidad realizadas a todas las variables

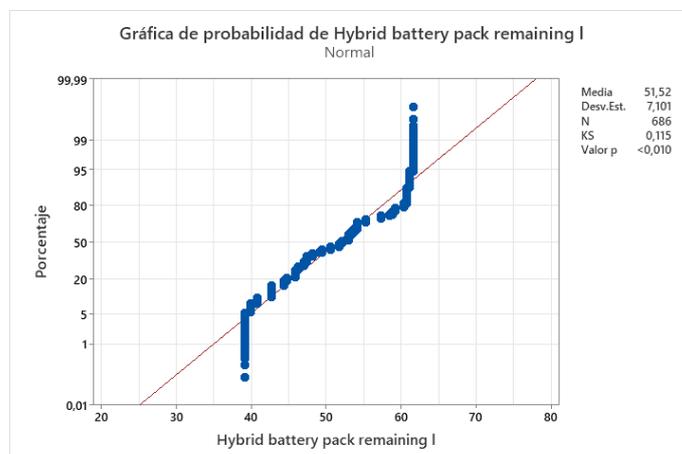


Figura 90. Prueba de normalidad del Hybrid Battery Pack Remaining.

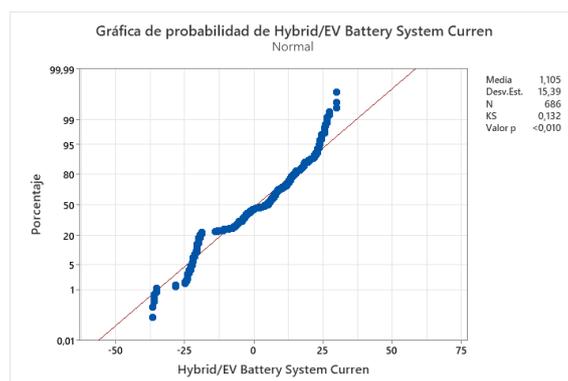


Figura 91. Gráfica de probabilidad de Hybrid/EV Battery System Current.

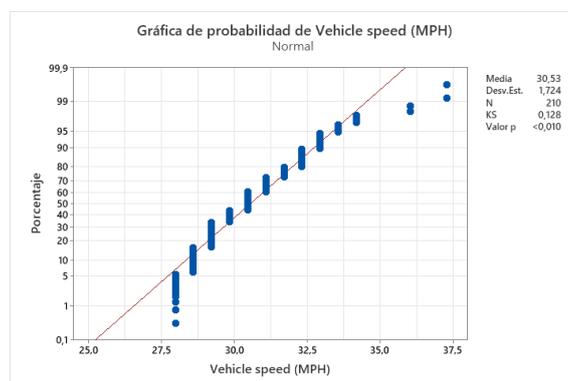


Figura 92. Gráfica de probabilidad de Vehicle speed (MPH).

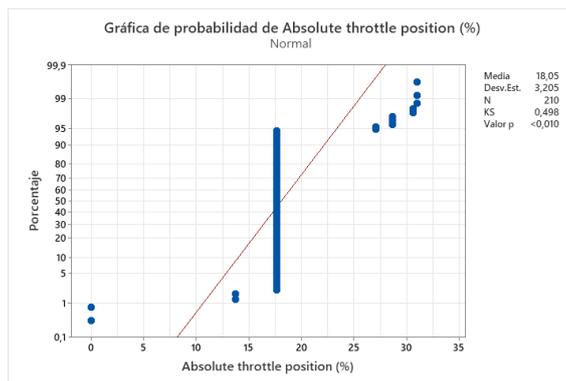


Figura 93. Gráfica de probabilidad de Absolute throttle position (%).

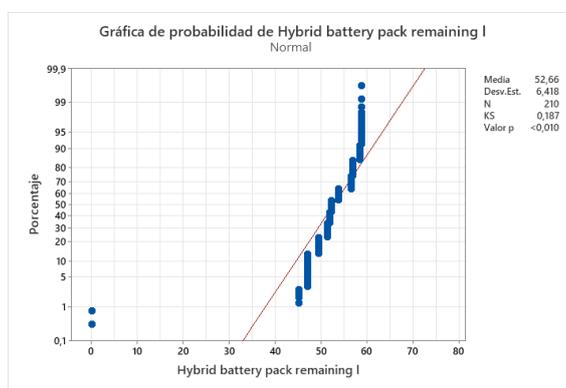


Figura 94. Gráfica de probabilidad de Hybrid battery pack remaining l.

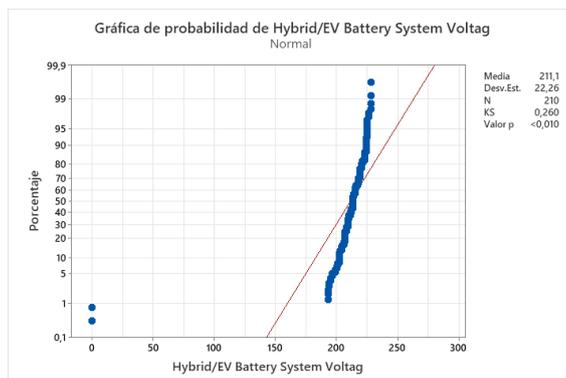


Figura 95. Gráfica de probabilidad de Hybrid/EV Battery System Voltag.

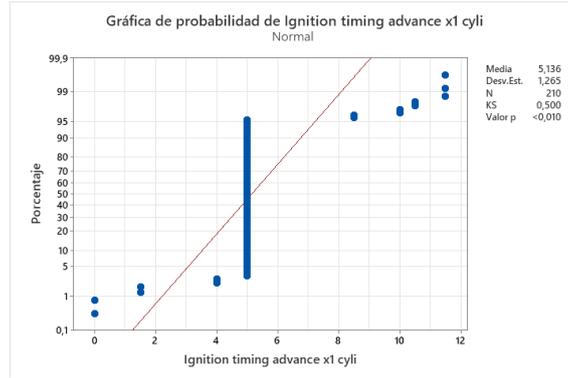


Figura 96. Gráfica de probabilidad de Ignition timing advance x1 cyli.

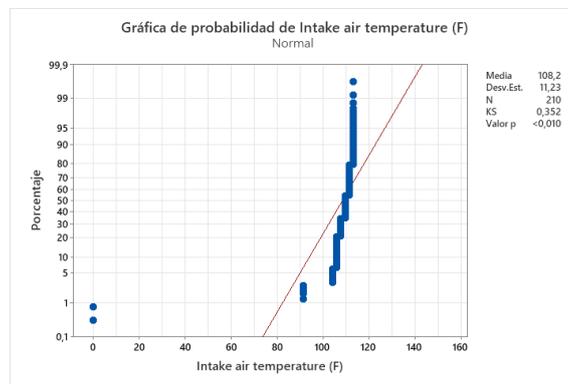


Figura 97. Gráfica de probabilidad de Intake air temperature (F).

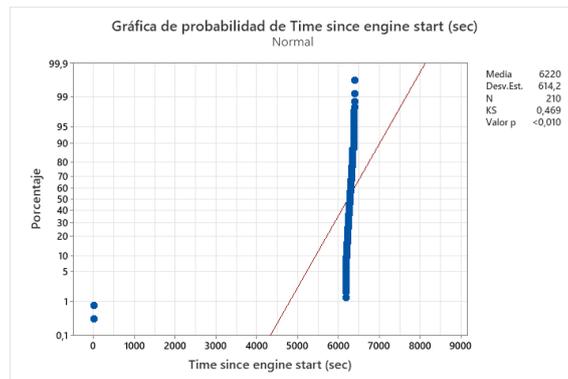


Figura 98. Gráfica de probabilidad de Time since engine start (sec).

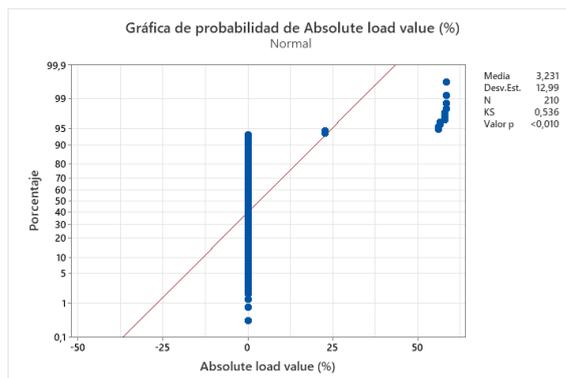


Figura 99. Gráfica de probabilidad de Absolute load value (%).

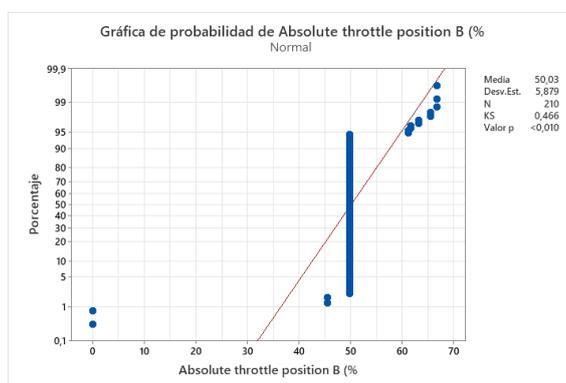


Figura 100. Gráfica de probabilidad de Absolute throttle position B (%).

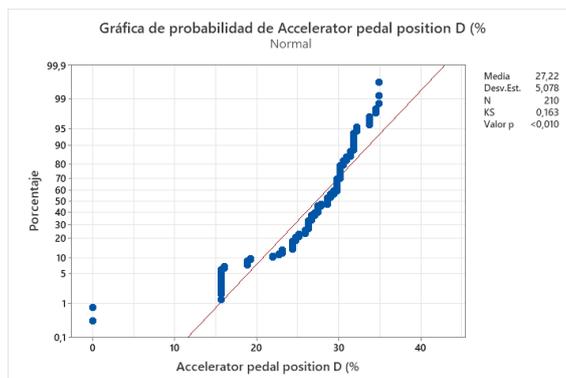


Figura 101. Gráfica de probabilidad de Accelerator pedal position D (%).

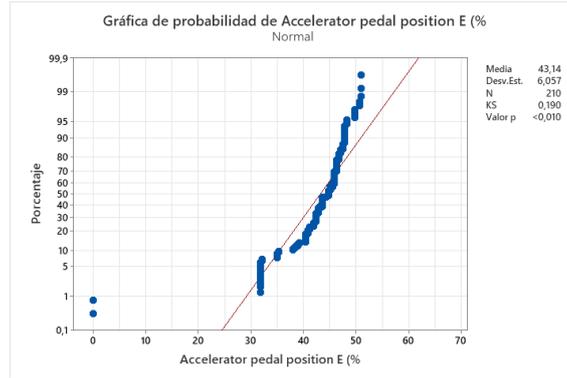


Figura 102. Gráfica de probabilidad de Accelerator pedal position E (%).

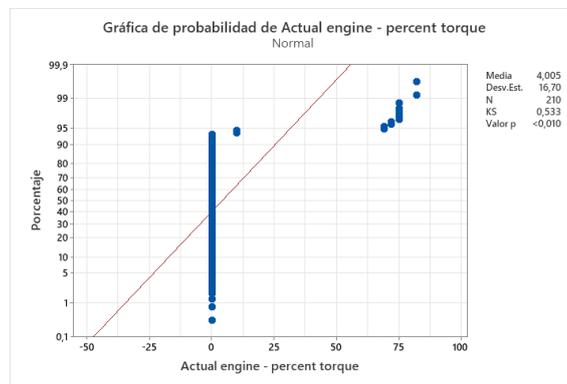


Figura 103. Gráfica de probabilidad de Actual engine - percent torque.

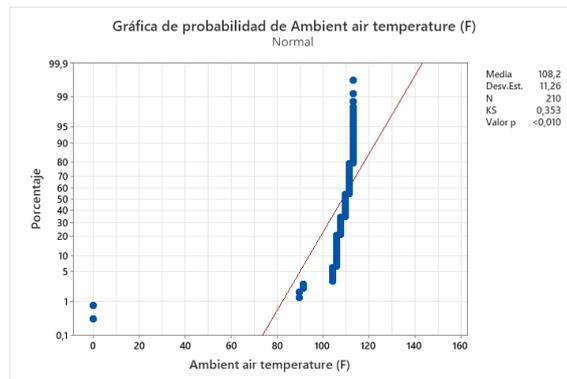


Figura 104. Gráfica de probabilidad de Ambient air temperature (F).

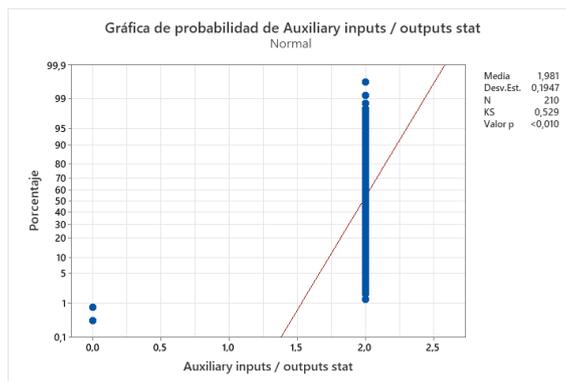


Figura 105. Gráfica de probabilidad de Auxiliary inputs / outputs stat.

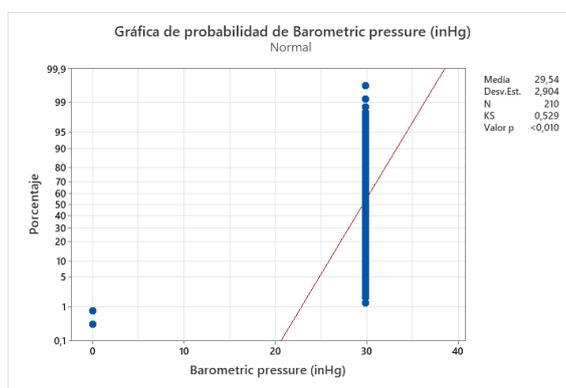


Figura 106. Gráfica de probabilidad de Barometric pressure (inHg).

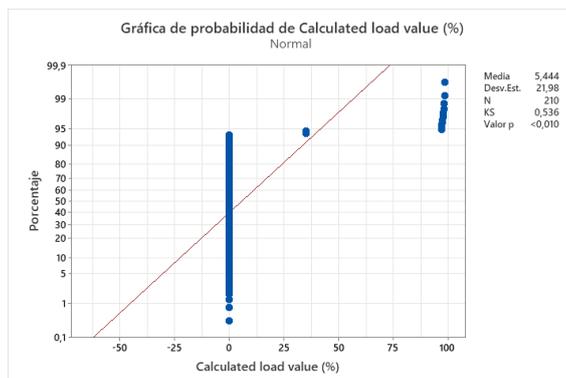


Figura 107. Gráfica de probabilidad de Calculated load value (%).

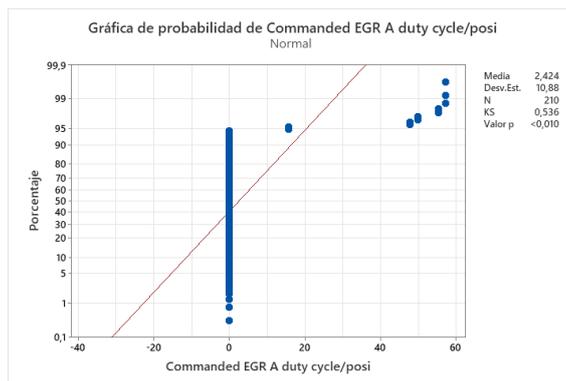


Figura 108. Gráfica de probabilidad de Commanded EGR A duty cycle/position.

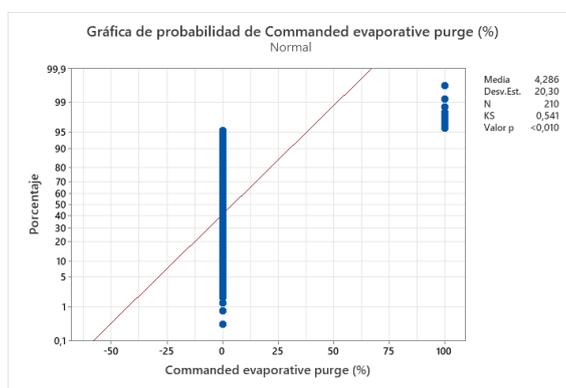


Figura 109. Gráfica de probabilidad de Commanded evaporative purge (%).

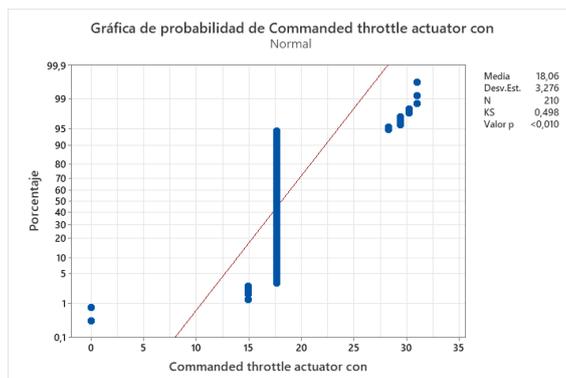


Figura 110. Gráfica de probabilidad Commanded throttle actuador con.

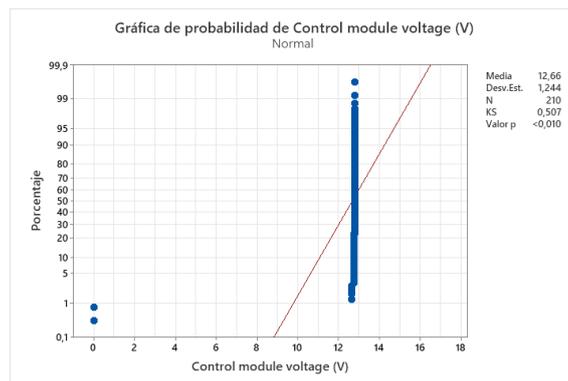


Figura 111. Gráfica de probabilidad Control module voltage (V).

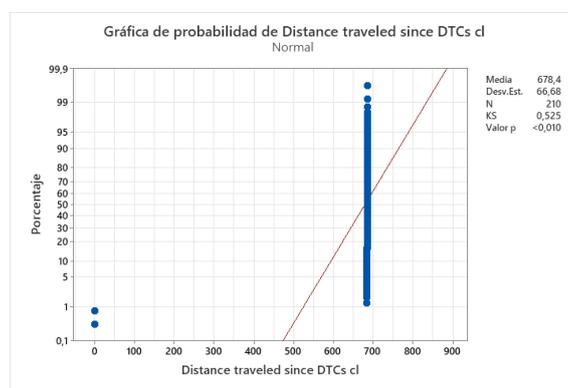


Figura 112. Gráfica de probabilidad Distance traveled since DTCs cl.

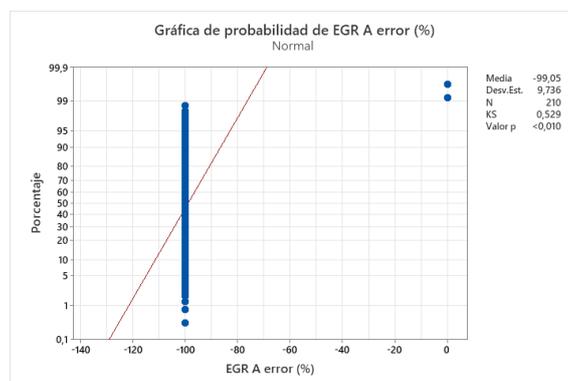


Figura 113. Gráfica de probabilidad EGR A error (%).

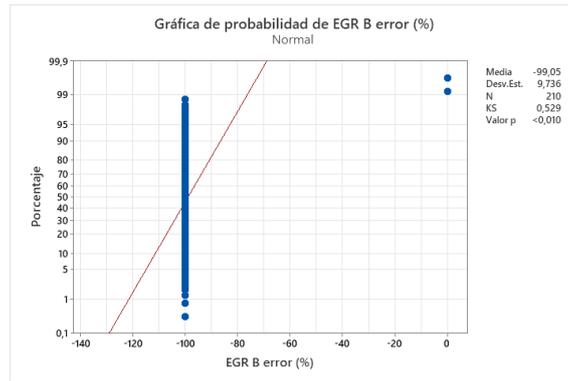


Figura 114. Gráfica de probabilidad EGR B error (%).

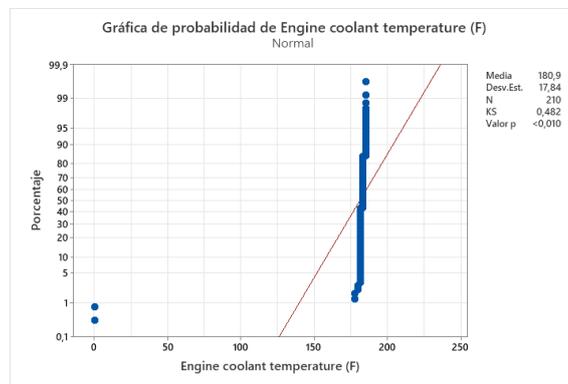


Figura 115. Gráfica de probabilidad Engine coolant temperature (F).

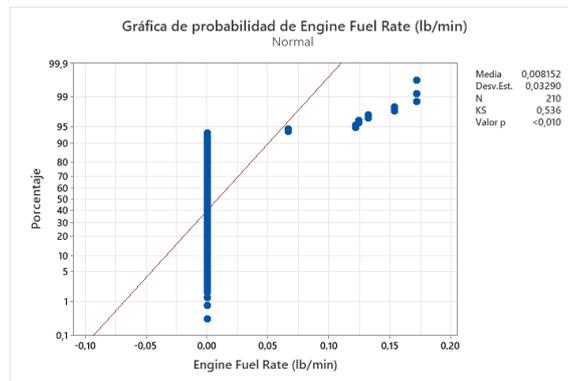


Figura 116. Gráfica de probabilidad Engine Fuel Rate (lb/min).

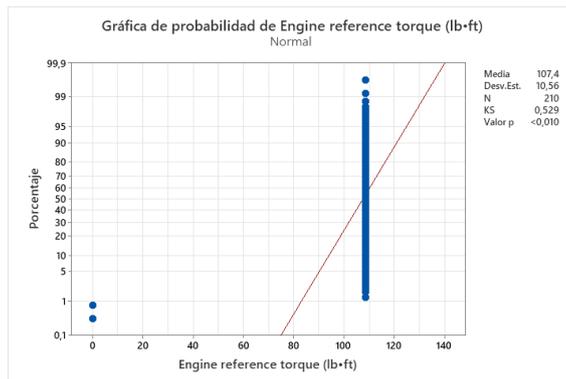


Figura 117. Gráfica de probabilidad Engine reference torque (lb•ft).

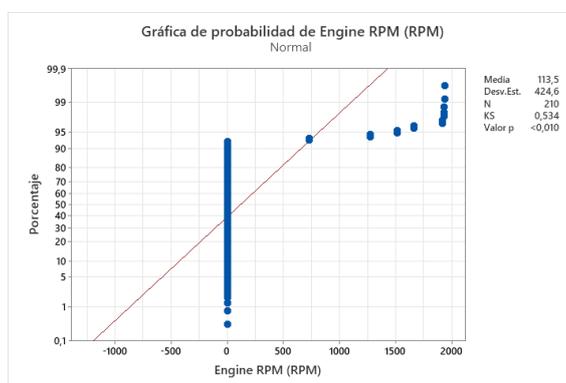


Figura 118. Gráfica de probabilidad Engine RPM (RPM).

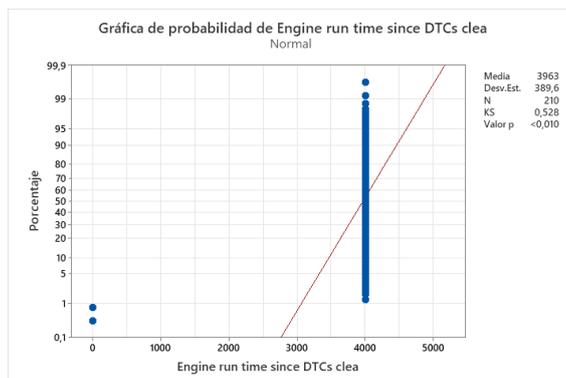


Figura 119. Gráfica de probabilidad Engine run time since DTCs clea.

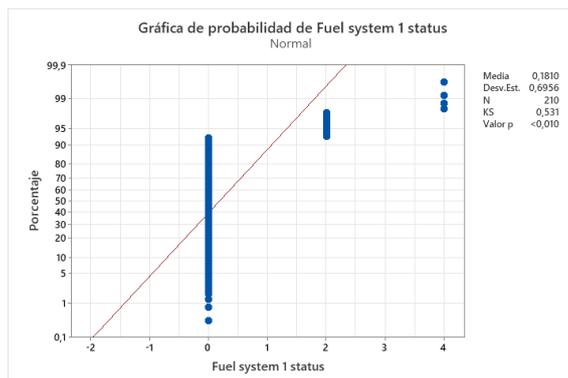


Figura 120. Gráfica de probabilidad Fuel system 1 status.

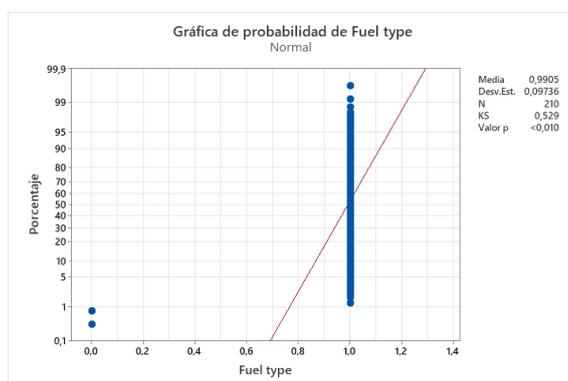


Figura 121. Gráfica de probabilidad Fuel type.

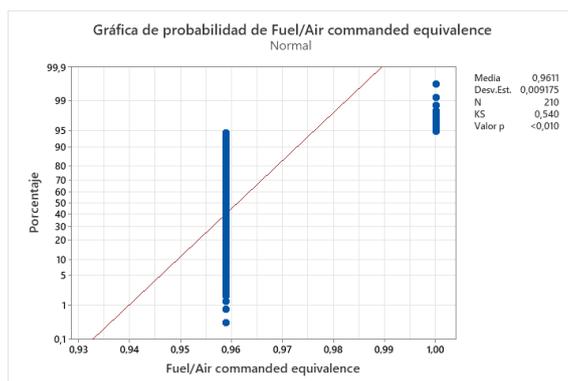


Figura 122. Gráfica de probabilidad Fuel/Air commanded equivalence.

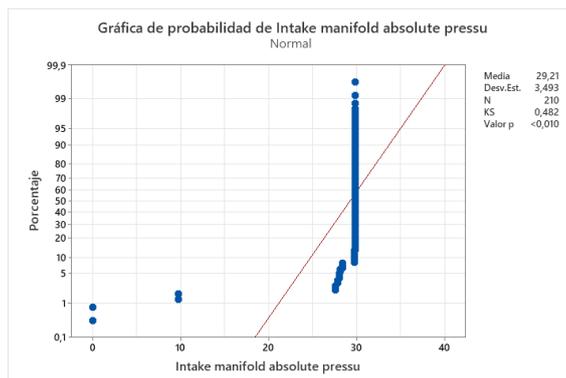


Figura 123. Gráfica de probabilidad de Intake manifold absolute pressu.

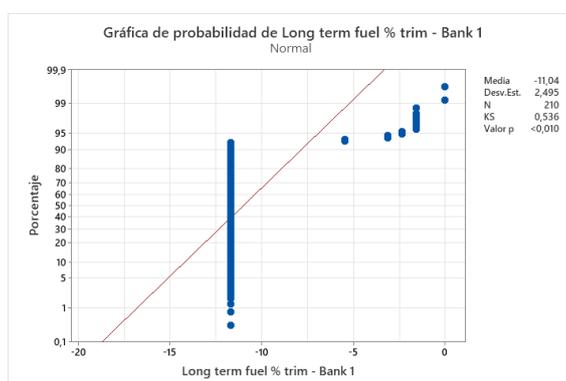


Figura 124. Gráfica de probabilidad de Long term fuel % trim - Bank 1.

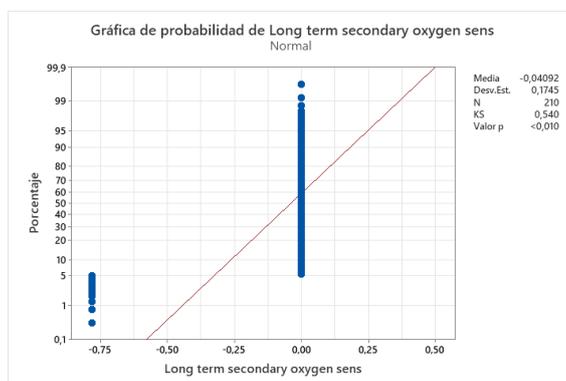


Figura 125. Gráfica de probabilidad de Long term secondary oxygen sensor.

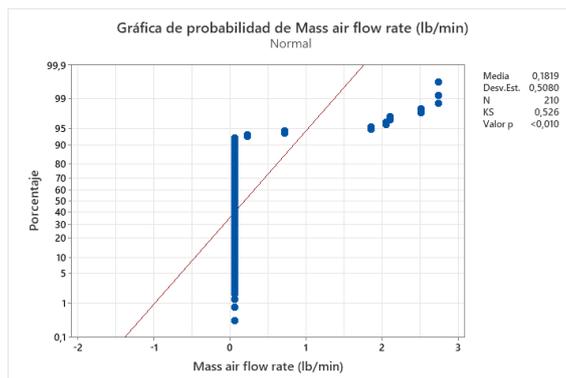


Figura 126. Gráfica de probabilidad de Mass air flow rate (lb/min).

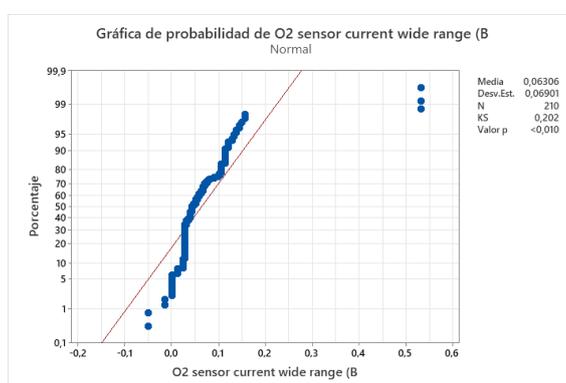


Figura 127. Gráfica de probabilidad de O2 sensor current wide range (B).

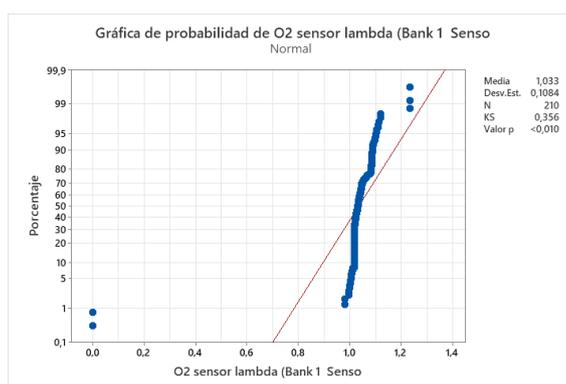


Figura 128. Gráfica de probabilidad de O2 sensor lambda (Bank 1 Sensor).

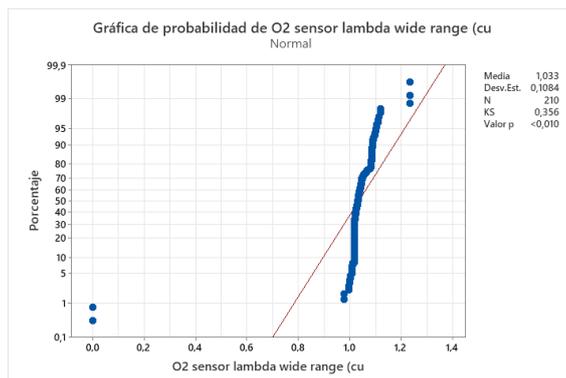


Figura 129. Gráfica de probabilidad de O2 sensor lambda wide range (cu).

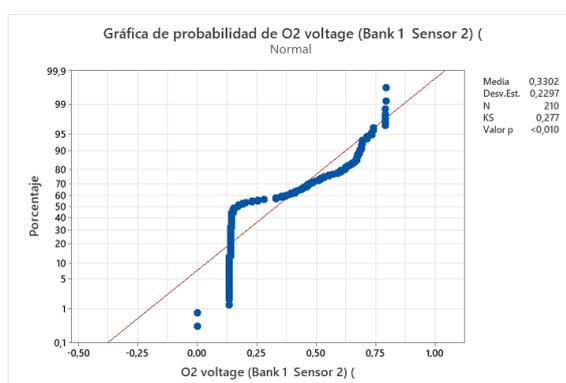


Figura 130. Gráfica de probabilidad de O2 voltage (Bank 1 Sensor 2).

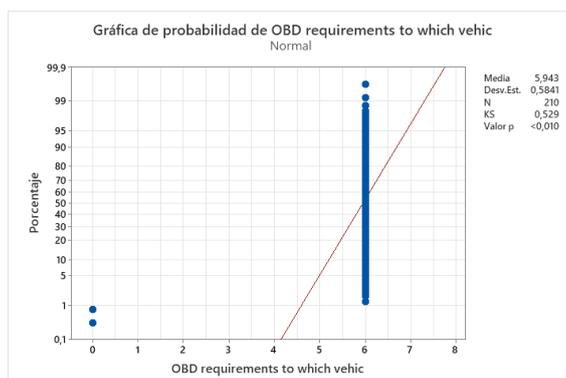


Figura 131. Gráfica de probabilidad de OBD requirements to which vehicle.

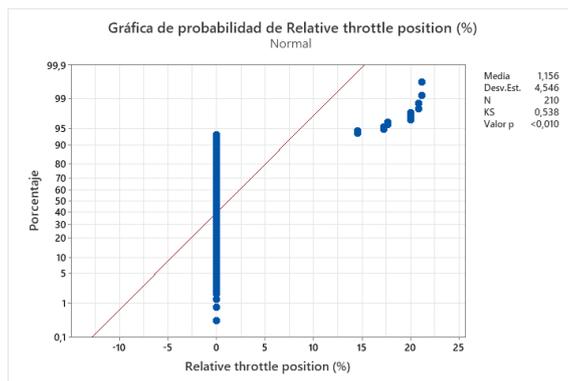


Figura 132. Gráfica de probabilidad de OBD requirements to which vehicle.

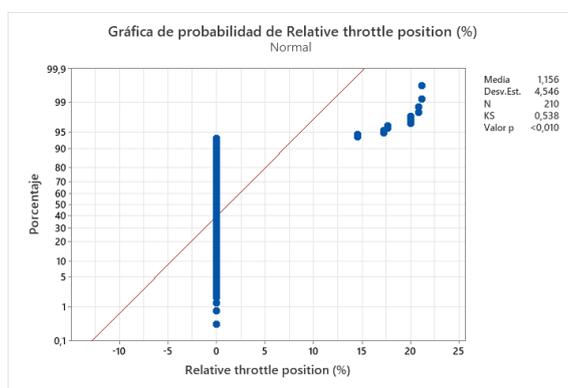


Figura 133. Gráfica de probabilidad de Relative throttle position (%).

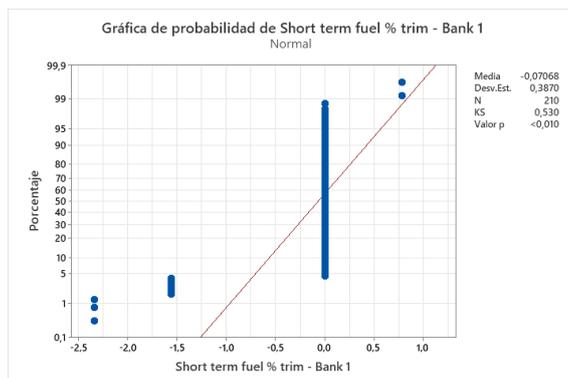


Figura 134. Gráfica de probabilidad de Short term fuel % trim - Bank 1.

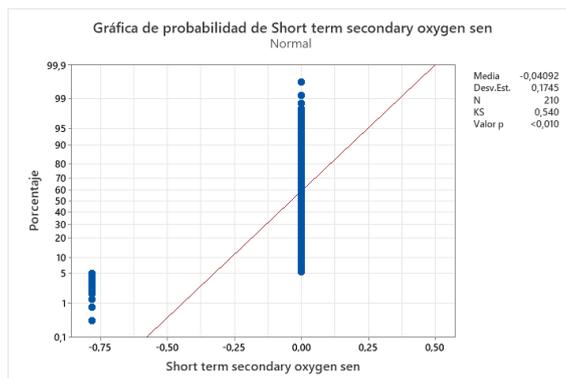


Figura 135. Gráfica de probabilidad de Short term secondary oxygen sensor.

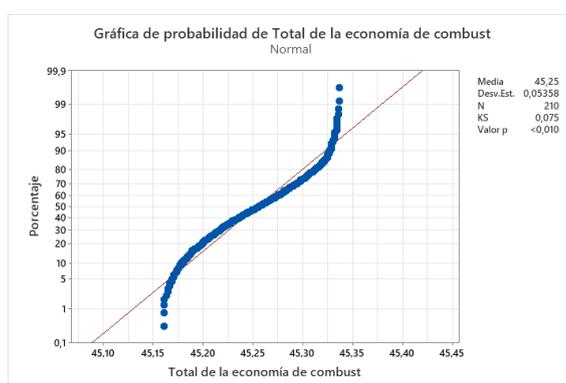


Figura 136. Gráfica de probabilidad de Total de la economía de combustle.

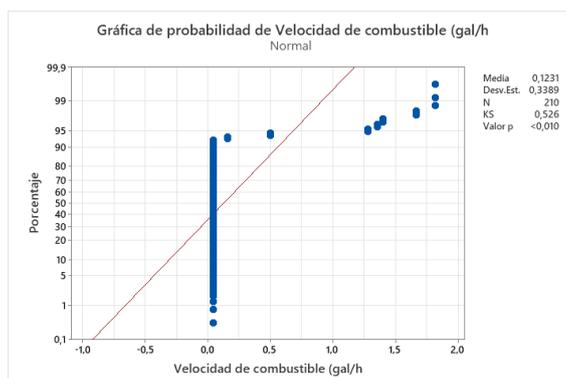


Figura 137. Gráfica de probabilidad de Velocidad de combustible (gal/h).

Anexos 5. Correlación de las variables estudiadas

Todas las variables a continuación son aquellas que presentaron una correlación muy fuerte.

Tabla 13. Correlaciones muy fuertes – N_40_3.

CORRELACIONES MUY FUERTES N_40_3	
B	Vehicle speed (MPH)
53	O2 sensor voltage wide range (B)
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
31	Engine friction - percent torqu
D	Hybrid battery pack remainiling life (%)
62	Total de la economía de combust
E	Hybrid/EV battery system current (A)
	-
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
	-
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
38	Fuel system 1 status
45	Long term fuel % trim - Bank 1
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
	-
I	Accelerator pedal position D (%)
	-
J	Accelerator pedal position E (%)
	-
K	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
45	Long term fuel % trim - Bank 1
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
64	La economía de combustible inst
L	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h)

Tabla 14. Correlaciones muy fuertes – N_40_4.

CORRELACIONES MUY FUERTES N_40_4	
B	Vehicle speed (MPH)
	-
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)
D	Hybrid battery pack remaining life (%)
	-
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
41	Fuel/Air commanded equivalence
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
53	O2 sensor voltage wide range (B
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
53	O2 sensor voltage wide range (B
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
J	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)

33	Engine reference torque (lb•ft)
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
53	O2 sensor voltage wide range (B
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
K	Engine RPM (RPM)
47	Long term secondary oxygen sens
L	Relative throttle position (%)
	-

Tabla 15. Variables de correlacionas muy fuertes – N_40_5.

CORRELACIONES MUY FUERTES N_40_5	
B	Vehicle speed (MPH)
	-
C	Absolute throttle position (%)
25	Commanded throttle actuator con
D	Hybrid battery pack remainiling life (%)
	-
E	Hybrid/EV battery system current (A)
	-
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
53	O2 sensor voltage wide range (B
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
22	Commanded EGR A duty cycle/posi
24	Commanded evaporative purge (%)
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
41	Fuel/Air commanded equivalence
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
13	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
25	Commanded throttle actuator con
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)

33	Engine reference torque (lb•ft)
33	Engine reference torque (lb•ft)
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst
L	Relative throttle position (%)

Tabla 16. Correlaciones muy fuertes – N_40_6.

CORRELACIONES MUY FUERTES N_40_6	
B	Vehicle speed (MPH)
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)
D	Hybrid battery pack remaining life (%)
E	Hybrid/EV battery system current (A)
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
30	Engine coolant temperature (F)
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
26	Control module voltage (V)
27	Distance traveled since DTCs cl

28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
30	Engine coolant temperature (F)
33	Engine reference torque (lb•ft)
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
55	OBD requirements to which vehic
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
J	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
26	Control module voltage (V)
27	Distance traveled since DTCs cl
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
30	Engine coolant temperature (F)
33	Engine reference torque (lb•ft)
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
55	OBD requirements to which vehic
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
K	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
41	Fuel/Air commanded equivalence
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst
L	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h

Tabla 17. Correlaciones muy fuertes – N_60_4.

CORRELACIONES MUY FUERTES N_60_4	
B	Vehicle speed (MPH)
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)
22	Commanded EGR A duty cycle/posi
25	Commanded throttle actuator con
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
D	Hybrid battery pack remaining life (%)
	-
E	Hybrid/EV battery system current (A)
	-
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
	-
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
22	Commanded EGR A duty cycle/posi
24	Commanded evaporative purge (%)
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
45	Long term fuel % trim - Bank 1
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
53	O2 sensor voltage wide range (B

59	Short term fuel trim (Bank 1 S
J	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
53	O2 sensor voltage wide range (B
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
K	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
45	Long term fuel % trim - Bank 1
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
64	La economía de combustible inst
L	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h

Tabla 18. Correlaciones muy fuertes – N_60_5.

CORRELACIONES MUY FUERTES N_60_5	
B	Vehicle speed (MPH)
	-
C	Absolute throttle position (%)
	-
D	Hybrid battery pack remainiling life (%)
	-
E	Hybrid/EV battery system current (A)
15	Actual EGR A duty cycle/positio
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
	-
G	Absolute load value (%)
	-
H	Absolute throttle position B (%)
	-
I	Accelerator pedal position D (%)
	-
J	Accelerator pedal position E (%)
18	Ambient air temperature (F)
19	Auxiliary inputs / outputs stat

28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
31	Engine friction - percent torqu
35	Engine run time run while MIL i
44	Location of oxygen sensors
46	Long term fuel % trim - Bank 3
60	Short term secondary oxygen sen
61	Short term secondary oxygen s_1
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst
K	Engine RPM (RPM)
-	
L	Relative throttle position (%)

Tabla 19. Correlaciones muy fuertes – N_60_6.

CORRELACIONES MUY FUERTES N_60_6	
B	Vehicle speed (MPH)
-	
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
D	Hybrid battery pack remainiling life (%)
-	
E	Hybrid/EV battery system current (A)
-	
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
10	Time since engine start (sec)
30	Engine coolant temperature (F)
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
-	
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
J	Accelerator pedal position E (%)

K	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
L	Relative throttle position (%)

Tabla 20. Correlaciones muy fuertes – N_85_4.

CORRELACIONES MUY FUERTES N_85_4	
B	Vehicle speed (MPH)
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
D	Hybrid battery pack remaining life (%)
E	Hybrid/EV battery system current (A)
6	Hybrid/EV Battery System Voltag
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
H	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
J	Accelerator pedal position E (%)
K	Engine RPM (RPM)
L	Relative throttle position (%)

Tabla 21. Correlaciones muy fuertes – N_85_5.

CORRELACIONES MUY FUERTES N_85_5	
B	Vehicle speed (MPH)
-	
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h
D	Hybrid battery pack remaining life (%)
9	Intake air temperature (F)
10	Time since engine start (sec)
18	Ambient air temperature (F)
26	Control module voltage (V)
27	Distance traveled since DTCs cl
30	Engine coolant temperature (F)
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
55	OBD requirements to which vehic
E	Hybrid/EV battery system current (A)
-	
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
G	Absolute load value (%)
-	
H	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
J	Accelerator pedal position E (%)
-	
K	Engine RPM (RPM)
-	
L	Relative throttle position (%)
-	

Tabla 22. Correlaciones muy fuertes – N_85_6.

CORRELACIONES MUY FUERTES N_85_6	
B	Vehicle speed (MPH)
	-
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
D	Hybrid battery pack remaining life (%)
	-
E	Hybrid/EV battery system current (A)
	-
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
10	Time since engine start (sec)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
27	Distance traveled since DTCs cl
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
30	Engine coolant temperature (F)
33	Engine reference torque (lb•ft)
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
55	OBD requirements to which vehic
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
G	Absolute load value (%)
	-
H	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
14	Accelerator pedal position E (%)
I	Accelerator pedal position D (%)
	-
J	Accelerator pedal position E (%)
	-
K	Engine RPM (RPM)
	-
L	Relative throttle position (%)
	-

Tabla 23. Correlaciones muy fuertes – ECO_40_4.

CORRELACIONES MUY FUERTES ECO_40_4	
B	Vehicle speed (MPH)
	-
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)
D	Hybrid battery pack remaining life (%)
	-
E	Hybrid/EV battery system current (A)
	-
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
13	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
45	Long term fuel % trim - Bank 1
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso

52	O2 sensor lambda wide range (cu
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
J	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
K	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
45	Long term fuel % trim - Bank 1
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst
L	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h

Tabla 24. Correlaciones muy fuertes – ECO_40_5.

CORRELACIONES MUY FUERTES ECO_40_5	
B	Vehicle speed (MPH)
	-
C	Absolute throttle position (%)
25	Commanded throttle actuator con
D	Hybrid battery pack remaining life (%)
38	Fuel system 1 status
E	Hybrid/EV battery system current (A)
	-
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
13	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
G	Absolute load value (%)

17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
24	Commanded evaporative purge (%)
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
41	Fuel/Air commanded equivalence
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
53	O2 sensor voltage wide range (B
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
J	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
53	O2 sensor voltage wide range (B
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
K	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
41	Fuel/Air commanded equivalence
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst

L	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h)

Tabla 25. Correlaciones muy fuertes – ECO_40_6.

CORRELACIONES MUY FUERTES ECO_40_6	
B	Vehicle speed (MPH)
	-
C	Absolute throttle position (%)
25	Commanded throttle actuator con
D	Hybrid battery pack remaining life (%)
38	Fuel system 1 status
E	Hybrid/EV battery system current (A)
	-
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
30	Engine coolant temperature (F)
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
24	Commanded evaporative purge (%)
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
41	Fuel/Air commanded equivalence
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
	-
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
J	Accelerator pedal position E (%)
	-
K	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
41	Fuel/Air commanded equivalence
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
64	La economía de combustible inst
L	Relative throttle position (%)

63	Velocidad de combustible (gal/h)
----	----------------------------------

Tabla 26. Correlaciones muy fuertes – ECO_60_4.

CORRELACIONES MUY FUERTES ECO_60_4	
B	Vehicle speed (MPH)
	-
C	Absolute throttle position (%)
17	Actual engine - percent torque
22	Commanded EGR A duty cycle/posi
25	Commanded throttle actuator con
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
D	Hybrid battery pack remainiling life (%)
	-
E	Hybrid/EV battery system current (A)
	-
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
	-
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
22	Commanded EGR A duty cycle/posi
24	Commanded evaporative purge (%)
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
41	Fuel/Air commanded equivalence
45	Long term fuel % trim - Bank 1
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
17	Actual engine - percent torque
22	Commanded EGR A duty cycle/posi
25	Commanded throttle actuator con
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)

63	Velocidad de combustible (gal/h
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
J	Accelerator pedal position E (%)
-	
K	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
45	Long term fuel % trim - Bank 1
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h
L	Relative throttle position (%)

Tabla 27. Correlaciones muy fuertes – ECO_60_5.

CORRELACIONES MUY FUERTES ECO_60_5	
B	Vehicle speed (MPH)
-	
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)
17	Actual engine - percent torque
22	Commanded EGR A duty cycle/posi
25	Commanded throttle actuator con
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
45	Long term fuel % trim - Bank 1
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h
49	Mass air flow rate (lb/min)
D	Hybrid battery pack remainiling life (%)
-	
E	Hybrid/EV battery system current (A)
-	
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
-	
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
22	Commanded EGR A duty cycle/posi
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
47	Long term secondary oxygen sens

49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
17	Actual engine - percent torque
22	Commanded EGR A duty cycle/posi
25	Commanded throttle actuator con
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
45	Long term fuel % trim - Bank 1
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
I	Accelerator pedal position D (%)
	-
J	Accelerator pedal position E (%)
	-
K	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
45	Long term fuel % trim - Bank 1
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
64	La economía de combustible inst
L	Relative throttle position (%)

Tabla 28. Correlaciones muy fuertes – ECO_60_6.

CORRELACIONES MUY FUERTES ECO_60_6	
B	Vehicle speed (MPH)
	-
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
49	Mass air flow rate (lb/min)
D	Hybrid battery pack remaining life (%)
10	Time since engine start (sec)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
26	Control module voltage (V)
27	Distance traveled since DTCs cl
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
30	Engine coolant temperature (F)

33	Engine reference torque (lb•ft)
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
55	OBD requirements to which vehic
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
E	Hybrid/EV battery system current (A)
-	
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
10	Time since engine start (sec)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
27	Distance traveled since DTCs cl
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
30	Engine coolant temperature (F)
33	Engine reference torque (lb•ft)
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
55	OBD requirements to which vehic
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
22	Commanded EGR A duty cycle/posi
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
J	Accelerator pedal position E (%)
-	
K	Engine RPM (RPM)
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h

64	La economía de combustible inst
L	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h)

Tabla 29. Correlaciones muy fuertes – ECO_85_4.

CORRELACIONES MUY FUERTES ECO_85_4	
B	Vehicle speed (MPH)
	-
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
D	Hybrid battery pack remaining life (%)
20	Barometric pressure (inHg)
26	Control module voltage (V)
27	Distance traveled since DTCs cl
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
55	OBD requirements to which vehic
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
G	Absolute load value (%)
	-
H	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
J	Accelerator pedal position E (%)
	-
K	Engine RPM (RPM)
	-
L	Relative throttle position (%)
	-

Tabla 30. Correlaciones muy fuertes – ECO_85_5.

CORRELACIONES MUY FUERTES ECO_85_5	
B	Vehicle speed (MPH)
	-
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)

25	Commanded throttle actuator con
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
D	Hybrid battery pack remainiling life (%)
9	Intake air temperature (F)
10	Time since engine start (sec)
18	Ambient air temperature (F)
26	Control module voltage (V)
27	Distance traveled since DTCs cl
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
G	Absolute load value (%)
	-
H	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
J	Accelerator pedal position E (%)
	-
K	Engine RPM (RPM)
	-
L	Relative throttle position (%)
	-

Tabla 31. Correlacionas muy fuertes – ECO_85_6.

CORRELACIONES MUY FUERTES ECO_85_6	
B	Vehicle speed (MPH)
	-
C	Absolute throotle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
D	Hybrid battery pack remainiling life (%)
6	Hybrid/EV Battery System Voltag
9	Intake air temperature (F)
10	Time since engine start (sec)
18	Ambient air temperature (F)
20	Barometric pressure (inHg)
27	Distance traveled since DTCs cl
27	Distance traveled since DTCs cl

28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
30	Engine coolant temperature (F)
33	Engine reference torque (lb•ft)
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
55	OBD requirements to which vehic
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
G	Absolute load value (%)
-	-
H	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
J	Accelerator pedal position E (%)
-	-
K	Engine RPM (RPM)
-	-
L	Relative throttle position (%)
-	-

Tabla 32. Correlaciones muy fuertes – S_40_4.

CORRELACIONES MUY FUERTES S_40_4	
B	Vehicle speed (MPH)
-	-
C	Absolute throttle position (%)
-	-
D	Hybrid battery pack remainiling life (%)
38	Fuel system 1 status
E	Hybrid/EV battery system current (A)
-	-
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
-	-
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
H	Absolute throttle position B (%)
13	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)

29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
53	O2 sensor voltage wide range (B
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
J	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
53	O2 sensor voltage wide range (B
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
K	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
41	Fuel/Air commanded equivalence
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst
L	Relative throttle position (%)

Tabla 33. Correlaciones muy fuertes – S_40_5.

CORRELACIONES MUY FUERTES S_40_5	
B	Vehicle speed (MPH)
-	
C	Absolute throttle position (%)
-	
D	Hybrid battery pack remainiling life (%)
-	
E	Hybrid/EV battery system current (A)

-	
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
-	
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
24	Commanded evaporative purge (%)
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
41	Fuel/Air commanded equivalence
42	Intake manifold absolute pressu
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
I	Accelerator pedal position D (%)
-	
J	Accelerator pedal position E (%)
-	
K	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
41	Fuel/Air commanded equivalence
42	Intake manifold absolute pressu
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst
L	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst

Tabla 34. Correlaciones muy fuertes – S_40_6. Fuente: Autores

CORRELACIONES MUY FUERTES S_40_6	
B	Vehicle speed (MPH)
-	
C	Absolute throttle position (%)
25	Commanded throttle actuator con

D	Hybrid battery pack remaining life (%)
30	Engine coolant temperature (F)
52	O2 sensor lambda wide range (cu)
E	Hybrid/EV battery system current (A)
-	
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
27	Distance traveled since DTCs cl
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
30	Engine coolant temperature (F)
33	Engine reference torque (lb•ft)
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
55	OBD requirements to which vehic
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
49	Mass air flow rate (lb/min)
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
-	
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
J	Accelerator pedal position E (%)
-	
K	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst
L	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst

Tabla 35. Correlaciones muy fuertes – S_60_4.

CORRELACIONES MUY FUERTES S_60_4	
B	Vehicle speed (MPH)
	-
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)
D	Hybrid battery pack remaining life (%)
	-
E	Hybrid/EV battery system current (A)
	-
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
	-
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
22	Commanded EGR A duty cycle/posi
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
	-
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
J	Accelerator pedal position E (%)
	-
K	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
45	Long term fuel % trim - Bank 1
47	Long term secondary oxygen sens
L	Relative throttle position (%)
	-

Tabla 36. Correlaciones muy fuertes – S_60_5.

CORRELACIONES MUY FUERTES S_60_5	
B	Vehicle speed (MPH)
	-
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)

25	Commanded throttle actuator con
D	Hybrid battery pack remaining life (%)
	-
E	Hybrid/EV battery system current (A)
	-
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
	-
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
22	Commanded EGR A duty cycle/posi
24	Commanded evaporative purge (%)
31	Engine friction - percent torqu
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
41	Fuel/Air commanded equivalence
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
53	O2 sensor voltage wide range (B
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
J	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
53	O2 sensor voltage wide range (B

59	Short term fuel trim (Bank 1 S
K	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
60	Short term secondary oxygen sen
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst
L	Relative throttle position (%)

Tabla 37. Correlaciones muy fuertes – S_60_6.

CORRELACIONES MUY FUERTES S_60_6	
B	Vehicle speed (MPH)
-	
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
D	Hybrid battery pack remainiling life (%)
10	Time since engine start (sec)
E	Hybrid/EV battery system current (A)
-	
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
10	Time since engine start (sec)
13	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
27	Distance traveled since DTCs cl
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
30	Engine coolant temperature (F)
33	Engine reference torque (lb•ft)
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
55	OBD requirements to which vehic
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
31	Engine friction - percent torqu

32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
25	Commanded throttle actuator con
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
26	Control module voltage (V)
27	Distance traveled since DTCs cl
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
30	Engine coolant temperature (F)
33	Engine reference torque (lb•ft)
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
55	OBD requirements to which vehic
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
J	Accelerator pedal position E (%)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
26	Control module voltage (V)
27	Distance traveled since DTCs cl
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
30	Engine coolant temperature (F)
33	Engine reference torque (lb•ft)
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
55	OBD requirements to which vehic
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
K	Engine RPM (RPM)

38	Fuel system 1 status
41	Fuel/Air commanded equivalence
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
64	La economía de combustible inst
L	Relative throttle position (%)

Tabla 38. Correlaciones muy fuertes – S_85_4.

CORRELACIONES MUY FUERTES S_85_4	
B	Vehicle speed (MPH)
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
D	Hybrid battery pack remaining life (%)
10	Time since engine start (sec)
26	Control module voltage (V)
27	Distance traveled since DTCs cl
30	Engine coolant temperature (F)
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
55	OBD requirements to which vehic
E	Hybrid/EV battery system current (A)
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
19	Auxiliary inputs / outputs stat
20	Barometric pressure (inHg)
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
33	Engine reference torque (lb•ft)
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
H	Absolute throttle position B (%)
I	Accelerator pedal position D (%)
13	Accelerator pedal position D (%)
J	Accelerator pedal position E (%)

	-
K	Engine RPM (RPM)
	-
L	Relative throttle position (%)
	-

Tabla 39. Correlaciones muy fuertes – S_85_5.

CORRELACIONES MUY FUERTES S_85_5	
B	Vehicle speed (MPH)
	-
C	Absolute throttle position (%)
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
D	Hybrid battery pack remaining life (%)
	-
E	Hybrid/EV battery system current (A)
6	Hybrid/EV Battery System Voltage
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
	-
G	Absolute load value (%)
	-
H	Absolute throttle position B (%)
	-
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
J	Accelerator pedal position E (%)
	-
K	Engine RPM (RPM)
	-
L	Relative throttle position (%)
	-

Tabla 40. Correlaciones muy fuertes – S_85_6.

CORRELACIONES MUY FUERTES S_85_6	
B	Vehicle speed (MPH)
	-
C	Absolute throttle position (%)
12	Absolute throttle position B (%)
22	Commanded EGR A duty cycle/position
25	Commanded throttle actuator control
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h)

D	Hybrid battery pack remaining life (%)
	-
E	Hybrid/EV battery system current (A)
6	Hybrid/EV Battery System Voltage
F	Hybrid/EV battery system voltage (V)
	-
G	Absolute load value (%)
17	Actual engine - percent torque
21	Calculated load value (%)
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
64	La economía de combustible inst
H	Absolute throttle position B (%)
22	Commanded EGR A duty cycle/posi
25	Commanded throttle actuator con
56	Relative throttle position (%)
I	Accelerator pedal position D (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
J	Accelerator pedal position E (%)
	-
K	Engine RPM (RPM)
38	Fuel system 1 status
47	Long term secondary oxygen sens
49	Mass air flow rate (lb/min)
56	Relative throttle position (%)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
L	Relative throttle position (%)

Tabla 41. Correlaciones muy fuertes – EV_40_1.

CORRELACIONES MUY FUERTES EV_40_1	
B	Vehicle speed (MPH)
	-
C	Hybrid battery pack remaining life (%)
64	La economía de combustible inst
D	Hybrid/EV battery system current (A)
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
E	Hybrid/EV battery system voltage (V)
17	Actual engine - percent torque

21	Calculated load value (%)
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
F	Accelerator pedal position D (%)
18	Ambient air temperature (F)
20	Barometric pressure (inHg)
25	Commanded throttle actuator con
27	Distance traveled since DTCs cl
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
30	Engine coolant temperature (F)
31	Engine friction - percent torqu
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
45	Long term fuel % trim - Bank 1
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
53	O2 sensor voltage wide range (B
55	OBD requirements to which vehic
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
G	Absolute throttle position B (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
H	Accelerator pedal position D (%)
12	Absolute throttle position B (%)
20	Barometric pressure (inHg)
25	Commanded throttle actuator con
27	Distance traveled since DTCs cl
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
31	Engine friction - percent torqu
33	Engine reference torque (lb•ft)
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
55	OBD requirements to which vehic
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
I	Accelerator pedal position E (%)
	-
J	Engine RPM (RPM)

-	
K	Relative throttle position (%)
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
45	Long term fuel % trim - Bank 1
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
53	O2 sensor voltage wide range (B
55	OBD requirements to which vehic
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
L	Absolute load value (%)
12	Absolute throttle position B (%)
18	Ambient air temperature (F)
20	Barometric pressure (inHg)
25	Commanded throttle actuator con
27	Distance traveled since DTCs cl
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
30	Engine coolant temperature (F)
31	Engine friction - percent torqu
33	Engine reference torque (lb•ft)
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
45	Long term fuel % trim - Bank 1
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
53	O2 sensor voltage wide range (B
55	OBD requirements to which vehic
59	Short term fuel trim (Bank 1 S

Tabla 42. Correlaciones muy fuertes – EV_40_2.

CORRELACIONES MUY FUERTES EV_40_2	
B	Vehicle speed (MPH)
-	
C	Hybrid battery pack remainiling life (%)
64	La economía de combustible inst
D	Hybrid/EV battery system current (A)
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
E	Hybrid/EV battery system voltage (V)
17	Actual engine - percent torque

21	Calculated load value (%)
32	Engine Fuel Rate (lb/min)
34	Engine RPM (RPM)
49	Mass air flow rate (lb/min)
63	Velocidad de combustible (gal/h)
F	Accelerator pedal position D (%)
18	Ambient air temperature (F)
20	Barometric pressure (inHg)
25	Commanded throttle actuator con
27	Distance traveled since DTCs cl
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
30	Engine coolant temperature (F)
31	Engine friction - percent torqu
33	Engine reference torque (lb•ft)
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
45	Long term fuel % trim - Bank 1
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Senso
52	O2 sensor lambda wide range (cu
53	O2 sensor voltage wide range (B
55	OBD requirements to which vehic
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
G	Absolute throttle position B (%)
14	Accelerator pedal position E (%)
H	Accelerator pedal position D (%)
12	Absolute throttle position B (%)
20	Barometric pressure (inHg)
25	Commanded throttle actuator con
27	Distance traveled since DTCs cl
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
31	Engine friction - percent torqu
33	Engine reference torque (lb•ft)
36	Engine run time since DTCs clea
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
55	OBD requirements to which vehic
59	Short term fuel trim (Bank 1 S
I	Accelerator pedal position E (%)
	-

J	Engine RPM (RPM)
	-
K	Relative throttle position (%)
36	Engine run time since DTCs cleared
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
45	Long term fuel % trim - Bank 1
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Sensor 1)
52	O2 sensor lambda wide range (Bank 1)
53	O2 sensor voltage wide range (Bank 1)
55	OBD requirements to which vehicle applies
L	Absolute load value (%)
12	Absolute throttle position B (%)
18	Ambient air temperature (F)
20	Barometric pressure (inHg)
25	Commanded throttle actuator control
27	Distance traveled since DTCs cleared
28	EGR A error (%)
29	EGR B error (%)
30	Engine coolant temperature (F)
31	Engine friction - percent torque
33	Engine reference torque (lb•ft)
36	Engine run time since DTCs cleared
40	Fuel type
44	Location of oxygen sensors
45	Long term fuel % trim - Bank 1
51	O2 sensor lambda (Bank 1 Sensor 1)
52	O2 sensor lambda wide range (Bank 1)
53	O2 sensor voltage wide range (Bank 1)
55	OBD requirements to which vehicle applies
59	Short term fuel trim (Bank 1 Sensor 1)