

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

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

Proyecto Técnico:

**“LEVANTAMIENTO DE UNA BASE DE DATOS DEL
COMPORTAMIENTO DE EMISIONES VEHICULARES Y SU
RELACIÓN CON PID’S EN 3 VEHÍCULOS DE LA CATEGORÍA M1
CON CILINDRADA MENOR O IGUAL 1.6 L EN LA CIUDAD DE
CUENCA”**

AUTORES:

Berrezueta Cedillo Stalin Ederson

Cruz Espinoza Joe Paul

TUTOR:

Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, M.Sc

Cuenca-Ecuador

2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Berrezueta Cedillo Stalin Ederson, con documento de identificación N° 0705727824, y Cruz Espinoza Joe Paul, con documento de identificación N° 0706110350, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación: “LEVANTAMIENTO DE UNA BASE DE DATOS DEL COMPORTAMIENTO DE EMISIONES VEHICULARES Y SU RELACIÓN CON PID’S EN 3 VEHÍCULOS DE LA CATEGORÍA M1 CON CILINDRADA MENOR O IGUAL 1.6 L EN LA CIUDAD DE CUENCA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, enero del 2019



Stalin Ederson Berrezueta Cedillo

C.I. 0705727824



Joe Paul Cruz Espinoza

C.I. 0706110350

CERTIFICACIÓN

Yo Néstor Diego Rivera Campoverde, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación: “LEVANTAMIENTO DE UNA BASE DE DATOS DEL COMPORTAMIENTO DE EMISIONES VEHICULARES Y SU RELACIÓN CON PID’S EN 3 VEHÍCULOS DE LA CATEGORÍA M1 CON CILINDRADA MENOR O IGUAL 1.6 L EN LA CIUDAD DE CUENCA”, realizado por Stalin Ederson Berrezueta Cedillo y Joe Paul Cruz Espinoza, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero del 2019



Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, M.Sc

C.I. 0103898995

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Stalin Ederson Berrezueta Cedillo con documento de identificación N° 0705727824, y Joe Paul Cruz Espinoza con documento de identificación N° 0706110350, autores del Trabajo de Titulación: “LEVANTAMIENTO DE UNA BASE DE DATOS DEL COMPORTAMIENTO DE EMISIONES VEHICULARES Y SU RELACIÓN CON PID’S EN 3 VEHÍCULOS DE LA CATEGORÍA M1 CON CILINDRADA MENOR O IGUAL 1.6 L EN LA CIUDAD DE CUENCA”, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, enero del 2019



Stalin Ederson Berrezueta Cedillo

C.I. 0705727824



Joe Paul Cruz Espinoza

C.I. 0706110350

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo a mi Dios, a mi familia por su apoyo incondicional, siendo mi razón principal de superarme, en especial agradezco a mis padres Julio Berrezueta y Raquel Cedillo, ya que con su trabajo duro me han apoyado en el proceso de llegar a una meta importante en mi vida.

A mi hermana Glenda Berrezueta que ha sido como mi segunda madre dándome siempre consejos positivos en la vida diaria.

Por otro lado quiero agradecer a mis amigos, maestros, en específico a mi compañero de tesis que me ha brindado su amistad durante todo el proceso académico de ingeniería y las personas en general que de una u otra forma supieran darme una mano en cualquier dificultad presentada.

Por ultimo al ingeniero Néstor Rivera, cumpliendo un papel más allá de tutor de tesis, brindándome la confianza para llevar a cabo este tema de investigación.

Stalin Berrezueta.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, quiero agradecer a Dios por haberme brindado la mejor Mamá de mundo y por haberme permitido culminar unas de mis metas.

Agradezco a mi Mamá por toda su dedicación, esfuerzo, confianza, apoyo y amor incondicional brindado durante todo este camino universitario, que todo lo que tengo y he logrado es gracias a ella.

A toda mi familia por su apoyo y amor incondicional brindado durante mi proceso de formación académica.

A mi nueva familia por la paciencia y apoyo incondicional durante estos seis años de convivir juntos.

A mi Tutor de tesis, Ing. Néstor Rivera M.Sc por brindarme confianza, paciencia y por todo los conocimiento impartidos para llevar a cabo este proyecto.

A mi compañero de tesis por la confianza y el gran apoyo de amistad para el desarrollo de este proyecto.

Y todos mis amigos que alguna u otra forma han formado parte de este trabajo.

Joe

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a mi familia de mi humilde hogar que ha sido como un equipo de trabajo apoyándome en esta etapa de mi vida por terminar mi carrera universitaria.

Stalin Berrezueta.

DEDICATORIA

Este trabajo de grado, lo dedico primordialmente a mi Súper Mamá, por ser ese pilar fundamental en mi vida, ese apoyo insaciable para salir adelante ante toda situación, ese amor incondicional durante todos mis años de vida y es un ejemplo de dedicación y sacrificio.

A mis abuelitos, por ser un apoyo incondicional durante todo el transcurso de mi formación profesional y vida cotidiana.

Y a toda mi familia, por creer en mí.

Joe

RESUMEN

En el presente proyecto se muestra el estudio del comportamiento de las emisiones vehiculares y su relación con los PID's en tres vehículos dentro de la ciudad de Cuenca, para ello se toma en cuenta la tipología de los microciclos para disminuir el porcentaje de error en la toma de datos, con en el fin de determinar un modelo matemático que estime los porcentajes de las emisiones contaminantes.

En la fase 1 se realiza el diseño experimental, en donde se detalla los equipos a utilizar, las variables que intervienen en proceso y el protocolo que se toma en cuenta para la adquisición de datos.

En la fase 2 se procede a la comprobación de los datos adquiridos en las corridas experimentales a través de software Minitab® y se describe el comportamiento de las variables de repuesta con respecto a las variables de entrada.

En la fase 3 se determina los modelos matemáticos que describen el comportamiento de las variables de respuesta para cada uno de los tres vehículos.

Y por último en la fase 4 se construye una red neuronal para la posterior validación de los datos con la ayuda del software Matlab® y así finalmente realizar el levantamiento de la base de datos.

ABSTRACT

This project shows the study of the behavior of vehicular emissions and their relationship with the PID's in three vehicles within the city of Cuenca, for this is taken into account the typology of the microcycles to decrease the percentage of error in the Data-taking, with in order to determine a mathematical model which estimates the percentages of the pollutant emissions

In Phase 1 The experimental design is carried out, where the equipment to be used is detailed, the variables that intervene in process and the protocol that is taken into account for the acquisition of data.

In Phase 2 We proceed to verify the data acquired in the experimental runs through Software Minitab ® and describes the behavior of the variables of response with respect to input variables.

In Phase 3, the mathematical models describing the behavior of the response variables for each of the three vehicles are determined.

And finally in Phase 4 a neural network is built for the subsequent validation of the data with the help of Matlab ® software and thus finally perform the lifting of the database.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PROBLEMA	2
3. OBJETIVOS	3
3.1. OBJETIVO GENERAL	3
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
4.1. Ciclos de conducción	4
4.2. Ciclos de conducción en los Estados Unidos de América.....	6
4.3. Análisis de los ciclos de conducción.....	8
4.4. Formación de conglomerados	8
4.5. Tipología de los microciclos	8
4.6. Emisiones Contaminantes.	9
4.7. Sensores automotrices	11
4.8. Red neuronal artificial	12
5. ESTADO DEL ARTE.....	13
6. MARCO METODOLÓGICO	14
6.1. Fase 1: Realizar la adquisición de datos mediante el desarrollo del diseño experimental. 14	
6.2. Unidad experimental	19
6.3. Adquisición de datos	24
6.4. Procesamiento de datos	25
6.5. Fase 2: Validación de los datos adquiridos.	28
6.6. Análisis de las gráficas del vehículo Chevrolet Aveo Emotion 1.6L.....	48
6.7. Análisis de las gráficas del vehículo Hyundai Accent 1.6L.....	63
6.8. Análisis de las gráficas del vehículo Kia Picanto R TM 1L.....	78
6.9. Fase 3: Caracterización del modelo matemático del comportamiento de las emisiones contaminantes y los PID's.....	93

6.10.	Fase 4: Análisis de resultados mediante redes neuronales	109
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	160
7.1.	Conclusiones	160
7.2.	Recomendaciones.....	161
8.	Referencias.....	162
9.	Anexos.....	164

TABLA DE ILUSTRACIONES

Figura 4.1.1. Ciclo de conducción Modal NEDC	5
Figura 4.1.2. Ciclo de conducción Transitorio FTP-75.....	5
Figura 4.5.1. Tipología de los microciclos.....	9
Figura 4.6.1. Proceso de combustión	10
Figura 6.1.1. Factores de inferencia	14
Figura 6.1.2. Diagrama de flujo	15
Figura 6.2.1 Inversor de corriente.....	19
Figura 6.2.2 Analizador de gases.....	20
Figura 6.2.3. Freematics.....	21
Figura 6.2.4. Chevrolet Aveo Emotion 1.6L.....	22
Figura 6.2.5. Kia Picanto R TM 1L	23
Figura 6.2.6. Hyundai Accent 1.6L.....	24
Figura 6.3.1. Protocolo de medición.....	25
Figura 6.4.1. PID's del VSS.....	26
Figura 6.4.2. Microciclo.....	26
Figura 6.4.3. Igualación de muestra.....	27
Figura 6.5.1. Residuos versus valores ajustados del NO_x	28
Figura 6.5.2. Grafica de interacción del NO_x	29
Figura 6.5.3. Residuos versus valores ajustados del O_2	30
Figura 6.5.4. Gráficas de interacción del O_2	30
Figura 6.5.5. Residuos versus valores ajustados del CO_2	31
Figura 6.5.6. Gráficas de interacción del CO_2	32
Figura 6.5.7. Residuos versus valores ajustados de los HC.....	33
Figura 6.5.8. Gráficas de interacción de los HC.....	33
Figura 6.5.9. Residuos versus valores ajustados del CO.....	34
Figura 6.5.10. Gráficas de interacción del CO.....	35
Figura 6.5.11. Residuos versus valores ajustados del NO_x	36
Figura 6.5.12. Residuos versus valores ajustados del O_2	37
Figura 6.5.13. Gráficas de interacción del O_2	37
Figura 6.5.14. Residuos versus Valores ajustados del CO_2	38
Figura 6.5.15. Gráficas de interacción del CO_2	39
Figura 6.5.16. Residuos versus valores ajustados de los HC.....	40
Figura 6.5.17. Gráficas de interacción de los HC.....	40
Figura 6.5.18. Residuos versus valores ajustados	41
Figura 6.5.19. Residuos versus valores ajustados del NOX	42
Figura 6.5.20. Gráficas de interacción del NOX	43
Figura 6.5.21. Residuos versus valores ajustados del O_2	44
Figura 6.5.22. Residuos versus valores ajustados del CO_2	45
Figura 6.5.23. Gráficas de interacción del CO_2	45
Figura 6.5.24. Residuos versus valores ajustados de los HC.....	46
Figura 6.5.25. Gráficas de interacción de los HC.....	47
Figura 6.5.26. Residuos versus valores ajustados del CO.....	48
Figura 6.6.1. Microciclo 1.....	49
Figura 6.6.2. NO_x -VSS-RPM.....	49
Figure 6.6.3. NO_x -VSS-ACELERACIÓN.....	50
Figura 6.6.4. CO-VSS-RPM	51

Figura 6.6.5. CO-VSS-ACELERACIÓN.....	51
Figura 6.6.6. CO ₂ -VSS-RPM.....	52
Figura 6.6.7. . CO ₂ -VSS ACELERACIÓN	53
Figura 6.6.8. HC-VSS-RPM	53
Figura 6.6.9. HC-VSS-ACELERACIÓN.....	54
Figura 6.6.10. O ₂ -VSS-RPM.....	55
Figura 6.6.11. O ₂ -VSS-ACELERACIÓN.	55
Figura 6.6.12. Microciclo 2.....	56
Figura 6.6.13. NO _x -VSS-RPM.....	56
Figura 6.6.14. NO _x -VSS-ACELERACIÓN.	57
Figura 6.6.15. CO-VSS-RPM.	58
Figura 6.6.16. CO-VSS-ACELERACIÓN.....	58
Figura 6.6.17. . CO ₂ -VSS-RPM.....	59
Figura 6.6.18. . CO ₂ -VSS-ACELERACIÓN.....	60
Figura 6.6.19. HC-VSS-RPM	60
Figura 6.6.20. HC-VSS-ACELERACIÓN.....	61
Figura 6.6.21. O ₂ -VSS-RPM.....	62
Figura 6.6.22. O ₂ -VSS-ACELERACIÓN.	62
Figura 6.7.1. Microciclo 1.....	63
Figura 6.7.2. NO _x -VSS-RPM.....	64
Figura 6.7.3. NO _x -VSS-ACELERACIÓN.	64
Figura 6.7.4. CO-VSS-RPM.	65
Figure 6.7.5. CO-VSS-ACELERACIÓN.....	66
Figura 6.7.6. . CO ₂ -VSS-RPM.....	66
Figura 6.7.7. . CO ₂ -VSS-ACELERACIÓN.....	67
Figura 6.7.8. HC.VSS-RPM.....	68
Figura 6.7.9. HC-VSS-ACELERACIÓN.....	68
Figura 6.7.10. O ₂ -VSS-RPM.....	69
Figura 6.7.11. O ₂ -VSS-ACELERACIÓN	70
Figura 6.7.12. Microciclo 2.....	70
Figura 6.7.13. NO _x -VSS-RPM.....	71
Figura 6.7.14. NO _x -VSS-ACELERACIÓN.	71
Figura 6.7.15. CO-VSS-RPM	72
Figura 6.7.16. CO-VSS-ACELERACIÓN.....	73
Figura 6.7.17. . CO ₂ -VSS-RPM.....	74
Figura 6.7.18. . CO ₂ -VSS-ACELERACIÓN.....	75
Figura 6.7.19. HC-VSS-RPM	76
Figura 6.7.20. HC-VSS-ACELERACIÓN.....	76
Figura 6.7.21. O ₂ -VSS-RPM.....	77
Figura 6.7.22. O ₂ -VSS-ACELERACIÓN.	78
Figura 6.8.1. Microciclo 1.....	79
Figura 6.8.2. NO _x -VSS-RPM.....	79
Figura 6.8.3. NO _x -VSS-MAP.....	80
Figura 6.8.4. CO-VSS-RPM.	81
Figura 6.8.5. CO-VSS-MAP	81
Figura 6.8.6. HC-VSS-RPM.	82
Figura 6.8.7. HC-VSS-MAP.	83

Figura 6.8.8. . <i>CO2</i> -VSS-RPM.....	83
Figura 6.8.9. . <i>CO2</i> -VSS-MAP	84
Figura 6.8.10. <i>O2</i> -VSS-RPM.....	85
Figura 6.8.11. <i>O2</i> -VSS-MAP.....	85
Figura 6.8.12. Microciclo 2.....	86
Figura 6.8.13. <i>NOx</i> -VSS-RPM.....	86
Figura 6.8.14. <i>NOx</i> -VSS-MAP.....	87
Figura 6.8.15. CO-VSS-RPM	88
Figura 6.8.16. CO-VSS-MAP.....	88
Figura 6.8.17. HC-VSS-RPM.....	89
Figura 6.8.18. HC-VSS-MAP	90
Figura 6.8.19. . <i>CO2</i> -VSS-RPM.....	90
Figura 6.8.20. . <i>CO2</i> -VSS-MAP.....	91
Figura 6.8.21. <i>O2</i> -VSS-RPM.....	92
Figura 6.8.22. <i>O2</i> -VSS-RPM.....	92
Figura 6.9.1. Modelo matemático del <i>NOx</i> -1.....	94
Figura 6.9.2. Modelo Matemático del CO-1.....	95
Figura 6.9.3. Modelo matemático del <i>CO2</i> - 1.....	96
Figura 6.9.4. Modelo matemático de lo HC-1.....	97
Figura 6.9.5. Modelo matemático del <i>O2</i> -1.....	98
Figura 6.9.6. Modelo matemático del <i>NOx</i> -2.....	99
Figura 6.9.7. Modelo matemático del CO-2.....	100
Figura 6.9.8. Modelo matemático del <i>CO2</i> -2.....	101
Figura 6.9.9. Modelo matemático de los HC-2.....	102
Figura 6.9.10. Modelo matemático del <i>O2</i> -2	103
Figura 6.9.11. Modelo matemático del <i>NOx</i> -3.....	104
Figura 6.9.12 Modelo matemático del CO-3.....	105
Figura 6.9.13. Modelo matemático del <i>CO2</i> -3.....	106
Figura 6.9.14. Modelo matemático de los HC-3.....	107
Figura 6.9.15. Modelo matemático del <i>O2</i> -3.....	108
Figura 6.10.1. Modelo de la Red Neuronal.....	109
Figura 6.10.2 Datos de importación.....	110
Figura 6.10.3 Performance Del Chevrolet Aveo-CO.....	111
Figura 6.10.4 Regresión del Chevrolet Aveo – CO	111
Figura 6.10.5 Histograma del Chevrolet Aveo – CO.....	112
Figura 6.10.6 Gradiente Del Chevrolet Aveo – CO.....	112
Figura 6.10.7 Performance Del Chevrolet Aveo - <i>CO2</i>	113
Figura 6.10.8 Regresión Del Chevrolet Aveo - <i>CO2</i>	114
Figura 6.10.9 Histograma Del Chevrolet Aveo - <i>CO2</i>	115
Figura 6.10.10 Gradiente Del Chevrolet Aveo - <i>CO2</i>	115
Figura 6.10.11 Performance Del Chevrolet Aveo – HC	116
Figura 6.10.12 Regresión Del Chevrolet Aveo – HC	117
Figura 6.10.13 Histograma Del Chevrolet Aveo – HC.....	117
Figura 6.10.14 Gradiente Del Chevrolet Aveo – HC.....	118
Figura 6.10.15 Performance Del Chevrolet Aveo - <i>O2</i>	119
Figura 6.10.16 Regresión Del Chevrolet Aveo - <i>O2</i>	119
Figura 6.10.17 Histograma Del Chevrolet Aveo - <i>O2</i>	120

Figura 6.10.18	Gradiente Del Chevrolet Aveo - <i>O2</i>	121
Figura 6.10.19	Performance Del Chevrolet Aveo – <i>NOx</i>	121
Figura 6.10.20	Regresión Del Chevrolet Aveo – <i>NOx</i>	122
Figura 6.10.21	Histograma Del Chevrolet Aveo – <i>NOx</i>	123
Figura 6.10.22	Gradiente Del Chevrolet Aveo – <i>NOx</i>	123
Figura 6.10.23	Performance Del Hyundai Accent – <i>CO</i>	124
Figura 6.10.24	Regresión Del Hyundai Accent - <i>CO</i>	125
Figura 6.10.25	Histograma Del Hyundai Accent – <i>CO</i>	126
Figura 6.10.26	Gradiente Del Hyundai Accent – <i>CO</i>	126
Figura 6.10.27	Performance Del Hyundai Accent - <i>CO2</i>	127
Figura 6.10.28	Regresión Del Hyundai Accent - <i>CO2</i>	128
Figura 6.10.29	Histograma Del Hyundai Accent - <i>CO2</i>	128
Figura 6.10.30	Gradiente Del Hyundai Accent - <i>CO2</i>	129
Figura 6.10.31	Performance Del Hyundai Accent – <i>HC</i>	130
Figura 6.10.32	Regresión Del Hyundai Accent - <i>HC</i>	130
Figura 6.10.33	Histograma Del Hyundai Accent – <i>HC</i>	131
Figura 6.10.34	Gradiente Del Hyundai Accent - <i>HC</i>	132
Figura 6.10.35	Performance Del Hyundai Accent - <i>O2</i>	132
Figura 6.10.36	Regresión Del Hyundai Accent - <i>O2</i>	133
Figura 6.10.37	Histograma Del Hyundai Accent - <i>O2</i>	133
Figura 6.10.38	Gradiente Del Hyundai Accent - <i>O2</i>	134
Figura 6.10.39	Performance Del Hyundai Accent – <i>NOx</i>	135
Figura 6.10.40	Regresión Del Hyundai Accent – <i>NOx</i>	135
Figura 6.10.41	Histograma Del Hyundai Accent – <i>NOx</i>	136
Figura 6.10.42	Gradiente Del Hyundai Accent – <i>NOx</i>	136
Figura 6.10.43	Performance Del Kia Picanto – <i>CO</i>	137
Figura 6.10.44	Regresión Del Kia Picanto – <i>CO</i>	138
Figura 6.10.45	Histograma Del Kia Picanto – <i>CO</i>	138
Figura 6.10.46	Gradiente Del Kia Picanto - <i>CO</i>	139
Figura 6.10.47	Performance Del Kia Picanto - <i>CO2</i>	140
Figura 6.10.48	Regresión Del Kia Picanto - <i>CO2</i>	140
Figura 6.10.49	Histograma Del Kia Picanto - <i>CO2</i>	141
Figura 6.10.50	Gradiente Del Kia Picanto - <i>CO2</i>	142
Figura 6.10.51	Performance Del Kia Picanto – <i>HC</i>	142
Figura 6.10.52	Regresión Del Kia Picanto – <i>HC</i>	143
Figura 6.10.53	Histograma Del Kia Picanto – <i>HC</i>	144
Figura 6.10.54	Gradiente Del Kia Picanto – <i>HC</i>	144
Figura 6.10.55	Performance Del Kia Picanto - <i>O2</i>	145
Figura 6.10.56	Regresión Del Kia Picanto - <i>O2</i>	146
Figura 6.10.57	Histograma Del Kia Picanto - <i>O2</i>	146
Figura 6.10.58	Gradiente Del Kia Picanto - <i>O2</i>	147
Figura 6.10.59	Performance Del Kia Picanto – <i>NOx</i>	148
Figura 6.10.60	Regresión Del Kia Picanto – <i>NOx</i>	148
Figura 6.10.61	Histograma Del Kia Picanto – <i>NOx</i>	149
Figura 6.10.62	Gradiente Del Kia Picanto – <i>NOx</i>	150
Figura 6.10.63	Simulación <i>CO</i> del Chevrolet Aveo	150
Figura 6.10.64	Simulación <i>CO2</i> del Chevrolet Aveo	151

Figura 6.10.65. Simulación HC del Chevrolet Aveo	151
Figura 6.10.66. Simulación O2 del Chevrolet Aveo	152
Figura 6.10.67. Simulación NOx del Chevrolet Aveo	152
Figura 6.10.68. Simulación CO del Hyundai Accent	153
Figura 6.10.69. Simulación CO2 del Hyundai Accent	153
Figura 6.10.70. Simulación HC del Hyundai Accent	154
Figura 6.10.71. Simulación O2 del Hyundai Accent	154
Figura 6.10.72. Simulación NOx del Hyundai Accent	155
Figura 6.10.73. Simulación CO del Kia Picanto	156
Figura 6.10.74. Simulación CO2 del Kia Picanto	156
Figura 6.10.75. Simulación HC del Kia Picanto	157
Figura 6.10.76. Simulación O2 del Kia Picanto	157
Figura 6.10.77. Simulación NOx del Kia Picanto	158
Figura 9.7.2.1 Microciclo 1	164
Figura 9.7.2.2. Microciclo 2	164
Figura 9.7.2.3. Microciclo 3	165
Figura 9.7.2.4. Microciclo 4	165
Figura 9.7.2.5. Microciclo 5 ^a	166
Figura 9.7.2.6. Microciclo 5B	166
Figura 9.7.2.7. Microciclo 6 ^a	167
Figura 9.7.2.8. Microciclo 6B	167
Figura 9.7.2.9. Microciclo 7	168
Figura 9.7.2.10. Microciclo 8	168
Figura 9.7.2.11. Microciclo 9	169
Figura 9.7.2.12. Microciclo 10	169
Figura 9.7.2.13. Instalación de los equipos de medición de RPM	170
Figura 9.7.2.14. Instalación de Analizador de Gases	170

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características del Ciclo FTP-75 Fuente: (Quinchimbla & Solis, 2017)	7
Tabla 2. Variables de entrada. Fuente: Autores	16
Tabla 3. Variables de bloqueo. Fuente: Autores	17
Tabla 4. Variables de ruido. Fuente: Autores.....	17
Tabla 5. Variables de respuesta. Fuente: Autores	18
Tabla 6. Características del Inversor de corriente. Fuente: Autores.....	19
Tabla 7. Rangos de medición. Fuente: Autores.....	20
Tabla 8. Lista de PID's. Fuente: Autores	21
Tabla 9. Características del Chevrolet Aveo Emotion 1.6L. Fuente: Autores	22
Tabla 10. Características del Kia Picanto 1L. Fuente: Autores.....	23
Tabla 11. Características del Hyundai Accent 1.6L. Fuente: Autores	24
Tabla 12 Resultados de la RNA del coeficiente de determinación, Fuente: Autores.....	158
Tabla 13 Resultados de la simulación de RNA, Fuente: Autores	159

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el parque automotor ha tenido un crecimiento considerable, este aumento sobrelleva a una mayor utilización de combustible, por lo que se genera una mayor cantidad de gases contaminantes, también hay que tomar en cuenta que cada vehículo consta con diferentes sistemas para el control de emisiones.

La importancia de este proyecto es el análisis de los gases contaminantes vinculados al estilo de conducción, con el cual se puede caracterizar un modelo matemático, de tal forma que se pueda estimar la concentración de contaminantes en determinadas condiciones de funcionamiento.

Para la simulación de los estilos de conducción se lleva a cabo el estudio de microciclos para reducir el error en la obtención de datos, de tal manera que se pueda realizar una adecuada estimación del comportamiento de las emisiones contaminantes y su relación con los PID's.

2. PROBLEMA

En el Ecuador la participación de las marcas de vehículos más comerciables son Chevrolet con 36%, Kia con 19 % y Hyundai con 11%. (AEADE, 2018); de tal manera que el parque automotor es considerado heterogéneo dentro del país, por lo tanto no todos los vehículos contaminan igual, ya que, cada vehículo tiene diferentes sistemas para el control de emisiones contaminantes, es por ello que actualmente no se lleva una estimación adecuada del impacto del parque automotor sobre la calidad del aire en el país, en referencia a la ciudad de Cuenca la metodología COPERT utilizada en el inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca 2014 (EMOV, 2014), no estima las emisiones en frío, tampoco toma en cuenta la altura de la región con respecto al nivel del mar y considera que las características tecnológicas de los vehículos es la misma (Urgiles, 2017), por ello el levantamiento de datos vigente no permite establecer la cantidad de contaminantes emitidos hacia el ambiente en la ciudad de Cuenca con respecto a los vehículos automotores bajo las condiciones antes mencionadas, por lo tanto, tienen un alto grado de incertidumbre.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Generar una base de datos del comportamiento de emisiones vehiculares y su relación con PID's mediante la caracterización de un modelo matemático para 3 vehículos de la categoría M1 con cilindrada menor o igual 1.6 L en la ciudad de Cuenca.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la adquisición de datos mediante el desarrollo del diseño experimental.
- Comprobar los datos obtenidos mediante métodos estadísticos.
- Caracterizar el comportamiento de emisiones contaminantes vehiculares y su relación con PID's mediante un modelo matemático.
- Establecer los resultados obtenidos mediante métodos estadísticos multivariantes para el levantamiento de la base de datos.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1. Ciclos de conducción

Los ciclos de conducción son utilizados para realizar ensayos de consumos de combustible y emisiones contaminantes (CO₂, HC, NO_x) y estos resultados obtenidos conjeturan una gran influencia sobre las ventas de un determinado automóvil según (Quinchimbla & Solis, 2017).

Según (Quinchimbla & Solis, 2017) la representación de un conjunto de puntos de la velocidad de un vehículo versus el tiempo se denomina un ciclo de conducción. Este ciclo de conducción puede ser representado en un dinamómetro para la recopilación y análisis de emisiones contaminantes de vehículo para después evaluar el porcentaje de emisiones del mismo.

(Roman, 2014) Comenta que, los ciclos son importantes porque permiten replicar características cinemáticas de un recorrido, además son utilizados para calcular factores de emisión. Estos ciclos cinemáticos pueden clasificarse según a tres criterios:

- Según el ámbito de circulación: urbano, extraurbano o mixto.
- Según el tipo de vehículos que tratan de reproducir: ciclos genéricos, ciclos característicos para turismo, ciclos de autobuses, etc.
- Según el método utilizado en su construcción.

Los ciclos de conducción pueden dividirse en modales o transitorios, de los cuales los modales son aquellos donde hay lapsos de tiempo prolongado a velocidad constante, como lo es el ciclo europeo NEDC, (ver figura 4.1.1) y los transitorio o ciclos reales en los cuales la velocidad puede variar en cada segundo, como el ciclo FTP-75, (ver figura 4.1.2). La principal diferencia es que en el ciclo modal, los trayectos tomados de la ruta hacen que exista

aceleración lineal con períodos de velocidad constante y no representa el comportamiento real del conductor, mientras que en el ciclo transitorio se aprecia mejor los cambios de las aceleraciones, representativo de las condiciones reales de conducción durante el recorrido, de acuerdo a (Quinchimbla & Solis, 2017).

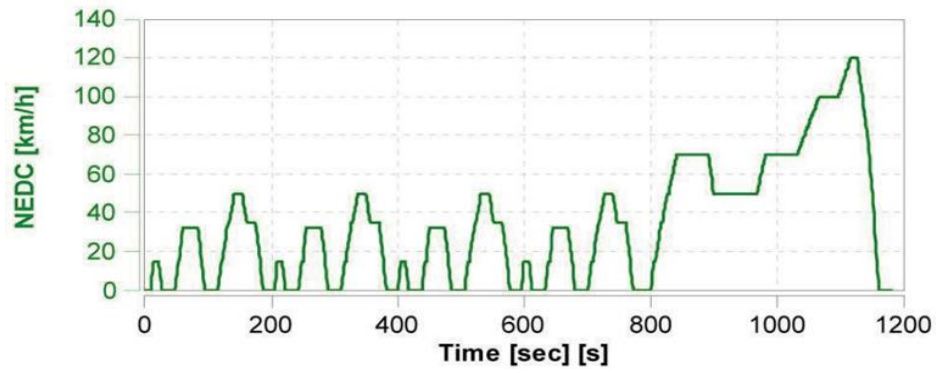


Figura 4.1.1. Ciclo de conducción Modal NEDC

Fuente: (Quinchimbla & Solis, 2017).

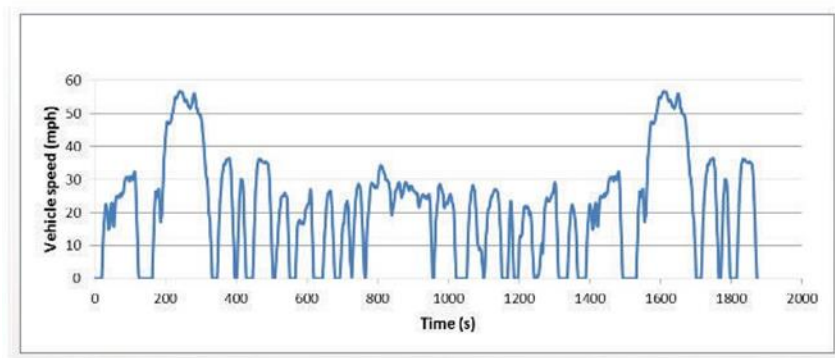


Figura 4.1.2. Ciclo de conducción Transitorio FTP-75.

Fuente: (Quinchimbla & Solis, 2017)

De acuerdo a su clasificación, los ciclos de conducción se dividen en legislativos y en no legislativos.

- Los ciclos que controlan las emisiones contaminantes que provienen de los motores a combustión se denominan legislativos.
- Los ciclos aplicados para el análisis de consumo de combustible y emisiones contaminantes del motor, dentro de laboratorios se denominan no legislativos. (Pérez & Quito, 2018).

4.1.1. Ciclos específicos

(Roman, 2014) comenta que, algunos vehículos presentan ciclos de operación característicos, por lo que puede resultar más preciso el uso de ciclos específicos.

La representación de las condiciones de manejo real de los automóviles y la realización de una amplia diversidad de escenarios de conducción, se denomina ciclos ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Model and Inventory System) establecido por la comisión Europea. Estos contemplan ciclos específicos para tráfico urbano, vías rurales y autovías, con una estructura de subciclos que permiten su clasificación según condiciones de manejo específicas. Los patrones son construidos a partir de la identificación de 12 conglomerados obtenidos mediante estudio factorial para lograr representar apropiadamente la alta diversidad de las condiciones de manejo según (Roman, 2014).

4.2. Ciclos de conducción en los Estados Unidos de América

Según (Pérez & Quito, 2018) en los Estados Unidos de América, se estableció el ciclo de conducción más importante del mundo como lo es el FTP (Federal Test Procedure), de este se deriva el FTP-72 y el FTP-75, su motivo de creación fue para un mayor control de emisiones contaminantes provenientes de los automotores en el país mencionado.

4.2.1. Ciclo de ensayo FTP-72

Lo que realiza este ciclo es simular una ruta urbana de 12,07 km con paradas frecuentes. La velocidad máxima es de 91,26 km/h y la velocidad promedio es de 31,6 km/h de acuerdo a (Pérez & Quito, 2018).

Este ciclo consta de dos fases: la primera de 505 s (5,78 km a 41,2 km/h a velocidad media) empezando con un arranque en frío y la segunda fase 867 s.

4.2.2. Ciclo de ensayo FTP-75

El ciclo FTP-75 es una derivación del FTP-72, en el cual se añade una tercera fase de 505 s, a diferencia de la primera fase del FTP-72, se inicia con un arranque en caliente, esta tercera fase empieza después de 10 minutos según (Pérez & Quito, 2018).

Así, el ciclo FTP-75 consta de las siguientes características:

Tabla 1. Características del Ciclo FTP-75 Fuente: (Quinchimbla & Solis, 2017)

Distancia	17,77 km
Duración	1874 s
Velocidad promedio	34.1 km/h

Acorde a (Quinchimbla & Solis, 2017) en el Ecuador, desde el año 2002, el ciclo de prueba FTP-75 fue adoptado por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204 (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2002).

4.3. Análisis de los ciclos de conducción.

Como indica (Roman, 2014) los ciclos cinemáticos constan de zonas de movimiento y zonas de paradas, la evolución de la velocidad entre dos paradas consecutivas se lo denomina microciclos, por lo cual se obtiene ciclos de velocidades poligonales, por lo tanto, los registros continuos se pueden dividir en microciclos compuestos por tramos de velocidad, aceleración y desaceleraciones constantes como se puede observar en la figura 4.5.1.

4.4. Formación de conglomerados

Según (Roman, 2014) los métodos de análisis de datos permiten estudiar registros compuestos por varios datos y extraer información referente a sus características y a las propiedades de su estructura. Estos métodos permiten desarrollar seis tipos de tratamiento de datos: clasificación, estimación, predicción, agrupamiento por afinidad, formación de conglomerados y visualización. Dentro del sector del transporte, las técnicas frecuentemente utilizadas son la formación de conglomerados.

Dentro de la construcción de ciclos, el método empleado es la formación de conglomerados. Los microciclos son identificados utilizando su velocidad media y la proporción del tiempo en parado. Se definen cuatro conglomerados, uno para cada condición de tráfico (urbano congestionado, urbano, extra-urbano y autovía). (Roman, 2014)

4.5. Tipología de los microciclos

Los microciclos pueden ser caracterizados y catalogados en función del número de cambios acontecidos en la pendiente de la función velocidad y del valor de su signo. En la

Figura 4.5.1. Se indica la estructura gráfica de los principales tipos de microciclos referidos al diagrama velocidad-tiempo (Roman, 2014).













Tipología	Morfología	Tipología	Morfología
1		6A	
2		6B	
3		7	
4		8	
5A		9	
5B		10	

Figura 4.5.1. Tipología de los microciclos.

Fuente: (Roman, 2014).

4.6. Emisiones Contaminantes.

Según (Dani, 2014) establece que las energías térmica, solar, eólica e hidráulica son utilizadas en el funcionamiento de diversas máquinas, de las cuales, la más usada es la energía térmica, proveniente de los combustibles orgánicos. Los motores a combustión interna son

los mecanismos energéticos más utilizados, representa aproximadamente un 80 % de la totalidad de la energía producida en el mundo.

4.6.1. Proceso de Combustión

El proceso de combustión es una reacción química que ocurre entre el combustible y el comburente que se encuentra en el aire. La combustión perfecta se obtiene solamente si la mezcla es estequiométrica, es decir cuando se tiene una proporción de 1 gramo de combustible por cada 14,7 g de aire, como se indica en la figura 4.6.1, esta combustión expulsa hacia la atmósfera gases no tóxicos como: dióxido de carbono (CO_2), nitrógeno (N_2) y agua (H_2O) según establece (Sánchez, 2009).



Figura 4.6.1. Proceso de combustión

Fuente: (Sánchez, 2009)

El funcionamiento de un motor Otto experimenta varios estados, por lo cual no se consigue una mezcla estequiométrica, es decir se obtiene una combustión incompleta, esto produce gases tóxicos tales como: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NO_x) entre otros.

- **Monóxido de carbono (CO)**

Es un gas inherente, inodoro e incoloro a todo tipo de combustión, es perjudicial para la salud humana ya que prohíbe la absorción de oxígeno, es tóxico y produce asfixia. (Arias & Ludeña, 2018)

- **Hidrocarburos (HC)**

Se forman cuando existe una excesiva cantidad de gasolina en la mezcla, como consecuencia de una combustión incompleta. (Arias & Ludeña, 2018)

- **Óxidos de nitrógeno (NO_x)**

Es el conjunto de óxidos nítricos y nitrosos, en los motores se genera el monóxido de nitrógeno (NO) el cual reacciona y se transforma en dióxido de nitrógeno (NO_2) el cual es un gas irritante que tiene un grado perjudicial en la salud humana. (Arias & Ludeña, 2018).

4.7. Sensores automotrices

En la actualidad los vehículos constan de una gran cantidad de sensores, los cuales son necesarios para la gestión electrónica del automóvil y a su vez gestionan el funcionamiento del motor a través de las unidades de control, así como la seguridad y el confort del vehículo. (Medina, 2018)

Los sensores son unidades que captan la posición, caudal, oxígeno, rotaciones, temperatura, aceleración y otras magnitudes fundamentales en el vehículo, y convierten esos fenómenos en señales eléctricas. (Cisneros, 2014)

Estas señales eléctricas son recibidas por la unidad de control y a su vez son comparadas con datos grabados en sus memorias, de tal manera ordenar a los actuadores determinadas repuestas y así controlar el funcionamiento del motor. (Cisneros, 2014)

4.8. Red neuronal artificial

Un modelo de computación cuya estructura de capas se asemeja a la estructura interconectada de las neuronas en el cerebro se la denomina como una red neuronal, dichas redes entrenadas para que reconozca patrones, clasifique datos y pronostique eventos futuros. (Calvo, 2017)

4.8.1. Desarrollo de una red neuronal en Matlab®

El desarrollo de la red suele implicar los pasos siguientes:

- Acceder a los datos y prepararlos.
- Crear la red neuronal.
- Configurar las entradas y salidas de la red.
- Ajustar los parámetros de la red (las ponderaciones y tendencias) para optimizar el rendimiento.
- Entrenar la red,
- Validar los resultados de la red,
- Integrar la red en un sistema de producción. (MathWorks, 2019)

5. ESTADO DEL ARTE

El estudio realizado por (Roman, 2014) presenta una metodología en donde se reorganiza los vehículos de una flota determinados a una serie de rutas urbanas fijas dentro de la ciudad de Madrid, con la finalidad de reducir sus emisiones contaminantes. El criterio tomando en cuenta para la redistribución de los vehículos consta en determinar qué tecnologías se adaptan mejor a las particularidades de cada ruta, y posteriormente seleccionar los vehículos más apropiados para cada trayecto y así minimizar las emisiones de gases contaminantes.

(Arias & Ludeña, 2018) realizan un estudio donde determinan los niveles de contaminación y consumo de combustible en un vehículo de categoría M1, para ello realiza el estudio de las zonas con mayor porcentaje de vehículos motorizados dentro de la ciudad de Cuenca, para establecer rutas para el desarrollo de la metodología del diseño experimental para la adquisición de datos, con el fin establecer información valiosa sobre la contaminación ambiental y consumo de combustible que produce el congestionamiento vehicular en la ciudad de Cuenca en diferentes días y horarios.

El enfoque elaborado por (Aguilar & Tandazo, 2017) realiza una técnica de análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) en el sistema de inyección del motor de un vehículo, para ello estudian las variables que intervienen en el proceso de desarrollo del diseño experimental, para luego con la ayuda del software Labview, crear un programa para la adquisición de datos del comportamiento del motor con fallas generadas en el mismo (incorrecta dosificación de combustible y bajo voltaje de encendido), para su posterior clasificación y validación, para después establecer un modelo que permitirá solventar la tarea de mantenimiento a efectuar.

6. MARCO METODOLÓGICO

6.1. Fase 1: Realizar la adquisición de datos mediante el desarrollo del diseño experimental.

6.1.1. Planeación de la corrida experimental para la adquisición de datos.

El presente análisis pretende establecer el comportamiento de las emisiones contaminantes y los PID's, a través de la tipología de los microciclos aplicado a tres vehículos, dotados por un motor ciclo Otto, de las marcas más representativas de acuerdo a (Escobar & Gordillo, 2019), mediante el analizador de gases se obtienen los datos de concentración de gases de escape y a través del Freematics se obtienen los datos correspondientes de los PID's de cada sensor del vehículo.

Dentro del proceso de la experimentación interceden elementos que derivan en la marcha del motor, dichos elementos se especifican en: Variables de entrada, Variables de bloqueo, Variables de ruido y Variables de salida, el proceso se lo especifica en la figura 6.1.1. (Arias & Ludeña, 2018)

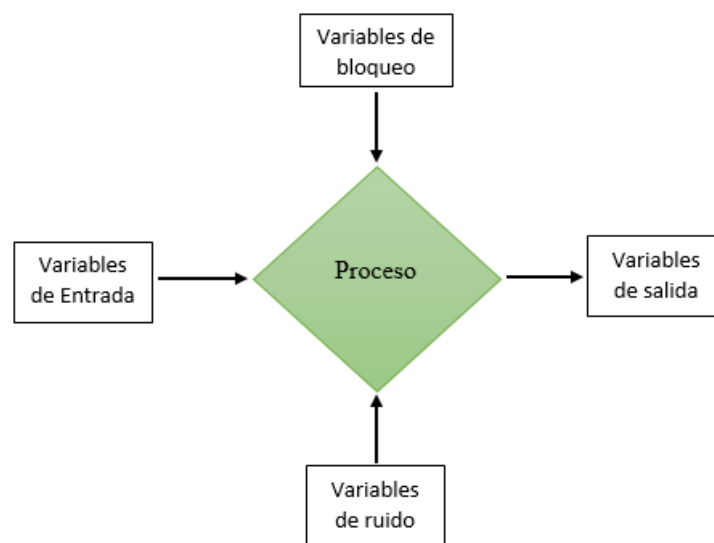


Figura 6.1.1. Factores de inferencia

Fuente: (Aguilar & Tandazo, 2017)

- **Diagrama de flujo del diseño experimental**

En el diagrama de flujo se describe el proceso del diseño experimental para la adquisición de datos da cada vehículo.

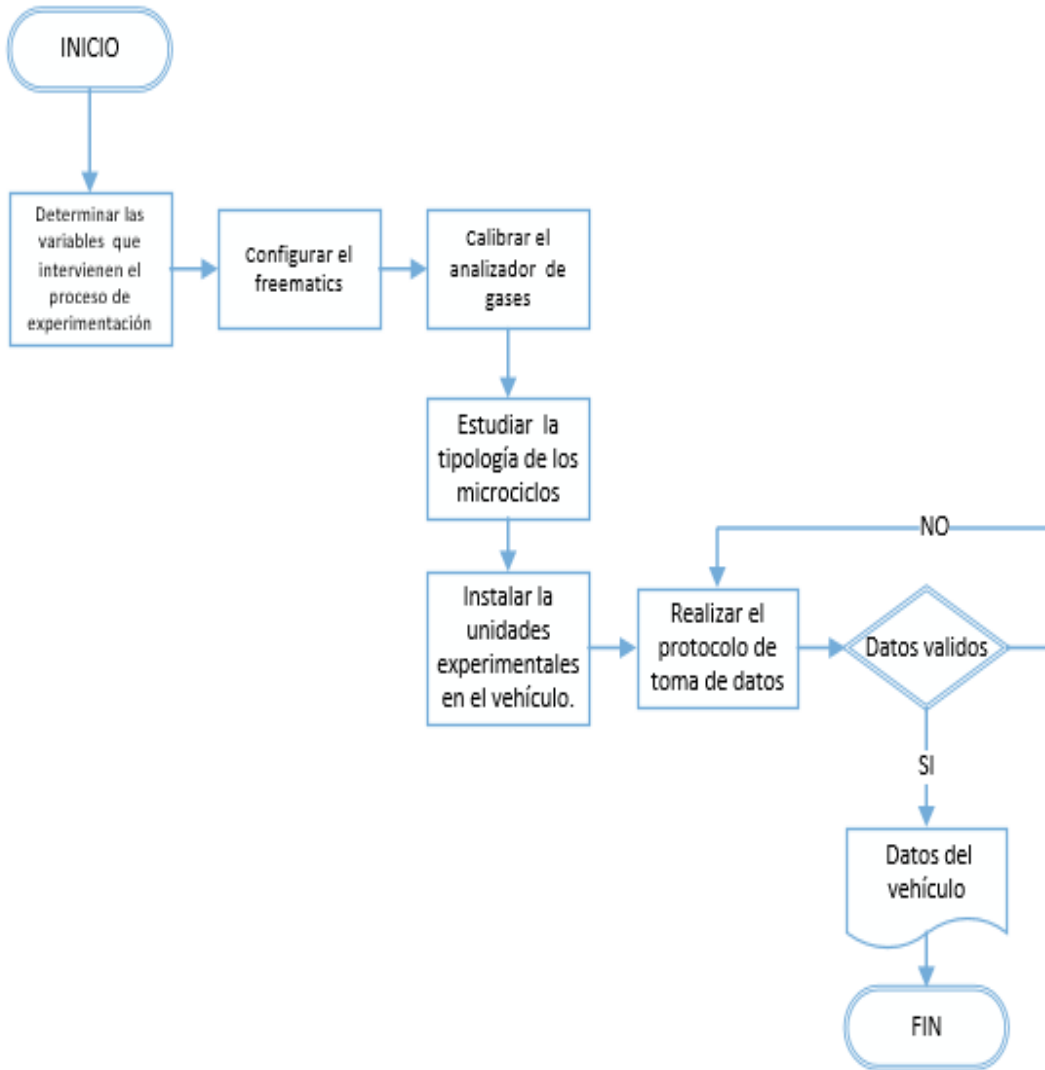


Figura 6.1.2. Diagrama de flujo

Fuente: Autores

6.1.2. Variable de entrada

Denominadas también variables de estudio, son las que afectan directamente las variables de repuesta, estas variables deben ser independientes entre sí, para evitar complicaciones en la elaboración del experimento. (Aguilar & Tandazo, 2017)

Las variables de estudio determinadas para el experimento se indican en la tabla 2.

Tabla 2. Variables de entrada. Fuente: Autores

Variables de entrada	Símbolo	Unidad
Tipo microciclos	Mc	-
Velocidad	V	Km/h

6.1.3. Variables de bloqueo

Conocidas como factores controlables, son variables de entrada que se pueden ubicar en un punto de operación y cuya influencia en las variables de salida no es importante.

Las variables de bloqueo establecidas en el experimento se indican en la tabla 3.

Tabla 3. Variables de bloqueo. Fuente: Autores

Variables de bloqueo	Símbolo	Unidad
Temperatura del refrigerante	T_{ref}	°C
Tipo de motor	Vehículo 1	-
<i>Combustible</i>	Comb	Octanaje

6.1.4. Variables de ruido

Son aquellos factores difíciles de controlar dentro del funcionamiento normal en la ciudad donde se realiza el proyecto, estas variables influyen directamente en las variables de salida, por lo tanto, se pretende eliminar su efecto.

En la tabla 4 se exhiben las variables de ruido establecidas en el estudio.

Tabla 4. Variables de ruido. Fuente: Autores

Variables de ruido	Símbolo	Unidad
Temperatura del aire	T_{aire}	[°C]
Humedad relativa del aire	H_{rel}	[%]
Presión atmosférica	P_{atm}	[Kpa]

6.1.5. Variables de repuesta

Las variables de repuesta son aquellas que cuyo valor se interesa ajustar. El objetivo principal es estudiar diversas formas de operar el proceso en la cual el comportamiento de una o más variables de respuesta.

Las variables de respuesta determinadas para el experimento se exhiben en la tabla 5.

Tabla 5. Variables de respuesta. Fuente: Autores

Variables de respuestas	Símbolo	Unidad
Óxido nitrosos	NO _x	[ppm]
Monóxido de carbono	CO	[%]
Oxígeno	O ₂	[%]
Dióxido de carbono	CO ₂	[%]
Hidrocarburos no combustionados	HC	[ppm]
PID's Map	MAP	[Kpa]

6.2. Unidad experimental

Son aquellos elementos utilizados en el proceso del diseño experimental, para la concepción y adquisición de datos, tales como: el inversor, analizador de gases, automóviles y Freematics.

6.2.1. Inversor

El inversor utilizado para la conversión de voltaje de 12v de corriente continua a 110v de corriente alterna fue el Truper modelo INCO-10 que se muestra en la figura 6.2.1, el cual consta con las siguientes características, como se observa en la tabla 6.



Figura 6.2.1 Inversor de corriente.

Fuente: Autores

Tabla 6. Características del Inversor de corriente. Fuente: Autores

Entrada	12 V	0.45 A
Salida	120 V~	60 Hz 100 W
Puerto USB	5 V	500 mA

6.2.2. Analizador de gases

El equipo utilizado en el proyecto para la adquisición de datos de emisiones contaminantes en los gases de escape del vehículo es un analizador de gases AGS- 688 Brain Bee que se muestra en la figura 6.2.2, este equipo permite medir: dióxido de carbono, hidrocarburos no combustionados, monóxido de carbono, óxidos nitrosos y oxígeno. Una de sus principales características es la conexión vía PC para un posterior análisis de los gases.



Figura 6.2.2 Analizador de gases.

Fuente: Autores

Los rangos de medición del analizador de gases AGS-688 se contemplan en la tabla 7.

Tabla 7. Rangos de medición. Fuente: Autores

Característica	Símbolo	Rango	Sensibilidad
Monóxido de carbono	CO	0-9.99 %	0.01
Dióxido de carbono	CO ₂	0-19.9 %	0.1
Hidrocarburos	HC	0-9999 [ppm]	1
Oxígeno	O ₂	0-25 %	0.01
Lambda	λ	0.5-5	0.001
Óxidos nitrosos	NOx	0-5000 [ppm]	1
Revoluciones por minuto	RPM	300-99990	10
Temperatura	T	20-150 °C	1

6.2.3. Freematics

El dispositivo utilizado para el registro de datos de los sensores de vehículo es el Freematics ONE+ como se muestra en la figura 6.2.3, el cual va conectado en el puerto OBD del vehículo.



Figura 6.2.3. Freematics

Fuente: Autores

A continuación, se presenta la lista de los PID's.

Tabla 8. Lista de PID's. Fuente: Autores

PID's	Unidad	Rango
VSS	[<i>km/h</i>]	0-255
RPM	[Rpm]	0-5500
ECT	[°C]	-40 – 215
MAP	[Kpa]	0-101

6.2.4. Vehículos de prueba

Los vehículos manejados para la obtención de datos fueron: Chevrolet Aveo Emotion 1.6L, Kia Picanto R TM 1L y Hyundai Accent 1.6L.

A continuación, se presentan el vehículo y la ficha técnica del Chevrolet Aveo Emotion 1.6L.



Figura 6.2.4. Chevrolet Aveo Emotion 1.6L

Fuente: Autores

Tabla 9. Características del Chevrolet Aveo Emotion 1.6L. *Fuente: Autores*

Ficha técnica	
Cilindrada	1.6L
# de cilindros	4 en línea
Potencia	103 HP @ 6000 Rpm
Par máximo	144.1 Nm @ 3600 Rpm
Combustible	Gasolina
Relación de compresión	9.5:1
Alimentación	MPI
Distribución	DOHC 16V
Kilometraje	184925 km

Posteriormente el segundo vehículo utilizado para la adquisición de datos fue el Kia Picanto R TM 1L como se contempla en la figura 6.2.5.



Figura 6.2.5. Kia Picanto R TM 1L

Fuente: Autores

La ficha técnica de Kia Picanto R TM 1L se contempla en la tabla 10.

Tabla 10. Características del Kia Picanto 1L. Fuente: Autores

Ficha técnica	
Cilindrada	998 cc
# de cilindros	3 línea
Potencia	69 CV @ 6200 Rpm
Par máximo	95 Nm @ 3500 Rpm
Combustible	Gasolina
Relación de compresión	10.5:1
Sistema de inyección	Multipunto
Distribución	DOHC 12V
Kilometraje	103296 km

Por último, el vehículo utilizado para la adquisición de datos fue Hyundai Accent 1.6L como se contempla en la figura 6.2.6.



Figura 6.2.6. Hyundai Accent 1.6L

Fuente: Autores

La ficha técnica de Hyundai Accent 1.6L se contemplan en la tabla 11.

Tabla 11. Características del Hyundai Accent 1.6L. Fuente: Autores

Ficha técnica	
Cilindrada	1591 cc
# de cilindros	4 línea
Potencia	122 HP @ 6300 Rpm
Par máximo	15.9 Kg*m @ 4200 Rpm
Combustible	Gasolina
Relación de compresión	10.5:1
Sistema de inyección	Multipunto
Distribución	DOHC 16 V
Kilometraje	124422 km

6.3. Adquisición de datos

Para la obtención de datos a través de las corridas experimentales se lleva a cabo el siguiente protocolo de medición para garantizar la adecuada toma de datos.

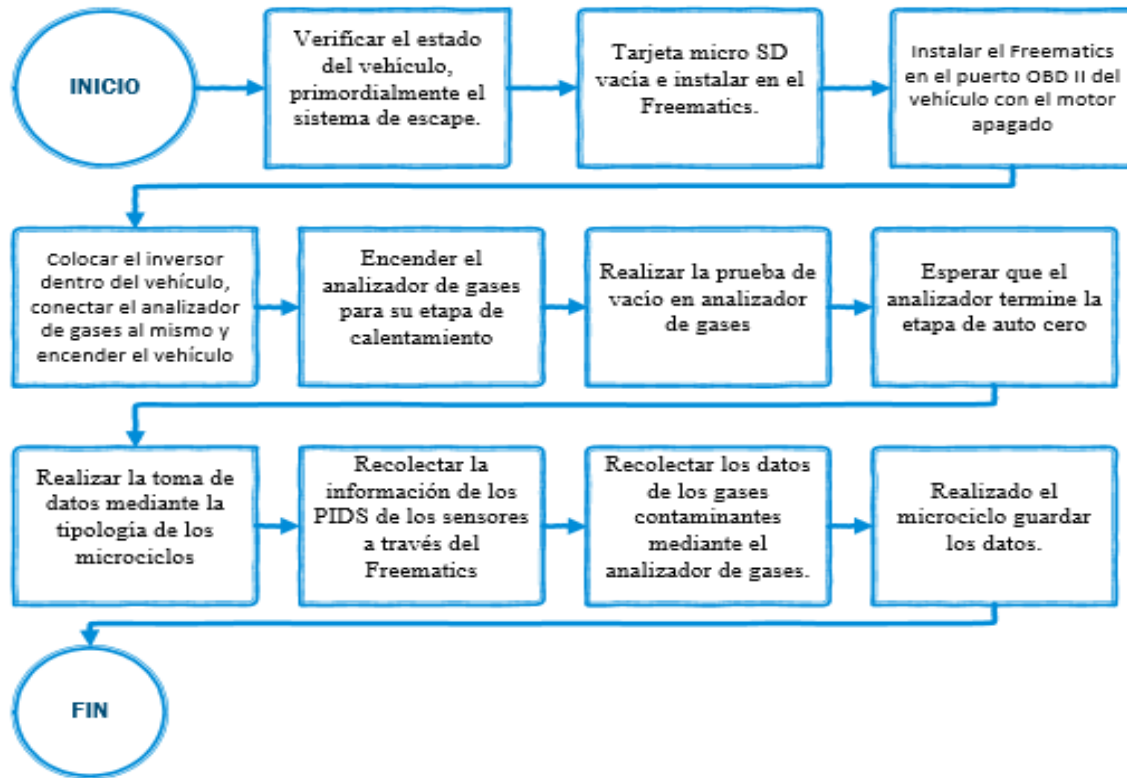


Figura 6.3.1. Protocolo de medición.

Fuente: Autores

Una vez cumplido con el protocolo de medición, se puede formalizar la toma de datos para un posterior análisis.

6.4. Procesamiento de datos

Una vez almacenado los datos de los sensores en el Freematics, para la obtención de las gráficas de los PID's del vehículo se utiliza la programación realizada por (Garate, 2018), con el cual se puede identificar y determinar los microciclos realizados en la corrida experimental a través del software Matlab® como se contempla en la figura 6.4.1.

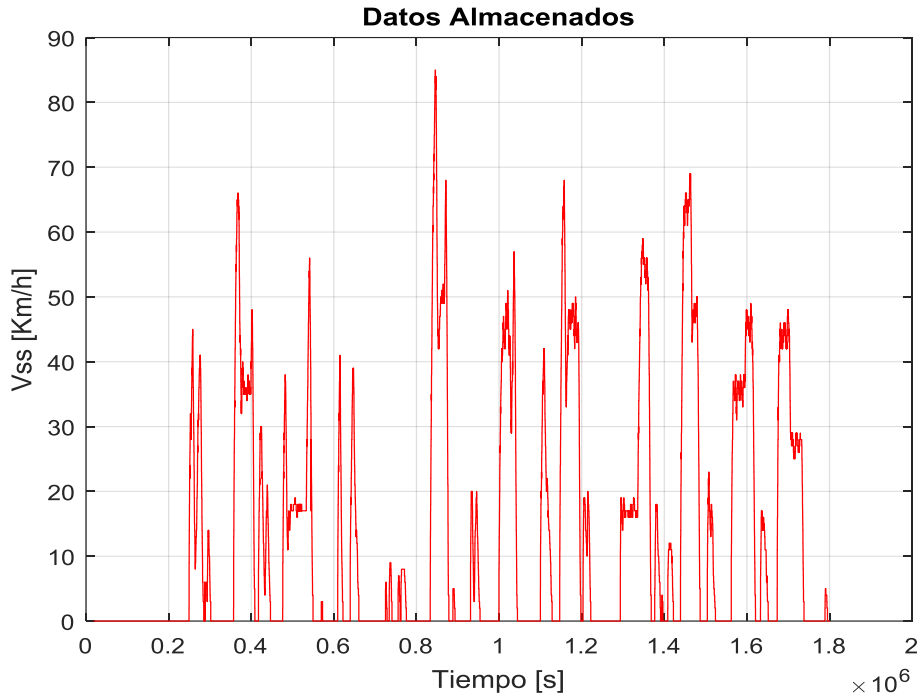


Figura 6.4.1. PID's del VSS.

Fuente: Autores

Posteriormente se procede a realizar el corte de todos los microciclos realizados en la toma de datos de cada vehículo como se contempla en la figura 6.4.2.

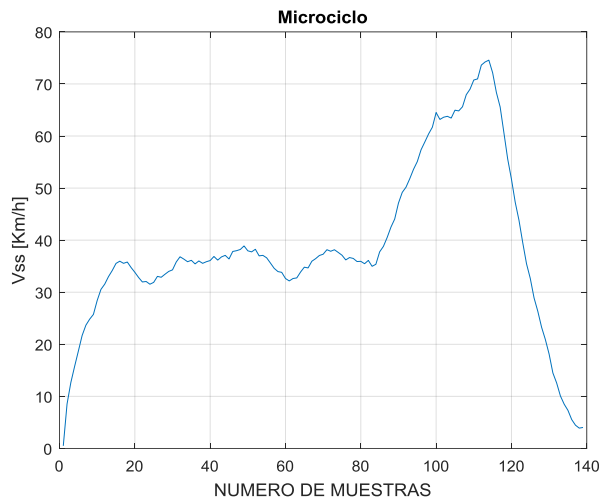


Figura 6.4.2. Microciclo

Fuente: Autores

Debido a que el tiempo de muestreo del Freematics es diferente al del analizador de gases se procedió a igualar el número de muestras de las gráficas obtenidas a través de la corrida experimental, como se muestra en la figura 6.4.3.

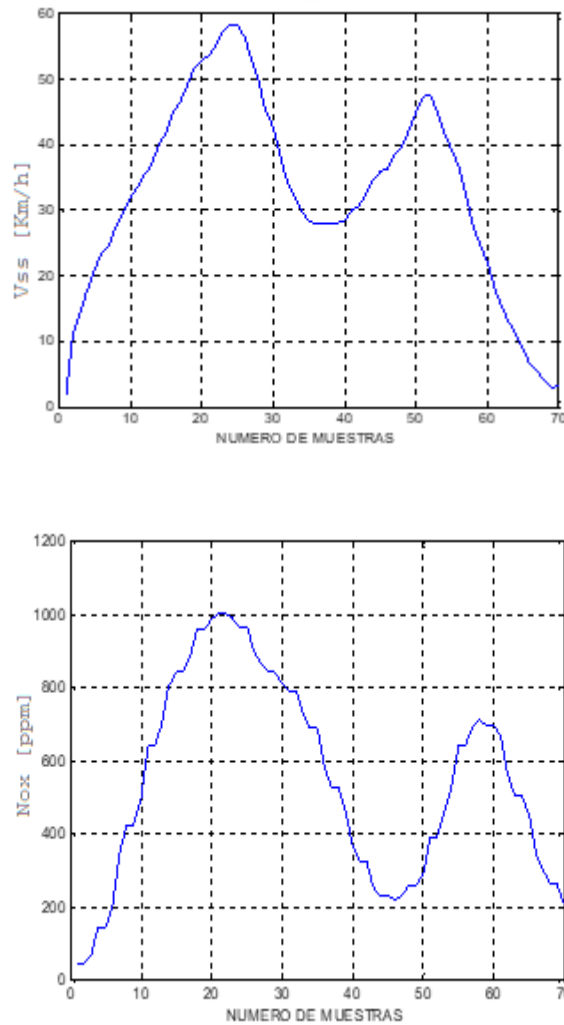


Figura 6.4.3. Igualación de muestra.

Fuente: Autores

Una vez igualada el número de muestras se procede a determinar la correlación que existe entre las diversas variables, para la posterior validación de los datos adquiridos.

6.5. Fase 2: Validación de los datos adquiridos.

Una vez obtenido los datos de la corrida experimental, se realiza la validación de los mismos, con el fin de que no existan valores incoherentes ni atípicos en la toma de datos de cada vehículo.

6.5.1. Comprobación de los datos del Chevrolet Aveo Emotion 1.6L.

Para la comprobación de los datos tomados del analizador de gases se utilizó el software Minitab®.

- NO_x

En la figura 6.5.1 se puede observar que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, también existe una varianza constante y muy pocos valores atípicos, de color rojo se visualizan residuos grandes y de azul residuos poco comunes.

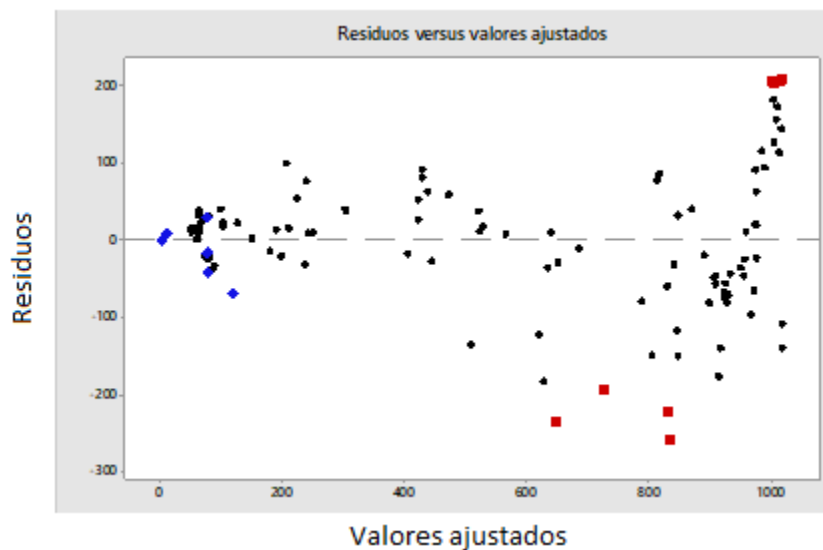


Figura 6.5.1. Residuos versus valores ajustados del NO_x .

Fuente: Autores

En la figura 6.5.2. indica que existe una interacción entre las dos variables de procesos, por tal razón las dos variables influyen en la respuesta.

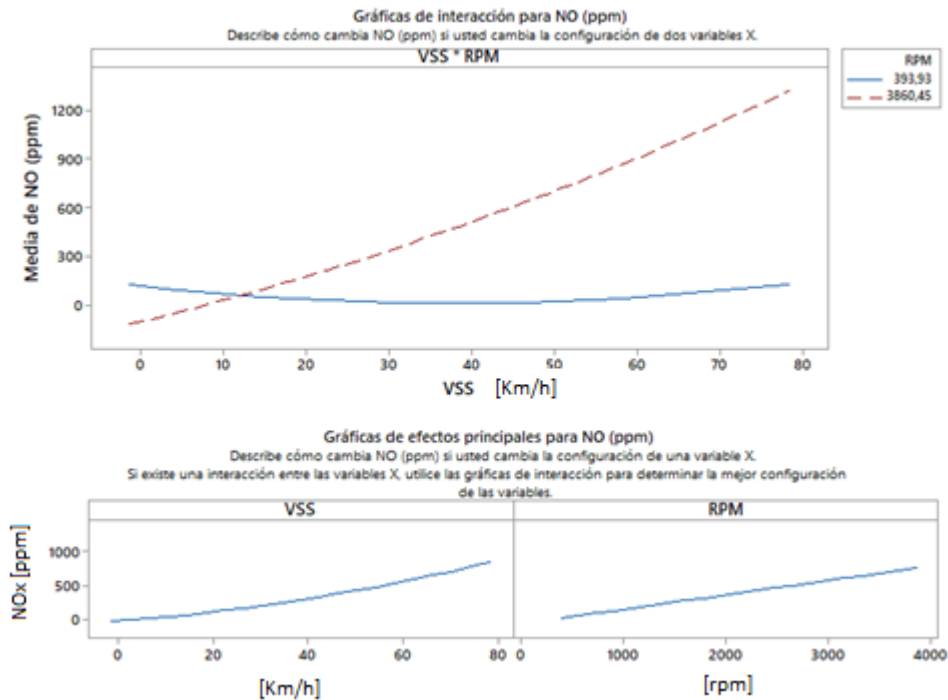


Figura 6.5.2. Grafica de interacción del NO_x .

Fuente: Autores

Con la ayuda del software Minitab® se determinó el coeficiente de correlación, el cual tiene un valor de $R^2 = 94.21\%$

- O_2

En la figura 6.5.3. se puede observar que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, también existe una varianza constante y muy pocos valores atípicos, de color rojo se visualiza residuos grandes y de azul residuos poco comunes.

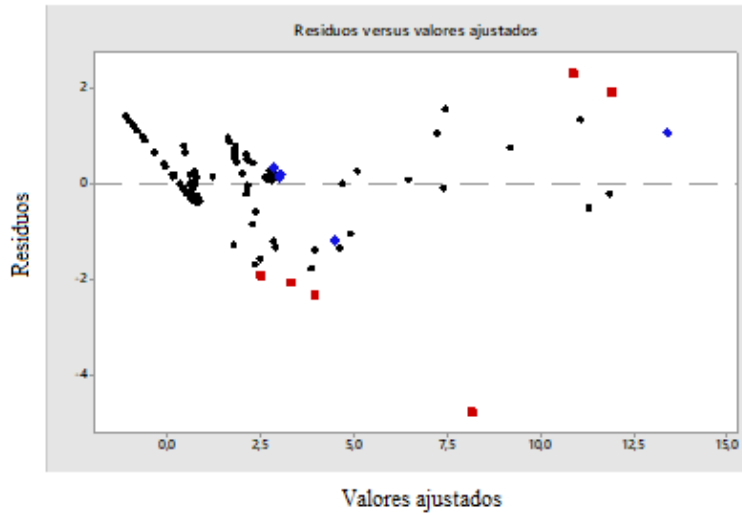


Figura 6.5.3. Residuos versus valores ajustados del O_2

Fuente: Autores

En la figura 6.5.4. indica que existe una interacción entre las dos variables de procesos, por tal razón las dos variables influyen en la respuesta.

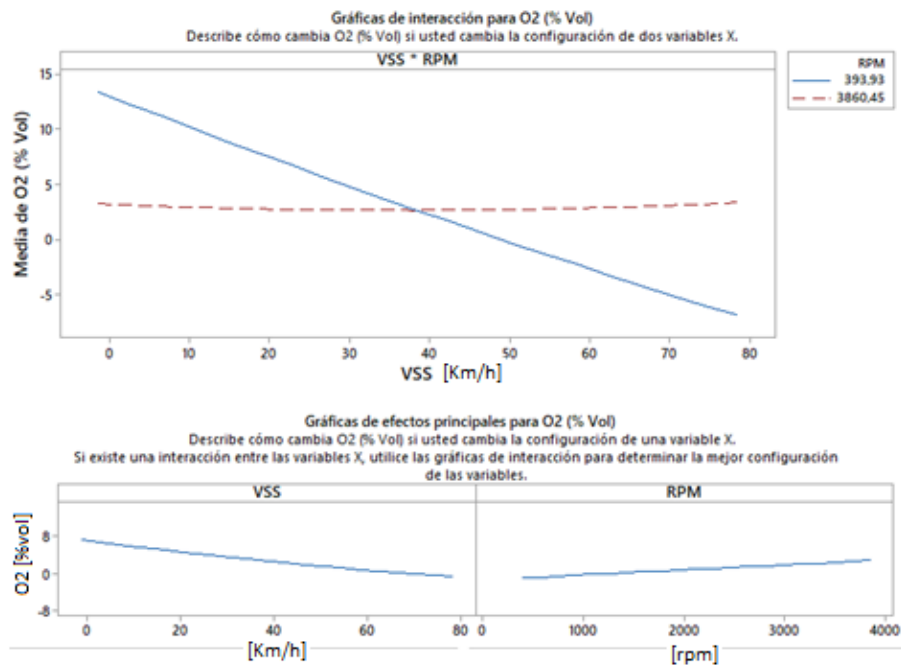


Figura 6.5.4. Gráficas de interacción del O_2 .

Fuente: Autores

Con la ayuda del software Minitab® se determinó el coeficiente de correlación, el cual tiene un valor de $R^2 = 91.18\%$

- CO_2

En la figura 6.5.5. se puede observar que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, también existe una varianza constante y muy pocos valores atípicos, de color rojo se visualiza residuos grandes y de azul residuos poco comunes.

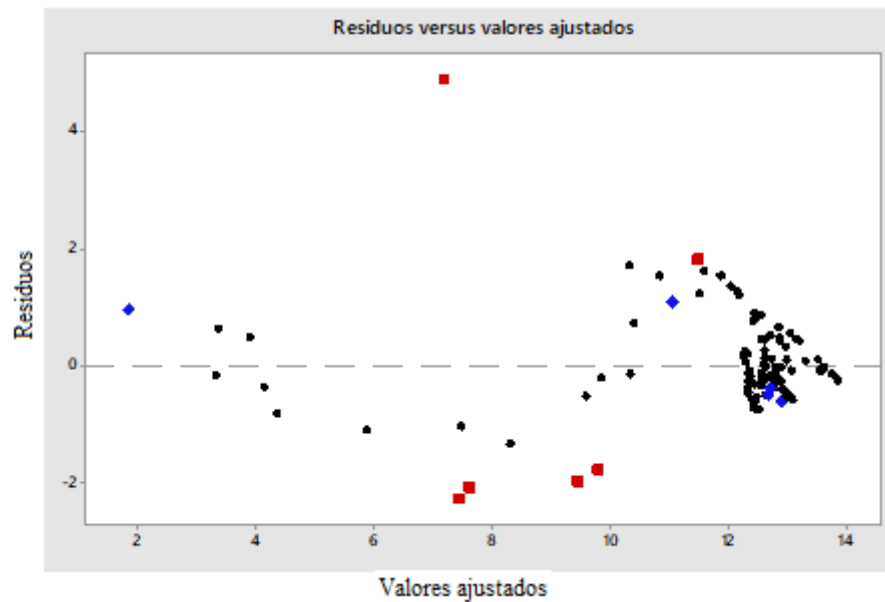


Figura 6.5.5. Residuos versus valores ajustados del CO_2 .

Fuente: Autores

En la figura 6.5.6. indica que existe una interacción entre las dos variables de procesos, por tal razón las dos variables influyen en la respuesta.

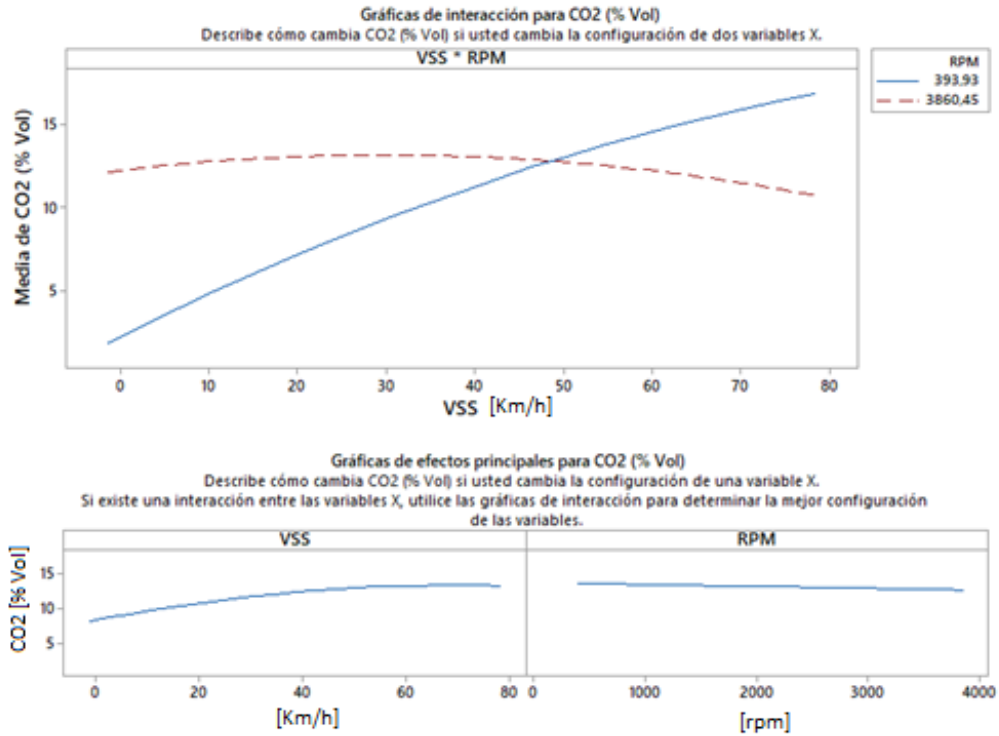


Figura 6.5.6. Gráficas de interacción del CO₂ .

Fuente: Autores

Con la ayuda del software Minitab® se determinó el coeficiente de correlación, el cual tiene un valor de $R^2 = 88.46\%$.

- **HC**

En la figura 6.5.7. Se puede observar que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, también existe una varianza constante y muy pocos valores atípicos, de color rojo se visualiza residuos grandes y de azul residuos poco comunes.

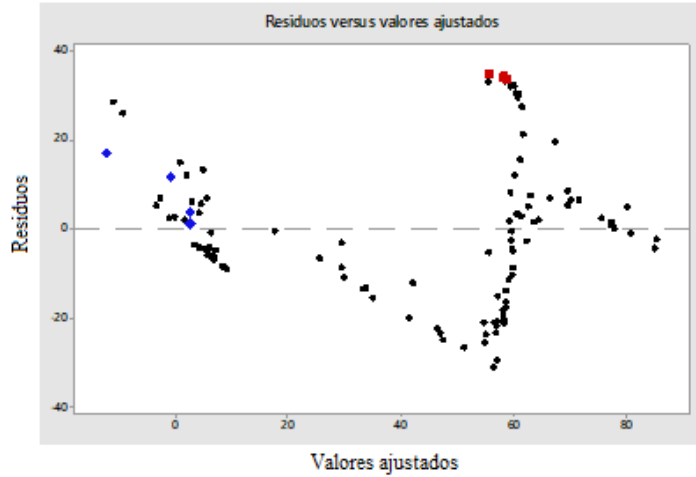


Figura 6.5.7. Residuos versus valores ajustados de los HC.

Fuente: Autores

En la figura 6.5.8. indica que existe una interacción entre las dos variables de procesos, por tal razón las dos variables influyen en la respuesta.

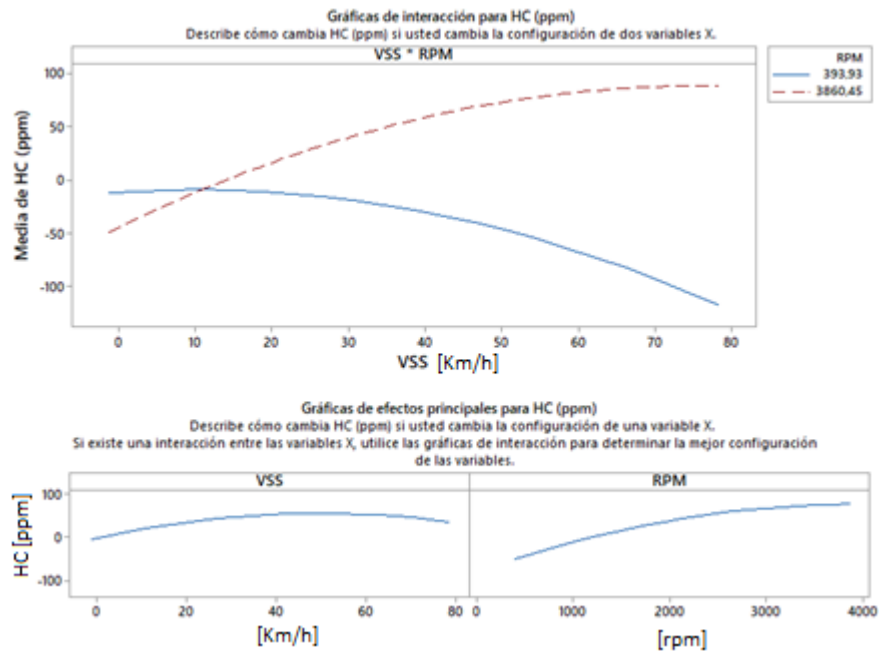


Figura 6.5.8. Gráficas de interacción de los HC.

Fuente: Autores

Con la ayuda del software Minitab® se determinó el coeficiente de correlación, el cual tiene un valor de $R^2 = 74.09\%$.

- **CO**

En la figura 6.5.9. Se puede observar que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, también existe una varianza constante y muy pocos valores atípicos, de color rojo se visualizan residuos grandes y de azul residuos poco comunes.

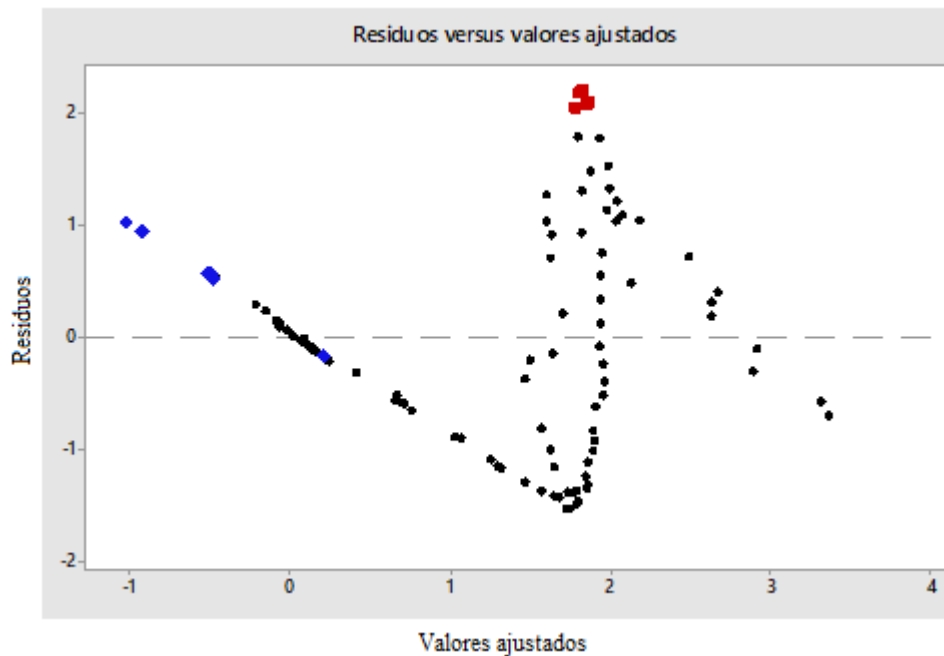


Figura 6.5.9. Residuos versus valores ajustados del CO.

Fuente: Autores

En la figura 6.5.10. Nos indica que existe una interacción entre las dos variables de procesos, por tal razón las dos variables influyen en la respuesta.

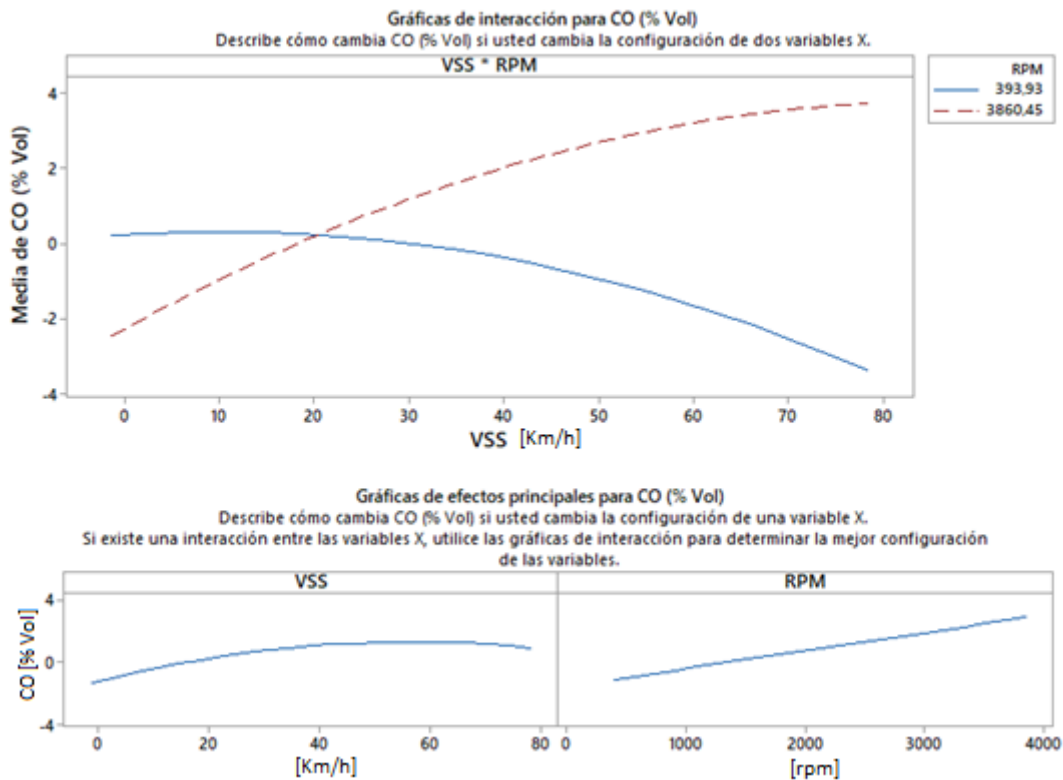


Figura 6.5.10. Gráficas de interacción del CO.

Fuente: Autores

Con la ayuda del software Minitab® se determinó el coeficiente de correlación, el cual tiene un valor de $R^2 = 51.58 \%$

6.5.2. Comprobación de los datos Hyundai Accent 1.6L

Para la comprobación de los datos tomados del analizador de gases se utiliza el software Minitab®.

- NO_x

En la figura 6.5.11. Se puede observar que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, también existe una varianza constante y muy pocos valores atípicos, de color rojo se visualizan residuos grandes y de azul residuos poco comunes.

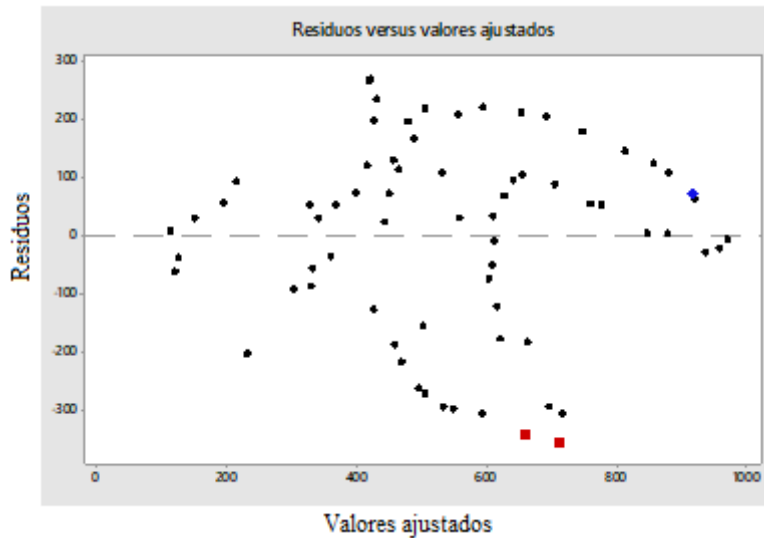


Figura 6.5.11. Residuos versus valores ajustados del NO_x .

Fuente: Autores

Con la ayuda del software Minitab® se determinó el coeficiente de correlación, el cual tiene un valor de $R^2 = 69.97 \%$.

- O_2

En la figura 6.5.12. Se puede observar que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, también existe una varianza constante y muy pocos valores atípicos, de color rojo se visualizan residuos grandes y de azul residuos poco comunes.

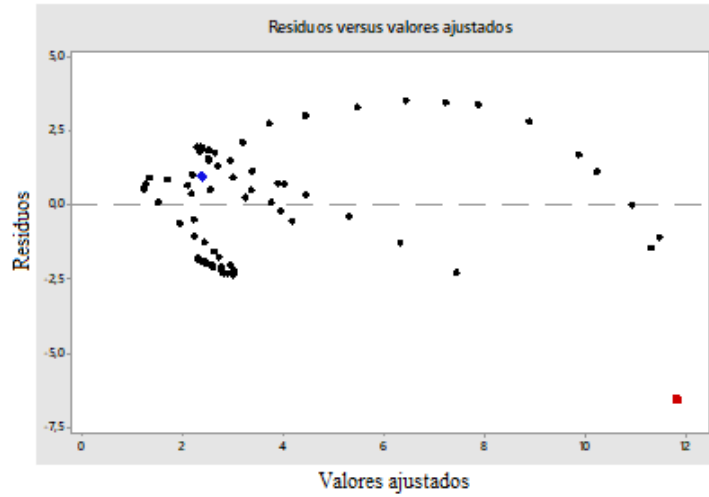


Figura 6.5.12. Residuos versus valores ajustados del O_2 .

Fuente: Autores

En la figura 6.5.13. indica que no existe una interacción entre las dos variables de procesos, por tal razón unas de las variables pueden influir en la respuesta.

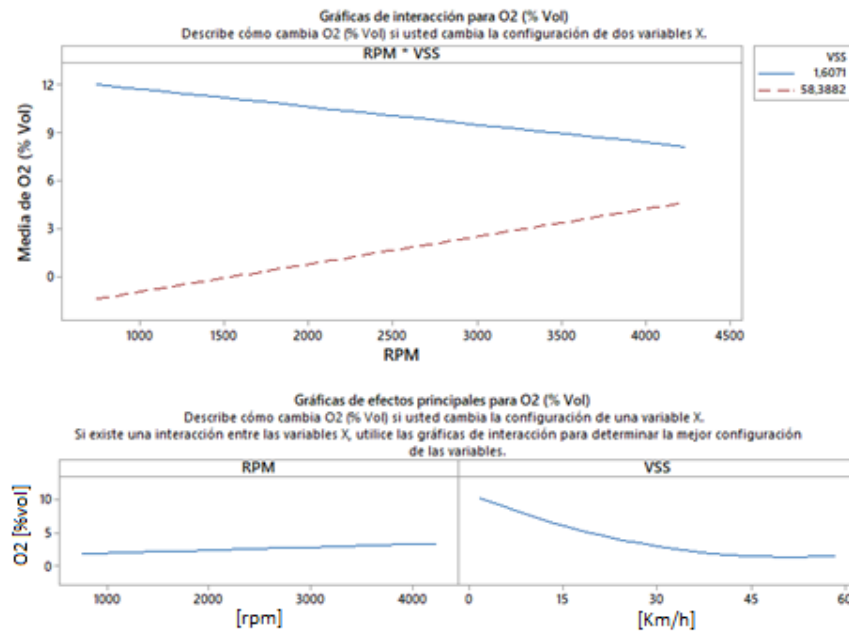


Figura 6.5.13. Gráficas de interacción del O_2 .

Fuente: Autores

Con la ayuda del software Minitab® se estableció el coeficiente de correlación, el cual tiene un valor de $R^2 = 65.60 \%$.

- **CO₂**

En la figura 6.5.14. Se puede observar que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, también existe una varianza constante y muy pocos valores atípicos, de color rojo se visualizan residuos grandes y de azul residuos poco comunes.

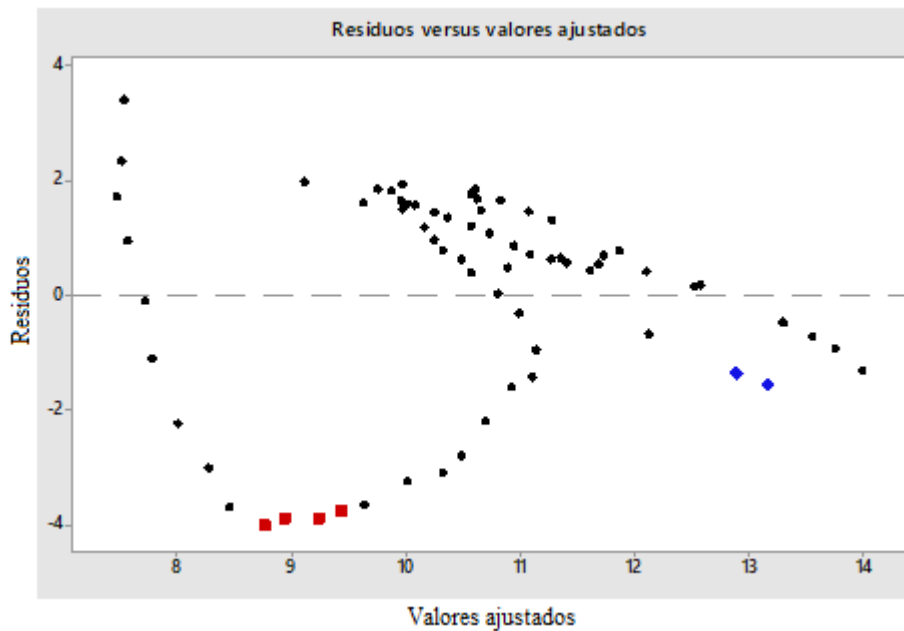


Figura 6.5.14. Residuos versus Valores ajustados del CO₂.

Fuente: Autores

En la figura 6.5.15. indica que existe una interacción entre las dos variables de procesos, por tal razón las dos variables influyen en la respuesta.

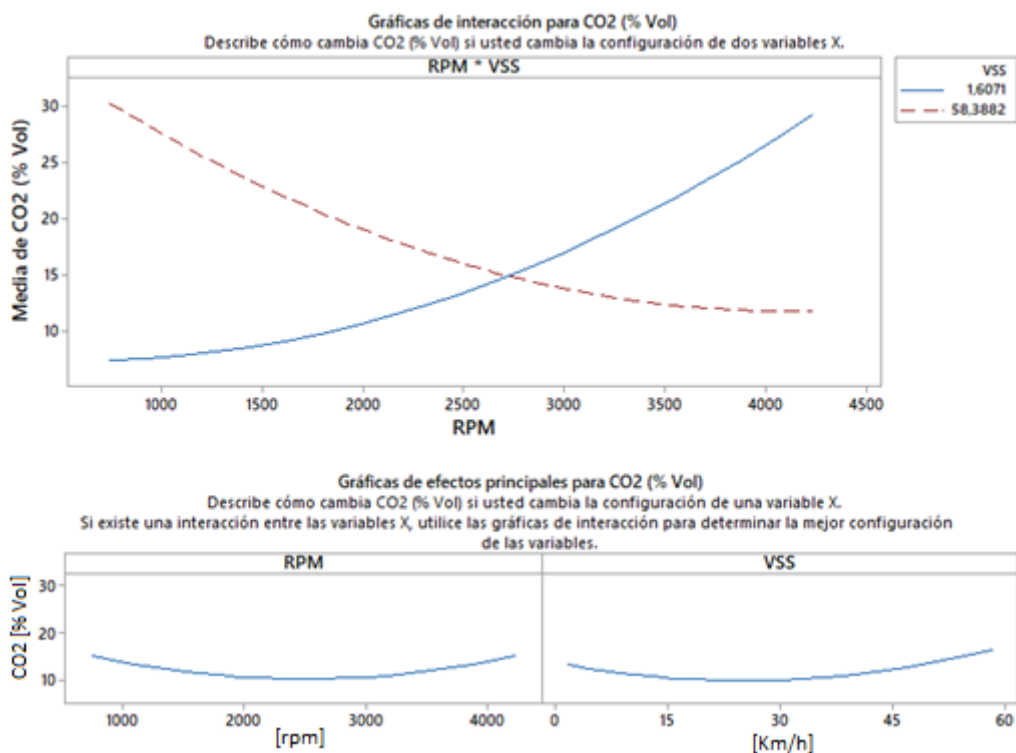


Figura 6.5.15. Gráficas de interacción del CO₂.

Fuente: Autores

Con la ayuda del software Minitab® se determinó el coeficiente de correlación, el cual tiene un valor de $R^2 = 41.48 \%$

- **HC**

En la figura 6.5.16. Se puede observar que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, también existe una varianza constante y muy pocos valores atípicos, de color rojo se visualizan residuos grandes y de azul residuos poco comunes.

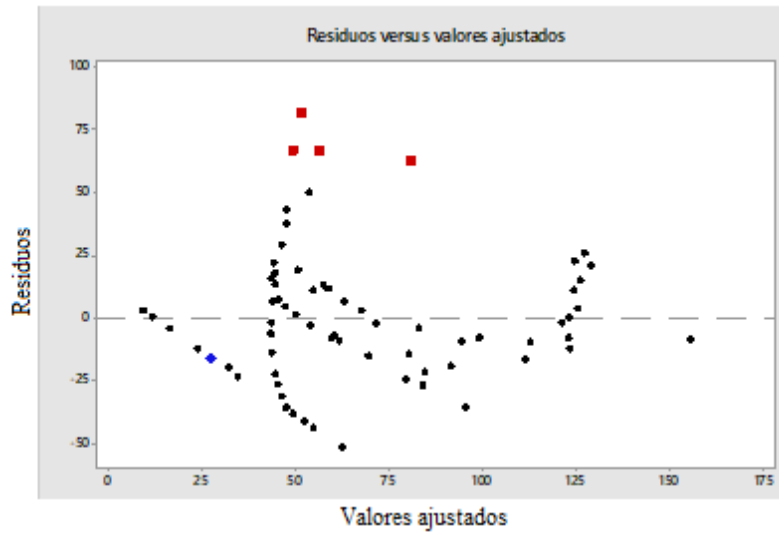


Figura 6.5.16. Residuos versus valores ajustados de los HC.

Fuente: Autores

En la figura 6.5.17. Nos indica que existe una interacción entre las dos variables de procesos, por tal razón las dos variables influyen en la respuesta.

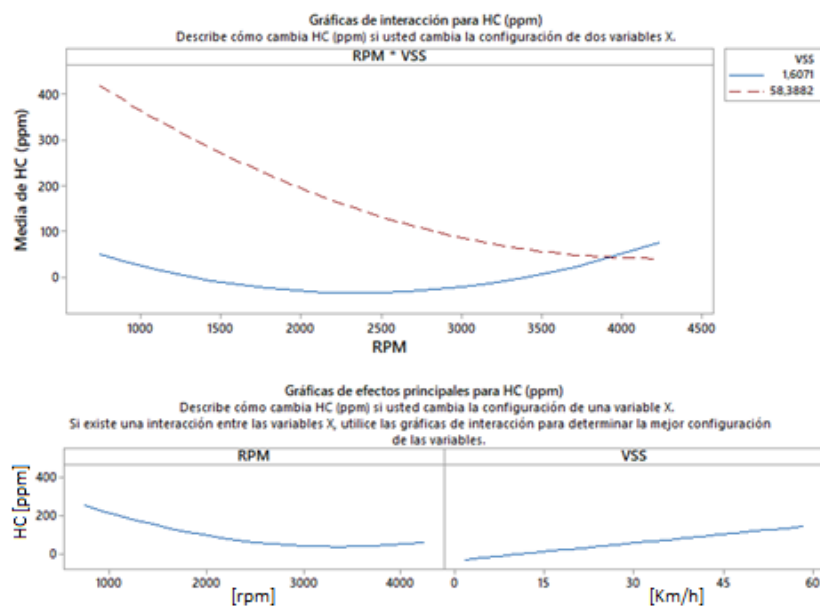


Figura 6.5.17. Gráficas de interacción de los HC.

Fuente: Autores

Con la ayuda del software Minitab® se describió el coeficiente de correlación, el cual tiene un valor de $R^2 = 88.86 \%$.

- **CO**

En la figura 6.5.18. Se puede observar que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, también existe una varianza constante y muy pocos valores atípicos, de color rojo se visualizan residuos grandes y de azul residuos poco comunes.

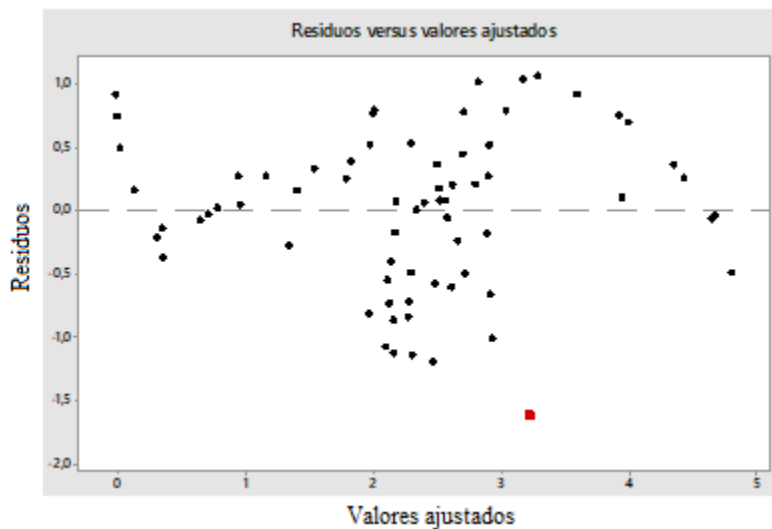


Figura 6.5.18. Residuos versus valores ajustados

Fuente: Autores

Con la ayuda del software Minitab® se determinó el coeficiente de correlación, el cual tiene un valor de $R^2 = 77.62 \%$.

6.5.3. Comprobación de datos del Kia Picanto R TM 1L

Para la comprobación de los datos tomados del analizador de gases se utiliza el software Minitab®.

- NO_x

En la figura 6.5.19. se puede observar que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, también existe una varianza constante y muy pocos valores atípicos, de color rojo se visualiza residuos grandes y de azul residuos poco comunes.

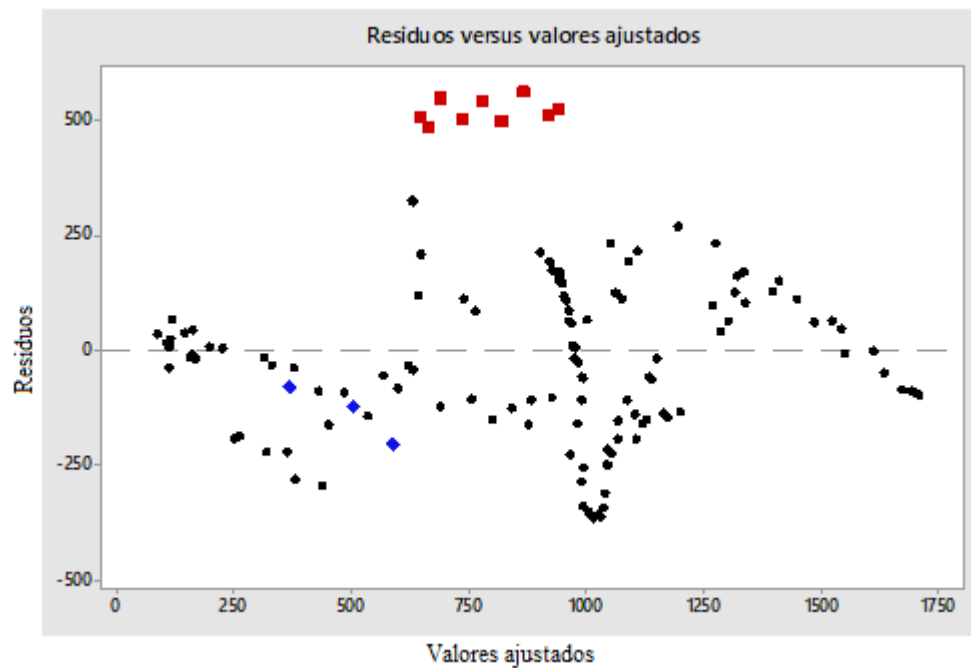


Figura 6.5.19. Residuos versus valores ajustados del NO_x .

Fuente: Autores

En la figura 6.5.20. indica que existe una interacción entre las dos variables de procesos, por tal razón las dos variables influyen en la respuesta.

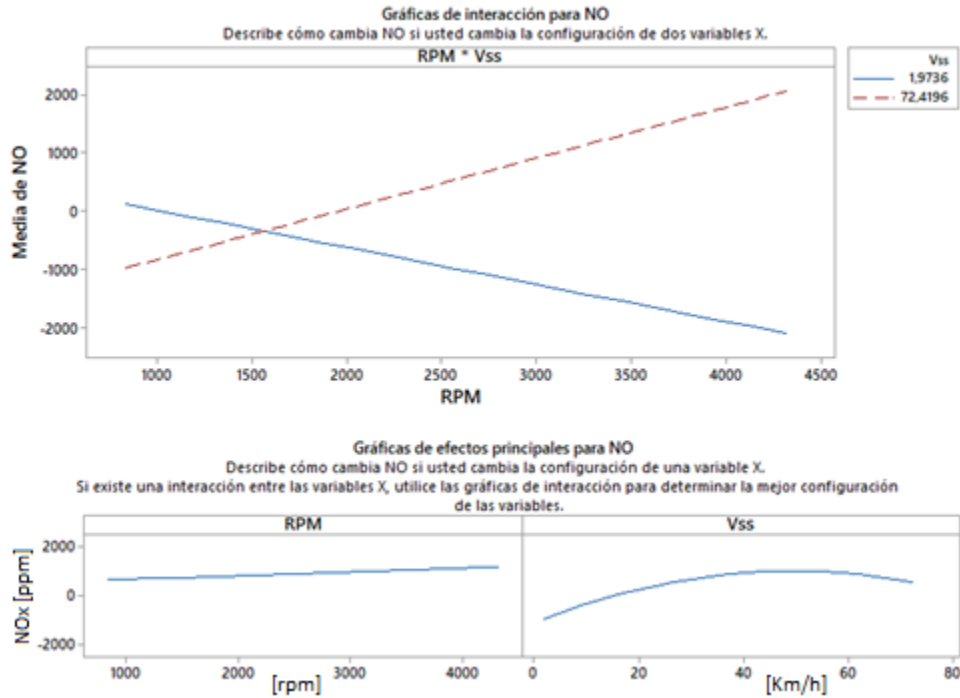


Figura 6.5.20. Gráficas de interacción del NO_x.

Fuente: Autores

Con la ayuda del software Minitab® se determinó el coeficiente de correlación, el cual tiene un valor de $R^2 = 79.14 \%$

- **O₂**

En la figura 6.5.21. Se puede observar que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, también existe una varianza constante y muy pocos valores atípicos, de color rojo se visualizan residuos grandes y de azul residuos poco comunes.

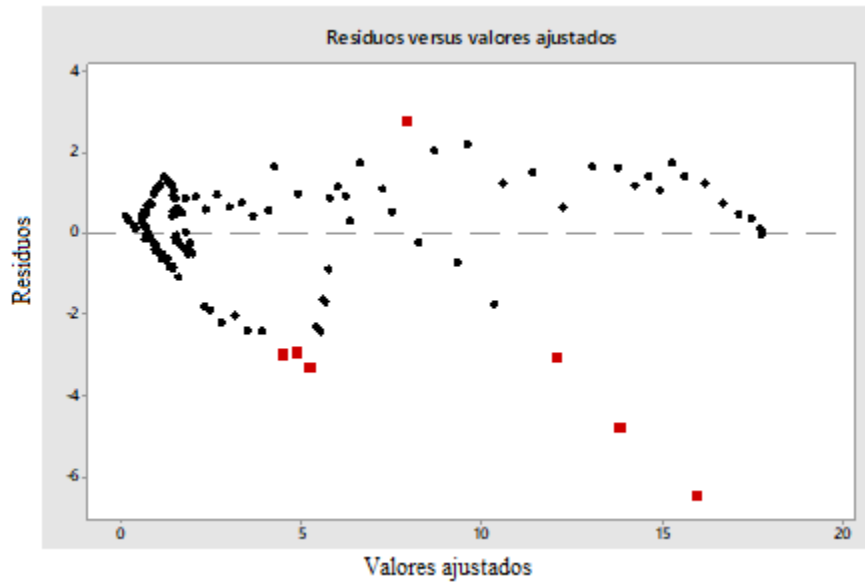


Figura 6.5.21. Residuos versus valores ajustados del O₂

Fuente: Autores

Con la ayuda del software Minitab® se determinó el coeficiente de correlación, el cual tiene un valor de $R^2 = 93.78 \%$

- **CO₂**

En la figura 6.5.22. Se puede observar que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, también existe una varianza constante y muy pocos valores atípicos, de color rojo se visualizan residuos grandes y de azul residuos poco comunes.

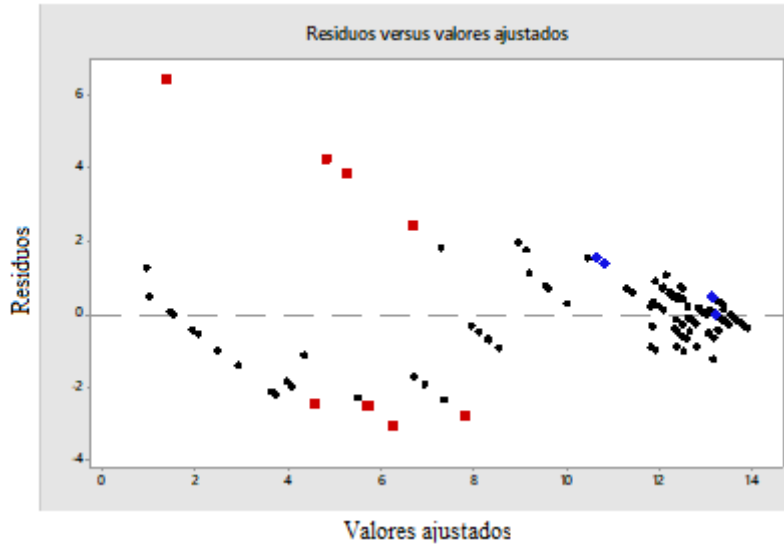


Figura 6.5.22. Residuos versus valores ajustados del CO₂.

Fuente: Autores

En la figura 6.5.23. indica que existe una interacción entre las dos variables de procesos, por tal razón las dos variables influyen en la respuesta.

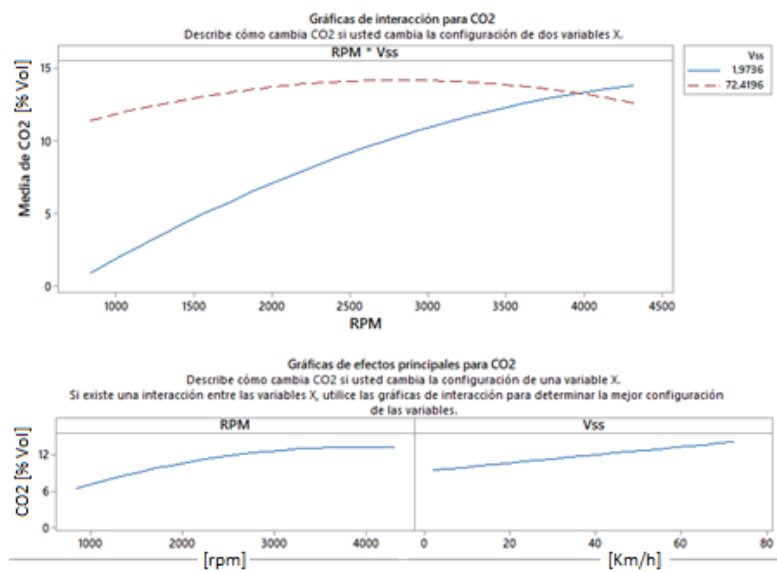


Figura 6.5.23. Gráficas de interacción del CO₂.

Fuente: Autores

Con la ayuda del software Minitab® se determinó el coeficiente de correlación, el cual tiene un valor de $R^2 = 90.61 \%$.

- **HC**

En la figura 6.5.24. Se puede observar que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, también existe una varianza constante y muy pocos valores atípicos, de color rojo se visualizan residuos grandes y de azul residuos poco comunes.

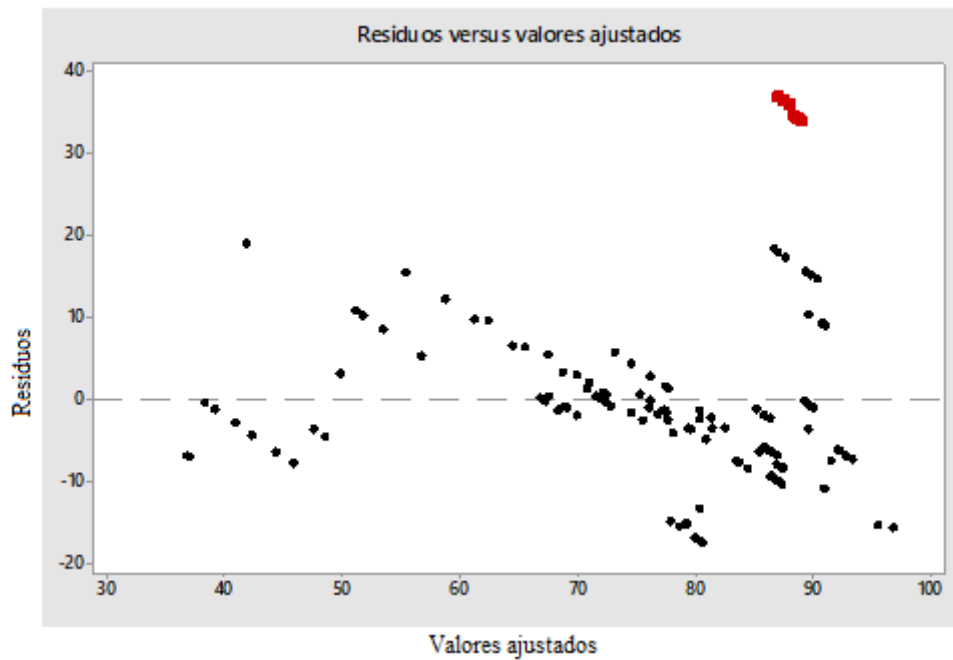


Figura 6.5.24. Residuos versus valores ajustados de los HC.

Fuente: Autores

En la figura 6.5.25. indica que existe una interacción entre las dos variables de procesos, por tal razón las dos variables influyen en la respuesta.

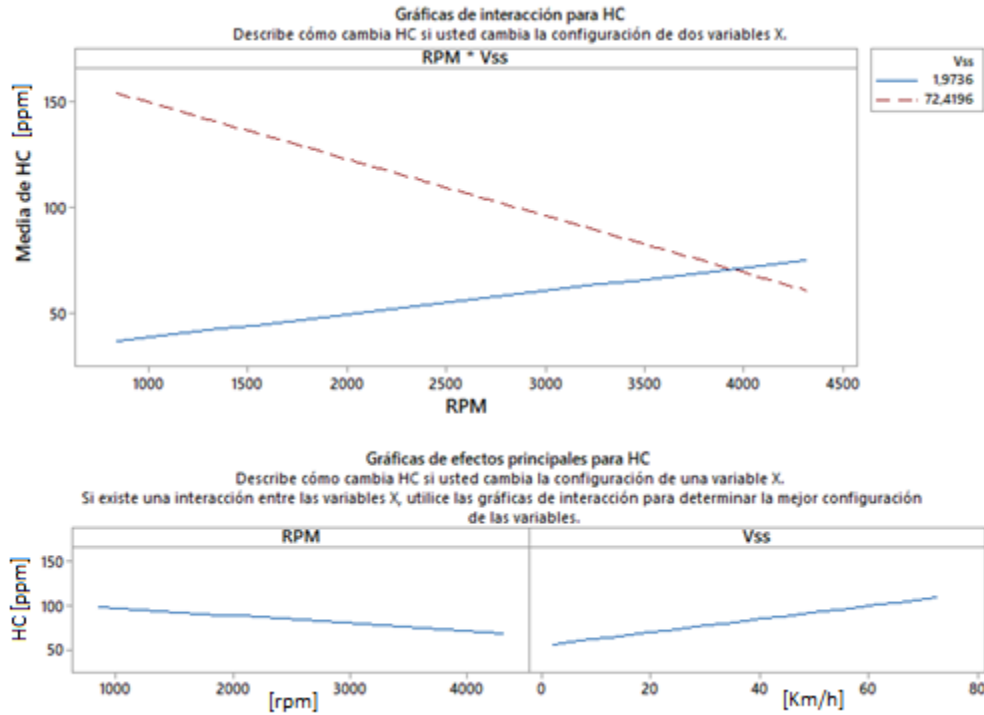


Figura 6.5.25. Gráficas de interacción de los HC.

Fuente: Autores

Con la ayuda del software Minitab® se determinó el coeficiente de correlación, el cual tiene un valor de $R^2 = 62.70 \%$.

- **CO**

En la figura 6.5.26. se puede observar que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, también existe una varianza constante y muy pocos valores atípicos, de color rojo se visualiza residuos grandes y de azul residuos poco comunes.

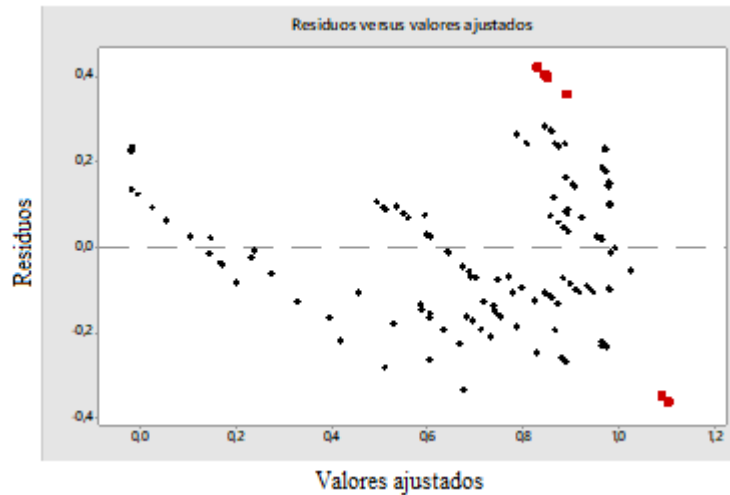


Figura 6.5.26. Residuos versus valores ajustados del CO.

Fuente: Autores

Con la ayuda del software Minitab® se determinó el coeficiente de correlación, el cual tiene un valor de $R^2 = 72.56 \%$.

6.6. Análisis de las gráficas del vehículo Chevrolet Aveo Emotion 1.6L.

Una vez validados los datos, se procede a realizar la comparación de los gases de escape en función de las variables de entrada, para ello se seleccionan dos microciclos realizados en la corrida experimental.

6.6.1. Microciclo 1

El microciclo utilizado en la adquisición de datos fue el siguiente:

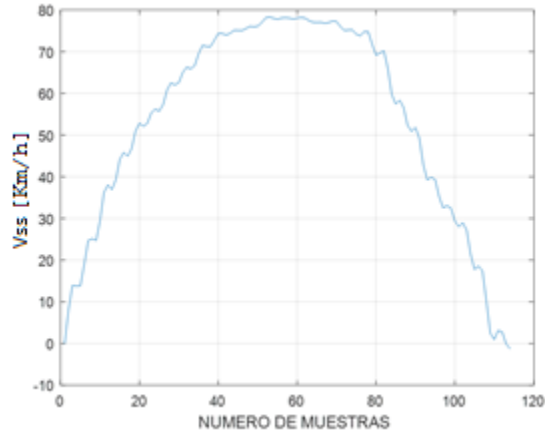


Figura 6.6.1. Microciclo 1.

Fuente: Autores

- **NO_x – VSS- RPM**

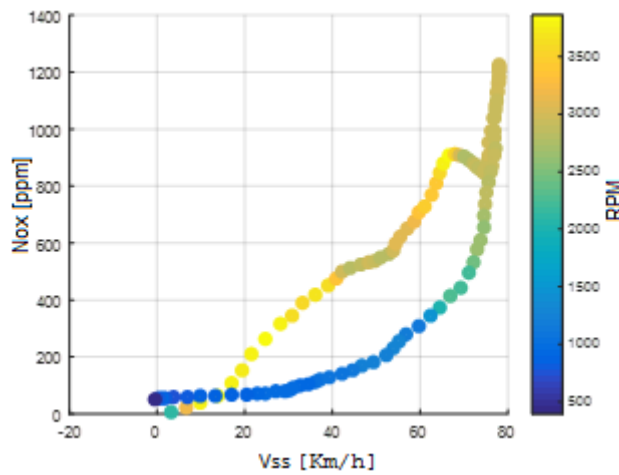


Figura 6.6.2. NO_x -VSS-RPM

Fuente: Autores

A medida que aumenta el régimen de giro, la velocidad, se puede observar en la figura 6.6.2, que los NO_x aumentan su concentración, esto quiere decir que tiene una relación proporcional.

También se puede observar que cuando el régimen de giro se mantiene constante los NO_x disminuyen.

- NO_x – VSS – ACELERACIÓN

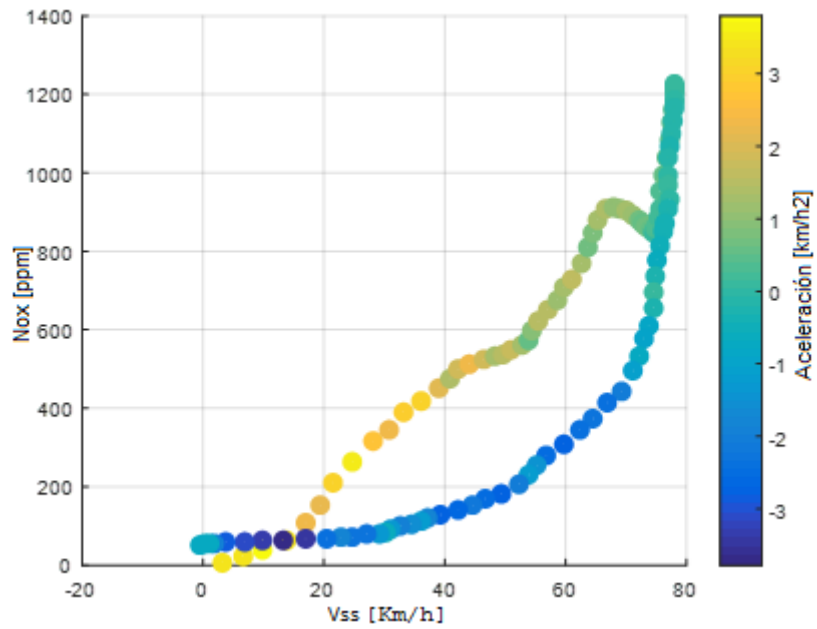


Figure 6.6.3. NO_x -VSS-ACELERACIÓN

Fuente: Autores

A medida que una hay mayor aceleración, se puede observar en la gráfica 6.6.3, que los NO_x aumenta su concentración, esto quiere decir que tiene una relación proporcional.

También se puede observar que cuando se tiene una aceleración constante los NO_x disminuyen rápidamente.

- **CO – VSS- RPM**

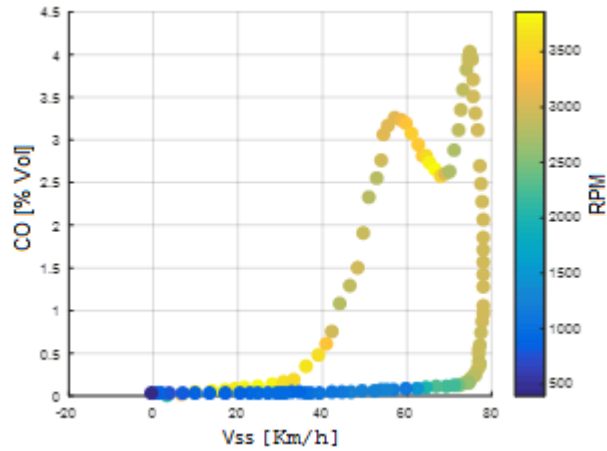


Figura 6.6.4. CO-VSS-RPM

Fuente: Autores

En la figura 6.6.4, se aprecia que conforme va aumentando el régimen de giro y la velocidad, la concentración de *CO* aumenta, es decir tiene una relación proporcional, también se observa que a medida que el régimen de giro se mantiene constante la concentración de *CO* disminuye rápidamente.

- **CO – VSS – ACELERACIÓN**

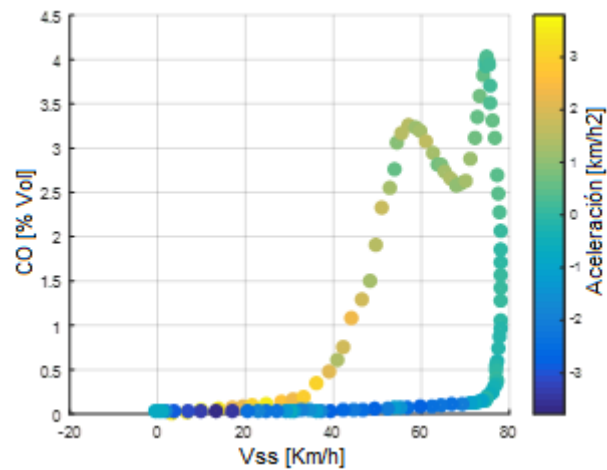


Figura 6.6.5. CO-VSS-ACELERACIÓN

Fuente: Autores

A medida que hay una mayor aceleración, se puede observar en la figura 6.6.5, el CO va aumentando su concentración, esto quiere decir que tiene una relación proporcional.

También se puede observar que cuando se tiene una aceleración constante el CO disminuye rápidamente.

- CO_2 – VSS- RPM

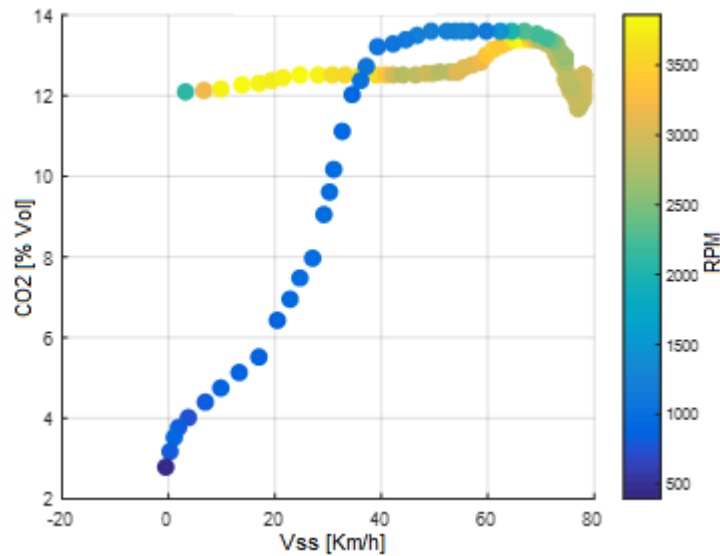


Figura 6.6.6. CO₂-VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se indica en la figura 6.6.6, cuando hay un cambio de régimen de alto a bajo la concentración de CO_2 aumenta, cuando la velocidad y el régimen de giro se mantiene constante la concentración de CO_2 disminuye rápidamente.

- **CO_2 – VSS – ACELERACIÓN**

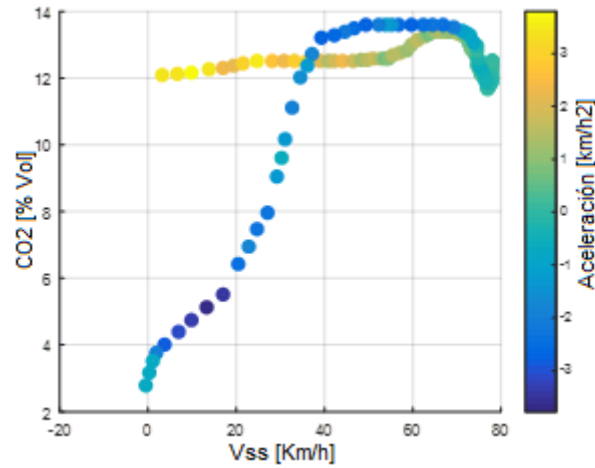


Figura 6.6.7. . CO_2 -VSS ACELERACIÓN

Fuente: Autores

En la gráfica se puede observar que, cuando hay cambio transitorio de una aceleración a desaceleración la concentración de CO_2 aumenta, en cambio cuando se tiene una desaceleración disminuye rápidamente.

- **HC – VSS- RPM**

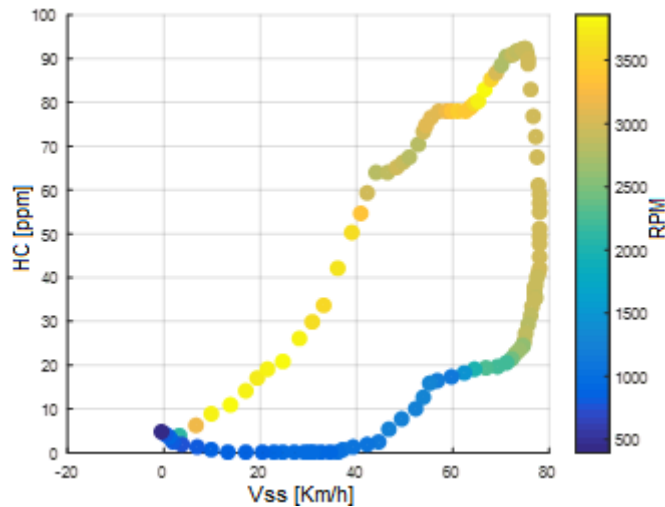


Figura 6.6.8. HC-VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se indica en la figura 6.6.8, a medida que aumenta el régimen de giro y la velocidad, la concentración de *HC* aumenta, es decir tiene una relación proporcional, también se observa que a medida que el régimen de giro se mantiene constante la concentración de *HC* disminuye considerablemente.

- **HC – VSS – ACELERACIÓN**

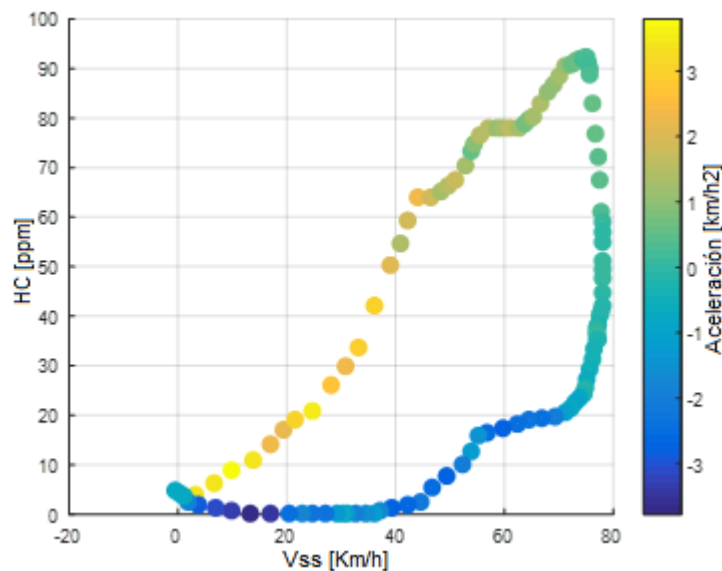


Figura 6.6.9. HC-VSS-ACELERACIÓN.

Fuente: Autores

En la gráfica 6.6.9, se muestra que conforme hay una mayor aceleración la concentración de *HC* incrementa, cuando hay una aceleración constante los *HC* disminuyen rápidamente, luego progresivamente cuando hay una desaceleración.

- O_2 – VSS- RPM

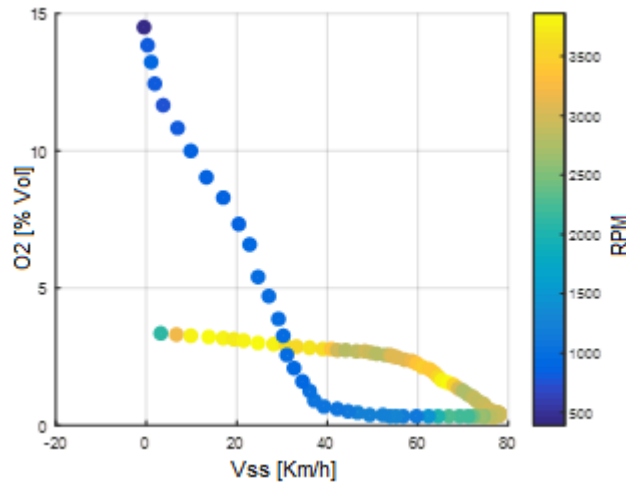


Figura 6.6.10. O_2 -VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se observa en la gráfica, conforme aumenta el régimen de giro y la velocidad, la concentración O_2 disminuye, también se puede observar que a medida que las régimen de giro es constante la concentración de O_2 se mantiene constante.

- O_2 – VSS – ACELERACIÓN

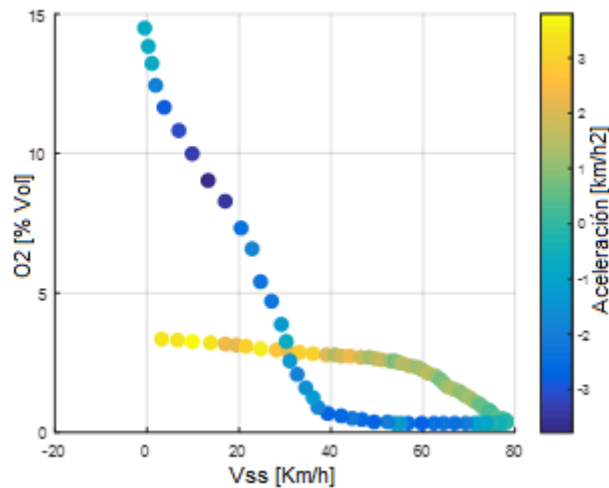


Figura 6.6.11. O_2 -VSS-ACELERACIÓN.

Fuente: Autores

Como se observa en la figura 6.6.11, a medida que va aumentando la aceleración la concentración O_2 disminuye, también se puede observar que a medida que se tiene aceleraciones constantes la concentración de O_2 aumentan.

6.6.2. Microciclo 2

El microciclo utilizado en la adquisición de los datos fue el siguiente:

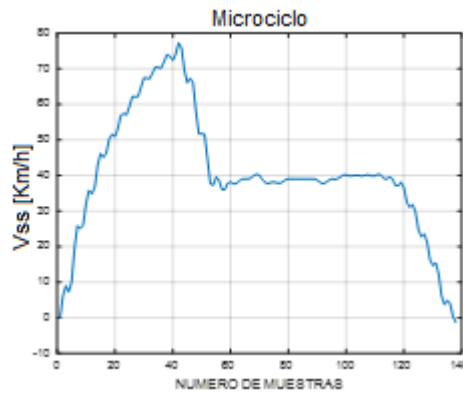


Figura 6.6.12. Microciclo 2.

Fuente: Autores

- NO_x – VSS- RPM

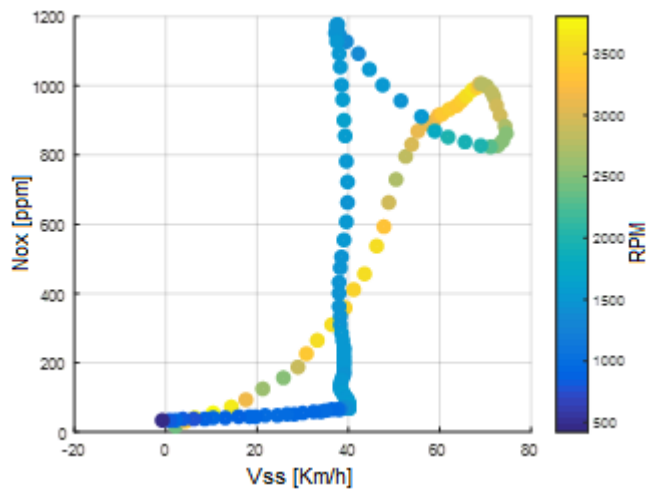


Figura 6.6.13. NO_x -VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se observa en la figura 6.6.13, la concentración de NO_x aumentan a medida que el régimen de giro aumentan, cuando la velocidad y el régimen de giro se mantienen constante, la concentración de NO_x disminuye rápidamente.

- **NO_x – VSS – ACELERACIÓN**

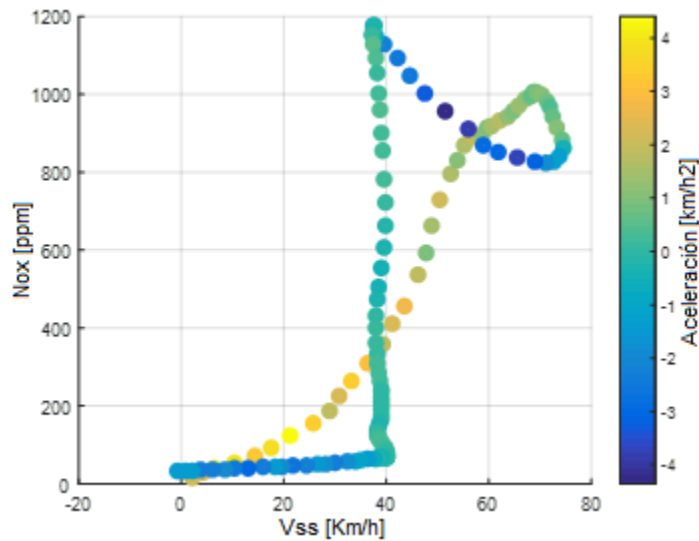


Figura 6.6.14. NO_x -VSS-ACELERACIÓN.

Fuente: Autores

A medida que hay mayor aceleración, se puede observar que los NO_x aumentan su concentración, esto quiere decir que tiene una relación proporcional.

También se puede observar que cuando se tiene una aceleración constante los NO_x disminuyen rápidamente

- **CO – VSS- RPM**

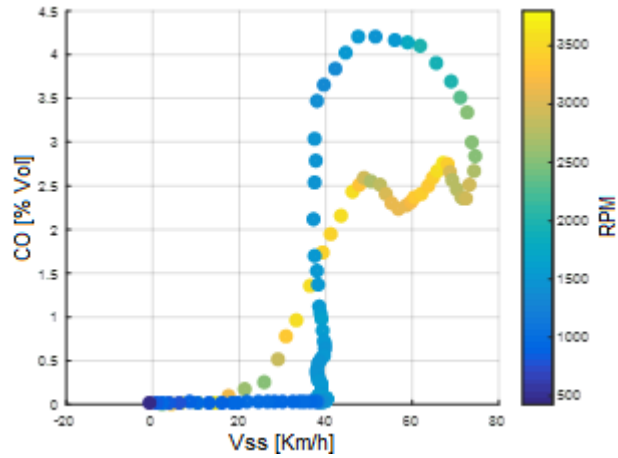


Figura 6.6.15. CO-VSS-RPM.

Fuente: Autores

Como se muestra en la gráfica, a medida que aumenta el régimen de giro y la velocidad, la concentración *CO* aumenta, es decir tiene una relación proporcional, también se puede observar que a medida que el régimen de giro se mantiene constante la concentración de *CO* disminuye rápidamente.

- **CO – VSS – ACELERACIÓN**

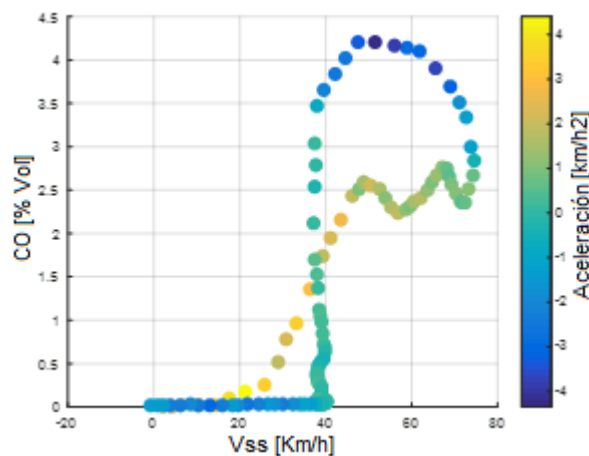


Figura 6.6.16. CO-VSS-ACELERACIÓN.

Fuente: Autores

A medida que hay una mayor aceleración, se puede observar que el CO aumenta su concentración.

También se puede observar que cuando se tiene una aceleración constante el CO disminuye rápidamente

- CO_2 – VSS- RPM

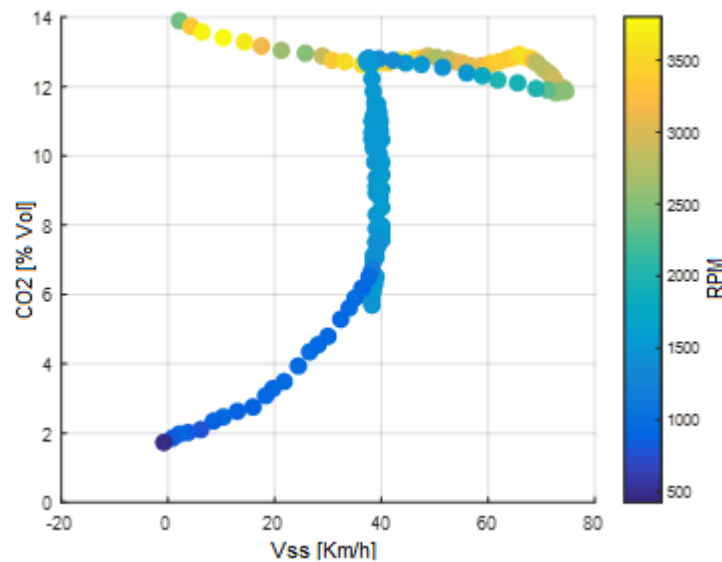


Figura 6.6.17. . CO₂-VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se consigue analizar la gráfica, cada vez que aumenta el régimen de giro, la concentración de CO_2 disminuye hasta un cierto punto, aumenta en una pequeña porción, debido a una pequeño bajo de régimen, y disminuye muy rápidamente cuando la velocidad y el régimen de giro se mantienen constante.

- **CO_2 – VSS – ACELERACIÓN**

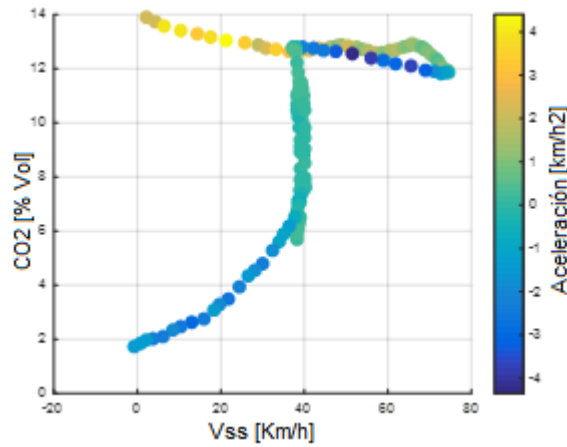


Figura 6.6.18. . CO_2 -VSS-ACELERACIÓN.

Fuente: Autores

Como se muestra en la gráfica a medida que hay una mayor aceleración la concentración de CO_2 disminuye hasta un cierto punto, en el momento que ocurre una desaceleración al principio la concentración de CO_2 aumenta una pequeña porción, seguido comienza a disminuir rápidamente cuando ocurre una desaceleración.

- **HC – VSS- RPM**

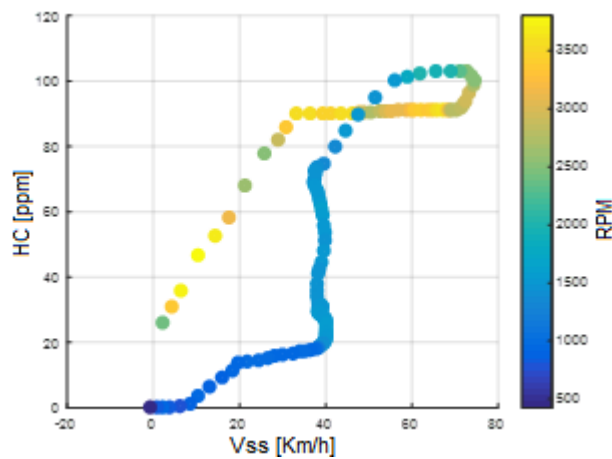


Figura 6.6.19. HC-VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se contempla en la figura 6.6.19, conforme aumenta el régimen de giro y la velocidad, la concentración HC aumenta, es decir tiene una relación proporcional, también se puede observar que a medida que el régimen de giro se mantiene constante la concentración de HC disminuye considerablemente.

- **HC – VSS – ACELERACIÓN**

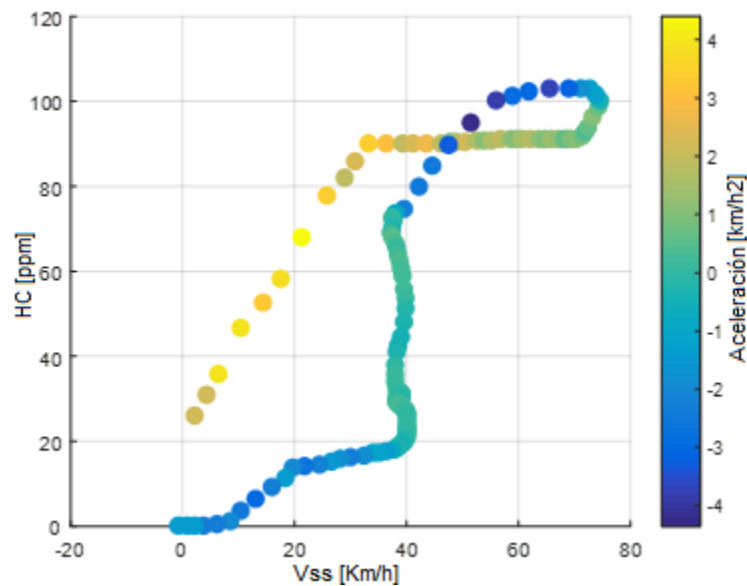


Figura 6.6.20. HC-VSS-ACELERACIÓN.

Fuente: Autores

En la gráfica nos podemos dar cuenta que a medida que hay una mayor aceleración la concentración de HC incrementa, cuando hay una aceleración constante los HC disminuyen rápidamente, luego progresivamente cuando hay una desaceleración.

- O_2 – VSS- RPM

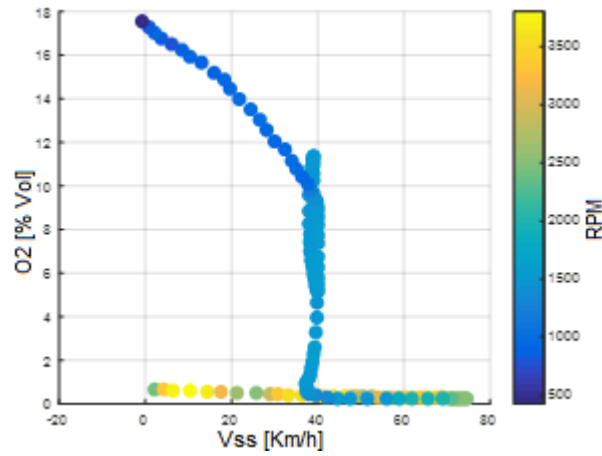


Figura 6.6.21. O_2 -VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se consigue observar la gráfica 6.6.21, conforme aumenta el régimen de giro y la velocidad, la concentración O_2 disminuye, es decir tiene una relación proporcional, también se puede observar que a medida que el régimen de giro se mantiene constante la concentración de O_2 aumenta considerablemente.

- O_2 – VSS – ACELERACIÓN

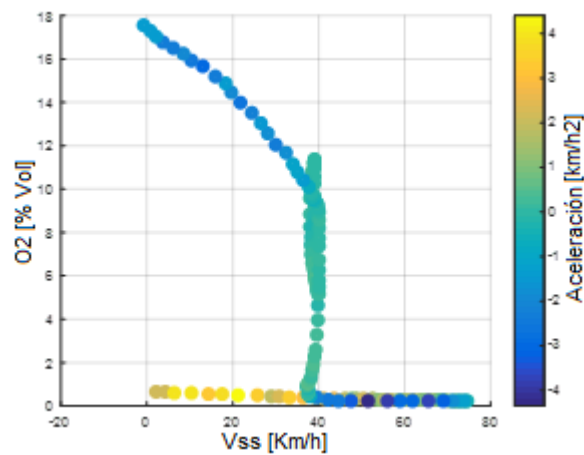


Figura 6.6.22. O_2 -VSS-ACELERACIÓN.

Fuente: Autores

A través de la figura 6.6.22 se puede observar, que mientras aumenta la aceleración, la concentración del O_2 disminuye, en cambio cuando se tiene aceleraciones constantes aumentan rápidamente, y a medida que hay desaceleraciones va subiendo progresivamente la concentración de O_2 .

6.7. Análisis de las gráficas del vehículo Hyundai Accent 1.6L

A continuación, se estudia el comportamiento de los gases de escape en función de las variables de entrada, para ello se toma en cuenta dos microciclos realizado en la corrida experimental.

6.7.1. Microciclo 1

El microciclo utilizado en la adquisición de los datos fue el siguiente:

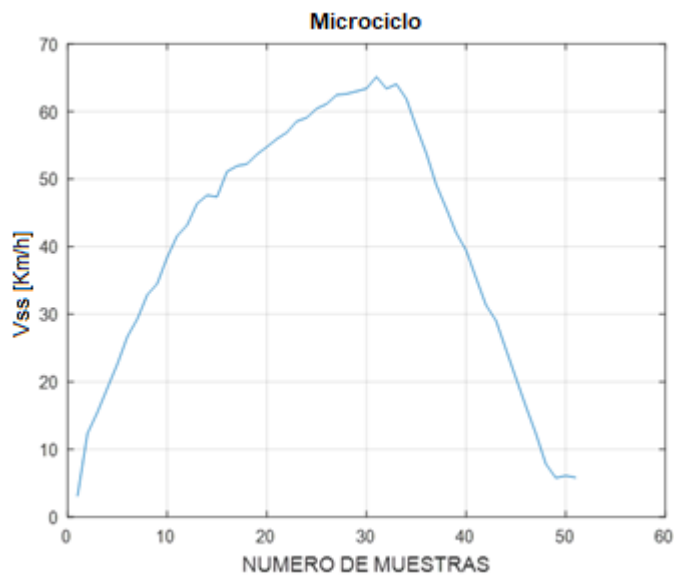


Figura 6.7.1. Microciclo 1.

Fuente: Autores

- NO_x – VSS- RPM

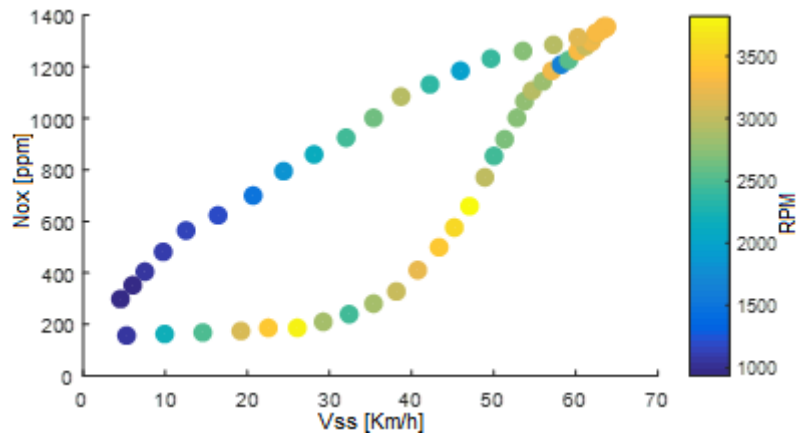


Figura 6.7.2. NO_x -VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se consigue observar en la gráfica, a medida que aumenta el régimen de giro y la velocidad, la concentración de NO_x aumenta, por lo que se obtiene una relación proporcional.

- NO_x – VSS – ACELERACIÓN

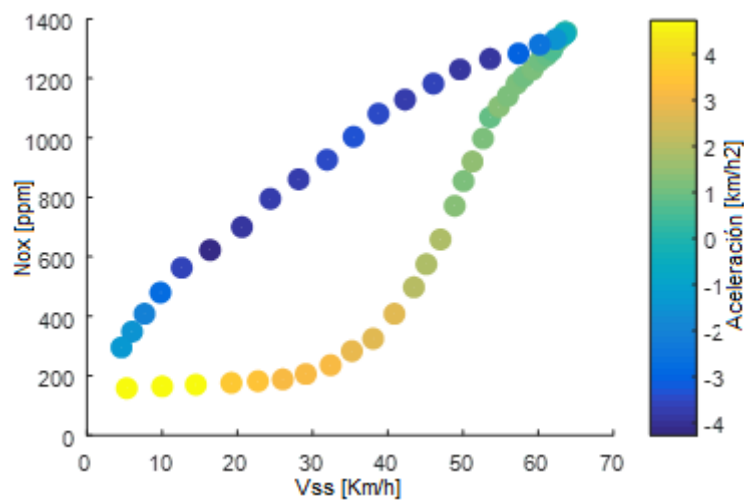


Figura 6.7.3. NO_x -VSS-ACELERACIÓN.

Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura 6.7.3, a medida que aumenta la aceleración, la concentración NO_x aumenta, por lo que se obtiene una relación proporcional.

- **CO – VSS- RPM**

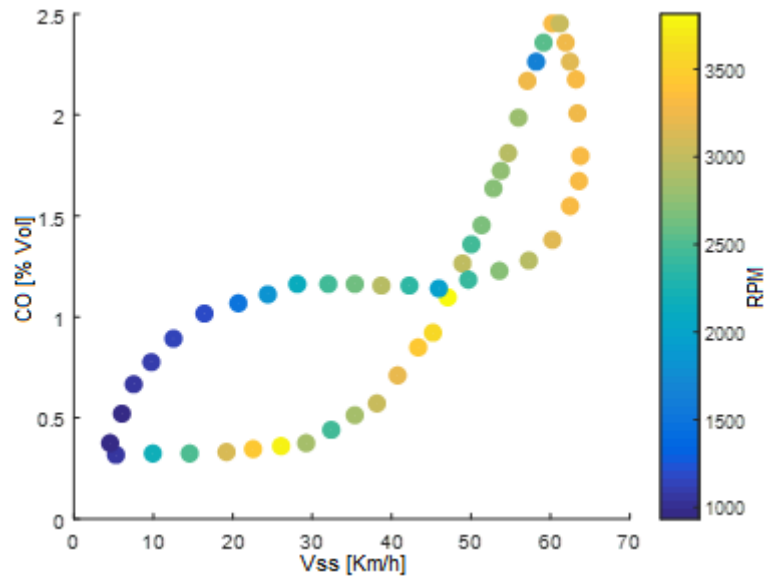


Figura 6.7.4. CO-VSS-RPM.

Fuente: Autores

Como se observa en la gráfica, a medida que aumenta el régimen de giro y la velocidad, la concentración CO aumenta, por lo que se obtiene una relación proporcional.

- **CO – VSS – ACELERACIÓN**

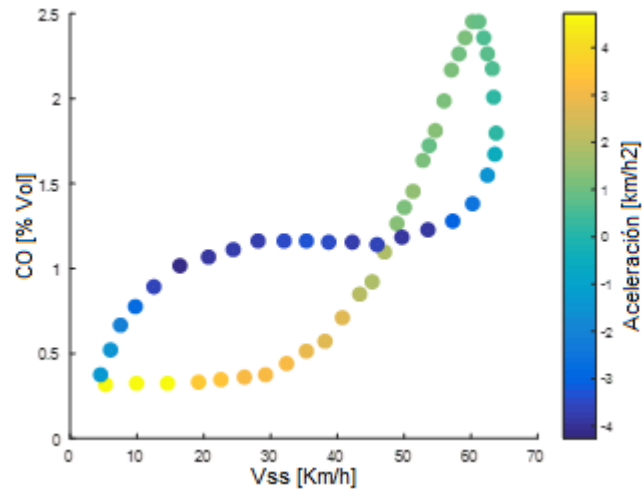


Figure 6.7.5. CO-VSS-ACELERACIÓN.

Fuente: Autores

Como se ilustra en la gráfica, mientras aumenta la aceleración, la concentración del CO comienza a aumentar, por lo que se obtiene una relación directamente proporcional.

- **CO_2 – VSS- RPM**

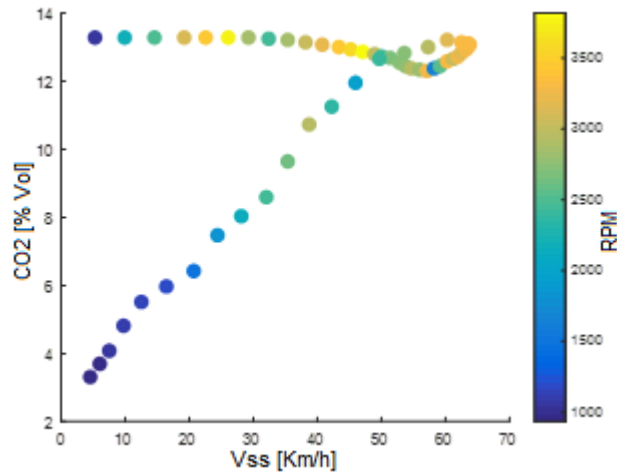


Figura 6.7.6. . CO_2 -VSS-RPM.

Fuente: Autores

Como se puede analizar en la figura 6.7.6, cada vez que aumenta el régimen de giro, la concentración de CO_2 disminuye hasta un cierto punto, donde aumenta en una pequeña

porción debido a un pequeño bajo de régimen, seguido disminuye progresivamente a medida que baja el régimen de giro y la velocidad.

- **CO_2 – VSS – ACELERACIÓN**

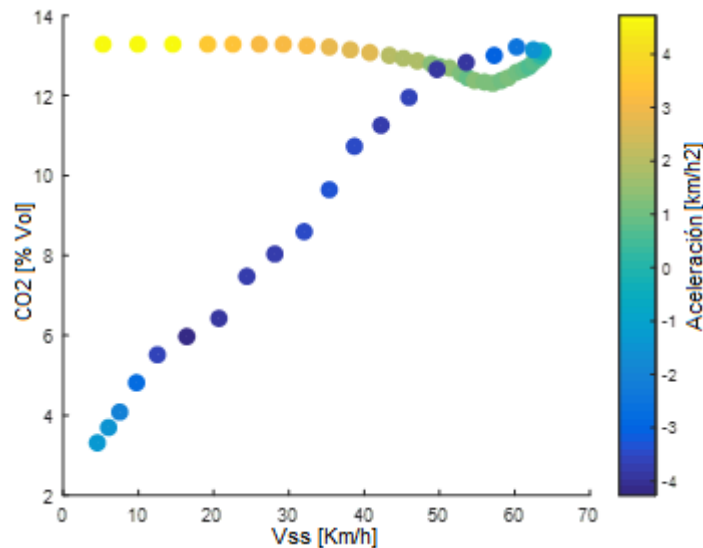


Figura 6.7.7. . CO_2 -VSS-ACELERACIÓN.

Fuente: Autores

Como se observa en la gráfica a medida que hay una mayor aceleración la concentración de CO_2 disminuye hasta un cierto punto, en el momento que ocurre una desaceleración al principio la concentración de CO_2 aumenta una pequeña porción, seguido comienza a disminuir progresivamente.

- **HC – VSS- RPM**

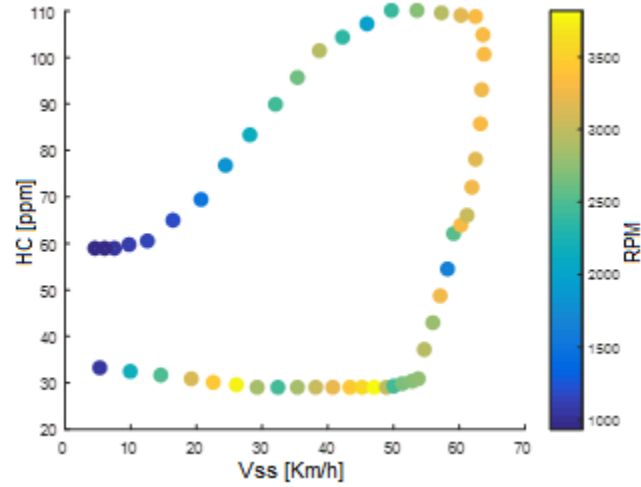


Figura 6.7.8. HC.VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se observa en la gráfica, a medida que aumenta el régimen de giro y la velocidad, la concentración *HC* comienza a aumentar, por lo que se obtiene una relación proporcional.

- **HC – VSS – ACELERACIÓN**

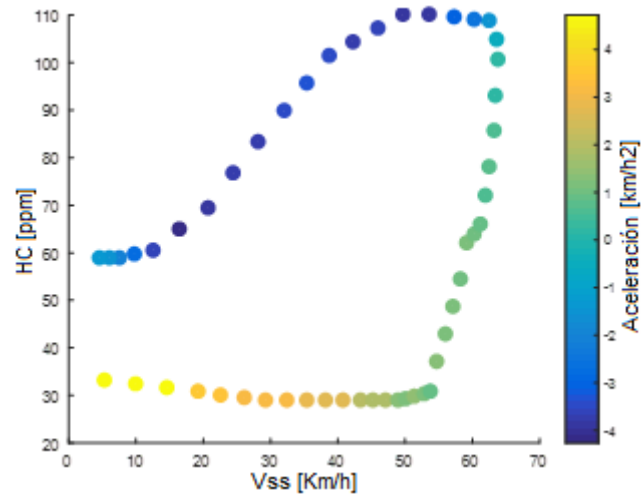


Figura 6.7.9. HC-VSS-ACELERACIÓN

Fuente: Autores

Como se ilustra en la figura 6.7.9, mientras aumenta la aceleración, la concentración de HC aumenta, por lo que se obtiene una relación proporcional.

- O_2 – VSS- RPM

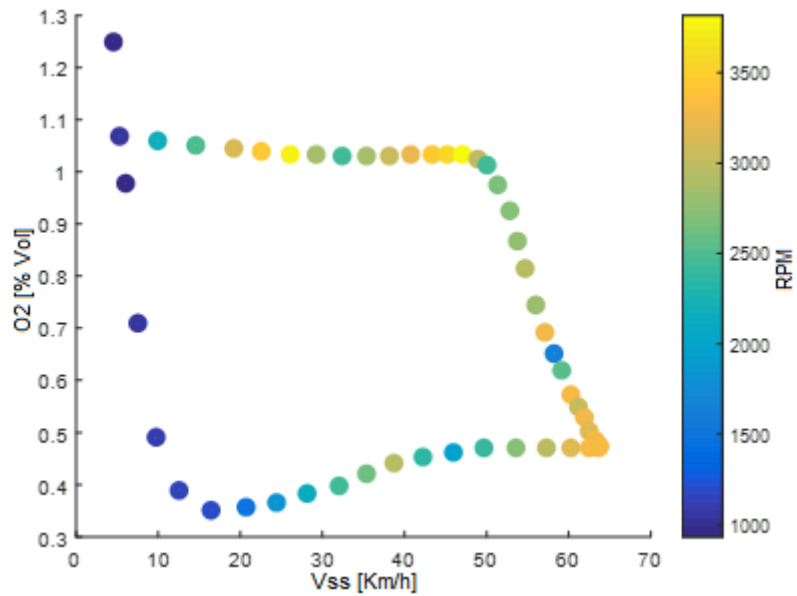


Figura 6.7.10. O_2 -VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se muestra en la gráfica, cuando la velocidad y el régimen de giro aumenta, la concentración del O_2 disminuye, es decir existe una relación proporcional.

- **O_2 – VSS – ACELERACIÓN**

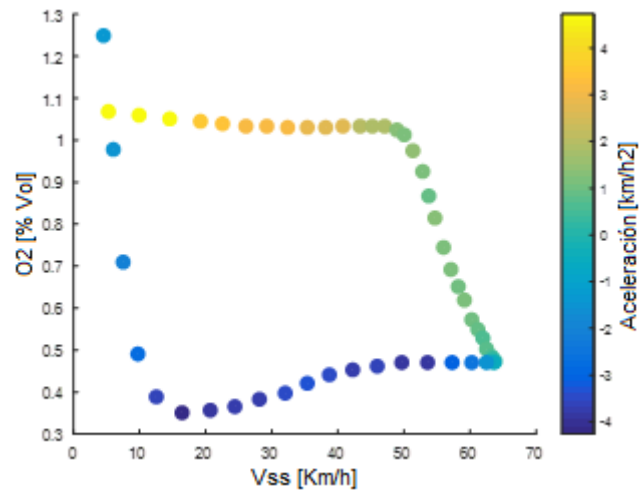


Figura 6.7.11. O_2 -VSS-ACELERACIÓN

Fuente: Autores

Como se observa en la gráfica, a medida que hay una mayor aceleración, la concentración de O_2 disminuye, es decir existe una relación proporcional.

6.7.2. Microciclo 2

El microciclo utilizado en la adquisición de datos fue el siguiente:

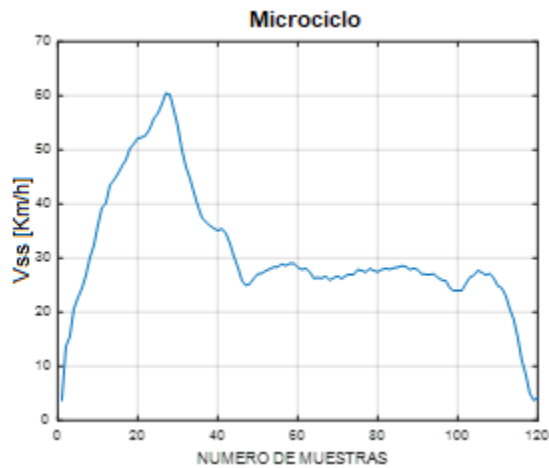


Figura 6.7.12. Microciclo 2

Fuente: Autores

- NO_x – VSS- RPM

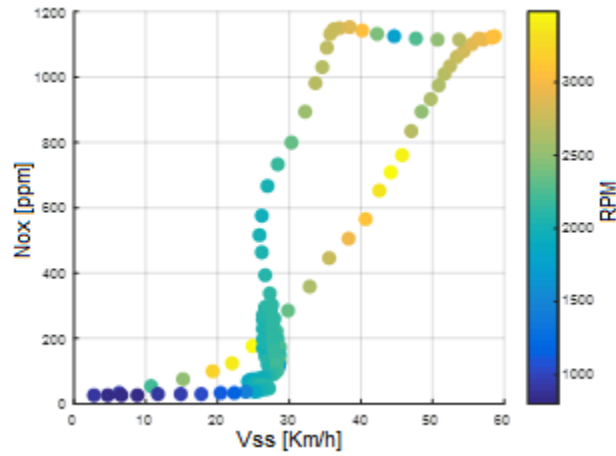


Figura 6.7.13. NO_x -VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se indica en la figura, a medida que sube el régimen de giro y la velocidad, la concentración NO_x comienzan a aumentar, el momento que el régimen de giro se mantiene constante la concentración NO_x comienzan a disminuir rápidamente y disminuyen progresivamente cuando baja el régimen de giro y la velocidad.

- NO_x – VSS – ACELERACIÓN

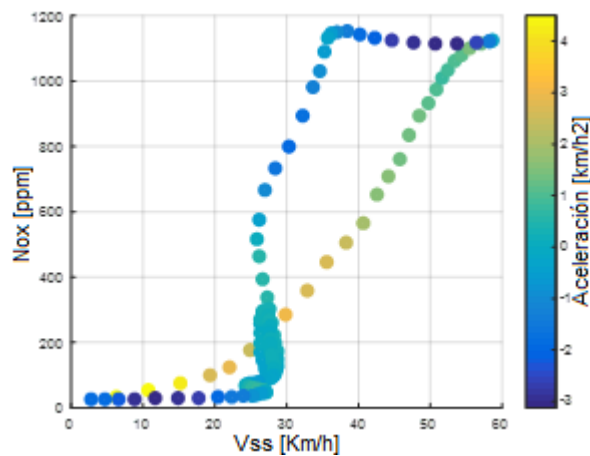


Figura 6.7.14. NO_x -VSS-ACELERACIÓN.

Fuente: Autores

Como se ilustra en la figura 6.7.14, cuando hay una mayor aceleración y la velocidad sube, la concentración NO_x aumenta, cuando la aceleración es constante, es decir se tiene una aceleración cero, la concentración NO_x comienzan a disminuir rápidamente, y disminuyen progresivamente cuando hay desaceleración.

También se puede observar que al principio de la desaceleración los NO_x aumentan en una porción.

- **CO – VSS- RPM**

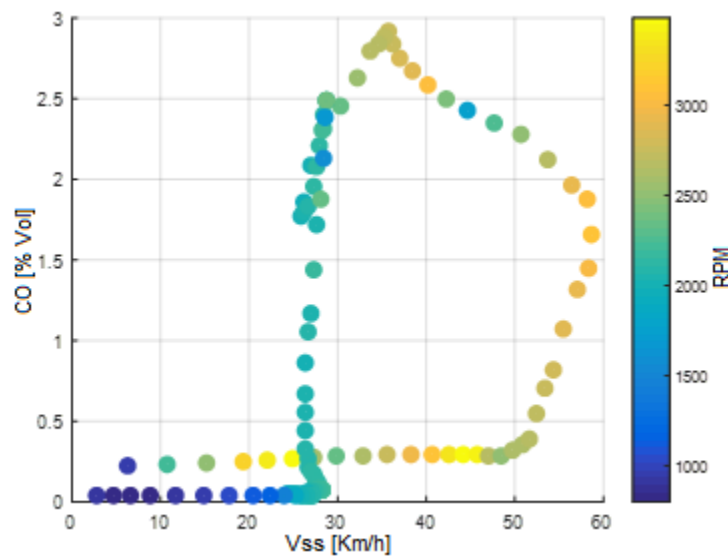


Figura 6.7.15. CO-VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se puede observar en la imagen, a medida que sube régimen de giro y la velocidad, la concentración de CO aumenta, en el momento que el régimen de giro se mantiene constante la concentración de CO disminuye rápidamente y luego progresivamente cuando baja el régimen de giro y la velocidad.

- **CO – VSS – ACELERACIÓN**

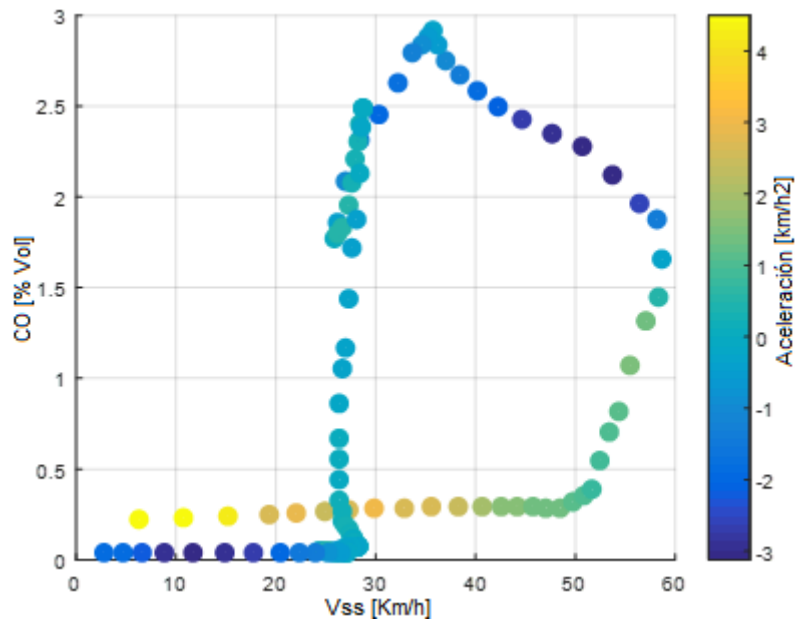


Figura 6.7.16. CO-VSS-ACELERACIÓN

Fuente: Autores

Como se puede observar en la imagen, a medida que hay una mayor aceleración, la concentración de CO aumenta, en el momento que la aceleración es constante, la concentración de CO comienzan a disminuir rápidamente y luego progresivamente cuando hay desaceleración.

También se puede observar que al principio de la desaceleración el CO aumenta en una pequeña parte.

- CO_2 – VSS- RPM

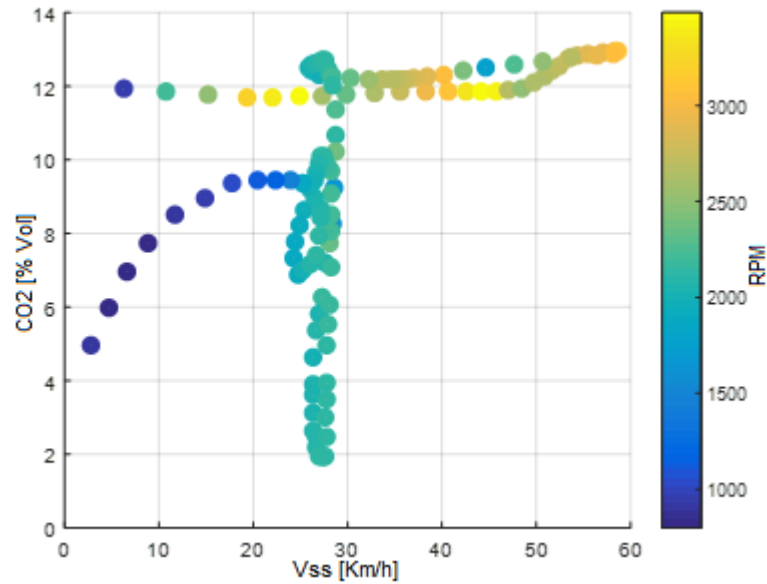


Figura 6.7.17. . CO₂-VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se analiza la gráfica, cada vez que aumenta el régimen de giro, la concentración de CO_2 disminuye una pequeña parte hasta un cierto punto, aumenta en una pequeña porción, debido a una pequeño bajo de régimen, seguido disminuye rápidamente cuando el régimen de giro se mantiene constante y aumenta cuando hay un cambio de régimen de alto a bajo para posteriormente disminuir.

- CO_2 – VSS – ACELERACIÓN

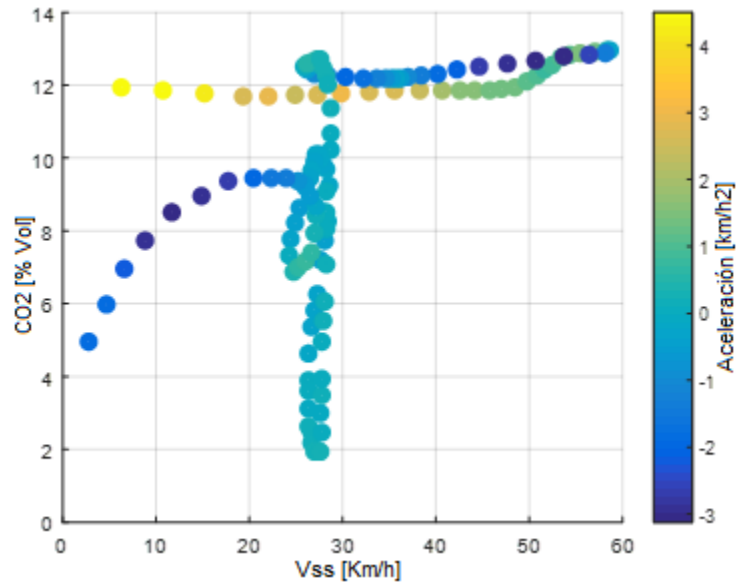


Figura 6.7.18. . CO₂-VSS-ACELERACIÓN.

Fuente: Autores

Como se observa la gráfica a medida que hay una mayor aceleración la concentración de CO_2 disminuye en un pequeña porción hasta un cierto punto, en el momento que ocurre una desaceleración la concentración de CO_2 aumenta una pequeña porción al principio, seguido comienzan a disminuir progresivamente.

- **HC – VSS- RPM**

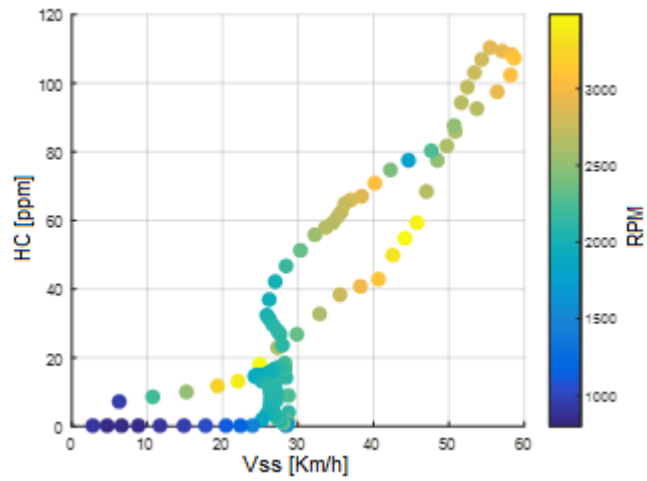


Figura 6.7.19. HC-VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se observa la gráfica, mientras el régimen de giro aumenta la concentración de *HC* aumenta, y disminuyen rápidamente cuando el régimen de giro es constante, por lo tanto existe una relación proporcional.

- **HC – VSS – ACELERACIÓN**

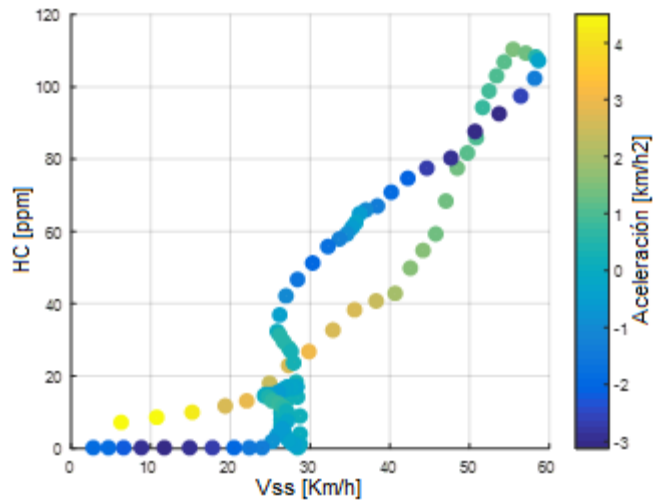


Figura 6.7.20. HC-VSS-ACELERACIÓN.

Fuente: Autores

Como se observa la figura 6.7.20, mientras la aceleración aumenta la concentración de HC aumenta, disminuyen rápidamente cuando existe una aceleración constante, por lo tanto existe una relación proporcional.

- O_2 – VSS- RPM

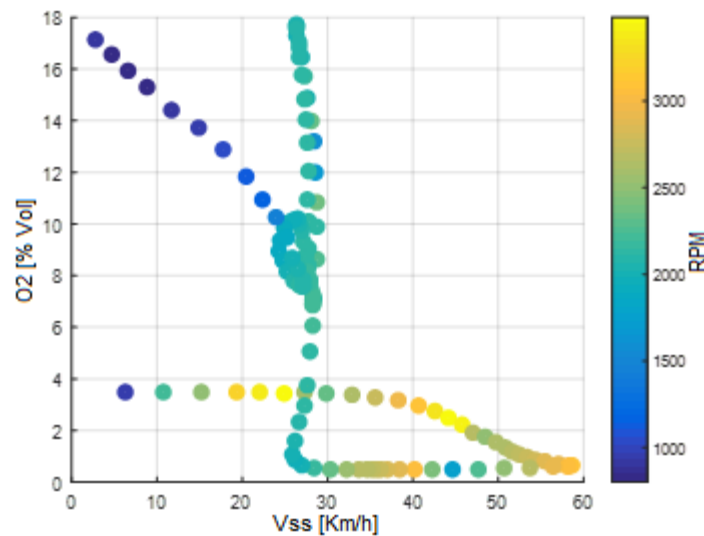


Figura 6.7.21. O_2 -VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se observa la gráfica a medida que la velocidad y el régimen de giro aumenta, la concentración de O_2 disminuye, cuando el régimen de giro es constante el O_2 aumenta rápidamente, para aumentar progresivamente cada vez que el régimen de giro disminuye.

- O_2 – VSS – ACELERACIÓN

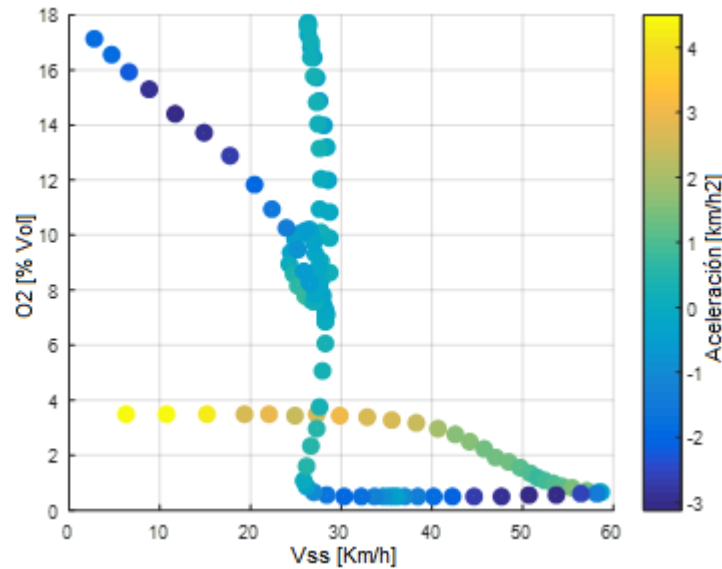


Figura 6.7.22. O_2 -VSS-ACELERACIÓN.

Fuente: Autores

Como se ilustra en la gráfica, cuando aumenta la aceleración, la concentración de O_2 disminuye, cuando se tiene aceleraciones constantes la concentración de O_2 aumenta rápidamente.

6.8. Análisis de las gráficas del vehículo Kia Picanto R TM 1L

A continuación, se estudia el comportamiento de los gases de escape en función de las variables de entrada, para ello se toma en cuenta dos microciclos realizado en la corrida experimental.

6.8.1. Microciclo 1

El microciclo utilizado en la adquisición de datos fue el siguiente:

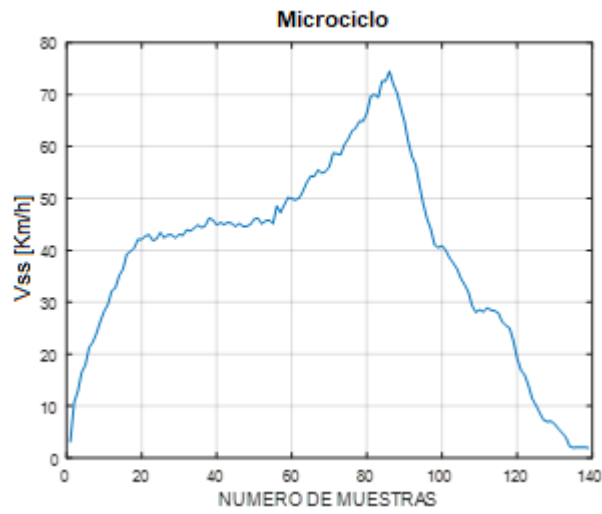


Figura 6.8.1. Microciclo 1

Fuente: Autores

- NO_x -VSS-RPM

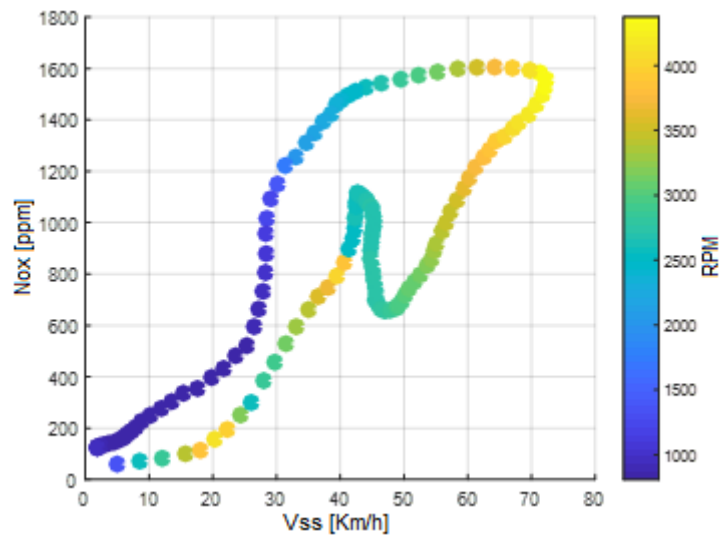


Figura 6.8.2. NO_x -VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se observa en la figura 6.8.2, la concentración de NO_x va aumentando a medida que el régimen de giro aumenta, cuando la velocidad y el régimen de giro es constante, la concentración de NO_x disminuye rápidamente y desciende progresivamente cuando el régimen de giro disminuye.

- **NO_x -VSS-MAP**

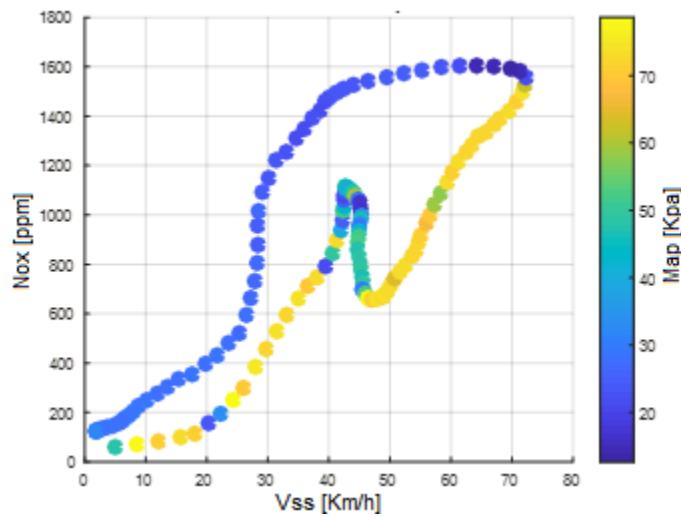


Figura 6.8.3. NO_x -VSS-MAP

Fuente: Autores

Como se ilustra en la gráfica, cuando va aumentado la carga, la concentración de NO_x aumenta, los NO_x disminuyen rápidamente cuando se tiene una carga constante y desciende progresivamente cuando baja la carga.

- **CO-VSS-RPM**

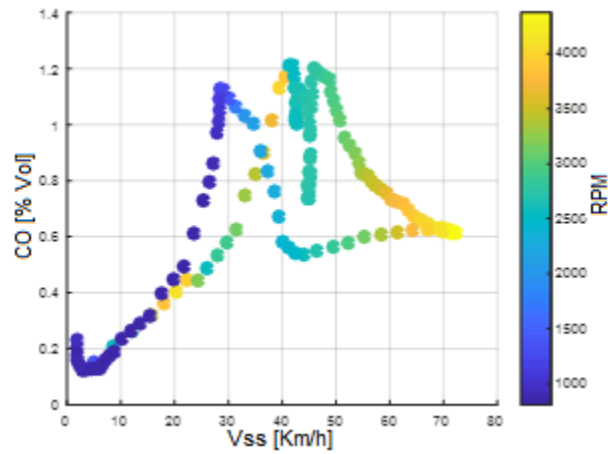


Figura 6.8.4. CO-VSS-RPM.

Fuente: Autores

Como se observa la gráfica, a medida que aumenta régimen de giro y la velocidad, la concentración de *CO* aumenta, también se puede observar que a medida que el régimen de giro es constantes la concentración de *CO* disminuye rápidamente.

- **CO-VSS-MAP**

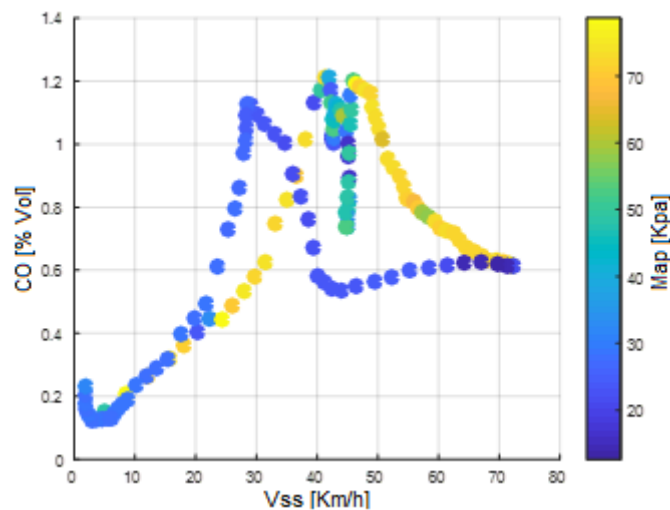


Figura 6.8.5. CO-VSS-MAP

Fuente: Autores

Como se ilustra en la figura 6.8.5, cuando va aumentando la carga, la concentración de CO aumentan, el CO disminuyen rápidamente cuando se tiene una carga constante y desciende progresivamente cuando baja la carga.

- **HC-VSS-RPM**

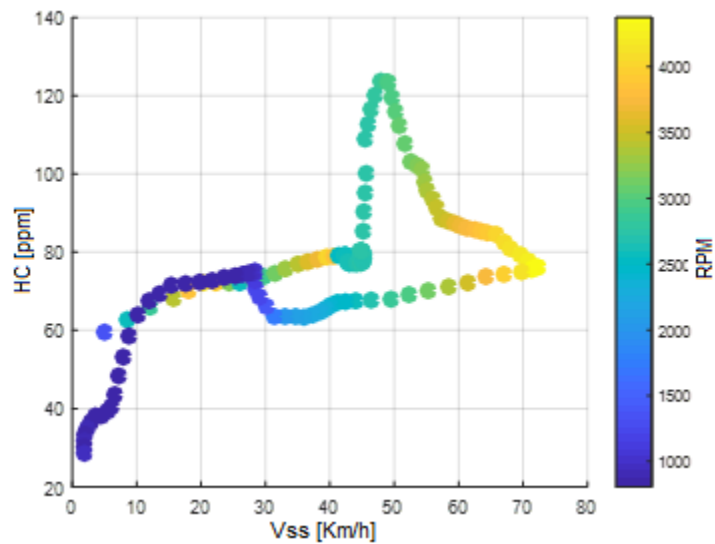


Figura 6.8.6. HC-VSS-RPM.

Fuente: Autores

Como se observa en la gráfica, mientras el régimen de giro aumenta la concentración de HC aumenta, cuando el régimen de giro es constante los HC aumentan rápidamente, por lo tanto existe una relación proporcional.

- **HC-VSS-MAP**

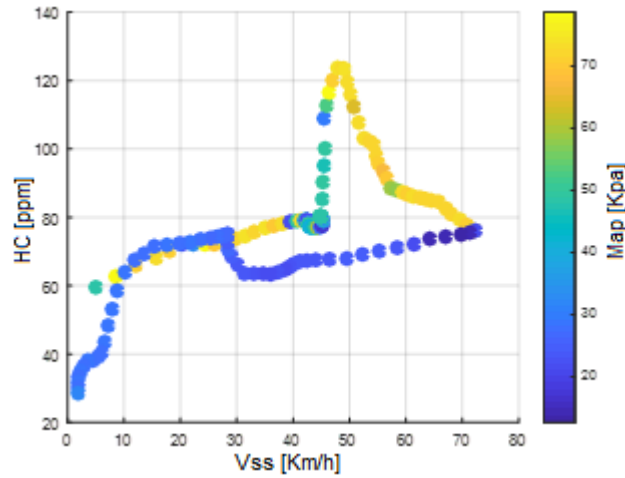


Figura 6.8.7. HC-VSS-MAP.

Fuente: Autores

Como se ilustra en la gráfica, cuando va aumentado la carga la concentración de *HC* aumenta, los *HC* aumentan rápidamente cuando se tiene una carga constante y desciende progresivamente cuando baja la carga.

- **CO₂-VSS-RPM**

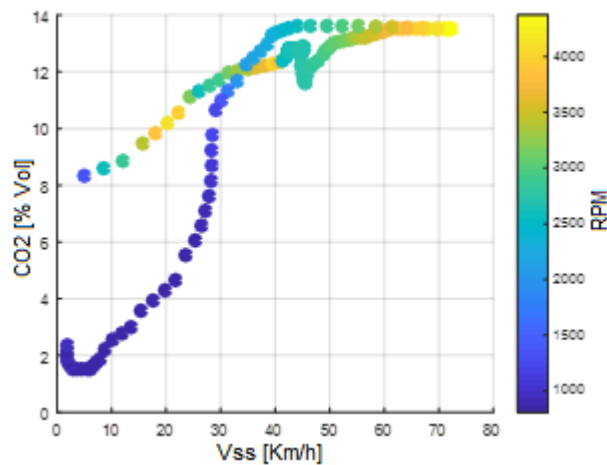


Figura 6.8.8. . CO₂-VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se muestra en la figura 6.8.8, la concentración de CO_2 aumenta cada vez que el régimen de giro sube, disminuyen rápidamente cuando se mantiene el régimen de giro constante y desciende progresivamente cuando disminuye el régimen de giro y velocidad.

- CO_2 -VSS-MAP

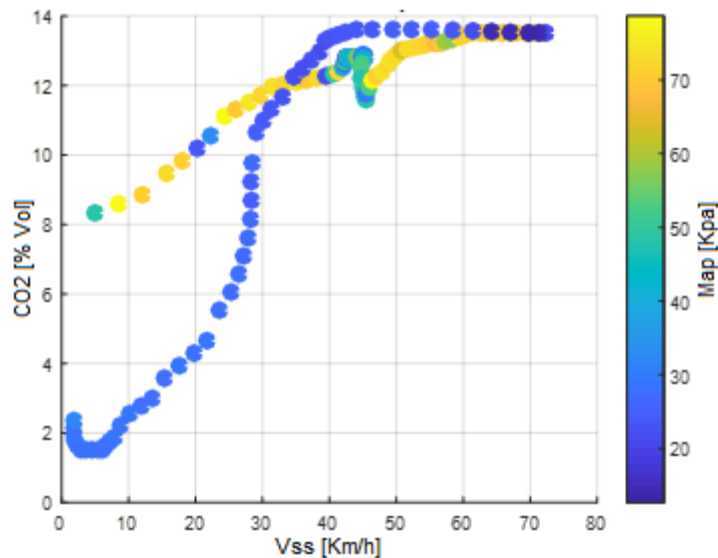


Figura 6.8.9. . CO_2 -VSS-MAP

Fuente: Autores

En la siguiente gráfica, la concentración de CO_2 aumenta cada vez que aumenta la carga, disminuyen rápidamente cuando se mantiene una carga constante y desciende progresivamente cuando se disminuye la carga.

- **O_2 -VSS-RPM**

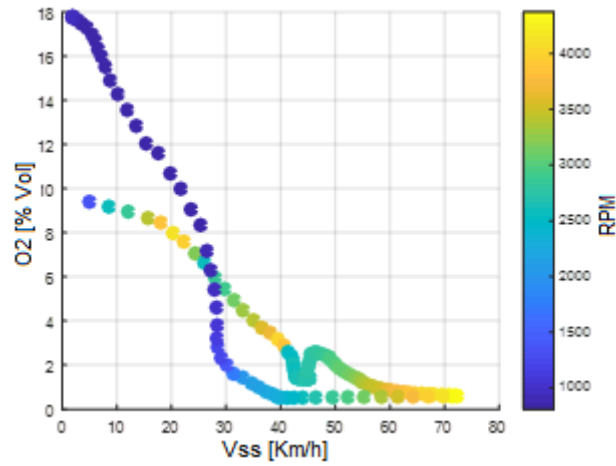


Figura 6.8.10. O_2 -VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se observa en la gráfica, a medida que aumenta el régimen de giro y la velocidad, la concentración de O_2 disminuye, es decir tiene una relación proporcional.

- **O_2 -VSS-MAP**

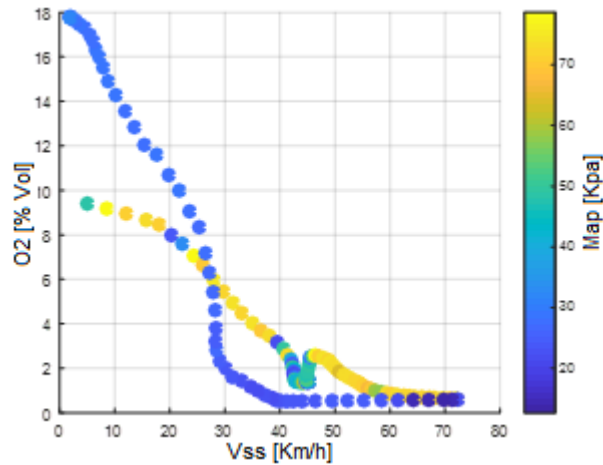


Figura 6.8.11. O_2 -VSS-MAP

Fuente: Autores

Como se ilustra en la figura 6.8.11, cuando sube la carga, la concentración de O_2 disminuye, es decir tiene una relación proporcional.

6.8.2. Microciclo 2

El microciclo utilizado en la adquisición de los datos fue el siguiente:

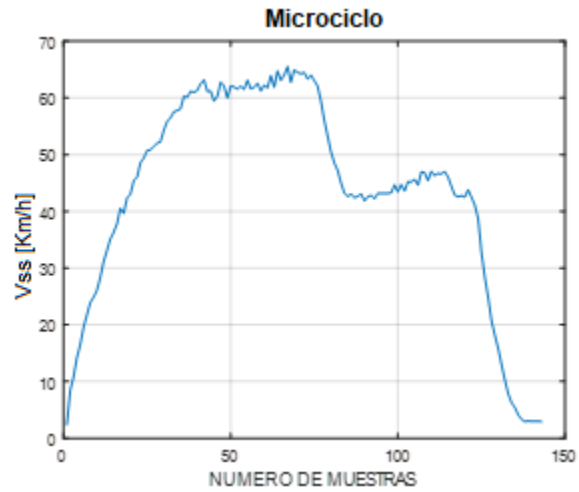


Figura 6.8.12. Microciclo 2.

Fuente: Autores

- NO_x -VSS-RPM

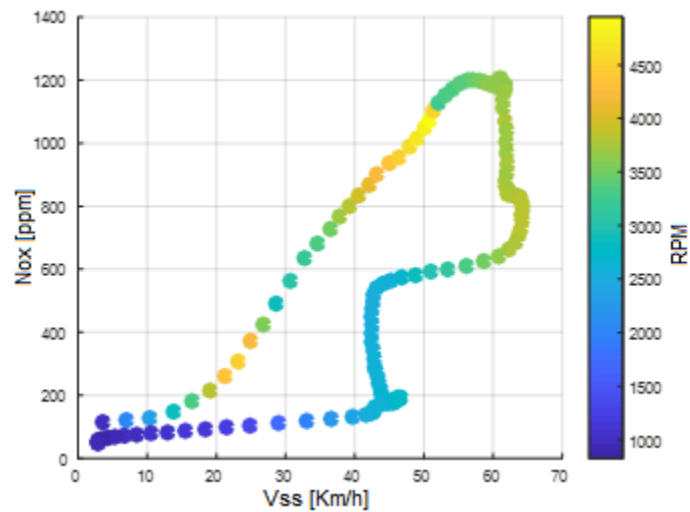


Figura 6.8.13. NO_x -VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se observa en la figura 6.8.13, la concentración de NO_x aumenta cuando el régimen de giro aumenta, cuando la velocidad y el régimen de giro se mantiene constante, la concentración de NO_x disminuye rápidamente y desciende progresivamente cuando el régimen de giro disminuye.

- NO_x -VSS-MAP

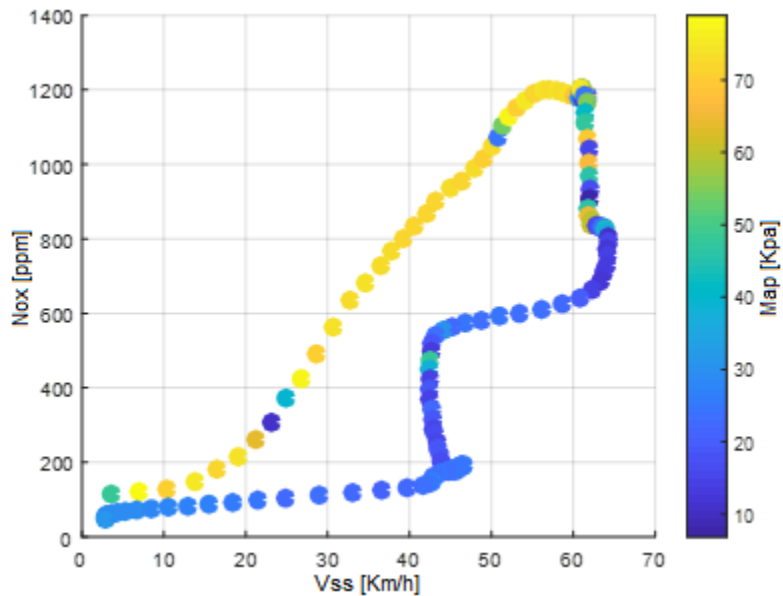


Figura 6.8.14. NO_x -VSS-MAP.

Fuente: Autores

Como se observa en la gráfica, cuando aumenta la carga la concentración de NO_x aumenta, los NO_x disminuyen rápidamente cuando se tiene una carga constante y desciende progresivamente cuando baja la carga.

- **CO-VSS-RPM**

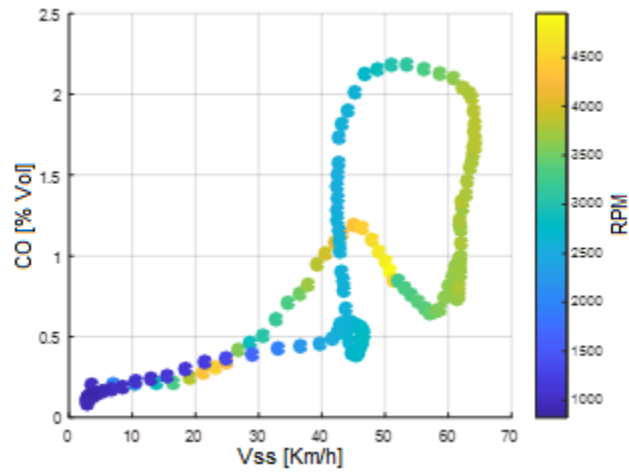


Figura 6.8.15. CO-VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se observa en la gráfica, a medida que va aumentando el régimen de giro y la velocidad, la concentración de *CO* aumenta, también se puede observar que a medida que el régimen de giro es constante la concentración de *CO* disminuye rápidamente.

- **CO-VSS-MAP**

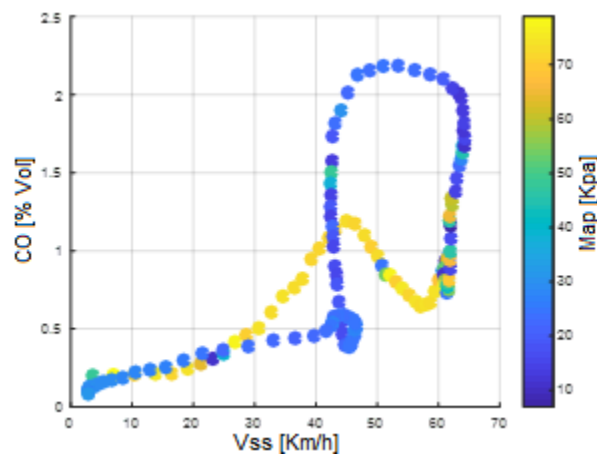


Figura 6.8.16. CO-VSS-MAP.

Fuente: Autores

Como se muestra en la figura 6.18.6, a medida que va aumentando la carga la concentración de CO aumenta, el CO disminuye rápidamente cuando se tiene una carga constante y desciende progresivamente cuando baja la carga.

- **HC-VSS-RPM**

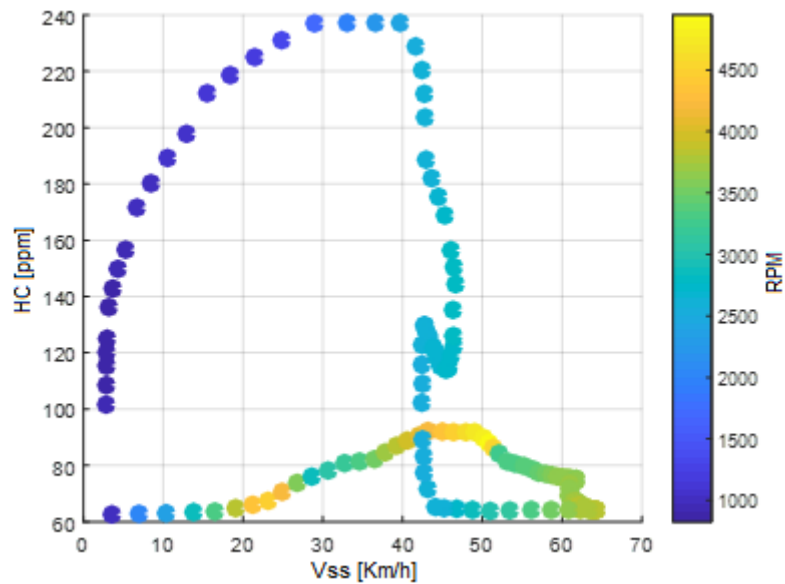


Figura 6.8.17. HC-VSS-RPM.

Fuente: Autores

Como se observa en la gráfica, mientras el régimen de giro aumenta, la concentración HC aumenta, cuando el régimen de giro es constante los HC aumentan rápidamente, posteriormente desciende progresivamente cuando baja el régimen de giro y la velocidad.

- **HC-VSS-MAP**

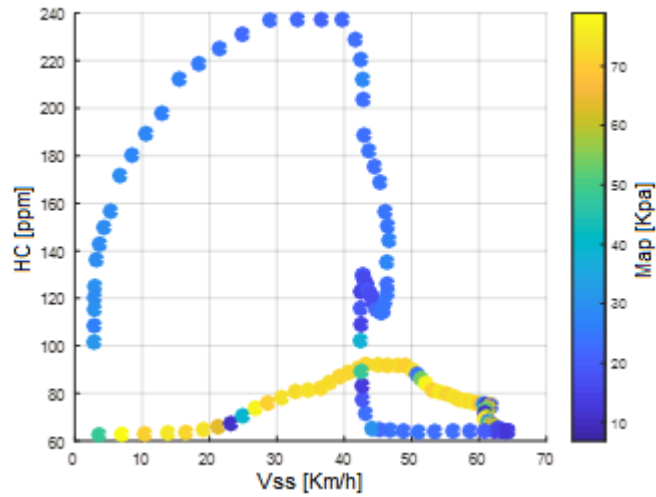


Figura 6.8.18. HC-VSS-MAP

Fuente: Autores

Como se ilustra en la gráfica, cuando va aumentado la carga, la concentración de *HC* aumenta, los *HC* aumentan rápidamente cuando se tiene una carga constante y desciende progresivamente cuando baja la carga.

- **CO₂-VSS-RPM**

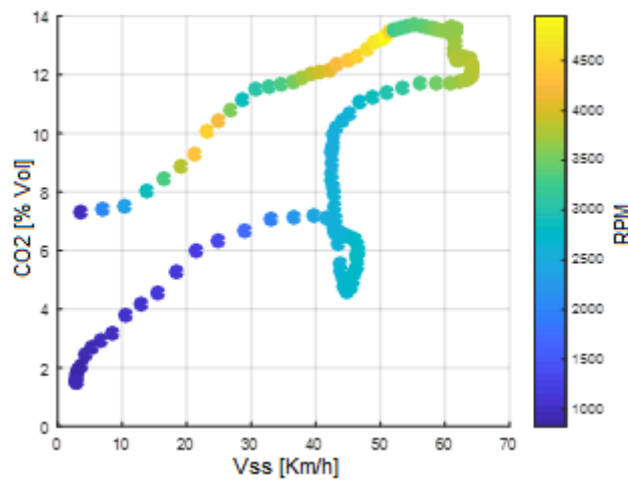


Figura 6.8.19. . CO₂-VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se muestra en la figura 6.8.19, la concentración de CO_2 aumenta cada vez que el régimen de giro sube, disminuyen rápidamente cuando se mantiene el régimen de giro constante y desciende progresivamente cuando se disminuye las régimen de giro y velocidad.

- **CO_2 -VSS-MAP**

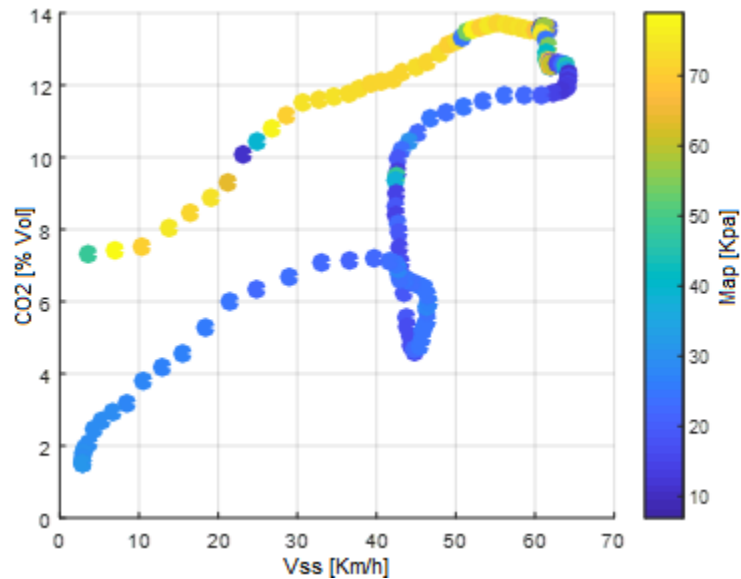


Figura 6.8.20. . CO_2 -VSS-MAP.

Fuente: Autores

En la siguiente gráfica, la concentración de CO_2 va aumentando cada vez que aumenta la carga, disminuyen rápidamente cuando se mantiene una carga constante y desciende progresivamente cuando se disminuye la carga.

- O_2 -VSS-RPM

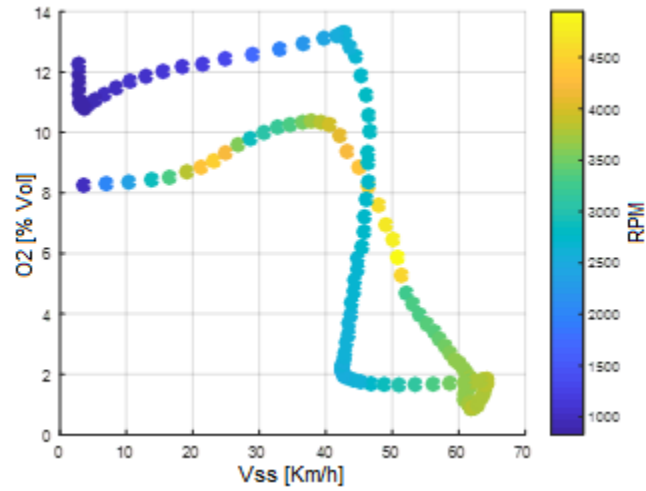


Figura 6.8.21. O_2 -VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se observa en la gráfica, a medida que va aumentando el régimen de giro y la velocidad, la concentración de O_2 va disminuye, aumentan rápidamente cuando el régimen de giro es constante.

- O_2 -VSS-MAP

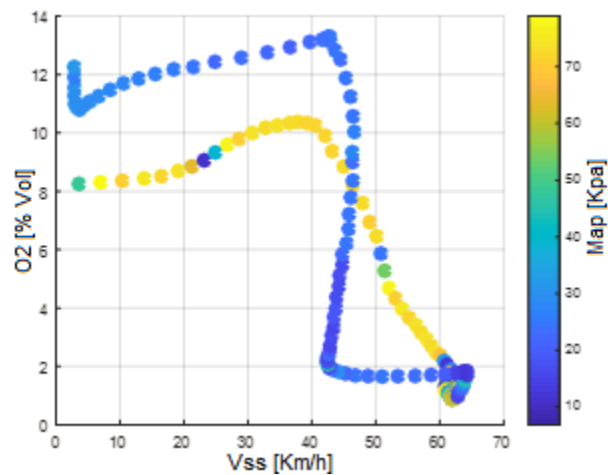


Figura 6.8.22. O_2 -VSS-RPM

Fuente: Autores

Como se ilustra en la figura 6.8.22, cuando sube la carga, la concentración de O_2 va disminuyendo, en cambio cuando se tiene una carga constante la concentración de O_2 aumenta rápidamente.

6.9. Fase 3: Caracterización del modelo matemático del comportamiento de las emisiones contaminantes y los PID's

Una vez realizado la comprobación de los datos y análisis del comportamiento, se determina un modelo matemático para cada uno de los gases contaminantes de cada vehículo.

6.9.1. Caracterización de los modelos para el Chevrolet Aveo Emotion 1.6L.

Con la ayuda del software Minitab® se determinó el modelo para cada emisión de gases de contaminantes.

- NO_x

En la figura 6.9.1 indica que la variable VSS es la más representativa dentro de la ecuación final (1).

$$NO_x = 140 - 7,59x_1 - 0,0638x_2 + 0,0729x_1^2 + 0,005194x_1x_2 \quad (1)$$

Regresión múltiple para NO (ppm)
Informe de construcción del modelo

X1: VSS X2: RPM

Ecuación final del modelo

$$\text{NO (ppm)} = -140,0 - 7,59 X_1 - 0,0638 X_2 + 0,0729 X_1^2 + 0,005194 X_1 X_2$$

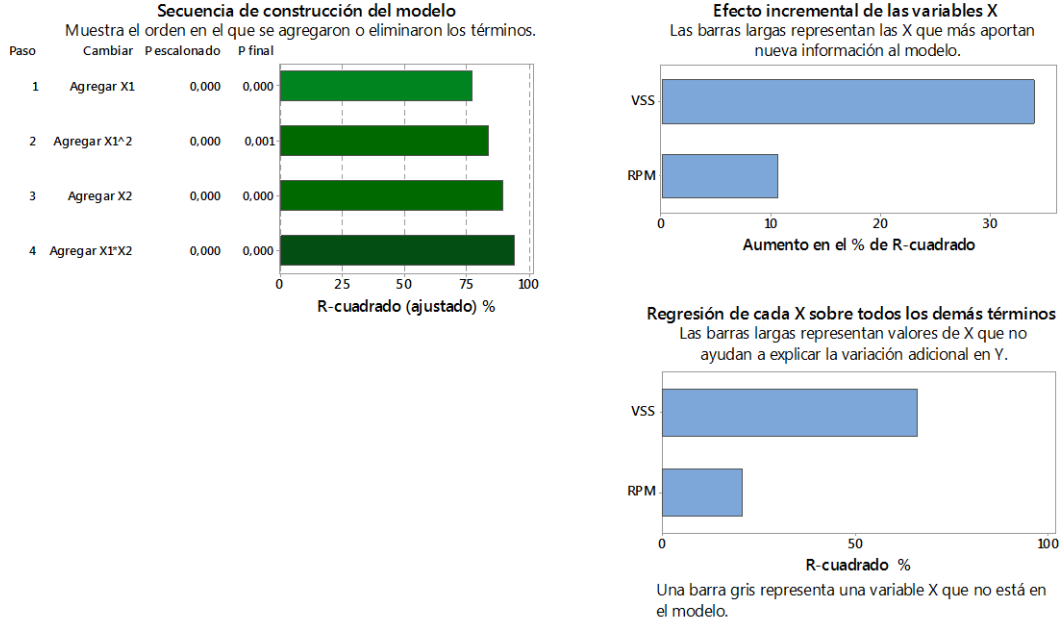


Figura 6.9.1. Modelo matemático del NO_x -1.

Fuente: Autores

- CO

En la figura 6.9.2 indica que la variable rpm es la más representativa dentro de la ecuación final (2).

$$CO = 0,514 + 0,0031x_1 - 0,000724x_2 - 0,000803x_1^2 + 0,000035x_1x_2 \quad (2)$$

Regresión múltiple para CO (% Vol)
Informe de construcción del modelo

X1: VSS X2: RPM

Ecuación final del modelo

$$CO (\% Vol) = 0,514 + 0,0031 X1 - 0,000724 X2 - 0,000803 X1^2 + 0,000035 X1 * X2$$

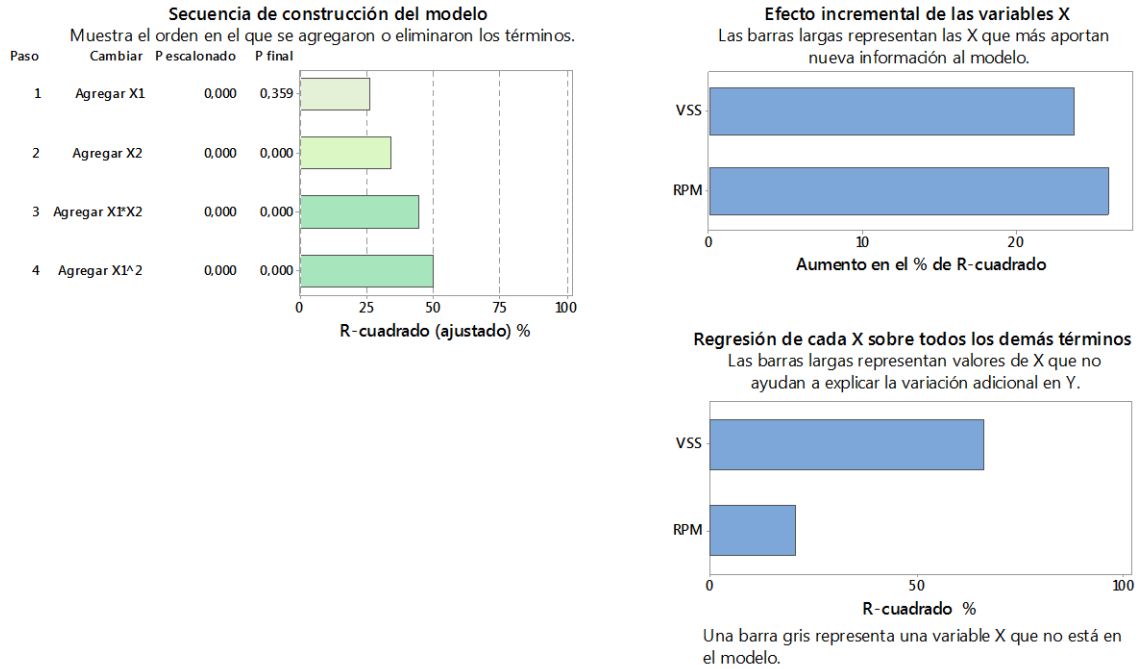


Figura 6.9.2. Modelo Matemático del CO-1.

Fuente: Autores

- **CO₂**

En la figura 6.9.3 indica que la variable rpm es la más representativa dentro de la ecuación final (3).

$$CO_2 = 1,042 + 0,2920x_1 + 0,002898x_2 - 0,001039x_1^2 - 0,000060x_1x_2 \quad (3)$$

**Regresión múltiple para CO2 (% Vol)
Informe de construcción del modelo**

X1: VSS X2: RPM

Ecuación final del modelo

$$\text{CO2 (\% Vol)} = 1,042 + 0,2920 X1 + 0,002898 X2 - 0,001039 X1^2 - 0,000060 X1 \cdot X2$$

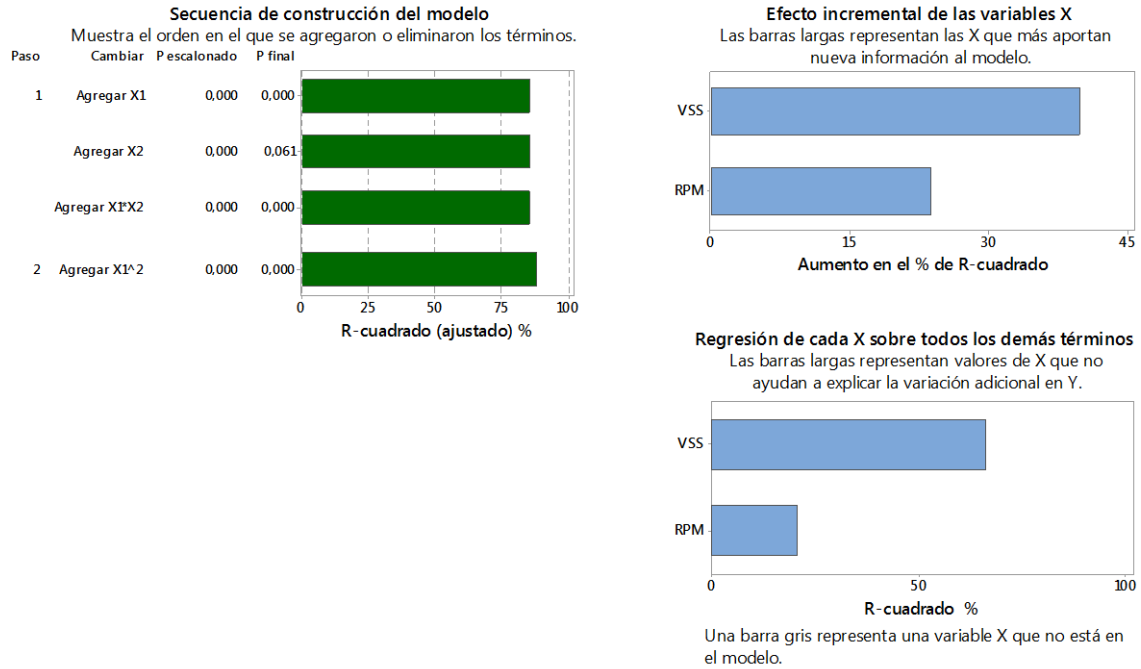


Figura 6.9.3. Modelo matemático del CO₂- 1

Fuente: Autores

- **HC**

En la figura 6.9.4 indica que la variable rpm es la más representativa dentro de la ecuación final (4).

$$HC = -32,2 + 0,113x_1 + 0,0338x_2 - 0,02306x_1^2 - 0,000010x_2^2 + 0,000877x_1x_2 \quad (4)$$

**Regresión múltiple para HC (ppm)
Informe de construcción del modelo**

X1: VSS X2: RPM

Ecuación final del modelo

$$HC \text{ (ppm)} = -23,2 + 0,113 X1 + 0,0338 X2 - 0,02306 X1^2 - 0,000010 X2^2 + 0,000877 X1 \cdot X2$$

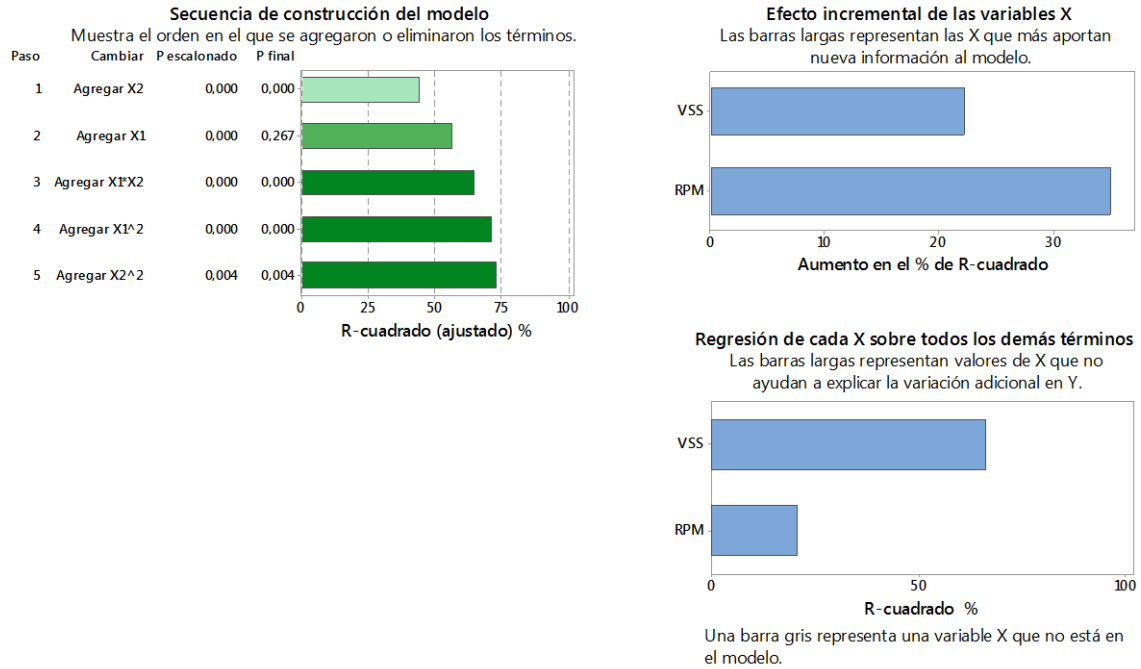


Figura 6.9.4. Modelo matemático de lo HC-1

Fuente: Autores

- O_2

En la figura 6.9.5 indica que la variable VSS es la más representativa dentro de la ecuación final (5).

$$O_2 = 14,154 - 0,3146x_1 + 0,002840x_2 - 0,0004036x_1^2 + 0,000074x_1x_2 \quad (5)$$

**Regresión múltiple para O2 (% Vol)
Informe de construcción del modelo**

X1: VSS X2: RPM

Ecuación final del modelo

$$O_2 (\% Vol) = 14,154 - 0,3146 X_1 - 0,002840 X_2 + 0,000403 X_1^2 + 0,000074 X_1 \cdot X_2$$

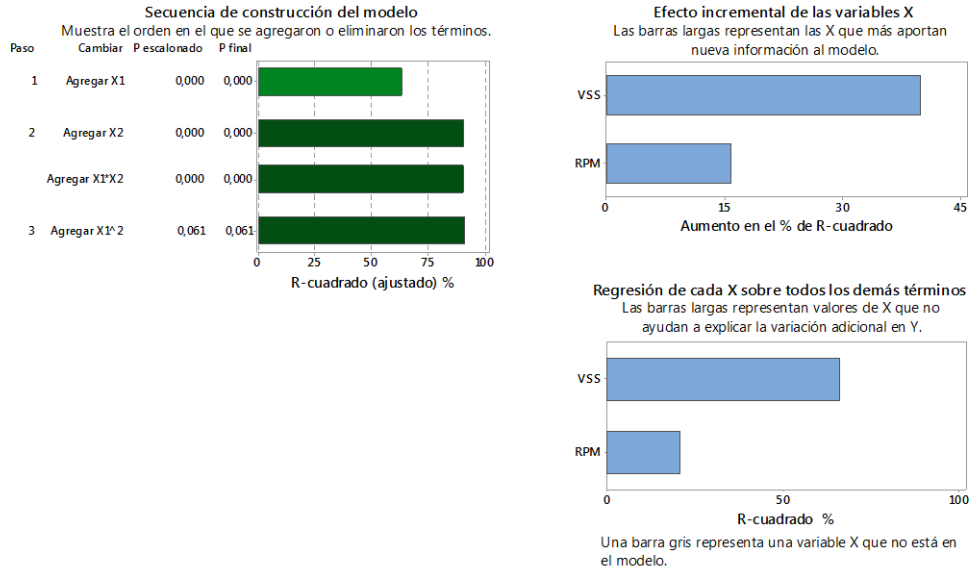


Figura 6.9.5. Modelo matemático del O₂.-I

Fuente: Autores

6.9.2. Caracterización de los modelos para el Hyundai Accent 1.6L

Con la ayuda del software Minitab® se determinó el modelo para cada emisión de gases de contaminantes.

- **NO_x**

En la figura 6.9.6 indica que la variable VSS es la más representativa dentro de la ecuación final (6).

$$NO_x = 628 - 0,537x_1 + 21,51x_2 + 0,000077x_1^2 \quad (6)$$

Regresión múltiple para NOx (ppm)
Informe de construcción del modelo

X1: RPM X2: VSS

Ecuación final del modelo

$$\text{NOx (ppm)} = 628 - 0,537 X1 + 21,51 X2 + 0,000077 X1^2$$

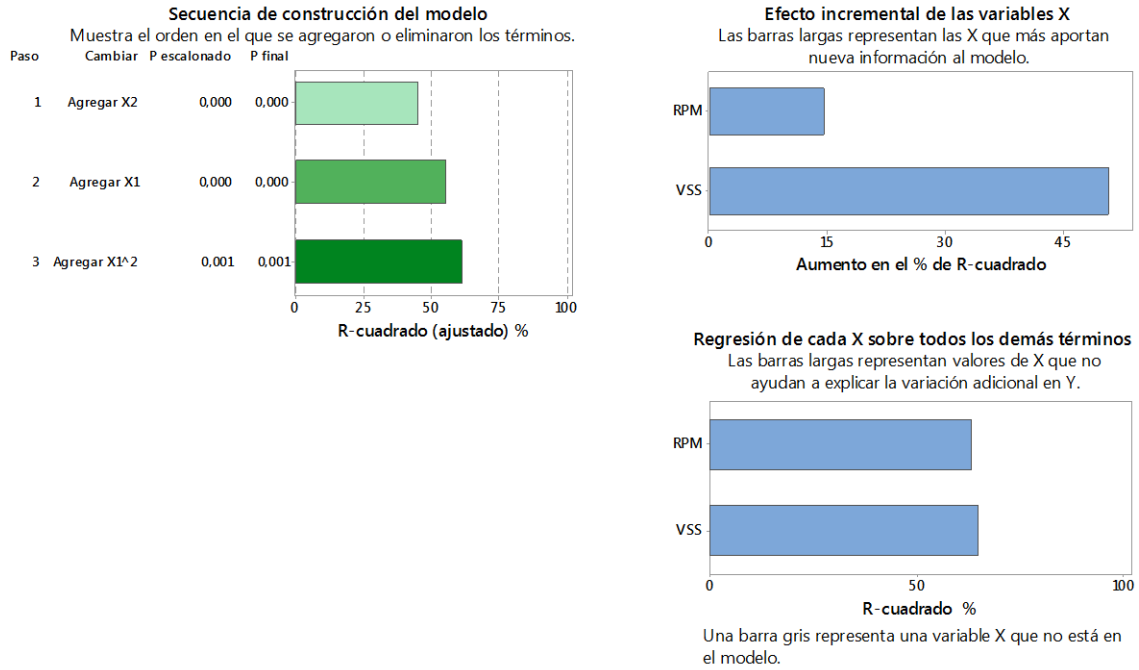


Figura 6.9.6. Modelo matemático del NO_x -2..

Fuente: Autores

- CO

En la figura 6.9.7 indica que la variable VSS es la más representativa dentro de la ecuación final (7).

$$CO = 1,263 - 0,001205x_1 + 0,000724x_2 \quad (7)$$

Regresión múltiple para CO (% Vol)
Informe de construcción del modelo

X1: RPM X2: VSS

Ecuación final del modelo

$$CO (\% Vol) = 1,263 - 0,001205 X1 + 0,12108 X2$$

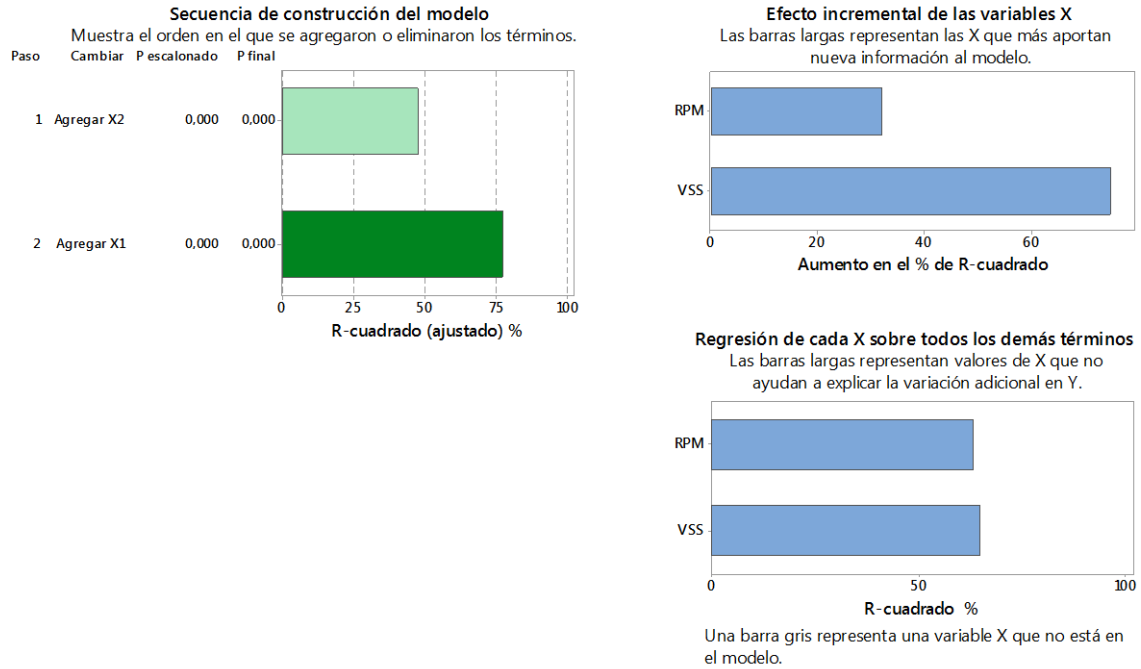


Figura 6.9.7. Modelo matemático del CO-2.

Fuente: Autores

- **CO₂**

En la figura 6.9.8 indica que la variable VSS es la más representativa dentro de la ecuación final (8).

$$CO_2 = 7,54 - 0,00153x_1 + 0,1932x_2 + 0,0000002x_1^2 + 0,00601x_2^2 - 0,000203x_1x_2 \quad (8)$$

Regresión múltiple para CO2 (% Vol) Informe de construcción del modelo

X1: RPM X2: VSS

Ecuación final del modelo

$$\text{CO}_2 (\% \text{ Vol}) = 7,54 - 0,00153 X_1 + 0,1932 X_2 + 0,000002 X_1^2 + 0,00601 X_2^2 - 0,000203 X_1 X_2$$

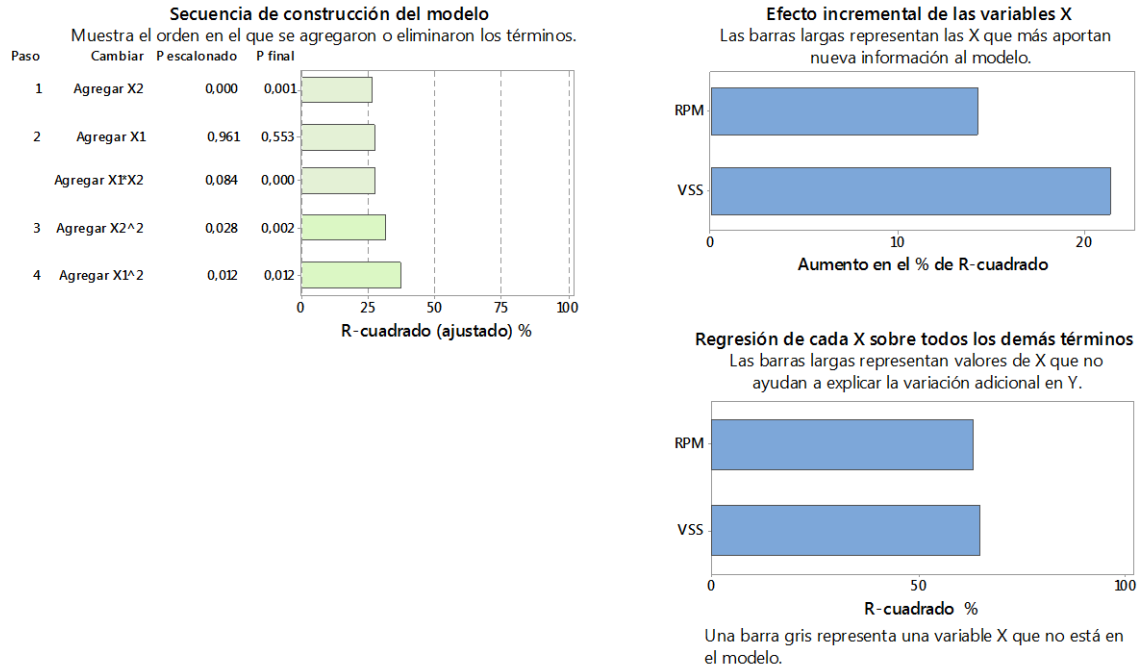


Figura 6.9.8. Modelo matemático del CO₂-2.

Fuente: Autores

- HC

En la figura 6.9.9 indica que la variable VSS es la más representativa dentro de la ecuación final (9).

$$HC = -8,12 + 0,00587x_1 - 0,621x_2 + 0,04196x_2^2 \quad (9)$$

**Regresión múltiple para HC
Informe de construcción del modelo**

X1: RPM X2: VSS

Ecuación final del modelo

$$HC = -8,12 + 0,00587 X1 - 0,621 X2 + 0,04196 X2^2$$

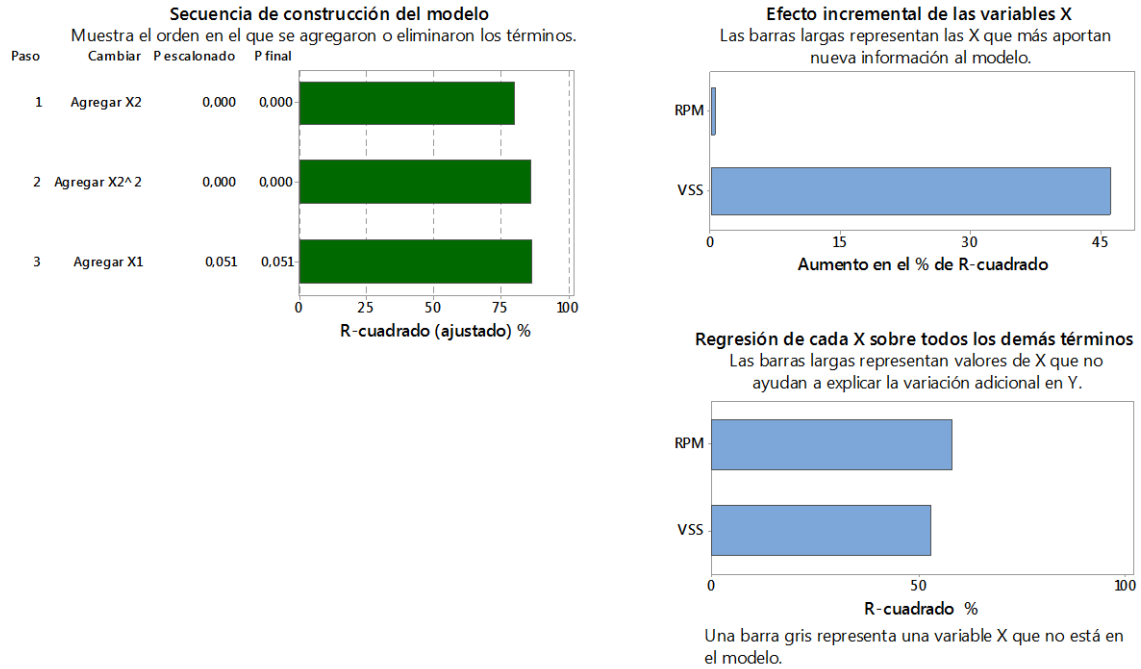


Figura 6.9.9. Modelo matemático de los HC-2.

Fuente: Autores

- O_2

En la figura 6.9.10 indica que la variable VSS es la más representativa dentro de la ecuación final (10).

$$O_2 = 13,63 - 0,00119x_1 - 0,4921x_2 + 0,00364x_2^2 + 0,000050x_1x_2 \quad (10)$$

**Regresión múltiple para O2 (% Vol)
Informe de construcción del modelo**

X1: RPM X2: VSS

Ecuación final del modelo

$$O_2 (\% \text{ Vol}) = 13,63 - 0,00119 X_1 - 0,4921 X_2 + 0,00364 X_2^2 + 0,000050 X_1 X_2$$

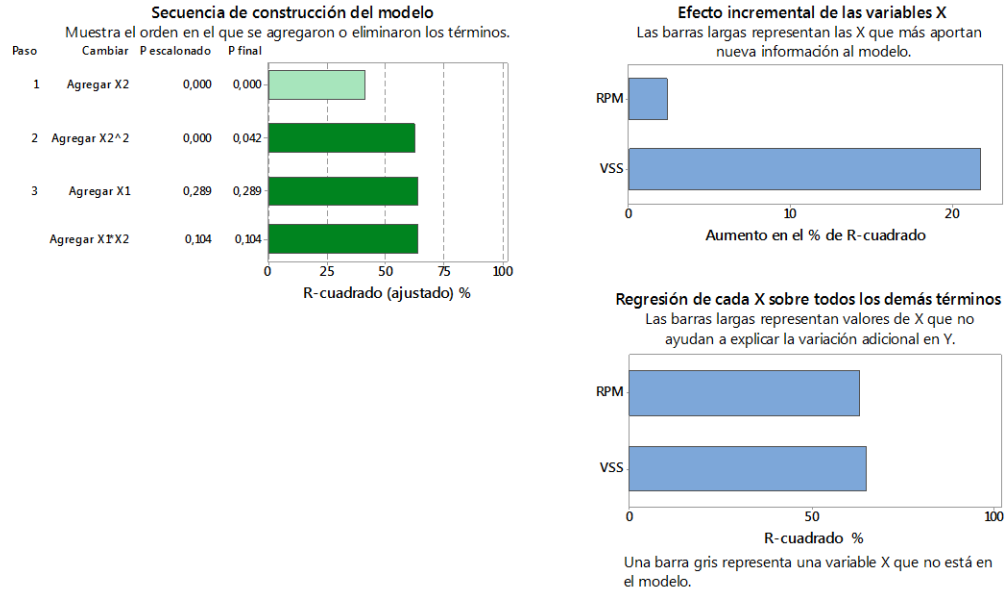


Figura 6.9.10. Modelo matemático del O₂-2.

Fuente: Autores

6.9.3. Caracterización de los modelos para Kia Picanto R TM 1L

Con la ayuda del software Minitab® se determinó el modelo para cada emisión de gases de contaminantes.

- **NO_x**

En la figura 6.9.11 indica que la variable VSS es la más representativa dentro de la ecuación final (10).

$$NO_x = 597 - 0,678x_1 + 30,31x_2 - 0,857x_2^2 + 0,02140x_1x_2 \quad (11)$$

Regresión múltiple para NO
Informe de construcción del modelo

X1: RPM X2: Vss

Ecuación final del modelo

$$NO = 597 - 0,678 X1 + 30,31 X2 - 0,857 X2^2 + 0,02140 X1 \cdot X2$$

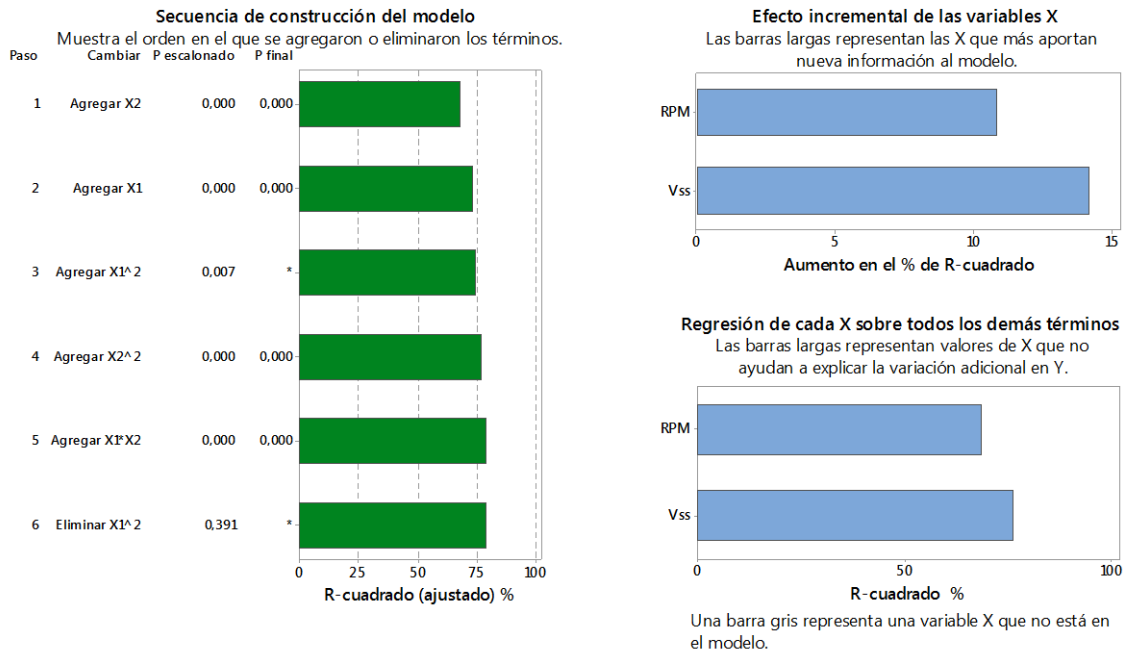


Figura 6.9.11. Modelo matemático del NO_x -3.

Fuente: Autores

- **CO**

En la figura 6.9.12 indica que la variable VSS es la más representativa dentro de la ecuación final (12).

$$CO = 0,0059 - 0,000157x_1 + 0,05705x_2 - 0,000586x_2^2 \quad (12)$$

Regresión múltiple para CO
Informe de construcción del modelo

X1: RPM X2: Vss

Ecuación final del modelo

$$CO = 0,0059 - 0,000157 X1 + 0,05705 X2 - 0,000586 X2^2$$

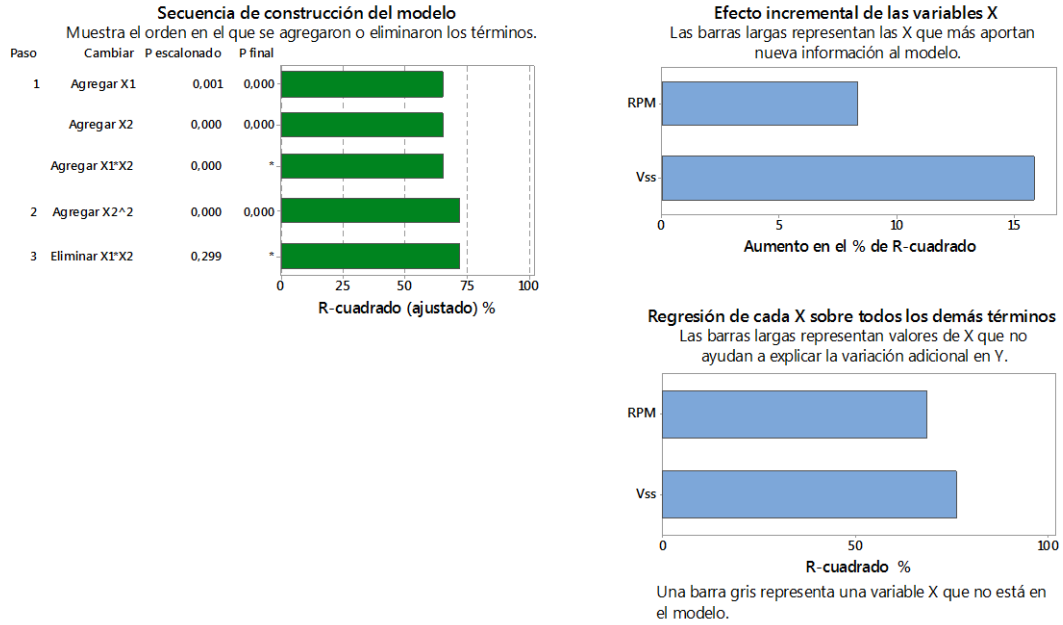


Figura 6.9.12 Modelo matemático del CO-3.

Fuente: Autores

- CO_2

En la figura 6.9.13 indica que la variable rpm es la más representativa dentro de la ecuación final (13).

$$CO_2 = -5,135 + 0,00740x_1 + 0,1896x_2 - 0,000001x_1^2 - 0,000048x_1x_2 \quad (13)$$

Regresión múltiple para CO2 Informe de construcción del modelo

X1: RPM X2: Vss

Ecuación final del modelo

$$CO_2 = -5,135 + 0,00740 X_1 + 0,1896 X_2 - 0,000001 X_1^2 - 0,000048 X_1 \cdot X_2$$

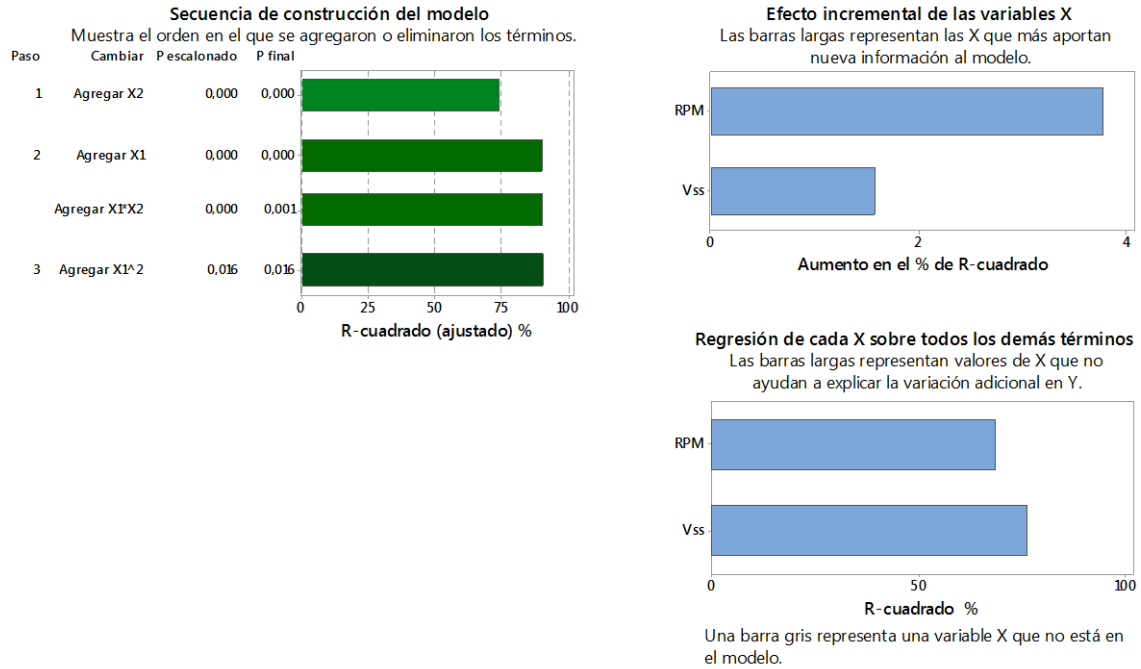


Figura 6.9.13. Modelo matemático del CO₂-3.

Fuente: Autores

- HC

En la figura 6.9.14 indica que la variable rpm es la más representativa dentro de la ecuación final (14).

$$HC = 23,34 + 0,01205x_1 + 2,114x_2 - 0,000536x_1x_2 \quad (14)$$

Regresión múltiple para HC Informe de construcción del modelo

X1: RPM X2: Vss

Ecuación final del modelo

$$HC = 23,34 + 0,01205 X1 + 2,114 X2 - 0,000536 X1 \cdot X2$$

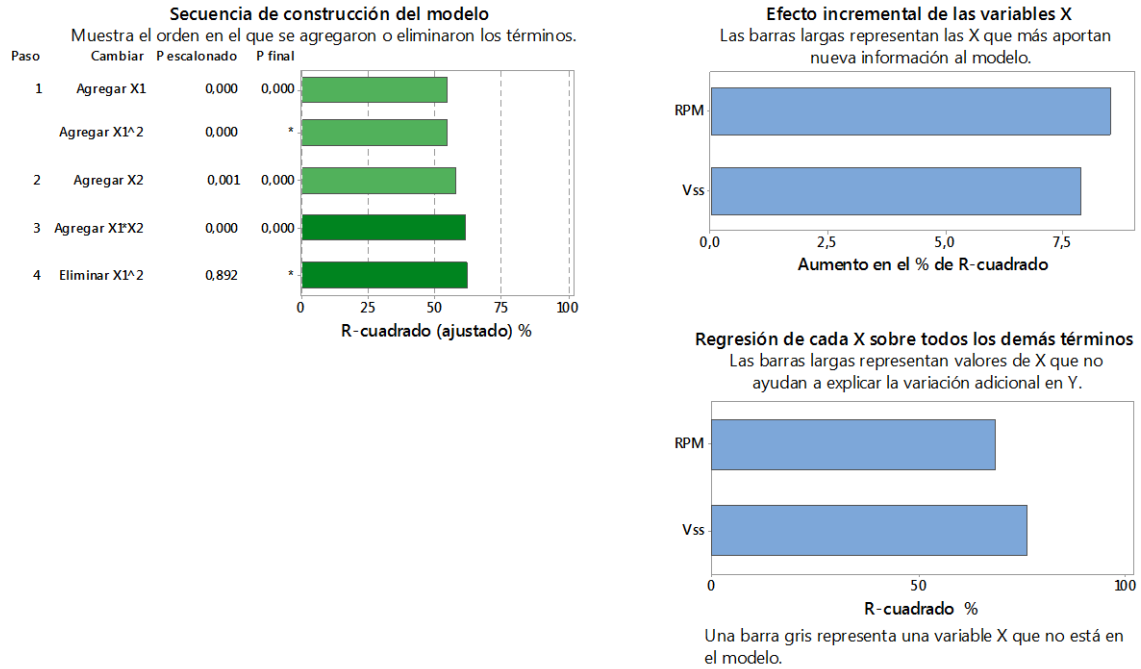


Figura 6.9.14. Modelo matemático de los HC-3.

Fuente: Autores

- O_2

En la figura 6.9.15 indica que la variable VSS es la más representativa dentro de la ecuación final (15).

$$O_2 = 19,289 - 0,000457x_1 - 0,6035x_2 + 0,005242x_2^2 \quad (15)$$

Regresión múltiple para O2 Informe de construcción del modelo

X1: RPM X2: Vss

Ecuación final del modelo

$$O_2 = 19,289 - 0,000457 X_1 - 0,6035 X_2 + 0,005242 X_2^2$$

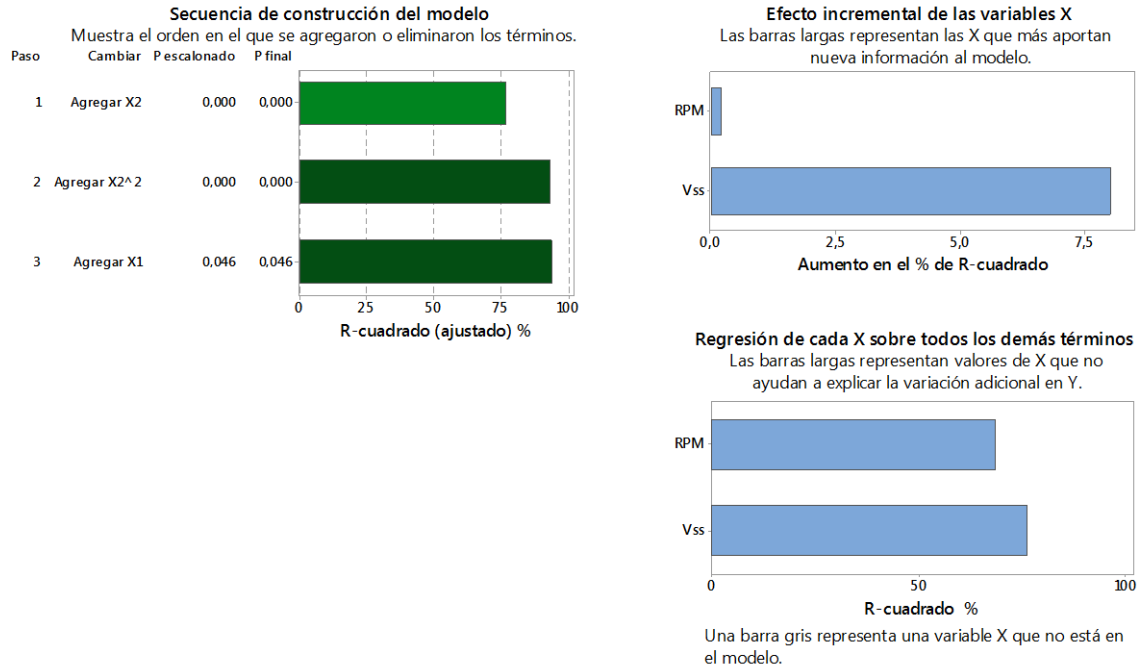


Figura 6.9.15. Modelo matemático del O₂-3.

Fuente: Autores

6.10. Fase 4: Análisis de resultados mediante redes neuronales

Para la instauración de la RNA se usa el comando `nstart`, lo que facilita el software Matlab®, lo que presenta con una distribución de una capa oculta con funciones de tipo *tagsig*, con un intervalo de 10 a 15 neuronas compuestas en una capa oculta, la RNA empleada se la puede visualizar en la figura 6.10.1.

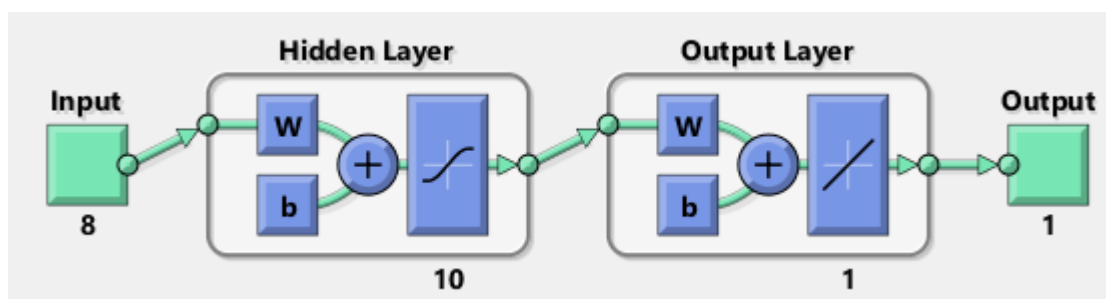


Figura 6.10.1. Modelo de la Red Neuronal

Fuente: Autores

Los datos de entrada para entrenar a la red son valores estáticos, los cuales se dividen en determinado número de muestras en los siguientes porcentajes:

Entrenamiento: 70 %, las muestras se presentan a la red durante el ensayo y la red se ajusta de acuerdo con su error.

Validación: 15 %, las muestras se utilizan para medir la generalización de la red y para detener el entrenamiento cuando la generalización deja de mejorar.

Prueba: 15 %, las muestras no tienen ningún efecto en la preparación y, por lo tanto, proporcionan una medida independiente del rendimiento de la red durante y después del entrenamiento.

Para el entrenamiento de la red se utilizarán variables de entradas en este caso los datos de los sensores del vehículo y como variables de salida se tienen los gases contaminantes de

cada vehículo como se ve en la figura 6.10.2, con sus respectivos datos distribuidos de la siguiente forma:

En el vehículo Chevrolet Aveo y Kia Picanto se utilizará una matriz de 8x64 en los valores de entrada y una matriz 8x1 en los valores de salida.

En el vehículo Hyundai Accent se manejará una matriz de 8x51 en los valores de entrada y una matriz de 8x1 en los valores de salida.

	A	B	C	D	E	F	G	H
	RPM	Aceleración	VSS	TPS	ECT	IAT	MAP	MAF
	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number	Number
1	RPM	Aceleración	VSS	TPS	ECT	IAT	MAP	MAF
2	2.1174e+03	3.3379	6.6390e-16	66.0445	90.0607	53.0358	73.0493	-1.0007e+10
3	3.1950e+03	3.3435	8.0166	49.2682	102.0827	60.1154	81.9681	-1.1343e+10
4	3.7561e+03	3.7957	13.9193	1.6470	90.5198	53.3061	73.3655	-1.0058e+10
5	3.8605e+03	3.3763	13.7722	-26.4459	83.7637	49.3263	69.2013	-9.3068e+09
6	3.7734e+03	2.2638	13.8004	-3.3764	89.5174	52.7156	72.7853	-9.9463e+09
7	3.7102e+03	2.1625	19.0381	51.8051	93.8230	55.2530	74.0022	-1.0425e+10
8	3.7570e+03	3.0858	24.6976	96.2052	90.5534	53.3263	72.9637	-1.0062e+10
9	3.8258e+03	3.4666	25.1348	108.0747	87.5913	51.5797	75.4279	-9.7317e+09
10	3.7832e+03	2.7266	24.6823	100.3257	89.6078	52.7686	74.3907	-9.9562e+09
11	3.6434e+03	2.3414	29.4916	95.0505	91.5686	53.9267	56.3686	-1.0175e+10
12	3.5838e+03	2.8675	36.2331	98.2083	90.3850	53.2277	25.9800	-1.0043e+10
13	3.6475e+03	2.9884	38.0420	101.3166	89.0697	52.4506	6.9061	-9.8948e+09
14	3.6273e+03	2.0354	36.9201	99.6681	89.7849	52.8731	15.8366	-9.9753e+09
15	3.3477e+03	1.3712	39.2671	97.5339	90.5718	53.3389	44.1470	-1.0066e+10
16	2.9650e+03	1.8631	44.1501	98.5361	90.1935	53.1149	69.2492	-1.0023e+10
17	3.7829e+03	2.3538	45.8269	100.0456	89.7535	52.8544	77.7577	-9.9686e+09
18	2.8554e+03	1.8538	44.9218	99.4288	89.9482	52.9695	74.4047	-9.9919e+09
19	2.9489e+03	1.2652	46.7112	98.3380	90.1166	53.0712	71.0022	-1.0019e+10
20	2.8922e+03	1.5017	50.9768	98.7226	90.0356	53.0241	72.2115	-1.0008e+10
21	2.7839e+03	1.7619	52.8489	99.6122	90.0803	53.0357	74.2276	-9.9977e+09
22	2.8058e+03	1.1977	52.0746	99.3704	90.1039	53.0423	73.6311	-1.0001e+10
23	2.9596e+03	0.5871	52.8091	98.5345	89.6925	52.9168	72.1673	-9.9979e+09
24	3.0891e+03	0.9063	55.3287	98.7089	89.1665	52.9397	72.5260	-1.0001e+10
25	3.1001e+03	1.8406	66.7264	99.6520	89.9564	52.1150	72.5006	-9.9992e+09
	entrada	CO	CO2	HC	O2	NOx	salida	

Figura 6.10.2 Datos de importación

Fuente: Autores

6.10.1. Validación de datos y presentación de resultados del Chevrolet Aveo

- Resultados del CO en el vehículo Chevrolet Aveo

La RNA fue empleada con 15 neuronas, en la imagen 6.10.3 el mejor rendimiento de validación se puede ver el MSE de la misma en función de 31 épocas, es decir el error se encuentra por debajo de 10^{-2} , lo cual se puede corroborar en la figura 6.10.63, en donde la simulación muestra el comportamiento de la RNA.

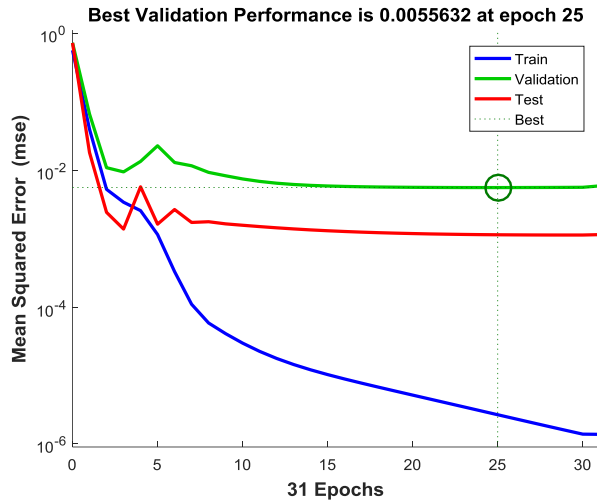


Figura 6.10.3 Performance Del Chevrolet Aveo-CO

Fuente: Autores

En el siguiente diagrama total de la figura 6.10.4 podemos observar que el coeficiente de determinación es de 0.9969, ya que la correlación entre las variables de entrada y salida es prácticamente lineal, por lo tanto, es una proporción perfecta

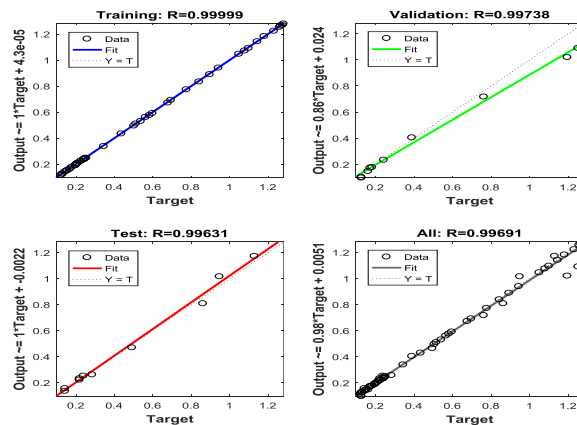


Figura 6.10.4 Regresión del Chevrolet Aveo – CO

Fuente: Autores

Por otro lado, tomando en cuenta las gráficas de histogramas, se induce que la disposición central de las emisiones es hacia un valor de 0.0075 tendiendo a cero y su forma es

ligeramente asimétrica, lo que sugiere que estos datos del CO satisfacen la RNA como se presenta en la figura 6.10.5.

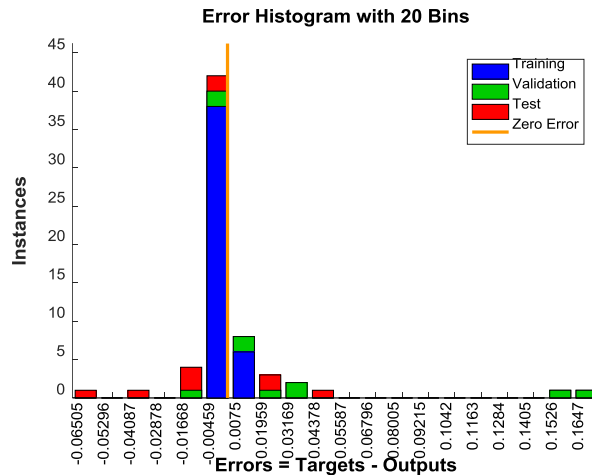


Figura 6.10.5 Histograma del Chevrolet Aveo – CO

Fuente: Autores

En la siguiente figura 6.10.6, se observa el comportamiento del gradiente con 0.0016, lo que significa que la variación de la magnitud física es muy baja, todos estos valores están en función de 31 épocas.

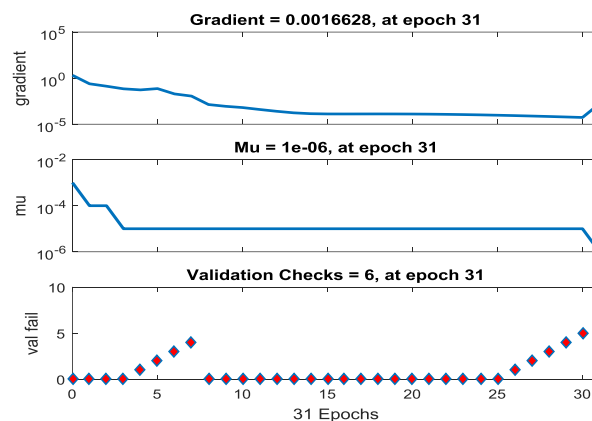


Figura 6.10.6 Gradiente Del Chevrolet Aveo – CO

Fuente: Autores

- **Resultados del CO_2 en el vehículo Chevrolet Aveo**

La RNA fue empleada con 15 neuronas, en la figura 6.10.7 el mejor rendimiento de validación se puede ver el MSE de la misma en función de 21 épocas, es decir el error se encuentra por debajo de 10^{-2} , lo cual se puede corroborar en la figura 6.10.64, en donde la simulación muestra el comportamiento de la RNA.

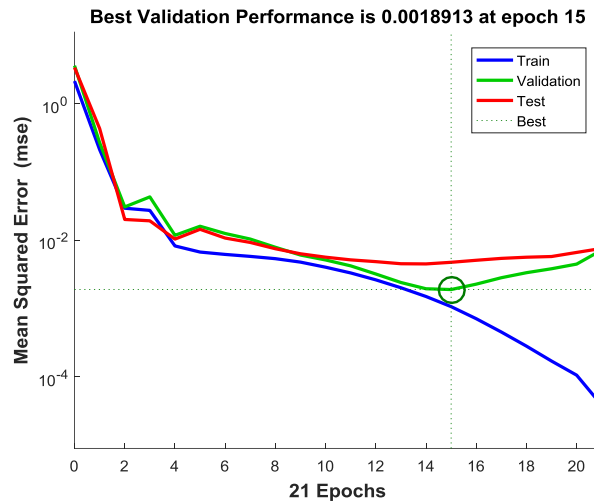


Figura 6.10.7 Performance Del Chevrolet Aveo - CO_2

Fuente: Autores

En el siguiente diagrama total de la figura 6.10.8 podemos observar que el coeficiente de determinación es de 0.9971, ya que la correlación entre las variables de entrada y salida es prácticamente lineal, por lo tanto, es una proporción perfecta

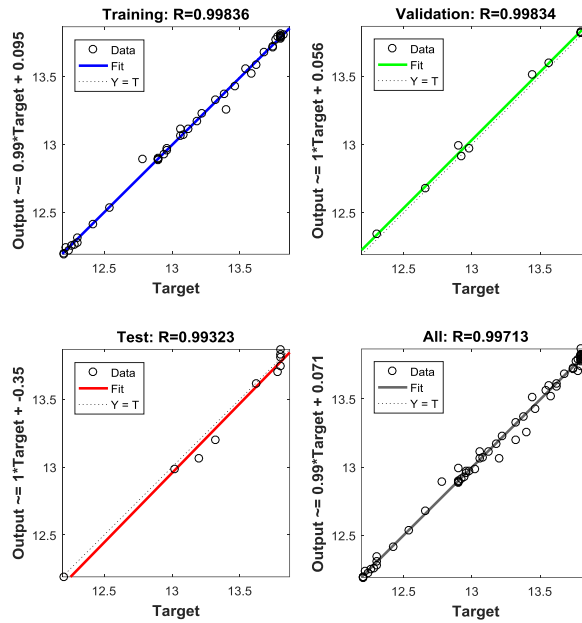


Figura 6.10.8 Regresión Del Chevrolet Aveo - CO₂

Fuente: Autores

Por otro lado, tomando en cuenta las gráficas de histogramas, se induce que la disposición central de las emisiones es hacia un valor bajo de 0.007529 tendiendo a cero y su forma es poco asimétrica, lo que sugiere que estos datos del CO₂ satisfacen la RNA como se presenta en la figura 6.10.9.

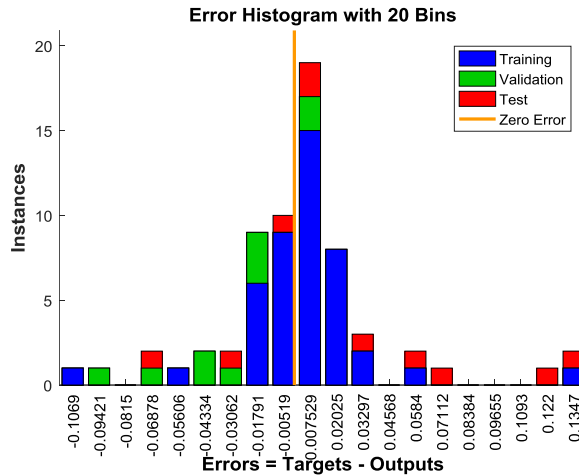


Figura 6.10.9 Histograma Del Chevrolet Aveo - CO₂

Fuente: Autores

En la siguiente figura 6.10.10, se observa el comportamiento del gradiente con 0.0311, lo que significa que la variación de la magnitud física es muy baja, todos estos valores están en función de 21 épocas.

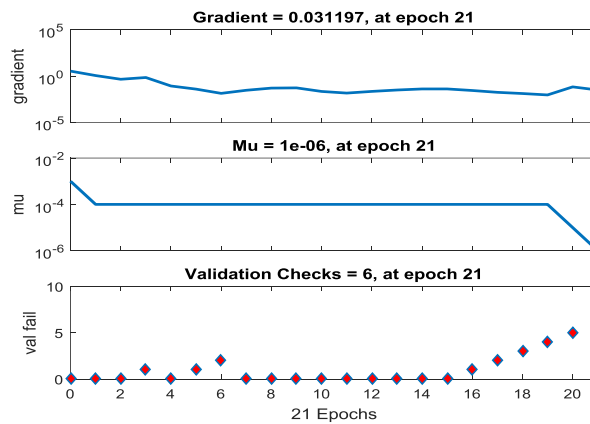


Figura 6.10.10 Gradiente Del Chevrolet Aveo - CO₂

Fuente: Autores

- **Resultados de los HC en el vehículo Chevrolet Aveo**

La RNA fue empleada con 10 neuronas, en la figura 6.10.11 el mejor rendimiento de validación se puede ver el MSE de la misma en función de 13 épocas, es decir el error se encuentra por debajo de 10^0 , lo cual se puede corroborar en la figura 6.10.65, en donde la simulación muestra el comportamiento de la RNA.

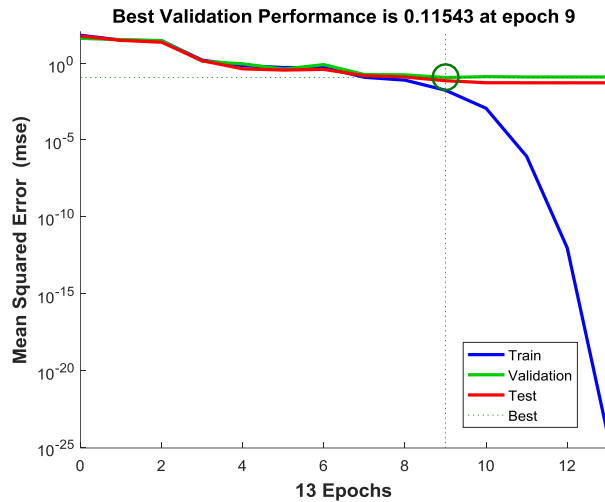


Figura 6.10.11 Performance Del Chevrolet Aveo – HC

Fuente: Autores

En el siguiente diagrama total de la figura 6.10.12 podemos observar que el coeficiente de determinación es de 0.9991, ya que la correlación entre las variables de entrada y salida es prácticamente lineal, por lo tanto, es una proporción perfecta

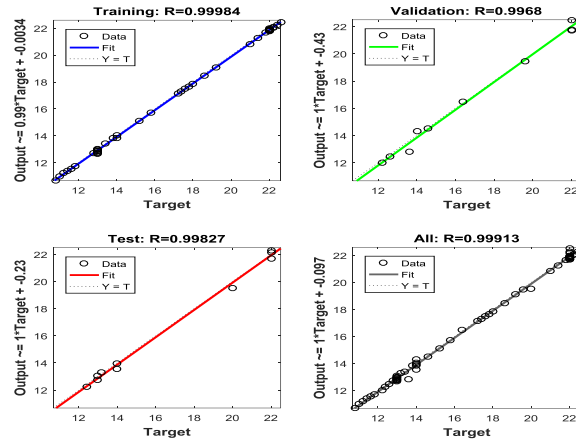


Figura 6.10.12 Regresión Del Chevrolet Aveo – HC

Fuente: Autores

Por otro lado, tomando en cuenta las gráficas de histogramas, se induce que la disposición central de las emisiones es hacia un valor bajo de 0.04246 tendiendo a cero y su forma es poco asimétrica, lo que sugiere que estos datos del HC satisfacen la RNA como se presenta en la figura 6.10.13.

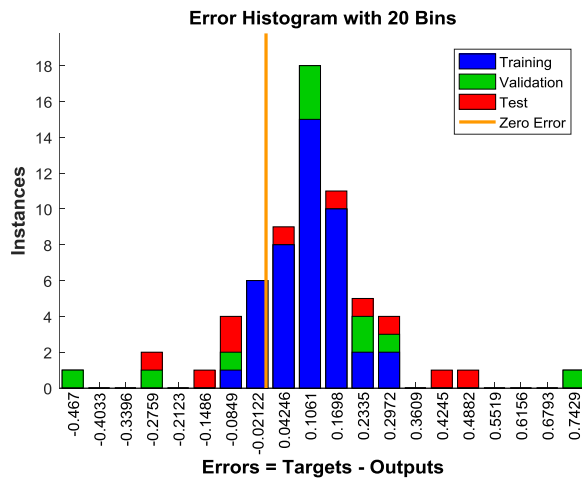


Figura 6.10.13 Histograma Del Chevrolet Aveo – HC

Fuente: Autores

En la siguiente figura 6.10.14, se observa el comportamiento del gradiente con 1.5084×10^{-11} , lo que significa que la variación de la magnitud física es muy baja, todos estos valores están en función de 13 épocas.

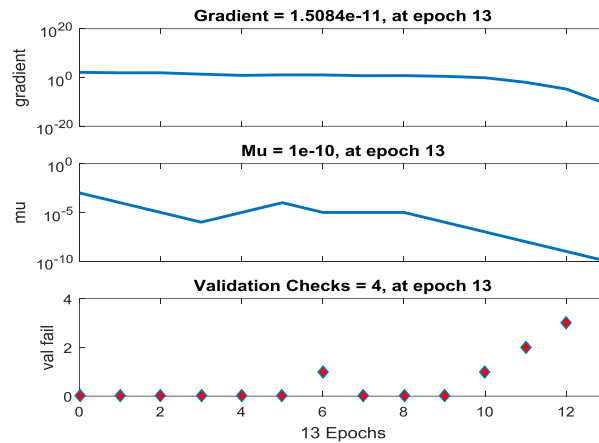


Figura 6.10.14 Gradiente Del Chevrolet Aveo – HC

Fuente: Autores

- **Resultados del O_2 en el vehículo Chevrolet Aveo**

La RNA fue empleada con 10 neuronas, en la figura 6.10.15 el mejor rendimiento de validación se puede ver el MSE de la misma en función de 12 épocas, es decir el error se encuentra por debajo de 10^{-2} , lo cual se puede corroborar en la figura 6.10.66, en donde la simulación muestra el comportamiento de la RNA..

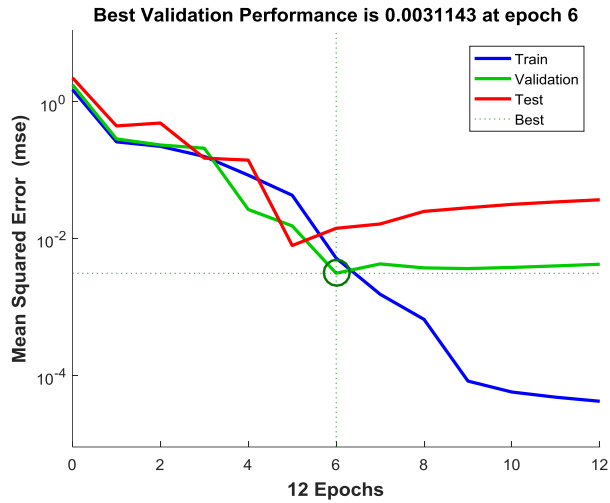


Figura 6.10.15 Performance Del Chevrolet Aveo - O_2

Fuente: Autores

En el siguiente diagrama total de la figura 6.10.16 podemos observar que el coeficiente de determinación es de 0.9867, ya que la correlación entre las variables de entrada y salida es prácticamente lineal, por lo tanto, es una proporción perfecta.

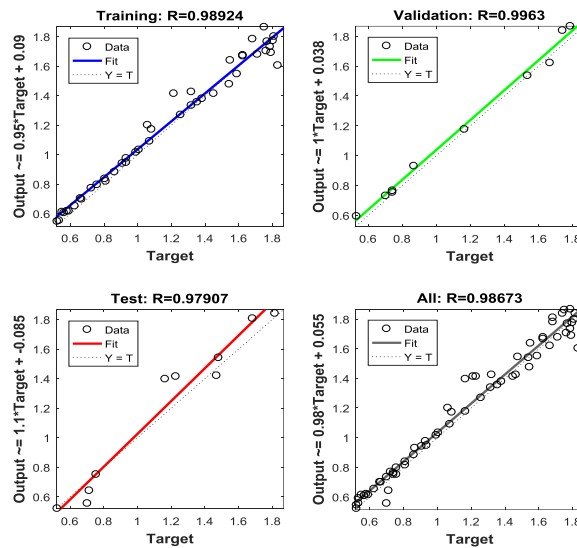


Figura 6.10.16 Regresión Del Chevrolet Aveo - O_2

Fuente: Autores

Por otro lado, tomando en cuenta las gráficas de histogramas, se induce que la disposición central de las emisiones es hacia un valor bajo de 0.0053 tendiendo a cero y su forma es poco asimétrica, lo que sugiere que estos datos del O_2 satisfacen la RNA como se presenta en la figura 6.10.17.

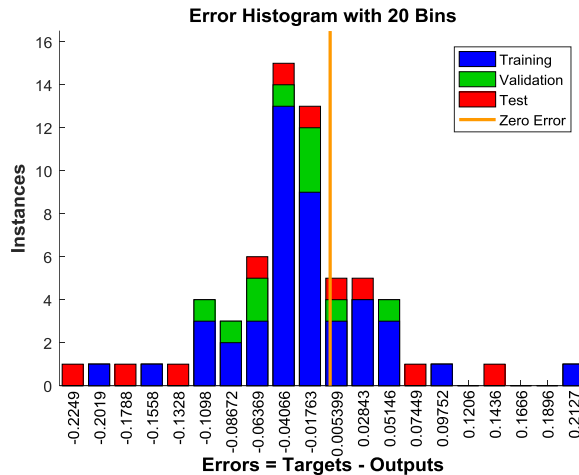


Figura 6.10.17 Histograma Del Chevrolet Aveo - O_2

Fuente: Autores

En la siguiente figura 6.10.18, se observa el comportamiento del gradiente con 0.0024, lo que significa que la variación de la magnitud física es muy baja, todos estos valores están en función de 12 épocas.

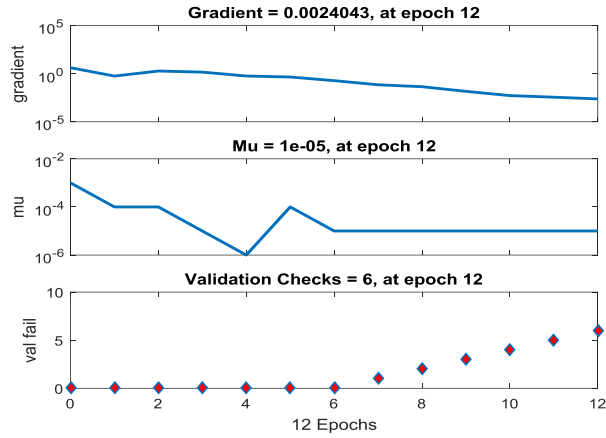


Figura 6.10.18 Gradiente Del Chevrolet Aveo - O_2

Fuente: Autores

- **Resultados de los NOx en el vehículo Chevrolet Aveo**

La RNA fue empleada con 15 neuronas, en la figura 6.10.19 el mejor rendimiento de validación se puede ver el error de la misma en función de 11 épocas, es decir el error se encuentra por debajo de 10^3 , lo cual se puede corroborar en la figura 6.10.67, en donde la simulación muestra el comportamiento de la RNA.

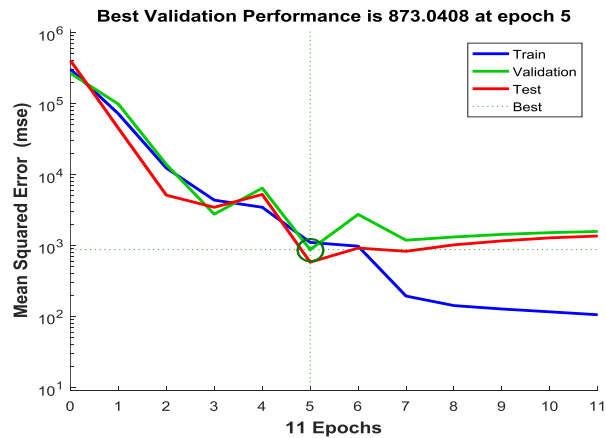


Figura 6.10.19 Performance Del Chevrolet Aveo – NOx

Fuente: Autores

En el siguiente diagrama total de la figura 6.10.20 podemos observar que el coeficiente de determinación es de 0.9851, ya que la correlación entre las variables de entrada y salida es prácticamente lineal, por lo tanto, es una proporción perfecta

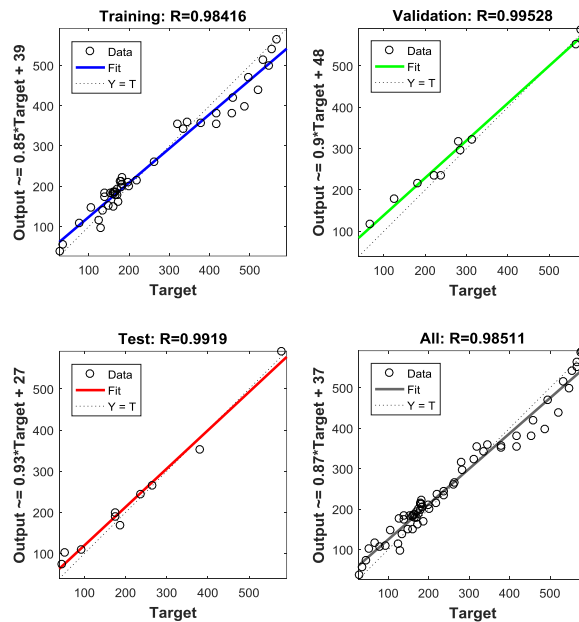


Figura 6.10.20 Regresión Del Chevrolet Aveo – NOx

Fuente: Autores

Por otro lado, tomando en cuenta las gráficas de histogramas, se induce que la disposición central de las emisiones es hacia un valor bajo de 0.6695 tendiendo a cero y su forma es poco asimétrica, lo que sugiere que estos datos del NOx satisfacen la RNA como se presenta en la figura 6.10.21.

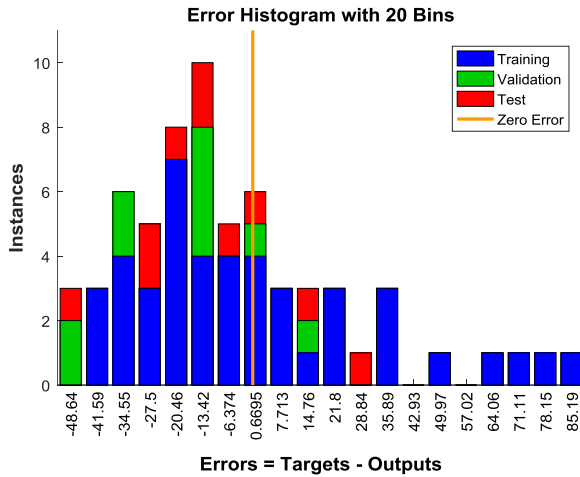


Figura 6.10.21 Histograma Del Chevrolet Aveo – NOx

Fuente: Autores

En la siguiente figura 6.10.22, se observa el comportamiento del gradiente con 591.3451, lo que significa que la variación de la magnitud física es normal, todos estos valores están en función de 11 épocas.

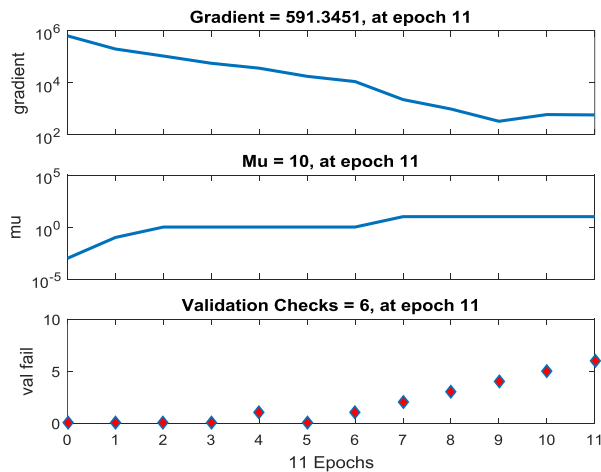


Figura 6.10.22 Gradiente Del Chevrolet Aveo – NOx

Fuente: Autores

6.10.2. Validación de datos y presentación de resultados del Hyundai Accent

- **Resultados del CO en el vehículo Hyundai Accent**

La RNA fue empleada con 10 neuronas, en la figura 6.10.23 el mejor rendimiento de validación se puede ver el MSE de la misma en función de 11 épocas, es decir el error se encuentra en 10^{-2} , lo cual se puede corroborar en la figura 6.10.68, en donde la simulación muestra el comportamiento de la RNA.

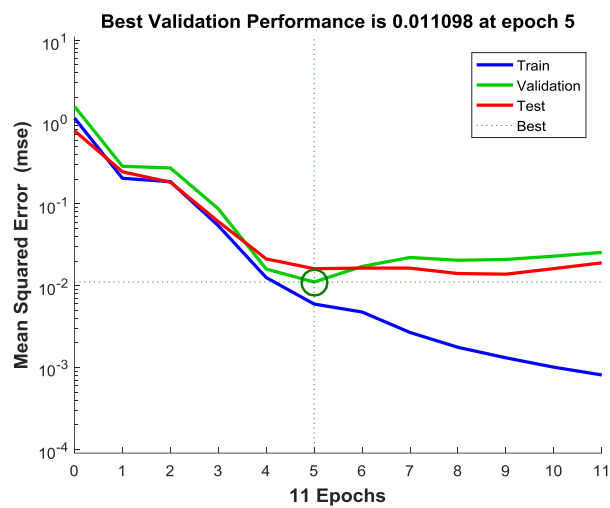


Figura 6.10.23 Performance Del Hyundai Accent – CO

Fuente: Autores

En el siguiente diagrama total de la figura 6.10.24 podemos observar que el coeficiente de determinación es de 0.9901, ya que la correlación entre las variables de entrada y salida es prácticamente lineal, por lo tanto, es una proporción perfecta

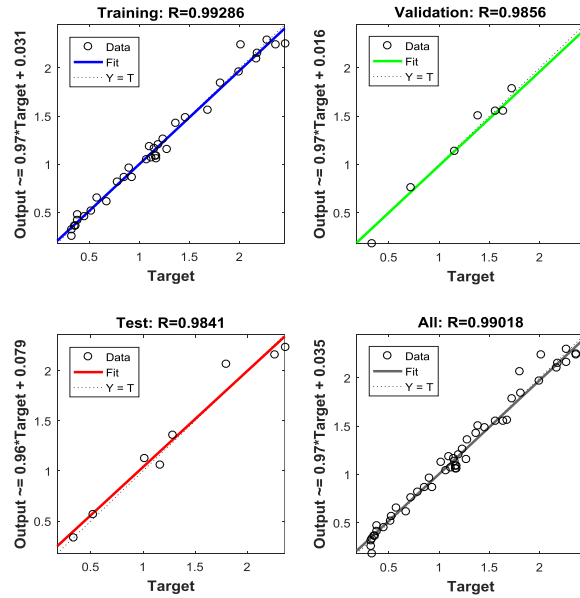


Figura 6.10.24 Regresión Del Hyundai Accent - CO

Fuente: Autores

Por otro lado, tomando en cuenta las gráficas de histogramas, se induce que la disposición central de las emisiones es hacia un valor de 0.00453 tendiendo a cero y su forma es ligeramente asimétrica, lo que sugiere que estos datos del CO satisfacen la RNA como se presenta en la figura 6.10.25.

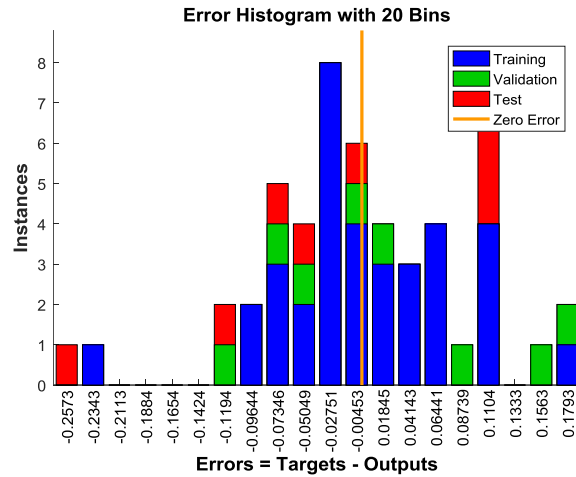


Figura 6.10.25 Histograma Del Hyundai Accent – CO

Fuente: Autores

En la siguiente figura 6.10.26, se observa el comportamiento del gradiente con 0.0042489, lo que significa que la variación de la magnitud física es muy baja, todos estos valores están en función de 11 épocas.

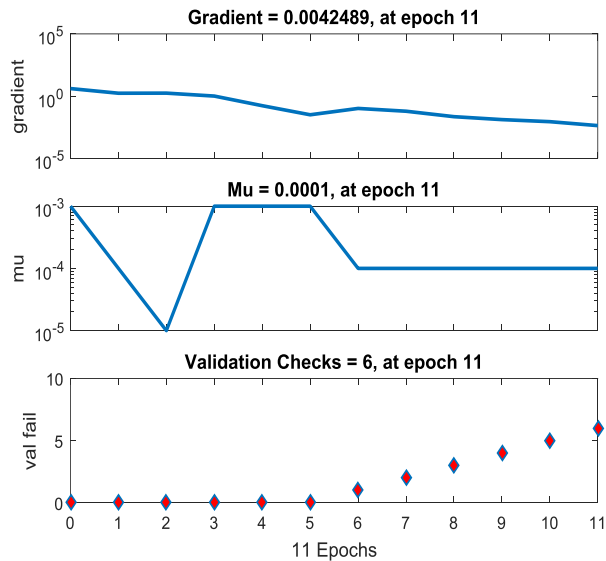


Figura 6.10.26 Gradiente Del Hyundai Accent – CO

Fuente: Autores

- **Resultados del CO_2 en el vehículo Hyundai Accent**

La RNA fue empleada con 15 neuronas, en la figura 6.10.27 el mejor rendimiento de validación se puede ver el MSE de la misma en función de 10 épocas, es decir el error se encuentra por debajo de 10^0 , lo cual se puede corroborar en la figura 6.10.69, en donde la simulación muestra el comportamiento de la RNA.

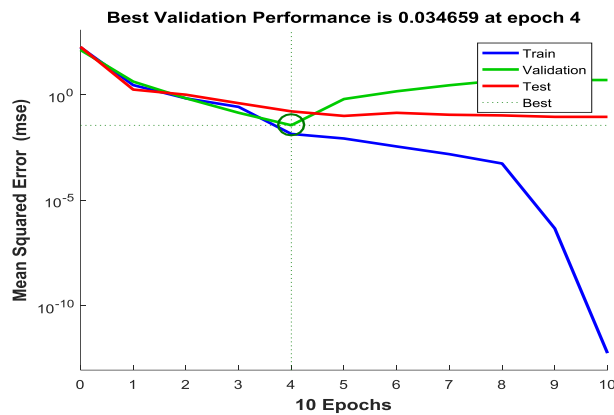


Figura 6.10.27 Performance Del Hyundai Accent - CO_2

Fuente: Autores

En el siguiente diagrama total de la figura 6.10.28 podemos observar que el coeficiente de determinación es de 0.9977, ya que la correlación entre las variables de entrada y salida es prácticamente lineal, por lo tanto, es una proporción perfecta

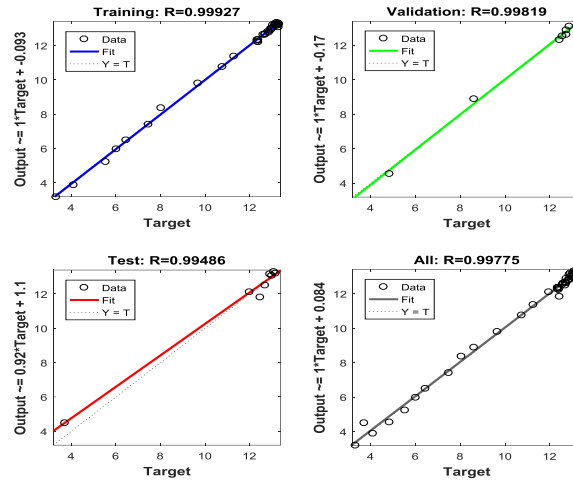


Figura 6.10.28 Regresión Del Hyundai Accent - CO₂

Fuente: Autores

Por otro lado, tomando en cuenta las gráficas de histogramas, se induce que la disposición central de las emisiones es hacia un valor muy bajo de -0.00526 menor a cero y su forma es poco asimétrica, lo que sugiere que estos datos del CO₂ satisfacen la RNA como se presenta en la figura 6.10.29.

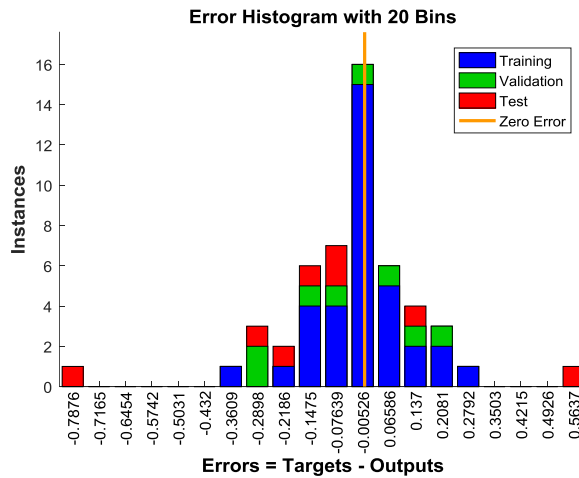


Figura 6.10.29 Histograma Del Hyundai Accent - CO₂

Fuente: Autores

En la siguiente figura 6.10.30, se observa el comportamiento del gradiente con $1.5788e-05$, lo que significa que la variación de la magnitud física es muy baja, todos estos valores están en función de 10 épocas.

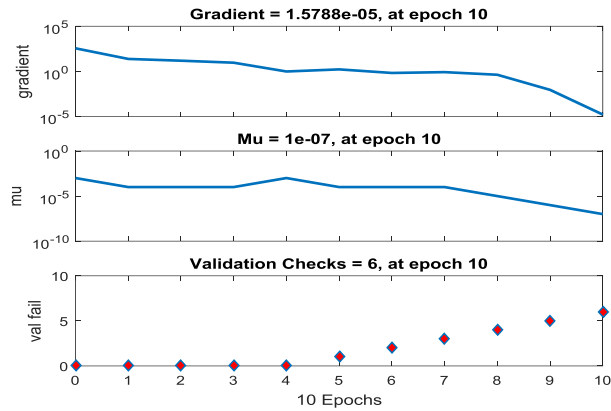


Figura 6.10.30 Gradiente Del Hyundai Accent - CO₂

Fuente: Autores

- **Resultados de los HC en el vehículo Hyundai Accent**

La RNA fue empleada con 10 neuronas, en la figura 6.10.31 el mejor rendimiento de validación se puede ver el MSE de la misma en función de 11 épocas, es decir el error se encuentra en 10^1 , lo cual se puede corroborar en la figura 6.10.70, en donde la simulación muestra el comportamiento de la RNA.

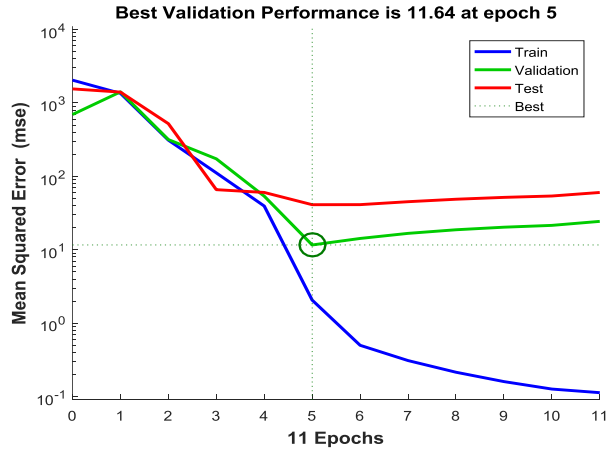


Figura 6.10.31 Performance Del Hyundai Accent – HC

Fuente: Autores

En el siguiente diagrama total de la figura 6.10.32 podemos observar que el coeficiente de determinación es de 0.99527, ya que la correlación entre las variables de entrada y salida es prácticamente lineal, por lo tanto, es una proporción perfecta.

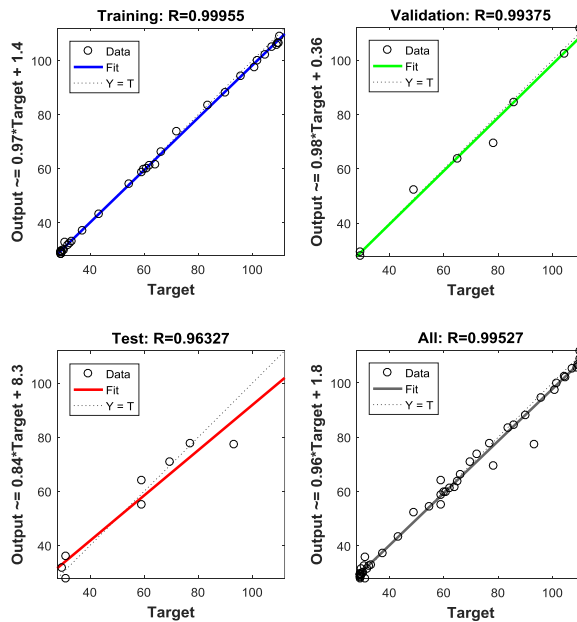


Figura 6.10.32 Regresión Del Hyundai Accent - HC

Fuente: Autores

Por otro lado, tomando en cuenta las gráficas de histogramas, se induce que la disposición central de las emisiones es hacia un valor bajo de 0.6411 tendiendo a cero y su forma es poco asimétrica, lo que sugiere que estos datos del HC satisfacen la RNA como se presenta en la figura 6.10.33.

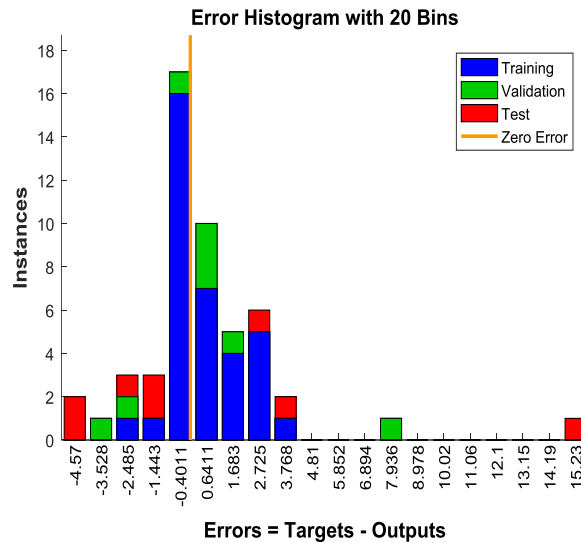


Figura 6.10.33 Histograma Del Hyundai Accent – HC

Fuente: Autores

En la siguiente figura 6.10.34, se observa el comportamiento del gradiente con 32.333, lo que significa que la variación de la magnitud física es muy baja, todos estos valores están en función de 11 épocas.

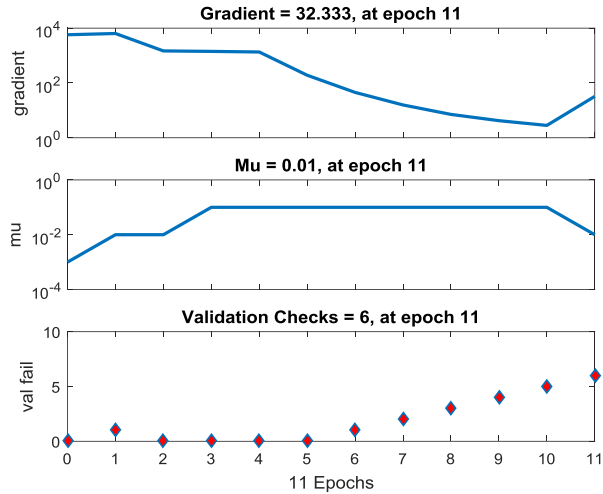


Figura 6.10.34 Gradiente Del Hyundai Accent - HC

Fuente: Autores

- Resultados del O_2 en el vehículo Hyundai Accent

La RNA fue empleada con 15 neuronas, en la figura 6.10.35 el mejor rendimiento de validación se puede ver el MSE de la misma en función de 8 épocas, es decir el error se encuentra por debajo de 10^0 , lo cual se puede corroborar en la figura 6.10.71, en donde la simulación muestra el comportamiento de la RNA.

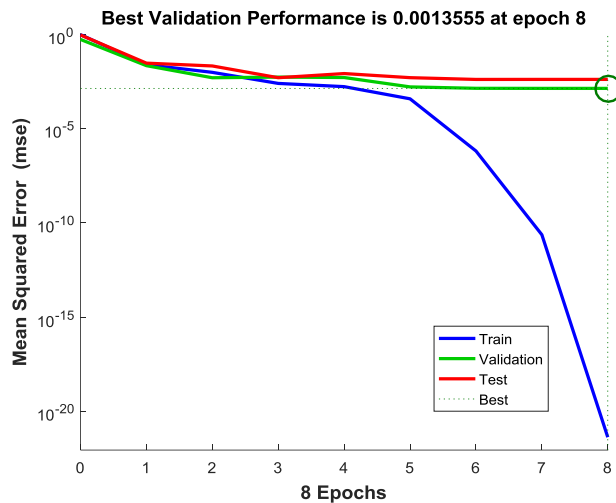


Figura 6.10.35 Performance Del Hyundai Accent - O_2

Fuente: Autores

En el siguiente diagrama total de la figura 6.10.36 podemos observar que el coeficiente de determinación es de 0.99454, ya que la correlación entre las variables de entrada y salida es prácticamente lineal, por lo tanto, es una proporción perfecta

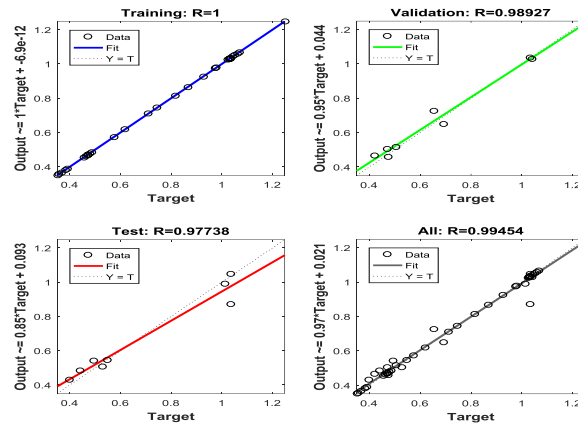


Figura 6.10.36 Regresión Del Hyundai Accent - O_2

Fuente: Autores

Por otro lado, tomando en cuenta las gráficas de histogramas, se induce que la disposición central de las emisiones es hacia un valor bajo de 0.002153 tendiendo a cero y su forma es poco asimétrica, lo que sugiere que estos datos del O_2 satisfacen la RNA como se presenta en la figura 6.10.37.

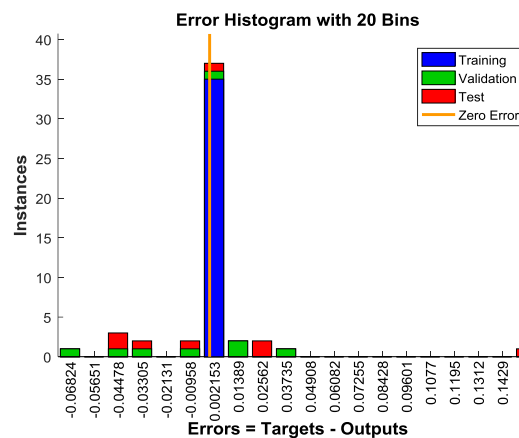


Figura 6.10.37 Histograma Del Hyundai Accent - O_2

Fuente: Autores

En la siguiente figura 6.10.38, se observa el comportamiento del gradiente con $1.9911e-11$, lo que significa que la variación de la magnitud física es muy baja, todos estos valores están en función de 8 épocas.

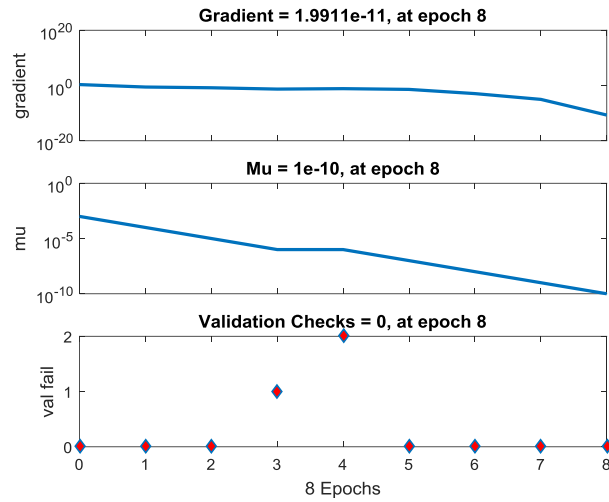


Figura 6.10.38 Gradiente Del Hyundai Accent - O_2

Fuente: Autores

- **Resultados de los NOx en el vehículo Hyundai Accent**

La RNA fue empleada con 10 neuronas, en la figura 6.10.39 el mejor rendimiento de validación se puede ver el error de la misma en función de 41 épocas, es decir el error se encuentra por debajo de 10^4 , lo cual se puede corroborar en la figura 6.10.72, en donde la simulación muestra el comportamiento de la RNA.

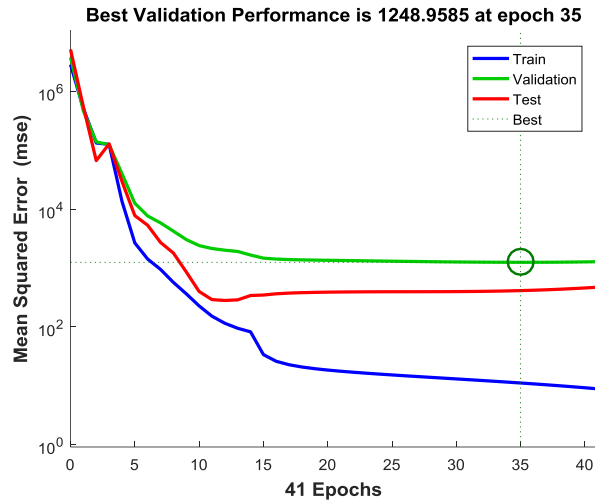


Figura 6.10.39 Performance Del Hyundai Accent – NOx

Fuente: Autores

En el siguiente diagrama total de la figura 6.10.40 podemos observar que el coeficiente de determinación es de 0.99926, ya que la correlación entre las variables de entrada y salida es prácticamente lineal, por lo tanto, es una proporción perfecta

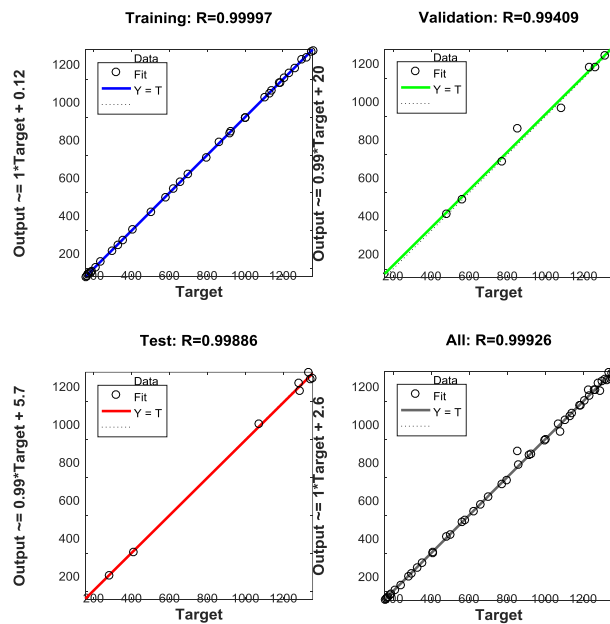


Figura 6.10.40 Regresión Del Hyundai Accent – NOx

Fuente: Autores

Por otro lado, tomando en cuenta las gráficas de histogramas, se induce que la disposición central de las emisiones es hacia un valor bajo de 2.881 tendiendo a valores negativos y su forma es poco asimétrica, lo que sugiere que estos datos del NOx satisfacen la RNA como se presenta en la figura 6.10.41.

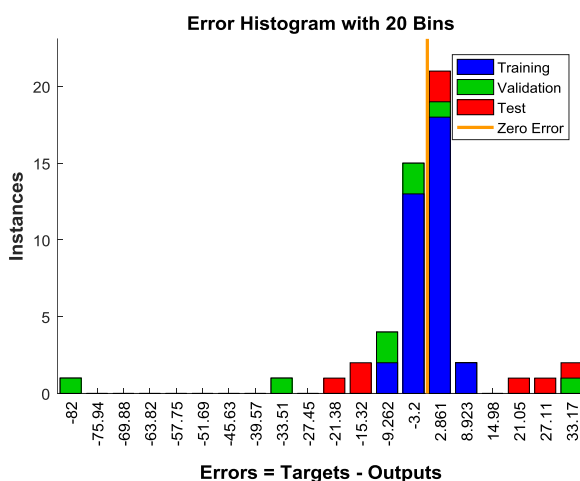


Figura 6.10.41 Histograma Del Hyundai Accent – NOx

Fuente: Autores

En la siguiente figura 6.10.42, se observa el comportamiento del gradiente con 70.7715, lo que significa que la variación de la magnitud física es normal, todos estos valores están en función de 41 épocas.

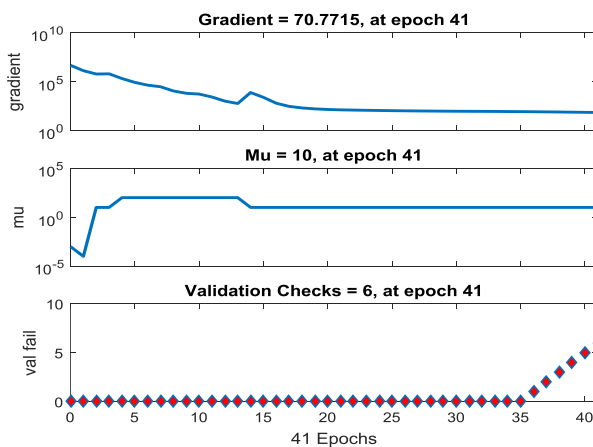


Figura 6.10.42 Gradiente Del Hyundai Accent – NOx

Fuente: Autores

6.10.3. Validación de datos y presentación de resultados del Kia Picanto

- **Resultados del CO en el vehículo Kia Picanto**

La RNA fue empleada con 15 neuronas, en la figura 6.10.43 el mejor rendimiento de validación se puede ver el MSE de la misma en función de 19 épocas, es decir el error se encuentra en 10^{-3} , lo cual se puede corroborar en la figura 6.10.73, en donde la simulación muestra el comportamiento de la RNA.

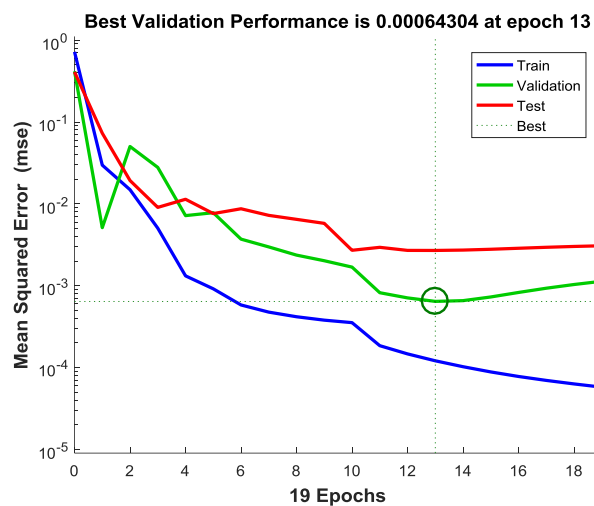


Figura 6.10.43 Performance Del Kia Picanto – CO

Fuente: Autores

En el siguiente diagrama total de la figura 6.0.44 podemos observar que el coeficiente de determinación es de 0.9946, ya que la correlación entre las variables de entrada y salida es prácticamente lineal, por lo tanto, es una proporción perfecta

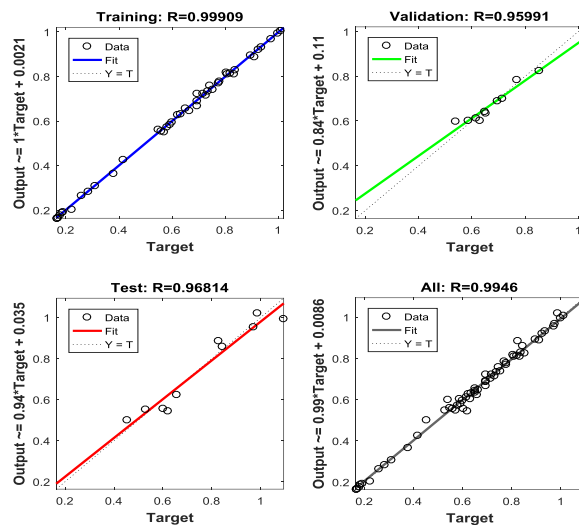


Figura 6.10.44 Regresión Del Kia Picanto – CO

Fuente: Autores

Por otro lado, tomando en cuenta las gráficas de histogramas, se induce que la disposición central de las emisiones es hacia un valor de 0.005231 tendiendo a cero y su forma es ligeramente asimétrica, lo que sugiere que estos datos del CO satisfacen la RNA como se presenta en la figura 6.10.45.

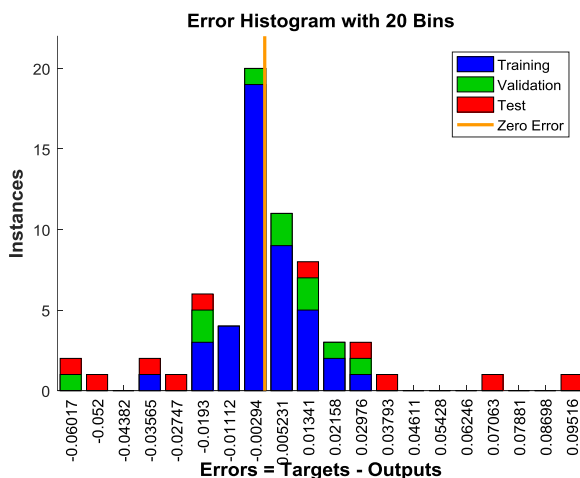


Figura 6.10.45 Histograma Del Kia Picanto – CO

Fuente: Autores

En la siguiente figura 6.10.46, se observa el comportamiento del gradiente con 0.00024, lo que significa que la variación de la magnitud física es muy baja, todos estos valores están en función de 19 épocas.

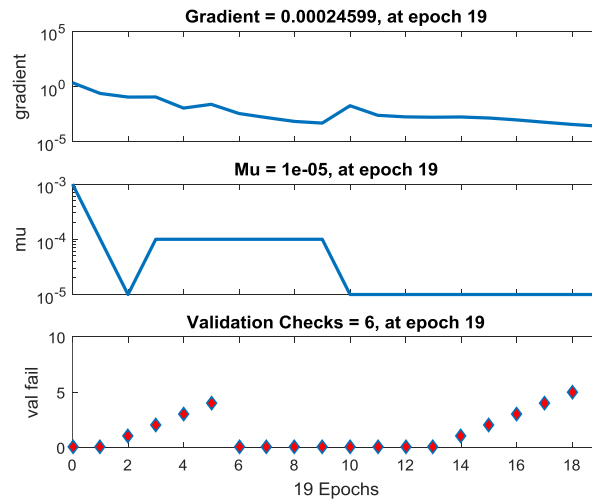


Figura 6.10.46 Gradiente Del Kia Picanto - CO

Fuente: Autores

- **Resultados del CO_2 en el vehículo Kia Picanto**

La RNA fue empleada con 10 neuronas, en la figura 6.10.47 el mejor rendimiento de validación se puede ver el MSE de la misma en función de 21 épocas, es decir el error se encuentra por 10^{-2} , lo cual se puede corroborar en la figura 6.10.74, en donde la simulación muestra el comportamiento de la RNA.

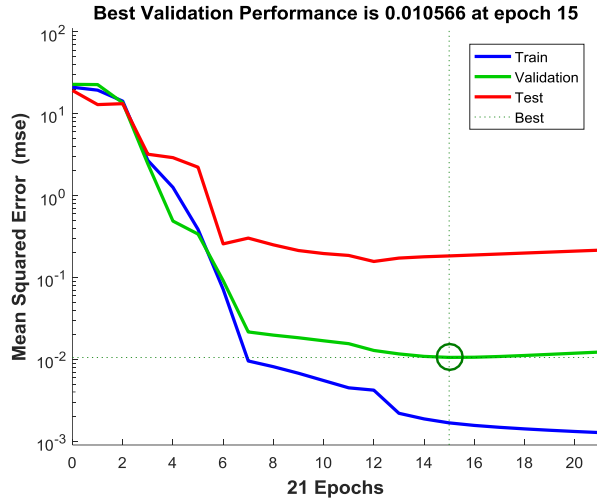


Figura 6.10.47 Performance Del Kia Picanto - CO₂

Fuente: Autores

En el siguiente diagrama total de la figura 6.10.48 podemos observar que el coeficiente de determinación es de 0.99569, ya que la correlación entre las variables de entrada y salida es prácticamente lineal, por lo tanto, es una proporción perfecta.

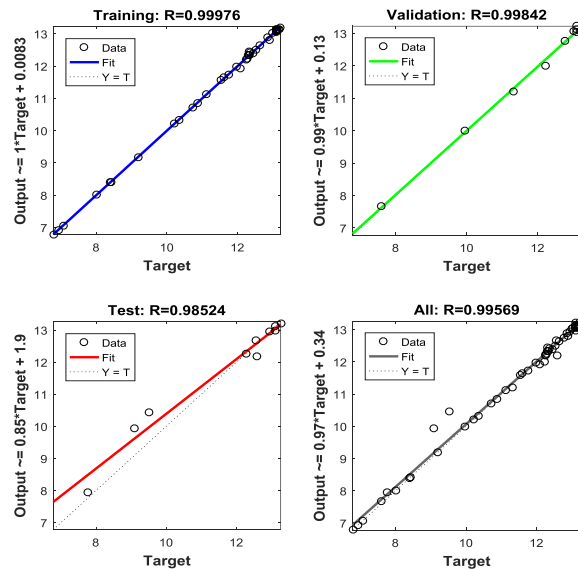


Figura 6.10.48 Regresión Del Kia Picanto - CO₂

Fuente: Autores

Por otro lado, tomando en cuenta las gráficas de histogramas, se induce que la disposición central de las emisiones es hacia un valor muy bajo de 0.030 tendiendo a cero y su forma es poco asimétrica, lo que sugiere que estos datos del CO_2 satisfacen la RNA como se presenta en la figura 6.10.49.

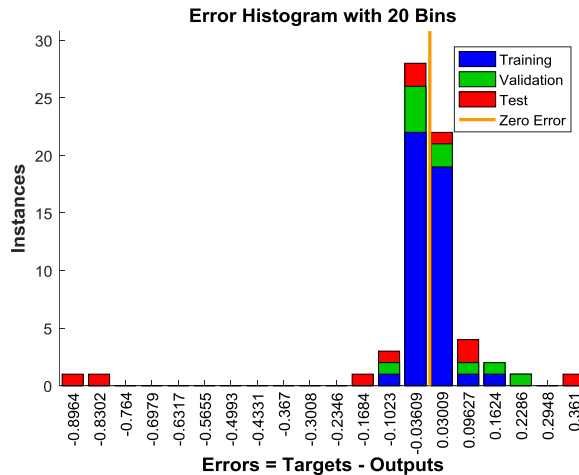


Figura 6.10.49 Histograma Del Kia Picanto - CO_2

Fuente: Autores

En la siguiente figura 6.10.50, se observa el comportamiento del gradiente con 0.01382, lo que significa que la variación de la magnitud física es muy baja, todos estos valores están en función de 21 épocas.

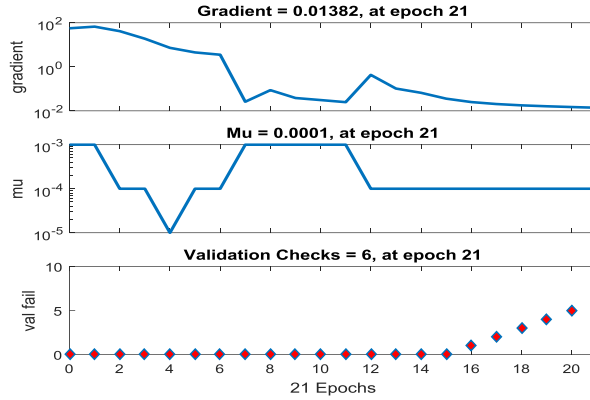


Figura 6.10.50 Gradiente Del Kia Picanto - CO₂

Fuente: Autores

- **Resultados de los HC en el vehículo Kia Picanto**

La RNA fue empleada con 10 neuronas, en la figura 6.10.51 el mejor rendimiento de validación se puede ver el MSE de la misma en función de 20 épocas, es decir el error se encuentra en 10¹, lo cual se puede corroborar en la figura 6.10.75, en donde la simulación muestra el comportamiento de la RNA.

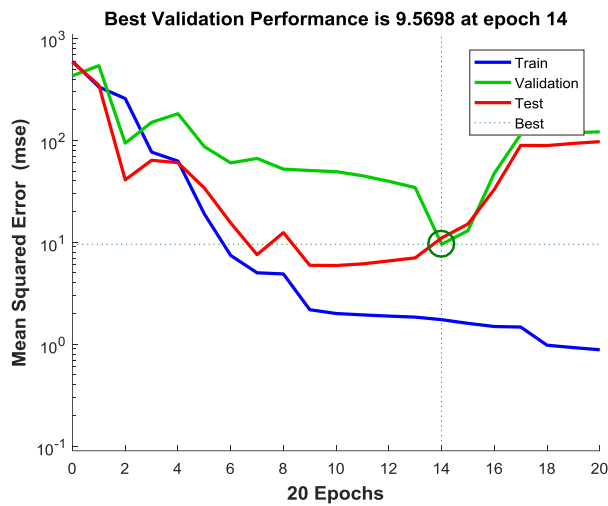


Figura 6.10.51 Performance Del Kia Picanto – HC

Fuente: Autores

En el siguiente diagrama total de la figura 6.10.52 podemos observar que el coeficiente de determinación es de 0.98098, ya que la correlación entre las variables de entrada y salida es prácticamente lineal, por lo tanto, es una proporción perfecta

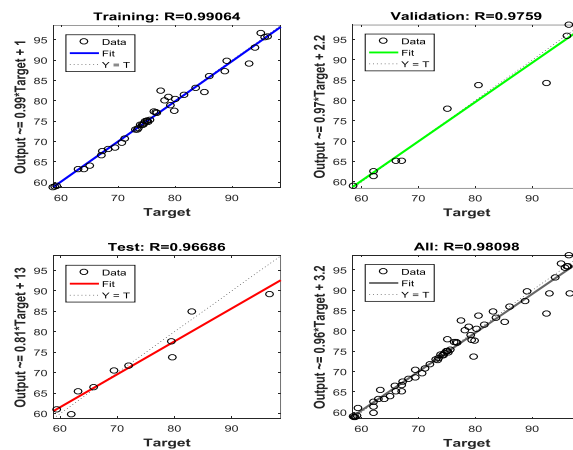


Figura 6.10.52 Regresión Del Kia Picanto – HC

Fuente: Autores

Por otro lado, tomando en cuenta las gráficas de histogramas, se induce que la disposición central de las emisiones es hacia un valor bajo de 0.5314 tendiendo a cero y su forma es poco asimétrica, lo que sugiere que estos datos del HC satisfacen la RNA como se presenta en la figura 6.10.53.

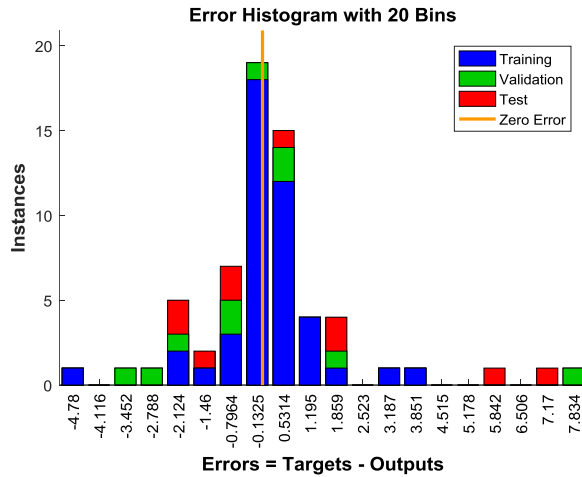


Figura 6.10.53 Histograma Del Kia Picanto – HC

Fuente: Autores

En la siguiente figura 6.10.54, se observa el comportamiento del gradiente con 1.0043, lo que significa que la variación de la magnitud física es muy baja, todos estos valores están en función de 20 épocas.

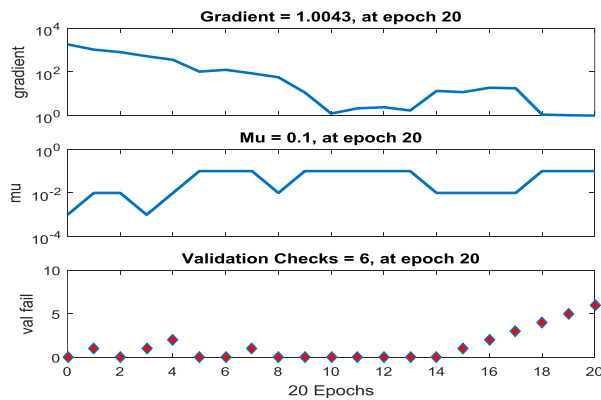


Figura 6.10.54 Gradiente Del Kia Picanto – HC

Fuente: Autores

- **Resultados del O_2 en el vehículo Kia Picanto**

La RNA fue empleada con 10 neuronas, en la figura 6.10.55 el mejor rendimiento de validación se puede ver el MSE de la misma en función de 11 épocas, es decir el error se encuentra por 10^0 , lo cual se puede corroborar en la figura 6.10.76, en donde la simulación muestra el comportamiento de la RNA.

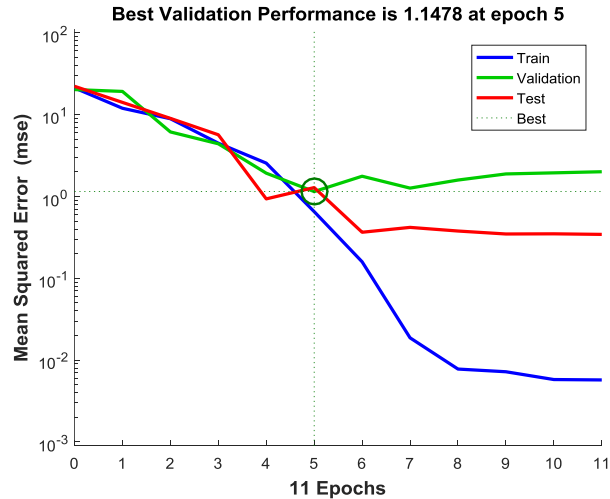


Figura 6.10.55 Performance Del Kia Picanto - O_2

Fuente: Autores

En el siguiente diagrama total de la figura 6.10.56 podemos observar que el coeficiente de determinación es de 0.98113, ya que la correlación entre las variables de entrada y salida es prácticamente lineal, por lo tanto, es una proporción perfecta

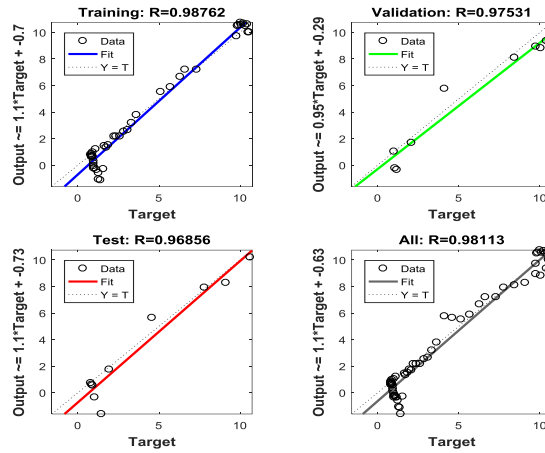


Figura 6.10.56 Regresión Del Kia Picanto - O_2

Fuente: Autores

Por otro lado, tomando en cuenta las gráficas de histogramas, se induce que la disposición central de las emisiones es hacia un valor bajo de 0.05325 tendiendo a cero y su forma es poco asimétrica, lo que sugiere que estos datos del O_2 satisfacen la RNA como se presenta en la figura 6.10.57.

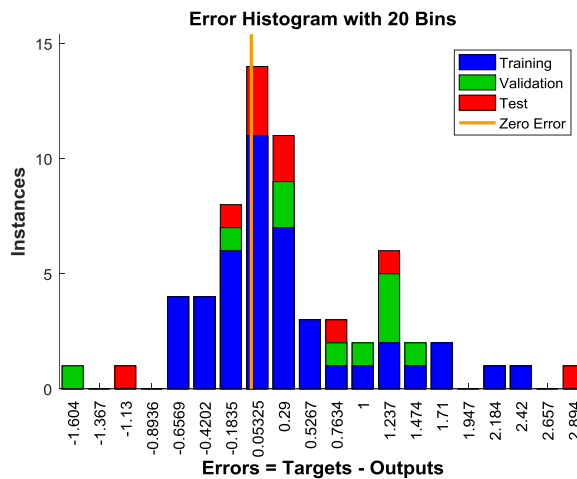


Figura 6.10.57 Histograma Del Kia Picanto - O_2

Fuente: Autores

En la siguiente figura 6.10.58, se observa el comportamiento del gradiente con 0.015864, lo que significa que la variación de la magnitud física es muy baja, todos estos valores están en función de 11 épocas.

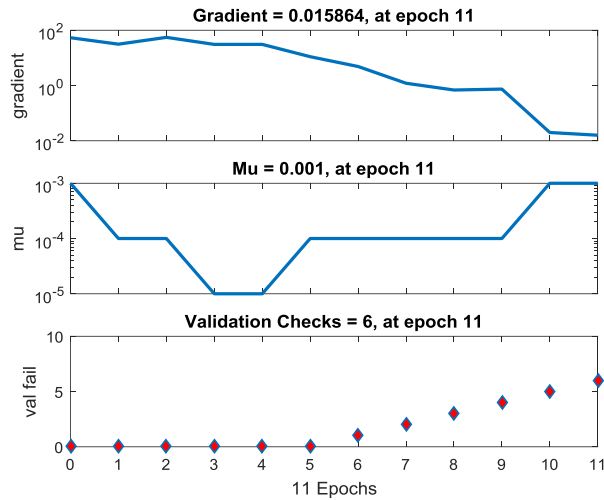


Figura 6.10.58 Gradiente Del Kia Picanto - O_2

Fuente: Autores

- **Resultados de los NOx en el vehículo Kia Picanto**

La RNA fue empleada con 10 neuronas, en la figura 6.10.59 el mejor rendimiento de validación se puede ver el MSE de la misma en función de 15 épocas, es decir el error se encuentra por debajo de 10^4 , lo cual se puede corroborar en la figura 6.10.77, en donde la simulación muestra el comportamiento de la RNA.

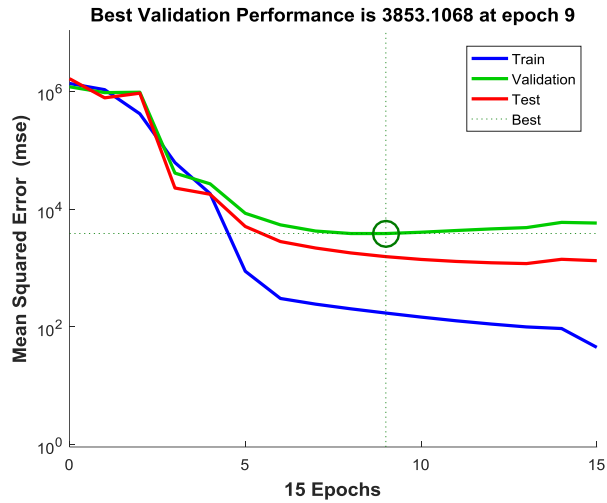


Figura 6.10.59 Performance Del Kia Picanto – NOx

Fuente: Autores

En el siguiente diagrama total de la figura 6.10.60 podemos observar que el coeficiente de determinación es de 0.9968, ya que la correlación entre las variables de entrada y salida es prácticamente lineal, por lo tanto, es una proporción perfecta

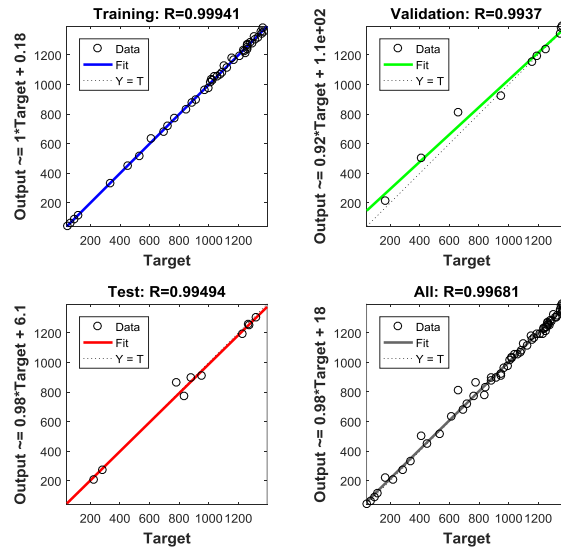


Figura 6.10.60 Regresión Del Kia Picanto – NOx

Fuente: Autores

Por otro lado, tomando en cuenta las gráficas de histogramas, se induce que la disposición central de las emisiones es hacia un valor bajo de 0.3227 tendiendo a cero y su forma es poco asimétrica, lo que sugiere que estos datos del NOx satisfacen la RNA como se presenta en la figura 6.10.61.

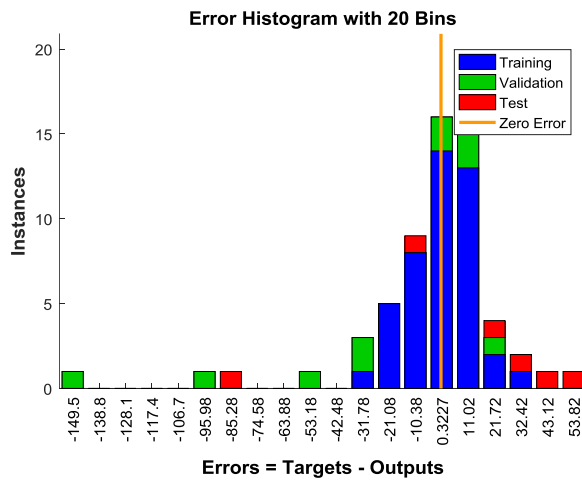


Figura 6.10.61 Histograma Del Kia Picanto – NOx

Fuente: Autores

En la siguiente figura 6.10.62, se observa el comportamiento del gradiente con 3708.3688, lo que significa que la variación de la magnitud física es normal, todos estos valores están en función de 15 épocas.

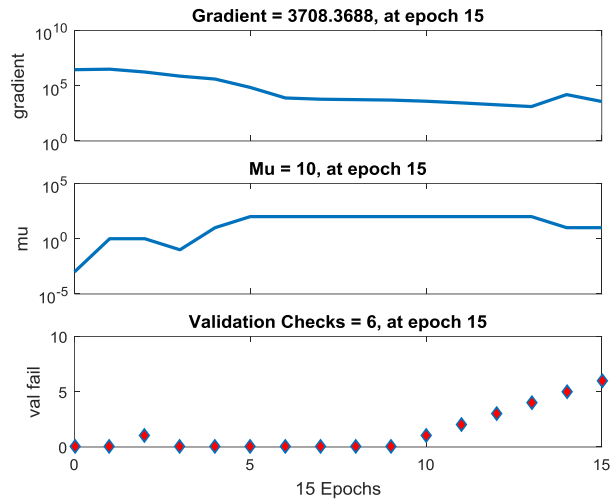


Figura 6.10.62 Gradiente Del Kia Picanto – NOx

Fuente: Autores

- **Simulación de la RNA en el vehículo Chevrolet Aveo**

Es necesario comparar la respuesta del entrenamiento y simulación de la RNA, por lo tanto como se observa en la figura el CO tiene una buena aprobación con un error máximo de 0.2 % volumen.

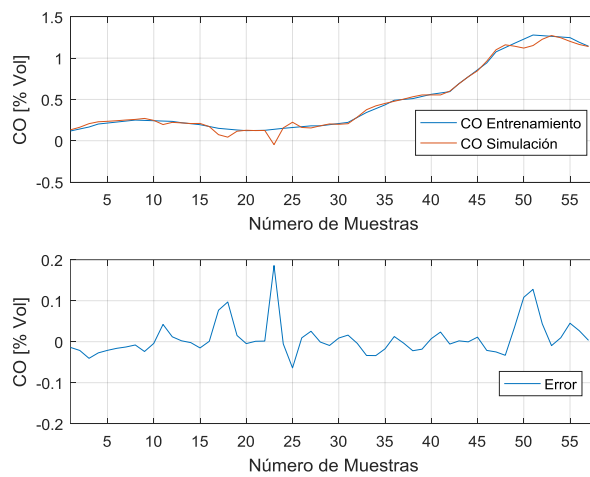


Figura 6.10.63. Simulación CO del Chevrolet Aveo

Fuente: Autores

En la figura se observa el comportamiento de respuesta del entrenamiento y simulación de la RNA del CO₂, donde se tiene un error máximo de 0.5% volumen.

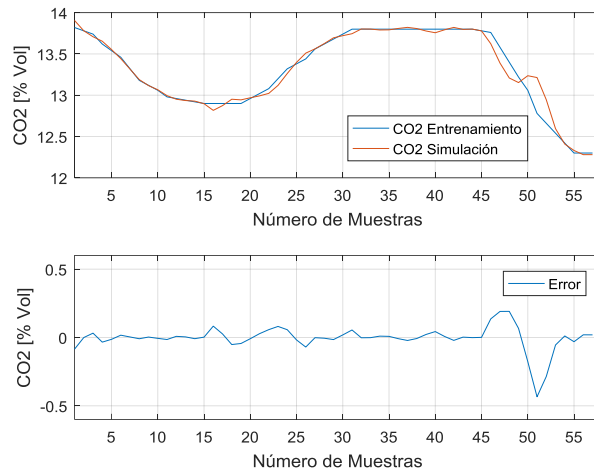


Figura 6.10.64. Simulación CO₂ del Chevrolet Aveo

Fuente: Autores

En la siguiente comparación de respuesta del entrenamiento y simulación de la RNA del HC, se adquiere una buena visualización como se indica en la figura con un error máximo 0.05 ppm.

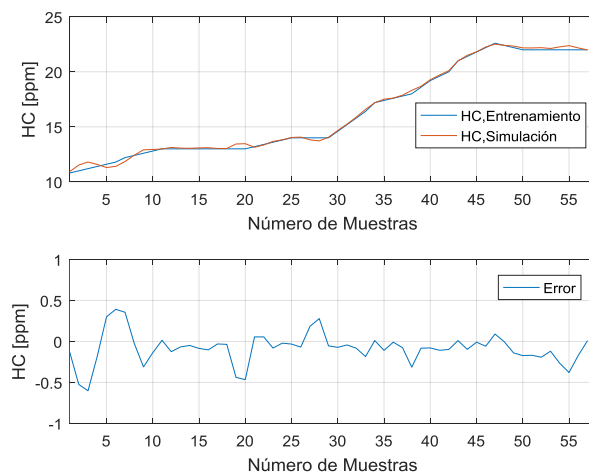


Figura 6.10.65. Simulación HC del Chevrolet Aveo

Fuente: Autores

Para el O₂ se obtiene la siguiente figura 6.10.65, donde el entrenamiento y simulación de la RNA con un error máximo de 0.15% volumen.

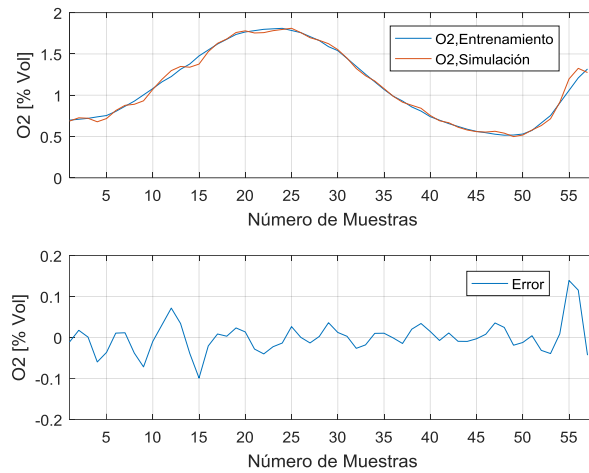


Figura 6.10.66. Simulación O₂ del Chevrolet Aveo

Fuente: Autores

Por último, se tiene la comparación del NO_x, donde existe una aceleración elevada por parte de la simulación dando un error máximo de 100 ppm, dicho comportamiento se puede ver en la figura 6.10.67.

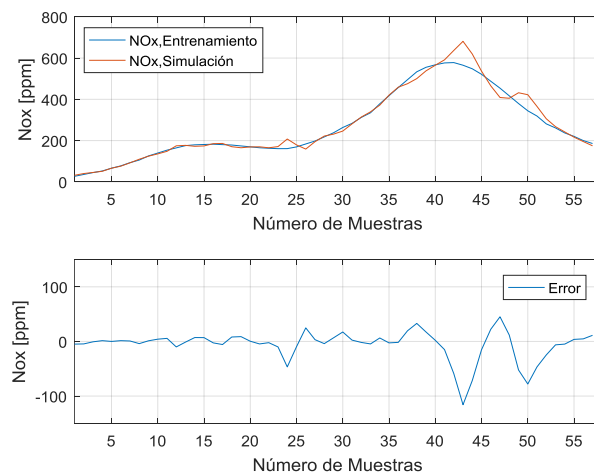


Figura 6.10.67. Simulación NO_x del Chevrolet Aveo

Fuente: Autores

- **Simulación de la RNA en el vehículo Hyundai Accent**

Es preciso comparar la respuesta del entrenamiento y simulación de la RNA, por lo tanto como se observa en la figura el *CO* tiene una buena aprobación con un error máximo de 0.3% volumen.

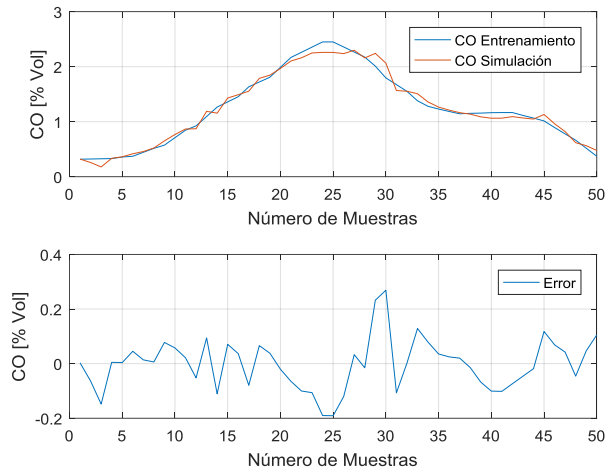


Figura 6.10.68. Simulación *CO* del Hyundai Accent

Fuente: Autores

En la figura 6.10.69, se observa el comportamiento de respuesta del entrenamiento y simulación de la RNA del *CO₂*, donde se tiene un error máximo de 0.8% volumen.

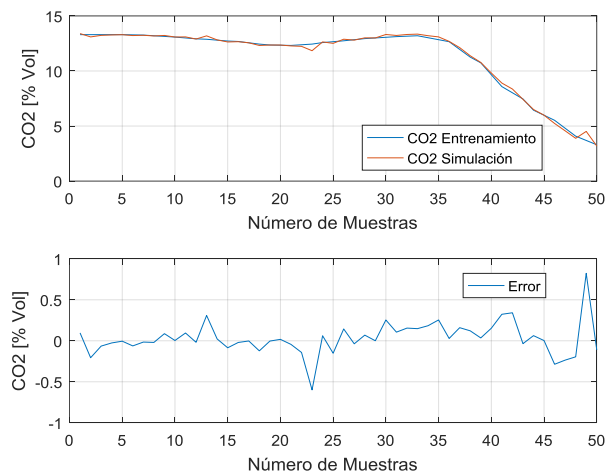


Figura 6.10.69. Simulación *CO₂* del Hyundai Accent

Fuente: Autores

En la siguiente comparación de respuesta del entrenamiento y simulación de la RNA del HC, se adquiere una buena visualización como se indica en la figura con un error máximo 12 ppm.

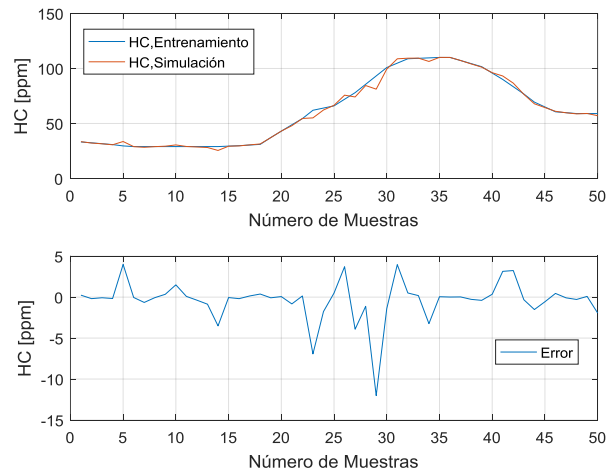


Figura 6.10.70. Simulación HC del Hyundai Accent

Fuente: Autores

Para el O2 se obtiene la siguiente figura de entrenamiento y simulación de la RNA con un error máximo de 0.2% volumen.

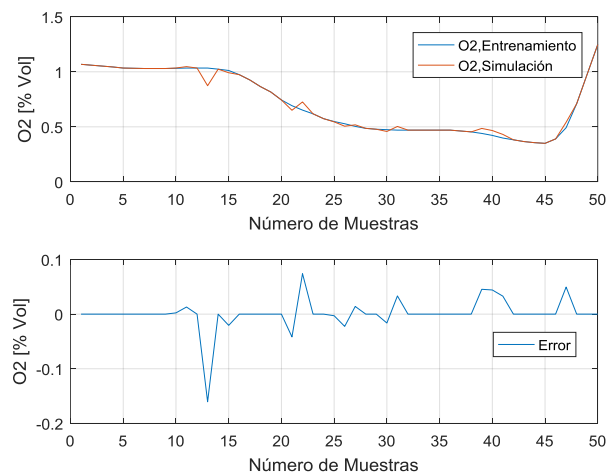


Figura 6.10.71. Simulación O2 del Hyundai Accent

Fuente: Autores

Por último, se tiene la comparación del NO_x, donde existe una aceleración elevada por parte de la simulación dando un error máximo de 85 ppm, dicho comportamiento se puede ver en la figura.

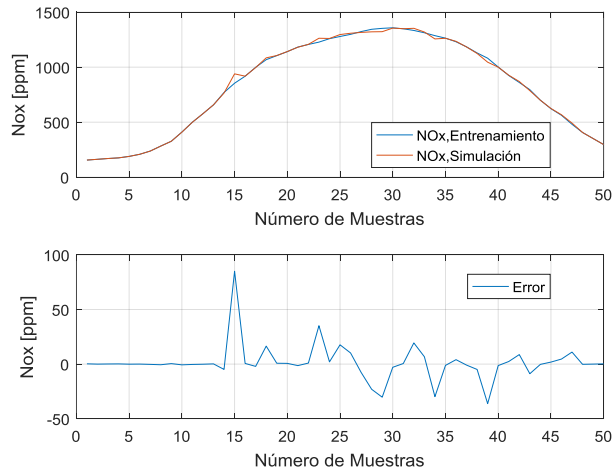


Figura 6.10.72. Simulación NO_x del Hyundai Accent

Fuente: Autores

- **Simulación de la RNA en el vehículo Kia Picanto**

Es justo contrastar la respuesta del entrenamiento y simulación de la RNA, por lo tanto como se observa en la figura el CO tiene una buena aprobación con un error máximo de 0.1% volumen.

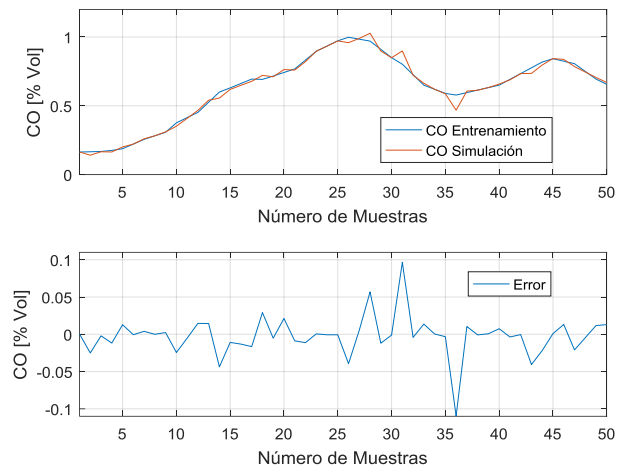


Figura 6.10.73. Simulación CO del Kia Picanto

Fuente: Autores

En la figura se observa el comportamiento de respuesta del entrenamiento y simulación de la RNA del CO₂, donde se tiene un error máximo de 1.78% volumen.

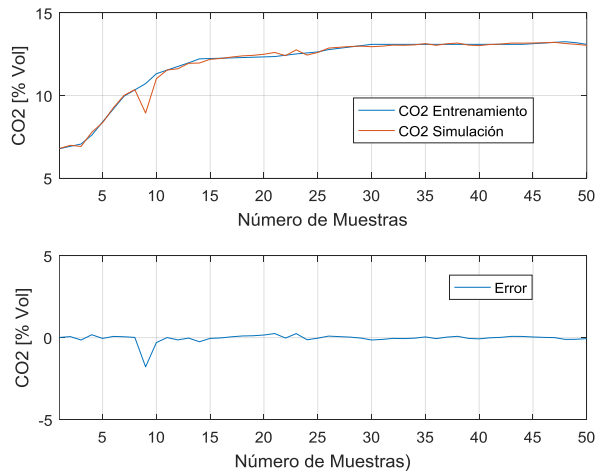


Figura 6.10.74. Simulación CO₂ del Kia Picanto

Fuente: Autores

En la siguiente comparación de respuesta del entrenamiento y simulación de la RNA del HC, se adquiere una buena visualización como se indica en la figura con un error máximo 10 ppm.

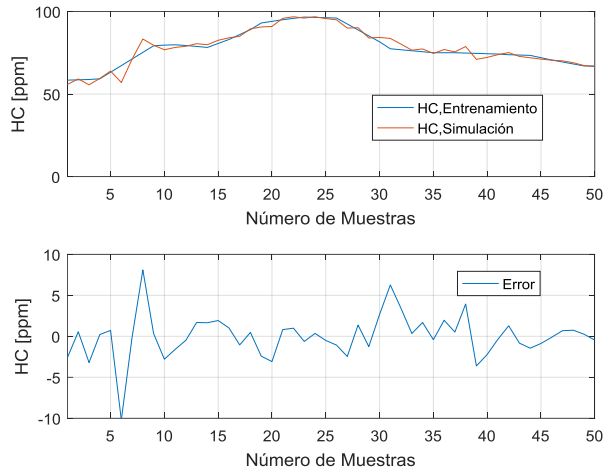


Figura 6.10.75. Simulación HC del Kia Picanto

Fuente: Autores

Para el O₂ se obtiene la siguiente figura de entrenamiento y simulación de la RNA con un error máximo de 0.57% volumen.

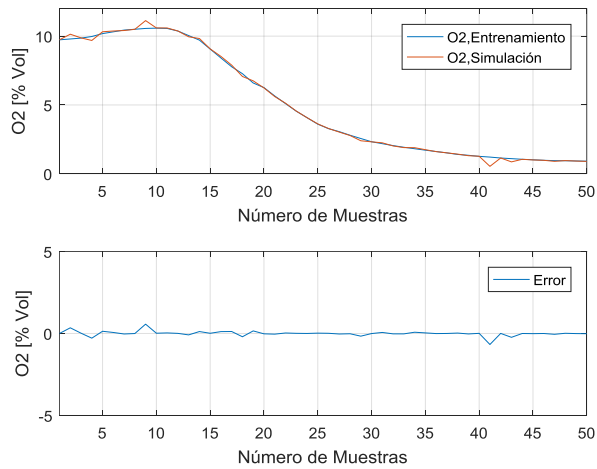


Figura 6.10.76. Simulación O₂ del Kia Picanto

Fuente: Autores

Por último, se tiene la comparación del NO_x, donde existe una aproximación progresiva por parte de la simulación dando un error máximo de 175 ppm, dicho comportamiento se puede ver en la figura.

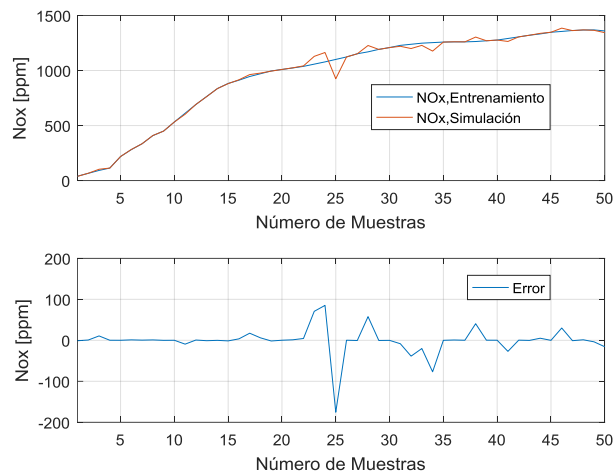


Figura 6.10.77. Simulación NOx del Kia Picanto

Fuente: Autores

En la tabla 12 se detallan los resultados de la red neuronal de los coeficientes de determinación de cada vehículo con respecto a los gases contaminantes, donde se comprueba que los valores de R para el CO , CO_2 , HC y NOx tiene una confiabilidad del 99%, en cambio el valor del R para el O_2 posee una confiabilidad del 98%, por lo tanto se obtiene la conclusión que existe una clara correlación entre los variables de entrada (Sensores del vehículo) y variables de salida (Gases contaminantes) teniendo proporciones perfectas.

Tabla 12 Resultados de la RNA del coeficiente de determinación, Fuente: Autores

	Chevrolet Aveo,	Hyundai Accent,	Kia Picanto,	Promedio del
	R_{Total}	R_{Total}	R_{Total}	R_{Total}
CO	0.9969	0.9901	0.9946	0.9939
CO_2	0.9971	0.9977	0.9956	0.9968
HC	0.9991	0.9952	0.9809	0.9917
O_2	0.9867	0.9945	0.9811	0.9874
NO_x	0.9851	0.9992	0.9968	0.9937

Por último, en la tabla 13 se detallan los resultados de la simulación red neuronal de cada vehículo con respecto a los gases contaminantes, donde el promedio de error absoluto de los valores son: el CO es de 0.2 % volumen, el CO_2 es de 1,02 % volumen, el O_2 es de 0.30 %

volumen, los *HC* es de 7.5 ppm y los *NOx* es de 120 ppm, por lo tanto se adquiere valores de error bajos, lo que valida la red.

Tabla 13 Resultados de la simulación de RNA, **Fuente:** Autores

	Chevrolet Aveo, Error	Hyundai Accent, Error	Kia Picanto, Error	Promedio del Error
<i>CO</i> [% vol]	0.2	0.3	0.1	0.2
<i>CO₂</i> [% vol]	0.5	0.8	1.78	1.02
<i>O₂</i> [% vol]	0.15	0.2	0.57	0.30
<i>HC</i> [ppm]	0.5	12	10	7.5
<i>NO_x</i> [ppm]	100	85	175	120

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Se observó un patrón similar para los 3 vehículos, donde las concentraciones del NO_x , HC , CO aumentan a medida que hay una mayor velocidad, aceleración, carga e incremento de régimen de giro, en cambio cuando existen valores constantes los mismos disminuyen muy rápidamente.
- Se obtuvo un patrón distinto para la concentración del O_2 , que disminuye a medida que hay una mayor velocidad, aceleración, carga y aumento de régimen y cuando existen valores constantes el O_2 aumentan ligeramente el 14%.
- Se determinó un modelo para a cada una de las agrupaciones contaminantes vehiculares donde demuestra el comportamiento de las mismas y su relación con los PID'S, con la cual se puede realizar una estimación de las emisiones contaminantes.
- En los resultados de las gráficas de la red neuronal para los 3 vehículos tienen valores del coeficiente de determinación de 0.99 para el CO , CO_2 , HC , NO_x , con un margen de error de 0.01, en cambio para el O_2 se tiene un coeficiente de determinación de 0.98, con un margen de error de 0.02, lo que significa que las regresiones son fácilmente lineales, por lo tanto las compensaciones son perfectas.
- Tomando en cuenta las gráficas de histogramas de la RNA, se induce que la disposición central de las emisiones son resultados muy bajos tendiendo a cero y su forma es poco asimétrica, lo que sugiere que las muestras satisfacen la RNA.
- En los resultados de la simulación de RNA para los 3 vehículos, el error máximo absoluto en promedio es el CO_2 con 1,02 % volumen y el error mínimo en promedio para los HC con 7.5 ppm, siendo valores muy bajos, por ende se valida la red neuronal.

7.2. Recomendaciones

- Para la recolección de datos se debe inspeccionar el estado que se encuentra el sistema de escape de cada uno los vehículos y la sonda del analizador de gases para tener valores reales. Por otro lado, se debe tomar en cuenta los datos del analizador de gases cuando comienza y termina para realizar un recorte preciso y prevenir un mejor análisis.
- Además, se recomienda que las muestras de los sensores de los vehículos obtenidos con el Freematics y del analizador de gases sean de la misma dimensión debido a que en la toma de datos tenemos matrices distintas.
- Se debe tener sincronizados las variables de entrada (datos de los sensores) y las variables de salida (gases contaminantes) para una mejor validación de datos positivas en el software de Minitab® y Matlab®.
- Repetir el experimento en otros vehículos para generalizar el conocimiento.

8. Referencias

- AEADE. (2018). *Asociación De Empresas Automotores Del Ecuador*. Ecuador.
- Aguilar, A., & Tandazo, I. (2017). ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (AMFEC) DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO CORSA EVOLUTION 1.4L EMPLEANDO HERRAMIENTAS DE APRENDIZAJE Y CLASIFICACIÓN PARA LA PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO. *Tesis de Ingeniería*. Universidad Politecnica Salesiana, Cuenca.
- Arias, E., & Ludeña, J. (2018). ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y NIVELES DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN VEHÍCULO DE CATEGORÍA M1 EN RUTAS CON MAYOR GRADO DE SATURACIÓN EN LA CIUDAD DE CUENCA. *Tesis de Ingeniería*. Universidad Politecnica Salesiana, Cuenca.
- Calvo, D. (17 de julio de 2017). *Diego Calvo*. Obtenido de <http://www.diegocalvo.es/definicion-de-red-neuronal/>
- Cisneros, I. (2014). *tutallermecanico*. Obtenido de tutallermecanico: <http://www.tutallermecanico.com.mx/recursos/catalogo/17.pdf>
- Dani, M. (2014). *Aficionados a la Mecánica* . Obtenido de Aficionados a la Mecánica : <http://www.aficionadosalamecanica.net/emision-gases-escape.htm>
- EMOV. (2014). *Inventario de Emisiones Atmosféricas del Cantón Cuenca* . Cuenca: EMOV.
- Escobar, C., & Gordillo, J. (2019). Caracterización del parque automotor perteneciente a la categoría M1 del cantón Cuenca en función a sus propiedades constructivas y niveles de emision. (*Tesis de pregrado*). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- Garate, D. (2018). Desarrollo de un algoritmo para la adquisición y almacenamiento de los datos provenientes del sistema de diagnostico a bordo OBD II. *Tesis de Ingeniería*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- MathWorks. (2019). *MathWorks*. Obtenido de <https://es.mathworks.com/discovery/neural-network.html>
- Medina, S. (9 de Noviembre de 2018). *ResearchGate*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/328808726_Sensores_Automotrices
- Peréz, P., & Quito, C. (2018). DETERMINACIÓN DE LOS CICLOS DE CONDUCCIÓN DE UN VEHÍCULO CATEGORIA M1 PARA LA CIUDAD DE CUENCA. (*Tesis de Ingeniería*). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- Quinchimbla, F., & Solis, J. (2017). Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera y combinado para evaluar el rendimiento real del combustible de un vehículo con motor de ciclo Otto en el Distrito Metropolitano De Quito. (*Tesis de Masterado*).

Escuela Politécnica Nacional, Quito. Obtenido de
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17000/1/CD-7578.pdf>

Roman, A. (2014). Metodología para la asignación de vehículos de una flota a rutas Preestablecidas. *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

Sánchez, E. (2009). *Sistemas Auxiliares del Motor*. Madrid: Macmillan.

Urgiles, J. S. (21 de Julio de 2017). *RRAAE*. (U. d. Azuay, Ed.) Recuperado el 03 de Julio de 2018, de RRAAE: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7205/1/13152.pdf>

9. Anexos

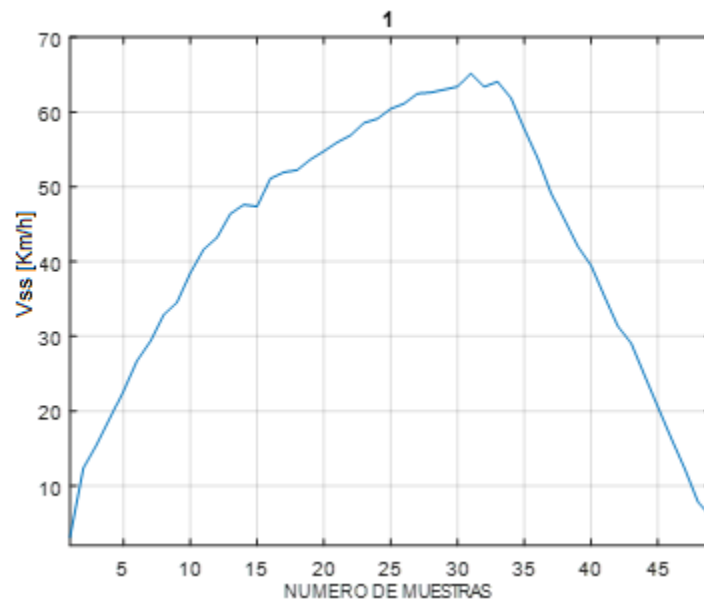


Figura 9.7.2.1 Microciclo 1

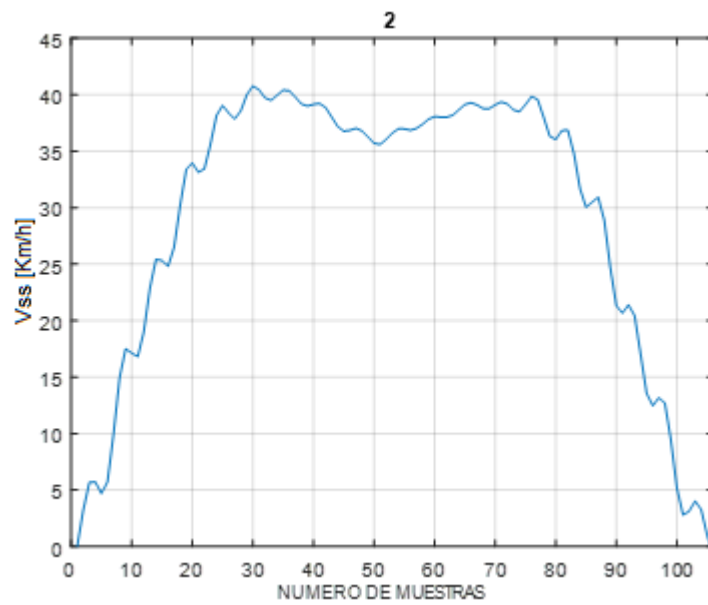


Figura 9.7.2.2. Microciclo 2

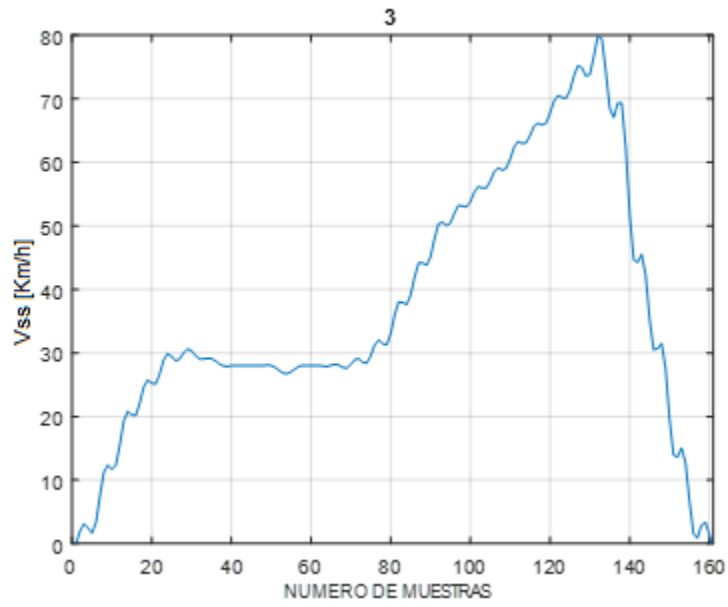


Figura 9.7.2.3. Microciclo 3

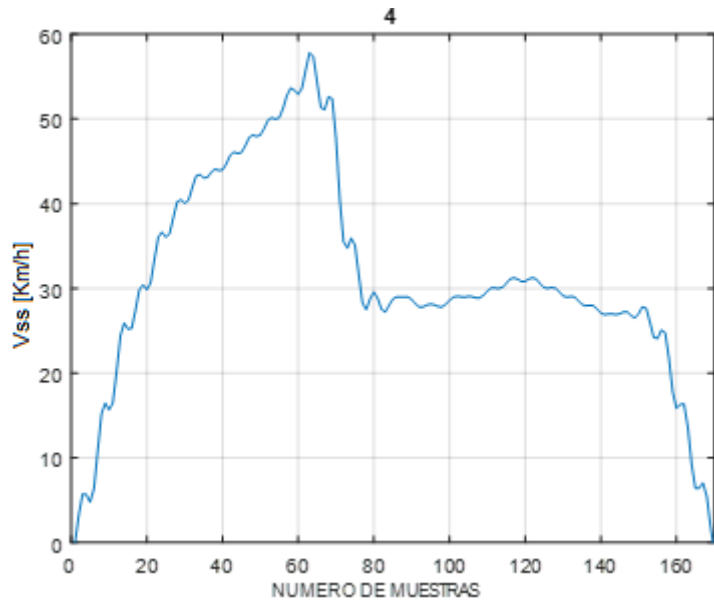


Figura 9.7.2.4. Microciclo 4

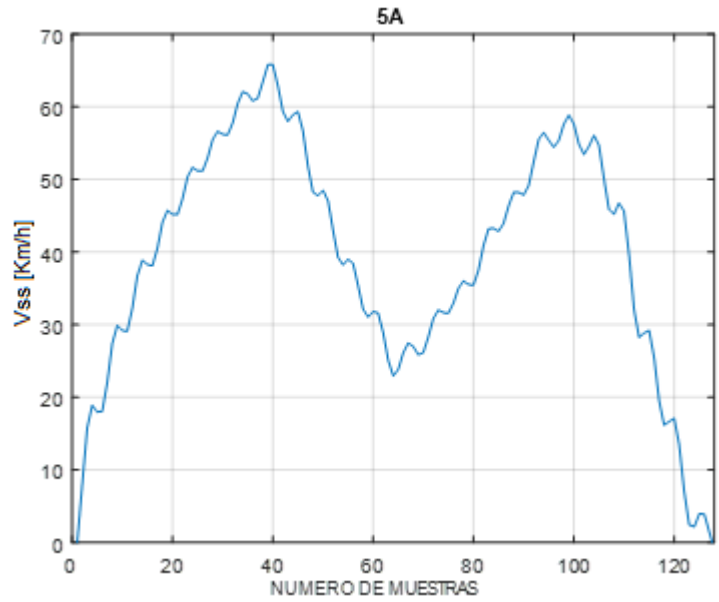


Figura 9.7.2.5. Microciclo 5ª

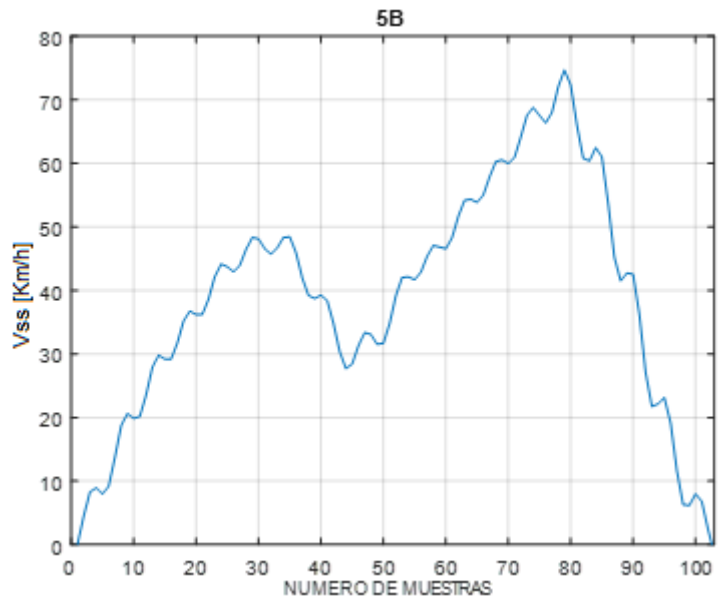


Figura 9.7.2.6. Microciclo 5B

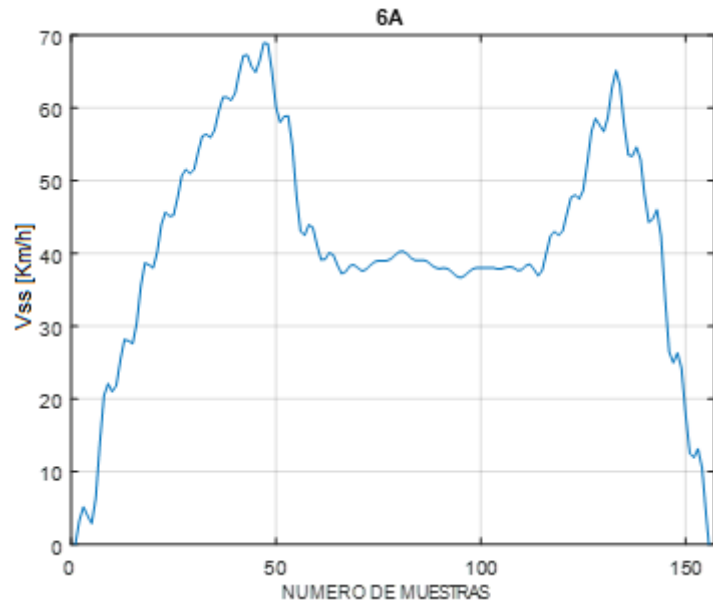


Figura 9.7.2.7. Microciclo 6^a

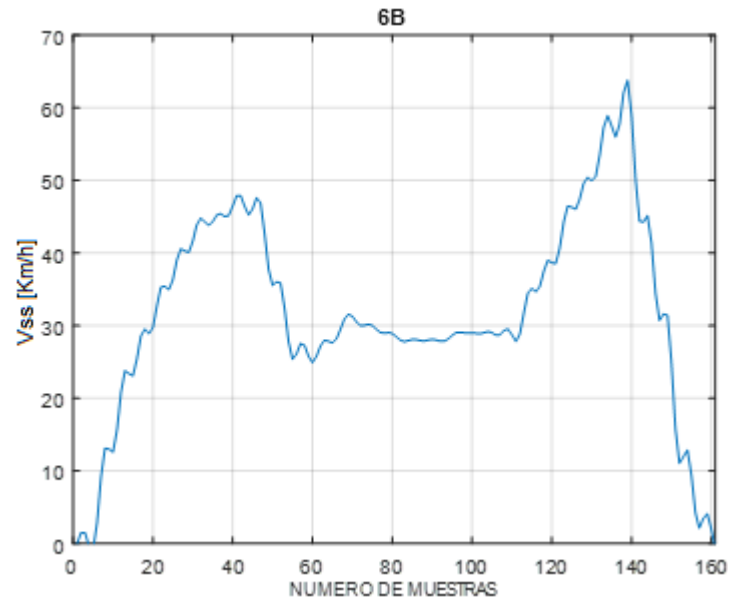


Figura 9.7.2.8. Microciclo 6B

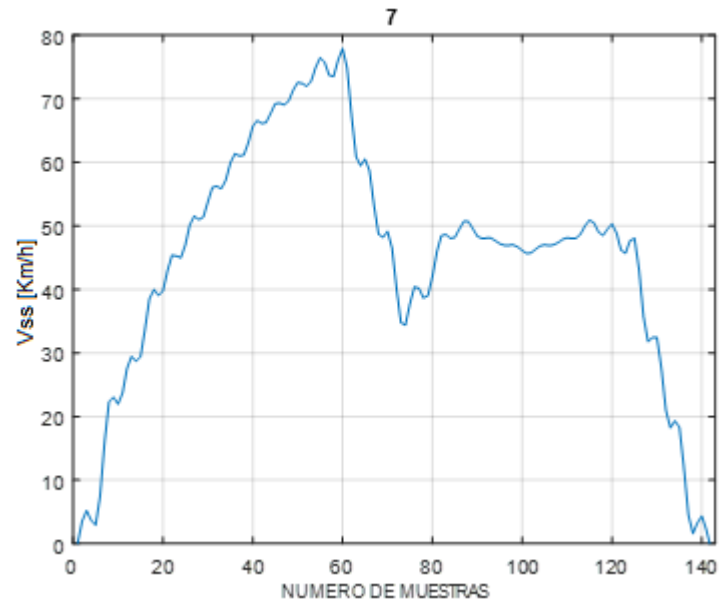


Figura 9.7.2.9. Microciclo 7

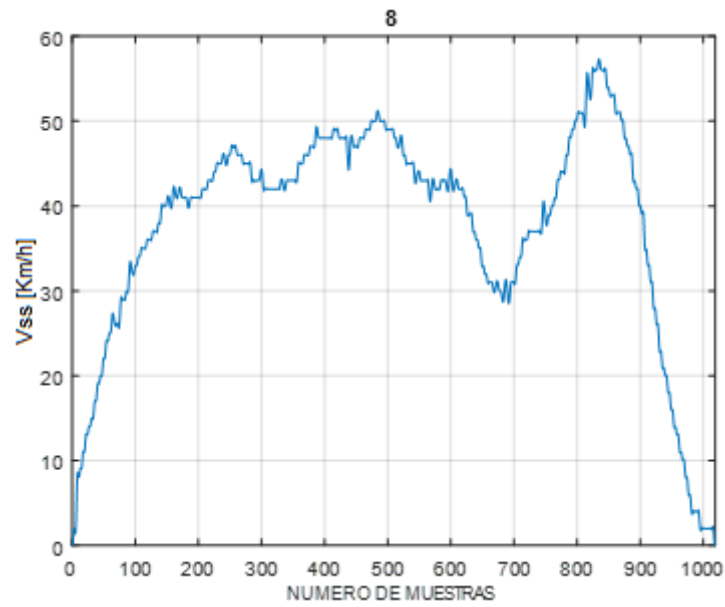


Figura 9.7.2.10. Microciclo 8

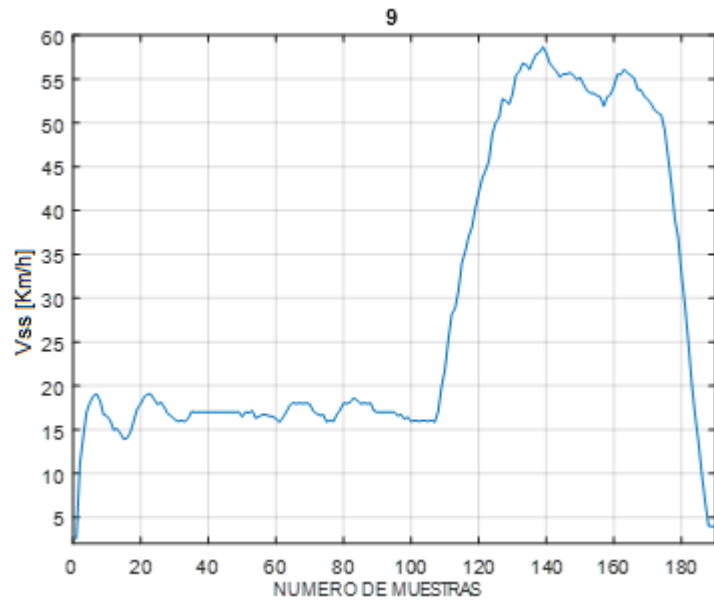


Figura 9.7.2.11. Microciclo 9

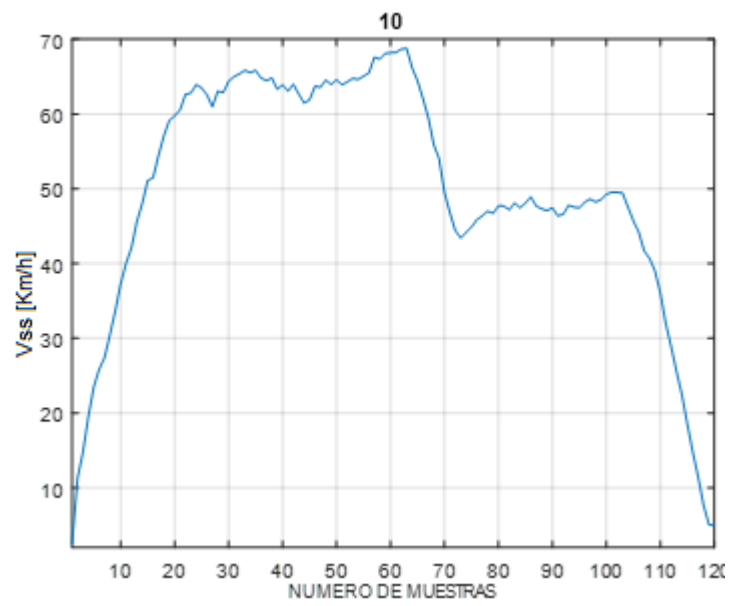


Figura 9.7.2.12. Microciclo 10



Figura 9.7.2.13. Instalación de los equipos de medición de RPM

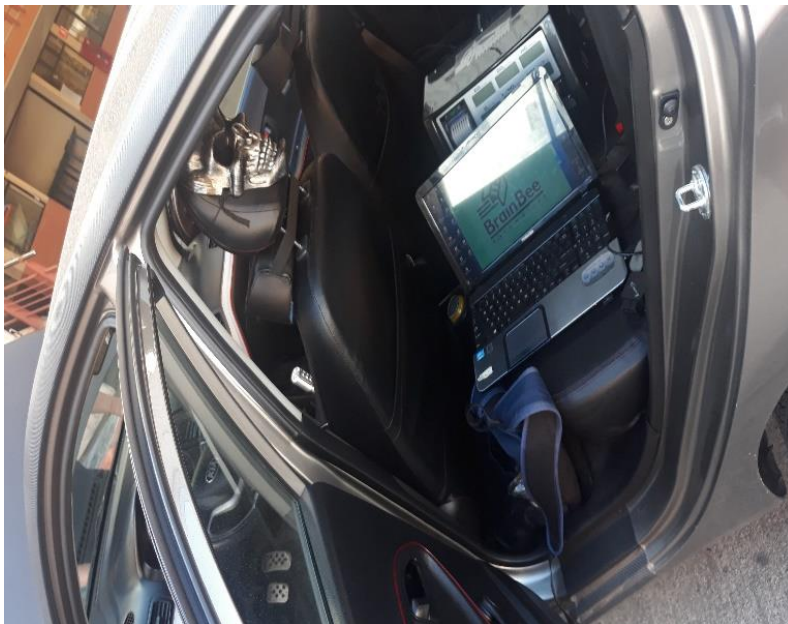


Figura 9.7.2.14. Instalación de Analizador de Gases