

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

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

Proyecto Técnico:

“CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS A PARTIR DEL ANÁLISIS
DE LAS SEÑALES DE LOS SENSORES DEL SISTEMA DE
INYECCIÓN PARA LA LOCALIZACIÓN DE AVERÍAS EN
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA”

Autores:

Álvarez Pineda David Oswaldo

Calle Calle Paúl Andrés

Tutor:

Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, M.Sc

Ecuador, Cuenca, Agosto 2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

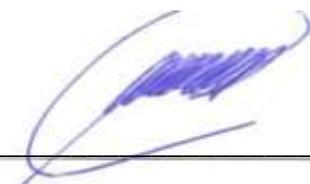
Nosotros, David Oswaldo Álvarez Pineda, con documento de identificación N° 0105474662, y Paúl Andrés Calle Calle, con documento de identificación N° 0104807771 manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación: “CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS A PARTIR DEL ANÁLISIS DE LAS SEÑALES DE LOS SENSORES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN PARA LA LOCALIZACIÓN DE AVERÍAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA”, 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 el formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



David Oswaldo Álvarez Pineda

C.I. 010547466-2



Paúl Andrés Calle Calle

C.I. 010480777-1

CERTIFICACIÓN

Yo Néstor Diego Rivera Campoverde, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación: “CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS A PARTIR DEL ANÁLISIS DE LAS SEÑALES DE LOS SENSORES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN PARA LA LOCALIZACIÓN DE AVERÍAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA”, realizado por David Oswaldo Álvarez Pineda y Paúl Andrés Calle Calle, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Néstor Diego Rivera Campoverde', written over a horizontal line.

Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde, M.Sc

C.I. 010389899-5

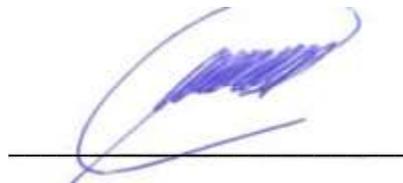
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, David Oswaldo Álvarez Pineda con documento de identificación N° 0105474662 y Paúl Andrés Calle Calle con documento de identificación N° 0104807771, autores del Trabajo de Titulación: “CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS A PARTIR DEL ANÁLISIS DE LAS SEÑALES DE LOS SENSORES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN PARA LA LOCALIZACIÓN DE AVERÍAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA”, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.



David Oswaldo Álvarez Pineda

C.I. 010547466-2



Paúl Andrés Calle Calle

C.I. 010480777-1

AGRADECIMIENTO

Agradecer primero a Dios, quien me dio la fuerza y sabiduría para poder culminar mis estudios universitarios, junto a él, se hizo más fácil el camino.

A mis padres, Juan Oswaldo y María Beatriz, gracias a su apoyo incondicional en cada una de las etapas de mi vida, que me han sabido levantar después de cada tropiezo que he tenido.

A mis hermanos, Felipe, Andrés y Valeria que junto a ellos he tenido la confianza y colaboración para poder alcanzar esta meta.

A mi esposa, Mercedes del Rocío que me ha sabido apoyar durante mi etapa estudiantil, sin tu colaboración en los momentos difíciles no hubiese podido alcanzar este logro. Te Amo.

A mis demás familiares que aportaron desinteresadamente en mi formación académica y personal y a mis compañeros de aula que pudimos compartir momentos de alegrías y sufrimientos en busca de nuestras metas personales.

A mi tutor de tesis Ing. Néstor Rivera, que gracias a sus enseñanzas y colaboración durante toda la carrera, me han permitido culminar con mis estudios universitarios.

A mi compañero, amigo y socio Paúl por su paciencia, amistad y colaboración desinteresada durante toda mi carrera, gracias por tus enseñanzas y aguante que has tenido conmigo.

David.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios que me permitió finalizar con mis estudios universitarios, que después de todo el sacrificio me dio el gusto de culminar esta etapa, junto a él fue una de las más hermosas de que he vivido.

A mi Padre Lauro, quien es el promotor de este gusto por mi carrera, quien jamás me negó todos sus conocimientos que en la vida estudiantil me facilitaron tanto los logros que conseguí, quien me entendió y comprendió todos los errores y acciones durante este tiempo.

A mi madre Miriam, quien complemento mi carácter y valores, enseñándome que el tiempo de Dios es perfecto tiene un gran aporte y merito en mi vida y este logro, quien jamás me dio la espalda y con su apoyo incondicional esta meta se cumplió.

A mi tutor de tesis, Ing. Néstor Rivera M.Sc quien es parte de este trabajo, quien me compartió sus conocimientos y experiencias para aplicarlas en la vida profesional, quien me brindó una gran amistad y una gran confianza.

A mi compañero, amigo y socio David, quien deposito toda la confianza para sacar adelante un proyecto más, quien ha sido un aporte invaluable sin dejar de lado su aporte laboral.

Paúl

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación, a Dios que es la fuente de sabiduría, paciencia y fuerza necesaria para poder afrontar las dificultades de la vida.

Para mis padres Juan y Beatriz que con su ejemplo de perseverancia y sacrificio se puede alcanzar todas las metas que uno se lo proponga. A mis hermanos Felipe, Andrés y Valeria que con mucho cariño me brindaron su apoyo durante todas las etapas de mi vida.

A mi esposa, Rocío, que gracias a tu cariño me has sabido entender y apoyar en cada una de las decisiones que he tenido que tomar.

A mi amada hija Andrea Estefanía, fuente de mi inspiración para ser mejor y superarme cada día. Este logro es para ti.

A cada uno de mis familiares y amigos quienes han compartido conmigo en momentos gratos y en situaciones difíciles durante mi vida, gracias a cada uno de ellos he podido superarme personal y académicamente.

David.

DEDICATORIA

*“Si algo no te sale bien o cómo quieres, borra, rompe todo y empieza de nuevo”,
una de las frases que durante este tiempo la he tenido siempre presente.*

*Dedico este trabajo de titulación a Dios, quien me dio la sabiduría, fuerza,
persistencia y dedicación para poder culminar frente a todos los tropiezos y
percances.*

*A mis padres Lauro y Miriam, por enseñarme que todo sacrificio tiene su
recompensa, por apoyarme incondicionalmente e instruirme con valores y
educación para los retos superados y que se vendrán en un futuro.*

*A mis hermanos Verónica y Nicolás, que aceptaron las molestias causadas y
supieron entender aquellos momentos los que no pude estar a su lado.*

A mi hija Sofía que tomo parte de este proyecto apresurando la culminación.

*A mi familia, amigos, compañeros y conocidos quienes contribuyeron a la
formación personal y profesional.*

Paúl

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación, se detalla el estudio realizado para la obtención y análisis de información de los sensores en vehículos de nuestro medio para realizar una base de datos, con la finalidad de detectar fallos incipientes que el sistema de diagnóstico del motor no es capaz de detectar, demostrando que existe diferencias entre el estado de buen y mal funcionamiento del sistema de inyección. En la primera fase se describe el proceso llevado a cabo para la obtención de la información de las variables de estudio que han sido planteadas estableciendo un proceso de toma de datos para evitar los errores por ruido o fallos humanos producidos en la adquisición de datos. Para la segunda fase se realiza un análisis de residuos a los datos adquiridos con la finalidad de verificar si los mismos son válidos para el posterior estudio. A continuación, se procede a estudiar el comportamiento de las variables más representativas, el MAP, Ajustes de Corto y Largo Alcance, emisiones de Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono e Hidrocarburos no Combustionados, con la finalidad de describir variaciones en el funcionamiento de los mismos. Para la última fase se realiza un análisis de componentes principales (PCA), para verificar las variables que aportan más información al estudio y cómo éstas afectan a los resultados obtenidos.

ABSTRACT

In the present work, we detail the study realized for the obtaining and analysis of information of the sensors of the system of injection of different vehicles of our means to realize a database, with the purpose of detecting incipient failures that the system of diagnosis the engine is not able to detect, showing that there are differences between the state of good and bad operation of the injection system. In the first phase we describe the process carried out to obtain the information of the study variables that have been established by establishing a data collection process to avoid errors due to noise or human failures produced in the acquisition of data. For the second phase, a residue analysis is performed on the acquired data in order to verify if they are valid for the subsequent study. Next, we proceed to study the behavior of the most representative variables, MAP, Short and Long Range Adjustments, Carbon Monoxide, Carbon Dioxide and Non-Combusted Hydrocarbons, with the purpose of describing variations in their operation. For the last phase, a principal component analysis (PCA) is carried out to verify which variables provide more information to the study and how these affect the results obtained.

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	PROBLEMA	2
3.	OBJETIVOS.....	2
3.1.	Objetivo General.....	2
3.2.	Objetivos Específicos	2
4.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	3
4.1.	Motor de Combustión Interna.....	3
4.1.1.	Fase de Admisión	3
4.1.2.	Fase de Compresión	3
4.1.3.	Fase de Expansión	3
4.1.4.	Fase de Escape.....	3
4.2.	Sistema de Alimentación de Combustible	4
4.3.	Sistema de Encendido	5
4.4.	Sistema de Admisión de Aire	5
4.5.	Definición de Fallo	6
4.6.	Fallos Incipientes	7
5.	ESTADO DEL ARTE	8
6.	MARCO METODOLÓGICO	9
6.1.	Fase I: Obtención de datos de los sensores y análisis de gases de los vehículos con fallos y después de realizar la corrección.	9
6.1.1.	Estadística de Vehículos en el Ecuador.....	9
6.1.2.	Vehículos para el estudio.....	9
6.1.3.	Equipos Utilizados para la Toma de Muestras	10
6.1.3.1.	Escáner Automotriz F-CAR.....	10
6.1.3.2.	Analizador de Gases.....	11

6.1.4.	Planeación del Experimento	12
6.1.4.1.	Variables de Respuesta.....	13
6.1.4.2.	Variables de Estudio.....	18
6.1.4.3.	Variables de Bloqueo	18
6.1.4.4.	Variables de Ruido	19
6.1.5.	Protocolo de Medición	19
6.1.6.	Proceso para la Toma de Muestras	20
6.1.7.	Toma de muestras. Motor del vehículo en mal Estado.....	21
6.1.8.	Toma de muestras. Motor del vehículo en buen Estado.....	23
6.2.	FASE II. Análisis de datos mediante técnicas de aprendizaje y clasificación. 25	
6.2.1.	Análisis de residuos para muestras a Ralentí	25
6.2.1.1.	Gráfica de probabilidad normal.....	25
6.2.1.2.	Gráfica de Histograma	25
6.2.1.3.	Gráfica de Residuos vs Ajustes.....	25
6.2.1.4.	Gráfica de Residuos vs Orden	25
6.2.2.	Análisis de residuos para muestras a ralentí.....	26
6.2.2.1.	Gráfica de probabilidad normal.....	26
6.2.2.2.	Gráfica de Histograma	26
6.2.2.3.	Gráfica de Residuos vs Ajustes.....	27
6.2.2.4.	Gráfica de Residuos vs Orden	27
6.2.3.	Análisis de Residuos para muestras a 2500 RPM	27
6.2.3.1.	Gráfica de Probabilidad Normal	28
6.2.3.2.	Gráfica de Histograma	28
6.2.3.3.	Gráfica de Residuos vs Ajustes.....	28
6.2.3.4.	Gráfica de Residuos vs Orden.....	28
6.2.4.	Análisis de Residuos para muestras a 2500 RPM	29
6.2.4.1.	Gráfica de Probabilidad Normal	29

6.2.4.2.	Gráfica de Histograma	29
6.2.4.3.	Gráfica de Residuos vs Ajustes.....	30
6.2.4.4.	Gráfica de Residuos vs Orden.....	30
6.2.5.	Análisis del Sensor MAP.....	30
6.2.5.1.	Gráfica de Intervalos del Sensor MAP vs Condición a Ralentí.....	31
6.2.5.2.	Gráfica de Tukey del Sensor MAP a Ralentí.....	31
6.2.5.3.	Gráfica de Intervalos del Sensor MAP vs Condición a 2500 RPM..	32
6.2.5.4.	Gráfica de Tukey del Sensor MAP a 2500 RPM.....	33
6.2.6.	Análisis del Ajuste Corto Alcance % Máximo.....	33
6.2.6.1.	Gráfica de Intervalos del SFT % Máximo vs Condición a Ralentí...	33
6.2.6.2.	Gráfica de Tukey del SFT % Máximo a Ralentí.....	34
6.2.6.3.	Gráfica de Intervalos del SFT % Máximo vs Condición a 2500 RPM.....	35
6.2.6.4.	Gráfica de Tukey del SFT % Máximo a 2500 RPM.....	35
6.2.7.	Análisis del Ajuste de Corto Alcance % Mínimo.....	36
6.2.7.1.	Gráfica de Intervalos del SFT % Mínimo vs Condición a Ralentí....	36
6.2.7.2.	Gráfica de Tukey del SFT % Mínimo a Ralentí.....	36
6.2.7.3.	Gráfica de Intervalos del SFT % Mínimo vs Condición a 2500 RPM.....	37
6.2.7.4.	Gráfica de Tukey del SFT % Mínimo a 2500 RPM.....	37
6.2.8.	Análisis del Ajuste de Largo Alcance	38
6.2.8.1.	Gráfica de Intervalos del LFT vs Condición a Ralentí.....	38
6.2.8.2.	Gráfica de Tukey del LFT a Ralentí.....	39
6.2.8.3.	Gráfica de Intervalos del LFT vs Condición a 2500 RPM.....	40
6.2.8.4.	Gráfica de Tukey del LFT a 2500 RPM.....	40
6.2.9.	Análisis del Monóxido de Carbono	41
6.2.9.1.	Gráfica de Intervalos del CO vs Condición a Ralentí	41
6.2.9.2.	Gráfica de Tukey del CO a Ralentí	42

6.2.9.3.	Gráfica de Intervalos del CO vs Condición a 2500 RPM	42
6.2.9.4.	Gráfica de Tukey del CO a 2500 RPM	43
6.2.10.	Análisis del Dióxido de Carbono	44
6.2.10.1.	Gráfica de Intervalos del CO ₂ vs Condición a Ralentí	44
6.2.10.2.	Gráfica de Tukey del CO ₂ a Ralentí	44
6.2.10.3.	Gráfica de Intervalos del CO ₂ vs Condición a 2500 RPM.....	45
6.2.10.4.	Gráfica de Tukey del CO ₂ a 2500 RPM	46
6.2.11.	Análisis de Hidrocarburos No Combustionados.....	46
6.2.11.1.	Gráfica de Intervalos de HC vs Condición a Ralentí.....	46
6.2.11.2.	Gráfica de Tukey de HC a Ralentí.....	47
6.2.11.3.	Gráfica de Intervalos de HC vs Condición a 2500 RPM.....	48
6.2.11.4.	Gráfica de IC de 95% de Tukey de HC a 2500 RPM	48
6.3.	FASE III: Validación de Datos y Presentación de Resultados.	49
6.3.1.	Análisis de Componentes Principales para las Muestras a Ralentí	49
6.3.1.1.	Matriz de Correlación.....	49
6.3.1.2.	Gráfica de Sedimentación	52
6.3.1.3.	Gráfica de Puntuaciones.....	53
6.3.1.4.	Gráfica de Influencias	54
6.3.1.5.	Gráfica de Doble Proyección	54
6.3.1.6.	Gráfica de Valores Atípicos	55
6.3.2.	Análisis Factorial para las muestras a Ralentí.....	56
6.3.2.1.	Gráfica de Sedimentación	56
6.3.2.2.	Coeficientes de Puntuación de los Factores	56
6.3.2.3.	Gráfica de Puntuaciones.....	57
6.3.2.4.	Gráfica de Influencias	58
6.3.2.5.	Gráfica de Doble Proyección	59
6.3.3.	Análisis de Componentes Principales para las Muestras a 2500 RPM	59

6.3.3.1.	Matriz de Correlación.....	60
6.3.3.2.	Gráfica de Sedimentación	62
6.3.3.3.	Gráfica de Puntuación	63
6.3.3.4.	Gráfica de Influencias	64
6.3.3.5.	Gráfica de Doble Proyección	65
6.3.3.6.	Gráfica de Valores Atípicos	66
6.3.4.	Análisis de Factores para las muestras a 2500 RPM.....	66
6.3.4.1.	Gráfica de Sedimentación	67
6.3.4.2.	Coeficientes de Puntuación de los Factores	67
6.3.4.3.	Gráfica de Puntuaciones.....	68
6.3.4.4.	Gráfica de Influencias	69
6.3.4.5.	Gráfica de Doble Proyección	70
7.	CONCLUSIONES.....	71
8.	RECOMENDACIONES	74
9.	BIBLIOGRAFÍA	75
10.	ANEXOS.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de Trabajo de un Motor de Combustión Interna.	4
Figura 2: Sistema de Alimentación de Combustible.	4
Figura 3: Circuito de Encendido.....	5
Figura 4: Circuito de Admisión de Aire.	6
Figura 5: Rango de fallas.....	6
Figura 6: Estadística vehículos Ecuador.....	9
Figura 7: Porcentaje de la muestra por modelos de vehículos.	10
Figura 8: Escáner automotriz FCAR.	10
Figura 9: Analizador de gases QGA-6000.	11
Figura 10: Variables que componen el diseño experimental.....	12
Figura 11: Sensor MAP.	13
Figura 12: Sensor TPS.....	14
Figura 13: Sensor ECT.	15
Figura 14: Sensor IAT.	16
Figura 15: Ajuste de corto alcance.	16
Figura 16: Gráfica de residuos para la muestra en Ralentí.....	26
Figura 17: Gráfica de Residuos para la muestra en Ralentí.	27
Figura 18: Gráfica de Residuos para la muestra a 2500 RPM.....	29
Figura 19: Gráfica de Residuos para la muestra a 2500 RPM.....	30
Figura 20: Gráfica de Intervalos del Sensor MAP vs Condición a Ralentí.....	31
Figura 21: Gráfica de Tukey del Sensor MAP a Ralentí.....	32
Figura 22: Gráfica de Intervalos del Sensor MAP vs Condición a 2500 RPM.....	32
Figura 23: Gráfica de Tukey del Sensor MAP a 2500 RPM.	33
Figura 24: Gráfica de Intervalos del SFT % Máximo vs Condición.....	34
Figura 25: Gráfica de Tukey del SFT % Máximo a Ralentí.....	34
Figura 26: Gráfica de Intervalos del SFT % Máximo vs Condición a 2500 RPM.....	35
Figura 27: Gráfica de IC de 95% de Tukey del SFT % Máximo a 2500 RPM.....	35
Figura 28: Gráfica de Intervalos del SFT % Mínimo vs Condición a Ralentí.	36
Figura 29: Gráfica de Tukey del SFT % Mínimo a Ralentí.	37
Figura 30: Gráfica de Intervalos del SFT % Mínimo vs Condición a 2500 RPM.	37
Figura 31: Gráfica de Tukey del SFT % Mínimo a 2500 RPM.	38
Figura 32: Gráfica de Intervalos de LFT vs Condición a Ralentí.	39

Figura 33: Gráfica de Tukey del LFT a Ralentí.	39
Figura 34: Gráfica de Intervalos del LFT vs Condición a 2500 RPM	40
Figura 35: Gráfica de Tukey del LFT a 2500 RPM.	41
Figura 36: Gráfica de Intervalos de CO vs Condición.	41
Figura 37: Gráfica de Tukey del CO a Ralentí.	42
Figura 38: Gráfica de Intervalos del CO vs Condición a 2500 RPM.	43
Figura 39: Gráfica de Tukey del CO a 2500 RPM.	43
Figura 40: Gráfica de Intervalos del CO ₂ vs Condición a Ralentí.....	44
Figura 41: Gráfica de Tukey del CO ₂ a Ralentí.....	45
Figura 42: Gráfica de Intervalos del CO ₂ vs Condición a 2500 RPM.....	45
Figura 43: Gráfica de Tukey del CO ₂ a 2500 RPM.....	46
Figura 44: Gráfica de Intervalos de HC vs Condición a Ralentí.	47
Figura 45: Gráfica de Tukey de HC a Ralentí.	47
Figura 46: Gráfica de Intervalos de HC vs Condición a 2500 RPM.	48
Figura 47: Gráfica de Tukey de HC a 2500 RPM.	49
Figura 48: Gráfica de Sedimentación para las muestras a Ralentí.	53
Figura 49: Gráfica de Puntuaciones para las muestras a Ralentí.....	53
Figura 50: Gráfica de Influencias para las muestras a Ralentí.	54
Figura 51: Gráfica de Doble Proyección para las muestras a Ralentí.	55
Figura 52: Gráfica de Valores Atípicos para las muestras a Ralentí.	55
Figura 53: Gráfica de Sedimentación para muestras a Ralentí.....	56
Figura 54: Gráfica de Puntuaciones para las muestras a Ralentí.....	58
Figura 55: Gráfica de Influencias para las muestras a Ralentí.	58
Figura 56: Gráfica de Doble Proyección para muestras a Ralentí.....	59
Figura 57: Gráfica de Sedimentación para las muestras a 2500 RPM.	63
Figura 58: Gráfica de Puntuación para las muestras a 2500 RPM.	64
Figura 59: Gráfica de Influencias para las muestras a 2500 RPM.	65
Figura 60: Gráfica de Doble Proyección para las muestras a 2500 RPM.	65
Figura 61: Gráfica de Valores Atípicos para las muestras a 2500 RPM.	66
Figura 62: Gráfica de Sedimentación para las muestras a 2500 RPM.	67
Figura 63: Gráfica de Puntuaciones para las muestras a 2500 RPM.....	69
Figura 64: Gráfica de Influencias para las muestras a 2500 RPM.	69
Figura 65: Gráfica de Doble Proyección para las muestras de 2500 RPM.	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de fallos de acuerdo al nivel de gravedad	7
Tabla 2: Características analizador de gases.	12
Tabla 3: Variables de Bloqueo	18
Tabla 4: Variables de Ruido.	19
Tabla 5: Datos medios obtenidos en un vehículo en mal estado	22
Tabla 6: Datos medios obtenidos en un vehículo en mal estado.	23
Tabla 7: Datos medios obtenidos en un vehículo en buen estado..	24
Tabla 8: Datos medios obtenidos en un vehículo en buen estado.	24
Tabla 9: Matriz de correlación para muestras a Ralentí.	50
Tabla 10: Vectores Propios para muestras a Ralentí.	52
Tabla 11: Coeficientes de Puntuación de los Factores para muestras a Ralentí.....	57
Tabla 12: Matriz de Correlación para muestras a 2500 RPM.	60
Tabla 13: Vectores Propios para el análisis de muestras a 2500 RPM.....	62
Tabla 14: Coeficientes de Puntuación de los Factores para las muestras a 2500 RPM .	68

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Vehículos analizados.	79
Anexo 2: Clasificación de las Muestras por Marca.	79
Anexo 3: Clasificación de las Muestras por Año de Fabricación.....	79
Anexo 4: Clasificación de Vehículos por Tipo.	80
Anexo 5: Análisis de Residuos sensor MAP a Ralentí.....	80
Anexo 6: Gráfica de Intervalos sensor MAP a Ralentí.	80
Anexo 7: Gráfica de Tukey sensor MAP a Ralentí.	81
Anexo 8: Análisis de Residuos sensor ECT a Ralentí.....	81
Anexo 9: Gráfica de Intervalos sensor ECT a Ralentí.....	81
Anexo 10: Gráfica de Tukey sensor ECT a Ralentí.	82
Anexo 11: Análisis de Residuos Sensor IAT a Ralentí.	82
Anexo 12: Gráfica de Intervalos sensor IAT a Ralentí.	82
Anexo 13: Gráfica de Tukey sensor IAT a Ralentí.	83
Anexo 14: Análisis de Residuos SFT % Máximo a Ralentí.....	83
Anexo 15: Gráfica de Intervalos SFT % Máximo a Ralentí.....	83
Anexo 16: Gráfica de Tukey SFT % Máximo a Ralentí.	84
Anexo 17: Análisis de Residuos SFT % Mínimo a Ralentí.	84
Anexo 18: Gráfica de Intervalos SFT % Mínimo a Ralentí.	84
Anexo 19: Gráfica de SFT % Mínimo a Ralentí.	85
Anexo 20: Análisis de Residuos LFT a Ralentí.	85
Anexo 21: Gráfica de Intervalos LFT a Ralentí.	85
Anexo 22: Gráfica de Tukey LFT a Ralentí.	86
Anexo 23: Análisis de Residuos para CO a Ralentí.	86
Anexo 24: Gráfica de Intervalos del CO a Ralentí.....	86
Anexo 25: Gráfica de Tukey para CO a Ralentí.....	87
Anexo 26: Análisis de Residuos para CO ₂ a Ralentí.....	87
Anexo 27: Gráfica de Intervalos CO ₂ a Ralentí.	87
Anexo 28: Gráfica de Tukey para el CO ₂ a Ralentí	88
Anexo 29: Análisis de Residuos HC a Ralentí.	88
Anexo 30: Gráfica de Intervalos HC a Ralentí.....	88
Anexo 31: Gráfica de Tukey para HC a Ralentí.....	89
Anexo 32: Análisis de Residuos MAP a 2500 RPM.	89

Anexo 33: Gráfica de Intervalos MAP a 2500 RPM.....	89
Anexo 34: Gráfica de Tukey para MAP a 2500 RPM.....	90
Anexo 35: Análisis de Residuos sensor ECT a 2500 RPM.....	90
Anexo 36: Gráfica de Intervalos ECT a 2500 RPM.....	90
Anexo 37: Gráfica de Tukey para ECT a Ralentí.....	91
Anexo 38: Análisis de Residuos sensor IAT a 2500 RPM.....	91
Anexo 39: Gráfica de Intervalos para IAT a 2500 RPM.....	91
Anexo 40: Gráfica de Tukey para IAT a 2500 RPM.....	92
Anexo 41: Análisis de Residuos SFT % Máximo a 2500 RPM.....	92
Anexo 42: Gráfica de Intervalos SFT % Máximo a 2500 RPM.....	92
Anexo 43: Gráfica de Tukey para SFT % Máximo a 2500 RPM.	93
Anexo 44: Análisis de Residuos SFT % Mínimo a 2500 RPM.....	93
Anexo 45: Gráfica de Intervalos SFT % Mínimo a 2500 RPM.	93
Anexo 46: Gráfica de Tukey SFT % Mínimo a 2500 RPM.	94
Anexo 47: Análisis de Residuos LFT a 2500 RPM.	94
Anexo 48: Gráfica de Intervalos LFT a 2500 RPM.	94
Anexo 49: Gráfica de Tukey para LFT a 2500 RPM.	95
Anexo 50: Análisis de Residuos para CO a 2500 RPM.	95
Anexo 51: Gráfica de Intervalos para CO a 2500 RPM.....	95
Anexo 52: Gráfica de Tukey para CO a 2500 RPM.....	96
Anexo 53: Análisis de Residuos para CO ₂ a 2500 RPM.....	96
Anexo 54: Gráfica de Intervalos para CO ₂ a 2500 RPM.....	96
Anexo 55: Gráfica de Tukey para CO ₂ a 2500 RPM.	97
Anexo 56: Análisis de Residuos para HC a 2500 RPM.	97
Anexo 57: Gráfica de Intervalos para HC a 2500 RPM.....	97
Anexo 58: Gráfica de Tukey para HC a 2500 RPM.....	98

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio propuesto por el Grupo de Investigación GIIT de la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la UPS, tiene la finalidad de elaborar una base de datos con la información de los PID's de los sensores del sistema de inyección de diferentes vehículos, para la localización de fallos que no generan códigos de avería.

Actualmente dentro del grupo de investigación se han realizados diferentes estudios para determinar el estado del motor a partir del comportamiento de los sensores del sistema de inyección. La mayor parte de los mismos, se han realizado en base a la experimentación sobre motores de un solo vehículo, provocando aleatoriamente los fallos, teniendo así la desventaja de no contar con un sistema fiable que sea aplicable a todas las marcas y tipos de vehículos.

El presente proyecto presenta la información de fallos recopilada de diferentes marcas y vehículos, las mismas que no han sido provocadas, los datos obtenidos son de vehículos que se encontraban en mantenimiento dentro de un taller de servicio automotriz. La información de los sensores fue obtenida antes y después de prestar el respectivo servicio de mantenimiento al vehículo, para que la base de datos sea completa.

2. PROBLEMA

La gestión del mantenimiento para motores de combustión interna, dentro del medio, se da cuando un sistema o elemento del motor se encuentra con una avería, basándose en recomendaciones de los fabricantes, períodos fijos de tiempo, confiabilidad en que un elemento funcione. (Apolo & Gordillo, 2017). Los síntomas que producen los fallos de elementos o sistemas del motor, son diferentes en función de la severidad que tenga el daño (Aguilar & Tandazo, 2017). De las averías que tiene un motor de combustión interna, no todas son mecánicas o provocan un problema capaz de activar el sistema de diagnóstico de fallos del motor (DTC) o encendiendo la luz testigo MIL. Los daños pueden ser eléctricos, electrónicos o producirse por envejecimiento normal de elementos (Barreto & Zhunio, 2017), los cuales generan pérdida de rendimiento del motor, que el conductor no siempre identifica.

El personal encargado de realizar el mantenimiento, no cuenta con herramientas que permitan identificar tempranamente un fallo en un elemento o sistema de los motores. Los fallos generalmente se presentan en elementos de cambio periódico o de mantenimiento normal de un motor tal como se indica en el manual taller de cada vehículo (General Motors Ecuador, 2002), generando insatisfacción en el conductor, consumos excesivos de combustible y mayor emanación de gases contaminantes.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

- Levantar una base de datos mediante el análisis de las señales de los sensores del sistema de inyección, para el diagnóstico de fallos en motores de combustión interna.

3.2. Objetivos Específicos

- Adquirir mediante un scanner automotriz las señales de los sensores del sistema de inyección del motor, de 50 vehículos con y sin averías, para el almacenamiento y generación de la base de datos.
- Analizar los datos obtenidos de los sensores del sistema de inyección mediante herramientas de aprendizaje y clasificación para la categorización de averías en motores de combustión interna del mercado local.
- Desarrollar la base de datos con la información obtenida para la interpretación de fallos en motores de combustión interna.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1. Motor de Combustión Interna

Cosiste en un sistema, donde la combustión se produce dentro del motor, esta consiste en la deflagración de la mezcla aire-combustible. La combustión se produce, teóricamente, cuando el pistón alcanza el punto más alto (PMS) en la fase de compresión, por medio del aporte de energía que se consigue mediante una chispa eléctrica, de aquí el nombre de motores de encendido provocado (MEP). (Rovira de Antonio & Muñoz Domínguez, 2015). Un ciclo de trabajo está compuesto por cuatro fases: Admisión, Compresión, Expansión, Escape.

4.1.1. Fase de Admisión

Se da cuando el pistón se desplaza desde el PMS hasta el PMI (punto muerto inferior), haciendo girar el eje cigüeñal 180° . La mezcla aire-combustible ingresa por la válvula de admisión, la cual permanece abierta durante toda la fase, llenando así el cilindro.

4.1.2. Fase de Compresión

Se da cuando el pistón se desplaza desde el PMI hasta el PMS, el cigüeñal gira 180° más. Todas las permanecen cerradas durante toda la fase, la mezcla se comprime dentro de la cámara de combustión, quedando lista para ser combustionada.

4.1.3. Fase de Expansión

En los electrodos de la bujía se produce una chispa que hacen que la mezcla se inflame, haciendo que el pistón se desplace desde el PMS hacia el PMI, durante esta fase se produce una elevada temperatura y presión producto de la energía del combustible, que es transmitida hacia el eje cigüeñal y posteriormente al resto de elementos de transmisión del vehículo.

4.1.4. Fase de Escape

Se da cuando el pistón se mueve desde el PMI hasta el PMS, haciendo girar al cigüeñal 180° , completando así un ciclo de 720° o dos revoluciones. La válvula de admisión permanece cerrada mientras que la válvula de escape permanece abierta, dejando así salir los gases residuales de la combustión hacia la atmosfera.

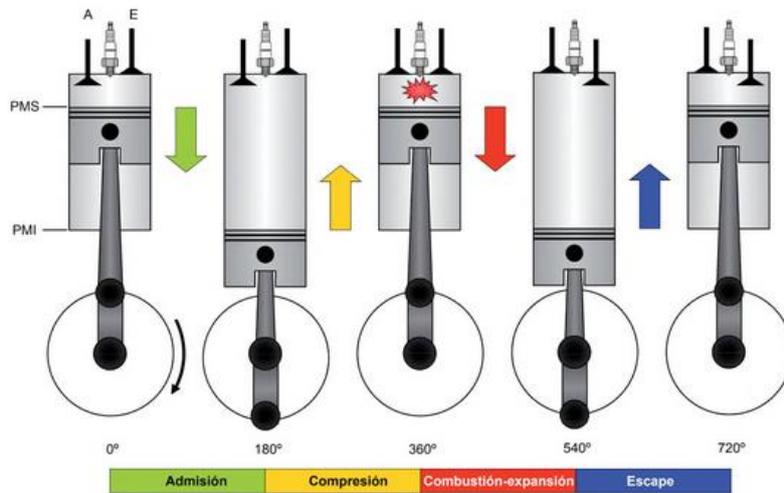


Figura 1: Ciclo de Trabajo de un Motor de Combustión Interna.

Fuente: (Calleja, 2016)

4.2. Sistema de Alimentación de Combustible

Es el sistema encargado de enviar el combustible desde el depósito hasta los inyectores, con el debido caudal y presión, dependiendo de las características propias de cada vehículo. Esta generalmente conformado por las siguientes partes:

- Depósito de Combustible.
- Bomba de Combustible.
- Filtro de Combustible.
- Cañerías de Distribución.
- Regulador de Combustible.
- Inyectores.

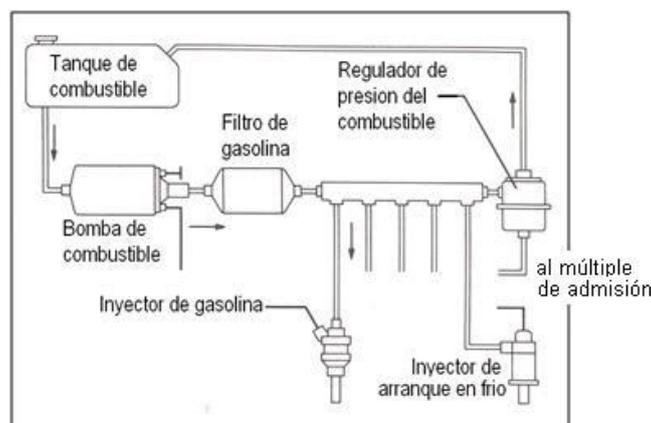


Figura 2: Sistema de Alimentación de Combustible.

Fuente: (Aficionados a la Mecánica, 2014)

4.3. Sistema de Encendido

Para que la combustión tenga lugar dentro de cada cilindro del motor, es necesario que se aporte una cantidad de energía. Lo más habitual es hacer que una chispa salte entre los electrodos de una bujía, por tal razón el motor debe tener dispuesto un sistema que sea capaz de suministrar dicha energía de forma adecuada y precisa. (Payri & Desantes, 2011).

En la Figura 3. se muestra el circuito de encendido general que es usado en los vehículos, dependiendo de las características de cada fabricante existen diferentes modificaciones en el sistema, pero el funcionamiento básico es el mismo.

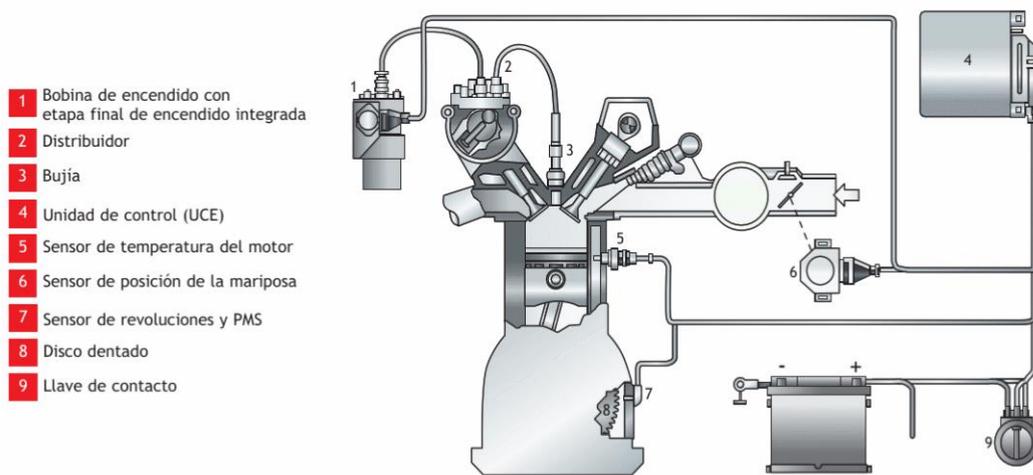


Figura 3: Circuito de Encendido.

Fuente: (Sánchez, 2009)

4.4. Sistema de Admisión de Aire

Está formado por los elementos por donde pasa el aire que es aspirado desde la atmósfera e ingresa hasta los cilindros del motor. El caudal de aire aspirado es la principal magnitud que sirve para calcular la correcta dosificación en la inyección de combustible (Sánchez, 2009).

Para el cálculo correcto de la inyección, la unidad de control electrónico (ECM) utiliza la información administrada desde los sensores TPS (Throttle Position Sensor) el cual sirve para determinar la posición del pedal del acelerador, MAP (Manifold Absolute Pressure) que mide la presión absoluta en el colector de admisión, IAT (Intake Air Temperature) que da la información de la temperatura del aire que ingresa. La figura 4 muestra la distribución de estos elementos en el motor.

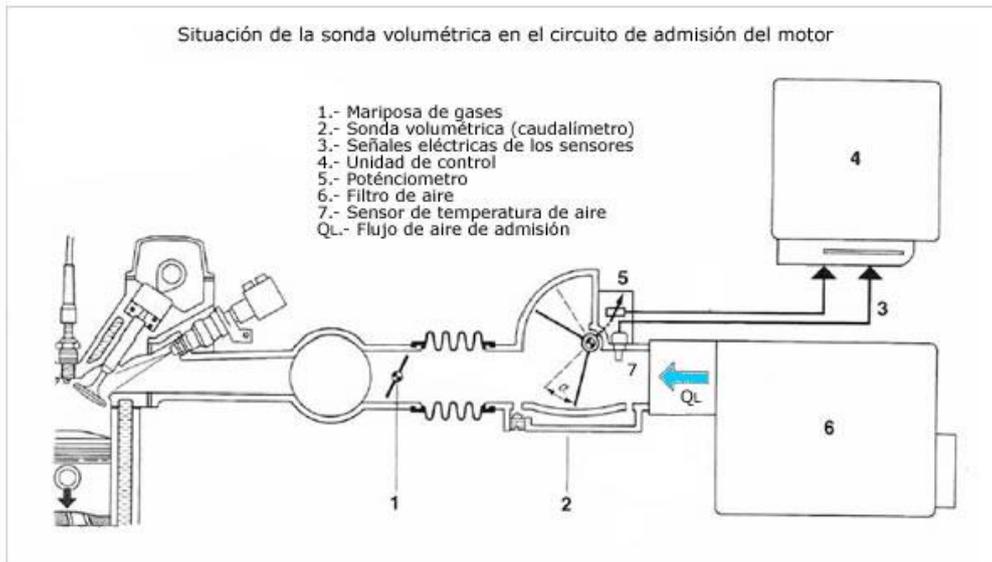


Figura 4: Circuito de Admisión de Aire.

Fuente: (Aficionados a la Mecanica, 2014)

4.5. Definición de Fallo

Un fallo funcional es aquel que se presenta cuando un elemento o un sistema deja de cumplir sus funciones, es decir, la pérdida de una función. (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2012).

Para la evaluación de los fallos en cualquier sistema se utiliza una escala continua para poder definir diferentes niveles de fallo, estos niveles van desde el modo de no falla hasta el nivel de incapacidad total del sistema. (Sánchez Silva, 2010). Es decir un sistema entra en falla desde que se empieza a utilizar, denominado no falla, hasta que la avería impide totalmente al sistema cumplir con sus funciones.



Figura 5: Rango de fallas.

Fuente: (Sánchez Silva, 2010)

En la tabla 1 se muestra un tipo de clasificación de fallos, donde se pone especial énfasis en las consecuencias que la avería puede presentar a las funciones del sistema, daños a la máquina o equipo y a las personas.

Tabla 1: Clasificación de fallos de acuerdo al nivel de gravedad. Fuente: (Arques Patón, 2010)

Clase de fallo	Función	Equipo	Ambiente	Personas
Catastrófico	Pérdida de una función primaria	Produce averías importantes		Puede ocasionar la muerte o daños corporales
Crítico				Presenta averías personales
No crítico	Funcionamiento degradado	No causa averías apreciables		No presenta averías significativas
Menor		Causa averías despreciables		No hay ningún riesgo

4.6. Fallos Incipientes

Las fallas incipientes son las averías que se desarrollan lentamente en un elemento de un sistema, que pueden convertirse en un fallo de consideración con el pasar del tiempo, si la misma no es detectada y corregida a tiempo.

Las fallas incipientes son aquellas que no generan síntomas de mal funcionamiento dentro del sistema.

5. ESTADO DEL ARTE

(Fantana & Pettersson) Afirma que, para la correcta gestión del mantenimiento de sistemas industriales, una de las primeras tareas a realizarse es la detección de fallos incipientes para evitar las averías imprevistas en los equipos, la segunda tarea es diagnosticar las causas del mal funcionamiento del sistema y la tercera es la correcta planificación para la gestión del mantenimiento.

Mediante el estudio realizado por (Cabrera & Ronquillo, 2016), sobre un motor estacionario Hyundai Sonata, concluyen que los fallos incipientes que fueron provocados en el motor, no pudieron ser detectados por los sistemas de diagnóstico del fabricante, pero al aplicar el análisis de vibraciones mediante tiempos cortos, las averías fueron detectadas.

En el análisis de modos de fallas en línea basado en la distribución de WEIBULL, realizado por (Apolo & Gordillo, 2017), se determina la fiabilidad de un motor de un vehículo a partir de la emulación de fallos incipientes en el motor del vehículo, destacando que los sistemas de diagnóstico del fabricante no pueden detectar estas averías.

(Palacios & Pesántez, 2016) realizan una base de datos con las señales de los sensores del sistema de inyección, provocando fallos en bujías, alimentación de combustible, ingreso de aire al colector de admisión y calado de la distribución, alcanzando a obtener los datos de funcionamiento de un vehículo en específico.

Una base de datos de un motor Hyundai Accent, con la información del sensor de oxígeno realizado por (Arízaga & Ordoñez, 2016), detalla el comportamiento del motor en buen y mal funcionamiento, provocando fallos en el encendido e inyección de combustible en diferentes regímenes de giro del motor.

La investigación realizada por (Cepeda & Rivera, 2017) destaca el comportamiento de los sensores MAP, TPS, VSS del sistema de inyección para la detección de fallos en el motor de un vehículo Corsa Evolution 1.4L usando herramientas de aprendizaje y clasificación, con el fin de detectar y prevenir fallos en el sistema de inyección para la correcta gestión del mantenimiento.

6. MARCO METODOLÓGICO

6.1. Fase I: Obtención de datos de los sensores y análisis de gases de los vehículos con fallos y después de realizar la corrección.

6.1.1. Estadística de Vehículos en el Ecuador

Según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), se presenta la estadística de vehículos más vendidos, por marca, hasta el mes de enero 2018, donde se destaca a Chevrolet con el 41% de presencia en el país, seguido por Kia (18%) y Hyundai (11%).

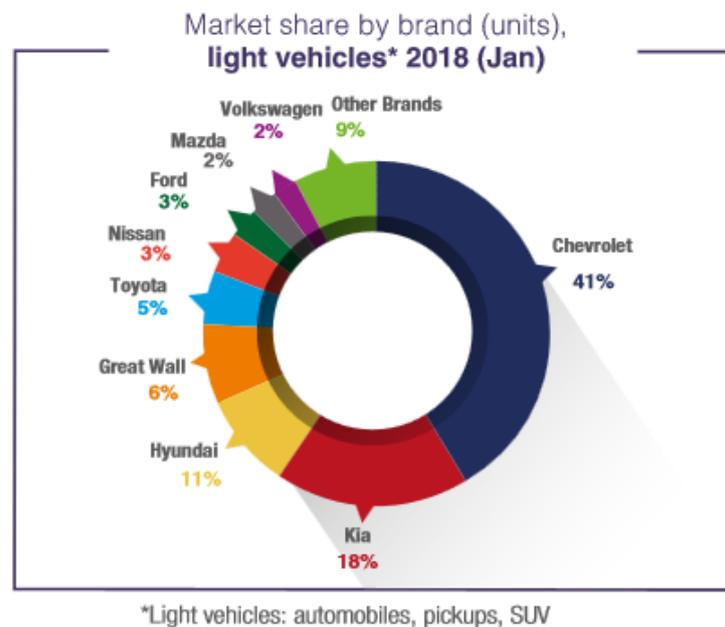


Figura 6: Estadística vehículos Ecuador.

Fuente: AEADE.

6.1.2. Vehículos para el estudio

Para la creación de la base de datos, se estudiará el comportamiento de las señales de los sensores del sistema de inyección de 50 diferentes vehículos que han llegado aleatoriamente a un taller automotriz para recibir mantenimiento, los cuales se detallan en el Anexo 1.

En la figura 7 se presenta el porcentaje de modelos de vehículos que serán estudiados. La mayoría son de la marca Chevrolet, la misma que tiene mayor presencia en el país según AEADE, la otra parte de la muestra está compuesta por vehículos de la marca Hyundai, la misma que es una de las 3 marcas más vendidas en el Ecuador.

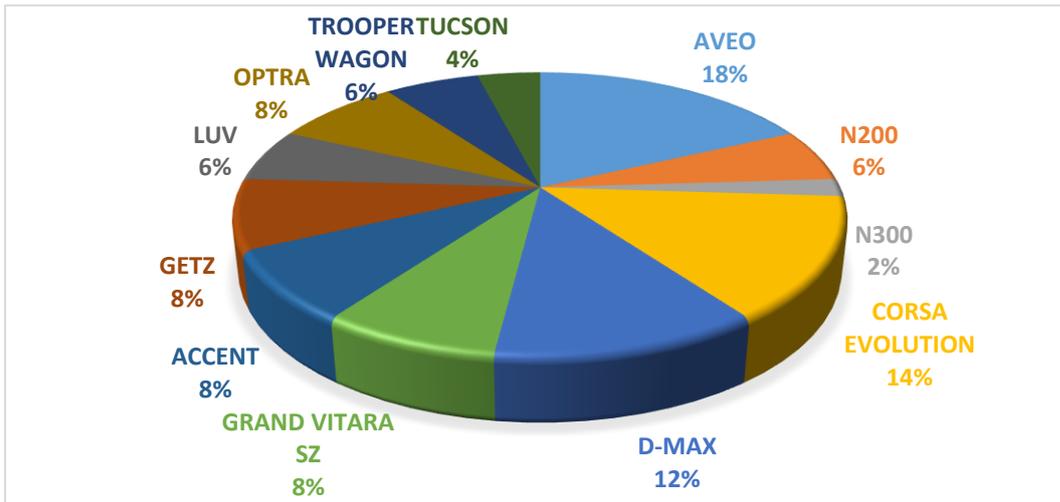


Figura 7: Porcentaje de la muestra por modelos de vehículos.

Fuente: Los Autores.

6.1.3. Equipos Utilizados para la Toma de Muestras

6.1.3.1. Escáner Automotriz F-CAR

El escáner automotriz sirve para leer los datos de los sensores del sistema de inyección de los diferentes motores analizados en el presente estudio. Por medio de esta herramienta se puede acceder a la información en vivo. El escáner es de la marca FCAR modelo F3W, el mismo que dispone de una cobertura multimarca para vehículos diésel, gasolina e híbridos a 12 y 24V. Mediante esta herramienta se puede acceder a la lectura de códigos de fallo DTC, prueba de actuadores, flujo de datos con gráficas de funcionamiento, pruebas de componentes, además de otras funciones para el mantenimiento electrónico.



Figura 8: Escáner automotriz FCAR.

Fuente: FCAR

Las características del equipo son las que se detallan a continuación:

- Pantalla de 8 pulgadas a colores.
- Pantalla táctil.
- Se puede detectar el sistema de control electrónico de forma automática.
- Lee un 95% de los protocolos OBD-II con un solo enchufe.
- Lectura y comparación del flujo de datos.
- Memoria para almacenar una base de datos, comparar flujos de datos de un vehículo bueno con el que presenta problema.
- Impresión térmica a alta calidad.
- CPU: SAMSUNG ARM2410A, 203MHZ.
- Potencia de trabajo: DC9-28v/3A.
- Puerto: DB15.
- Memoria: 2Gb con capacidad de expandir a 8Gb.
- Resolución: 800X600.
- Impresora térmica integrada.
- Dimensiones: 290.7×207.3×45mm.
- Temperatura de funcionamiento: -10~45 °C.
- Humedad: <90.

1.1.2.2. Analizador de Gases

Equipo utilizado para determinar las emisiones contaminantes del motor, el equipo utilizado es un QGA 6000, capaz de medir el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos no combustionados (HC). Además para realizar las mediciones del oxígeno (O₂) y óxidos nitrosos (NO_x), el analizador de gases utiliza un método no dispersivo de absorción de infrarrojos (NDIR).



Figura 9: Analizador de gases QGA-6000.

Fuente: QROTECH

Las características del analizador de gases se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2: Características analizador de gases. Fuente: QROTECH.

Característica	Símbolo	Rango	Sensibilidad	Unidad
Monóxido de carbono	CO	0.00 – 0.99	0.01	%
Hidrocarburos	HC	0 – 9999	1	ppm
Dióxido de carbono	CO ₂	0.0 – 20	0.10	%
Oxígeno	O ₂	0.0 – 25	0.01	%
Óxidos Nitrosos	NO _x	0 – 5000	1	ppm
Lambda	λ	0 – 2.000	0.001	–
Relación aire/combustible	AFR	0.0 – 99.0	0.1	–

6.1.4. Planeación del Experimento

Para la planificación del diseño experimental se debe conocer el problema que se pretende dar solución con la aplicación del diseño experimental y determinar cuáles son todos los factores que intervienen en el sistema. (Alegre Martín & Cladera Munar, 2002).

Los diferentes factores se clasifican en variables de entrada o conocidas como factores de estudio, variables de bloqueo, variables de ruido y variables de respuesta, en la Figura 7 se muestra la interacción de éstas variables.

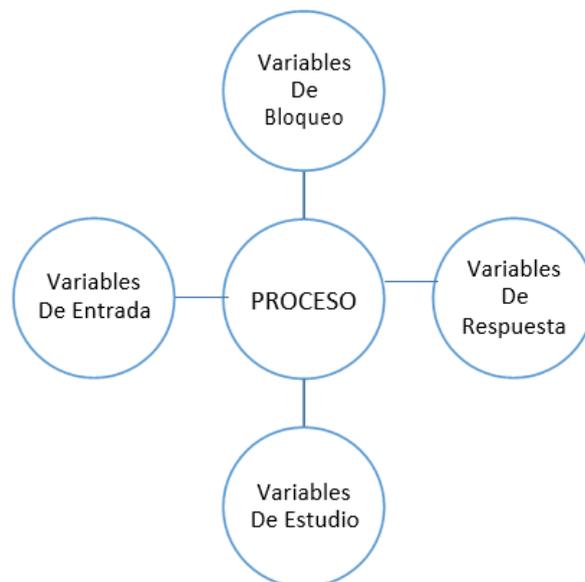


Figura 10: Variables que componen el diseño experimental.

Fuente: (Chica & Rivera, 2017)

6.1.4.1. Variables de Respuesta

Son variables que representan el resultado del proceso, en este caso las variaciones entre los dos estados de funcionamiento de los motores, permitirán determinar un fallo específico que el sistema de diagnóstico no lo reconoce como avería. (Palacios & Pesántez, 2016). A continuación se detalla las variables de respuesta que serán analizadas.

- **Sensor MAP**

Manifold Absolute Pressure (MAP), sensor de presión absoluta en el colector de admisión, supervisa el vacío en el múltiple de admisión generado por la succión de los cilindros y la presión atmosférica. Su misión es informar a la ECM el nivel de carga del motor, para que esta aumente o disminuya la cantidad de combustible a ser inyectado en los cilindros. También al momento de girar la llave de encendido a la posición ON, informa a la ECM la presión barométrica, interpretando así la altura sobre el nivel del mar a la que el vehículo se encuentra. El sensor MAP, tiene 3 cables de conexión: uno de tierra, un cable de alimentación de 5V que llega desde la ECM y el tercer cable envía la señal de voltaje. Ésta señal varía de 0,5V – 4,5V.

- Motor en desaceleración 0,5V – 0,8V.
- Baja carga o ralentí aproximadamente a los 900 RPM, 0,9V – 1,5V.
- Motor en aceleración desde los 1,6V – 4,5V, dependiendo del nivel de carga.
(EMPRENTO CORP, 2018)

La ECM se encarga de interpretar esta señal de voltaje y transformarla a Kilopascal (KPa) para la lectura mediante el escáner automotriz.

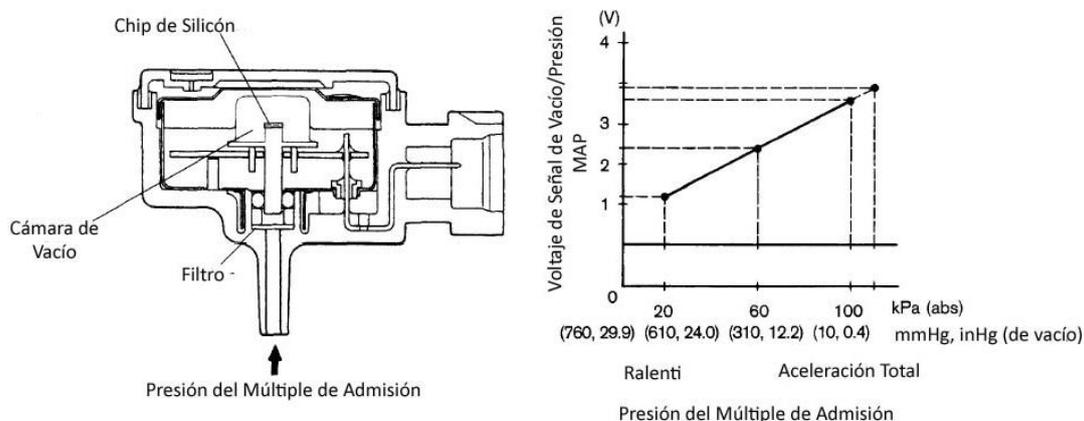


Figura 11: Sensor MAP.

Fuente: ENCENDIDO ELECTRÓNICO. ORG.

- **Sensor TPS**

Throttle Position Sensor (TPS), sensor de posición del acelerador, indica la posición en la que el pedal del acelerador se encuentra, el sensor consiste en una pista resistiva barrida con un cursor, tipo potensiómetro, que es alimentada por una tensión de 5V desde la ECM. Su misión es informar a la ECM la posición angular del pedal del acelerador, para que ésta calcule el pulso de inyección, el avance del encendido y el funcionamiento del sistema de control de emisiones. (Moreira, 2018).

Las señales que entrega el sensor va desde los 0,5V – 4,5V, siendo 0,5V el pedal en posición de reposo y 4,5V la posición de máxima carga.

La ECM se encarga de interpretar la señal del voltaje para transformarla a porcentaje de apertura (%) para la lectura mediante el escáner.

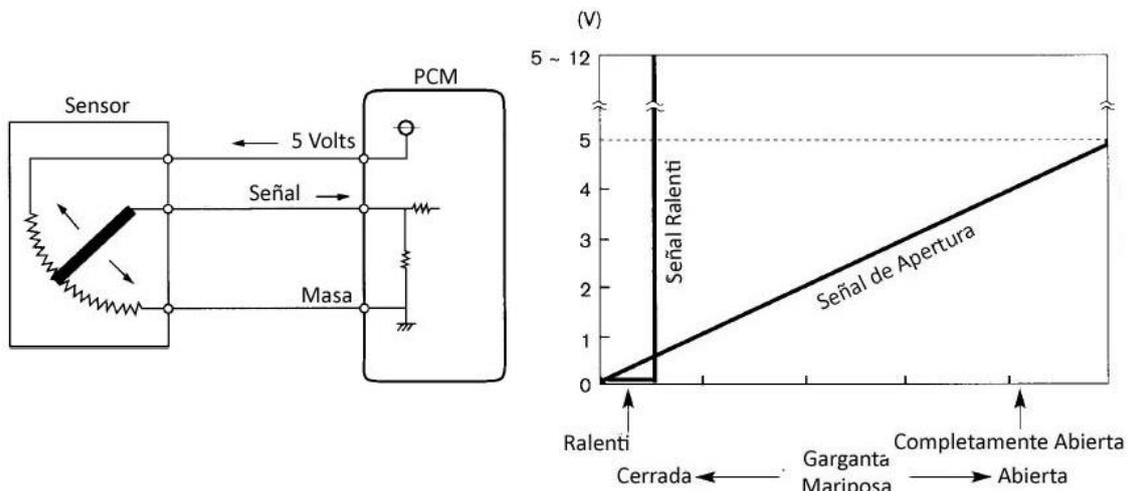


Figura 12: Sensor TPS.

Fuente: ENCENDIDO ELECTRONICO. ORG.

- **Sensor ECT**

Engine Coolant Temperature (ECT), sensor de temperatura del refrigerante del motor, se trata de termistor (sensor de temperatura por resistencia) de tipo NTC, que varía su resistencia en función de la temperatura, es decir, si la temperatura del refrigerante aumenta, la resistencia del sensor baja por lo tanto la señal de voltaje que envía el sensor a la ECM baja, si la resistencia del refrigerante disminuye, la resistencia del sensor aumenta por lo tanto la señal de voltaje que envía el sensor aumenta. El sensor ECT tiene la misión de informar a la ECM la temperatura del líquido refrigerante para que ésta

calcule la inyección de combustible, tiempo de encendido tiempo variable de válvulas, cambios de velocidad en la transmisión, etc. (Moreira, 2018).

Las señales que entrega el sensor va desde los 0,5V – 4,5V, siendo el voltaje más bajo la temperatura más alta que mide el sensor y el voltaje más alto la temperatura más baja. La ECM se encarga de interpretar la señal del voltaje para transformarla grados Celsius (°C) para la lectura mediante el escáner.

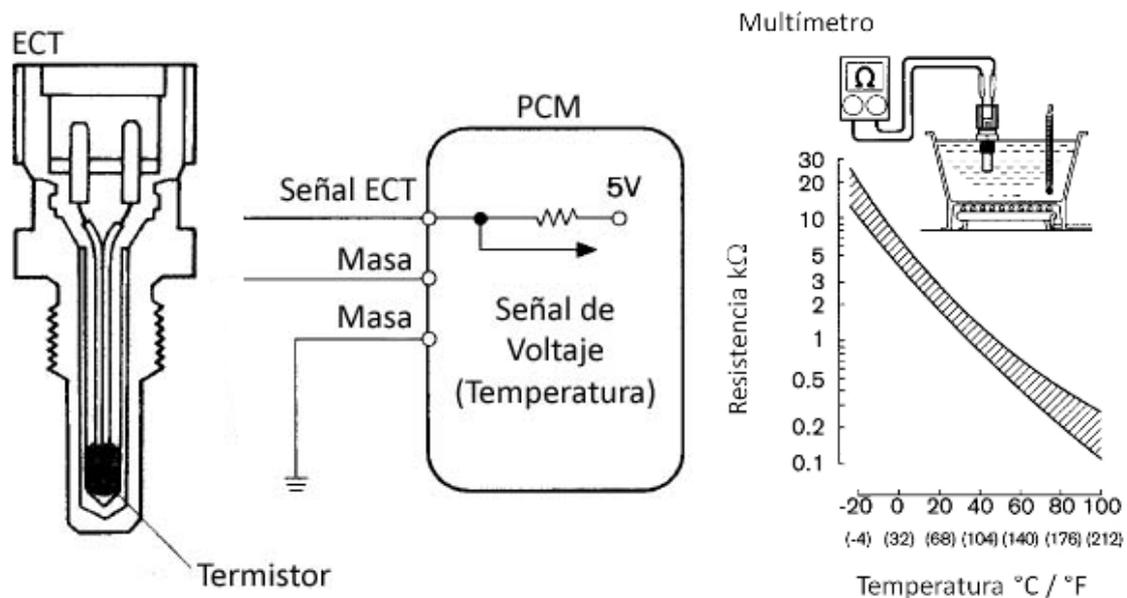


Figura 13: Sensor ECT.

Fuente: ENCENDIDO ELECTRONICO.ORG.

- **Sensor IAT.**

Intake Air Temperature (IAT), sensor de temperatura del aire de admisión, tiene el mismo principio de funcionamiento que el sensor ECT, éste se encarga de informar a la ECM de la temperatura del aire que está ingresando a los cilindros, desde el arranque en frío y continúa midiendo los cambios de temperatura mientras se encuentra en funcionamiento el motor. La señal del voltaje que recibe la ECM es interpretada para ayudar en el cálculo del tiempo de inyección, adelanto al encendido. Para la lectura mediante el escáner, la ECM transforma el voltaje a grados Celsius (°C).

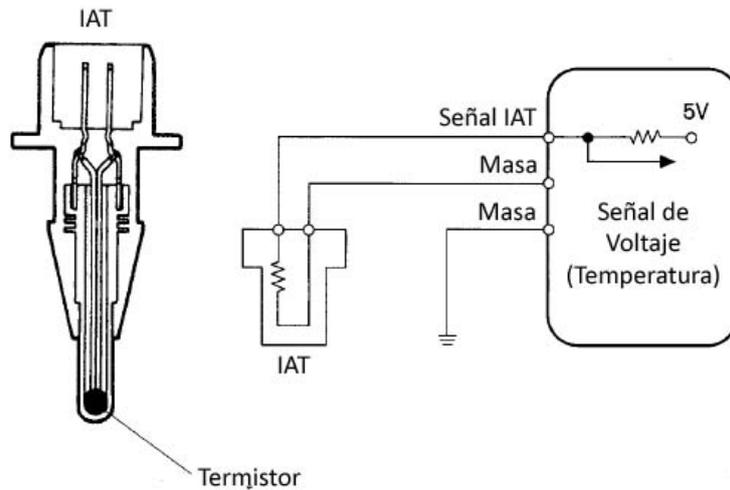


Figura 14: Sensor IAT.

Fuente: ENCENDIDO ELECTRONICO.ORG.

- **Ajuste de Corto y Largo Alcance**

Los ajustes de combustible se producen para ayudar al motor a mantener la mezcla estequiométrica, para reducir las emisiones de gases contaminantes y evitar daños internos en el motor.

Short Fuel Trim (SFT), o Ajuste de Combustible a Corto Plazo, indica la compensación que coloca la ECM de acuerdo al promedio de cambios de la señal del sensor de oxígeno, mantiene oscilando la mezcla entre pobre a rica. Los valores típicos son de +/- 10%. (CALDERON, 2012)

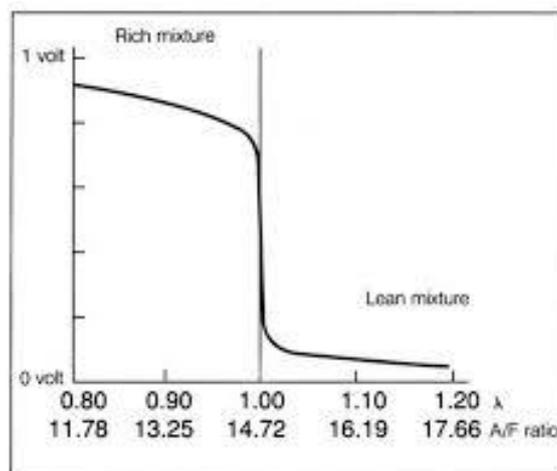


Figura 15: Ajuste de corto alcance.

Fuente: ENCENDIDO ELECTRONICO.ORG.

Long Fuel Trim (LFT), o Ajuste de Combustible de Largo Alcance, indica el porcentaje de aumento o disminución del tiempo de inyección sobre el que ya ha sido calculado por la unidad de control electrónico. Indica cuanto ha corregido la ECM al calculado ancho de pulso del combustible. La corrección está entre +/- 12%. (CALDERON, 2012)

Si las correcciones son superiores a +/- 20%, se enciende la luz MIL, almacenando un código de falla en la memoria de la ECM.

- **Monóxido de Carbono. (CO)**

Es el gas más peligroso de los que el motor emite, ya que puede llegar a ser mortal, incluso en bajas concentraciones en el aire ambiental. Se produce debido a la combustión incompleta de los combustibles que contienen carbono. Es un gas que no tiene color, olor, es altamente explosivo y tóxico. Afecta al cuerpo humano bloqueando el transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos. (Sánchez Gutiérrez, 2012)

- **Dióxido de Carbono. (CO₂)**

Es un gas que no tiene color, no es explosivo y no es tóxico, es expulsado por los gases de escape debido al proceso de combustión. Las partículas de carbono, del combustible, se combinan en la combustión, con el oxígeno. Afecta al ambiente, ya es uno de los gases que dañan la capa de ozono y producen el efecto del calentamiento global. (Sánchez Gutiérrez, 2012)

- **Hidrocarburos no Combustionados. HC.**

Son los restos del combustible, que salen expulsados al ambiente después que la combustión no se desarrolla completamente. La mala combustión se produce debido a que no hay suficiente aire, produciendo una mezcla rica, o se produce cuando la mezcla no tiene el combustible suficiente, produciendo una deflagración lenta, mezcla pobre. Por lo que es conveniente mejorar la calidad de la mezcla. Causan irritación los órganos sensoriales y pueden llegar a ser cancerígenos. (Sánchez Gutiérrez, 2012). Se miden por partes por millón (ppm).

- **Oxígeno. (O₂)**

Es un gas que no tiene color, olor y no tiene sabor. Es el componente necesario para que se desarrolle el proceso de combustión, si la mezcla fuese la ideal, la gasolina y el oxígeno se quemarían completamente, caso contrario salen expulsado. (Sánchez Gutiérrez, 2012).

- **Óxidos de Nitrógeno. (NOx)**

Se producen durante el proceso de combustión, ya que las condiciones de presión y temperatura son las ideales. El monóxido de nitrógeno (NO), es un gas que no tiene color, olor ni sabor, que al juntarse con el oxígeno se produce dióxido de nitrógeno (NO₂), de color pardo rojizo y de olor muy fuerte, que provoca irritación en los órganos respiratorios.

6.1.4.2. Variables de Estudio

Son variables que afectan a las variables de respuesta y son independientes, es decir, la variación de una variable no afecta en ningún modo a otra variable de entrada. Éstas variables deben ser seleccionadas bajo el criterio de fácil manipulación y sobre todo que incidan directamente en las variables de respuesta. (Palacios & Pesántez, 2016).

El presente estudio al realizarse sobre diferentes vehículos, las variables de estudio serán los diferentes fallos que pueden presentarse en el sistema de inyección electrónica.

- Pérdida de potencia del motor.
- Alta temperatura del motor.
- Baja temperatura del motor.
- Elevado consumo de combustible.
- Emanación alta de gases contaminantes.
- Fugas de aceite.
- Problemas al arranque en frío.

El presente estudio se basa en el análisis de vehículos que entran a mantenimiento, es decir, los vehículos analizados presentan diferentes fallos para que posteriormente adquirir los mismos datos ya cuando los sistemas hayan sido reestablecidos.

6.1.4.3. Variables de Bloqueo

Son las variables que fijamos en un determinado punto o nivel durante toda la operación del proceso de experimentación. (Palacios & Pesántez, 2016).

Tabla 3: Variables de Bloqueo. Fuente: Los Autores.

VARIABLES DE BLOQUEO	UNIDAD
Régimen de giro del motor	[rpm]

6.1.4.4. Variables de Ruido

Se consideran variables de ruido, todas las variables que no se pueden controlar durante la operación normal del proceso, para el presente estudio se consideran como variables de ruido, las que se presentan en la Tabla 3.

Tabla 4: Variables de Ruido. Fuente: Los Autores.

VARIABLES DE RUIDO	UNIDAD
Temperatura del Aire	[°C]
Temperatura del Combustible	[°C]
Humedad Relativa del Aire	[%]
Presión Atmosférica	[Pa]

6.1.5. Protocolo de Medición

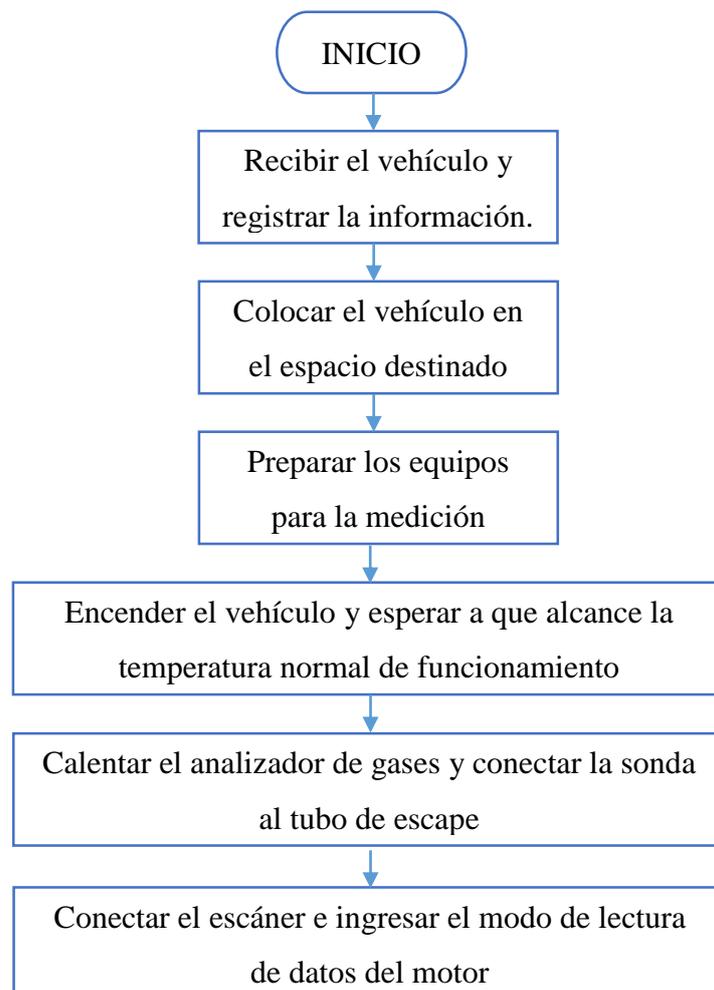
Como ya se ha explicado, el presente estudio se ha realizado en 50 diferentes vehículos, por lo tanto, para garantizar la repetitividad y reproductibilidad de la experimentación, se debe seguir los siguientes pasos sistemáticos, los mismo que se explican a continuación.

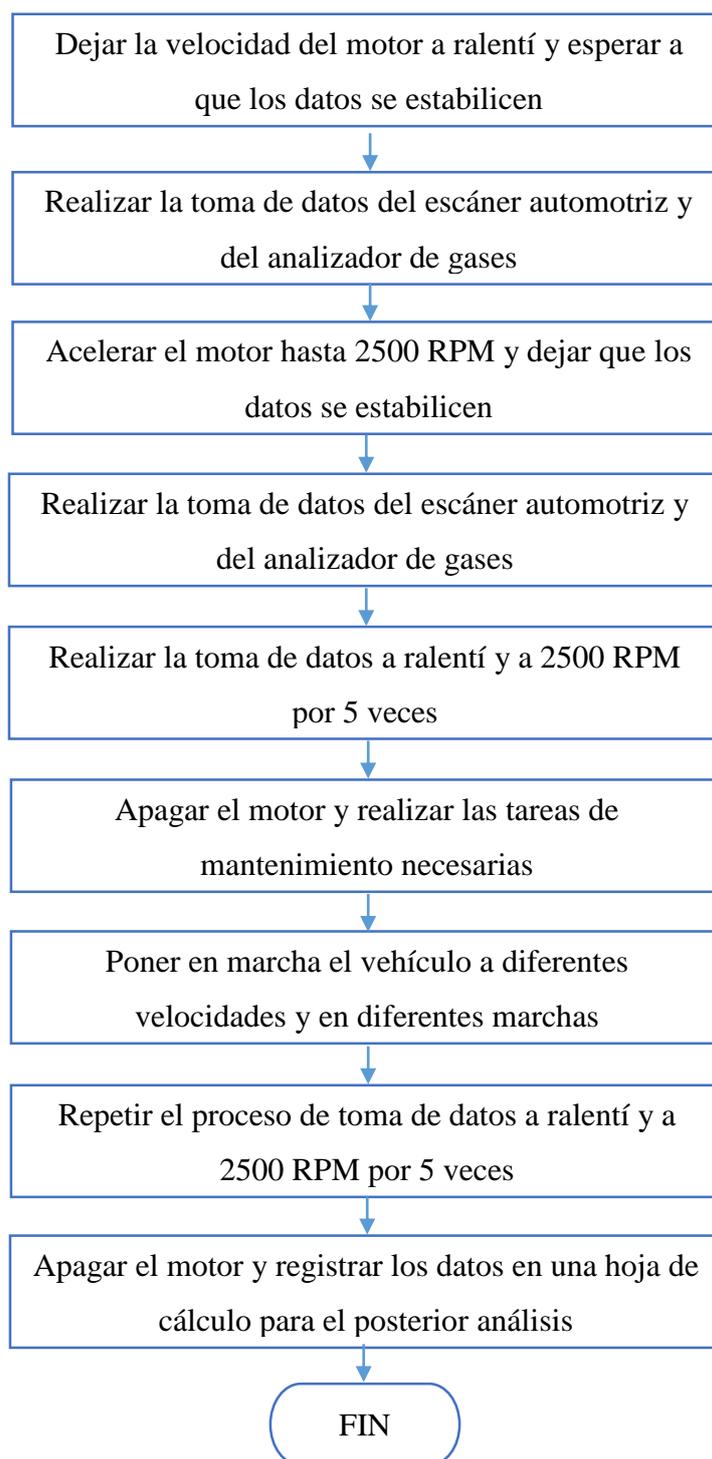
- Recibir el vehículo que llega a mantenimiento, registrar la información del mismo. Marca, modelo, año de fabricación, kilometraje actual, información del propietario, fallo presentado.
- Colocar el vehículo en el espacio destinado dentro del taller para realizar las mediciones.
- Preparar los equipos para realizar las mediciones.
- Poner en marcha el motor del vehículo y esperar a que alcance la temperatura normal de funcionamiento, es decir, hasta que el electroventilador del vehículo se encienda.
- Encender el analizador de gases y esperar a que el mismo se caliente. Conectar la sonda en el tubo de escape.
- Conectar el escáner automotriz e ingresar al modo de lectura de datos de sensores y actuadores del sistema de inyección.
- Dejar la velocidad del motor a ralentí, esperar a que los datos se estabilicen.
- Realizar la toma de datos del escáner automotriz y del analizador de gases.
- Acelerar el motor hasta 2500 RPM y esperar a que los datos se estabilicen.
- Realizar la toma de datos del escáner automotriz y del analizador de gases.

- Realizar el proceso de toma de datos a ralentí y a 2500 RPM por 5 veces.
- Apagar el motor del vehículo.
- Realizar las tareas de mantenimiento para reestablecer a óptimas condiciones de funcionamiento el motor del vehículo.
- Registrar las tareas de mantenimiento realizadas.
- Poner en marcha el vehículo a diferentes velocidades y en diferentes marchas.
- Repetir el proceso de toma de datos a ralentí y a 2500 RPM por 5 veces.
- Apagar el motor del vehículo.
- Registrar los datos en una hoja de cálculo para analizarlos posteriormente.

6.1.6. Proceso para la Toma de Muestras

Para asegurar que los datos obtenidos de los vehículos sean válidos para el posterior análisis, se ha establecido un proceso para la toma de muestras, el mismo que ha sido aplicado a todos los vehículos que fueron analizados para el presente estudio.





6.1.7. Toma de muestras. Motor del vehículo en mal Estado

Las averías más comunes que se presentaron durante el desarrollo del presente proyecto, fueron la pérdida de potencia del motor y el aumento de consumo de combustible, Generalmente este tipo de fallos se presentan por el envejecimiento normal de ciertos

elementos de cambio periódico como: bujías y cables de encendido, obstrucción en filtros de aire y combustible, obstrucción o fallos en inyectores, etc.

En la Tabla 5, se puede observar los datos medios obtenidos de uno de los vehículos analizados, la ECM al recibir la información de los sensores, la misma que está fuera de lo normal, trata de corregir los fallos mediante la corrección al tiempo de inyección y adelanto al encendido. Incluso se puede observar que la emisión de gases contaminantes está fuera de los rangos permitidos.

Tabla 5: Datos medios obtenidos en un vehículo en mal estado. Fuente: Los Autores.

VEHÍCULO CORSA EVOLUTION AÑO 2006													
RPM	MAP KPa	TPS %	ECT °C	IAT °C	SFT % MAX	LFT % MIN	LFT %	CO	CO2	HC	LAMDA	O2	NOX
1048	25	0	95	50	20	-10	10	1,32	9,8	4730	1,001	5,12	14,6
1045	26	0	95	50	18	-18	10	1,32	9,8	4730	1,001	5,12	14,6
1053	25	0	97	52	19	-14	8	1,32	9,8	4730	1,001	5,12	14,6
1088	26	0	97	50	20	-14	10	1,32	9,8	4730	1,001	5,12	14,6
1032	26	0	100	54	18	-16	8	1,32	9,8	4730	1,001	5,12	14,6

En la Tabla 6, se muestra la información del mismo vehículo, pero cuando fue acelerado el motor a 2500 RPM, de la misma manera el motor a esta velocidad trata de corregir los fallos modificando el tiempo de inyección y adelanto al tiempo de encendido. Particularmente en este caso, el vehículo se encontraba con una bobina de encendido en mal estado, aumentando demasiado los HC, producto de la mala o nula combustión, de igual manera los ajustes de combustible SFT y LFT están cercanos a +/- 20.

A pesar de que el fallo ocasiona una pérdida considerable de potencia en el motor, no se genera ningún código de fallo.

Tabla 6: Datos medios obtenidos en un vehículo en mal estado. Fuente: Los Autores.

VEHÍCULO CORSA EVOLUTION AÑO 2006													
RPM	MAP KPa	TPS %	ECT °C	IAT °C	SFT % MAX	LFT % MIN	LFT %	CO	CO2	HC	LAMDA	O2	NOX
2489	22	4	99	48	19	-12	9	1,15	5,4	2576	1,002	4,85	14,6
2514	22	4	97	50	19	-17	8	1,15	5,4	2576	1,002	4,85	14,6
2475	23	4	95	50	18	-15	9	1,15	5,4	2576	1,002	4,85	14,6
2512	22	4	99	52	19	-18	9	1,15	5,4	2576	1,002	4,85	14,6
2481	22	4	96	52	18	-11	10	1,15	5,4	2576	1,002	4,85	14,6

Para el resto de vehículos, dependiendo del fallo, la ECM de la misma manera intenta corregir la avería, para emitir menos gases contaminantes al ambiente y evitar que el motor sufra daños graves a causa de las elevadas temperaturas, producidas por una mezcla muy pobre.

Cabe destacar que ningún fallo presentado durante el desarrollo del presente proyecto, encendió la luz MIL de sistema de diagnóstico del motor.

6.1.8. Toma de muestras. Motor del vehículo en buen Estado

Posterior a la toma de datos mientras el vehículo se encontraba en mal estado de funcionamiento, se aplicaron las diferentes tareas de mantenimiento con el objetivo de reestablecer los vehículos a buen estado. Generalmente los fallos se encuentran en elementos de cambio periódico. Después de reestablecer los sistemas de los vehículos, se procedió a realizar una prueba en carretera de los mismos, para asegurar que no existan otros fallos y para que la información de los sensores se reestablezca.

La información de los sensores ahora debe de ser la correcta y la ECM debe de trabajar de manera normal, realizando las correcciones en función de las variables de ruido, que antes ya fueron mencionadas, de igual manera las emisiones de gases contaminantes ahora están dentro de los rangos permitidos. En la Tabla 7, se puede observar los datos medios del mismo vehículo en buen estado de funcionamiento.

Tabla 7: Datos medios obtenidos en un vehículo en buen estado. Fuente: Los Autores.

VEHÍCULO CORSA EVOLUTION AÑO 2006													
RPM	MAP KPa	TPS %	ECT °C	IAT °C	SFT % MAX	LFT % MIN	LFT %	CO	CO2	HC	LAMDA	O2	NOX
832	26	0	97	42	8	-2	-5	0,14	14,9	120	0,995	0,11	14,5
857	27	0	95	44	9	-4	-7	0,14	14,9	120	0,995	0,11	14,5
823	26	0	98	47	8	-7	-5	0,14	14,9	120	0,995	0,11	14,5
887	27	0	97	48	8	-1	-6	0,14	14,9	120	0,995	0,11	14,5
851	27	0	100	49	8	-4	-7	0,14	14,9	120	0,995	0,11	14,5

De igual manera se realizó la toma de muestras acelerando el motor a 2500 RPM, verificando de igual manera que la ECM estuvo trabajando de manera normal y la emisión de gases contaminantes estuvieron dentro de los rangos de normal funcionamiento.

Tabla 8: Datos medios obtenidos en un vehículo en buen estado. Fuente: Los Autores.

VEHÍCULO CORSA EVOLUTION AÑO 2006													
RPM	MAP kpa	TPS %	ECT °C	IAT °C	SFT % MAX	LFT % MIN	LFT %	CO	CO2	HC	LAMDA	O2	NOX
2481	22	4	97	42	10	-8	-5	0,17	15,5	98	0,993	0	14,6
2511	21	4	100	44	9	-9	-7	0,17	15,5	98	0,993	0	14,6
2496	22	4	98	47	10	-5	-6	0,17	15,5	98	0,993	0	14,6
2432	22	4	99	48	9	-6	-5	0,17	15,5	98	0,993	0	14,6
2478	22	4	98	50	10	-2	-5	0,17	15,5	98	0,993	0	14,6

Se puede observar claramente la variación que existe entre los datos obtenidos en el vehículo en mal y buen estado de funcionamiento, validando la hipótesis del proyecto. De la misma manera se ha procedido con el resto de vehículos que fueron analizados en el presente proyecto.

6.2. FASE II. Análisis de datos mediante técnicas de aprendizaje y clasificación

6.2.1. Análisis de residuos para muestras a Ralentí

Para comprobar que los datos obtenidos sean correctos, a continuación, se presenta un análisis que utiliza el método ANOVA de un solo factor aplicado a los datos obtenidos del sensor MAP a ralentí, mediante las gráficas de residuos, se pretende validar la información para la base de datos.

6.2.1.1. Gráfica de probabilidad normal

En la figura 16 se muestra la gráfica de probabilidad normal, la misma que describe aproximadamente una línea recta, indicando que no existen irregularidades en los datos obtenidos ya que los residuos se encuentran distribuidos normalmente. Entonces se deduce que los datos obtenidos para el presente estudio son los adecuados ya que la varianza del error es constante.

6.2.1.2. Gráfica de Histograma

En la figura 16, se analiza la gráfica de histograma, donde se detalla una distribución normal de tipo campana con centro aproximado a cero, evidenciando que existen valores mínimos atípicos, resultado de que ciertos vehículos tenían fallos que provocaban el mal funcionamiento de los sensores. También se observa que no existe tendencia a la no normalidad, por lo tanto, se puede deducir que las hipótesis de normalidad en los datos son correctas.

6.2.1.3. Gráfica de Residuos vs Ajustes

La gráfica de residuos vs ajustes de la figura 16, se observa que los puntos no tienden a formar ningún patrón ni forma de embudo, deduciendo así que los datos no representan un incremento en el error de la base de datos, evidenciando así que la información obtenida en el presente estudio es adecuada para el análisis.

6.2.1.4. Gráfica de Residuos vs Orden

La gráfica de residuos vs orden de la figura 16, muestra que los puntos tienen un comportamiento aleatorio sin tendencias a formar patrones. Se puede evidenciar que ciertos puntos están fuera de los rangos, debido a que los fallos en los vehículos no son los mismos. En conclusión, según los puntos de la gráfica se afirma que los datos son válidos para el estudio.

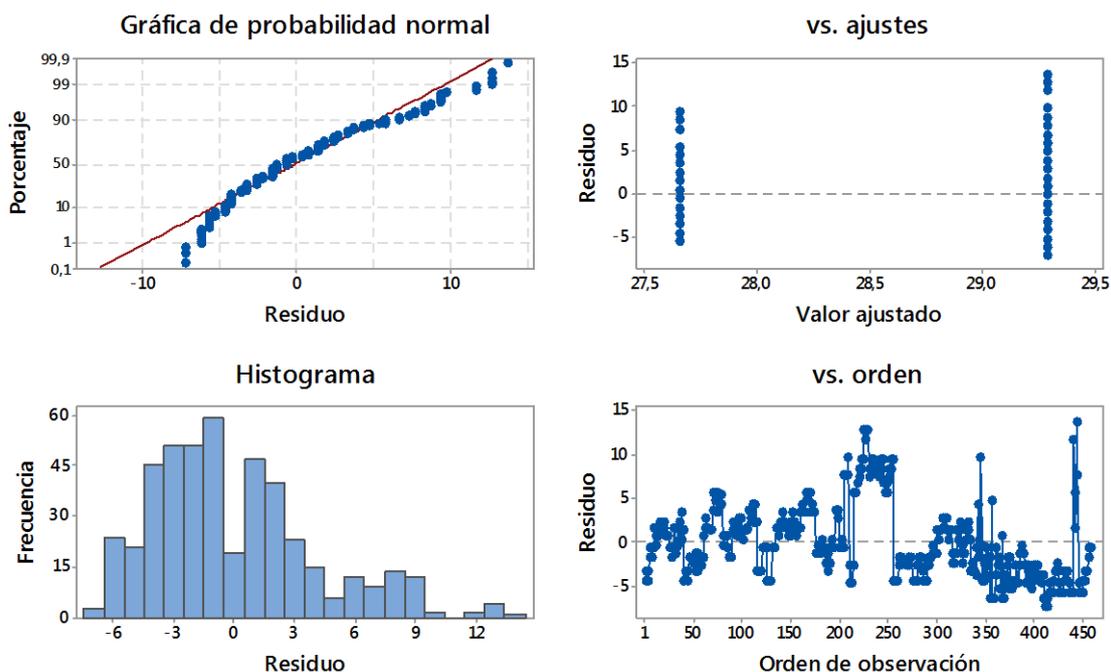


Figura 16: Gráfica de residuos para la muestra en Ralentí.

Fuente: Los Autores.

6.2.2. Análisis de residuos para muestras a ralentí

A continuación, se muestra otro análisis de residuos, por el método ANOVA de un solo factor aplicado ahora a las muestras obtenidas del CO a ralentí, con la finalidad de validar que los datos obtenidos son los adecuados el análisis del presente estudio.

6.2.2.1. Gráfica de probabilidad normal

En la figura 17, se muestra la gráfica de probabilidad normal con una agrupación de puntos cercanos a la línea recta, demostrando que no existen valores atípicos, irregularidades o residuos distribuidos de una manera no uniforme. Teniendo así una varianza del error constante, comprobando que los datos obtenidos para el presente estudio con válidos.

6.2.2.2. Gráfica de Histograma

En la figura 17, se observa la gráfica de histograma, la cual se presenta en una forma de campana centrada en cero y simétrica. No se evidencia que existan valores atípicos ni tendencia a la no normalidad, de este modo se comprueba que las hipótesis de normalidad para los datos son ciertas.

6.2.2.3. Gráfica de Residuos vs Ajustes

En la gráfica de residuos frente a los valores ajustados de la figura 17, se observa que los puntos ni forman ningún patrón ni tendencia a formar un embudo, describiendo de esta manera que los valores que componen la base de datos no representan un aumento en el error para el análisis, determinando entonces que la información obtenida es válida.

6.2.2.4. Gráfica de Residuos vs Orden

La gráfica de residuos vs orden de la figura 17, se muestra que los puntos se encuentran dispersos, evidenciando ciertos patrones debido a que los residuos están correlacionados con los fallos que los motores presentaron, pero en general los datos se encuentran dispersos validando así las muestras obtenidas.

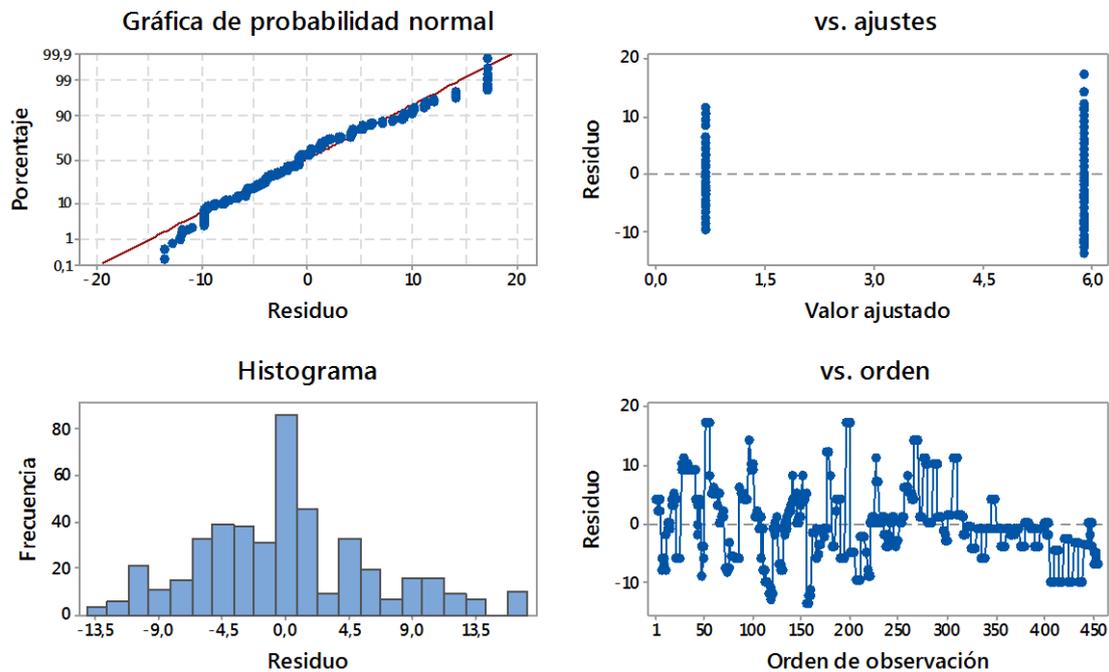


Figura 17: Gráfica de Residuos para la muestra en Ralentí.

Fuente: Los Autores.

6.2.3. Análisis de Residuos para muestras a 2500 RPM

A continuación, se presenta el análisis de residuos según el método ANOVA de un solo factor aplicado a las muestras obtenidas del CO₂ emitido en los vehículos cuando se aceleró el motor a 2500 RPM, con la finalidad de validar esta información.

6.2.3.1. Gráfica de Probabilidad Normal

En la figura 18, se muestra la gráfica de probabilidad normal, donde se aprecia que los puntos se encuentran próximos a la línea recta, los puntos que se encuentran más alejados se deben a que los fallos en los vehículos afectan al correcto funcionamiento de los sensores y emisiones de gases contaminantes. En general los datos obtenidos no presentan valores atípicos que representen errores en el análisis.

6.2.3.2. Gráfica de Histograma

En la figura 18, se muestra el histograma, se describe una forma de campana con el centro aproximado a cero, debido a los diferentes fallos que describen errores y por lo tanto, la información que es captada por los sensores se encuentra fuera de los rangos normales de funcionamiento y como consecuencia la ECM realiza cálculos erróneos del ancho de pulso de inyección por lo que la emisión de gases contaminantes es elevada. No se evidencia valores atípicos por lo tanto se comprueba que las hipótesis de normalidad del estudio son ciertas y que los datos obtenidos son correctos.

6.2.3.3. Gráfica de Residuos vs Ajustes

La gráfica de residuos frente a los valores ajustados de la figura 18, los puntos no presentan tendencias a formar patrones o forma de embudo, por lo tanto, los valores provistos no presentan un aumento en el error a los resultados obtenidos, afirmando que el estudio realizado es el adecuado.

6.2.3.4. Gráfica de Residuos vs Orden

La gráfica de residuos versus orden de la figura 18, los diferentes puntos que la componen, no presentan tendencias a formar patrones y los valores se encuentran dispersos en referencia a la recta central, confirmando que los datos obtenidos para este caso son válidos para el posterior estudio.

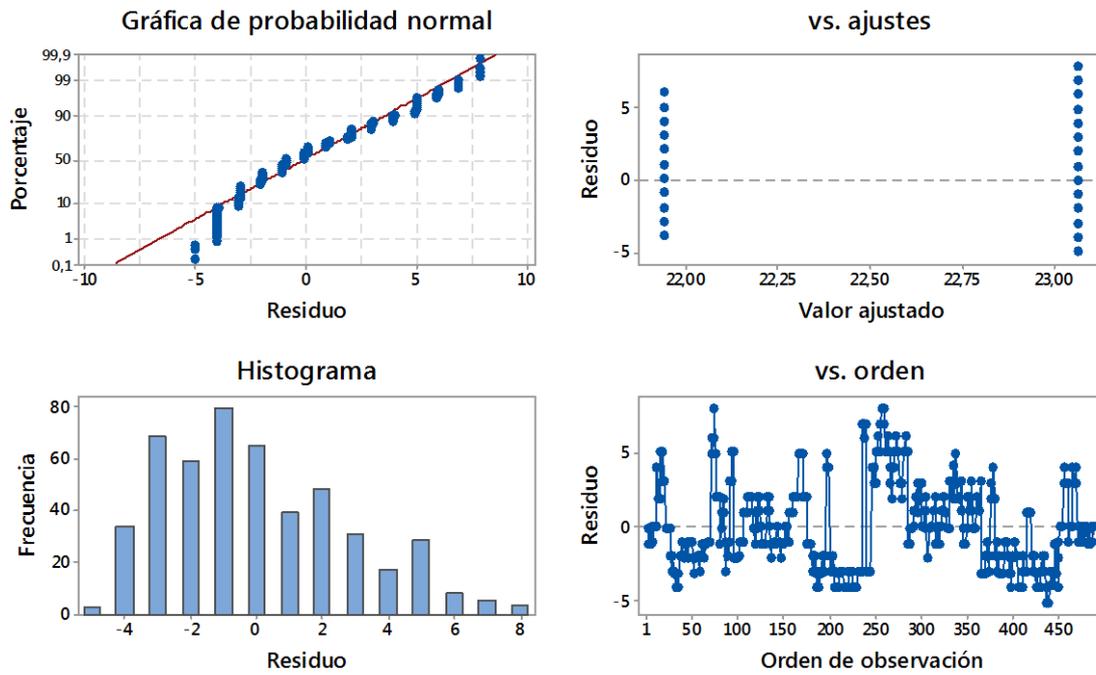


Figura 18: Gráfica de Residuos para la muestra a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.2.4. Análisis de Residuos para muestras a 2500 RPM

A continuación, se muestra otro análisis ANOVA de un solo factor aplicado al grupo de datos de los HC emitidos en los vehículos a 2500 RPM, con la finalidad de demostrar que toda la información obtenida es válida para el análisis.

6.2.4.1. Gráfica de Probabilidad Normal

En la figura 19, se muestra la gráfica de probabilidad normal, en la misma se puede observar que la mayoría de puntos se encuentran cercanos a la línea recta, de igual manera los puntos dispersos describen los errores en el funcionamiento del vehículo, pero ninguno de éstos representa un valor atípico y describen que la varianza del error tiende a ser constante, validando la información recopilada.

6.2.4.2. Gráfica de Histograma

En la figura 19, se muestra la gráfica de histograma, la misma que describe una forma de campana con su centro aproximado a cero, comprobando así que la información recopilada corresponde a las hipótesis de normalidad del estudio.

6.2.4.3. Gráfica de Residuos vs Ajustes

En la gráfica de residuos frente a los valores ajustados de la figura 19, se observa que los puntos no describen ningún patrón ni tienden a formar un embudo, indicando que el error de los mismos no aumenta, afirmando que el estudio es el adecuado.

6.2.4.4. Gráfica de Residuos vs Orden

En la gráfica de residuos versus orden de la figura 19, se observa que los puntos se encuentran dispersos y no tienden a formar patrones, validando así que la información recopilada es válida para el presente estudio.

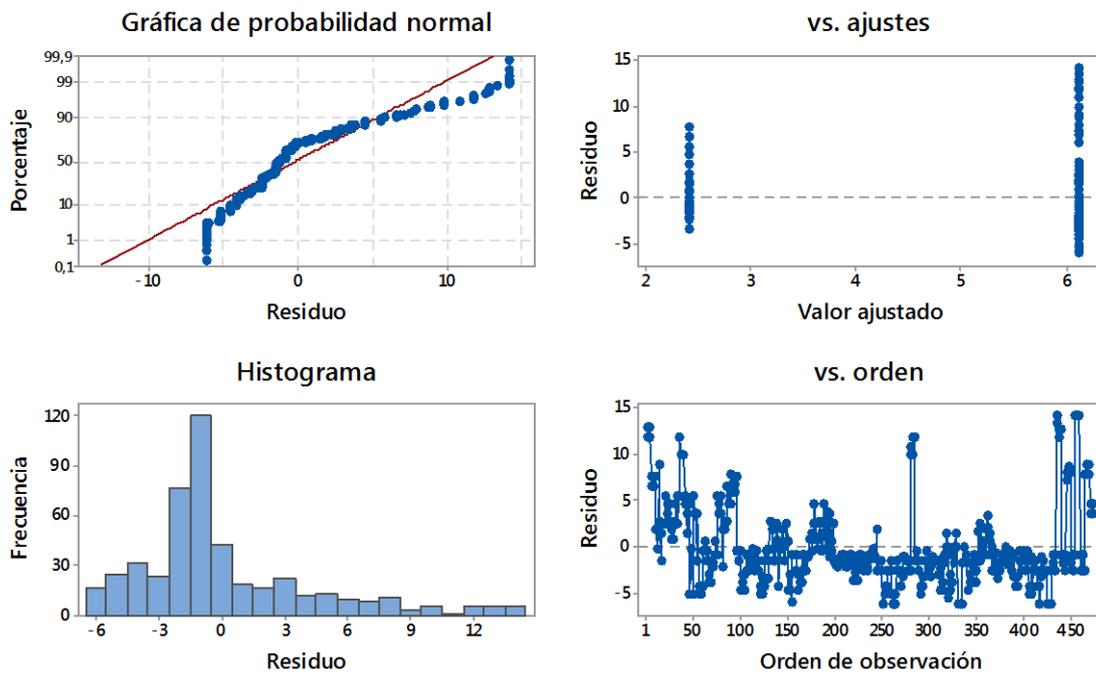


Figura 19: Gráfica de Residuos para la muestra a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.2.5. Análisis del Sensor MAP

A continuación, se muestra el análisis desarrollado para el comportamiento del sensor MAP frente a los 4 modos de funcionamiento (mal estado a ralentí, buen estado a ralentí, mal estado a 2500 RPM, buen estado a 2500 RPM) para determinar cómo afectan las diferentes averías al funcionamiento del sensor.

6.2.5.1. Gráfica de Intervalos del Sensor MAP vs Condición a Ralentí

En la figura 20 se puede observar la gráfica de intervalos del sensor MAP frente a la condición de funcionamiento cuando trabaja a ralentí, para la condición inicial (mal estado) se determina que una media del sensor es de 29,1 KPa, mientras que para la condición final (buen estado) es de 27,4 KPa. Determinando así que el vehículo consumirá menor cantidad de combustible cuando se encuentra en buen estado de funcionamiento.

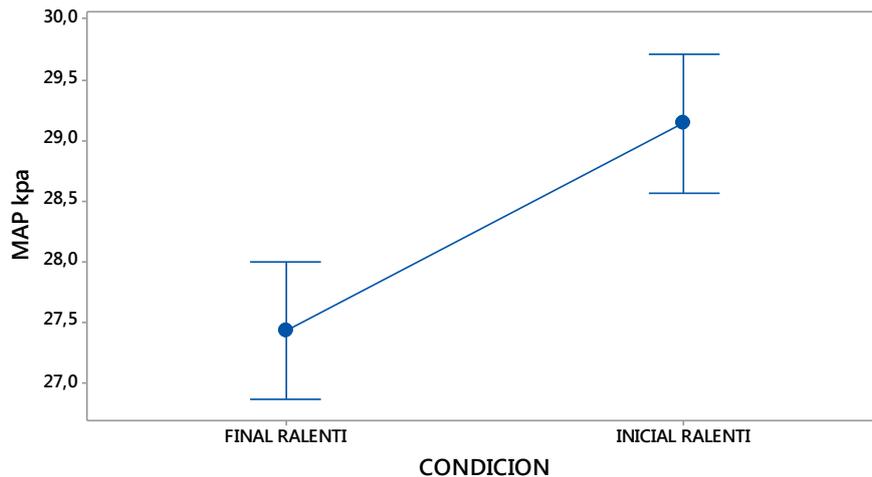


Figura 20: Gráfica de Intervalos del Sensor MAP vs Condición a Ralentí.

Fuente: Los Autores.

6.2.5.2. Gráfica de Tukey del Sensor MAP a Ralentí

En la figura 21, se muestra la gráfica de Tukey para el sensor MAP cuando trabaja a ralentí. La misma muestra la diferencia entre las medias de los intervalos de funcionamiento del sensor MAP cuando funciona a ralentí, es decir, muestra el valor medio para la presión en el colector de admisión, cuando el motor se encuentra en buen o mal estado de funcionamiento. Para este caso la variación es de 1,7 KPa, por lo tanto, los valores son diferentes.

Al existir una variación entre los dos estados de funcionamiento del motor, se deduce, el sensor MAP se altera en su funcionamiento cuando el motor se encuentra en mal estado, aumentando así el consumo de combustible y elevando las emisiones de gases contaminantes.

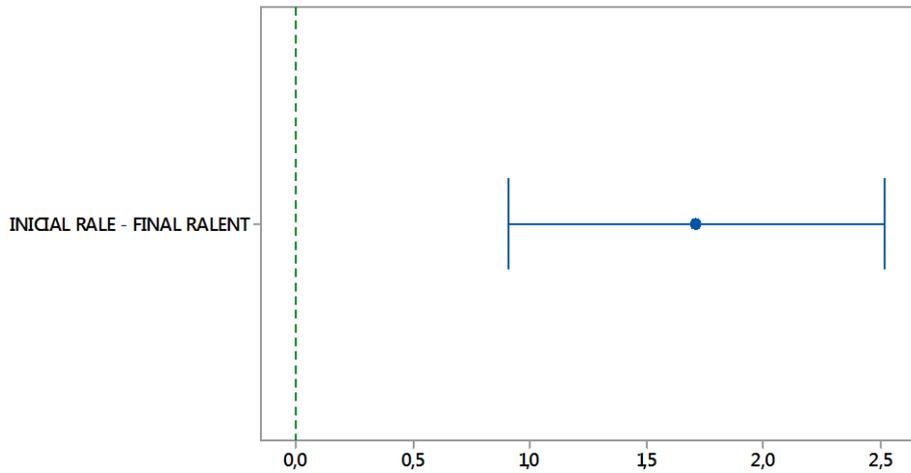


Figura 21: Gráfica de Tukey del Sensor MAP a Ralentí.

Fuente: Los Autores.

6.2.5.3. Gráfica de Intervalos del Sensor MAP vs Condición a 2500 RPM

De la misma manera se realiza el análisis del comportamiento del sensor MAP frente a las dos condiciones de funcionamiento, ahora cuando trabaja a 2500 RPM, se puede observar que cuando el motor trabaja en mal estado (inicial) el sensor mide una media de 23,7 KPa, mientras que ya cuando está en buen estado (final) el sensor capta 21,9 KPa, detallando claramente una disminución en la señal y por lo tanto una disminución en el consumo de combustible.

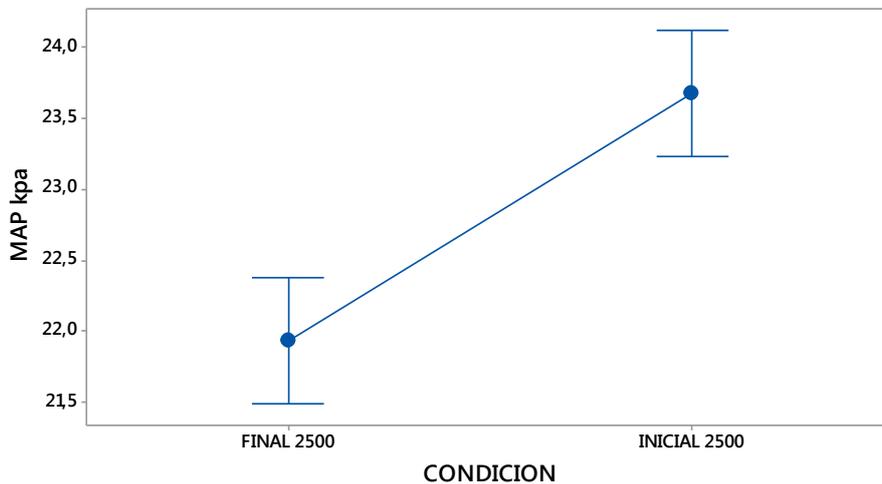


Figura 22: Gráfica de Intervalos del Sensor MAP vs Condición a 2500 RPM

Fuente: Los Autores.

6.2.5.4. Gráfica de Tukey del Sensor MAP a 2500 RPM

En la figura 23 se muestra la gráfica de intervalos de confianza de 95% de Tukey del sensor MAP a 2500 RPM, donde se aprecia la variación media entre las señales de mal y buen funcionamiento del sensor MAP, donde la diferencia es de 1,7 KPa, determinando así que cuando el motor funciona en mal estado, la señal del sensor es más alta, mientras que cuando se encuentra en buen funcionamiento, ésta baja, reduciendo así el consumo de combustible y disminuyendo la emisión de gases contaminantes.

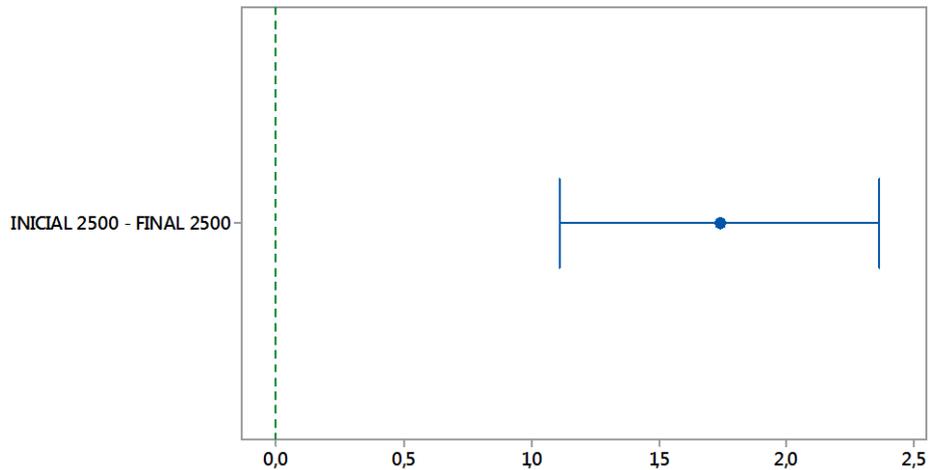


Figura 23: Gráfica de Tukey del Sensor MAP a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.2.6. Análisis del Ajuste Corto Alcance % Máximo

A continuación, se presenta el análisis desarrollado para los ajustes de combustible de corto alcance, según los datos máximos obtenidos, frente a los cuatro modos de funcionamiento que han sido objeto el presente estudio.

6.2.6.1. Gráfica de Intervalos del SFT % Máximo vs Condición a Ralentí

En la figura 24, se observa la gráfica de intervalos para el ajuste de corto alcance (SFT) versus la condición de funcionamiento. Para la condición inicial (mal estado), el ajuste medio máximo es del 5,5%, mientras que para la condición final (buen estado) el ajuste es del 1,9%. Determinando así que para el primer caso, la ECM aumenta el consumo de combustible dependiendo de la avería presentada, mientras que para el segundo caso, reduce el tiempo de inyección de combustible, reduciendo así el consumo y la emisión de gases contaminantes.

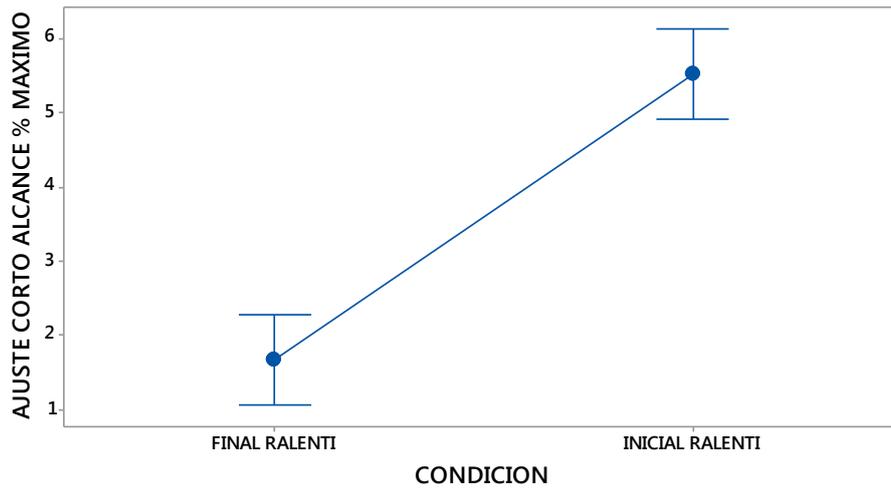


Figura 24: Gráfica de Intervalos del SFT % Máximo vs Condición.

Fuente: Los Autores.

6.2.6.2. Gráfica de Tukey del SFT % Máximo a Ralentí

En la gráfica 25 se muestra la gráfica de intervalo de confianza de Tukey, donde se detalla que la variación media del porcentaje máximo del SFT a ralentí es 3,9%, determinando que cuando el motor del vehículo se encuentra en mal estado de funcionamiento eleva el consumo de combustible, ya que el SFT aumenta en 3,9% el tiempo de inyección calculado por la ECM, aumentando así el consumo y la emisión de gases contaminantes.

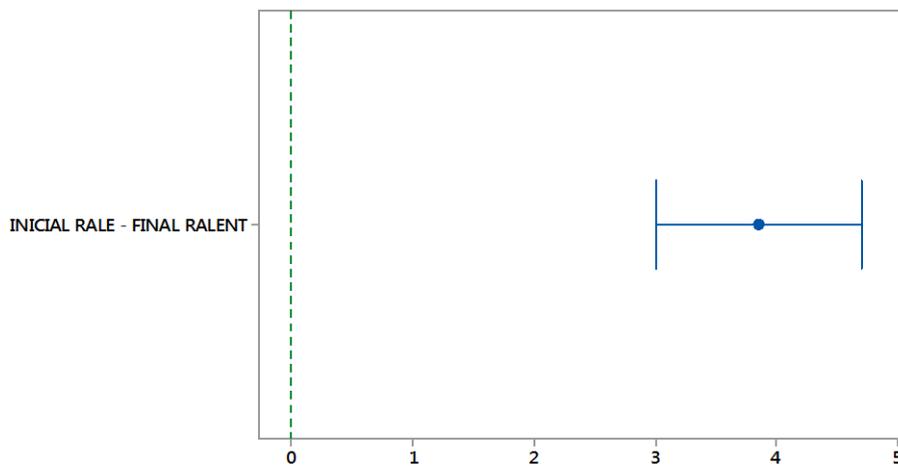


Figura 25: Gráfica de Tukey del SFT % Máximo a Ralentí

Fuente: Los Autores.

6.2.6.3. Gráfica de Intervalos del SFT % Máximo vs Condición a 2500 RPM

De la misma manera se realiza el análisis de SFT en su porcentaje de ajuste máximo cuando el motor trabaja a 2500 RPM, en la figura 26 se observa la gráfica de intervalos, donde se determina que cuando el motor trabaja en mal estado el ajuste máximo medio del SFT es del 6,2% mientras que cuando está en buen estado se reduce al 2,3%. Reduciendo así el consumo de combustible y emisión de gases contaminantes.

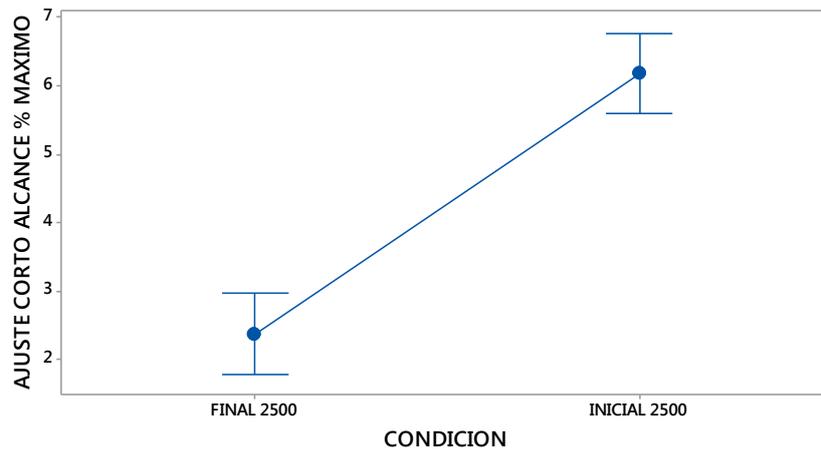


Figura 26: Gráfica de Intervalos del SFT % Máximo vs Condición a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.2.6.4. Gráfica de Tukey del SFT % Máximo a 2500 RPM

En la figura 27 se observa la gráfica de Tukey, donde se determina la variación media del SFT a 2500 RPM es del 3,9%, deduciendo así que el consumo de combustible se reduce cuando el motor se encuentra en buen estado, al igual que la emisión de gases contaminantes.

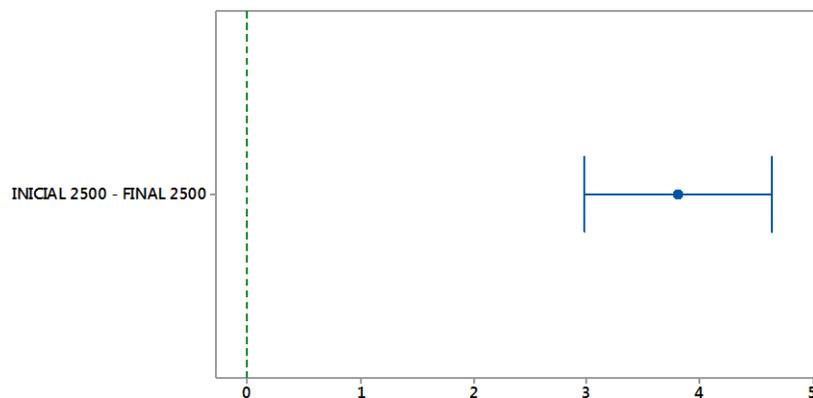


Figura 27: Gráfica de IC de 95% de Tukey del SFT % Máximo a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.2.7. Análisis del Ajuste de Corto Alcance % Mínimo

A continuación, se presenta el análisis desarrollado para el ajuste de corto alcance en su porcentaje mínimo, para los 4 modos de funcionamiento que se han planteado para el presente estudio.

6.2.7.1. Gráfica de Intervalos del SFT % Mínimo vs Condición a Ralentí

En la figura 28 se muestra la gráfica de intervalos del SFT en su porcentaje mínimo de lectura a ralentí, para la condición inicial (mal estado) se determina que la ECM determina un ajuste medio de -3,1%, reduciendo el ancho de pulso de inyección, mientras que para la condición final (buen estado), el SFT medio mínimo es de -1,6%. Determinando que mientras más cercano a cero es el ajuste de combustible, el motor trabajará de mejor manera.

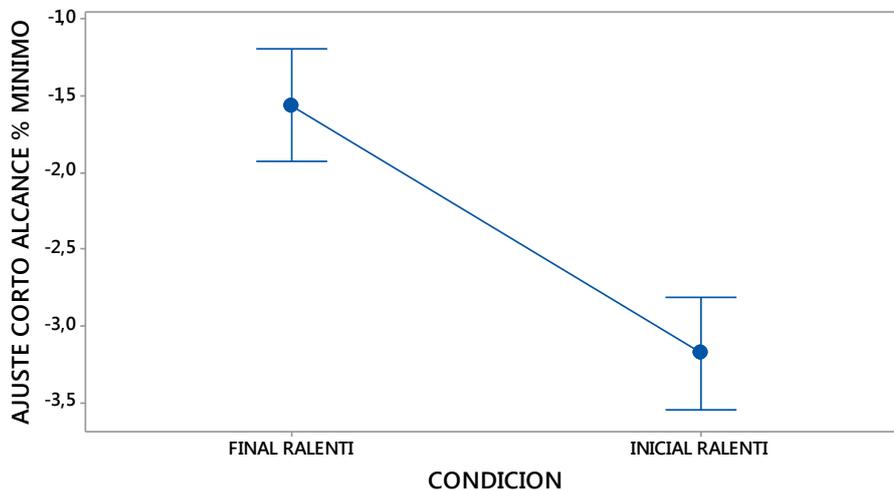


Figura 28: Gráfica de Intervalos del SFT % Mínimo vs Condición a Ralentí.

Fuente: Los Autores.

6.2.7.2. Gráfica de Tukey del SFT % Mínimo a Ralentí

En la figura 29 se aprecia la gráfica de Tukey, donde se observa que la variación media es del -1,6% para el SFT cuando el motor trabaja a ralentí, mientras el ajuste de combustible es más cercano a cero, significa que el motor está trabajando en mejores condiciones y la ECM no se ve obligada a realizar las correcciones para disminuir las consecuencias de las averías en el correcto funcionamiento del motor del vehículo.

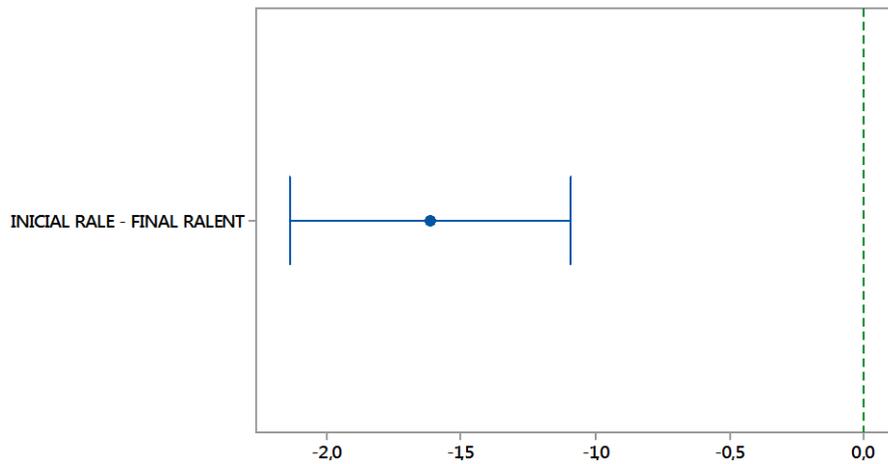


Figura 29: Gráfica de Tukey del SFT % Mínimo a Ralentí.

Fuente: Los Autores.

6.2.7.3. Gráfica de Intervalos del SFT % Mínimo vs Condición a 2500 RPM

Para cuando el motor es acelerado a 2500 RPM el SFT en su % mínimo, cuando se encuentra el vehículo trabajando en mal estado, el ajuste medio mínimo es del 3,2% mientras que cuando se encuentra en buen estado, el ajuste es del 1,8%. Tal como se observa en la figura 30. Determinando que cuando el ajuste de combustible es cercano a cero, significa que los sensores y sistemas del vehículo trabajan de mejor manera.

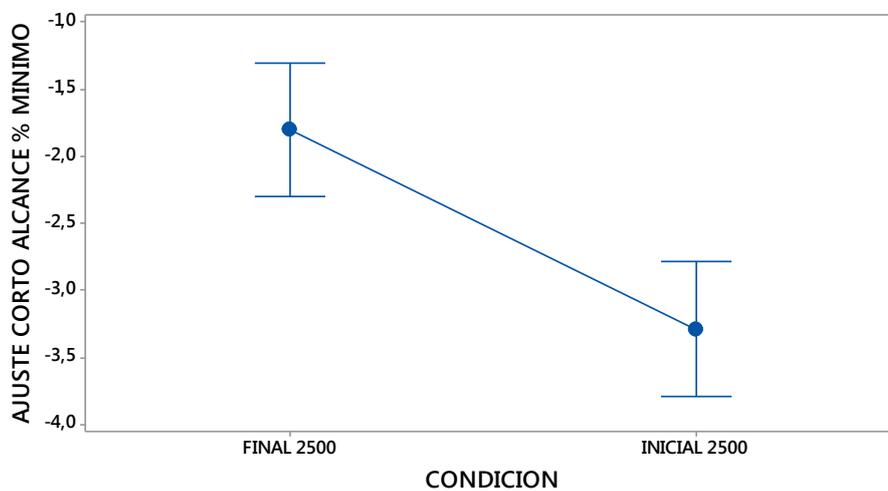


Figura 30: Gráfica de Intervalos del SFT % Mínimo vs Condición a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.2.7.4. Gráfica de Tukey del SFT % Mínimo a 2500 RPM

En la figura 31, se puede observar la gráfica de intervalos de Tukey, donde se determina que la variación media entre los dos estados de funcionamiento del motor es de -1,5%, afirmando entonces que existe un cambio en el funcionamiento de la ECM entre los dos

estados de funcionamiento. Cuando el motor trabaja en buen estado, el ajuste de combustible es más cercano a cero, por lo tanto, la información que la ECM recibe de los diferentes sensores es la correcta y no tiene la necesidad de realizar correcciones para atenuar las posibles averías que se pueden producir en el funcionamiento del vehículo.

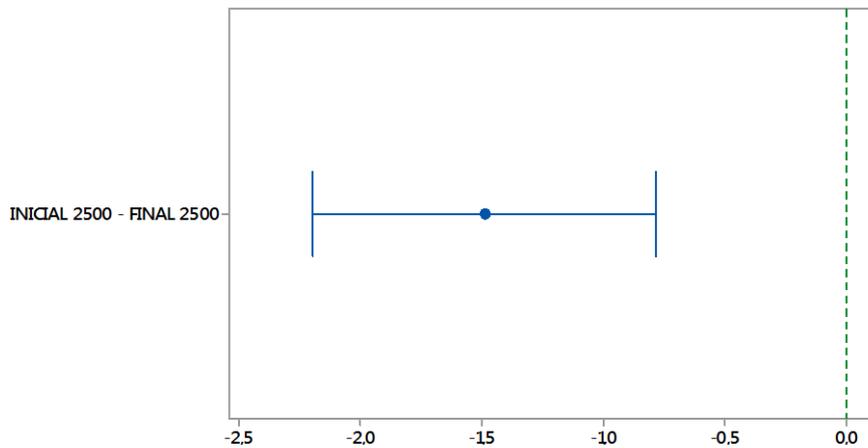


Figura 31: Gráfica de Tukey del SFT % Mínimo a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.2.8. Análisis del Ajuste de Largo Alcance

Se detalla a continuación el análisis realizado para los datos obtenidos del ajuste de largo alcance para los cuatro modos de funcionamiento del motor que se han planteado para el presente estudio.

6.2.8.1. Gráfica de Intervalos del LFT vs Condición a Ralentí

En la figura 32, se observa la gráfica de intervalos para el ajuste de largo alcance a ralentí, donde se puede observar que cuando el motor trabaja en condiciones iniciales (mal estado), el ajuste medio es de 5,3%, mientras que para la condición final (buen estado), el LFT es de 0.8%. Afirmando entonces que el LFT mientras más tiende a cero, significa que el motor trabaja en mejores condiciones y la ECM no se ve obligada a realizar las correcciones para reducir el efecto de las averías en el motor, además el consumo de combustible y emisión de gases contaminantes es menor.

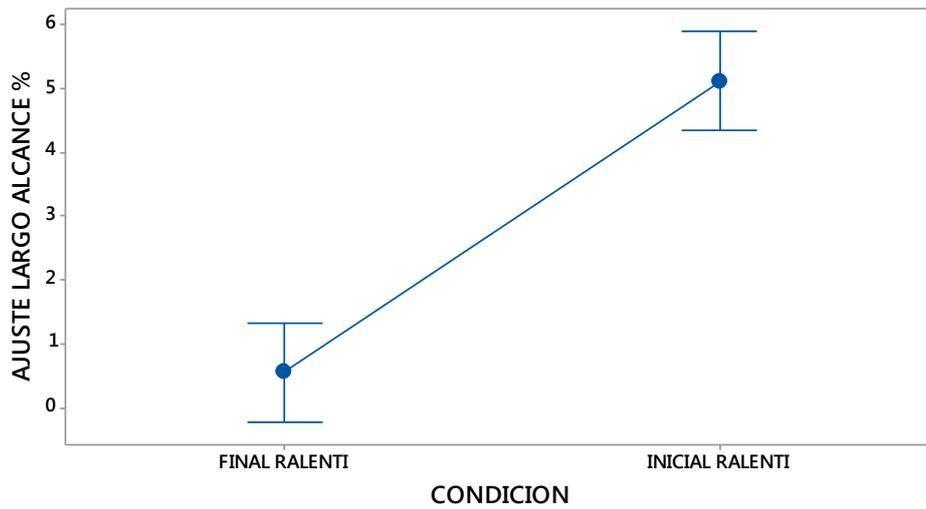


Figura 32: Gráfica de Intervalos de LFT vs Condición a Ralentí.

Fuente: Los Autores.

6.2.8.2. Gráfica de Tukey del LFT a Ralentí

En la figura 33 se muestra la gráfica de intervalos de confianza de Tukey, donde se observa que la variación media del LFT que realiza la ECM a ralentí es de 4,5%, determinando así que cuando el motor trabaja en buen estado, el ajuste de combustible sobre el ya calculado ancho de pulso de inyección, que la ECM realiza, es más cercano a cero, afirmando entonces que de esta manera es cuando el motor trabaja de mejor manera. Reduciendo el consumo de combustible y la emisión de gases contaminantes.

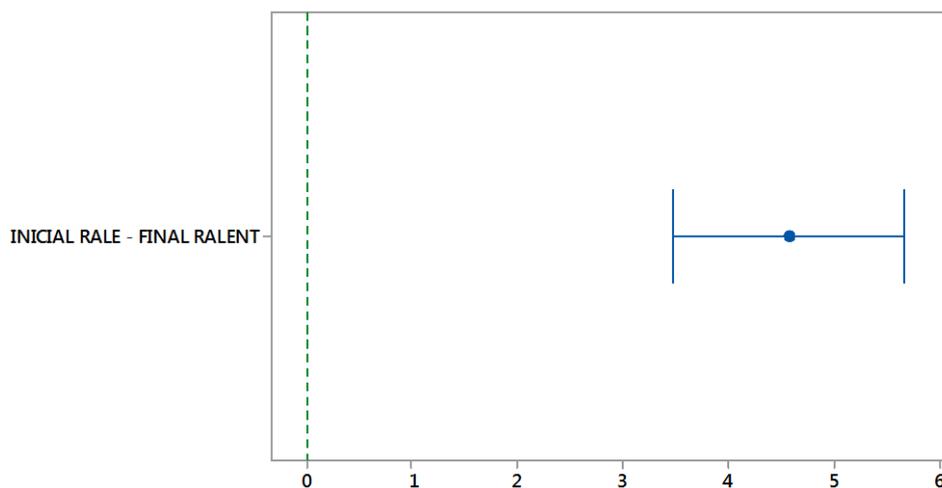


Figura 33: Gráfica de Tukey del LFT a Ralentí.

Fuente: Los Autores.

6.2.8.3. Gráfica de Intervalos del LFT vs Condición a 2500 RPM

Para el LFT que la ECM realiza en el motor cuando está a 2500 RPM, cuando éste se encuentra en mal estado, la ECM determina un ajuste medio de 4,9%, mientras que cuando está en buen estado, se determina un ajuste medio de 1,2%. Deduciendo así que para el motor en buen estado, la ECM determina un ajuste cercano a cero, reduciendo el consumo de combustible y la emisión de gases contaminantes.

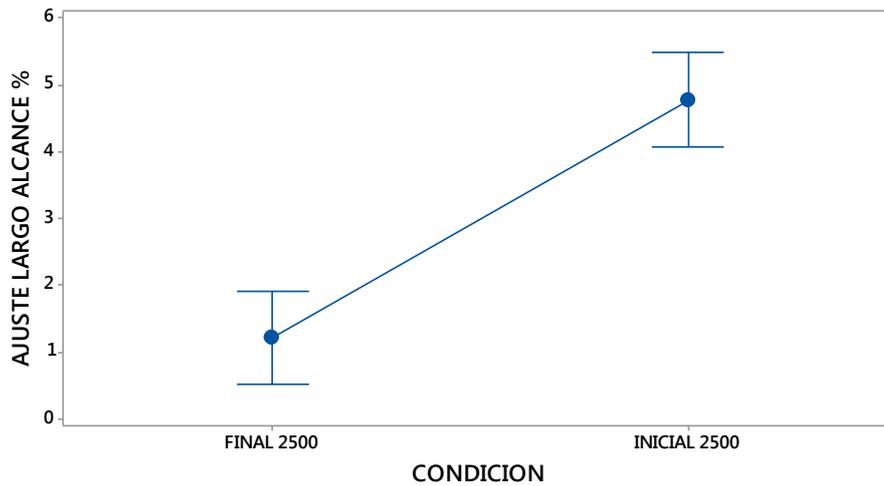


Figura 34: Gráfica de Intervalos del LFT vs Condición a 2500 RPM

Fuente: Los Autores.

6.2.8.4. Gráfica de Tukey del LFT a 2500 RPM

En la figura 35 se observa la gráfica de intervalos de Tukey para el LFT a 2500 RPM, donde se observa que la variación media entre los valores del LFT entre los dos estados de funcionamiento es del 3,6%, determinando así que cuando el motor trabaja en malas condiciones, aumenta este valor en el ajuste de combustible sobre el valor que ya ha calculado la ECM para el ancho de pulso de inyección. Aumentando entonces el consumo de combustible y la emisión de gases contaminantes, ya que los sensores del sistema de inyección se ven afectados en sus lecturas, debido a los diferentes fallos que se pueden producir en los mismos.

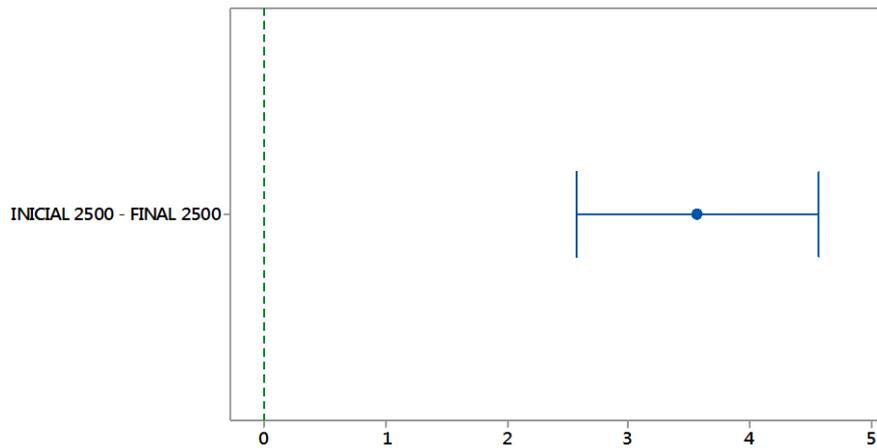


Figura 35: Gráfica de Tukey del LFT a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.2.9. Análisis del Monóxido de Carbono

Ahora se presenta el análisis realizado a la información recopilada de la emisión de gases contaminantes en los vehículos estudiados, empezando por el monóxido de carbono, frente a los cuatro modos de funcionamiento que ya antes han sido explicados.

6.2.9.1. Gráfica de Intervalos del CO vs Condición a Ralentí

La gráfica de intervalos del CO versus la condición a ralentí de los motores estudiados, se muestra en la figura 36, en la misma que se observa que cuando el motor trabaja en mal estado, el CO medio es de 0.65%, mientras que para cuando está en buen estado el CO medio es de 0.25%. Determinando así que el estado de funcionamiento afecta a la emisión de CO durante la combustión.

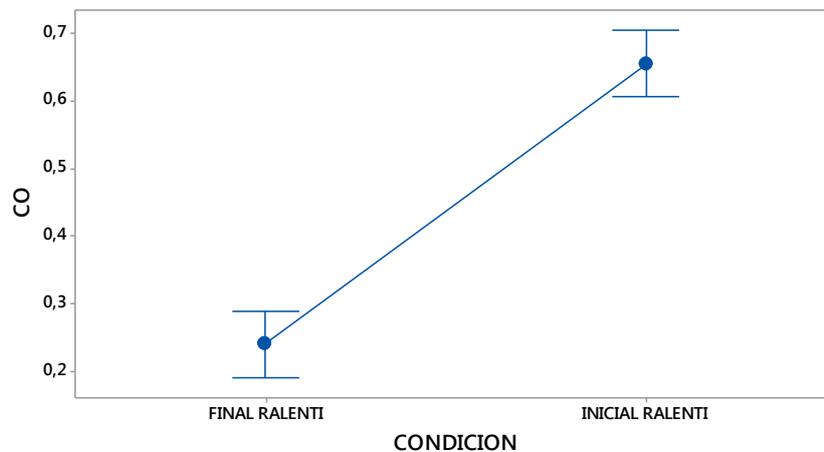


Figura 36: Gráfica de Intervalos de CO vs Condición.

Fuente: Los Autores.

6.2.9.2. Gráfica de Tukey del CO a Ralentí

En la figura 37, se muestra la gráfica de intervalos de Tukey para el monóxido de carbono a ralentí, donde se observa que la variación media entre las dos condiciones de funcionamiento es del 0.41%. Esto determina que cuando el motor se encuentra en buen estado de funcionamiento la emisión de CO se reduce en este porcentaje como resultado de que el proceso de combustión se produce de mejor manera.

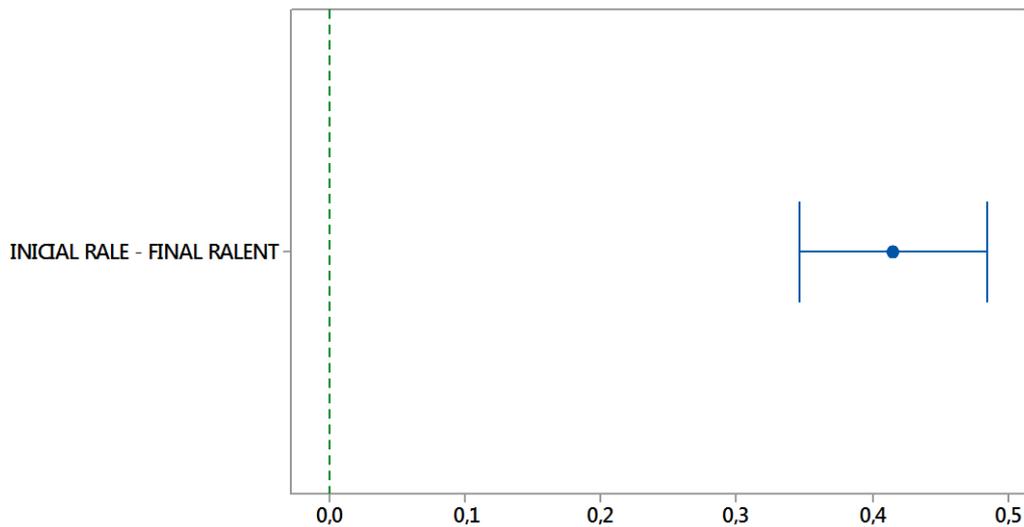


Figura 37: Gráfica de Tukey del CO a Ralentí.

Fuente: Los Autores.

6.2.9.3. Gráfica de Intervalos del CO vs Condición a 2500 RPM

En la figura 38, se observa la gráfica de intervalos de CO versus a la condición de funcionamiento cuando el motor trabaja a 2500 RPM, se observa que inicialmente (mal estado), debido a las averías presentes en los motores, el CO es elevado, denotando una media de 0,9%, debido a que el proceso de combustión no se desarrolla de manera normal, mientras que cuando el motor está en buen estado, el CO se reduce a una media de 0.25% describiendo así que el proceso de combustión se desarrolla de mejor manera.

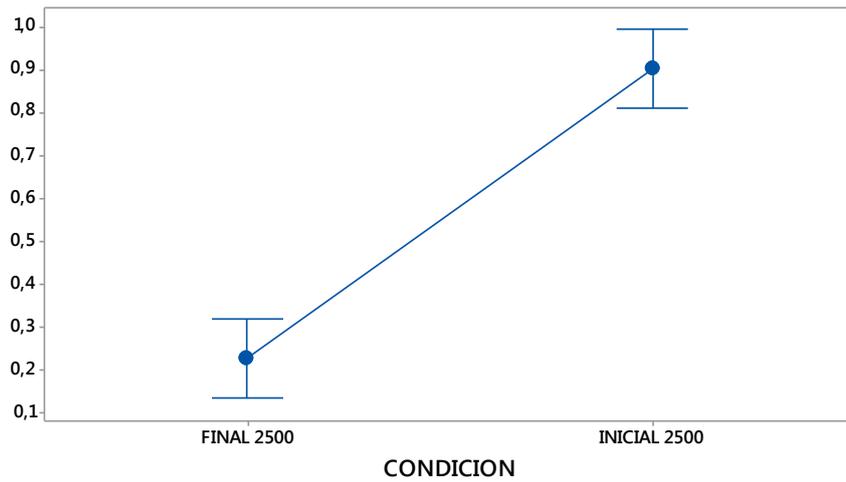


Figura 38: Gráfica de Intervalos del CO vs Condición a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.2.9.4. Gráfica de Tukey del CO a 2500 RPM

En la gráfica de intervalos de confianza de Tukey, de la figura 39, se observa la variación media que existe entre los dos estados de funcionamiento del motor a 2500 RPM, en 0.68% es que la emisión de CO aumenta cuando los motores se encuentran en mal estado, debido a la mala combustión que se produce, por causa que las diferentes averías no permiten que el proceso de combustión no se desarrolle completamente. Mientras que para cuando los motores se encuentran en buen funcionamiento, la emisión de CO se ve reducida hasta aproximadamente cero, donde se describe que el proceso de combustión es el ideal.

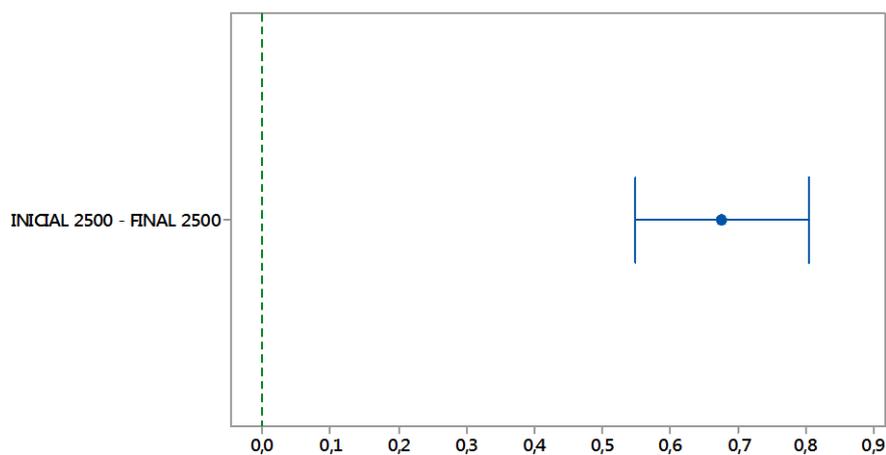


Figura 39: Gráfica de Tukey del CO a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.2.10. Análisis del Dióxido de Carbono

A continuación, se presenta el análisis los datos recopilados del dióxido de carbono para los cuatro modos de funcionamiento a los cuales han sido sometidos los motores de los vehículos para el presente estudio.

6.2.10.1. Gráfica de Intervalos del CO₂ vs Condición a Ralentí

En la figura 40, se presenta la gráfica de intervalos del CO₂ en comparación a las dos condiciones de funcionamiento del motor a ralentí, la primera, cuando el motor está en mal estado, la gráfica muestra que el valor medio para el CO₂ es de 12,5%, mientras que para cuando el motor está en buen estado, la media es de 14,3%. Teniendo en cuenta que el CO₂ indica que tan efectiva es la combustión y que mientras la medida está entre el 14 al 15% es mejor.

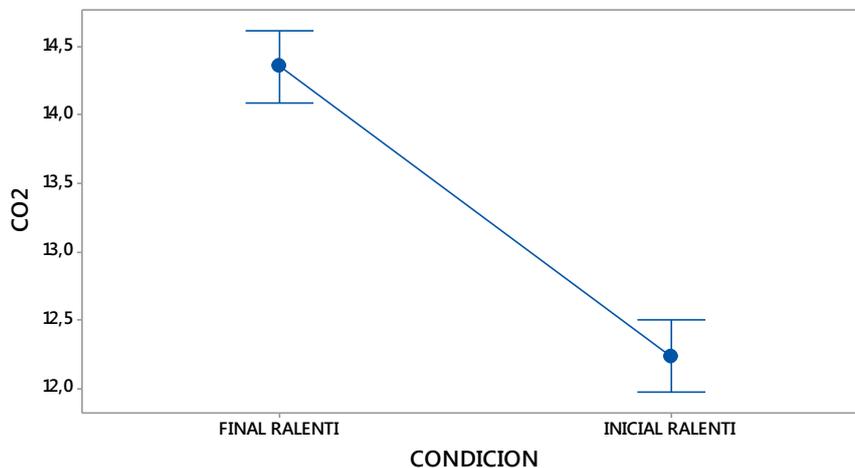


Figura 40: Gráfica de Intervalos del CO₂ vs Condición a Ralentí.

Fuente: Los Autores.

6.2.10.2. Gráfica de Tukey del CO₂ a Ralentí

La gráfica de intervalos de Tukey, de la figura 41, muestra la diferencia entre los valores medios para el CO₂ en las dos condiciones de funcionamiento a ralentí, es decir, muestra la variación media que existe entre los dos intervalos (mal y buen estado) del motor, es decir, la combustión se produce -2,15% cuando el motor tiene algún tipo de fallo, debido al mal funcionamiento de los sensores del sistema de inyección, teniendo como consecuencia el mayor consumo y emanación de gases contaminantes,

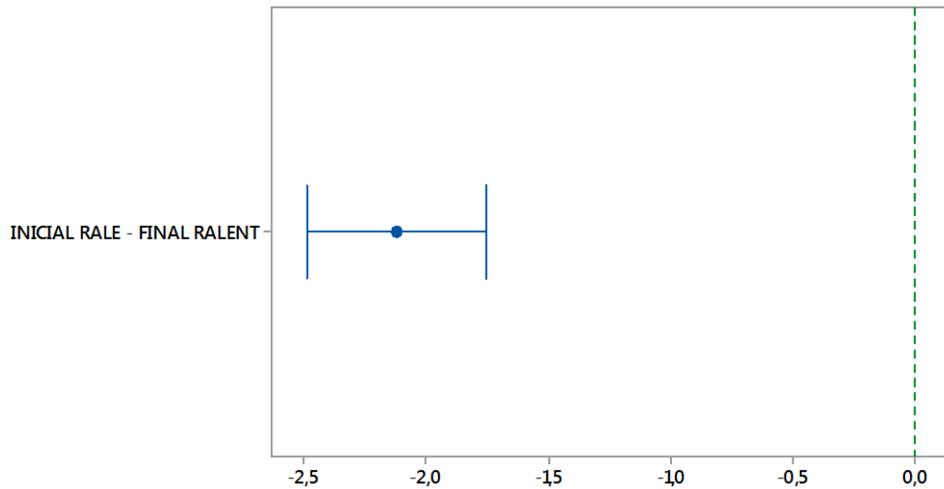


Figura 41: Gráfica de Tukey del CO₂ a Rakenti.

Fuente: Los Autores.

6.2.10.3. Gráfica de Intervalos del CO₂ vs Condición a 2500 RPM

La figura 42, muestra la gráfica de intervalos del CO₂ frente a las dos condiciones de funcionamiento del motor a 2500 RPM, en la inicial (mal estado) se puede observar que el CO₂ tiene un valor medio de 12,9%, mientras que para la condición final (buen estado) el valor medio del CO₂ se eleva 14,7%, debido a que el proceso de combustión se realiza de manera más eficiente, la mezcla aire – combustible es la adecuada, las bujías aportan con la energía suficiente para quemar toda la mezcla y los residuos de la combustión están dentro del rango deseado.

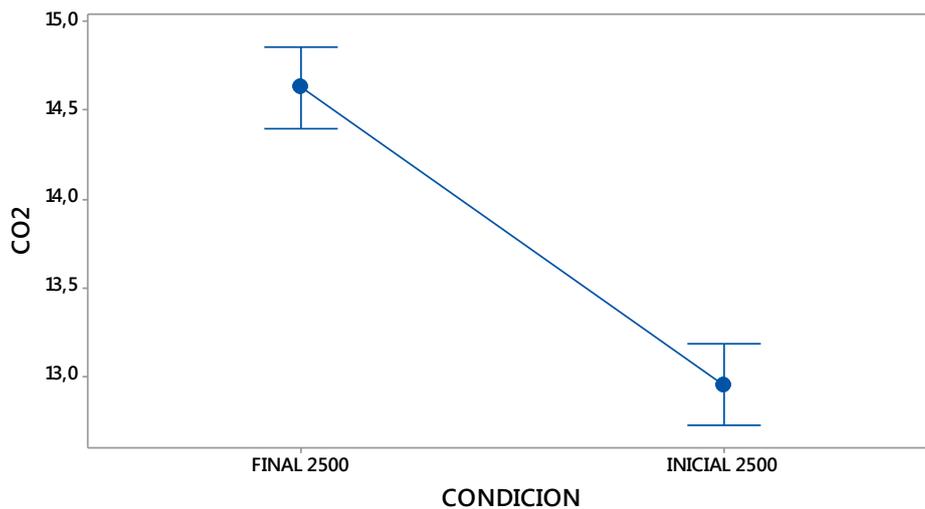


Figura 42: Gráfica de Intervalos del CO₂ vs Condición a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.2.10.4. Gráfica de Tukey del CO₂ a 2500 RPM

En la figura 43, se muestra la gráfica de intervalos de confianza de 95% de Tukey, donde se muestra la variación media del CO₂ entre los dos estados de funcionamiento del motor a 2500 RPM. La diferencia es de -1,7%, indicando que cuando el motor está en mal estado se disminuye la eficiencia de la combustión en el motor.

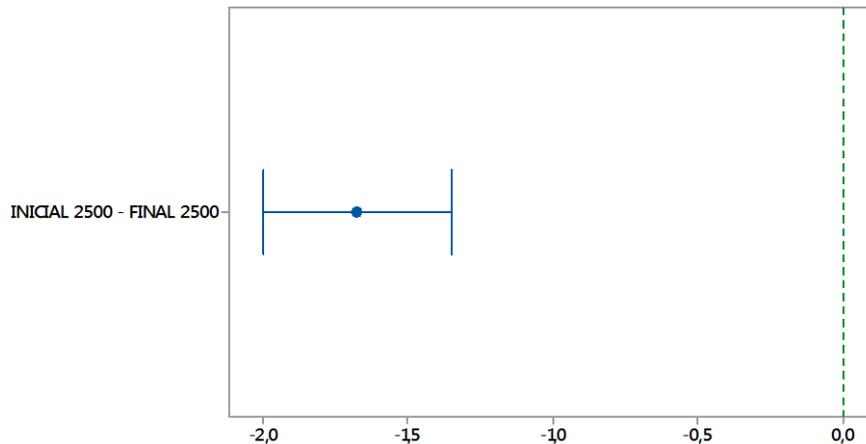


Figura 43: Gráfica de Tukey del CO₂ a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores

6.2.11. Análisis de Hidrocarburos No Combustionados

Finalmente se presenta el análisis realizado a las muestras obtenidas de los hidrocarburos no combustionados en los cuatro modos de funcionamiento del motor de los cuales han sido objeto de estudio para el presente proyecto.

6.2.11.1. Gráfica de Intervalos de HC vs Condición a Ralentí

La figura 44 muestra la gráfica de intervalos de los HC versus la condición de funcionamiento del motor a ralentí, donde se observa que el motor cuando se encuentra en mal estado, el valor medio de los HC es de 525 ppm, mientras que para cuando el motor ha sido reestablecido a buen estado el valor de los HC medios es de 100 ppm, deduciendo entonces que el estado del motor aumenta la emisión de HC debido a las averías que el sistema de inyección presenta, mientras que para cuando se han solucionado los fallos la emisión de HC disminuye.

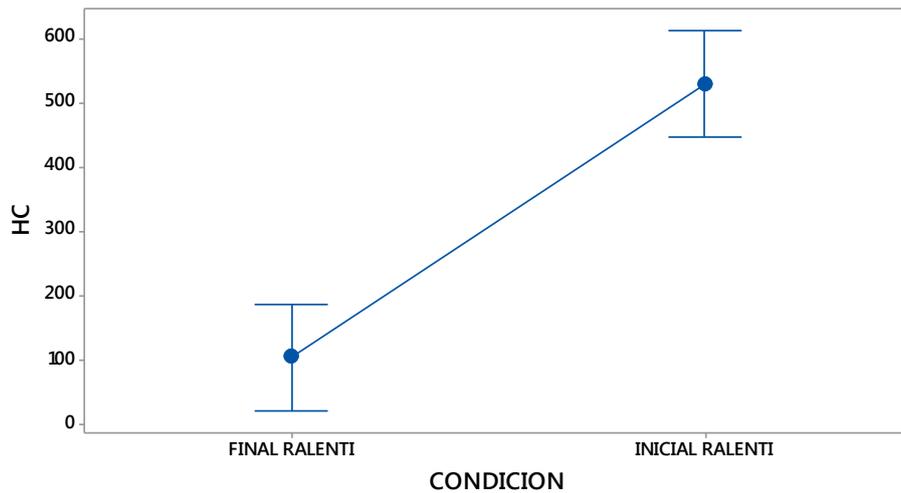


Figura 44: Gráfica de Intervalos de HC vs Condición a Ralentí.

Fuente: Los Autores

6.2.11.2. Gráfica de Tukey de HC a Ralentí

En la figura 45, se observa la gráfica de Tukey, donde se muestra la diferencia entre los valores medios de HC a ralentí, de los dos estados de funcionamiento del motor, indicando que existe una variación media de 425 ppm, es decir, cuando el motor se encuentra en buen estado, la emisión de HC disminuye por consecuencia de que el proceso de combustión se realiza de mejor manera, ya que las averías que el motor puede tener han sido solucionadas.

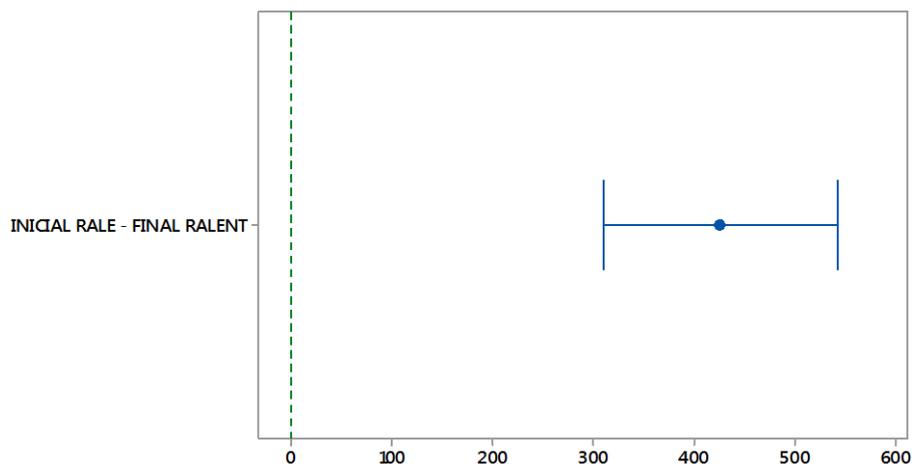


Figura 45: Gráfica de Tukey de HC a Ralentí.

Fuente: Los Autores

6.2.11.3. Gráfica de Intervalos de HC vs Condición a 2500 RPM

En la figura 46, se observa la gráfica de intervalos de HC frente a la condición de funcionamiento del motor a 2500 RPM, cuando el motor se encuentra en mal estado, el valor medio de HC es de 450 ppm, mientras que para cuando está en buen estado los HC medios bajan a 75 ppm, describiendo así que el proceso de combustión se desarrolla de buena manera, disminuyendo el consumo de combustible y la emisión de gases contaminantes, como efecto de que los sistemas del vehículo están trabajando de manera normal.

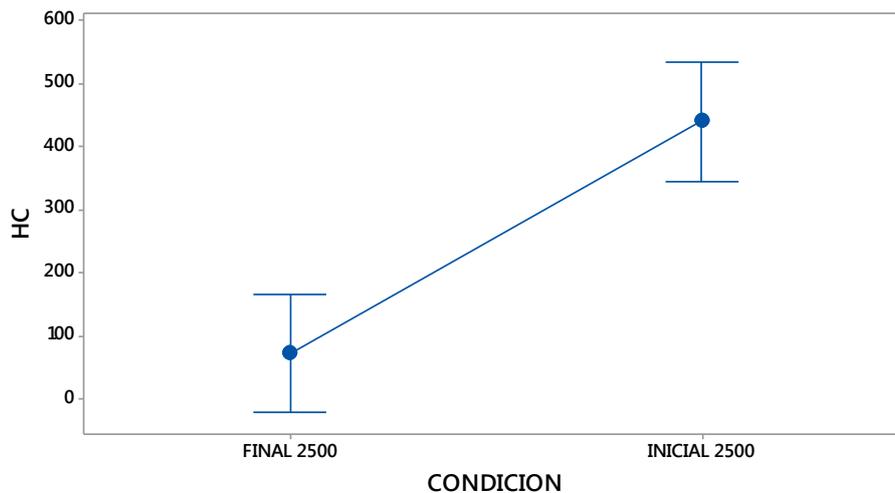


Figura 46: Gráfica de Intervalos de HC vs Condición a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.2.11.4. Gráfica de IC de 95% de Tukey de HC a 2500 RPM

En la gráfica de intervalos de Tukey, de la figura 47, se puede observar la variación media que existe entre los estados de funcionamiento del motor, es decir, cuando el motor trabaja con alguna avería, los HC tienden a elevarse en 375 ppm, debido a que el fallo afecta al normal desempeño del motor, afectando el proceso de combustión, aumentando el consumo de combustible y como se observa, la emisión de gases contaminantes al ambiente.

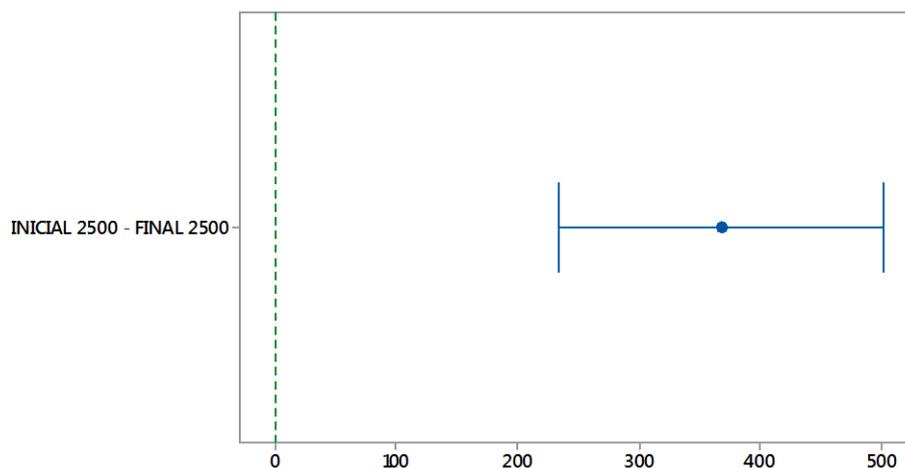


Figura 47: Gráfica de Tukey de HC a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.3. FASE III: Validación de Datos y Presentación de Resultados.

6.3.1. Análisis de Componentes Principales para las Muestras a Ralentí

A continuación, se presenta la validación de los datos obtenidos mediante el análisis de componentes principales, el cual, por medio de las gráficas brindan la información para comprender la estructura de la covarianza en las variables originales, con la finalidad de disponer de un menor número de variables.

Para el análisis se estudia el comportamiento de 13 variables que se han considerado como las más importantes para el presente estudio: RPM, MAP, TPS, ECT, IAT, SFT MAX, SFT MIN, LFT, CO, CO₂, HC, LAMBDA, O₂.

6.3.1.1. Matriz de Correlación

En la Tabla 9, se puede observar la matriz de correlación, del análisis de componentes principales, para las muestras obtenidas a ralentí, donde se destacan las tres columnas de Valor Propio, Proporción y Acumulada.

El Valor Propio o también conocidos como raíces latentes, son las varianzas de los datos, se puede utilizar este valor para determinar el número de componentes principales que, según el criterio de Kaiser indica que el valor propio de las varianzas de los datos que están sobre 1 demuestra una mayor significancia para el análisis de los datos, es decir, según la matriz de correlación de la Tabla 9, se puede deducir que las cinco primeras componentes afectan significativamente al análisis.

La columna de Proporción, indica la cantidad acumulada de la variabilidad de los datos, es decir, evalúa la cantidad total de la varianza que explican los componentes principales consecutivos. Sirve para ayudar a determinar el número de componentes principales que se usarán. El valor de la columna indica el porcentaje de variabilidad de los datos. Para nuestro caso hasta la componente cinco demuestra significancia para el estudio con una variabilidad del 7,8%.

Para la columna de Acumulada, muestra la cantidad acumulada de la variabilidad de los datos, sirve para evaluar la cantidad total de varianza que explican los componentes principales, para nuestro caso se establece que los componentes expliquen un 80% de la varianza, por lo tanto, hasta la componente cinco se usará para el análisis.

Tabla 9: Matriz de correlación para muestras a Ralenti. Fuente: Los Autores.

COMPONENTE	VALOR PROPIO	PROPORCIÓN	ACUMULADA
C1	3,8894	0,299	0,299
C2	2,2362	0,172	0,471
C3	1,695	0,13	0,602
C4	1,1836	0,091	0,693
C5	1,0121	0,078	0,77
C6	0,7083	0,054	0,825
C7	0,6373	0,049	0,874
C8	0,4952	0,038	0,912
C9	0,4046	0,031	0,943
C10	0,3444	0,026	0,97
C11	0,3276	0,025	0,995
C12	0,0496	0,004	0,999
C13	0,0168	0,001	1

Una vez que ya se ha establecido que se va a trabajar sobre los cinco primeros componentes, en la tabla 10 se muestra la matriz de vectores propios, donde hay que analizar la magnitud y signo de los valores de las variables que se están analizando, cuando mayor sea el valor absoluto del coeficiente, más importante será la variable correspondiente en el cálculo del componente.

Para el componente uno, se establece que el CO₂ al tener un comportamiento que tiende a ser mayor cuando mejor es la combustión, a diferencia de los otros gases, tiene directa

relación con el factor Lambda que establece la calidad de la mezcla y del O₂ emitido, que de igual manera es un indicador del proceso de combustión. Mediante estas variables se puede establecer la calidad de la mezcla y de la combustión.

Para la segunda componente, se deduce que las RPM a ralentí se ven afectadas por el comportamiento del TPS ya que éste determina la aceleración del motor, de la ECT ya que indica a la ECM la temperatura del refrigerante la cual afecta sobre el cálculo del tiempo de inyección y por lo tanto en la aceleración a ralentí, la IAT de la misma manera que la ECT y del LFT ya que afecta directamente sobre el tiempo de inyección ya calculado. Se deduce con esta componente el comportamiento de la aceleración del motor a ralentí.

Para la tercera componente, se establece el SFT en su % mínimo, cuando la ECM empobrece la mezcla, con la finalidad de corregir al factor Lambda, se ve principalmente afectada por la emisión de HC a ralentí debido al enriquecimiento de la mezcla producido por la ECT, el SFT % máximo y las RPM a ralentí. Con esta componente se deduce el trabajo de la ECM para asegurar una mezcla estequiométrica.

Mediante la cuarta componente, se observa que tiene asociaciones negativas entre las RPM, el MAP e IAT, deduciendo que esta componente mide principalmente la aceleración del motor frente a las variables de ruido ambientales como la temperatura del aire y la presión atmosférica a la que el vehículo se encuentra.

Ya para la quinta componente, se establece que existen asociaciones negativas entre el comportamiento del TPS, LFT y el CO, ya que el monóxido de carbono al pretender tender a cero por efecto de una buena mezcla aire – combustible, se ve afectado por el enriquecimiento de la mezcla producido por la ECM cuando el porcentaje de apertura de la mariposa de aceleración no es la adecuada para el estado de ralentí, como es el caso de algunos vehículos que presentaron este fallo y como consecuencia la ECM ajusta el LFT para pretender corregir esta avería.

Tabla 10: Vectores Propios para muestras a Ralentí. Fuente: Los Autores.

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13
RPM	-0,005	-0,455	-0,31	-0,346	0,025	0,085	0,116	-0,153	0,642	0,27	0,218	0,009	-0,015
MAP (KPa)	0,28	0,035	0,135	-0,592	0,122	-0,318	-0,142	0,204	-0,071	-0,44	0,413	0,052	0,035
TPS (%)	-0,03	0,427	0,027	0,157	-0,625	0,207	-0,081	0,226	0,324	-0,014	0,431	0,096	0,019
ECT (°C)	0,033	0,48	-0,309	-0,126	0,126	-0,404	0,05	-0,126	-0,196	0,614	0,206	0,032	-0,018
IAT (°C)	0,036	0,461	0,053	-0,386	0,026	0,184	0,61	0,003	0,207	-0,144	-0,403	-0,048	0,001
SFT (% MAX)	0,262	0,035	-0,351	0,441	0,147	-0,068	0,408	-0,354	0,001	-0,422	0,34	-0,006	-0,032
SFT (% MIN)	-0,093	0,064	0,587	-0,037	0,324	0,421	0,11	-0,33	-0,091	0,199	0,433	0,05	-0,014
LFT (%)	0,159	-0,395	0,1	-0,097	-0,475	-0,03	0,533	0,156	-0,451	0,209	0,128	-0,023	-0,021
CO (%)	0,304	0,065	-0,206	-0,292	-0,336	0,34	-0,34	-0,564	-0,247	-0,057	-0,117	-0,188	-0,032
CO2 (%)	-0,487	0,019	-0,101	-0,071	-0,009	-0,027	0,053	0,027	-0,079	-0,111	0,196	-0,793	0,24
HC (ppm)	0,267	0,031	-0,364	0,007	0,332	0,556	-0,044	0,538	-0,178	0,104	0,103	-0,131	-0,118
Lambda	0,429	0,023	0,316	0,157	-0,008	-0,204	-0,039	0,033	0,254	0,139	-0,053	-0,529	-0,529
O2 (%)	0,481	-0,001	0,156	0,142	0,045	-0,026	-0,019	0,035	0,145	0,168	-0,077	-0,142	0,803

6.3.1.2. Gráfica de Sedimentación

Es la gráfica de los valores propios que ya fueron analizados anteriormente, donde la finalidad de la misma es reducir el número de componentes que influyen en el análisis para dejar los más representativos. Como ya se indicó, los que más influyen, son los que su valor propio es mayor que 1, de acuerdo al criterio de Kaiser. En la gráfica se puede observar como la curva tiene una mayor pendiente para los componentes uno hasta el cinco. Mientras que desde el cinco en adelante la curva demuestra una pendiente menor. Por lo tanto, la elección de los cinco primeros componentes es la acertada.

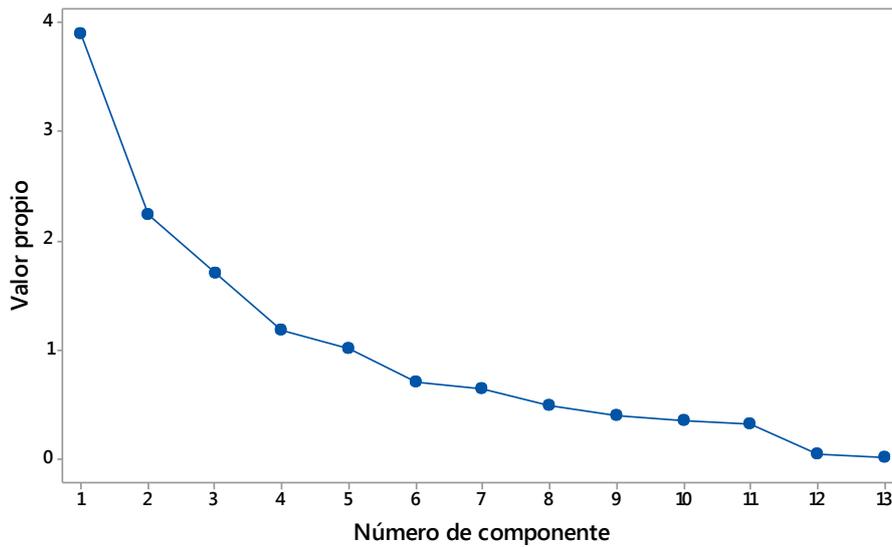


Figura 48: Gráfica de Sedimentación para las muestras a Ralentí.

Fuente: Los Autores.

6.3.1.3. Gráfica de Puntuaciones

En la figura 49, se observa la gráfica de puntuaciones para las muestras a ralentí, la cual representa gráficamente las puntuaciones del segundo componente principal en relación a las puntuaciones del primer componente, ya que éstos dos explican la mayor parte de la varianza de los datos. Como se observa, todos los puntos se encuentran distribuidos aleatoriamente cerca del cero, demostrando que no existen valores atípicos ni tendencias que afecten al análisis de los datos.

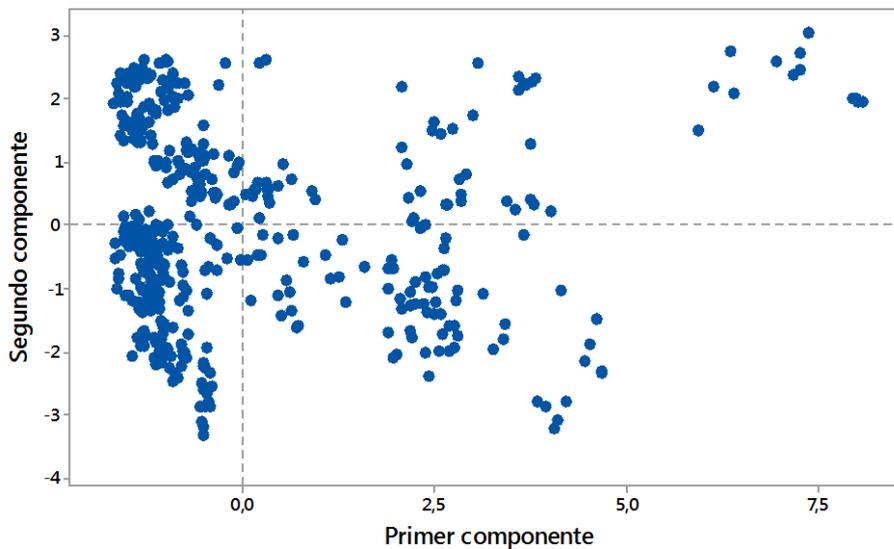


Figura 49: Gráfica de Puntuaciones para las muestras a Ralentí.

Fuente: Los Autores.

6.3.1.4. Gráfica de Influencias

En la figura 50, se observa la gráfica de influencias para las muestras obtenidas a ralentí, donde se destaca los números de cada variable para el primer componente en comparación a los números de las variables para el segundo componente. Se destacan que el CO₂, CO, Lambda, O₂, MAP; son las variables que más influencia tienen sobre el análisis ya que son las que se encuentran más alejadas del centro.

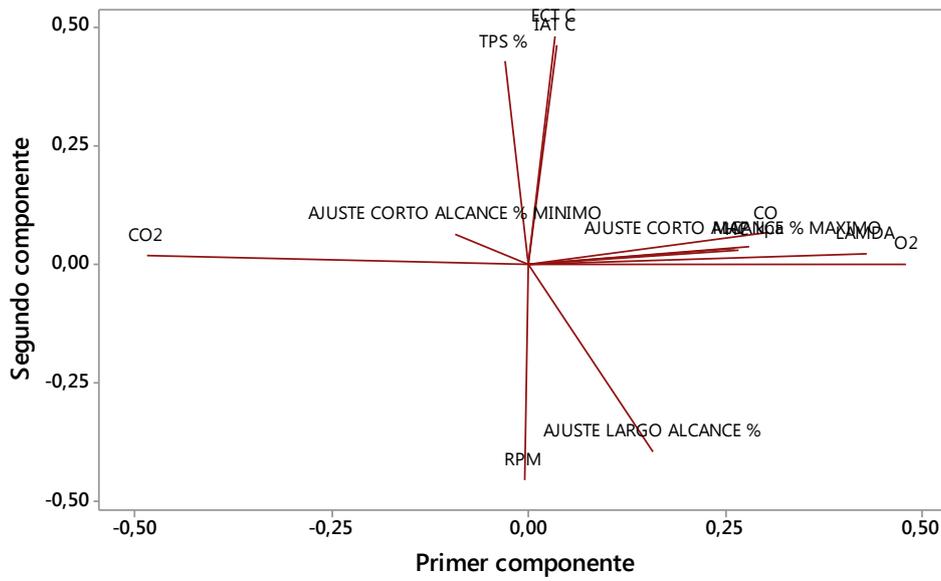


Figura 50: Gráfica de Influencias para las muestras a Ralentí.

Fuente: Los Autores.

6.3.1.5. Gráfica de Doble Proyección

La gráfica de doble proyección, de la figura 51, muestra la superposición de la gráfica de puntuaciones y la gráfica de influencias, se observa que el CO₂ tiene mayor influencia sobre el segundo componente, mientras que el O₂, Lambda, MAP, CO influyen más sobre el primer componente. Ya que éstas variables indican el trabajo que realiza la ECM sobre el cálculo del tiempo de inyección y el adelanto al encendido para reducir la emisión de gases contaminantes, intentando mantener un factor Lambda de 1.

6.3.2. Análisis Factorial para las muestras a Ralentí

Se presenta a continuación la evaluación de la información obtenida en el presente estudio, por el análisis factorial, el cual resume la estructura de la covarianza de los datos obtenidos, a un número menor de dimensiones.

6.3.2.1. Gráfica de Sedimentación

Al igual que el análisis anterior, la gráfica de sedimentación de la figura 53, muestra el del factor en comparación a su valor propio, mediante la gráfica se puede elegir el número de factores que van a ser analizados, teniendo en cuenta que los factores que su valor propio es mayor a 1, representan una mayor influencia en el análisis, por lo tanto, para éste análisis se escoge los cuatro primeros factores.

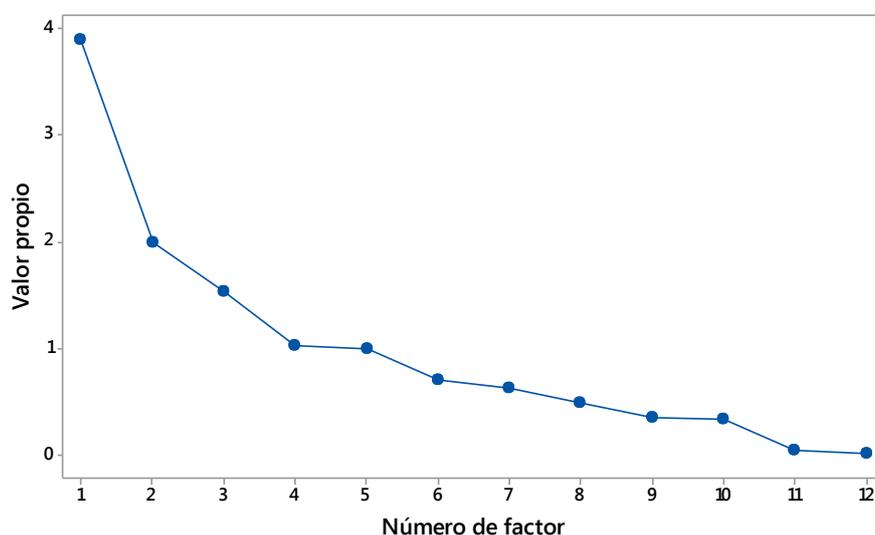


Figura 53: Gráfica de Sedimentación para muestras a Ralentí.

Fuente: Los Autores.

6.3.2.2. Coeficientes de Puntuación de los Factores

En la tabla 11, se muestra la ponderación relativa que tiene cada variable en el número de factor que se está analizando, mientras mayor sea el valor absoluto del coeficiente, más importante será la variable correspondiente en el cálculo del factor.

El análisis de factores al ser muy parecido al análisis de componentes principales, la influencia de las diferentes variables serán muy similares en el cálculo de cada factor y como ya se había explicado anteriormente como las variables influyen en los cinco componentes principales, la influencia será de la misma manera para los cuatro factores que presentará este análisis.

Tabla 11: Coeficientes de Puntuación de los Factores para muestras a Ralenti. Fuente: Los Autores.

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9	Factor 10	Factor 11	Factor 12
MAP (KPa)	0,142	-0,026	-0,255	-0,243	-0,539	0,307	0,135	-0,249	-0,395	0,956	-0,239	-0,258
TPS (%)	-0,016	-0,27	-0,131	-0,285	0,682	-0,183	0,176	-0,446	-0,035	0,627	-0,416	-0,183
ECT (°C)	0,016	-0,417	0,028	0,06	-0,126	0,493	-0,008	0,174	1,12	-0,003	-0,136	0,118
IAT (°C)	0,018	-0,33	-0,314	-0,059	-0,098	-0,148	-0,761	-0,009	-0,555	-0,618	0,219	-0,016
SFT (% MAX)	0,133	-0,093	0,35	0,331	0,202	0,149	-0,464	0,512	-0,485	0,796	0,026	0,243
SFT (% MIN)	-0,047	0,112	-0,477	0,394	0,017	-0,444	-0,113	0,452	0,526	0,584	-0,214	0,082
LFT (%)	0,081	0,29	0,048	-0,506	0,097	0,033	-0,751	-0,078	0,675	0,187	0,093	0,182
CO (%)	0,154	-0,121	0,058	-0,465	-0,071	-0,468	0,36	0,872	0,002	-0,106	0,835	0,266
CO2 (%)	-0,247	-0,045	0,051	-0,068	-0,08	0,021	-0,086	-0,011	-0,02	0,401	3,559	-1,826
HC (ppm)	0,135	-0,122	0,257	0,204	-0,287	-0,708	-0,072	-0,694	0,346	0,156	0,584	0,921
Lambda	0,217	0,082	-0,204	0,158	0,239	0,288	0,139	-0,145	0,01	-0,23	2,377	4,054
O2 (%)	0,244	0,052	-0,083	0,158	0,145	0,061	0,07	-0,107	0,112	-0,263	0,65	-6,191

6.3.2.3. Gráfica de Puntuaciones

En la figura 54, se muestra la gráfica de puntuaciones de los dos primeros factores, ya que éstos son los que mayor representación tienen sobre el análisis. Se observa que los puntos se encuentran distribuidos aleatoriamente del centro de la gráfica y existen ciertas aglomeraciones y puntos lejanos del centro, lo cual indica la presencia de valores atípicos, que son consecuencia de los diferentes fallos presentados en los vehículos, los cuales hacen trabajar de manera errónea a la ECM.

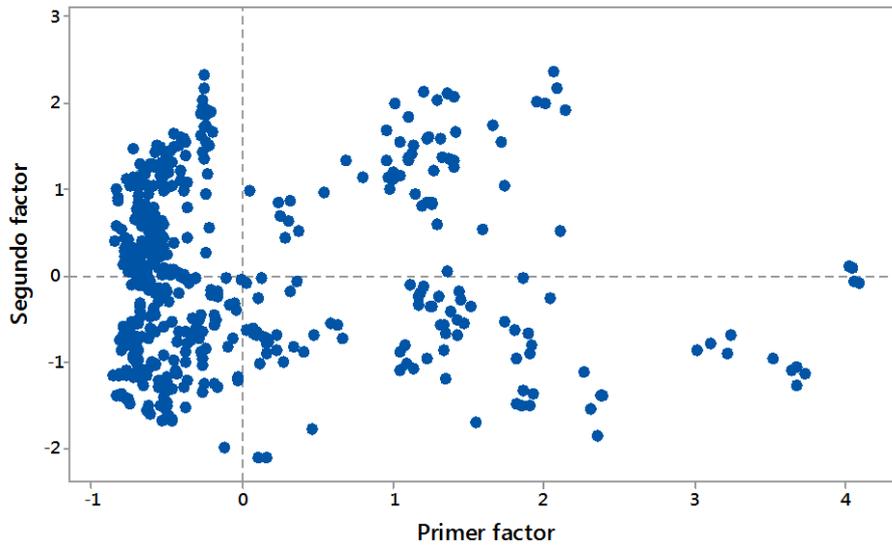


Figura 54: Gráfica de Puntuaciones para las muestras a Ralentí.

Fuente: Los Autores.

6.3.2.4. Gráfica de Influencias

En la figura 55 se muestra la gráfica de influencias de los factores sobre las variables de estudio considerando los dos primeros factores que son los más representativos para el estudio. Las variables que se encuentran más alejadas del centro son las que más influencia tienen sobre el cálculo de los factores, siendo el CO₂, el factor Lambda, O₂, MAP; ya que las mismas son los principales indicadores de buen funcionamiento del motor.

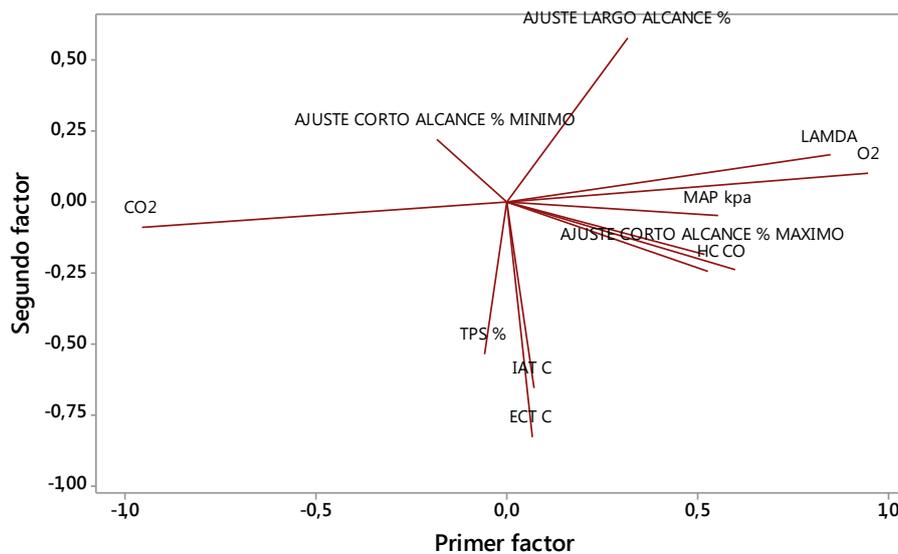


Figura 55: Gráfica de Influencias para las muestras a Ralentí.

Fuente: Los Autores.

6.3.2.5. Gráfica de Doble Proyección

En la gráfica de doble proyección, se muestra la superposición de las gráficas de puntuaciones y la de influencias, con la finalidad de demostrar que puntos son los que más afectan al primer y segundo factor. El CO₂ tiene una mayor influencia sobre el segundo factor junto con el SFT en su mínimo porcentaje, mientras que para el primer factor hay más influencia del factor Lambda, O₂ y el sensor MAP, ya que los mismos trabajan sobre el cálculo del tiempo de inyección y los gases emitidos son el resultado de la efectividad del cálculo.

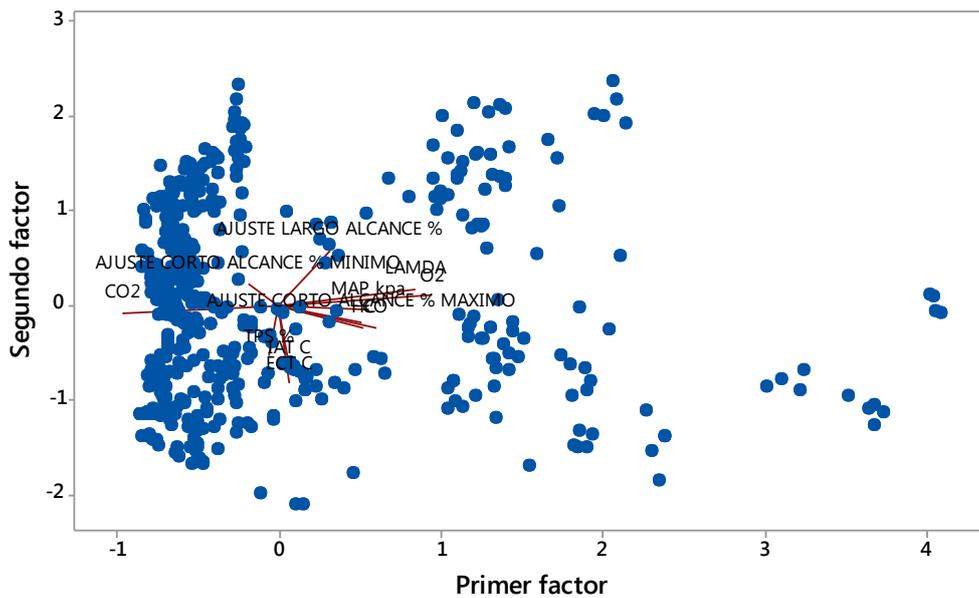


Figura 56: Gráfica de Doble Proyección para muestras a Ralentí.

Fuente: Los Autores.

6.3.3. Análisis de Componentes Principales para las Muestras a 2500 RPM

A continuación se usará el análisis de componentes principales, que ya fue explicado anteriormente, para analizar las muestras obtenidas de los vehículos a 2500 RPM, con la finalidad de seleccionar los componentes más representativos para el estudio y evaluar la información obtenida.

Se usarán las mismas trece variables que fueron analizadas en las muestras obtenidas a ralentí, las mismas son: RPM, MAP, TPS, ECT, IAT, SFT MAX, SFT MIN, LFT, CO, CO₂, HC, LAMBDA, O₂.

6.3.3.1. Matriz de Correlación

En la Tabla 12, se muestra la matriz de correlación para la información obtenida a 2500 RPM, en la cual encontramos la información de las componentes de las variables que influyen en el análisis del presente estudio.

En la primera columna podemos ver Valor Propio o raíces latentes, las cuales son las varianzas de los componentes principales, mediante este dato se puede determinar el número de componentes que van a ser analizados, según el criterio de Kaiser, se usan las componentes que tienen valor propio mayor a uno, ya que brindan más información al análisis. En este caso se usarán las cinco primeras componentes.

En la siguiente columna se observa los valores de Proporción para las componentes, la misma brinda información de la cantidad de variabilidad en los datos que explica cada componente principal, mientras mayor sea el valor, en mayor cantidad explicará ese componente principal la variabilidad. Es decir, para este caso, se confirma que las cinco primeras componentes brindan mayor información al estudio.

Para la última columna, se explica la Acumulada que es la proporción acumulada de la variabilidad, se establece para este caso se necesita el 70%, confirmando lo antes mencionado.

Tabla 12: Matriz de Correlación para muestras a 2500 RPM. Fuente: Los Autores.

COMPONENTE	VALOR PROPIO	PROPORCIÓN	ACUMULADA
C1	3,46	0,266	0,266
C2	1,796	0,138	0,404
C3	1,327	0,102	0,506
C4	1,173	0,09	0,597
C5	1,001	0,077	0,674
C6	0,97	0,075	0,748
C7	0,769	0,059	0,807
C8	0,65	0,05	0,857
C9	0,553	0,043	0,9
C10	0,466	0,036	0,936
C11	0,386	0,03	0,965
C12	0,34	0,026	0,992
C13	0,11	0,008	1

En la tabla 13, se establece la matriz de vectores propios de cada componente relacionada con la variable de estudio analizada, cada valor representa la varianza de los datos. El mayor valor absoluto de cada compoene, será el coeficiente más importante para el análisis de cada componente.

Para la primera componente se aprecia que el CO₂ afecta directamente al valor del O₂, por la ya que los dos son indicadores de la calidad de la combustión que se produce en el vehículo, ya que los dos trabajan de manera opuesta, el CO₂ mientras más alto mejor y el O₂ mientras más bajo mejor, por eso el signo opuesto de éstos dos indicadores. Por esta razón se puede determinar que la primera componente indica la calidad de la combustión en los motores.

Para el segundo componente se ven dos grupos de coeficientes, el primero negativo con las variables de MAP, TPS, ECT, IAT y con coeficientes positivos el LFT. Mediante esta componente se puede determinar el comportamiento de la mezcla, cuando es rica o pobre, de acuerdo a las variables de temperatura de aire y refrigerante en comparación con la aceleración del motor.

Para la tercera componente se observa que el comportamiento de dos grupos de coeficientes, los positivos, el MAP, SFT en su porcentaje mínimo y el CO, frente a los negativos, ECT e IAT, determinando entonces que los ajustes de combustible y emisión de gases contaminantes se ven afectados por la temperatura del refrigerante y del aire, ya que la ECM considera éstas dos últimas variables para el cálculo del tiempo de inyección en los motores.

La cuarta componente principal está caracterizada por el comportamiento de la aceleración del motor, TPS, y del LFT, teniendo como consecuencia la variación de los HC en la emisión de gases contaminantes. La cuarta componente determina la emisión de HC en función de la aceleración y del trabajo que realiza la ECM para el ajuste del tiempo de inyección.

La última componente analizada en el presente estudio, está determinada por el comportamiento del factor Lambda en función de las RPM del motor y del porcentaje de apertura de la mariposa de aceleración, determina el trabajo que realiza la ECM para obtener la mezcla estequiométrica durante la aceleración del motor, ya que el TPS varía según el fabricante para alcanzar diferentes velocidades.

Tabla 13: Vectores Propios para el análisis de muestras a 2500 RPM. Fuente: Los Autores.

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13
RPM	0,007	0,014	0,272	0,168	0,422	-0,837	0,028	-0,039	0,119	0,033	0,002	-0,034	-0,004
MAP (KPa)	0,327	-0,304	0,342	0,056	-0,102	0,084	0,266	-0,225	0,061	0,282	0,318	0,597	0,025
TPS (%)	0,122	-0,308	-0,083	0,574	-0,214	-0,006	-0,506	0,273	0,356	-0,123	0,188	-0,016	0,003
ECT (°C)	-0,005	-0,463	-0,416	-0,308	0,104	-0,134	0,309	-0,025	0,159	-0,478	0,363	-0,063	0,064
IAT (°C)	0,064	-0,508	-0,286	0,331	-0,04	-0,084	0,085	-0,346	-0,444	0,213	-0,366	-0,185	0,002
SFT (% MAX)	0,37	0,122	-0,281	0,07	0,041	-0,128	0,164	0,527	-0,202	-0,2	-0,367	0,472	0,054
SFT (% MIN)	-0,153	-0,318	0,587	-0,071	0,019	0,078	-0,161	0,201	-0,486	-0,438	-0,015	-0,01	0,161
LFT (%)	0,196	0,431	-0,008	0,417	-0,048	0,051	0,099	-0,496	-0,138	-0,543	0,146	0,021	0,071
CO (%)	0,35	-0,123	0,346	0,055	-0,027	0,189	0,405	0,074	0,412	-0,156	-0,398	-0,393	-0,163
CO2 (%)	-0,488	-0,082	0,01	0,135	-0,03	0,009	0,088	-0,068	0,082	-0,203	-0,168	0,343	-0,728
HC (ppm)	0,305	-0,104	-0,015	-0,412	0,123	-0,015	-0,562	-0,402	0,183	-0,177	-0,351	0,205	-0,058
Lambda	-0,01	-0,057	-0,063	0,214	0,855	0,452	-0,037	0,041	0,019	0,053	0,061	0,046	0,009
O2 (%)	0,47	0,051	-0,008	-0,12	0,047	-0,042	-0,131	0,127	-0,355	0,064	0,358	-0,254	-0,634

6.3.3.2. Gráfica de Sedimentación

En la figura 57, se observa la gráfica de sedimentación para las muestras obtenidas a 2500 RPM, en la misma se puede determinar el comportamiento de los valores propios de cada componente analizada, como ya se indicó anteriormente, según el criterio de Kaiser, se debe escoger las componentes que tengan valor propio mayor a uno, en la gráfica se observa que hasta la componente cinco cumple con éste criterio. Por lo tanto se determina que cinco primeras componentes son las que más información brindan al estudio.

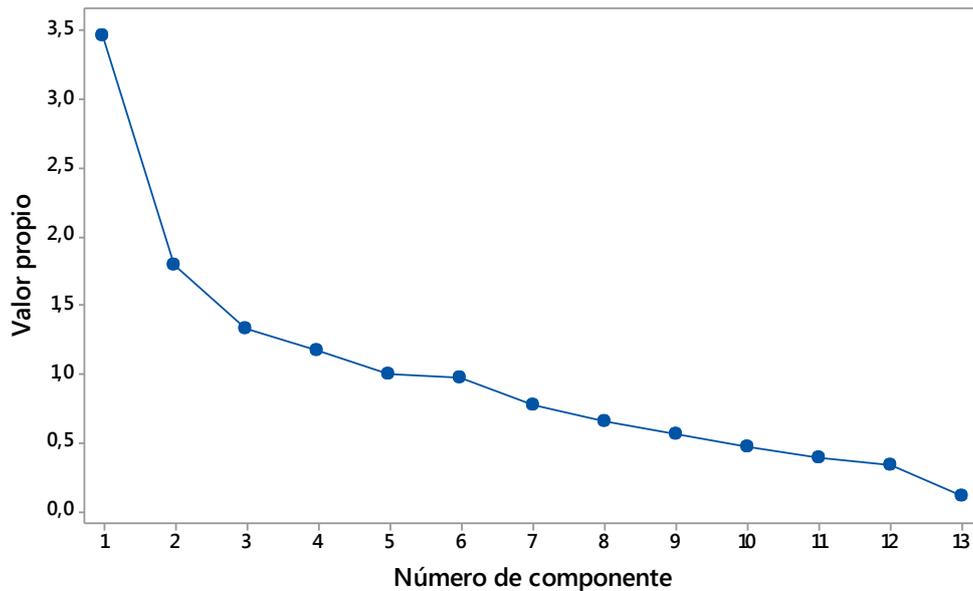


Figura 57: Gráfica de Sedimentación para las muestras a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.3.3.3. Gráfica de Puntuación

En la figura 58, se muestra la gráfica de puntuación para las muestras obtenidas a 2500 RPM, de las dos primeras componentes principales, ya que se consideran como las más representativas para el estudio, se puede ver que los diferentes puntos se encuentran distribuidos normalmente por toda la gráfica alrededor del centro, existen ciertas conglomeraciones y puntos muy alejados del centro, lo que determina que existe valores atípicos o tendencias en los datos obtenidos, éste fenómeno se presenta por los diferentes fallos que se presentaron en los vehículos, ya que éstos hacen trabajar de diferente manera a la ECM, con la finalidad de corregir las averías y evitar daños mayores en el funcionamiento del motor. En general los datos se encuentran distribuidos de manera aleatoria, por lo que se concluye que la información obtenida de los vehículos es válida para el estudio.

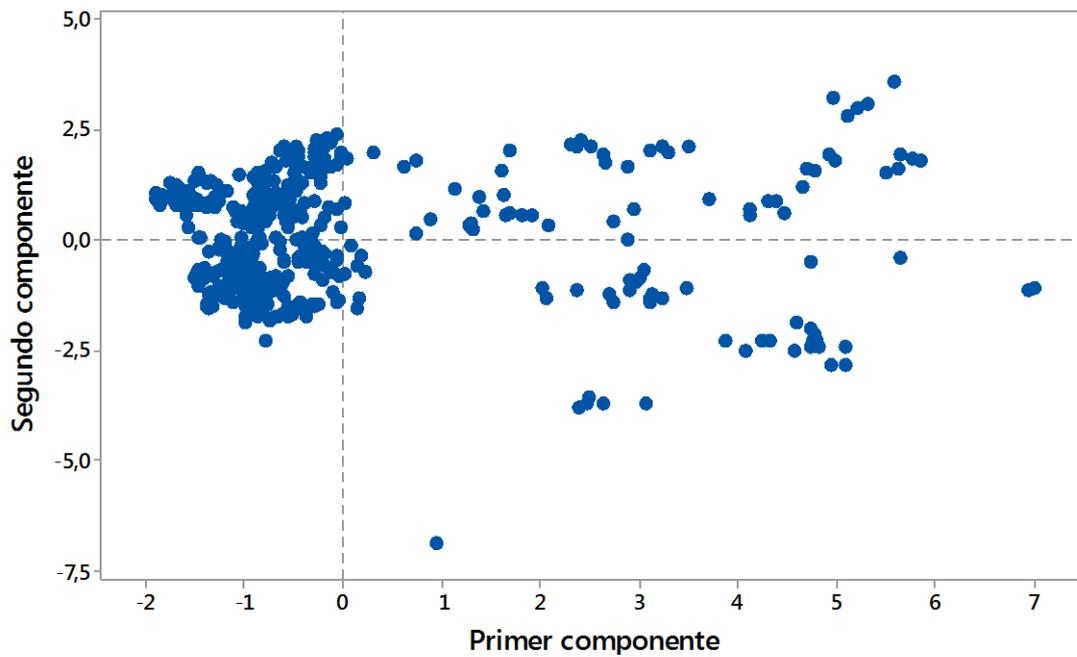


Figura 58: Gráfica de Puntuación para las muestras a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.3.3.4. Gráfica de Influencias

Para la gráfica de influencias, de la figura 59, se observa el comportamiento que tiene cada variable para el primer componente versus los coeficientes para el segundo componente. Mediante la gráfica se puede identificar qué variables tienen mayor influencia sobre cada componente. Las influencias pueden variar desde -1 hasta 1, siendo las que están más alejadas del centro las que más significancia tienen sobre las componentes. Para el caso de las muestras a 2500 RPM, se determina que las variables de CO₂ y O₂ son las más significativas, mientras que le CO, MAP, SFT % MAX, HC, son variables que aportan especial significancia al estudio, ya que todas están influenciadas sobre el cálculo que realiza la ECM para el tiempo de inyección y las mismas varías cuando los vehículos tienen averías y cuando son reparados.

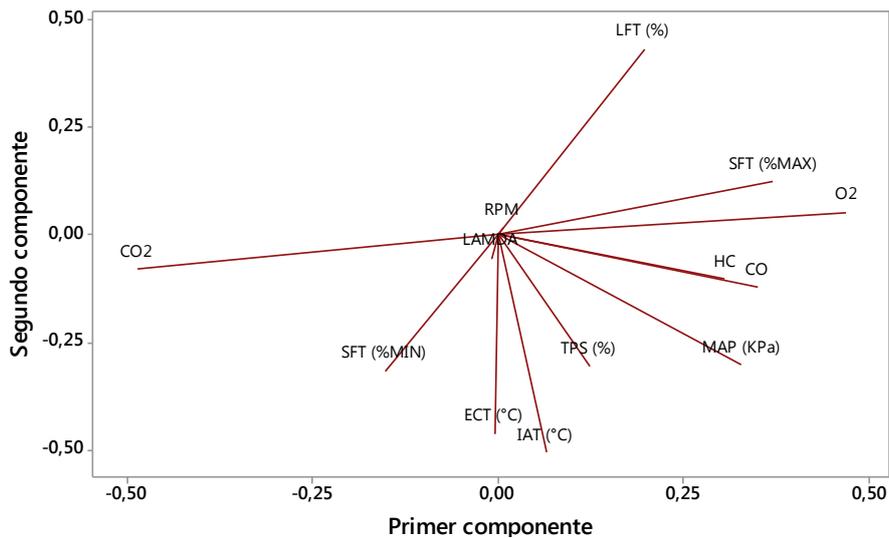


Figura 59: Gráfica de Influencias para las muestras a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.3.3.5. Gráfica de Doble Proyección

La gráfica de doble proyección, de la figura 60, muestra la superposición de las gráficas de puntuaciones y la de influencias, se puede identificar que variables afectan de a la primera o segunda componente. Se observa que el CO₂ influye sobre la segunda componente y el O₂, MAP, SFT, HC son las variables que influyen de manera más significativa sobre la primera componente.

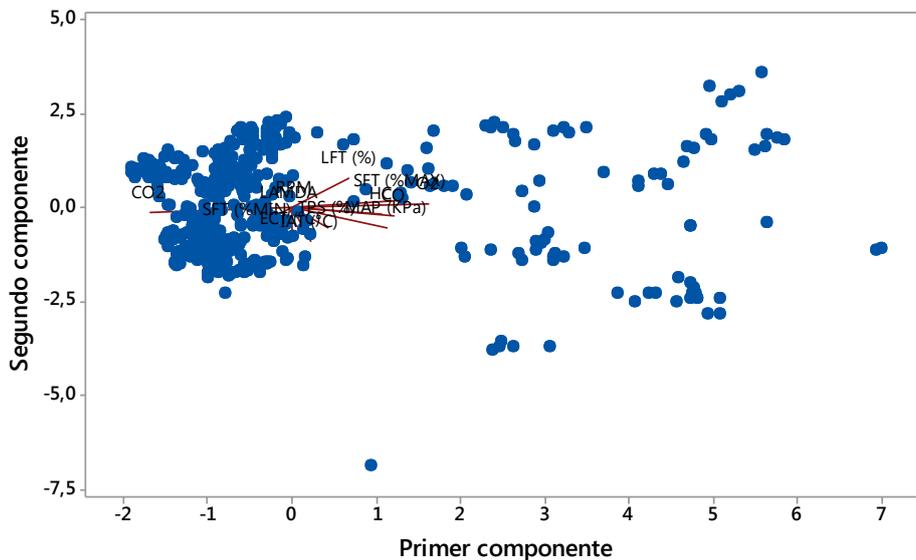


Figura 60: Gráfica de Doble Proyección para las muestras a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.3.3.6. Gráfica de Valores Atípicos

En la gráfica de valores atípicos, de la figura 61, se muestra la distribución de los valores atípicos de las muestras obtenidas a 2500 RPM, se puede ver que la mayoría de puntos están bajo la línea de referencia, por lo tanto, éstos puntos no representan problemas en el análisis de la información obtenida, una pequeña cantidad de puntos está sobre la línea de referencia, indicando que los mismos son valores que presentan errores para el sistema, éstos puntos caracterizan el mal funcionamiento de los vehículos por consecuencia de los diferentes fallos presentados en los mismos. Las averías más graves presentan valores más alejados, como respuesta al mal funcionamiento del vehículo y el trabajo erróneo de la ECM cuando trata de corregir las averías y en consecuencia se obtiene un mayor consumo de combustible y emanación elevada de gases contaminantes.

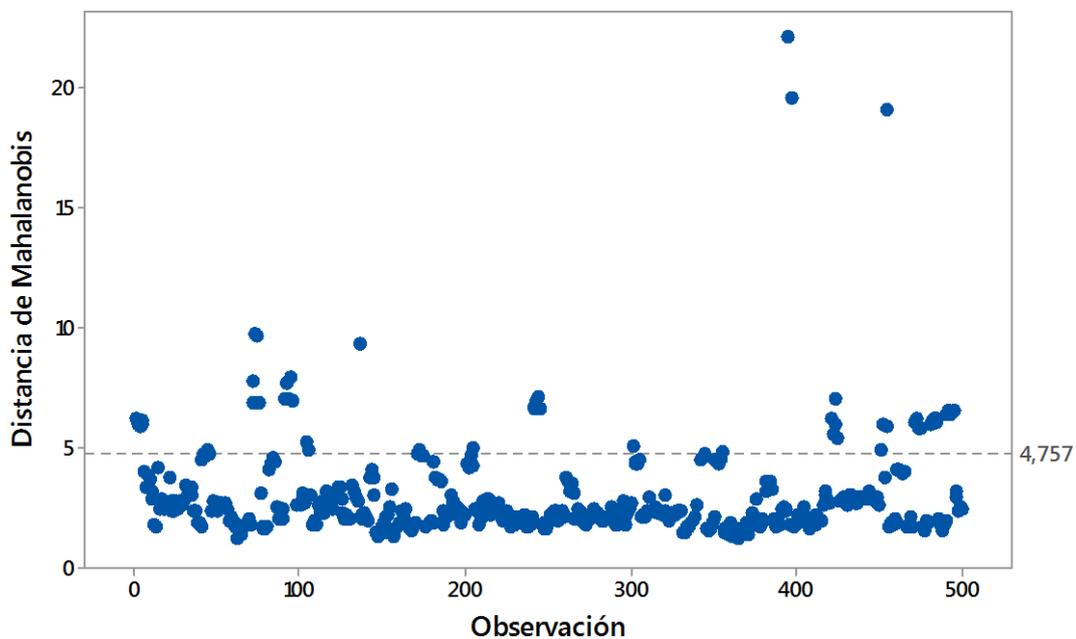


Figura 61: Gráfica de Valores Atípicos para las muestras a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.3.4. Análisis de Factores para las muestras a 2500 RPM.

A continuación, se presenta el estudio de las muestras obtenidas de los vehículos cuando fueron acelerados a 2500 RPM, por el análisis de factores, el cual consiste en determinar un número menor de factores en comparación del número de variables que se están analizando en el estudio.

Para realizar el análisis de factores se usarán doce variables de estudio, las cuales son: MAP, TPS, ECT, IAT, SFT % MAX y MIN, LFT, CO, CO₂, HC, Factor Lambda, O₂.

6.3.4.1. Gráfica de Sedimentación

De igual manera que en caso de componentes principales, se usará la gráfica de sedimentación, de la figura 62, para determinar el número de factores que representan mayor influencia en el análisis de la información recopilada. Tal como indica el criterio de Kaiser, se usarán los factores que su valor propio sea mayor a uno, determinando entonces, según la gráfica, que los cuatro primeros factores cumplen con ésta condición. Por lo tanto, son los más representativos para el estudio.

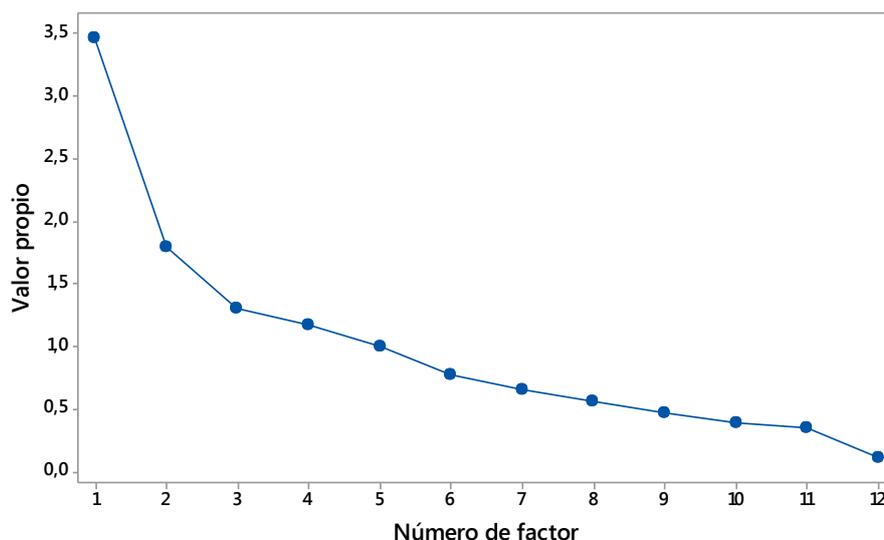


Figura 62: Gráfica de Sedimentación para las muestras a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.3.4.2. Coeficientes de Puntuación de los Factores

En la tabla 14, se muestra la matriz de coeficientes de los factores que identifican la ponderación relativa de cada variable sobre el factor que está siendo analizado, los coeficientes con mayor valor absoluto son los que mayor información aporta para el cálculo del factor.

Como ya se indicó, para éste análisis se usará la información de los primeros cuatro factores. El análisis de factores es muy parecido al análisis de componentes principales, por lo tanto el comportamiento de los coeficientes de las variables que caracterizan a cada factor, será muy parecido a los casos ya explicados anteriormente en los componentes principales.

Tabla 14: Coeficientes de Puntuación de los Factores para las muestras a 2500 RPM. Fuente: Los Autores.

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9	Factor 10	Factor 11	Factor 12
MAP (KPa)	0,176	0,228	0,307	-0,093	0,049	0,307	0,282	-0,082	0,408	-0,51	1,026	0,073
TPS (%)	0,066	0,23	-0,108	-0,533	0,187	-0,575	-0,327	-0,487	-0,187	-0,303	-0,025	0,009
ECT (°C)	-0,002	0,344	-0,359	0,336	-0,022	0,35	0,028	-0,187	-0,707	-0,584	-0,106	0,193
IAT (°C)	0,035	0,379	-0,285	-0,274	0,072	0,094	0,417	0,602	0,323	0,588	-0,321	0,006
SFT (% MAX)	0,199	-0,091	-0,266	-0,026	0,022	0,181	-0,665	0,28	-0,291	0,59	0,806	0,161
SFT (% MIN)	-0,083	0,239	0,522	0,013	-0,06	-0,186	-0,26	0,651	-0,625	0,023	-0,031	0,484
LFT (%)	0,105	-0,322	-0,032	-0,39	0,014	0,114	0,61	0,21	-0,793	-0,235	0,03	0,213
CO (%)	0,188	0,093	0,318	-0,098	-0,065	0,468	-0,077	-0,565	-0,234	0,639	-0,673	-0,492
CO2 (%)	-0,262	0,061	-0,001	-0,127	0,021	0,101	0,085	-0,099	-0,302	0,27	0,586	-2,195
HC (ppm)	0,164	0,077	0,012	0,388	-0,098	-0,64	0,502	-0,227	-0,268	0,566	0,353	-0,176
Lambda	-0,005	0,043	-0,079	-0,181	-0,971	-0,04	-0,048	-0,032	0,079	-0,098	0,079	0,026
O2 (%)	0,252	-0,038	-0,003	0,118	-0,023	-0,153	-0,165	0,469	0,106	-0,577	-0,441	-1,911

6.3.4.3. Gráfica de Puntuaciones

En la figura 63, se puede observar la gráfica de puntuaciones para las muestras obtenidas a 2500 RPM, mediante la misma se puede determinar la existencia de valores atípicos en el estudio. Se puede observar que la mayoría de puntos se encuentran distribuidos normalmente de manera aleatoria alrededor del centro de la gráfica, cierto grupo de puntos se encuentran más alejados, describiendo un comportamiento atípico, debido a los fallos presentados en los vehículos y los valores medidos por los sensores del sistema de inyección que están fuera de los rangos normales y como consecuencia la ECM trata de corregir las averías para evitar daños mayores en el motor.

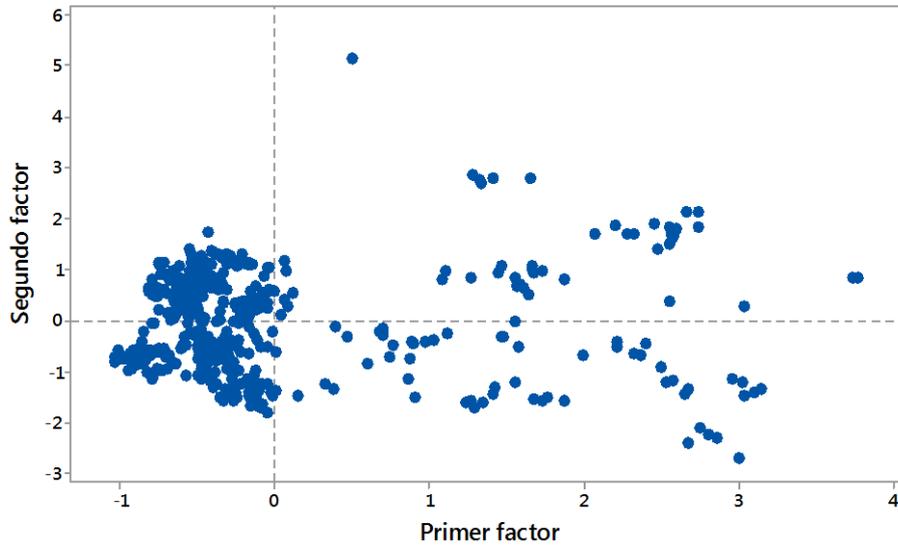


Figura 63: Gráfica de Puntuaciones para las muestras a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.3.4.4. Gráfica de Influencias

En el gráfico de influencias, de la figura 64, se puede observar la influencia que tiene cada variable sobre los dos primeros factores, ya que éstos son los que mayor representatividad tiene sobre todo el estudio. Las variables que se encuentran más alejadas del centro, indican mayor influencia sobre el factor analizado. Para este caso el CO₂, O₂, MAP, HC, CO, SFT, son las variables que más influencia aportan a los factores.

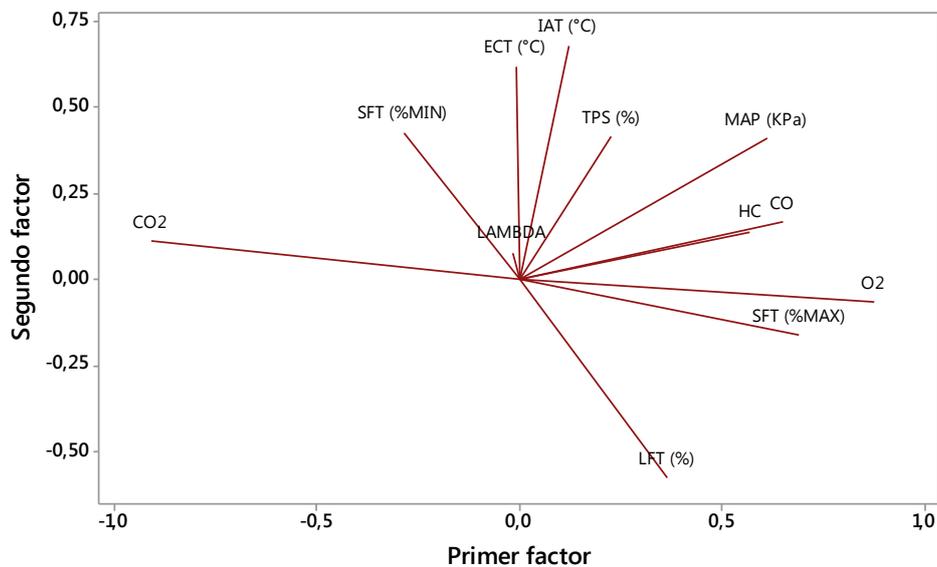


Figura 64: Gráfica de Influencias para las muestras a 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

6.3.4.5. Gráfica de Doble Proyección

La gráfica de doble proyección, de la figura 65, muestra la superposición de las gráficas de influencias y la de puntuación, sirve para identificar cómo las variables más representativas afectan al primer o segundo factor. Se identifica que el CO₂ se ve influenciado especialmente sobre el segundo factor y el MAP, SFT, O₂ y HC tiene mayor influencia sobre el primer factor.

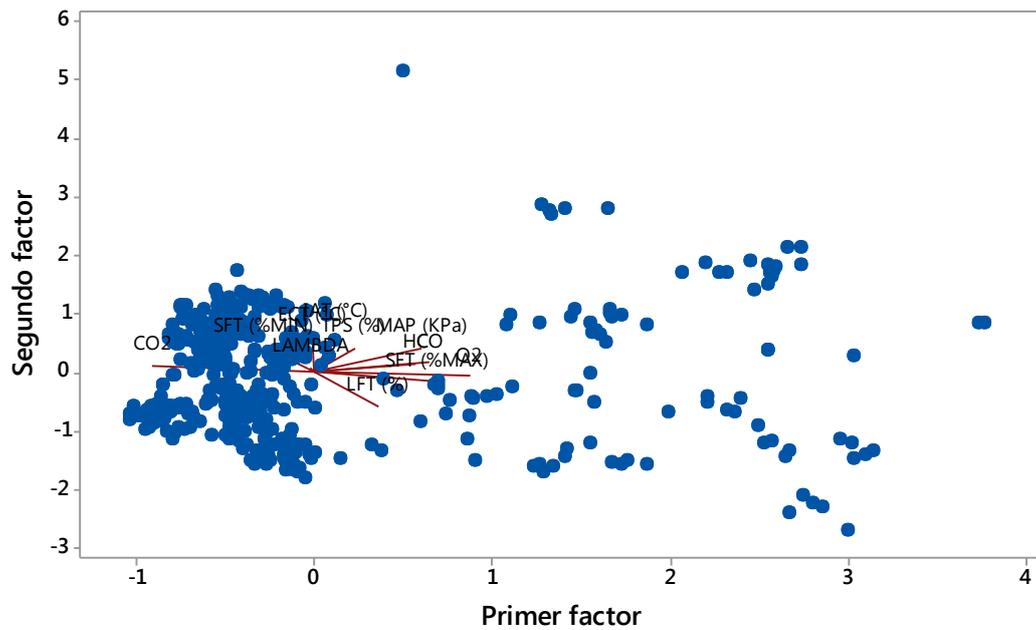


Figura 65: Gráfica de Doble Proyección para las muestras de 2500 RPM.

Fuente: Los Autores.

7. CONCLUSIONES

- Para el comportamiento del sensor MAP, se determinó que la variación media, por el análisis de Tukey, a ralentí y a 2500 RPM, es de 1,7 KPa para toda la muestra, información que es confirmada por la gráfica de intervalos donde se observa la variación media; representando así los dos estados diferentes de funcionamiento de los vehículos.
- El comportamiento del sensor TPS no se ve alterado por los fallos en el sistema de inyección, cada fabricante determina el porcentaje de apertura de la mariposa de aceleración para diferentes velocidades.
- Mediante el análisis ANOVA de un solo factor, aplicado a diferentes grupos de muestras a ralentí y a 2500 RPM, se logró determinar que la información recopilada para el estudio es válida, ya que mediante la gráfica de probabilidad normal muestra que los puntos están agrupados alrededor de la línea recta, los histogramas tienden a formar una campana y son simétricos con el centro en cero y que los residuos de los valores ajustados y frente al orden de observación muestra datos dispersos, con ciertos datos que presentan anomalías debido a los fallos presentados en los vehículos.
- El proceso establecido para la toma de datos, aseguró que la información obtenida no se vea alterada por errores durante la medición, reduciendo así el riesgo de obtener datos alterados o que presenten comportamientos atípicos durante la realización del estudio.
- Mediante el análisis realizado a la temperatura del refrigerante y del aire de admisión, se describe que éstas dos variables no influyen en la alteración del funcionamiento del motor entre los estados de funcionamiento que han sido analizados en el presente estudio.
- El SFT, se dividió las mediciones para documentar el valor máximo y mínimo, ya que el SFT trabaja en rangos positivos y negativos, haciendo que la mezcla aire combustible sea rica y pobre; para este caso mediante el análisis realizado de Tukey se observa que la variación media es de 3,9% cuando empobrece la mezcla y 1,6% cuando enriquece la mezcla, el mayor porcentaje de empobrecimiento se da porque al presentarse los fallos, los PID's de la ECM hacen que se enriquezca la mezcla para evitar daños graves en el motor.

- Se observaron casos que el SFT estaba cerca del 20%, describiendo así un comportamiento al borde de generar un código de fallo, debido a que la ECM intenta compensar los fallos, pero los mismos son demasiado graves, este comportamiento es observado también en la gráfica de intervalos del análisis ANOVA realizado.
- Para el caso del LFT, mediante la gráfica de Tukey se observa como existe una variación entre los dos estados de funcionamiento de los vehículos, describiendo una variación media de 4,5% para las muestras a ralentí y del 3,6% para las muestras a 2500 RPM, de igual manera el LFT es un indicador del funcionamiento del motor, mientras el ajuste sea más cercano a cero, significa que los sistemas del motor están trabajando correctamente.
- En el análisis de los gases contaminantes, mediante la gráfica de intervalos de funcionamiento, del análisis ANOVA, se evidencia la variación media que existe entre el estado de mal y buen funcionamiento del motor; para el caso del CO existe una diferencia de 0.41% para ralentí y del 0,68% en el caso a 2500 RPM.
- La emisión de CO₂ se describe la diferencia en el gráfico de Tukey, donde se nota una variación media de -1,7% para el caso a ralentí y del -2,15% para 2500 RPM, el comportamiento de este gas es diferente, ya que tiende a aumentar mientras el estado del vehículo es mejor, por eso describe una variación negativa en el análisis realizado, el CO₂ es un claro indicador de que el proceso de combustión se produzca correctamente, mientras más cercano sea al 14% es mejor.
- Los HC se ven aún más afectados cuando se los compara en los dos diferentes estados de funcionamiento, los HC tienden a aumentar como efecto de problemas en la combustión, esto se evidencia en el análisis de Tukey, donde se describe que existe una variación media de 425 ppm para el ralentí y de 450 ppm a 2500 RPM.
- En general todas las variables que han sido analizadas, presentan variaciones entre los estados de mal y buen funcionamiento del motor, confirmando que la información de la base de datos es válida, mediante técnicas de aprendizaje y clasificación se determinó que existen valores caracterizados por atípicos o que evidencian errores en los datos, pero al analizarlos individualmente se concluye que los mismos presentan anomalías por los efectos que producen los fallos en el sistema de inyección del motor, por lo tanto, son válidos también para el estudio.

- Mediante el análisis de componentes principales, se determina que los datos adquiridos son correctos, se determina el comportamiento de las variables analizadas y su influencia en el resultado del estudio, determinando las componentes más importantes, describiendo que el comportamiento del MAP, ECT, IAT tiene influencia directa sobre la emisión de CO, CO₂, HC.
- El análisis de factores, confirma que la información adquirida por los sensores tiene influencia sobre el cálculo del tiempo de inyección que realiza la ECM, ya que se ve que existe influencia sobre el SFT, LFT y sobre los gases emitidos al ambiente.

8. RECOMENDACIONES

- El estudio se puede repetir a más vehículos del mercado nacional, para poder alimentar la información de la base de datos con la finalidad de poder detectar averías en el sistema de inyección que el sistema de diagnóstico a bordo no puede predecir y mejorar la gestión del mantenimiento.
- Mediante el estudio de componentes principales y análisis de factores, se puede determinar la influencia de las variables estudiadas y poder reducir el número de las mismas con la finalidad de ampliar el estudio realizado para próximos proyectos técnicos donde se desarrolle algoritmos para la detección de fallos incipientes en el vehículo.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, Y., & Tandazo, F. (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*. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana.
- Alegre Martín, J., & Cladera Munar, M. (2002). *INTRODUCCIÓN A LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA ECONOMISTAS*. PALMA: Universidad de les Illes Balears.
- Apolo, V., & Gordillo, D. (2017). *Determinación de la Fiabilidad de un motor Corsa Evolution 1.4L a partir del análisis de modos de fallas en línea basado en la distribución de Weibull*. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana.
- Arízaga, H., & Ordoñez, D. (2016). *Elaboración de una base de datos de un motor de encendido provocado Hyundai Accent DOHC 1.5L a través del procesamiento estadístico de la señal del sensor de oxígeno de banda corta*. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana.
- Arques Patón, J. L. (2010). *Ingeniería y gestión del mantenimiento en el sector ferroviario*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Barreto, X., & Zhunio, L. (2017). *Diagnóstico en línea de un motor de encendido provocado Hyundai Accent DOHC 1.5L a través de herramientas de aprendizaje y clasificación mediante el análisis del sensor de oxígeno de banda corta*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Cabrera, P., & Ronquillo, S. (2016). *Detección de fallas incipientes a través del análisis de vibraciones mediante tiempos cortos en un motor de combustión interna Hyundai Sonata EF 2.0*. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana.
- CALDERON, A. (2012). *OPTIMIZACIÓN DE LA POTENCIA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA GASOLINA MEDIANTE EL CONTROL DE AJUSTES DE COMBUSTIBLE Y EL MONITOREO DEL SENSOR DE OXÍGENO*. LATACUNGA: UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS.

- Calleja, D. G. (2016). *Mantenimiento Mecánico Preventivo del Vehículo*. Madrid: PARANINFO.
- Cepeda, C., & Rivera, J. (2017). *Diagnóstico de fallas de un motor de encendido provocado Corsa Evolution 1.4L mediante el análisis de las señales de los sensores MAP, TPS, VSS, utilizando herramientas de aprendizaje y clasificación*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Chica, J. F., & Rivera, N. D. (2017). *ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR CICLO OTTO DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA RESPECTO DE LA ESTEQUIOMETRÍA DE LA MEZCLA Y DEL ADELANTO AL ENCENDIDO PARA LA CIUDAD DE CUENCA*. QUITO.
- EMPRENTO CORP. (19 de 07 de 2018). *Códigos DTC*. Obtenido de <https://codigosdtc.com>
- Fantana, N., & Pettersson, L. (s.f.). Evaluación basada en el estado. *Lifetime Management*, 45-54.
- F-CAR LATINOAMERICA. (20 de 07 de 2018). *FCAR LATINOAMERICA*. Obtenido de <http://fcarlatinoamerica.com/productos/item/3-scanner-f3s-w>
- General Motors Ecuador. (2002). *Manual de Taller Corsa Evolution 2002 - 2006*. Quito.
- Moreira, E. E. (2018). *Repotenciación de un motor estándar para competencias deportivas*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Palacios, E., & Pesántez, J. (2016). *Creación de una base de datos a partir del análisis de las señales de los sensores del motor para la localización de averías que no generan código*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Parra Márquez, C. A., & Crespo Márquez, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos*. Sevilla-España: INGEMAN.
- Payri, F., & Desantes, J. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Barcelona: Reverté.
- Rovira de Antonio, A., & Muñoz Domínguez, M. (2015). *Motores de Combustión Interna*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia-Madrid.

Sánchez Gutiérrez, M. (2012). *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos*. Andalucía - España: INNOVACIÓN Y CUALIFICACIÓN, S.L.

Sánchez Silva, M. (2010). *Introducción a la confiabilidad y evaluación de riesgos: teoría y aplicaciones en ingeniería*. Bogotá: Universidad de los Andes.

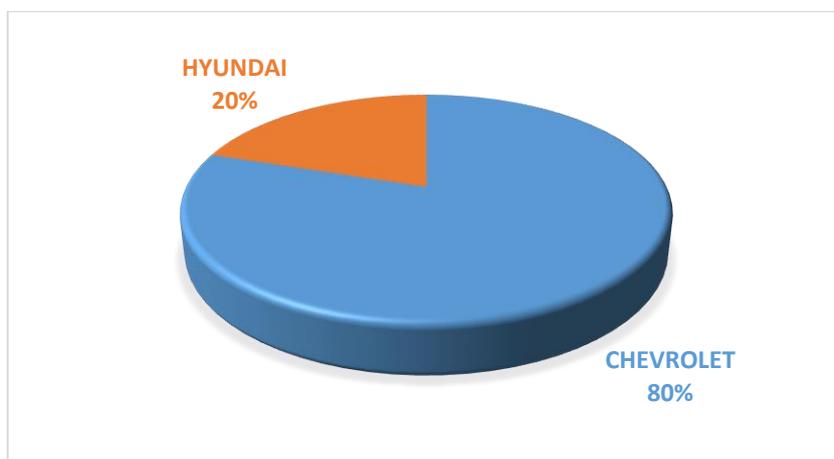
Sánchez, E. (2009). *Sistemas Auxiliares del Motor*. Madrid: Macmillan Iberia, S.A.

10. ANEXOS

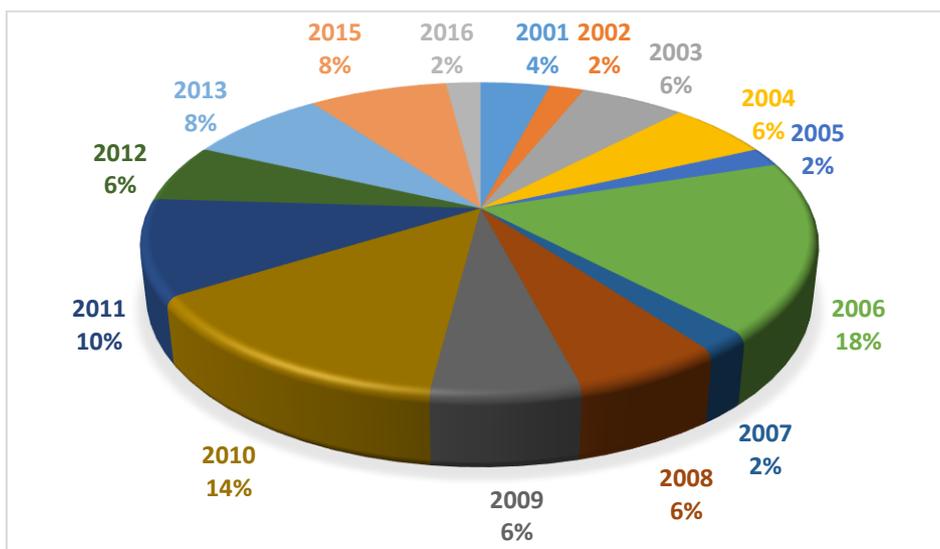
NO.	MARCA	MODELO	AÑO	TIPO	CILINDRAJE	PLACA
1	HYUNDAI	ACCENT	2009	SEDAN	1400	HOM0069
2	HYUNDAI	ACCENT	2010	SEDAN	1400	PBI3817
3	HYUNDAI	ACCENT	2011	SEDAN	1400	ABB4363
4	HYUNDAI	ACCENT	2009	SEDAN	1600	AAX0427
5	CHEVROLET	AVEO	2010	SEDAN	1500	AAX0985
6	CHEVROLET	AVEO	2013	SEDAN	1500	UBA4163
7	CHEVROLET	AVEO	2015	SEDAN	1500	ABF3996
8	CHEVROLET	AVEO	2015	SEDAN	1500	TBE5978
9	CHEVROLET	AVEO	2007	HATCHBACK	1600	UBX0690
10	CHEVROLET	AVEO	2010	SEDAN	1600	XBA2199
11	CHEVROLET	AVEO	2011	SEDAN	1600	PBS8140
12	CHEVROLET	AVEO	2015	SEDAN	1600	PCO7065
13	CHEVROLET	AVEO	2016	SEDAN	1600	ABF7055
14	CHEVROLET	CORSA EVOLUTION	2005	SEDAN	1400	AFE0830
15	CHEVROLET	CORSA EVOLUTION	2006	SEDAN	1400	POU0398
16	CHEVROLET	CORSA EVOLUTION	2006	SEDAN	1400	AFF0359
17	CHEVROLET	CORSA EVOLUTION	2006	SEDAN	1400	POV0707
18	CHEVROLET	CORSA EVOLUTION	2003	SEDAN	1800	PBQ0986
19	CHEVROLET	CORSA EVOLUTION	2004	SEDAN	1800	ADX0206
20	CHEVROLET	CORSA EVOLUTION	2006	SEDAN	1800	POS0206
21	CHEVROLET	D-MAX	2006	CAMIONETA	2400	PVU0381
22	CHEVROLET	D-MAX	2006	CAMIONETA	2400	LCD0503
23	CHEVROLET	D-MAX	2013	CAMIONETA	2400	UPA1170
24	CHEVROLET	D-MAX	2013	CAMIONETA	2400	LBB5449
25	CHEVROLET	D-MAX	2006	CAMIONETA	3500	PON0580
26	CHEVROLET	D-MAX	2006	CAMIONETA	3500	POE0747
27	HYUNDAI	GETZ	2010	HATCHBACK	1400	ABA3745
28	HYUNDAI	GETZ	2011	HATCHBACK	1400	ABB6420
29	HYUNDAI	GETZ	2003	HATCHBACK	1600	PDQ0250
30	HYUNDAI	GETZ	2006	HATCHBACK	1600	PPO0319
31	CHEVROLET	GRAND VITARA SZ	2010	SUV	2000	ABA3874
32	CHEVROLET	GRAND VITARA SZ	2010	SUV	2000	ABB2878
33	CHEVROLET	GRAND VITARA SZ	2011	SUV	2000	PBO8949
34	CHEVROLET	GRAND VITARA SZ	2012	SUV	2000	ABD1074
35	CHEVROLET	LUV	2004	CAMIONETA	2200	PIG0673
36	CHEVROLET	LUV	2004	CAMIONETA	2200	PDI0589
37	CHEVROLET	LUV	2001	CAMIONETA	3200	ADL0177
38	CHEVROLET	N200	2011	VAN	1200	PBS5902
39	CHEVROLET	N200	2012	VAN	1200	ABB9696

40	CHEVROLET	N200	2012	VAN	1200	MBA4754
41	CHEVROLET	N300	2015	VAN	1300	PCM6706
42	CHEVROLET	OPTRA	2008	SEDAN	1800	UBB0411
43	CHEVROLET	OPTRA	2008	SEDAN	1800	PBC7181
44	CHEVROLET	OPTRA	2009	SEDAN	1800	AFY0807
45	CHEVROLET	OPTRA	2013	SEDAN	1800	PCB8873
46	CHEVROLET	TROOPER WAGON	2001	TODO TERRENO	3200	PXU0487
47	CHEVROLET	TROOPER WAGON	2002	TODO TERRENO	3200	ADT0114
48	CHEVROLET	TROOPER WAGON	2003	TODO TERRENO	3200	ABA1571
49	HYUNDAI	TUCSON	2008	SUV	2000	AFU0982
50	HYUNDAI	TUCSON	2010	SUV	2000	PBL7371

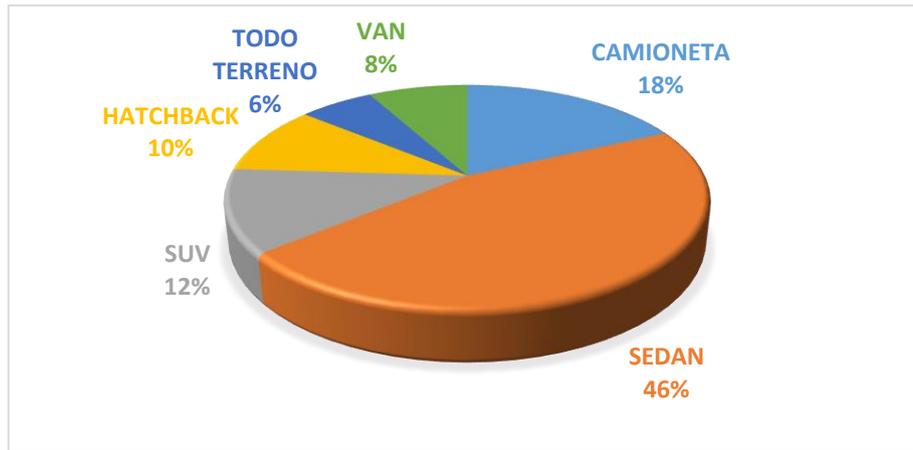
Anexo 1: Vehículos analizados.



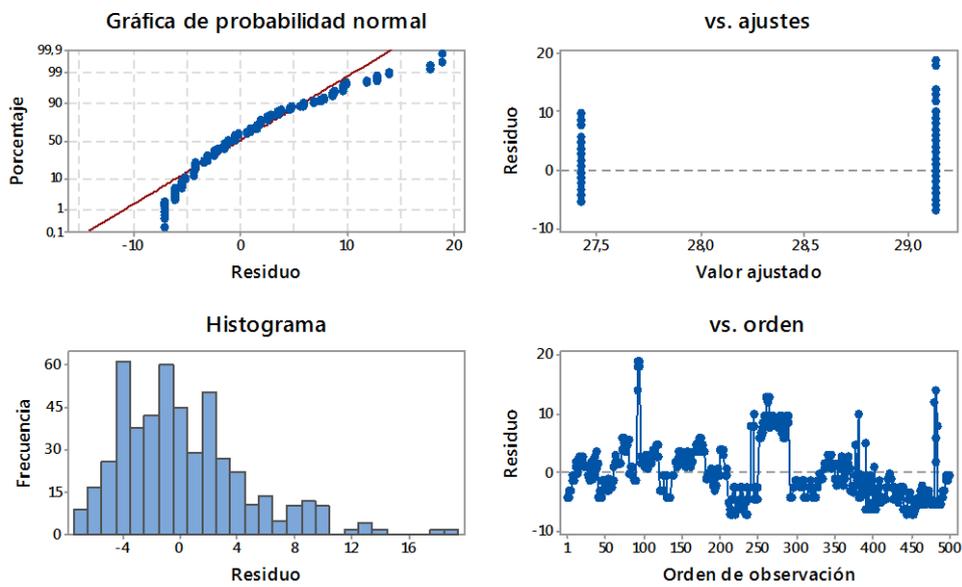
Anexo 2: Clasificación de las Muestras por Marca.



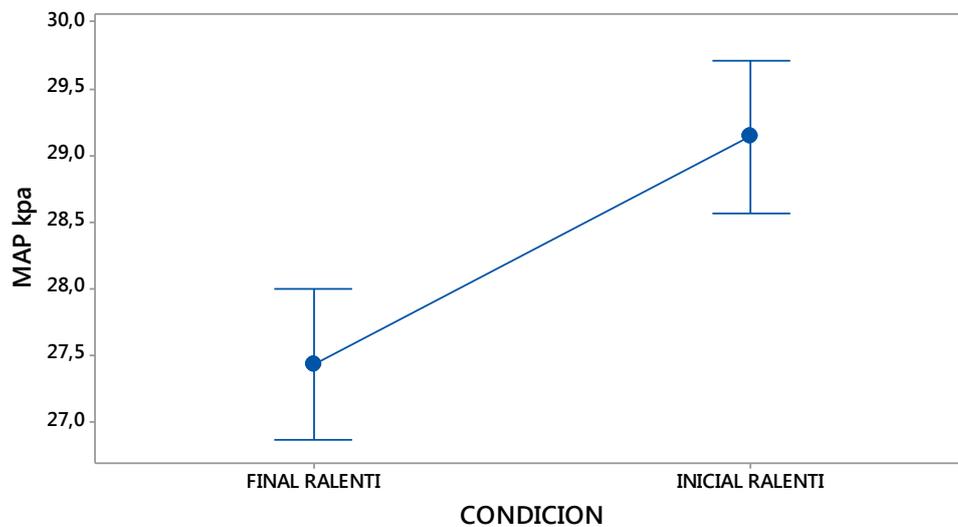
Anexo 3: Clasificación de las Muestras por Año de Fabricación.



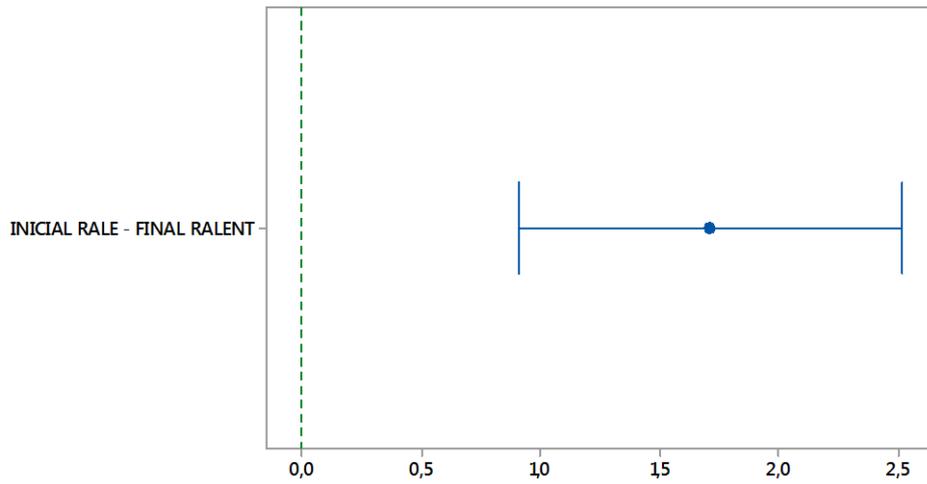
Anexo 4: Clasificación de Vehículos por Tipo.



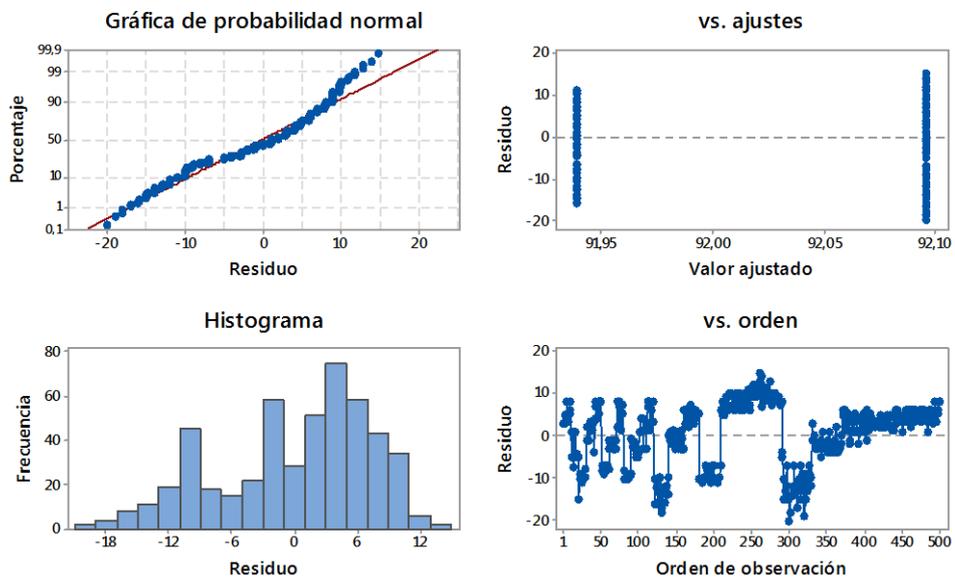
Anexo 5: Análisis de Residuos sensor MAP a Ralentí.



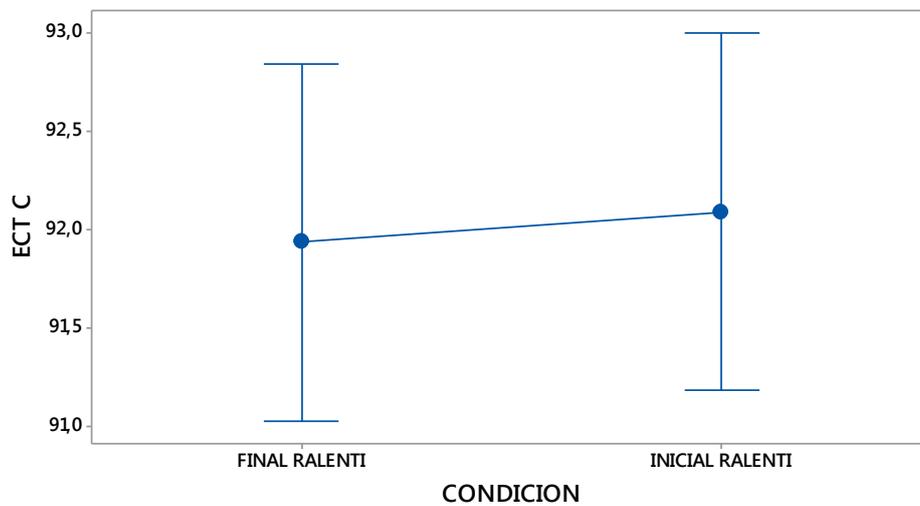
Anexo 6: Gráfica de Intervalos sensor MAP a Ralentí.



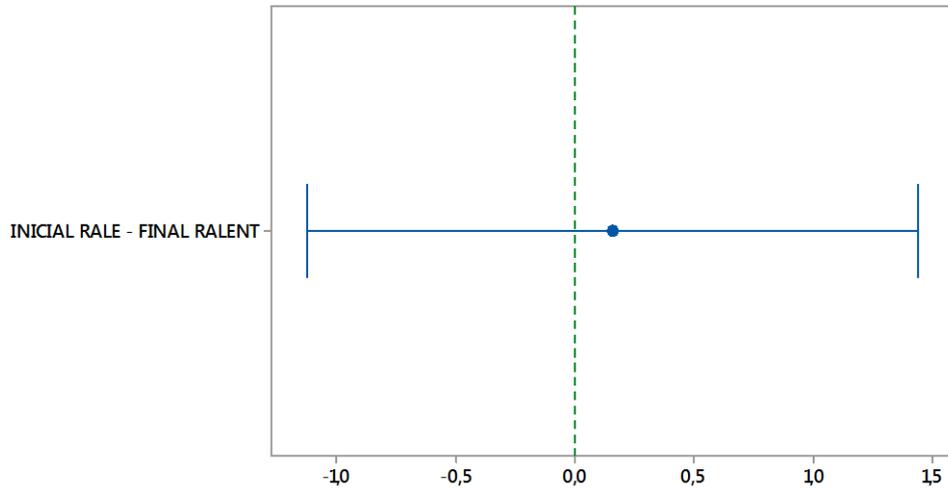
Anexo 7: Gráfica de Tukey sensor MAP a Ralentí.



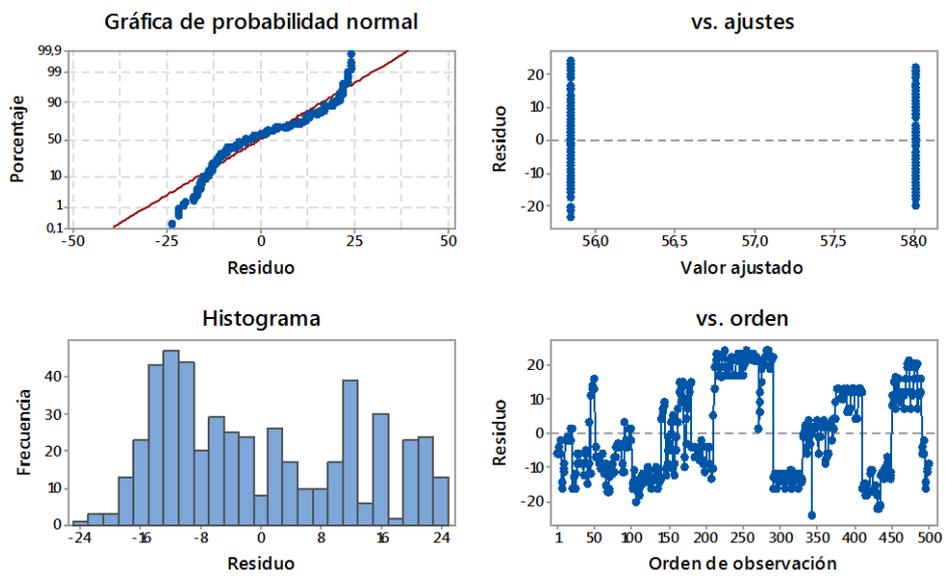
Anexo 8: Análisis de Residuos sensor ECT a Ralentí.



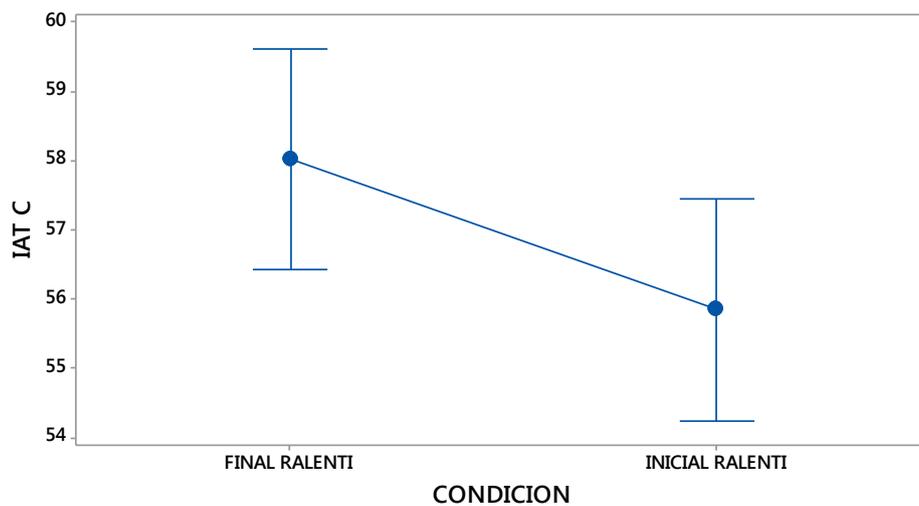
Anexo 9: Gráfica de Intervalos sensor ECT a Ralentí.



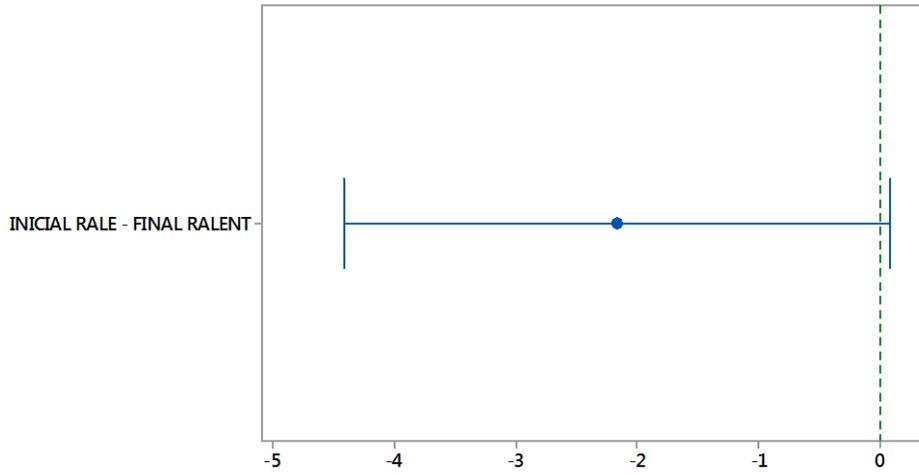
Anexo 10: Gráfica de Tukey sensor ECT a Ralentí.



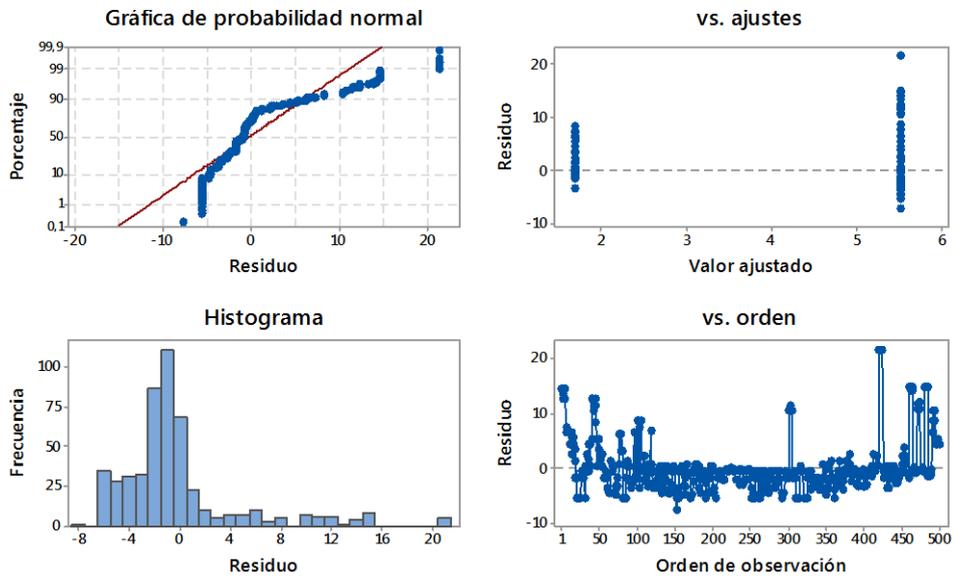
Anexo 11: Análisis de Residuos Sensor IAT a Ralentí.



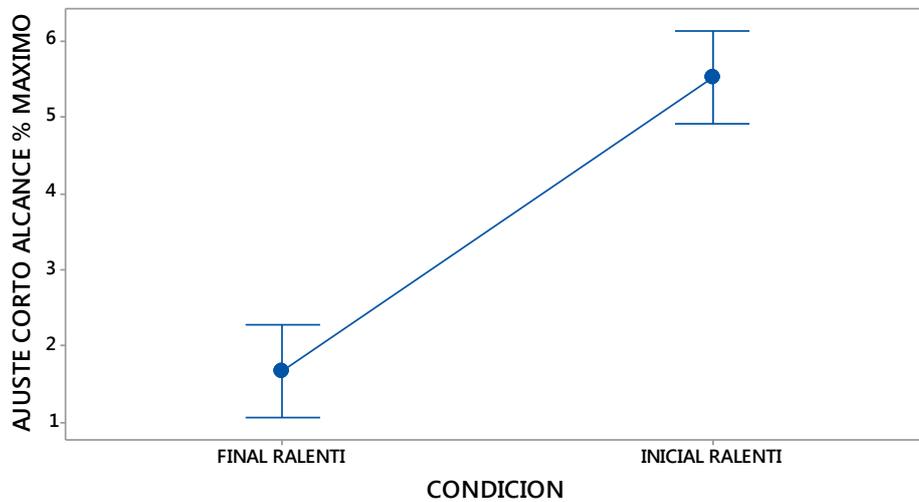
Anexo 12: Gráfica de Intervalos sensor IAT a Ralentí.



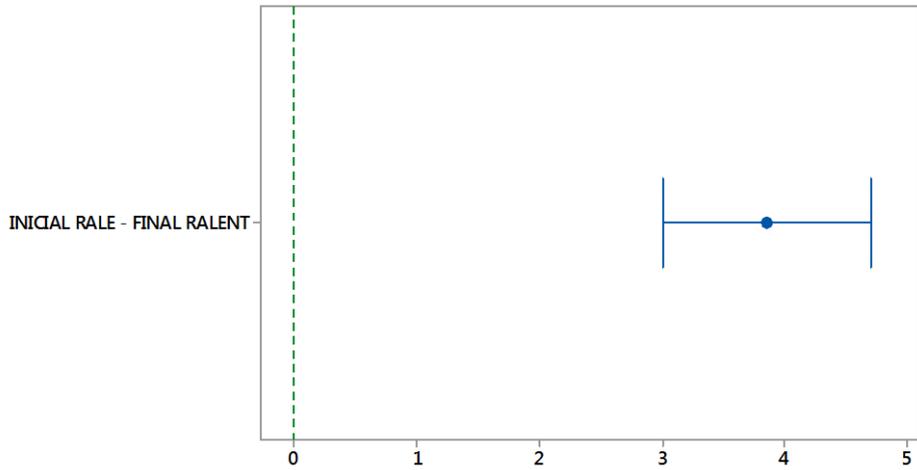
Anexo 13: Gráfica de Tukey sensor IAT a Ralentí.



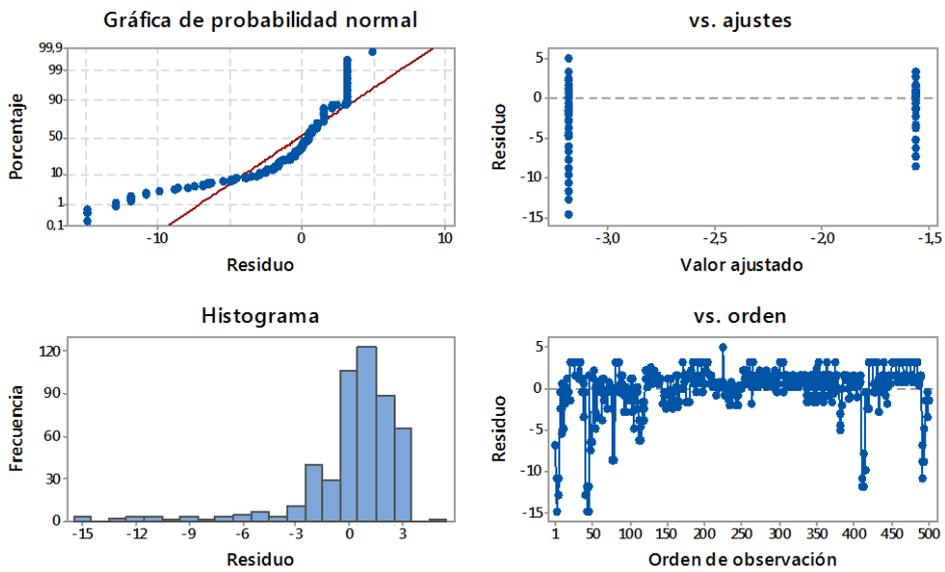
Anexo 14: Análisis de Residuos SFT % Máximo a Ralentí.



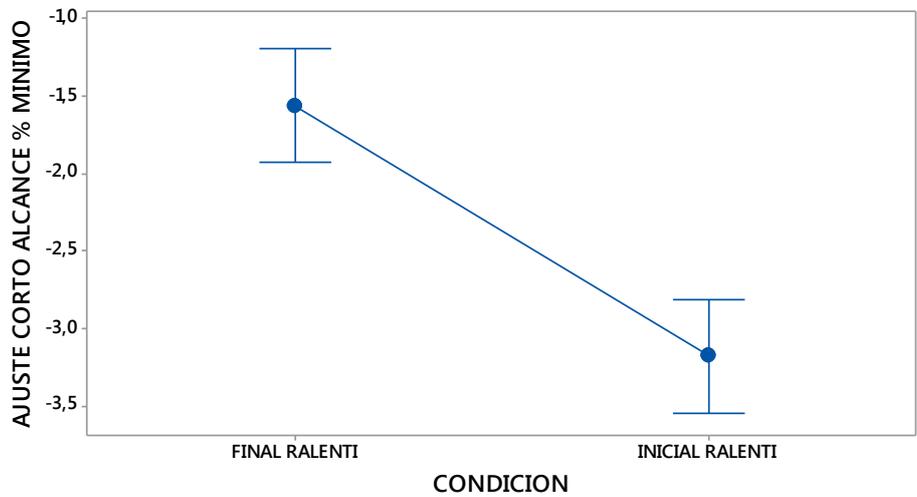
Anexo 15: Gráfica de Intervalos SFT % Máximo a Ralentí.



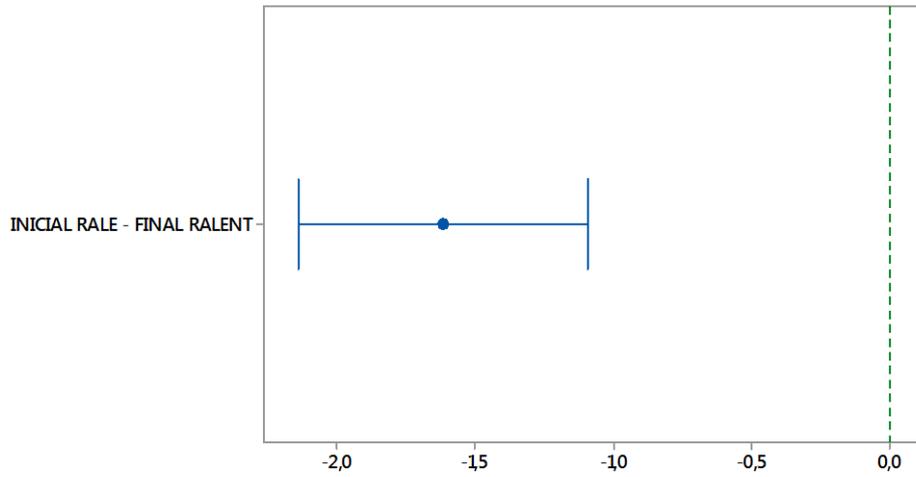
Anexo 16: Gráfica de Tukey SFT % Máximo a Ralentí.



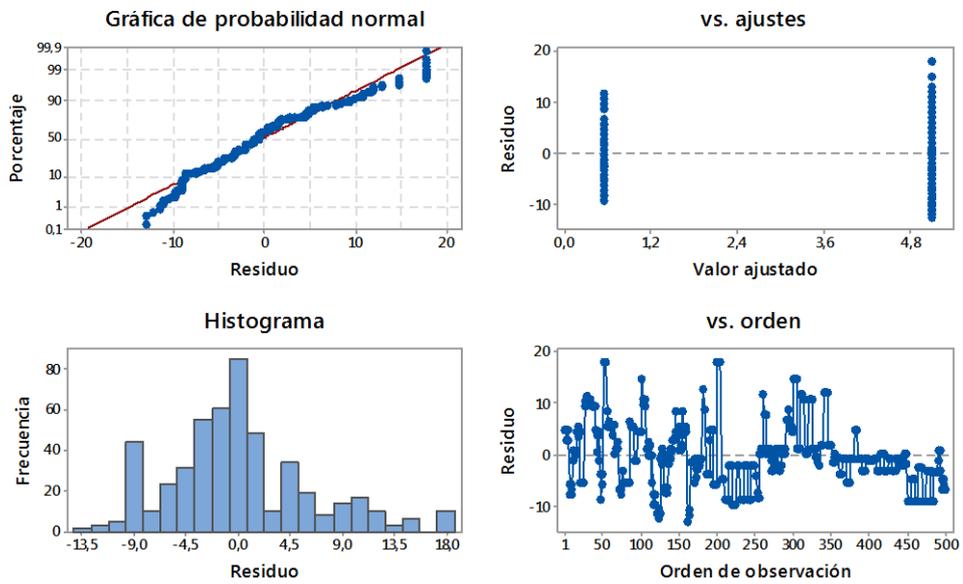
Anexo 17: Análisis de Residuos SFT % Mínimo a Ralentí.



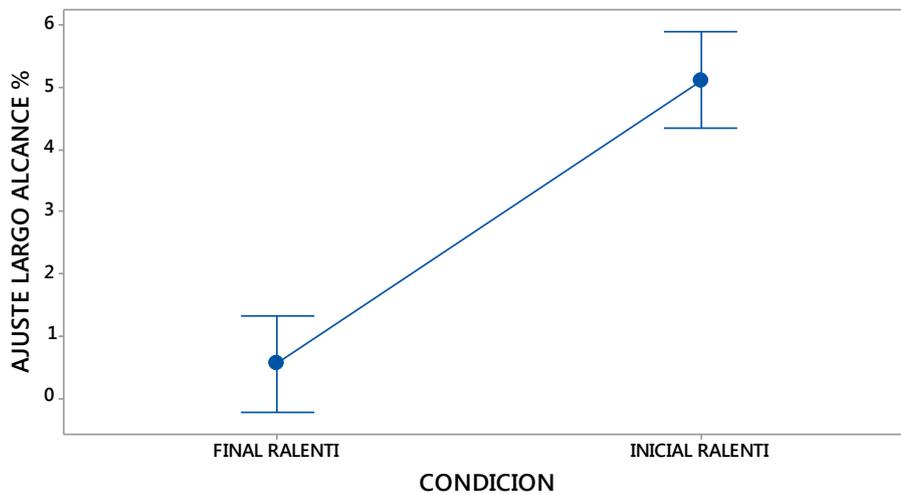
Anexo 18: Gráfica de Intervalos SFT % Mínimo a Ralentí.



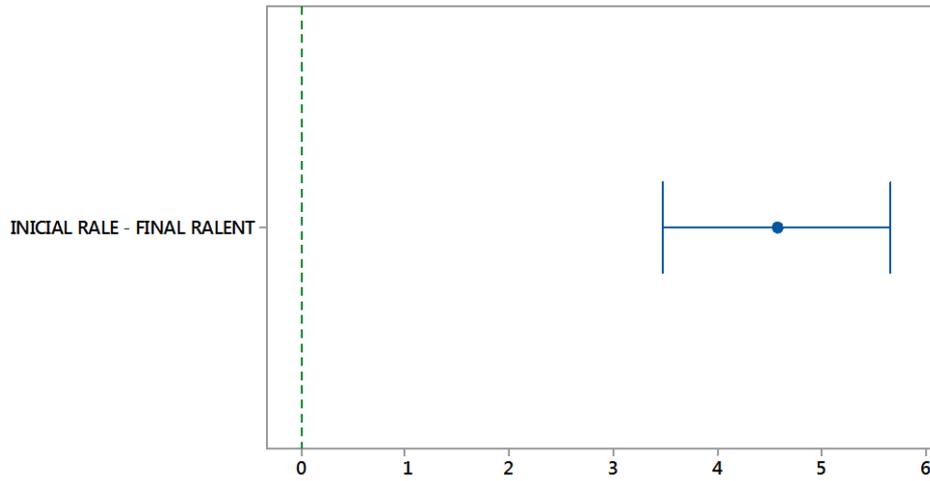
Anexo 19: Gráfica de SFT % Mínimo a Ralentí.



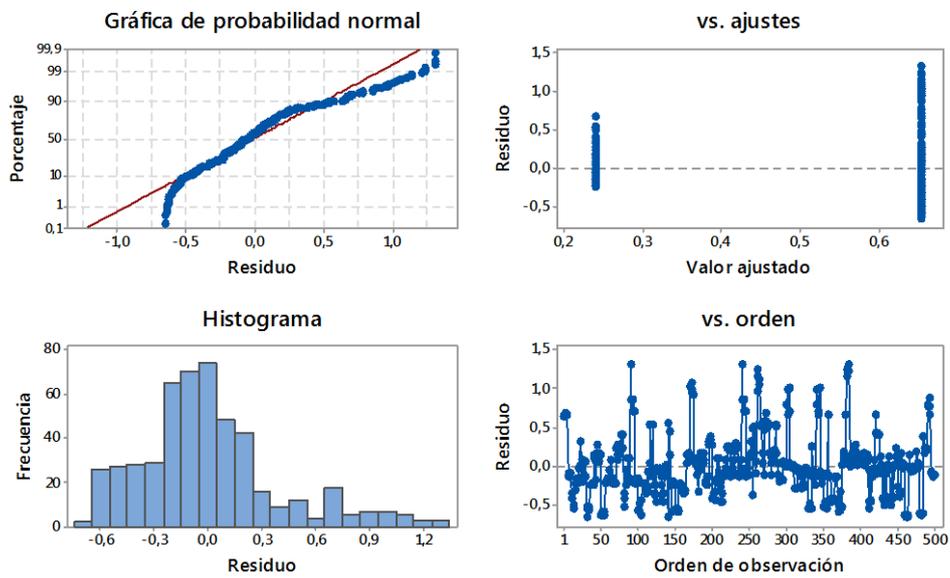
Anexo 20: Análisis de Residuos LFT a Ralentí.



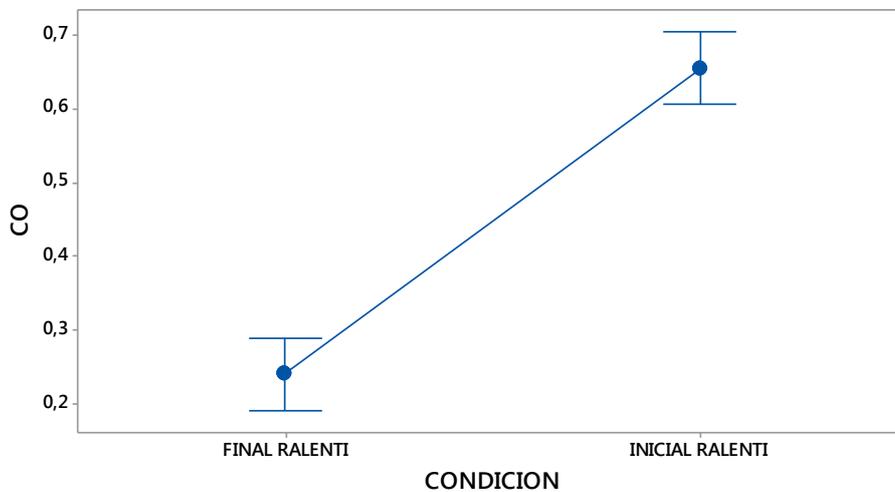
Anexo 21: Gráfica de Intervalos LFT a Ralentí.



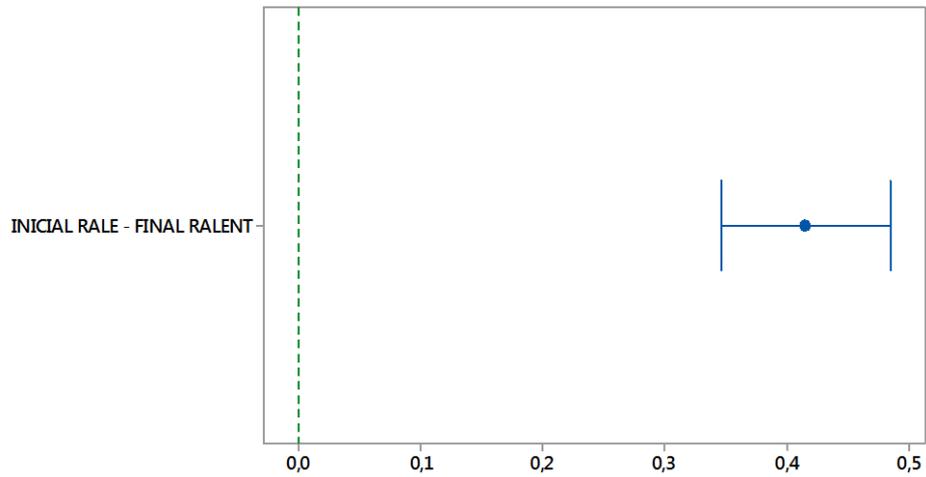
Anexo 22: Gráfica de Tukey LFT a Ralenti.



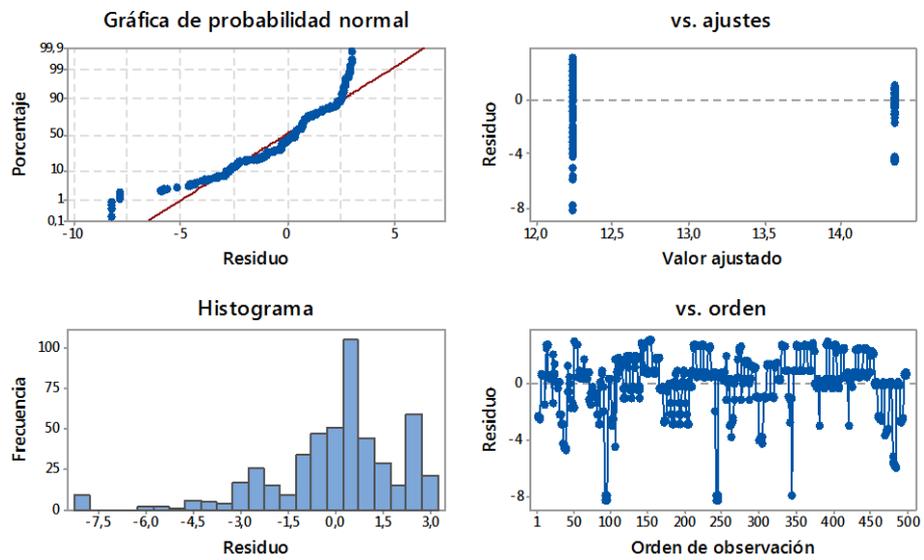
Anexo 23: Análisis de Residuos para CO a Ralenti.



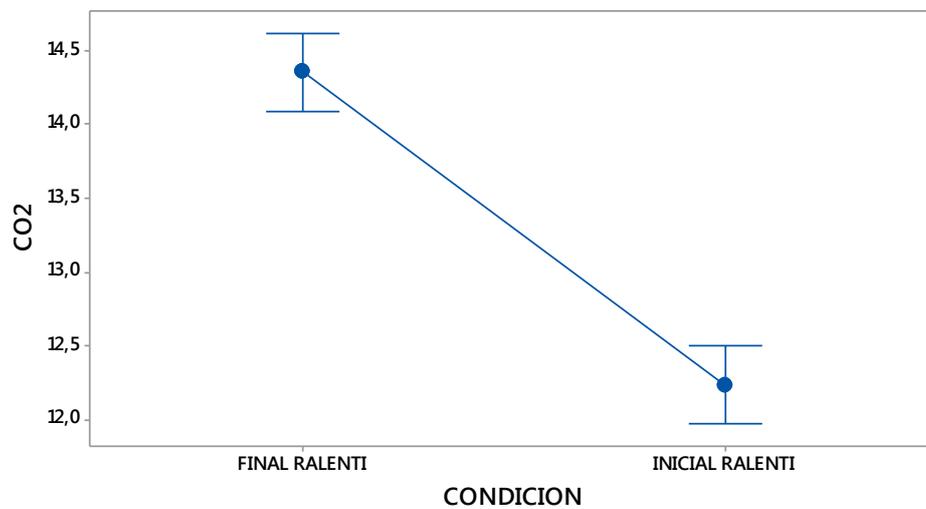
Anexo 24: Gráfica de Intervalos del CO a Ralenti.



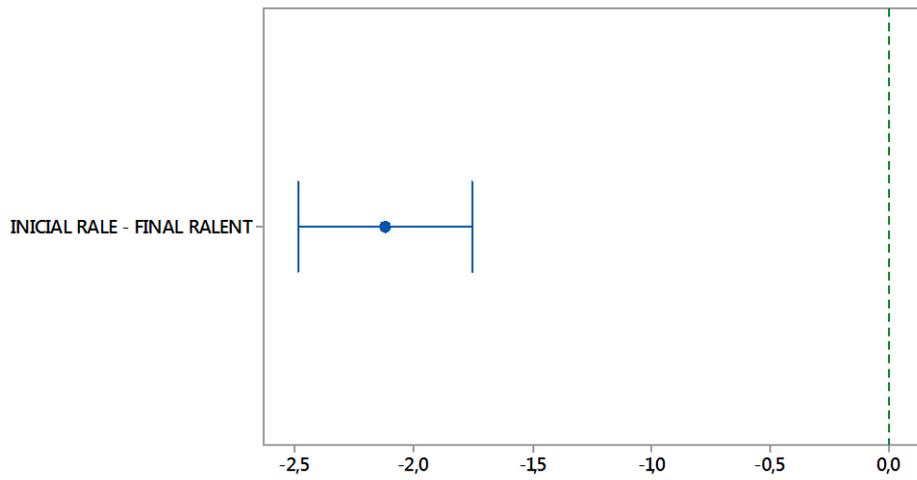
Anexo 25: Gráfica de Tukey para CO a Ralentí.



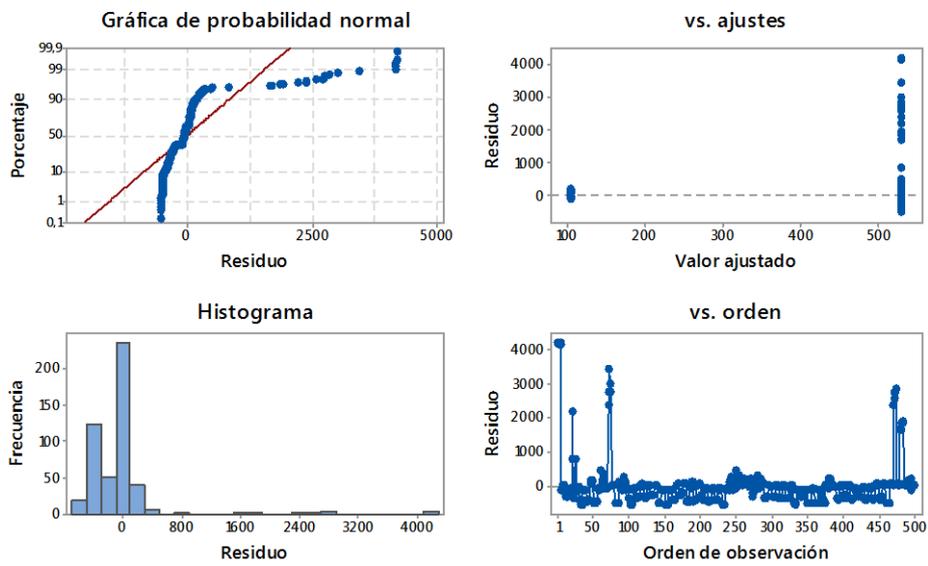
Anexo 26: Análisis de Residuos para CO₂ a Ralentí.



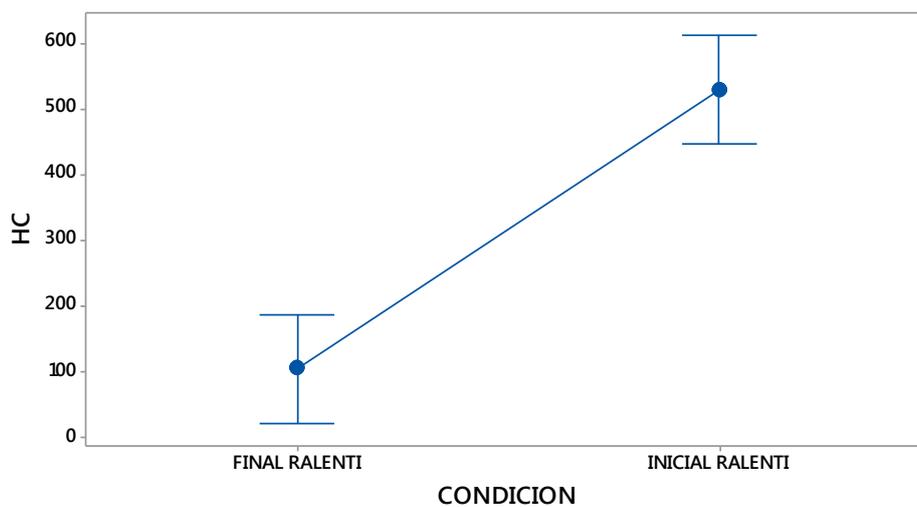
Anexo 27: Gráfica de Intervalos CO₂ a Ralentí.



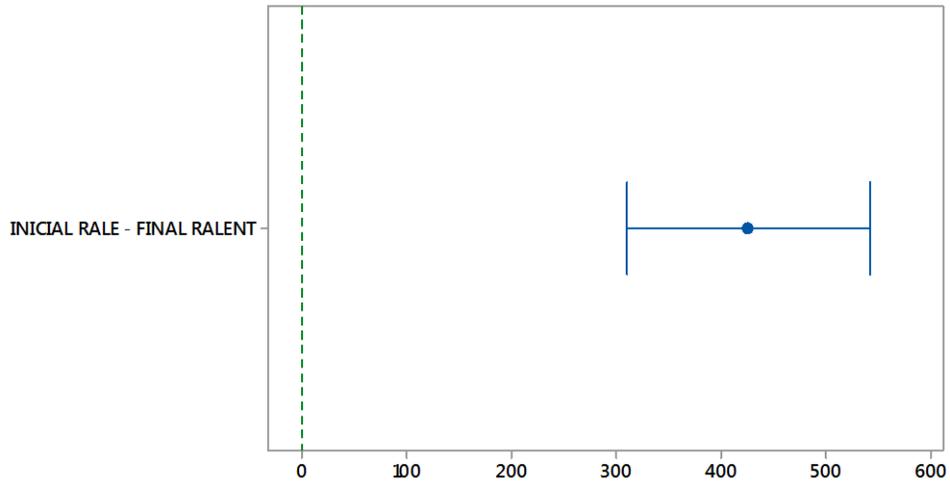
Anexo 28: Gráfica de Tukey para el CO₂ a Ralentí



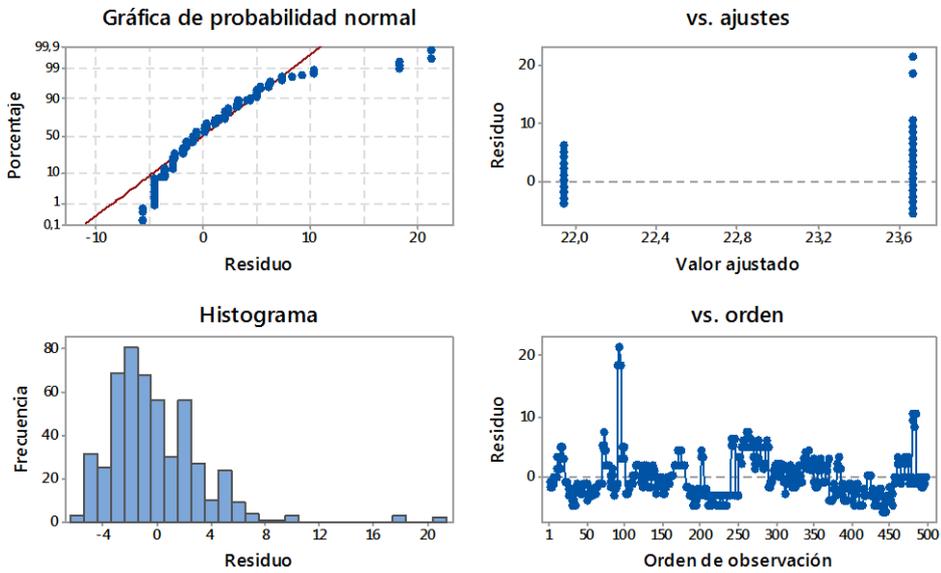
Anexo 29: Análisis de Residuos HC a Ralentí.



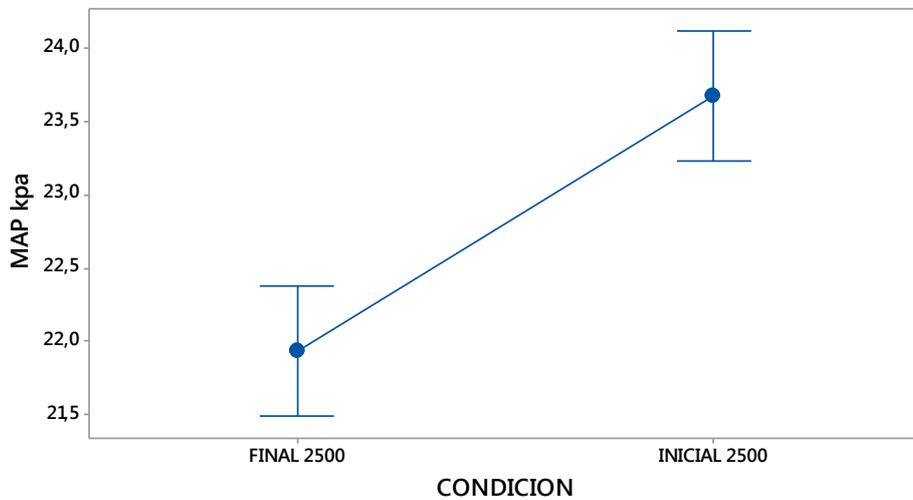
Anexo 30: Gráfica de Intervalos HC a Ralentí.



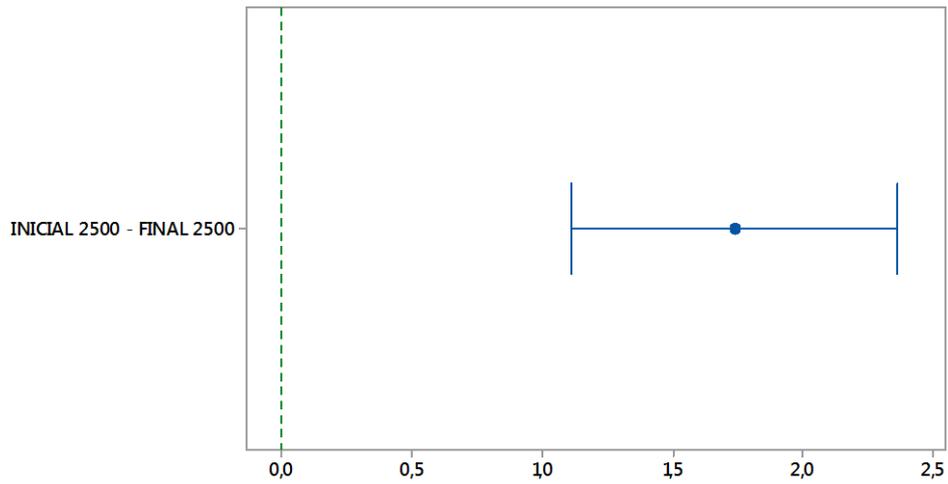
Anexo 31: Gráfica de Tukey para HC a Ralentí.



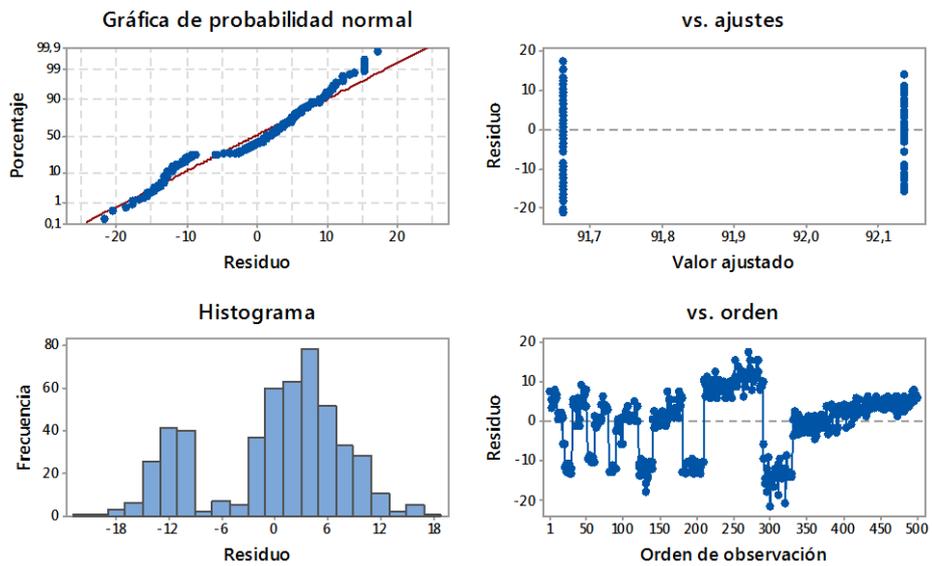
Anexo 32: Análisis de Residuos MAP a 2500 RPM.



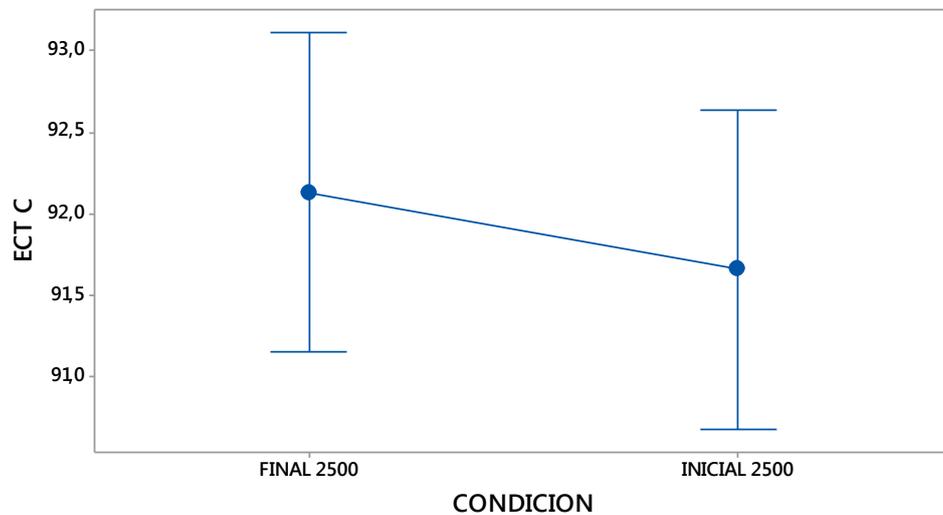
Anexo 33: Gráfica de Intervalos MAP a 2500 RPM.



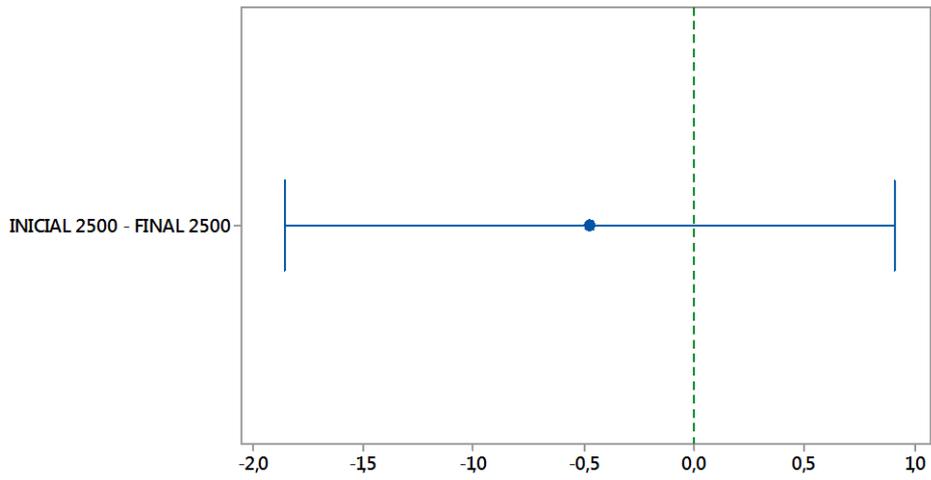
Anexo 34: Gráfica de Tukey para MAP a 2500 RPM.



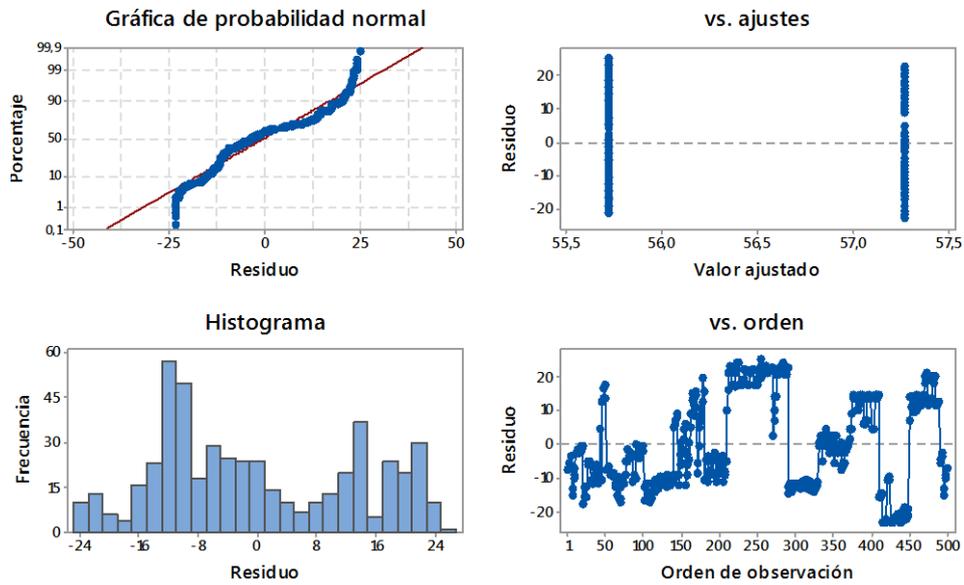
Anexo 35: Análisis de Residuos sensor ECT a 2500 RPM.



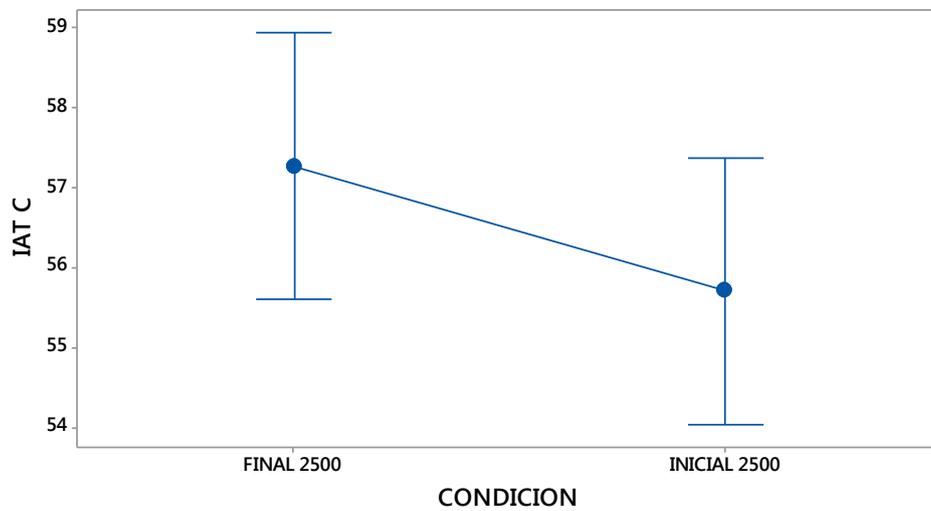
Anexo 36: Gráfica de Intervalos ECT a 2500 RPM.



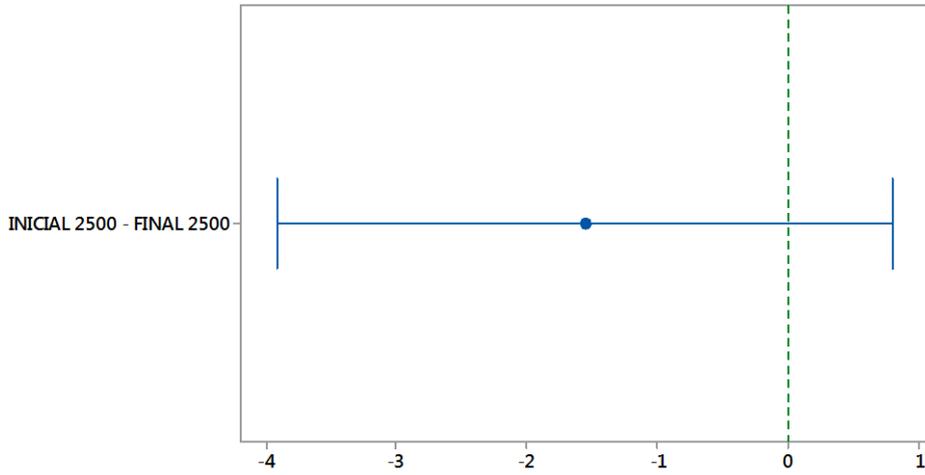
Anexo 37: Gráfica de Tukey para ECT a Ralentí.



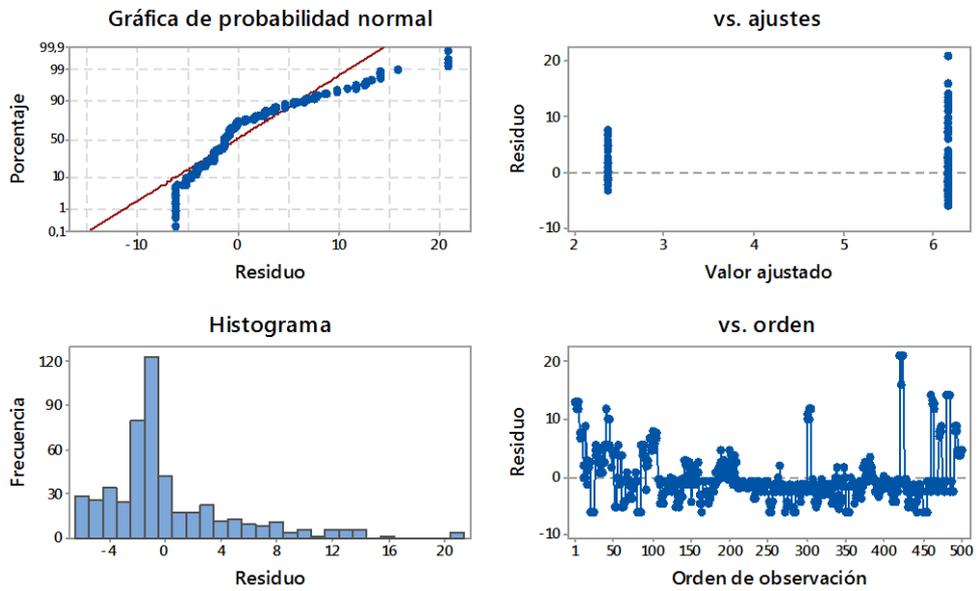
Anexo 38: Análisis de Residuos sensor IAT a 2500 RPM.



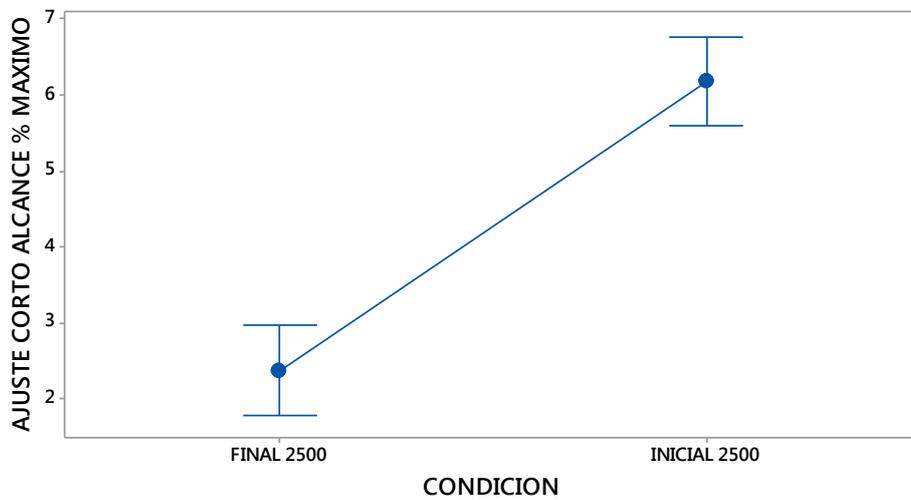
Anexo 39: Gráfica de Intervalos para IAT a 2500 RPM.



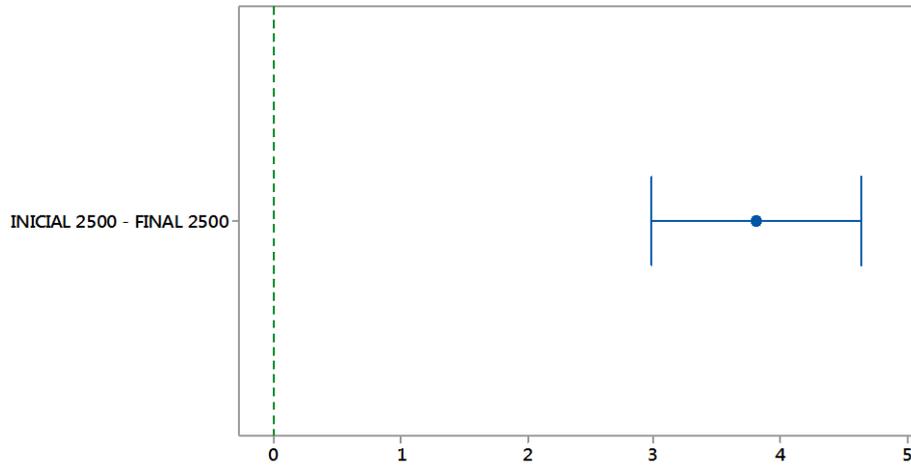
Anexo 40: Gráfica de Tukey para IAT a 2500 RPM.



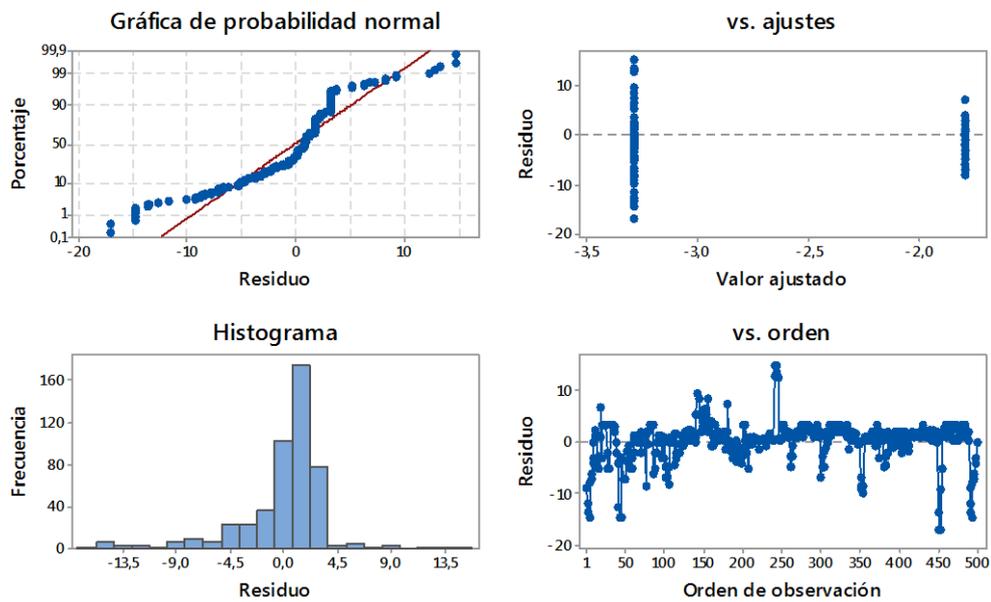
Anexo 41: Análisis de Residuos SFT % Máximo a 2500 RPM.



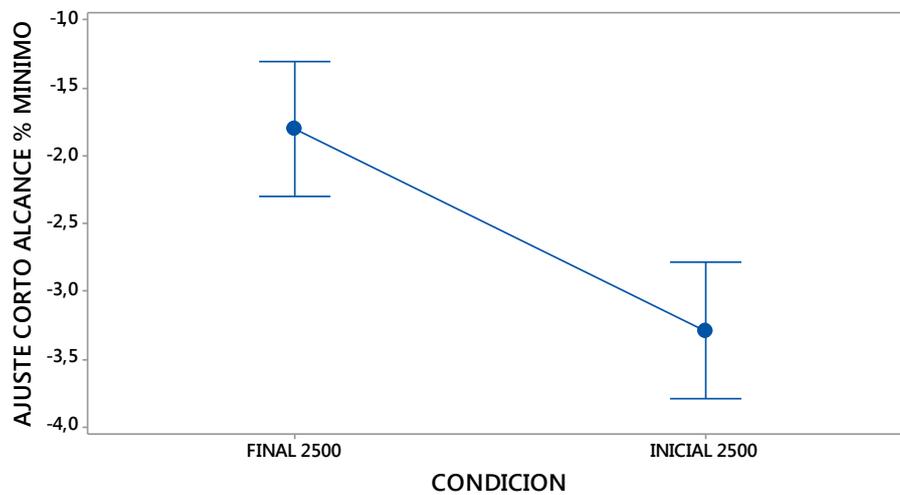
Anexo 42: Gráfica de Intervalos SFT % Máximo a 2500 RPM.



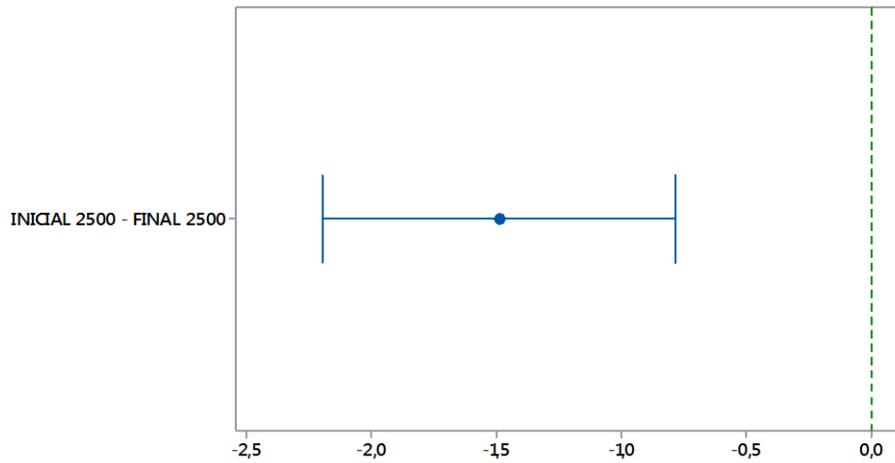
Anexo 43: Gráfica de Tukey para SFT % Máximo a 2500 RPM.



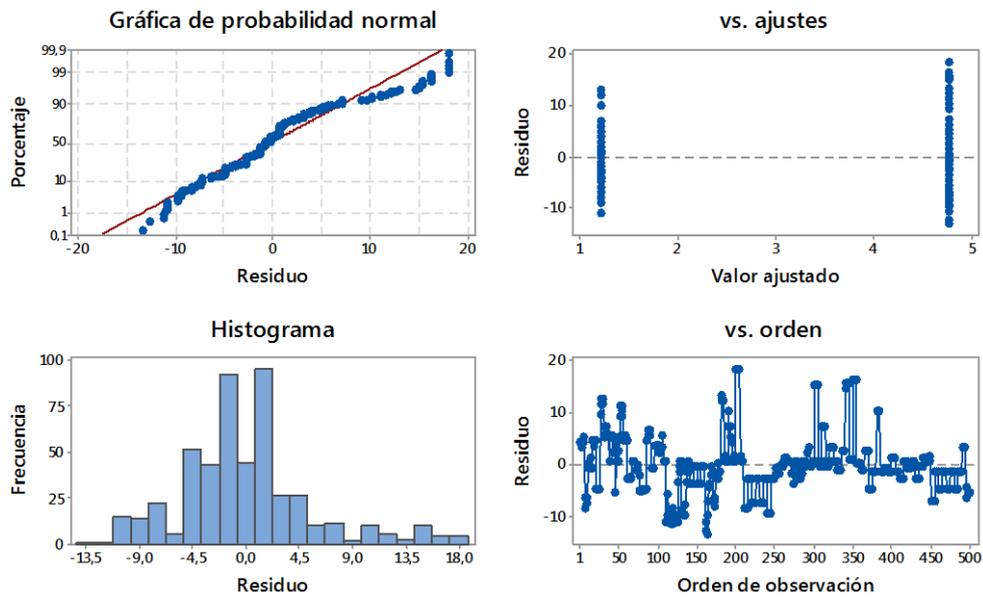
Anexo 44: Análisis de Residuos SFT % Mínimo a 2500 RPM.



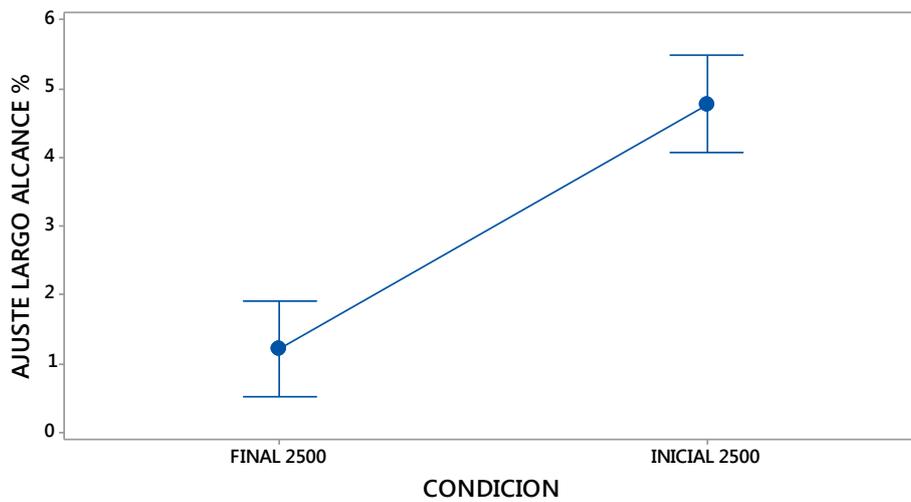
Anexo 45: Gráfica de Intervalos SFT % Mínimo a 2500 RPM.



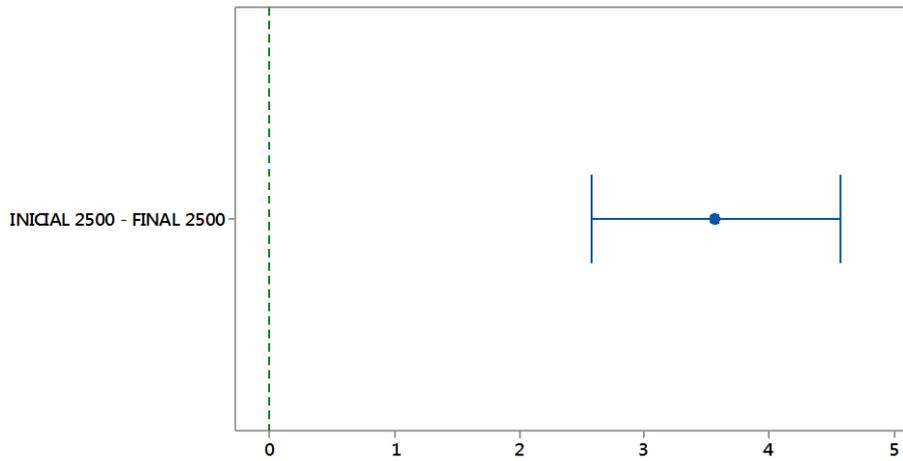
Anexo 46: Gráfica de Tukey SFT % Mínimo a 2500 RPM.



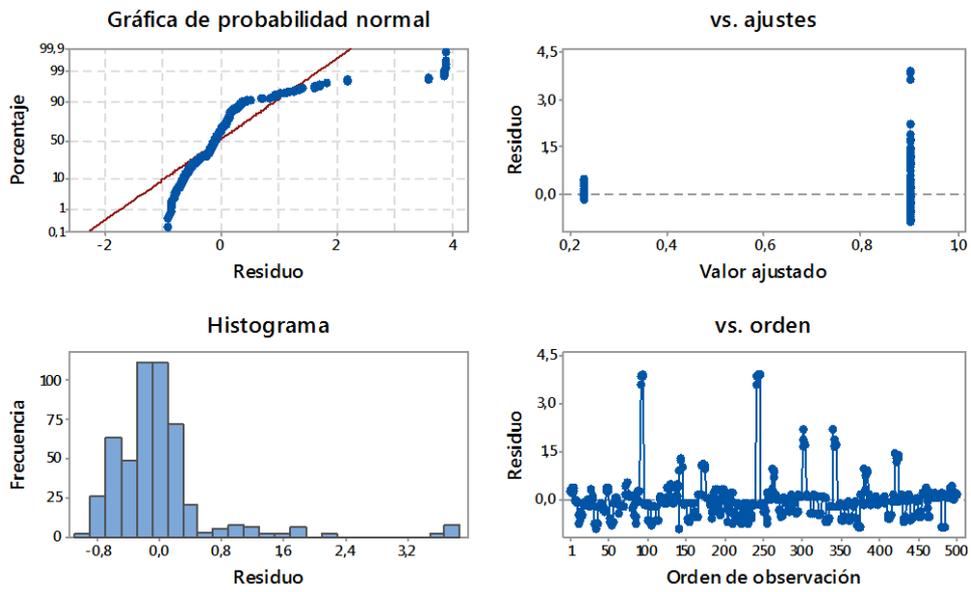
Anexo 47: Análisis de Residuos LFT a 2500 RPM.



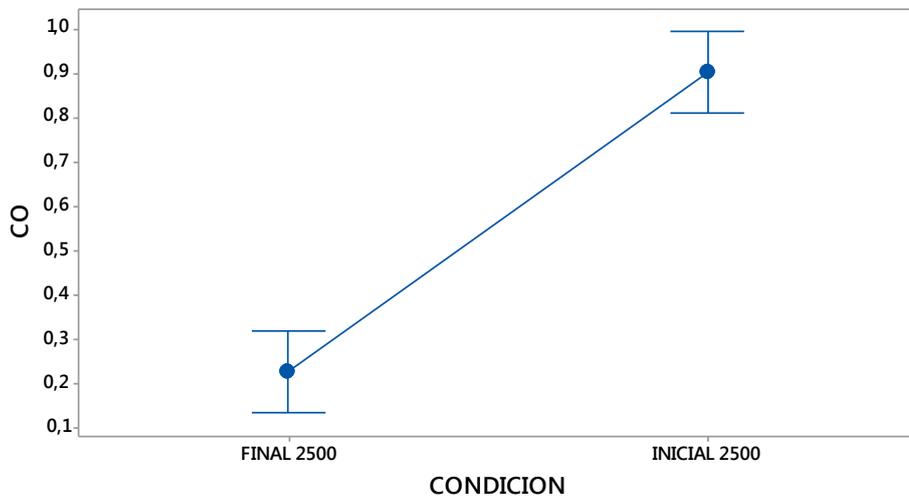
Anexo 48: Gráfica de Intervalos LFT a 2500 RPM.



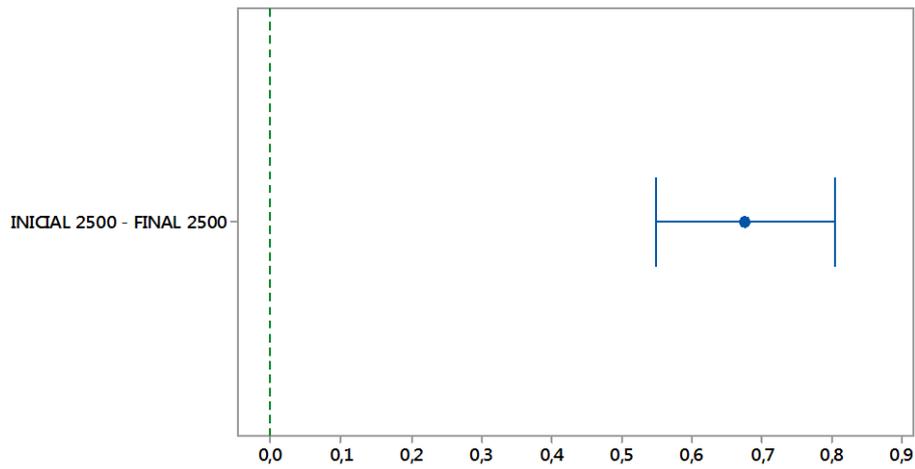
Anexo 49: Gráfica de Tukey para LFT a 2500 RPM.



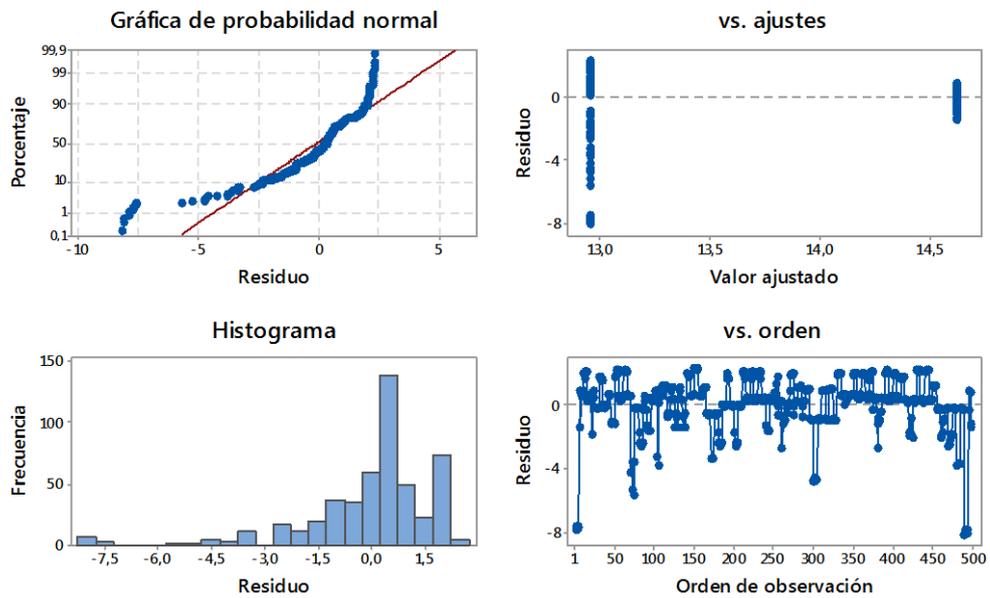
Anexo 50: Análisis de Residuos para CO a 2500 RPM.



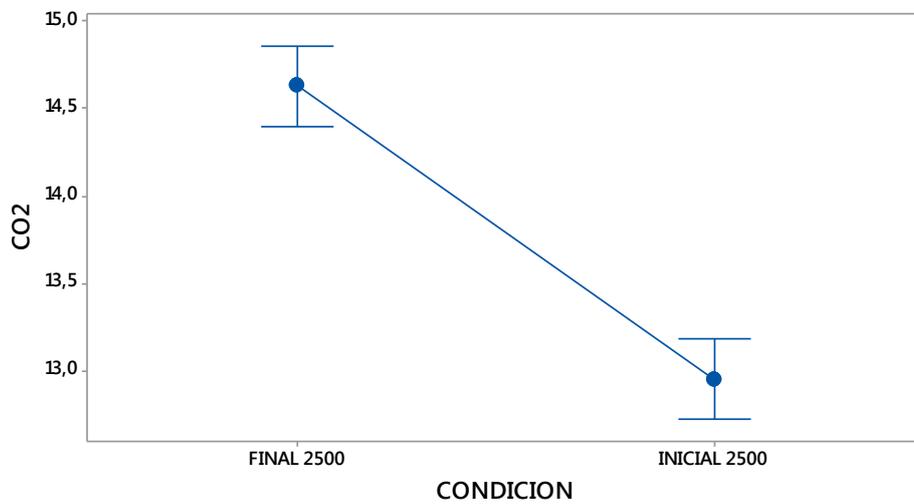
Anexo 51: Gráfica de Intervalos para CO a 2500 RPM.



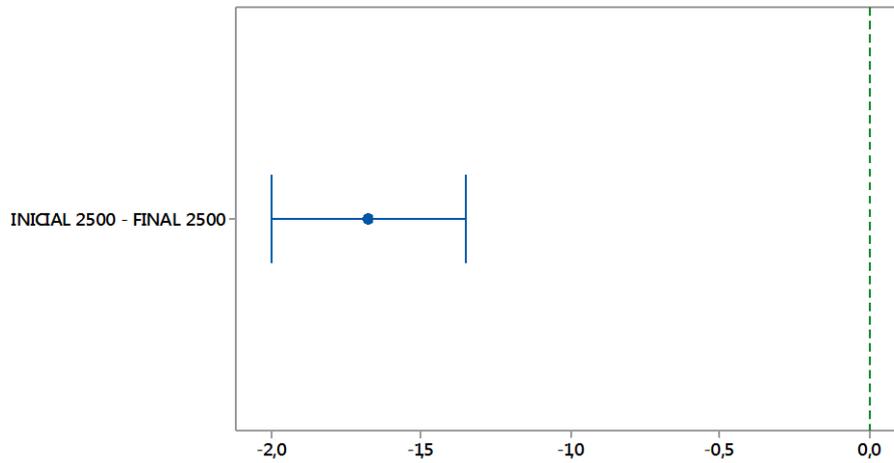
Anexo 52: Gráfica de Tukey para CO a 2500 RPM.



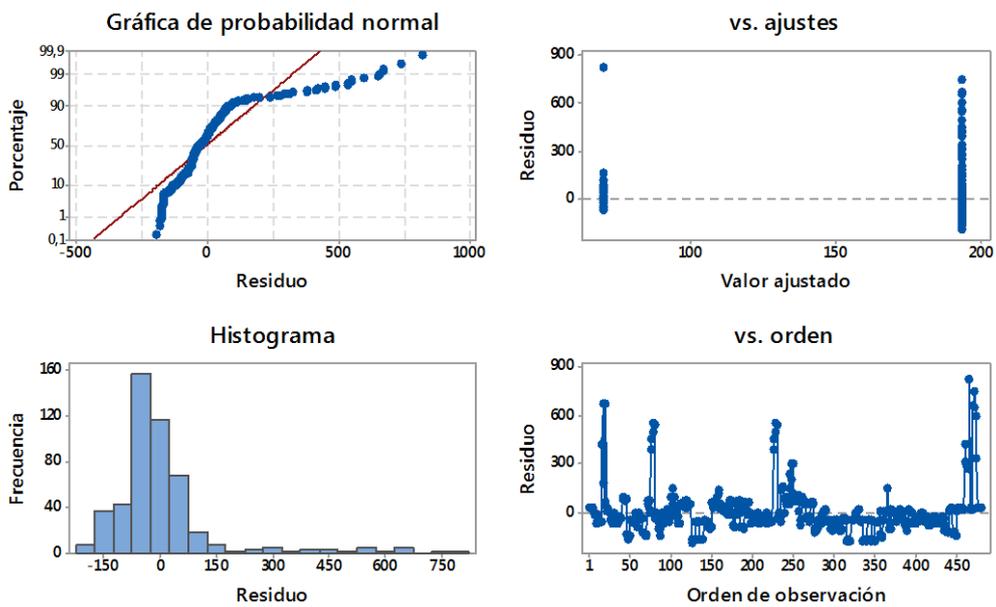
Anexo 53: Análisis de Residuos para CO₂ a 2500 RPM.



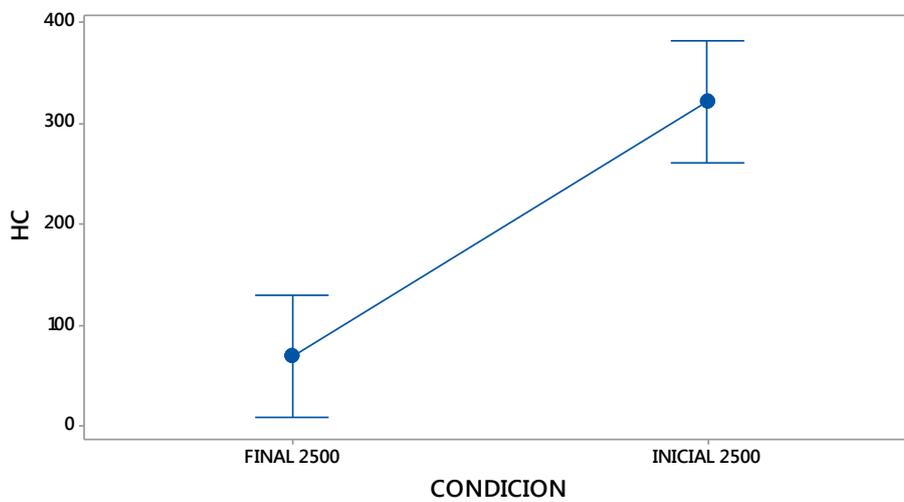
Anexo 54: Gráfica de Intervalos para CO₂ a 2500 RPM.



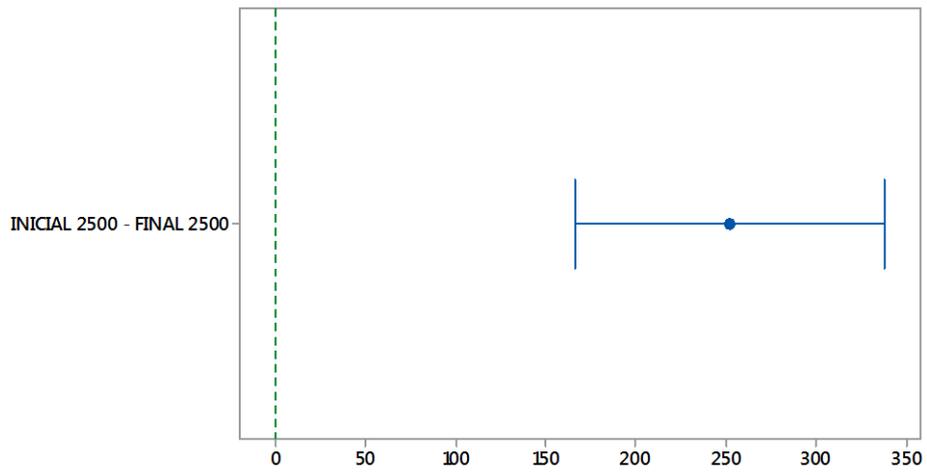
Anexo 55: Gráfica de Tukey para CO₂ a 2500 RPM.



Anexo 56: Análisis de Residuos para HC a 2500 RPM.



Anexo 57: Gráfica de Intervalos para HC a 2500 RPM.



Anexo 58: Gráfica de Tukey para HC a 2500 RPM.