



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Investigación de la incidencia del método de limpieza no invasivo por
descomposición del agua por electrólisis en motores de combustión interna.**

Chiluisa Tirado, Marco Santiago

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

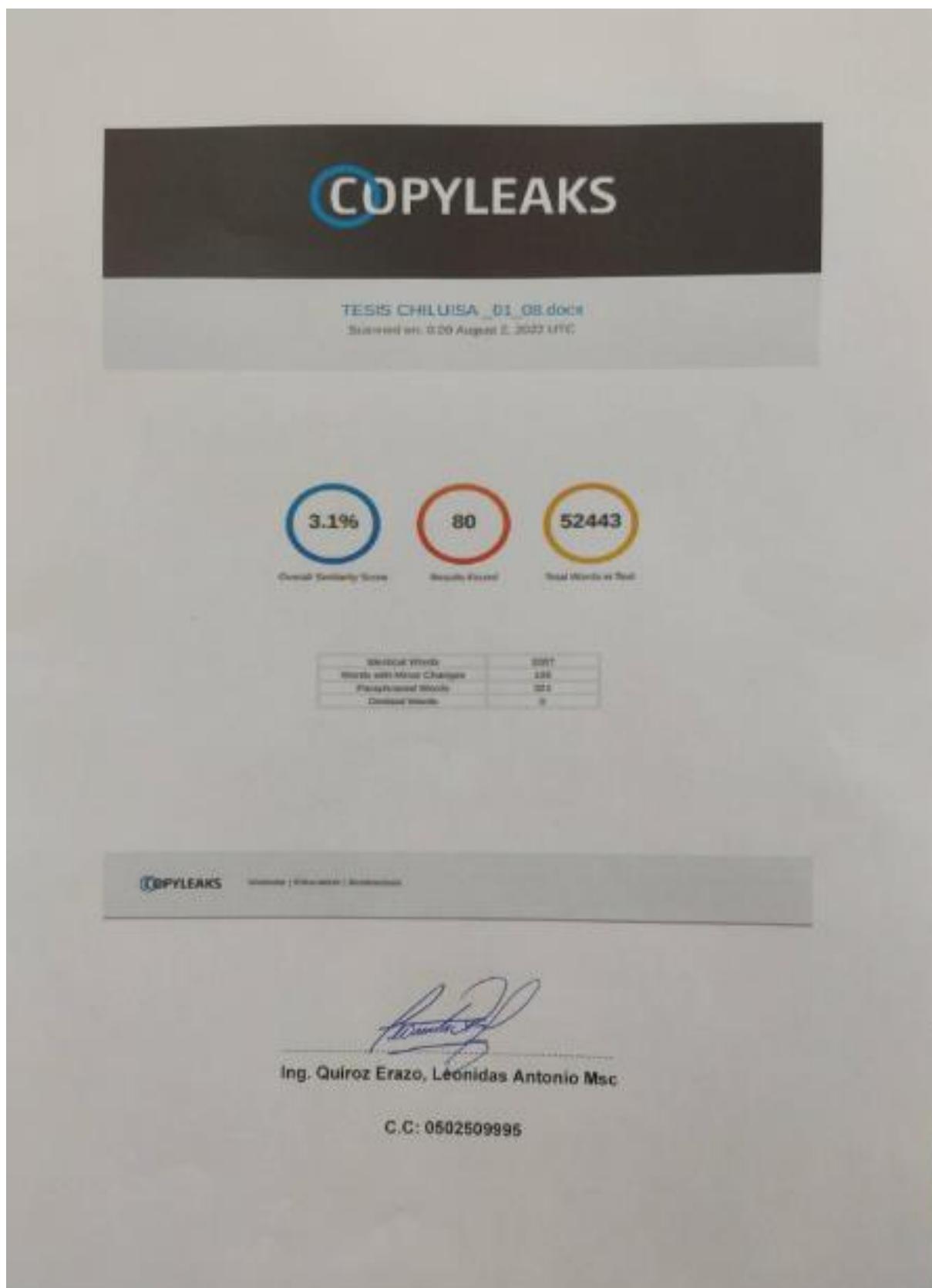
Trabajo de titulación, previo la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio MsC.

02 de agosto del 2022

Latacunga

Reporte de verificación de contenido





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, "Investigación de la incidencia del método de limpieza no invasivo por descomposición del agua por electrólisis en motores de combustión interna" fue realizado por el señor Chiluisa Tirado, Marco Santiago; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 02 de agosto del 2022

Firma:

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc

C.C: 0502509995



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de autoría

Yo, **Chiluisa Tirado, Marco Santiago**, con cédula de ciudadanía n° 1723365308, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Investigación de la incidencia del método de limpieza no invasivo por descomposición del agua por electrólisis en motores de combustión interna**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 02 de agosto del 2022

Firma:

Chiluisa Tirado, Marco Santiago

C.C: 1723365308



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de publicación

Yo, **Chiluisa Tirado, Marco Santiago**, con cédula de ciudadanía n°1723365308, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Investigación de la incidencia del método de limpieza no invasivo por descomposición del agua por electrólisis en motores de combustión interna**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 02 de agosto del 2022

Firma:

.....
Chiluisa Tirado, Marco Santiago

C.C: 1723365308

Dedicatoria

El presente proyecto se lo dedico a mis padres, Luis Chiluisa y María Tirado los cuales me han brindado su ayuda, emocional, económica, su apoyo en los buenos y malos momentos y sobre todo por ofrecerme sus palabras de aliento para seguir adelante y nunca permitiendo que me dé por vencido en este largo camino.

A mí hermana Erika que se ha preocupado siempre por mí y me apoyado en todo lo que ha podido.

También quiero dedicárselo a las personas que siempre creyeron en mi dándome una palabra de aliento y motivándome para seguir adelante.

Chiluisa Tirado, Marco Santiago

Agradecimiento

Quiero agradecer a Dios por brindarme la fortaleza necesaria para cumplir con una de mis metas y nunca abandonarme en los momentos más difíciles que he tenido en el transcurso de la carrera universitaria.

A mis padres y a mí hermana por ser la fortaleza y la fuente de mi inspiración para seguir adelante, apoyándome para que nunca me rinda dándome sus consejos y sus palabras de aliento.

A los docentes de la universidad en especial a mí tutor de tesis en Ing. Leonidas Quiroz Msc quien me guiado y me ayudado en el desarrollo del presente proyecto.

Chiluisa Tirado, Marco Santiago

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| Carátula | 1 |
| Reporte de verificación de contenido..... | 2 |
| Certificación | 3 |
| Responsabilidad de autoría | 4 |
| Autorización de publicación | 5 |
| Dedicatoria | 6 |
| Agradecimiento..... | 7 |
| Índice de contenido | 8 |
| Índice de tablas | 12 |
| Índice de figuras | 21 |
| Índice de ecuaciones | 29 |
| Resumen..... | 30 |
| Abstract | 31 |
| Capítulo I: Planteamiento del problema de investigación..... | 32 |
| Antecedentes investigativos | 32 |
| Planteamiento del problema..... | 35 |
| Descripción resumida del proyecto | 38 |
| Justificación e importancia | 41 |
| Objetivos del proyecto | 42 |
| <i>Objetivo general</i> | 42 |
| <i>Objetivo específico</i> | 42 |
| Metas | 44 |
| Hipótesis | 45 |
| Variables de la investigación | 45 |
| <i>Variable dependiente</i> | 45 |
| <i>Variable independiente</i> | 45 |
| Capítulo II: Fundamento teórico | 46 |
| Principios de electroquímica | 46 |
| <i>Electrólisis</i> | 46 |
| <i>Disolvente y soluto</i> | 47 |
| <i>Disolución acuosa</i> | 47 |
| <i>Función hidróxido</i> | 48 |
| <i>Hidrógeno</i> | 48 |

| | |
|--|----|
| Configuración de los generadores de hidrogeno | 49 |
| <i>Celdas húmedas de hidrógeno</i> | 49 |
| <i>Celdas secas de hidrógeno</i> | 50 |
| Equipo para proceso de descarbonización por HHO “Oxihidrógeno” | 50 |
| <i>Oxihidrógeno (HHO)</i> | 51 |
| Pruebas de diagnostico | 52 |
| <i>Prueba de emisiones contaminantes</i> | 52 |
| <i>Ensayo de Torque – Potencia</i> | 52 |
| <i>Analizador de Motores</i> | 53 |
| <i>Opacidad</i> | 53 |
| <i>Presión de compresión</i> | 54 |
| <i>Prueba de vacío</i> | 54 |
| <i>Prueba de Fugas</i> | 54 |
| <i>Oscilogramas</i> | 54 |
| <i>Consumo de combustible</i> | 54 |
| Normativas del análisis de emisiones contaminantes..... | 55 |
| <i>Normativa NTE INEN: 2203:2000</i> | 55 |
| <i>Normativa NTE INEN: 2204:2002</i> | 55 |
| Normativas Ensayo de Torque - Potencia..... | 55 |
| <i>SAE J1349</i> | 55 |
| <i>SAE J2723</i> | 55 |
| Normativas Opacidad..... | 56 |
| <i>Normativa NTE INEN: 2202:2013</i> | 56 |
| <i>Normativa NTE INEN: 2207:2002</i> | 56 |
| Capítulo III: Diseño del equipo de descarbonización por HHO y proceso de limpieza | 57 |
| Parámetros de diseño del equipo | 57 |
| Diseño mecánico | 57 |
| <i>Estructura</i> | 57 |
| <i>Botella generadora</i> | 59 |
| Diseño eléctrico y electrónico..... | 62 |
| <i>Selección de materiales</i> | 62 |
| <i>Diseño de conexiones</i> | 64 |
| <i>Generación de la onda eléctrica</i> | 65 |
| <i>Programación</i> | 67 |
| Diseño hidráulico – neumático..... | 70 |

| | |
|---|------------|
| Parámetros del estado del vehículo..... | 72 |
| <i>Prueba de Emisiones Contaminantes.....</i> | <i>72</i> |
| <i>Ensayo de Torque – Potencia.....</i> | <i>77</i> |
| <i>Analizador de Motores.....</i> | <i>83</i> |
| <i>Opacidad.....</i> | <i>87</i> |
| <i>Presión de compresión.....</i> | <i>91</i> |
| <i>Prueba de vacío.....</i> | <i>101</i> |
| <i>Prueba de fugas.....</i> | <i>105</i> |
| <i>Oscilogramas.....</i> | <i>108</i> |
| <i>Consumo de combustible.....</i> | <i>114</i> |
| Características del equipo de descarbonización..... | 118 |
| <i>Preparación de la solución.....</i> | <i>119</i> |
| <i>Ficha técnica.....</i> | <i>121</i> |
| <i>Especificaciones.....</i> | <i>122</i> |
| <i>Partes del equipo.....</i> | <i>123</i> |
| <i>Estructura lógica.....</i> | <i>127</i> |
| Propuesta diseño del equipo de tratamiento y descarbonización del motor..... | 129 |
| <i>Diseño Mecánico.....</i> | <i>129</i> |
| <i>Diseño eléctrico y electrónico.....</i> | <i>131</i> |
| <i>Programación.....</i> | <i>132</i> |
| <i>Análisis de Costos.....</i> | <i>133</i> |
| <i>Producción en serie.....</i> | <i>133</i> |
| Descarbonización por HHO..... | 134 |
| <i>Protocolo.....</i> | <i>135</i> |
| <i>Tiempo.....</i> | <i>137</i> |
| <i>Flujo.....</i> | <i>138</i> |
| <i>Caudal de inyección de Oxihidrógeno.....</i> | <i>138</i> |
| Capítulo IV: Análisis de la incidencia del método de descarbonización no invasivo..... | 139 |
| Parámetros estado del vehículo después del proceso de limpieza por HHO..... | 139 |
| <i>Prueba de Emisiones Contaminantes.....</i> | <i>139</i> |
| <i>Ensayo de Torque – Potencia.....</i> | <i>141</i> |
| <i>Analizador de Motores.....</i> | <i>145</i> |
| <i>Opacidad.....</i> | <i>147</i> |

| | |
|---|-----|
| <i>Presión de compresión</i> | 149 |
| <i>Prueba de vacío</i> | 156 |
| <i>Prueba de fugas</i> | 158 |
| <i>Oscilogramas</i> | 160 |
| <i>Consumo de combustible</i> | 164 |
| Análisis. | 165 |
| <i>Estadístico</i> | 165 |
| <i>Gráfica</i> | 184 |
| <i>Comparativo</i> | 214 |
| <i>Matemático</i> | 259 |
| Capítulo V: Marco administrativo | 261 |
| Recursos. | 261 |
| <i>Recursos Humanos</i> | 261 |
| <i>Recursos Tecnológicos</i> | 261 |
| <i>Recursos Materiales</i> | 263 |
| Presupuesto | 264 |
| Conclusiones | 265 |
| Recomendaciones | 269 |
| Bibliografía | 271 |
| Anexos | 278 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 <i>Propiedades básicas del hidrógeno</i> | 48 |
| Tabla 2 <i>Equipo AGS-688</i> | 52 |
| Tabla 3 <i>Opacímetro BEAR 57-220</i> | 53 |
| Tabla 4 <i>Características del material de fabricación de la estructura</i> | 57 |
| Tabla 5 <i>Características del panel de control</i> | 58 |
| Tabla 6 <i>Características de la botella generadora</i> | 59 |
| Tabla 7 <i>Propiedades del acero inoxidable 316</i> | 60 |
| Tabla 8 <i>Componentes principales de la botella generadora</i> | 61 |
| Tabla 9 <i>Interruptor</i> | 62 |
| Tabla 10 <i>Contactador EBS6BN</i> | 63 |
| Tabla 11 <i>pantalla LCD</i> | 63 |
| Tabla 12 <i>Módulo ESP32</i> | 64 |
| Tabla 13 <i>Bomba</i> | 70 |
| Tabla 14 <i>Valores límites permitidos por la normativa NTE INEN 2204:2002 para los vehículos de ensayo a gasolina (prueba estática)</i> | 73 |
| Tabla 15 <i>Valores obtenidos en el vehículo de ensayo 1</i> | 76 |
| Tabla 16 <i>Valores obtenidos en el vehículo</i> | 76 |
| Tabla 17 <i>Valores obtenidos en la prueba de emisiones contaminantes</i> | 77 |
| Tabla 18 <i>Valores obtenidos en el ensayo</i> | 79 |
| Tabla 19 <i>Resultados máximos obtenidos con sus respectivas RPM donde se produjo el valor</i> | 80 |
| Tabla 20 <i>Valores obtenidos en el desarrollo del ensayo</i> | 81 |

| | |
|---|----|
| Tabla 21 Resultados máximos obtenidos con sus respectivas RPM donde se produjo el valor | 82 |
| Tabla 22 Valores obtenidos en el proceso del ensayo del automóvil | 82 |
| Tabla 23 Resultados máximos del vehículo de ensayo 3 obtenidos con sus respectivas RPM donde se produjo el valor | 83 |
| Tabla 24 Valores obtenidos en el proceso de la prueba con el equipo GTC 505 | 85 |
| Tabla 25 Resultados en el proceso de la prueba con el equipo GTC 505..... | 86 |
| Tabla 26 Valores límites máximos del porcentaje de opacidad por la normativa NTE INEN 2207:2002 y la opacidad límite empleada en el equipo de opacidad (prueba de aceleración libre) | 87 |
| Tabla 27 Valores resultantes del porcentaje de opacidad y estados de mediciones | 89 |
| Tabla 28 Valores promedios obtenidos en las pruebas de opacidad | 91 |
| Tabla 29 Valores empleados en la medición de compresión de los vehículos de ensayo..... | 91 |
| Tabla 30 Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración totalmente cerrada y con el filtro de aire | 93 |
| Tabla 31 Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire | 94 |
| Tabla 32 Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración cerrada y sin el filtro de aire | 95 |
| Tabla 33 Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y sin el filtro de aire | 95 |
| Tabla 34 Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración totalmente cerrada y con el filtro de aire | 96 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 35 <i>Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire</i> | 97 |
| Tabla 36 <i>Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración cerrada y sin el filtro de aire</i> | 97 |
| Tabla 37 <i>Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y sin el filtro de aire</i> | 98 |
| Tabla 38 <i>Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración totalmente cerrada y con el filtro de aire</i> | 99 |
| Tabla 39 <i>Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire</i> | 99 |
| Tabla 40 <i>Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración cerrada y sin el filtro de aire</i> | 100 |
| Tabla 41 <i>Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y sin el filtro de aire</i> | 100 |
| Tabla 42 <i>Se muestran los valores, datos y parámetros</i> | 101 |
| Tabla 43 <i>Valores obtenidos en el proceso del de la prueba de vacío en el vehículo de ensayo 1.</i> | 103 |
| Tabla 44 <i>Valores obtenidos en la prueba de vacío en el vehículo de ensayo 2.</i> | 104 |
| Tabla 45 <i>Resultados obtenidos en la prueba de vacío del vehículo de ensayo 3.</i> ... | 104 |
| Tabla 46 <i>Se muestran las escalas de colores del manómetro de salida</i> | 105 |
| Tabla 47 <i>Valores obtenidos en la prueba de fugas en el vehículo de ensayo 1</i> | 107 |
| Tabla 48 <i>Valores obtenidos en la prueba de fugas en el vehículo de ensayo 2</i> | 108 |
| Tabla 49 <i>Valores obtenidos en la prueba de fugas en el vehículo de ensayo 3</i> | 108 |
| Tabla 50 <i>Valores obtenidos en los oscilogramas de la bobina N° 1 y 2</i> | 111 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 51 <i>Valores obtenidos en los oscilogramas de la bobina N° 3 y 4</i> | 112 |
| Tabla 52 <i>Valores obtenidos en los oscilogramas</i> | 114 |
| Tabla 53 <i>Se muestran los ciclos de conducción</i> | 114 |
| Tabla 54 <i>Valores obtenidos medición de consumo del vehículo de ensayo 1</i> | 117 |
| Tabla 55 <i>Valores obtenidos medición de consumo del vehículo de ensayo 2</i> | 117 |
| Tabla 56 <i>Valores obtenidos en la medición de consumo.</i> | 118 |
| Tabla 57 <i>Datos obtenidos en las pruebas realizadas</i> | 119 |
| Tabla 58 <i>Ficha técnica</i> | 121 |
| Tabla 59 <i>Componentes del tablero de control</i> | 123 |
| Tabla 60 <i>Componentes externos</i> | 124 |
| Tabla 61 <i>Componentes internos</i> | 125 |
| Tabla 62 <i>Componentes designados para acople al sistema de admisión del motor</i> | 126 |
| Tabla 63 <i>Análisis del costo de fabricación del equipo de descarbonización</i> | 133 |
| Tabla 64 <i>Valores y tiempo de ejecución del método no invasivo e invasivo</i> | 134 |
| Tabla 65 <i>Valores de los caudales de inyección de oxihidrógeno en los motores de combustión interna</i> | 138 |
| Tabla 66 <i>Valores obtenidos después del proceso de descarbonización en el Vehículo de ensayo 1</i> | 139 |
| Tabla 67 <i>Valores obtenidos en el vehículo de ensayo 2</i> | 140 |
| Tabla 68 <i>Valores obtenidos en la prueba de emisiones contaminantes del vehículo de ensayo 3</i> | 140 |
| Tabla 69 <i>Valores obtenidos después del proceso de descarbonización en el en el vehículo de ensayo 1</i> | 141 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 70 Resultados máximos obtenidos con sus respectivas RPM donde se produjo el valor | 142 |
| Tabla 71 Valores obtenidos en el proceso de descarbonización en el ensayo de Torque – Potencia en el vehículo de ensayo 2..... | 143 |
| Tabla 72 Resultados máximos obtenidos con sus respectivas RPM donde se produjo el valor. | 143 |
| Tabla 73 Valores obtenidos el vehículo de ensayo 3..... | 144 |
| Tabla 74 Resultados máximos del vehículo de ensayo 3 obtenidos con sus respectivas RPM donde se produjo el valor. | 144 |
| Tabla 75 Valores obtenidos en el proceso de la prueba después de la realización del proceso de descarbonización empleando un método no invasivo, con el equipo GTC 505 del vehículo de ensayo 1 | 145 |
| Tabla 76 Resultados en el proceso de la prueba después de la realización del proceso de descarbonización con el método no invasivo, con el equipo GTC 505..... | 146 |
| Tabla 77 Valores obtenidos del porcentaje de opacidad después del proceso de descarbonización en el vehículo de ensayo 3..... | 147 |
| Tabla 78 Valores promedios pruebas de opacidad en el vehículo de ensayo 3. | 148 |
| Tabla 79 Prueba de compresión con la mariposa de aceleración totalmente cerrada y con el filtro de aire..... | 149 |
| Tabla 80 Resultados de la prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire | 150 |
| Tabla 81 Prueba de compresión con la mariposa de aceleración cerrada y sin el filtro de aire | 150 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 82 <i>Prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y sin el filtro de aire</i> | 151 |
| Tabla 83 <i>Resultado de los valores con la mariposa de aceleración totalmente cerrada y con el filtro de aire</i> | 152 |
| Tabla 84 <i>Prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire</i> | 152 |
| Tabla 85 <i>Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración cerrada y sin el filtro de aire</i> | 153 |
| Tabla 86 <i>Prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y sin el filtro de aire</i> | 153 |
| Tabla 87 <i>Prueba de compresión con la mariposa de aceleración totalmente cerrada y con el filtro de aire</i> | 154 |
| Tabla 88 <i>Prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire</i> | 154 |
| Tabla 89 <i>Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración cerrada y sin el filtro de aire</i> | 155 |
| Tabla 90 <i>Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y sin el filtro de aire</i> | 156 |
| Tabla 91 <i>Valores obtenidos en el vehículo de ensayo 1</i> | 157 |
| Tabla 92 <i>Valores obtenidos en la prueba de vacío en el vehículo de ensayo 2</i> | 157 |
| Tabla 93 <i>Resultados obtenidos en la prueba de vacío del vehículo de ensayo 3</i> ... | 158 |
| Tabla 94 <i>Valores obtenidos en la prueba de fugas en el vehículo de ensayo 1</i> | 159 |
| Tabla 95 <i>Valores obtenidos prueba de hermeticidad en el vehículo de ensayo 2</i> .. | 159 |
| Tabla 96 <i>Valores obtenidos en la prueba de fugas en el vehículo de ensayo 3</i> | 160 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 97 <i>Valores obtenidos en los oscilogramas de la bobina N° 1 y 2</i> | 161 |
| Tabla 98 <i>Valores obtenidos en los oscilogramas de la bobina N° 3 y 4</i> | 162 |
| Tabla 99 <i>Medidas resultantes en el proceso de medición de los oscilogramas.....</i> | 163 |
| Tabla 100 <i>Valores obtenidos medición de consumo del vehículo de ensayo 1</i> | 164 |
| Tabla 101 <i>Valores obtenidos medición de consumo del vehículo de ensayo2.....</i> | 164 |
| Tabla 102 <i>Valores obtenidos medición de consumo del vehículo de ensayo 3.....</i> | 165 |
| Tabla 103 <i>Variación de las emisiones contaminantes del vehículo de ensayo 1....</i> | 165 |
| Tabla 104 <i>Referencia entre los valores normados y obtenidos en la ejecución de las mediciones del vehículo de ensayo 1.....</i> | 166 |
| Tabla 105 <i>Valores del cambio producido en las emisiones contaminantes vehículo de ensayo 2</i> | 166 |
| Tabla 106 <i>Referencia entre los valores normales y obtenidos en la ejecución de las mediciones del vehículo de ensayo 2</i> | 166 |
| Tabla 107 <i>Valores producidas emisiones contaminantes vehículo de ensayo 3....</i> | 167 |
| Tabla 108 <i>Variación de mediciones en el vehículo de ensayo 1</i> | 167 |
| Tabla 109 <i>Variación vehículo de ensayo 2</i> | 168 |
| Tabla 110 <i>Variación vehículo de ensayo 3</i> | 168 |
| Tabla 111 <i>Promedio de los valores obtenidos en el vehículo de ensayo 1</i> | 169 |
| Tabla 112 <i>La media de los resultados de los valores en el vehículo de ensayo 2..</i> | 169 |
| Tabla 113 <i>Valores obtenidos en el vehículo de ensayo 3.....</i> | 169 |
| Tabla 114 <i>Valores obtenidos vehículo de ensayo 1.....</i> | 170 |
| Tabla 115 <i>Datos obtenidos en la segunda medición del vehículo de ensayo 1.....</i> | 170 |
| Tabla 116 <i>Tercera prueba vehículo de ensayo 1</i> | 171 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 117 <i>Cuarta prueba vehículo de ensayo 1</i> | 172 |
| Tabla 118 <i>Variación de los valores con la mariposa de aceleración totalmente cerrada y con el filtro de aire</i> | 172 |
| Tabla 119 <i>Prueba con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire</i> | 173 |
| Tabla 120 <i>Resultados de las mediciones con la mariposa de aceleración cerrada y sin el filtro de aire</i> | 173 |
| Tabla 121 <i>Variaciones de las mediciones con la mariposa de aceleración abierta y sin el filtro de aire</i> | 174 |
| Tabla 122 <i>Primera prueba resultado de las mediciones</i> | 174 |
| Tabla 123 <i>Prueba con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire</i> | 175 |
| Tabla 124 <i>Tercera prueba mariposa de aceleración cerrada y sin el filtro de aire</i> .. | 176 |
| Tabla 125 <i>Prueba cuatro con la mariposa de aceleración abierta y sin el filtro de aire</i> | 176 |
| Tabla 126 <i>Variación vehículo de ensayo 1</i> | 177 |
| Tabla 127 <i>Resultados vehículo de ensayo 2</i> | 177 |
| Tabla 128 <i>Valores obtenidos vehículo de ensayo 3</i> | 178 |
| Tabla 129 <i>Valores obtenidos vehículo de ensayo 3</i> | 178 |
| Tabla 130 <i>Variación de los parámetros de medición</i> | 179 |
| Tabla 131 <i>Variación de los oscilogramas de la bobina N° 1 y 2</i> | 179 |
| Tabla 132 <i>Modificación en las mediciones de los oscilogramas del vehículo de ensayo en las bobinas N° 3 y 4</i> | 180 |
| Tabla 133 <i>Alteración del efecto de la descarbonización en los oscilogramas</i> | 182 |
| Tabla 134 <i>Variación de las mediciones de consumo del vehículo de ensayo 1</i> | 182 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 135 <i>Alteración de los valores de las mediciones de consumo del vehículo de ensayo 2.</i> | 183 |
| Tabla 136 <i>Valores obtenidos en la medición de consumo del vehículo de ensayo 3.</i> | 183 |
| Tabla 137 <i>Comparación de la potencia máxima del proceso pre y post tratamiento</i> | 220 |
| Tabla 138 <i>Comparación del torque máximo en el pre y post tratamiento.</i> | 221 |
| Tabla 139 <i>Comparación de la potencia máximo antes y después de la aplicación del método no invasivo.</i> | 222 |
| Tabla 140 <i>Variación del torque más elevado en el pre y post proceso de descarbonización</i> | 223 |
| Tabla 141 <i>Análisis de los valores más elevados en el ensayo en las mediciones de potencia.</i> | 224 |
| Tabla 142 <i>Alteración del torque antes y después del proceso de descarbonización</i> | 225 |
| Tabla 143 <i>Valores de suministración de caudal para diversos motores de combustión interna.</i> | 259 |
| Tabla 144 <i>Recursos humanos</i> | 261 |
| Tabla 146 <i>Recursos tecnológicos software.</i> | 262 |
| Tabla 147 <i>Recursos materiales</i> | 263 |
| Tabla 148 <i>Presupuesto.</i> | 264 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 <i>Árbol de problemas</i> | 36 |
| Figura 2 <i>Electrolisis de Cloruro de Sodio</i> | 46 |
| Figura 3 <i>Disolución acuosa</i> | 47 |
| Figura 4 <i>Celda humada</i> | 49 |
| Figura 5 <i>Celda seca</i> | 50 |
| Figura 6 <i>Máquina de limpieza por generadores HHO</i> | 51 |
| Figura 7 <i>Estructura del equipo</i> | 59 |
| Figura 8 <i>Estructura de la botella generadora</i> | 61 |
| Figura 9 <i>Componentes principales de la botella generadora</i> | 62 |
| Figura 10 <i>Diseño de conexión</i> | 66 |
| Figura 11 <i>Simulación del circuito de activación de los componentes del equipo de descarbonización</i> | 66 |
| Figura 12 <i>Simulación del funcionamiento de la pantalla LCD empleando en el módulo ESP32</i> | 69 |
| Figura 13 <i>Simulación del sistema hidráulico del equipo de descarbonización</i> | 71 |
| Figura 14 <i>Dispositivo de electrolisis</i> | 71 |
| Figura 15 <i>Simulación del sistema neumático del equipo de descarbonización</i> | 72 |
| Figura 16 <i>Prueba de emisiones contaminantes diagrama de flujo</i> | 74 |
| Figura 17 <i>Equipo analizador de gases AGS-688</i> | 75 |
| Figura 18 <i>Ensayo de Torque – Potencia diagrama de flujo</i> | 78 |
| Figura 19 <i>Equipo empleado en la realización del ensayo de Torque – Potencia</i> | 79 |

| | |
|---|-----|
| Figura 20 <i>Diagrama de flujo utilización del equipo GTC 505 para la realización de la prueba</i> | 84 |
| Figura 21 <i>Equipo GTC 505 empleado en el desarrollo de la investigación</i> | 85 |
| Figura 22 <i>Prueba de opacidad diagrama de flujo</i> | 88 |
| Figura 23 <i>Equipo empleado en la prueba de opacidad con el opacómetro BEAR 57-220</i> | 89 |
| Figura 24 <i>Prueba de compresión diagrama de flujo</i> | 92 |
| Figura 25 <i>Utilización del compresómetro para la toma de mediciones en la prueba de compresión</i> | 93 |
| Figura 26 <i>Diagrama de flujo del proceso para la prueba de vacío</i> | 102 |
| Figura 27 <i>Toma de mediciones con la utilización del vacuómetro</i> | 103 |
| Figura 28 <i>Diagrama de flujo del proceso para la prueba de vacío</i> | 106 |
| Figura 29 <i>Manómetros de entrada y de salida de aire con sus respectivas escalas de presión y porcentaje</i> | 107 |
| Figura 30 <i>Diagrama de flujo medición de oscilogramas con el osciloscopio</i> | 109 |
| Figura 31 <i>Diagrama de flujo medición de consumo de corriente con la pinza amperimétrica</i> | 110 |
| Figura 32 <i>En el lado derecho se puede observar en la pantalla del osciloscopio las señales IGT y IGF y en la izquierda la pinza amperimétrica</i> | 111 |
| Figura 33 <i>Diagrama de flujo medición de consumo de combustible para los vehículos de ensayo con motor de gasolina</i> | 115 |
| Figura 34 <i>Diagrama de flujo de la medición de consumo de combustible para el vehículo de ensayo 3</i> | 116 |

| | |
|---|-----|
| Figura 35 <i>Rutas establecidas para el desarrollo de la prueba de medición de consumo de combustible</i> | 116 |
| Figura 36 <i>Equipo de descarbonización HHO CARBON CLEANER 6.0</i> | 119 |
| Figura 37 <i>Se visualizan las letras empleadas en las dimensiones del equipo</i> | 122 |
| Figura 38 <i>Numeración de los componentes del tablero del control</i> | 124 |
| Figura 39 <i>Numeración de los componentes externos</i> | 125 |
| Figura 40 <i>Numeración de los componentes internos</i> | 126 |
| Figura 41 <i>Numeración de los componentes para el acople al sistema de admisión del motor</i> | 127 |
| Figura 42 <i>Estructura lógica del procedimiento de utilización del equipo de descarbonización</i> | 128 |
| Figura 43 <i>Diagrama de flujo proceso de diseño y construcción del equipo</i> | 130 |
| Figura 44 <i>En el diagrama de flujo se visualiza los pasos a tener en consideración en el diseño eléctrico y electrónico para la creación de los circuitos del equipo de descarbonización</i> | 131 |
| Figura 45 <i>En el diagrama de flujo de la programación</i> | 132 |
| Figura 46 <i>Equipo de descarbonización por oxihidrógeno</i> | 137 |
| Figura 47 <i>Toma de mediciones después del proceso de descarbonización</i> | 139 |
| Figura 48 <i>Realización del ensayo de Torque – Potencia en los vehículos de ensayo</i> | 141 |
| Figura 49 <i>Equipo de diagnóstico GTC 505</i> | 145 |
| Figura 50 <i>Obtención de datos de opacidad en el vehículo de ensayo 3</i> | 147 |
| Figura 51 <i>Prueba de compresión</i> | 149 |
| Figura 52 <i>Prueba de vacío</i> | 157 |

| | |
|--|-----|
| Figura 53 <i>Prueba de fugas</i> | 159 |
| Figura 54 <i>Mediciones de oscilogramas</i> | 160 |
| Figura 55 <i>Prueba de consumo de combustible</i> | 164 |
| Figura 56 <i>Gráfica de los valores de la prueba realizada en el vehículo de ensayo 1</i> | 184 |
| Figura 57 <i>Gráfica de resultado en el proceso de medición de gases contaminantes</i> | 185 |
| Figura 58 <i>Gráfica de emisiones contaminantes del vehículo de ensayo 3</i> | 185 |
| Figura 59 <i>Gráficas obtenidas en el ensayo del vehículo de ensayo 1</i> | 186 |
| Figura 60 <i>Gráfica valores máximos y promedio del ensayo</i> | 187 |
| Figura 61 <i>Gráficas de valores en el proceso de ensayo</i> | 187 |
| Figura 62 <i>Gráfica de resultados de las curvas características</i> | 188 |
| Figura 63 <i>Gráfica curvas características registradas en el proceso de la realización del ensayo</i> | 189 |
| Figura 64 <i>Valores obtenidos en los parámetros del ensayo</i> | 190 |
| Figura 65 <i>Gráfica de los datos obtenidos en el proceso de medición del vehículo de ensayo 1</i> | 190 |
| Figura 66 <i>Gráfica obtenidas en el vehículo de ensayo 2</i> | 191 |
| Figura 67 <i>Gráfica obtenidas en el vehículo</i> | 191 |
| Figura 68 <i>Gráfica de datos obtenidos en la medición de la compresión en el vehículo de ensayo 1</i> | 192 |
| Figura 69 <i>Gráfica del porcentaje considerando el valor de (185,55 Psi)</i> | 193 |
| Figura 70 <i>Gráfica de los porcentajes de las medidas obtenidas en comparación con el valor más alto de prueba</i> | 194 |

| | |
|--|-----|
| Figura 71 <i>Gráfica del estado del vehículo antes y después del proceso de descarbonización.....</i> | 195 |
| Figura 72 <i>Gráfica de los valores referentes a 143,14 Psi.....</i> | 196 |
| Figura 73 <i>Gráfica de la variación de % considerando el valor más alto de la medición.....</i> | 197 |
| Figura 74 <i>Resultado en la medición en los distintos cilindros del vehículo.....</i> | 198 |
| Figura 75 <i>Gráfica del porcentaje obtenido de 309 PSI dato dado por el manual de servicios del motor.....</i> | 199 |
| Figura 76 <i>Gráfica de la variación de % considerando el valor más alto de la medición.....</i> | 200 |
| Figura 77 <i>Gráfica de los valores del vehículo de ensayo 1.....</i> | 201 |
| Figura 78 <i>Resultados de la prueba del vehículo de ensayo 2.....</i> | 201 |
| Figura 79 <i>Valores del vehículo de ensayo 3.....</i> | 202 |
| Figura 80 <i>Gráfica del vehículo de ensayo 1.....</i> | 202 |
| Figura 81 <i>Datos del vehículo de ensayo 2.....</i> | 203 |
| Figura 82 <i>Resultados del análisis del vehículo de ensayo 3.....</i> | 203 |
| Figura 83 <i>Gráficas de datos vehículo de ensayo 1.....</i> | 204 |
| Figura 84 <i>Valores obtenidos del vehículo de ensayo 1.....</i> | 206 |
| Figura 85 <i>Gráfica obtenidas en el vehículo de ensayo 2.....</i> | 208 |
| Figura 86 <i>Gráfica de los datos obtenidos posteriormente del proceso de la descarbonización.....</i> | 210 |
| Figura 87 <i>Gráfica de los datos en la prueba realizada al vehículo de ensayo 1.....</i> | 212 |
| Figura 88 <i>Gráfica de los valores obtenidos en el vehículo de ensayo 2.....</i> | 213 |
| Figura 89 <i>Gráfica de valores obtenidos en el desarrollo de investigación.....</i> | 214 |

| | |
|--|-----|
| Figura 90 <i>Variación de las medidas en el vehículo de ensayo 1</i> | 215 |
| Figura 91 <i>Gráfica de la comparación con la normativa NTE INEN 2204</i> | 216 |
| Figura 93 <i>Gráfica valores del vehículo de ensayo 2</i> | 217 |
| Figura 94 <i>Gráfica comparativa empleando los valores los valores de la normativa NTE INEN 2204</i> | 218 |
| Figura 95 <i>Valores en la alteración del vehículo de ensayo 3</i> | 219 |
| Figura 96 <i>Gráfica de los valores obtenidos en el proceso de descarbonización en el vehículo de ensayo 1</i> | 220 |
| Figura 97 <i>Gráfica de los resultados en la ejecución de la aplicación del método no invasivo</i> | 222 |
| Figura 98 <i>Consecuencias del proceso de descarbonización</i> | 224 |
| Figura 99 <i>Gráfica de los datos del vehículo de ensayo 2</i> | 226 |
| Figura 100 <i>Gráficas de los valores promedio de las pruebas antes y después de la realización de la descarbonización con los valores de la normativa y del equipo</i> | 227 |
| Figura 101 <i>Gráfica de pruebas rechazadas después del proceso de descarbonización</i> | 228 |
| Figura 102 <i>Gráfica de la variación de los valores de opacidad</i> | 228 |
| Figura 103 <i>Gráfica de la variación de las medidas de compresión</i> | 229 |
| Figura 104 <i>Gráficas de la variación con la comparación de 188, 55 Psi</i> | 230 |
| Figura 105 <i>Gráfica de la variación del porcentaje con respecto al valor más elevado obtenido</i> | 231 |
| Figura 106 <i>Gráfica de modificación en las mediciones obtenidas en la compresión</i> | 232 |

| | |
|---|-----|
| Figura 107 <i>Graficas de la alteración con el valor de 143,14 PSI</i> | 233 |
| Figura 108 <i>Gráfica de la variación de los valores obtenidos comparado con el más elevado.....</i> | 234 |
| Figura 109 <i>Gráfica de las mediciones de compresión en PSI.....</i> | 235 |
| Figura 110 <i>Gráfica de la comparación con el dato de 309 PSI</i> | 236 |
| Figura 111 <i>Gráfica de los resultados del proceso de investigación con el valor más elevado de compresión.....</i> | 237 |
| Figura 112 <i>Gráfica de la alteración de la pluma del vacuómetro en el vehículo de ensayo 1.....</i> | 238 |
| Figura 113 <i>Gráfica de la variación del vacuómetro del vehículo de ensayo 2.....</i> | 238 |
| Figura 114 <i>Gráfica de la modificación generada en el proceso de investigación de la prueba realizada</i> | 239 |
| Figura 115 <i>Gráfica de la variabilidad de los manómetros en el proceso de medición.....</i> | 240 |
| Figura 116 <i>Gráfica de las modificaciones producidas en las mediciones realizadas.....</i> | 241 |
| Figura 117 <i>Gráfica fluctuación de las mediciones en el vehículo de ensayo 3</i> | 242 |
| Figura 118 <i>Gráfica de la alteración de los valores obtenidos en las mediciones de los oscilogramas.....</i> | 243 |
| Figura 119 <i>Gráfica de las modificaciones presentadas en los valores de los oscilogramas</i> | 246 |
| Figura 120 <i>Gráfica de las variaciones en función de los resultados obtenidos</i> | 249 |
| Figura 121 <i>Gráfica de los valores proyección para 27000 Km que es recorrido máximo en un año.....</i> | 250 |

| | |
|--|-----|
| Figura 122 <i>Gráfica de 135001 kilómetros máximo recorridos en cinco años</i> | 251 |
| Figura 123 <i>Gráfica de la evaluación con 270001 kilómetros recorrido máximo en diez años.....</i> | 252 |
| Figura 124 <i>Gráfica de la diferencia entre los parámetros de la ejecución de la prueba.....</i> | 253 |
| Figura 125 <i>Gráfica de la proyección del consumo de combustible para un año a 27000 Km.....</i> | 254 |
| Figura 126 <i>Gráfica de 135001 kilómetros de recorrido en cinco años</i> | 255 |
| Figura 127 <i>Gráfica de estipulación de kilómetros y galones en un periodo de diez años.....</i> | 256 |
| Figura 128 <i>Gráfica de la alteración en los valores medidos del vehículo de ensayo 3.....</i> | 257 |
| Figura 129 <i>Gráfica de la variación considerando 27000, 135001 y 270001 kilómetros.....</i> | 258 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|---|----|
| Ecuación 1. Hidróxido | 48 |
| Ecuación 2. Oxihidrógeno (HHO) | 51 |

Resumen

El proyecto de titulación investigó la incidencia del método de limpieza no invasiva por medio de descomposición del agua por electrolisis en motores de combustión interna. Fue diseñado un prototipo de equipo de descarbonización mediante el uso del oxihidrógeno, mediante la mezcla de hidrógeno atómico y oxígeno atómico en proporción de 2:1 considerando aspectos mecánicos, eléctricos y programación de tal forma que el proceso sea desarrollado de manera automática en un tiempo de 20 minutos y un flujo de 126 lt/h a 300 lt/h en función de la cilindrada total del motor en el que se va a ejecutar el tratamiento. Una vez realizado el procedimiento de eliminación de las formaciones de carbonilla en los componentes internos de la maquina térmica ejecutando pruebas antes y después del proceso a vehículos de prueba por medio de ensayo homologados y armonizados a través de protocolos y normativas nacionales e internacionales para tener una visión clara del análisis de resultados obtenidos en lo que se refiere a parámetros de rendimiento como torque, potencia, consumo de combustible, emisiones, opacidad, comportamiento eléctrico, electrónico y mecánico; el resultado alcanzado fue la recuperación en la eficiencia y desempeño del motor de combustión interna de ciclo Otto y diésel en lo que se refiere a consumo de combustible, emisiones y opacidad por lo tanto se convierte en un indicador de que la limpieza del motor por HHO es un proceso que disminuye la incidencia de la contaminación ambiental producido por fuentes móviles; se convierte en un aspecto necesario previo a la aplicación del procedimiento no invasivo al realizar el estudio del estado mecánico de los motores.

Palabras Clave: electrólisis, método de descarbonización, oxihidrógeno.

Abstract

The degree project did research on the influence of non-invasive cleaning method by breaking down of water through electrolysis in internal combustion engine. It was designed a decarbonization prototype equipment through the use of oxyhydrogen, by mixing atomic hydrogen and atomic oxygen in amount of 2:1 taking into account mechanic, electric and programming aspects; in a way that, the process is developed in an automatic way in 20 minutes and in a flow of 126 L/h in function of the total cylinder capacity engine in which the treatment is going to be executed. Once done the elimination process of soot formation in the internal components of the thermal machine executing tests before and after to the trial vehicles by means of approved and harmonized tests through national and international protocols and regulations in order to have a clear view of the result analysis referring to the performance parameters such as torque, power, fuel consumption, emissions, opacity; electric electronic and mechanic performance; the achieved result was the recovery in the efficiency and performance of the internal combustion engine of Otto cycle and diesel referring to the fuel consumption, emissions and opacity therefore it becomes an indicator that the cleanliness of the engine by HHO is a process which reduces the influence of the environmental pollution produced by mobile sources. It becomes a necessary aspect previous to the application of the non-invasive process when studying the mechanical state of the engines.

Keywords: electrolysis, decarbonization method, oxyhydrogen.

Capítulo I

Planteamiento del problema de investigación

Antecedentes investigativos

“La sedimentación que se ha provocado en los motores de combustión interna, ya en motores gasolina o a diésel, se identificó con el nombre de carbonilla esto se ha generado por la combustión del combustible y, en una mínima parte del aceite de lubricación” (Augusto, 2018, pp. 10-15)

“Los depósitos de carbonilla han afectado a todos los motores sin importar el tipo de combustible, siendo el caso de los vehículos con motor a diésel los más afectados debido a la mayor presencia de residuos y el uso de los sistemas de anticontaminación. Además, de la calidad del refinado o de los aditivos que se emplean en los combustibles, han influido que la carbonilla se forme con mayor o menor rapidez.” (Mapfre, 2020)

“La formación de carbonilla es nociva, tanto por la contaminación que se provocó debido a los daños generados en el motor, ya que cuando se han formado depósitos en su interior obligando a frecuentes reparaciones.” (Álvarez, 2005, p. 194).

“Los depósitos de carbonilla son malos conductores del calor y por lo tanto han actuado como un punto de ignición, esto nos ha señalado que permanecen al rojo durante la fase de compresión y han ocasionado lo que es un encendido irregular de la mezcla, teniendo como desventaja la posibilidad de un rompimiento del pistón”. (Augusto, 2018)

“El Instituto Ecuatoriano de Normalización con sus NTE INEN 2207 y NTE INEN 2204 mediante las normas técnicas de gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores, indica los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres respectivamente.” (INEN, s.f.)

“El azufre en los combustibles para vehículos automotores los que han provocado las emisiones de compuestos de azufre indeseables, causantes de la obstrucción en los sistemas de control de emisiones que están destinados a la regulación de las emisiones perjudiciales, como los compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y partículas”. (Ortiz, 2014 p.20)

“En el año 2015, las emisiones que se produjo de CO₂ sumaron 5,7 millones de toneladas en la ciudad de Quito. Dando como resultado que, el 52% estaban relacionados a la combustión del diésel y gasolina para el transporte; 35% al consumo de energía por parte de la industria (generación eléctrica y uso de gas y diésel) y 13% a la descomposición de residuos sólidos.” (ANETA, 2018)

“Las tecnologías de oxihidrógeno para descarbonizar motores de automóviles, alternativas planteadas para ofrecer mejoras en el rendimiento de los vehículos, al limpiarlos eficientemente sus componentes entre los cuales se tiene la cámara de combustión, válvulas, pistones, AGR, turbo, FAP y escape. Está considerada como una opción barata, inteligente y con reducido coste, disminución del consumo de combustible y cuidado del medio ambiente, al ser lanzado a la atmósfera menor cantidad de CO.” (Motortec, 2017).

“El proceso de descarbonizar consiste en la eliminación de impurezas y las acumulaciones de carbonilla, por lo tanto, son, residuos sólidos acumulados en las zonas afectadas del grupo propulsor”. (Autodoc club, 2020).

“Los tipos de limpiezas que se pudieron dar en la carbonilla en un motor han sido: limpiadores químicos en estado líquido, descarbonizadores de motor maquinas que inyectan gas oxihidrógeno, desmontaje del colector es la opción más invasiva y por último la del catalizador que se emplea con una catálisis.” (Infotaller.tv, 2019)

“Un vehículo si un correcto mantenimiento, independientemente del tipo de combustible, se tiene que recomendar una limpieza interna y descarbonizar el motor evitando que partes internas como los calentadores, bujías, colectores, turbo, AGR y la cámara de combustión sufran averías.” (Aupacar, 2017)

“La descarbonización del motor por inyección de hidrógeno, establece enriquecimiento de la mezcla de aire/combustible que ingresa al motor de combustión, solución que funciona de manera efectiva y no agresiva. La carbonilla simplemente se disolvió en el motor y se evacua naturalmente con los gases de escape.” (FLEXFUEL, 2020)

“Algunas de las ventajas que se han obtenido con el proceso de descarbonización de un motor fueron las siguientes: menor consumo de combustible, reducción de emisiones contaminantes, disminución de vibraciones, recuperación de la potencia y par motor.” (Blázquez, 2019)

“Los requisitos fijados por el Instituto Ecuatoriano de Normalización respecto de los productos derivados del petróleo. Diésel y gasolina, especificados en la NTE INEN 1489 y NTE INEN 935 respectivamente” (INEN, s.f.)

“En el país se comercializa gasolina de 85 octanos (extra y ecopaís) y 92 octanos (súper), estos productos están por debajo del mínimo exigido por la norma Euro 3 (95 octanos), por otra parte, en el diésel estas cifras fueron superados por lo recomendado en la norma internacional Euro 5 (10 ppm)”. (Pacheco, 2020)

“Los vehículos a diésel, que representaron el 5.6% del parque vehicular del DMQ, son los principales contribuyentes de material particulado ($MP_{2.5}$) siendo el 82.5%, (MP_{10}) es del 76.4% y un Óxido de Nitrógeno (NO_x) con un valor de 60.6%, los motores diésel trabajaban

comúnmente con mezclas pobres, que generan menores emisiones de monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles no metálicos ($COVNM$) con respecto a los vehículos a gasolina. Sin embargo, las emisiones de Óxido de Nitrógeno (NOx) en los vehículos diésel son elevadas, debido a las altas temperaturas y presión a las que trabajan.” (Vega, Ocaña, & Parra, 2015, pp. 3-5)

Planteamiento del problema

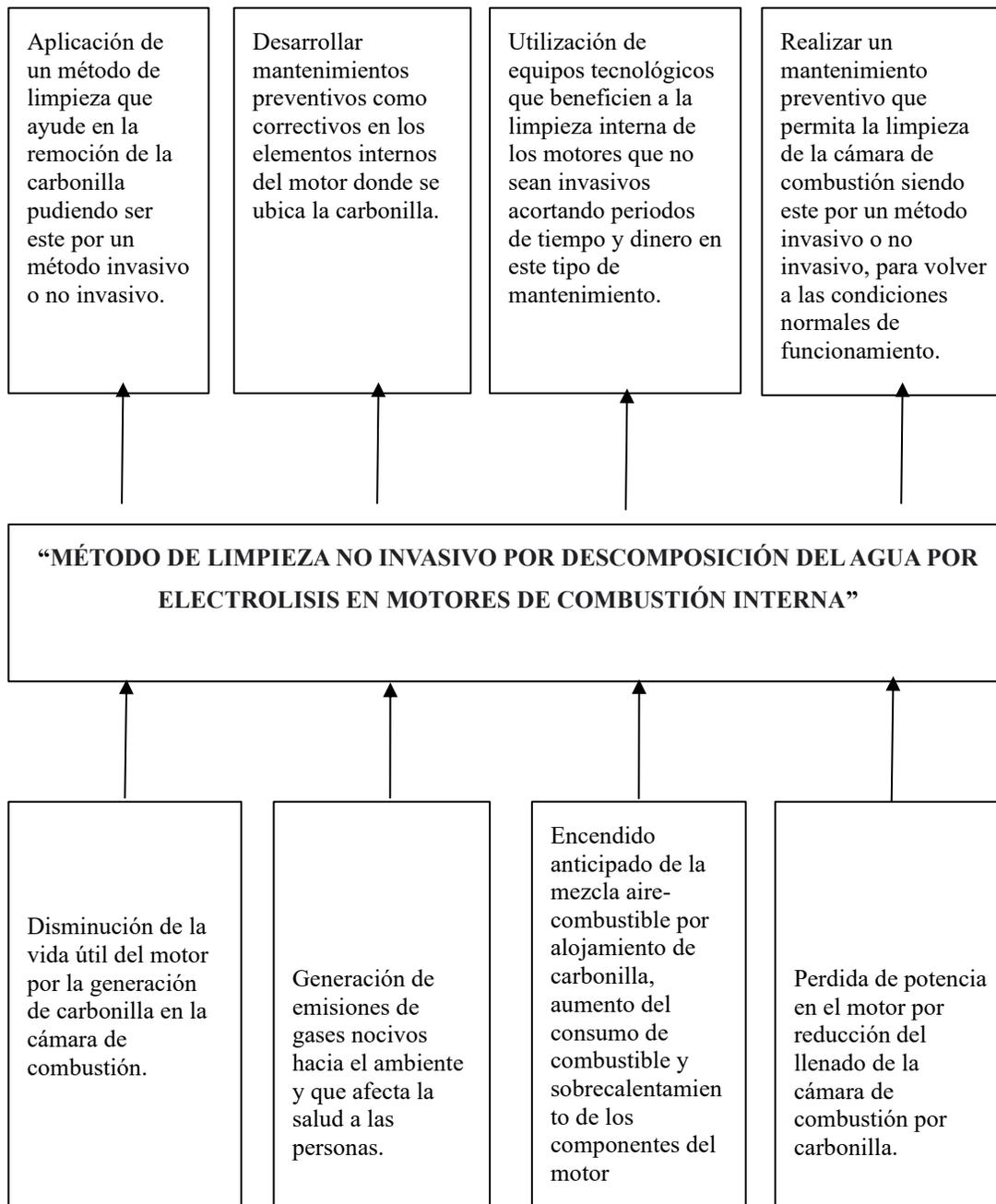
Los combustibles comercializados en el Ecuador no cumplen parámetros de calidad requeridos para la tecnología de los motores de combustión interna por compresión MEC y encendido provocado MEP, además, de los procesos inadecuados de mantenimiento de los subsistemas motrices generan una combustión incompleta en la cámara de combustión de la maquina térmica, generando formación de carbonilla que afecta el rendimiento de los motores con sistema de alimentación con combustible diésel, el combustible se enciende antes de lo requerido, sobrecalentamiento de las piezas del motor, etc.

Estos fallos en relación al tiempo tienen consecuencias como: pérdida de potencia del motor, aceleraciones incorrectas, disminución de la velocidad máxima, fallos de encendido, mal funcionamiento del sistema electrónico de gestión de sensores y actuadores, degradación del catalizador, consumo de combustible y altos niveles de contaminación y opacidad.

Los procesos de combustión inadecuados acumulan depósitos de carbonilla en el interior de cámaras de combustión, colectores, válvulas, catalizadores, sistemas de recirculación de gases; provoca una pérdida del rendimiento que afecta a las prestaciones de torque, potencia, consumo de combustible y emisiones.

Figura 1

Árbol de problemas



Nota. De acuerdo a la ley orgánica de transporte terrestre tránsito y seguridad vial con registro oficial suplemento 398 de 07-ago.-2008 y su última modificación: 05-may.-2017, los gobiernos

autónomos descentralizados se encargarán del control, regulación y ejecución de tránsito territorial, en este sentido en el país se viene implementando los Centros de Revisión Técnica Vehicular para el control de emisiones vehiculares impuestas por los organismos de control, debido a los valores de emisiones de gases de escape fuera de los rangos permisibles.

El motor MEC genera una mayor cantidad de gases contaminantes como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no combustionados (HC), Óxidos nitrosos (NOX) y opacidad, son tóxicos producto de un exceso de carbonilla al interior del motor.

La carbonilla no solo se encuentra ubicada en los elementos que actúan en el proceso de la combustión y evacuación. Además, daña a otros sistemas externos a la de la cámara de combustión, como es la admisión y el escape, donde se pueden acumular estos residuos que afectan el desempeño del motor.

De cada gota que se utiliza en la combustión de la mezcla aire – combustible que el vehículo necesita para su funcionamiento, no se emplea todo. Lo demás se desperdicia provocando energía térmica ineficaz, residuos sólidos como es la carbonilla y gases que son nocivos como es el caso del dióxido de nitrógeno (NOx) y el monóxido de carbono (CO).

El azufre que contiene los combustibles fósiles se agrupa con los sobrantes que ocasionan los elementos metálicos y, por lo tanto, tiene como consecuencia una adherencia en la cámara de combustión hasta el escape.

La carbonilla es un elemento clave para que un motor pierda su potencia debido a que ocasiona que la cámara de combustión disminuya, su factor de llenado por lo tanto provocará un consumo mayor de combustible, produce que el combustible se encienda antes de lo

requerido apareciendo la detonación y al producirse este fenómeno cubriendo las válvulas produciendo que no haya una hermeticidad.

Descripción resumida del proyecto

El presente proyecto de titulación propuso la “Investigación de la incidencia del método de limpieza no invasivo por descomposición del agua por electrólisis en motores de combustión interna por compresión y encendido provocado”, la misma que consideró lo siguiente:

Se desarrolló una investigación fundamentada teóricamente a través de una revisión bibliográfica exhaustivo, de fuentes en bases de datos digitales, libros, manuales, normativas y artículos científicos referentes a tecnología de la limpieza no invasiva en los motores de combustión interna.

Se llevó a cabo el estudio de los métodos de descarbonización de los motores de combustión interna de ciclo Otto y diésel, mediante la ejecución del proceso de limpieza interna del motor, sin la realización del proceso de desmontaje de sus componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, eliminando residuos y depósitos internos de la formación de carbonilla, que se encuentran acumuladas en el motor de combustión interna durante su funcionamiento y recorridos por diferentes rutas urbanas y extraurbanas, en condiciones de tiempos medios de funcionamiento cortos, aceleraciones bruscas, cambio inadecuado de velocidades, calidad del combustible, mantenimiento preventivo inapropiado, etc.

Se precedió con la realización del diseño y construcción de un prototipo de equipo de descarbonización de motores de combustión interna mediante la inyección de hidrógeno, a través del modelado y simulación de los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos del equipo de descarbonización con herramientas computacionales CAD.

Se desarrolló la programación del proceso de descarbonización para motores de combustión interna mediante la inyección de hidrógeno HHO, en tiempos programados, manejando un lenguaje de programación por software libre para la comunicación en el programa de software con aplicaciones webs y Android, con la utilización de otros conjuntos de instrucciones para ser ejecutados por un ordenador.

Se aplicó el método de descarbonización en el motor de combustión interna, tanto para diésel como gasolina en vehículos de prueba, quemando los residuos de hidrocarburos a través de un equipo de inyección con un fluido de limpieza en combinación con el gas HHO.

Se empleó la utilización del oxihidrógeno mediante la mezcla de hidrógeno atómico y oxígeno atómico en proporción de 2:1, el cual su combustión se realiza a los 142,35 kJ de calor por cada gramo de hidrógeno quemado, se introdujo el fluido de forma externa en el sistema de admisión del motor obteniendo la quema y eliminación controlada de los residuos internos como también la carbonilla adherida en los componentes del motor de combustión interna.

Se efectuó el análisis en la incidencia del rendimiento en los motores de combustión interna, sometidos al proceso de descarbonización no invasivo, fundamentado con la utilización de la matemática aplicada y mediciones realizadas mediante equipos especializados en la industria automotriz, con un dinamómetro de rodillos se procedió con la ejecución de ensayos de torque – potencia considerando el método de certificación de la Sociedad de Ingenieros Automotrices, con respecto a los motores según la normativa SAE J1349 y certificada por la norma SAE J2723; el consumo de combustible determinado por el test FTP – 75 para ciclos de conducción en ruta, para la evaluación del consumo específico de combustible, eficiencia efectiva, temperatura de gases de escape y rendimiento volumétrico que valido el estado del vehículo antes y después de la ejecución de la limpieza por oxihidrógeno (HHO) para descarbonización de los motores.

Por medio del analizador de motores y software DMO-810 de análisis de la Sonda Lambda, señal del alternador y su función de autodiagnóstico de la familia ST o AD), que proporciono el control de las funciones de baja tensión pasando automáticamente de la función de autodiagnóstico al osciloscopio, con los parámetros establecidos para los componentes del sistema de gestión electrónica de los vehículos de prueba, mediante un sistema de memorización y archivo de las formas de onda, creando un banco de datos asociadas a un defecto.

Se investigó el comportamiento mecánico, eléctrico y electrónico del motor de combustión, usando el método de descarbonización no invasivo, con el equipo de diagnóstico de analizadores de motores y escáner automotriz, determinando así el estado de los subsistemas del motor de combustión antes y después de la ejecución de la limpieza por oxihidrógeno.

Se determinó el control de las emisiones en base a las normativas NTE INEN 2 203:2000, NTE INEN 2 204:2002 y SAE ISO/IEC 17025:2006 y opacidad en condiciones de aceleración de humo y aceleración libre de acuerdo a las normas (SAE) J1667, NTE INEN 2202:2013 y NTE INEN 2207:2002; del motor de combustión interna antes y después de ser aplicado el proceso de descarbonización no, mediante el análisis de los resultados obtenidos en las emisiones de óxidos nitrosos, hidrocarburos, dióxido de carbono, monóxido de carbono, oxígeno, factor lambda antes y después del método de limpieza, determinando la viabilidad técnica al momento de utilizar esta tecnología.

Se realizó un análisis matemático, gráfico y comparativo de la incidencia al utilizar el método de descarbonización por oxihidrógeno (HHO) para la descarbonización de los motores donde se estableció que tan factible es la realización de la limpieza en relación al rendimiento y

comportamiento mecánico, eléctrico y electrónico en relación al Método de referencia EPA CTM 34. 40 CFR, 1999, ISO 15031-5 / SAE J1979 (OBD relacionado con las emisiones), SAE J2012: haciendo referencia al procedimiento para definir códigos de diagnóstico de problemas relacionados con las emisiones.

Se estableció el comportamiento estructural de los componentes del motor de combustión interna, expuestos al agente de limpieza en estado HHO empleando los procesos de descarbonización, desde un punto de visión térmico con modelos simples de acuerdo a la geometría compleja, movimiento, flujo y distribución de temperatura, gases de hidrógeno atómico y oxígeno atómico en proporción de 2:1.

Justificación e importancia

El parque automotor en el Ecuador es uno de los mayores causantes de la contaminación ambiental por consiguiente esto da como resultado una repercusión en el cambio climático. Esto se da debido a la mala calidad de los combustibles y a la falta de realización de los respectivos mantenimientos al motor. Por lo tanto, esto ocasiona que la vida útil del motor sea más corta disminuyendo también lo que son sus prestaciones en su funcionamiento habitual.

Se considera a el motor de combustión interna de un vehículo como el corazón, la carbonilla que se genera en su interior vendría a ser el colesterol malo, el cual ocasiona que se obstaculicen las venas. De la misma forma la carbonilla al alojarse en un motor de un vehículo causa que se obstruyan los conductos y la cámara de combustión, no rinda lo mismo y disminuya su potencia, prestaciones y fuerza.

Por lo consiguiente es necesario efectuar una descarbonización en este caso se utiliza un método de oxihidrógeno (HHO), que es un proceso no invasivo, para ayuda a la

limpieza de la carbonilla que se hospeda en las válvulas, pistones, entre otros elementos del motor, ayudándole a devolver la eficiencia perdida por estas suciedades.

La limpieza que ofrece esta tecnología de oxihidrógeno (HHO), es la que me impulsa para el desarrollo de esta investigación es comprobar si es beneficioso efectuarlo para disminuir los efectos que tiene la carbonilla en los motores y en realidad favorece en la economía y eficiencia del motor.

La contaminación ambiental generada principalmente por las emisiones de gases contaminantes producidas por los vehículos automotores, produce preocupación en la sociedad, esto origina costos para la economía, también las congestiones vehiculares y las largas horas de conducción en las diversas localidades percute en la calidad del aire, provocando afectaciones en el ecosistema y en la salud de las personas.

La importancia de realizar un mantenimiento preventivo en los componentes internos del motor es la reducción de emisiones contaminantes, reducción en el consumo de combustible y la contaminación ambiental, ayudando a mejorar la economía y la salud de las personas, mediante la utilización de un método no invasivo que blinde al motor una mejor eficiencia y aumente su vida útil.

Objetivos del proyecto

Objetivo general

- Investigar la incidencia del método de limpieza no invasivo por descomposición del agua por electrólisis en motores de combustión interna por compresión.

Objetivo específico

- Fundamentar teóricamente la tecnología de la limpieza no invasiva en los motores de combustión interna.

- Estudiar los métodos de descarbonización de los motores de combustión interna de ciclo diésel y Otto, a través de un proceso de limpieza interior del motor sin el desmontaje de sus componentes mecánicos y eléctricos
- Determinar las causas primarias y secundarias en la formación de residuos y depósitos internos de la formación de carbonilla que acumula un motor de combustión interna durante su trabajo.
- Desarrollar y aplicar un método de descarbonización de un motor de combustión interna en vehículos de prueba, de tal manera de quemar los residuos de hidrocarburos a través de un equipo de inyección de un fluido de limpieza en forma de gas HHO.
- Diseñar y construir un equipo de descarbonización de motores de combustión interna mediante inyección de hidrógeno HHO con herramientas computacionales CAD y programación del proceso en tiempos proyectados utilizando un lenguaje por software libre para comunicarse y para desarrollar el programa de software por ordenador.
- Usar oxihidrógeno que es una mezcla de hidrógeno atómico y oxígeno atómico en proporción de 2:1
- Introducir el fluido oxihidrógeno de manera externa en la admisión del motor para obtener la quema y eliminación controlada de los residuos internos y carbonilla adherida en componentes internos de la máquina térmica.
- Analizar la incidencia en el rendimiento del motor de combustión del método de descarbonización
- Ejecutar de ensayos de torque – potencia considerando un método de certificación según SAE J1349 o SAE J1995 y certificado según SAE J2723 antes y después de la ejecución de la limpieza

- Determinar consumo de combustible por procedimiento del test FTP – 72 y FTP – 75 para ciclos de conducción en ruta antes y después de la ejecución de la limpieza
- Evaluar aspectos de torque, potencia, consumo de combustible que valide el estado del vehículo antes y después de la ejecución de la limpieza por oxihidrógeno (HHO) para descarbonizar los motores.
- Investigar el comportamiento mecánico, eléctrico y electrónico del motor de combustión del método de descarbonización no invasivo con equipo de diagnóstico con analizadores de motores, escáner automotriz y cámara termográfica que determine el estado de los subsistemas del motor de combustión antes y después de la ejecución de la limpieza por oxihidrógeno.
- Determinar el comportamiento en el control de emisiones en base a las normativas NTE INEN 2 203:2000, NTE INEN 2 204:2002 y NTE INEN 2207:2002
- Analizar desde el punto de vista matemático, gráfico y comparativo la incidencia de la aplicación del método de descarbonización por oxihidrógeno (HHO) motor para descarbonizar los motores ciclo OTTO
- Establecer la eficiencia de la limpieza en el rendimiento y comportamiento mecánico, eléctrico y electrónico en relación al Método de referencia EPA CTM 34. 40 CFR, 1999, ISO 15031-5 / SAE J1979
- Determinar si es beneficiosa la realización de un proceso de descarbonización de un motor por electrólisis del agua mediante pruebas dinámicas y estáticas.

Metas

- Determinar la incidencia de la descarbonización de motores ciclo diésel y OTTO a través del método de limpieza HHO que permita un 90% de efectividad en la

optimización del rendimiento (torque – potencia – consumo de combustible), sin operaciones de desmontaje de componentes.

- Construir un equipo de limpieza que permita un 95% de eficiencia en la descarbonización de motores de combustión interna ciclo OTTO y diésel
- Controlar los límites de emisiones de óxidos nitrosos y opacidad en un 80% en motores de encendido por compresión.

Hipótesis

¿Mediante la aplicación del método de limpieza por descomposición del agua por electrólisis se podrá recuperar un 90% eficiencia y rendimiento mecánico de torque y potencia en los motores de combustión interna, sin operaciones de desmontaje de componentes.?

Variables de la investigación

Variable dependiente

Incidencia del método de limpieza HHO en motores MEC.

Variable independiente

Método de descarbonización de oxihidrógeno HHO.

Capítulo II

Fundamento teórico

Principios de electroquímica

“Como menciona en (Rodríguez, 2008, p. 2) es una ciencia que analiza el cambio de la energía química y eléctrica que se generan por medio de una reducción de óxido-reducción. Siendo la oxidación la pérdida de electrones, mientras que la reducción es la ganancia de los mismos.”

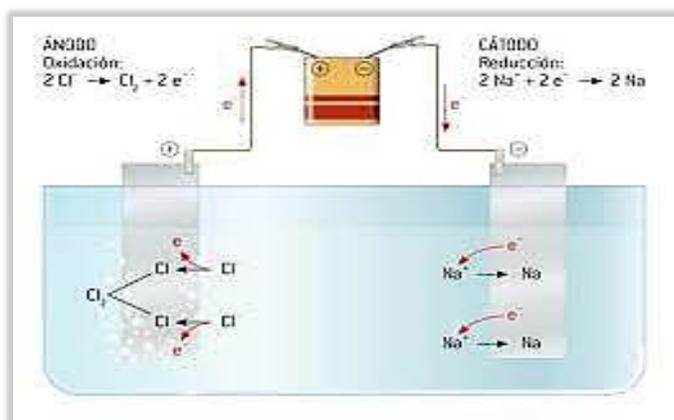
Electrólisis

“Se caracteriza por ser un fenómeno redox, no espontáneo realizado por una corriente eléctrica y la reducción se lleva a cabo en el polo negativo o cátodo y la oxidación en el ánodo o polo positivo. Donde la corriente eléctrica circula desde el cátodo al ánodo, siempre y cuando tenga una sustancia conductora o denominada como electrolito.”

(Sánchez, 2016, p. 2)

Figura 2

Electrólisis de Cloruro de Sodio



Nota. En la figura se puede observar la electrólisis del NaCl y los elementos que intervienen en el proceso. Tomado de *Electroquímica* (p,5), por Sánchez, 2016, Universidad Politécnica de Chiapas.

Disolvente y soluto

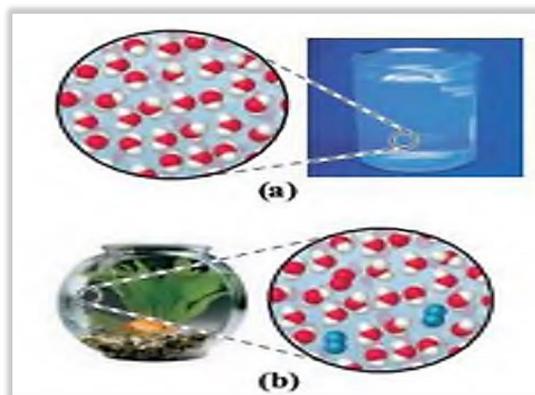
“La disolución o también conocido como solvente se la denomina como una sustancia la cual proporciona una difusión de otra sustancia a un nivel molecular o iónico. El soluto es el elemento en menor proporción en una disolución.” (Cova, 2018, p. 4-6)

Disolución acuosa

“El agua es el respectivo disolvente donde las partículas de soluto, moléculas o iones, se encuentran presentes en mínimas cantidades y su distribución se realiza al azar entre las moléculas del soluto. Una de sus particularidades de este tipo de disolución, es que tiene conductibilidad eléctrica, siempre y cuando la condensación de iones no sea demasiada baja” (Petrucci et. al, 2011, p. 152)

Figura 3

Disolución acuosa

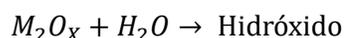


Nota. En la figura se visualiza una disolución molecular de agua y aire donde (a) las moléculas de agua de color rojas y blancas se encuentran cercanas entre sí y en (b) las moléculas de oxígeno de tono rojo y de nitrógeno en azul están disueltas y alejadas entre sí, que están separadas por las moléculas de agua. Tomado de *Química General* (p.152), por Petrucci et. al, 2011, PEARSON.

Función hidróxido

“Los hidróxidos resultan de la unión de un óxido básico con agua, y caracterizándose por la presencia de un radical hidroxilo: OH- también conocido como oxhidrilo.” (Ríos, 2019, p.33)

Ecuación 1. Hidróxido



Hidrógeno

“Pueden conformar enlaces iónicos o covalentes; para formar compuestos sencillos o complejos; logrando participar en reacciones químicas, orgánicas, biológicas, electroquímicas entre otros. En los compuestos químicos, el átomo de hidrógeno puede poseer puentes (Llamados de hidrógeno) a través de las moléculas; esto lo hace peculiarmente estable. La abundancia de este elemento radica en su posibilidad de formar tantos iones negativos (H^-) cuando se produce la captura de un electrón adicional como también iones positivos (H^+) cuando pierde su electrón.” (Suárez, 2019, p. 3)

Tabla 1

Propiedades básicas del hidrógeno

| Descripción | Valor |
|------------------------------------|--------------|
| Densidad relativa respecto al aire | 0,07 |
| Temperatura de auto ignición | 1.085 ° C |
| Rango de inflamabilidad | 75% |
| Energía mínima de ignición | 0,02 mJ |

Nota. La tabla se observa las propiedades básicas del hidrógeno.

Configuración de los generadores de hidrogeno

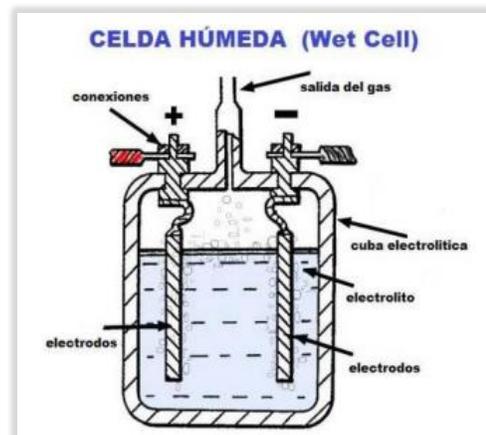
Para la configuración en los generados de hidrogeno por el tipo de celdas electrolíticas clasificándolas en dos.

Celdas húmedas de hidrógeno

“Tiene electrolito líquido que fluye con agilidad, por lo que en sus terminales de la pila están conectados con la carga ocasionando una hipersensibilidad química entre el electrolito, el plomo y el óxido de plomo. Que provoca el derramamiento de electricidad a la carga a través de los terminales que incluso conduce a la invalidación del ácido sulfúrico de la posibilidad que se refuercen las placas” (Pesánte & Tacuri, 2021, pp. 66-67)

Figura 4

Celda humada



Nota. En la figura se observa las celdas húmedas en un generador de hidrogeno. Tomado de *Adaptación de un generador de hidrógeno tipo celda seca en un motor endotérmico 150cc de 4 tiempos con fuentes alternativas de combustible* (p.66), por Pesánte & Tacuri, 2021, Universidad Politecnica Saleciana Sede Cuenca.

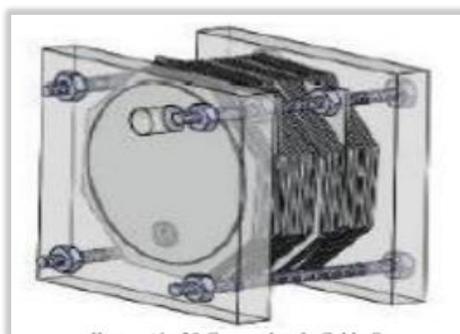
Celdas secas de hidrógeno

“Su diseño es fácil de utilizar ya que es una celda sumergida o húmeda la cual está caracterizada debido que la misma celda es el conector. Además, que el agua transita en el interior de la celda seca y se transforma en gas de hidrógeno y oxígeno.”

(Pesánte & Tacuri, 2021)

Figura 5

Celda seca



Nota. En la figura se visualiza las celdas secas en un generador de hidrogeno. Tomado de *Adaptación de un generador de hidrógeno tipo celda seca en un motor endotérmico 150cc de 4 tiempos con fuentes alternativas de combustible* (p.67), por Pesánte & Tacuri, 2021, Universidad Politecnica Saleciana Sede Cuenca.

Equipo para proceso de descarbonización por HHO “Oxihidrógeno”

“Las tecnologías de oxihidrógeno para descarbonizar de motores de combustión interna están planteada para mejorar el rendimiento del vehículo, al limpiar de manera eficiente la cámara de combustión, válvulas, pistones, etc. Siendo una opción económica, que reduce el consumo y cuida el medio ambiente, al arrojar a la atmósfera menor cantidad de CO. Introduciendo un agente químico no contaminante,

el HHO, que, junto a su elevado caudal de oxihidrógeno, garantiza la limpieza en la línea de escape, incluido catalizador y filtro de partículas (FAP).” (Motortec, 2017)

Figura 6

Máquina de limpieza por generadores HHO

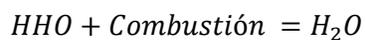


Nota La figura muestra una de las máquinas empleadas para el proceso de descarbonización por generación de HHO en los motores de combustión interna. Tomado de *HHO Carbon Cleaner 6,0 descarbonizadora de motor* [Fotografía], Motortec, 2017, <https://www.ifema.es/motortec/noticias/exp/hho-carbon-cleaner-60--la-descarbonizadora-de-motor-mas-avanza>

Oxihidrógeno (HHO)

“Combustible se obtiene a partir de agua y electricidad, una vez obtenido, se provoca una combustión y, de este proceso, se vuelve a obtener agua, siendo un proceso completamente ecológico y respetuoso con el medio ambiente.” (Getauto, 2017)

Ecuación 2. Oxihidrógeno (HHO)



Pruebas de diagnóstico

Prueba de emisiones contaminantes

“Determina las cantidades de gases que se están produciendo como son hidrocarburos (HO), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y otras emisiones. Considerando que las emisiones de gases y partículas de los automóviles generados por el proceso de la combustión.” (Mendieta, 2016, pp. 21-30)

Tabla 2

Equipo AGS-688

| Descripción | Valor |
|----------------------------------|------------------------------|
| Rango de temperatura | 5 a 40 °C |
| Fuente de alimentación | 11 a 15 Vdc, 20W |
| Rango de presión | 85 a 106 kPa |
| Tiempo de calentamiento | 10 min |
| Flujo de gas | 4 l/min |
| Flujo de gas mínimo | 2.5 l/min |
| Rango de medida | |
| CO | 0 a 9.99 %vol |
| CO ₂ | 0 a 19.9 %vol |
| HC | 0 a 9999 ppmvol |
| O ₂ | 0 a 25 %vol |
| Lambda | 0.5 a 5.0 |
| Contador de RPM | 300 a 9990 min ⁻¹ |
| Resolución | 10 min ⁻¹ |
| Temp. Aceite | 20 a 150 °C |
| Resolución | 1 °C |
| Tipo de sensor de oxígeno | |
| CITY TECHNOLOGY | A02 Molex Citicell |
| ENVITEC | Oxiplus A 00A101 |
| TELEDYNE | R21 A & R22A |

Nota. La tabla se visualizan las características del analizador de gases.

Ensayo de Torque – Potencia

“Este ensayo se emplea en la medición de las curvas características del motor. En el caso del dinamómetro de rodillos el vehículo puede maniobrase y se puede quedarse a velocidades constantes bajo varias condiciones de carga. Esta es la forma de

ejecutar los ensayos en un vehículo más adecuadamente sobre todo para condiciones de carga normales.” (Poalacín et al, 2021, p. 39)

Analizador de Motores

“Como se nos menciona en (Fluke, s.f.) el analizador de motores, ayuda a valorar de un modo eficaz el rendimiento eléctrico y mecánico conectando la tensión y midiendo la corriente, suministrando un nivel de información sin precedentes.”

Opacidad

“La opacidad se la mide utilizando un equipo llamado opacímetros que son máquinas, que sirven para medir la opacidad de la emisión de humos en vehículos diésel. De forma que al recircular por el interior de esta cámara de medición los humos de los gases de escape, se genera una absorción del haz de luz emitido hacia el receptor, en función de la mayor o menor cantidad de “negritud” del humo.” (Reynasa, 2020)

Tabla 3

Opacómetro BEAR 57-220

| Descripción | Valor |
|--|--|
| | Zero |
| | Control de linealidad |
| | Control de hollín en los lentes |
| Funciones internas del opacómetro | Protección del sistema de calentamiento. |
| | Autosleep |
| Referencia normativa | |
| Especificaciones de diseño | NF R 10-025 |
| ISO standard | ISO3173 |
| | ISO11614 |
| CE Directive regarding smoke measurement | 72/306/CEE |
| | 91/441/CEE |
| | 96/96/CE du 20 diciembre 1996 |
| CE Directive regarding emission test in Europe | 2003/27/CE du 03 abril 2003 |
| | SAE J1667 |

Nota. La tabla se visualizan las características del equipo empleado para medir la opacidad.

Presión de compresión

“Es la comprobación si el motor tiene una reducción en la compresión se realiza la prueba con la utilización de un instrumento de medición llamado manómetro el cual sus medidas están en PSI.” (Cisneros & Viteri, 2018, pp. 8-9)

Prueba de vacío

“Esta prueba permite observar si el motor ha tenido una disminución en su potencia midiendo la caída o depresión con un instrumento conocido como vacuómetro que tiene una escala en (in Hg).” (Cisneros & Viteri, 2018)

Prueba de Fugas

“Para la realización de la prueba el motor debe estar apagado, comprobando que el cilindro donde se va a medir tiene que estar en el punto muerto superior en compresión, se suministra aire y se comprueba por donde sale o escapa.” (Cisneros & Viteri, 2018)

Oscilogramas

“Los oscilogramas de encendido es una herramienta que permite un diagnóstico sobre las averías que se pueden dar en el sistema de encendido, del sistema de formación de la mezcla e incluso del mismo motor.” (Díaz, 2017, p. 5)

Consumo de combustible

“El método de consumo de combustible se efectúa en un recorrido o movimiento realizado en una prueba determinada para obtener un consumo promedio el cual se lo desarrolla a través de la masa de combustible consumido.” (Díaz, 2017, p. 5)

Normativas del análisis de emisiones contaminantes

Normativa NTE INEN: 2203:2000

“Establece la gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “ralentí”. Prueba estática. Establece el método de ensayo para establecer la concentración de las emisiones derivadas del sistema de escape de vehículos equipados con motor de encendido por chispa.” (INEN, INEN 2 203:2000, 2000)

Normativa NTE INEN: 2204:2002

“Esta normativa establece la gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que emplean gasolina. Esta norma establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) que emplean gasolina” (NORMALIZACIÓN, 2002)

Normativas Ensayo de Torque - Potencia

SAE J1349

“Establece el desempeño en un motor a plena carga con valores de torque y potencia en un dinamómetro, los valores atmosféricos referenciales en el momento de la ejecución de los ensayos. Considera también el funcionamiento del vehículo con todos sus dispositivos como bomba de agua, electro ventilador bomba de aceite, alternador” (Gorky et al., 2016, p. 4)

SAE J2723

“Este documento especifica el procedimiento que debe utilizar un fabricante para certificar la potencia neta y la clasificación de par de un motor de producción de

acuerdo con SAE J1349 o la potencia bruta del motor de un motor de producción de acuerdo con SAE J1995.” (SAE, 2015)

Normativas Opacidad

Normativa NTE INEN: 2202:2013

“Establece la Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diésel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre. Esta norma establece el método de ensayo para establecer el porcentaje de opacidad de las emisiones de escape.” (NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, 2013)

Normativa NTE INEN: 2207:2002

“Establece los límites permitidos de emisiones de contaminación que se producen por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de diésel. Se aplica a las fuentes móviles terrestres de más de tres ruedas o a sus motores.” (INEN, 2207:2002, 2002)

Capítulo III

Diseño del equipo de descarbonización por HHO y proceso de limpieza

Parámetros de diseño del equipo

En el presente trabajo de investigación, la realización del diseño se ha considerado los parámetros de generación de hidrogeno, caudal, presión de inyección y tiempo de ejecución, mismos que ayudaron en el proceso de descarbonización en los motores de combustión interna a través del uso de oxihidrógeno “HHO”.

Diseño mecánico

Estructura

Se consideró las características generales y dimensiones relacionadas en el aspecto mecánico del equipo de descarbonización por generación de hidrogeno.

Tabla 4

Características del material de fabricación de la estructura

| Madera | | |
|-------------------------------|--|--------|
| | Tipo | MDF |
| | Espesor (<i>mm</i>) | 15 |
| | Densidad (<i>Kg/m³</i>) | 620 |
| | Resistencia a la tracción (<i>N/mm²</i>) | 0.70 |
| Especificaciones generales | Resistencia a la flexión (<i>N/mm²</i>) | 28 |
| | Módulo de elasticidad (<i>N/mm²</i>) | 2300 |
| | Extracción del tornillo – cara (<i>N</i>) | 1000 |
| | Extracción del tornillo – canto (<i>N</i>) | 850 |
| | Acabado | Blanco |

Nota. En esta tabla se puede visualizar las respectivas especificaciones generales y propiedades del material utilizado en el proceso de fabricación de la estructura del equipo.

Además, se estimó el uso de tornillos para estructura, los mismos que brindaran, estabilidad, firmeza y sujeción a la estructura.

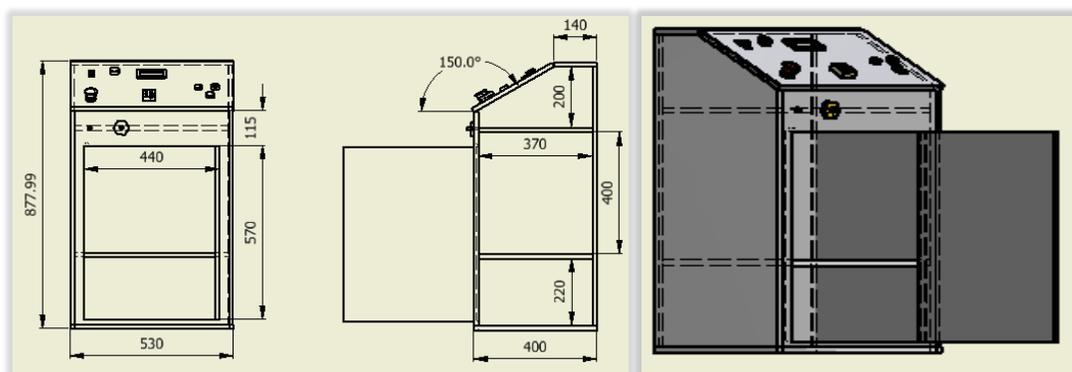
Tabla 5

Características del panel de control

| Panel de control | | |
|-------------------------------|---|---------|
| Especificaciones generales | Contactor "Breaker" (mm) | 42X18 |
| | Botón de inicio \emptyset (mm) | 29 |
| | Pantalla LCD (mm) | 50X95 |
| | Indicador de la bomba del agente limpiador \emptyset (mm) | 22 |
| | Voltímetro digital circular \emptyset (mm) | 26 |
| | Interruptor de la bomba de líquido limpiador (mm) | 30X25 |
| | Temporizador (mm) | 45X40 |
| Dimensiones | Botón de emergencia \emptyset (mm) | 30 |
| | Largo y ancho (mm) | 300X530 |
| | Espesores (mm) | 15 |

Nota. En la tabla se puede observar las especificaciones de las dimensiones generales de los componentes que se encuentran ubicados en el panel de control y de la plancha de MDF empleada.

Para la ubicación de los componentes, se estableció lugares estratégicos para una fácil manipulación. Además de permitir una rápida respuesta en caso de una emergencia mientras se utilice el equipo.

Figura 7*Estructura del equipo*

Nota. En la figura del lado izquierdo se pueden observar las dimensiones del diseño realizado en 2D correspondiente a la estructura del equipo de descarbonización, mientras que la vista isométrica en 3D se presenta en el lado derecho.

Botella generadora

La botella generadora en el proceso de descarbonización es la encargada de producir en su interior la electrolisis empleando una mezcla, de cloruro de sodio con agua con el fin de obtener hidrógeno, por lo tanto, los materiales de fabricación tienen que ser resistentes a la corrosión por lo cual se emplea el acero inoxidable 316.

Además, la botella generadora consta de dos cables de conectados a un socket conector ubicado, en la parte interior del equipo de descarbonización para el suministro del respectivo voltaje de alimentación.

Tabla 6*Características de la botella generadora*

| Botella generadora | | |
|---------------------------|--|---------|
| Características | Tapa superior y posterior de cloruro de polivinilo 1 SCHEDULE 40 (<i>in</i> - | 2" – 60 |

| Botella generadora | | |
|---|-------------|-----|
| | <i>mm</i>) | |
| Conector de la tapa superior con el depósito SCH-40 | | 60 |
| \emptyset interno (<i>mm</i>) | | |
| Acero inoxidable | | 316 |
| Depósito (<i>cc</i>) | | 350 |
| Codo de latón hembra - macho | | 3/8 |
| \emptyset (in) | | |
| Conector neumático SL \emptyset (in) | | 1/4 |
| Voltaje de funcionamiento (V) | | 12 |

Nota. En esta tabla se puede visualizar, las características, dimensiones de los componentes y el voltaje de funcionamiento de la botella generadora.

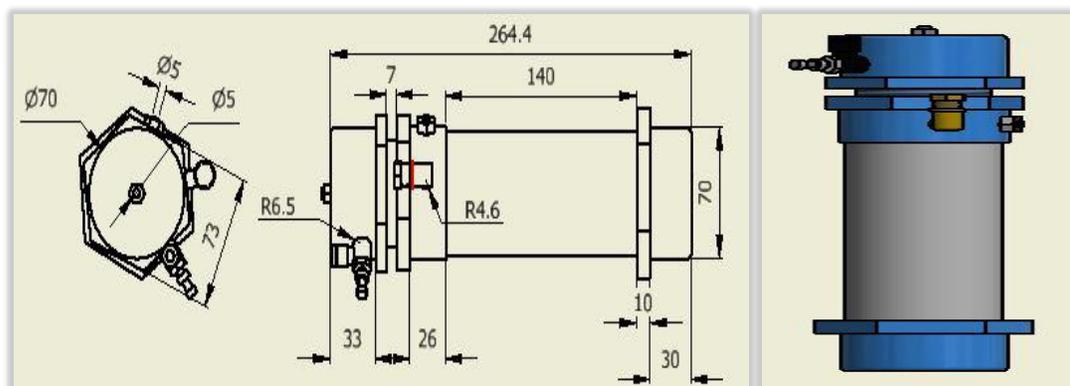
Se tomo los datos de las propiedades, mecánicas y físicas considerando un acero inoxidable 316 como barra recocida.

Tabla 7

Propiedades del acero inoxidable 316

| Acero inoxidable 316 | | |
|-----------------------------|---|------|
| Propiedades Mecánicas | Resistencia a la tracción (<i>MPa</i>) | 550 |
| | Límite de elasticidad (<i>MPa</i>) | 240 |
| | Dureza (<i>HBW</i>) | 212 |
| Propiedades Físicas | Densidad (<i>g/cm³</i>) | 8,03 |
| | Difusividad térmica <i>mm²/s</i> | 4.05 |

Nota. En la tabla se puede observar las propiedades mecánicas como físicas del acero AISI 316.

Figura 8*Estructura de la botella generadora*

Nota. En el lado izquierdo se pueden identificar las dimensiones del diseño de la botella generadora en 2D, mientras que en el lado derecho la vista realizada en 3D.

Posteriormente se darán a conocer los elementos externos que se emplean para la conexión del voltaje de alimentación, limpieza y llenado de la botella y la respectiva salida del gas de hidrógeno generado, que forman parte de la botella generadora, a la vez, que se indicara otros componentes principales descritos en la tabla 10.

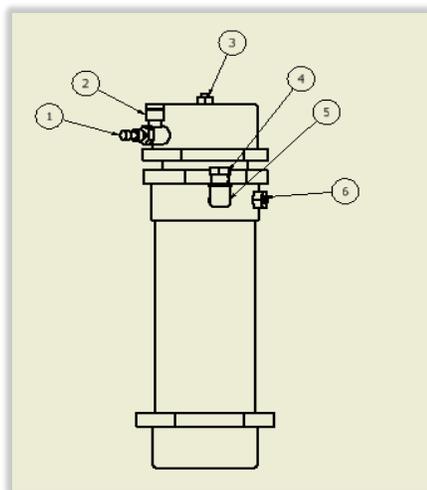
Tabla 8*Componentes principales de la botella generadora*

| Componentes | |
|--------------------|-------------------------------|
| 1 | Regulador de paso de flujo |
| 2 | Acople rápido de ¼ in |
| 3 | Conexión a positivo |
| 4 | Codo de llenado y de limpieza |
| 5 | Tapón |
| 6 | Conexión a negativo |

Nota. En la tabla se explican los nombres de los elementos que forman parte de la botella generadora y su correspondiente numeración.

Figura 9

Componentes principales de la botella generadora



Nota. En la figura en 2D se puede visualizar la respectiva numeración de los elementos principales que forman parte de la botella generadora.

Diseño eléctrico y electrónico

Selección de materiales

El sistema eléctrico y electrónico del equipo está alimentado por una corriente de voltaje de 12V CC entregados por la batería del vehículo, consta además de los siguientes materiales como son: interruptor, contactor, pulsadores, botón de emergencia, fuente variable, pantalla LCD, módulo ESP32, bomba de agua, relé y fusible.

Tabla 9

Interruptor

| Interruptor | | |
|--------------------|-------------------|---------------|
| Características | Tipo | Bascular |
| | Voltaje | 250 – 125 VAC |
| | Corriente nominal | 16 – 20 A |
| | Modo de operación | ON – OFF |
| | Contactos | 4 |
| | Cantidad | 1 |

Nota. En la tabla se indican las características del interruptor aplicado en el equipo para el proceso del control de funcionamiento de la bomba, el cual maneja un voltaje de 250 – 125 VAC y el posee cuatro contactos.

Se utilizó el contactor “Breaker” EBS6BN, debido a su característica de ser un interruptor automático, ayudando a proteger la integridad del equipo en caso de un cortocircuito o sobrecarga eléctrica.

Tabla 10

Contactor EBS6BN

| Contactor EBS6BN | | |
|-------------------------|-------------------|------------------------|
| Características | Voltaje | 24 – 415 V |
| | Corriente nominal | 16 A |
| | Tipo | Interruptor automático |
| | Cantidad | 1 |

Nota. En la tabla se observa las características del contactor como son: voltaje, corriente nominal, su tipo y la cantidad empleada en la construcción del equipo de descarbonización referenciados.

Se empleó una pantalla LCD, la cual posibilitó la visualización de la información, necesaria para la utilización del equipo en el proceso de descarbonización.

Tabla 11

pantalla LCD

| Pantalla LCD | | |
|---------------------|-----------------------------|------------|
| Características | Voltaje de alimentación | 5 VDC |
| | Corriente de consumo máximo | 25 mA |
| | Interface | 8 – 4 bits |
| | Backlight | Azul |
| | Texto | Blanco |
| | Filas | 2 |

| Pantalla LCD | |
|---------------------|----|
| Columnas | 16 |
| Cantidad | 1 |

Nota. En la tabla se presenta las características de la pantalla LCD, donde se visualiza los aspectos fundamentales en tener en consideración para su utilización.

Se maneja el módulo ESP32, el cual permitió el control de los parámetros de funcionamiento de pantalla LCD mediante una respectiva programación realizada de acuerdo a los requisitos de funcionamiento del equipo.

Tabla 12

Módulo ESP32

| Módulo ESP32 | | |
|---------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| | Voltaje de alimentación | 5 V DC |
| | Voltaje de entrada/ salida | 3.3 V DC |
| | Desempeño | Hasta 600 DMIPS |
| | Pines | 30 |
| | Pines digitales GPIO | 24 (algunos pines solo como entrada) |
| | Pine PWM | 16 |
| Características | Pines analógicos ADC | 18 (3.3V, 12bit: 4095, tipo SAR) |
| | Convertor digital a analógico | 8 bit |
| | UART | 2 |
| | ROM | 448 kB |
| | SRAM in RTC | 520 KB |
| | QSPI Flash/SRAM | 4 MB |
| | Frecuencia de reloj | Hasta 240 Mhz |

Nota. En la tabla se indican, los valores de funcionamiento del módulo ESP32 tanto de voltaje, además del número de pines con sus características incluyendo los valores respecto a la memoria y frecuencia de reloj.

Diseño de conexiones

Para el respectivo diseño de las conexiones del equipo de descarbonización, la fuente de alimentación de la corriente de 12V se tomó desde la batería del vehículo y a través del

microcontrolador y de cuatro transistores de tipo MOSFET, para el control de la frecuencia de la corriente recibida que es desde 1 KHz hasta los 15 KHz, adicionalmente del ancho de pulso PWM es capaz de mantener la onda como señal cuadrada y apartarla según sea la necesidad desde un potenciómetro del temporizador, de esta manera se optimizó el procedimiento de la electrólisis que se desarrolla en la botella generadora de hidrógeno.

Además, el circuito eléctrico que se empleó para el control del sistema de generación de hidrógeno HHO. El sistema este compuesto de un disyuntor de 15 Amperios, un pulsador de emergencia al inicio del circuito, un interruptor de accionamiento de la bomba de agua, un pulsador de inicio del temporizador, un temporizador para regular los tiempos, dos relés y un solenoide que representan lo que es la botella generadora de hidrógeno.

Generación de la onda eléctrica

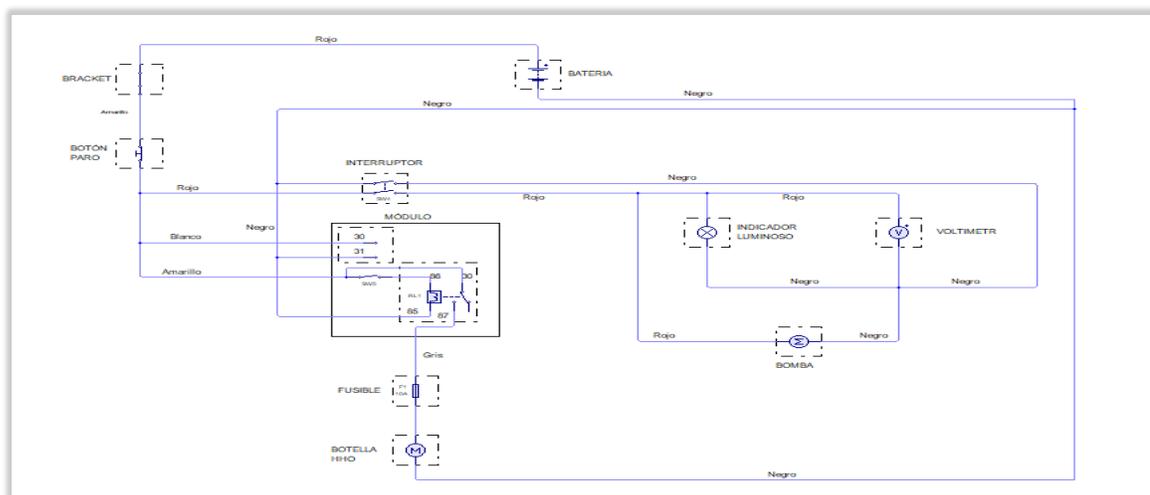
Se realizó un sistema electrónico que, a través de una bobina toroide y un microcontrolador para el control de la frecuencia, de la onda y el ancho de pulso (PWM) de la corriente inyectada al sistema generador.

Las características del sistema electrónico, esta placa toma la corriente de 12V de la batería del vehículo, mediante el microcontrolador y cuatro transistores de tipo MOSFERT, pudiendo controlar la frecuencia de la corriente recibida desde 1 KHz hasta los 15 KHz, asimismo el ancho de pulso PWM es capaz de mantener la onda cuadrada y separarla según sea la necesidad desde el un potenciómetro conectado a la placa, de esta manera se optimizó el proceso de electrólisis de la botella generadora de hidrógeno, en las mediciones del osciloscopio es posible observar la variación de la frecuencia y PWM, existiendo un voltaje pico equivalente a 500V, teniendo la consideración que el amperaje no supero los tres amperios. Al medir los valores con un multímetro convencional se evidencio que la corriente fluctúa, el voltaje desde 0 a 2,5 voltios, y el amperaje de 0,1 a 3,1 amperios, esto debido al tipo de onda y

a la configuración de la frecuencia y ancho de pulso. En la realización de las pruebas se conectó a la placa a una fuente de 12 V y 1,68 A.

Figura 10

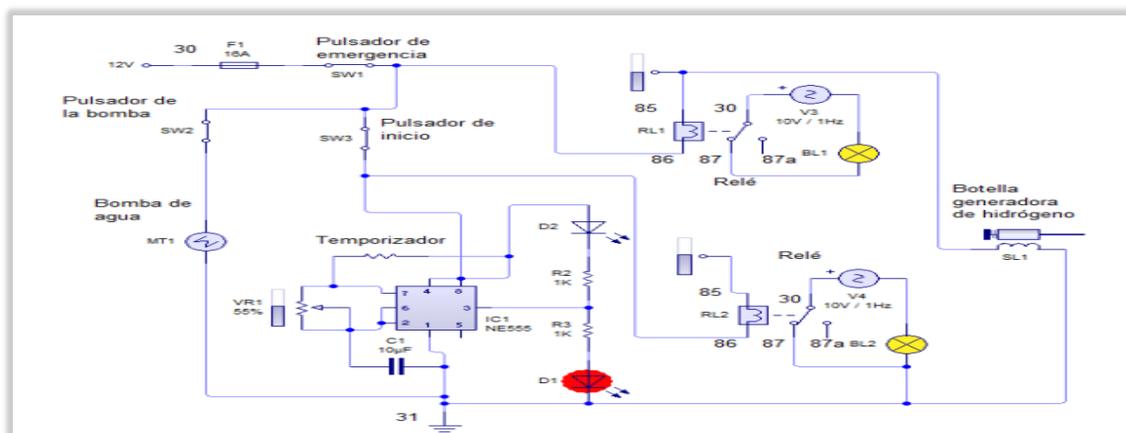
Diseño de conexión



Nota. En la figura se indica el diseño de las conexiones de los elementos eléctricos y electrónicos desarrollados en el software LiveWire.

Figura 11

Simulación del circuito de activación de los componentes del equipo de descarbonización



Nota. En la figura se observa la respectiva simulación del funcionamiento del circuito del equipo de descarbonización en el software LiveWire.

Programación

Se utilizó el software Arduino para la respectiva programación del módulo ESP32 de tal manera que permite, la visualización del sistema cuando se encuentra activado con un saludo de bienvenida y la manipulación del cronómetro mientras el sistema permanezca activo.

A continuación, se observará el código utilizado entre la pantalla LCD y el módulo ESP32 en la visualización de los datos.

Código de programa

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>

int lcdColumns = 16;
int lcdRows = 2;
const int pint = 25;
int p;
int cr;
String ac="Activo";
// En este apartado se declaran las variables que controlan el cronometro
int horas = 0;
int minutos = 0;
int segundos = 0;
int decimas = 0;
long milisegundos =0;

LiquidCrystal_I2C lcd (0x27, lcdColumns, lcdRows);
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(pint, INPUT);
  lcd.init();
  lcd.backlight ();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Bienvenido al");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Sistema HHO");
  delay(2000);

  lcd.clear ();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Generador de");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Hidrogeno");
```

```

delay(2000);

lcd.clear();
}

void loop() {
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Estado: Pausado");

  if( digitalRead (pin)){
    ac="Activo"; // Activa el cronometro
    cr=HIGH;
  }
  else{
    ac="Pausado"; //desactiva el cronometro
    cr=LOW;
  }
  delay(200);

  if(cr==HIGH){
    for (int horas=0; horas<24; horas++){
      for (int minutos=0; minutos<60; minutos++){
        for (int segundos=0; segundos=60; segundos++){
          lcd.setCursor(0,0);
          lcd.print("Estado: Activo");
          lcd.setCursor(0,1);
          if(horas < 10)
          {
            lcd.print("0");
          }
          lcd.print(horas);
          lcd.setCursor(2,1);
          lcd.print(":");
          if (minutos<=9){
            lcd.setCursor (3,1);
            if(minutos < 10)
            {
              lcd.print("0");
            }
            lcd.print(minutos);
          }
          lcd.setCursor(5,1);
          lcd.print(":");
          if(segundos < 10)
          {
            lcd.print("0");
          }
          lcd.print(segundos);

          delay(1000);

```

```

}
lcd.clear();
}
}
digitalRead(cr);
delay(50);
}
//Termina la restricción de ac= activo

if (cr=LOW){
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Estado: Pausado");
  horas=0;
  minutos=0;
  segundos=0;

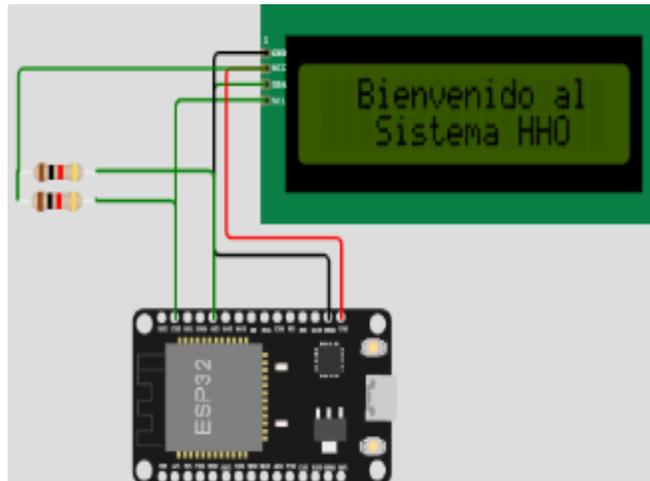
  lcd.clear();
}
}
}

```

Nota. Se puede visualizar el código que ayudo con la interfaz entre la pantalla LCD y el módulo ESP32 en la visualización de los datos y parámetros en la limpieza.

Figura 12

Simulación del funcionamiento de la pantalla LCD empleando en el módulo ESP32



Nota. En la figura se visualiza la simulación de la utilización del módulo ESP32 y la pantalla LCD para la observación de datos y parámetros en el proceso de limpieza.

Diseño hidráulico – neumático

El proceso del diseño hidráulico está tomado desde el depósito del agente limpiador con una capacidad de 600 ml, conectado mediante una cañería de \varnothing ¼ vinculada a la bomba mediante acoples rápidos hasta la salida del pulverizador que se encuentra ubicado en filtro cónico del equipo.

En la tabla 15 se muestra las características de la bomba empleada, para el proceso de que el líquido limpiador fluya desde su depósito, hasta el sistema de admisión del vehículo pasando por la boquilla pulverizadora.

Tabla 13

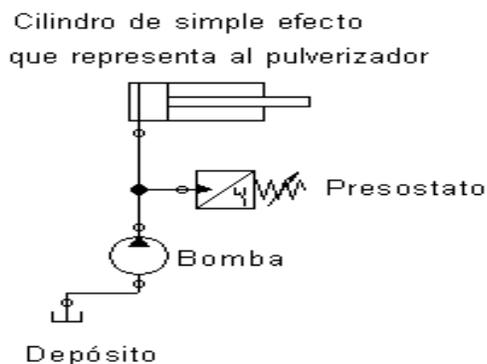
Bomba

| Bomba | | |
|-----------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Características | Estructura | Diafragma |
| | Tipo | Roscado - recto |
| | Voltaje | 12 V |
| | Amperaje | 5A |
| | Power | 60 W (Max) |
| | Presión | 0.80 MPa (Max 116 Psi) |
| | Tipo de válvula de protección | Válvula inteligente (con presostato) |
| | Caudal (Máx.) | 5 l/min (300 l/h) |
| | Diámetro de entrada y salida | ½ in |
| | Cantidad | 1 |

Nota. En la tabla se señala las características de funcionamiento como también la capacidad, que tiene la bomba empleada para el líquido limpiador.

Figura 13

Simulación del sistema hidráulico del equipo de decarbonización



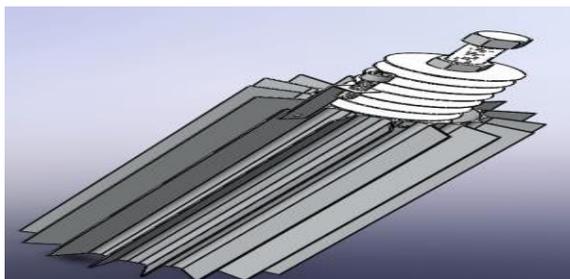
Nota. En la figura se observa la simulación del sistema hidráulico, teniendo como elementos el cilindro de simple efecto empleado para simular el pulverizador, la bomba con su respectivo presostato y el depósito del agente limpiador, en el programa FluidSIM.

El proceso del diseño neumático está considerado desde la botella generadora conectada con un acople rápido de $\varnothing \frac{1}{4}$, con una manguera que llega hasta el filtro cónico del equipo.

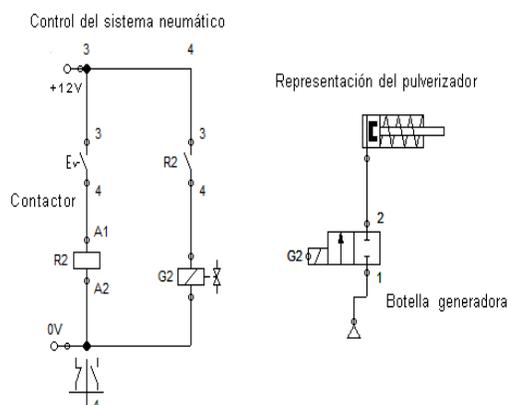
Debido que la botella generadora tiene una configuración de celdas húmedas está constituida por láminas de acero inoxidable y con aislamientos de plástico. Además, las placas están conectadas en serie.

Figura 14

Dispositivo de electrolisis



Nota. En la figura se muestra el dispositivo de electrolisis que se encuentra en la parte interna de la botella generadora con sus respectivas placas de funcionamiento.

Figura 15**Simulación del sistema neumático del equipo de descarbonización**

Nota. En la figura se observa una representación del sistema neumático, de lo que es respecto al control del sistema, de la botella generadora y el cilindro para mostrar la salida del hidrogeno FluidSIM.

Parámetros del estado del vehículo

Para conocer los parámetros del estado en el que se encontraba los vehículos de ensayo antes del ejecutar el método, no invasivo de limpieza por descomposición del agua por electrolisis en los motores de combustión interna, se realizaron varias pruebas de medición y observación para obtener resultados de las condiciones en las cuales se encontraba los automóviles.

Prueba de Emisiones Contaminantes

La realización de las pruebas de emisiones de gases contaminante se las elaboro empleando, el equipo de análisis de gases AGS-688 y utilizando los parámetros de las normativas NTE INEN: 2203:2000, 2204:2002 y 2202:2013.

Para establecer el método de ensayo en el caso de los vehículos con encendido por chispa, en condiciones de marcha mínima o ralentí se empleó la normativa NTE INEN 2203:2000 la cual

estipula: el equipo, calibración, procedimiento de medición, y el respectivo informe de los resultados.

Se utilizó la norma INEN 2204:2002 que menciona los parámetros de los límites que son permitidos de las emisiones contaminantes en vehículos de gasolina. En la tabla 15 Se da a conocer los valores permitidos por la norma para los vehículos de la prueba.

Se utilizó la normativa NTE INEN 2202:2013 para el vehículo a diésel debido que en esta norma están estipulado, el método de ensayo en el proceso de determinación del porcentaje de la opacidad en las emisiones de escape en la prueba estática.

Tabla 14

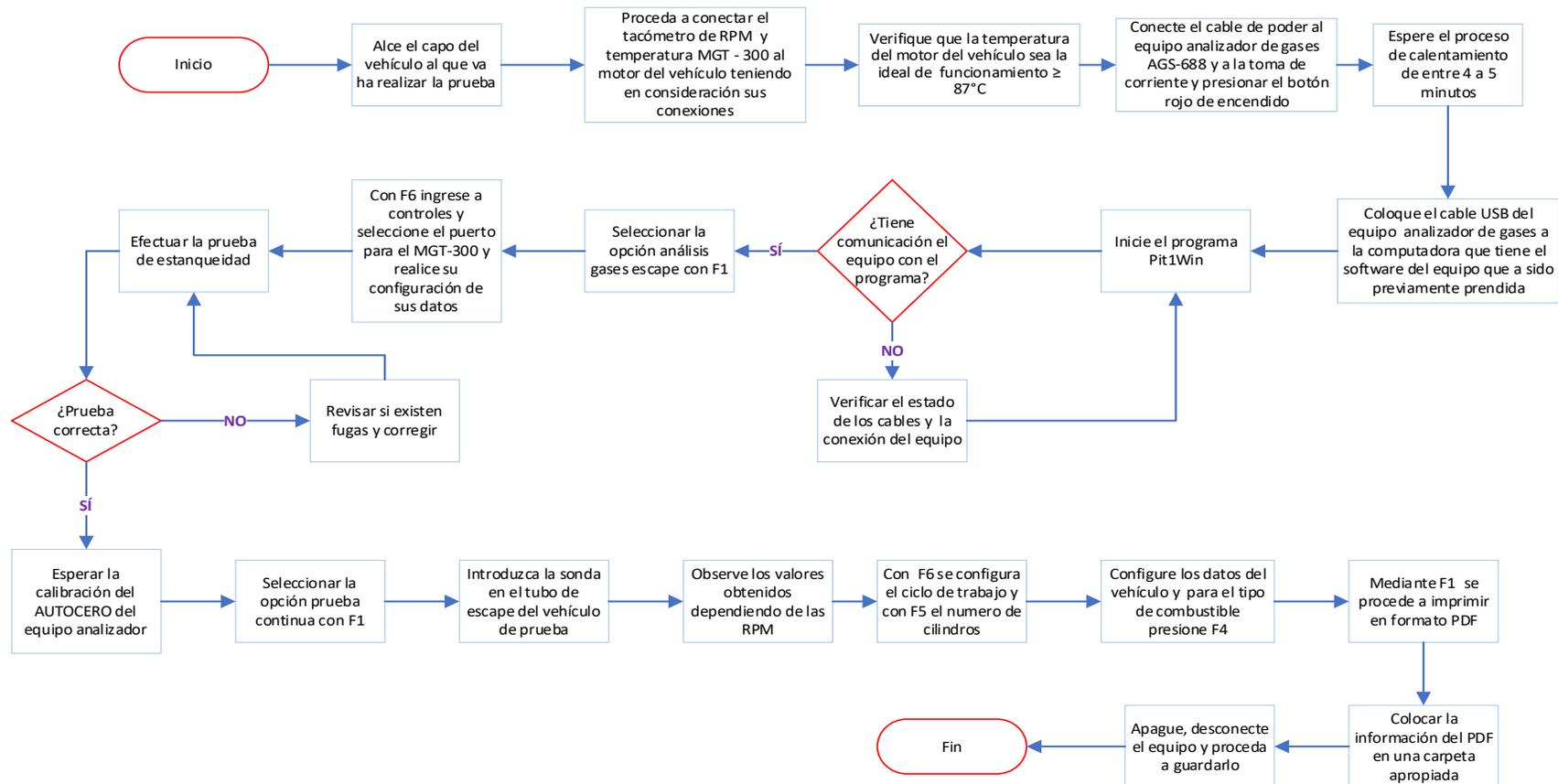
Valores límites permitidos por la normativa NTE INEN 2204:2002 para los vehículos de ensayo a gasolina (prueba estática)

| Año de fabricación del vehículo de ensayo | Monóxido de carbono % CO* | Hidrocarburos HC(ppm vol) |
|--|----------------------------------|----------------------------------|
| 2002 | 1,0 | 200 |
| 1996 | 4,5 | 750 |

Nota. En la tabla se observa los valores límites permitidos de emisiones contaminantes por la normativa tomando en consideración el año de fabricación de los vehículos de ensayo 1 y 2.

Figura 16

Prueba de emisiones contaminantes diagrama de flujo



Nota. En la figura se muestra el proceso para el desarrollo de la prueba de emisiones contaminantes, con el analizador de gases AGS-688.

Figura 17

Equipo analizador de gases AGS-688



Nota. En la figura se puede observar el analizador de gases AGS-688 y la sonda con su respectivo filtro, empleada en el proceso de medición de las emisiones en los vehículos de prueba.

Resultados obtenidos en la prueba de emisiones contaminantes:

Los valores obtenidos en la ejecución de la prueba son referentes a las emisiones de: HC, CO, CO₂, O₂ y la sonda lambda en el caso del sistema de inyección, siendo medidos en un sistema de escape estándar en los vehículos de prueba a gasolina y en el caso del motor diésel se realizó las mediciones de óxidos de nitrógeno NO_x en regímenes de ralentí.

La prueba de emisiones para el vehículo de ensayo 1 se las realizo considerando los siguientes parámetros: a ralentí, 2500 RPM y en retorno al estado de ralentí.

Tabla 15

Valores obtenidos en el vehículo de ensayo 1

| Parámetros "RPM" (1/min) | Hidrocarburos HC(ppm vol) | Monóxido de carbono CO (% vol) | Dióxido de carbono CO ₂ (% vol) | Oxígeno O ₂ (% vol) | Sonda lambda Λ(-) |
|--------------------------------|------------------------------|---|--|-----------------------------------|-------------------------|
| 1100 | 32 | 0,00 | 13,75 | 1,13 | 1,037 |
| 2500 | 21 | 0,01 | 13,91 | 0,62 | 1,03 |
| Retorno 1100 | 14 | 0,01 | 13,82 | 0,61 | 1,029 |

Nota. En la tabla se muestra los resultados obtenidos en los diferentes parámetros de medición de las emisiones contaminantes.

Prueba de emisiones para el vehículo de ensayo 2 se la realizando los mismos parámetros empleados en el vehículo de ensayo 1.

Tabla 16

Valores obtenidos en el vehículo

| Parámetros "RPM" (1/min) | Hidrocarburos HC(ppm vol) | Monóxido de carbono CO (% vol) | Dióxido de carbono CO ₂ (% vol) | Oxígeno O ₂ (% vol) |
|--------------------------------|------------------------------|---|--|-----------------------------------|
| 1000 | 38 | 0,01 | 14,81 | 1,44 |
| 2500 | 24 | 0,02 | 14,98 | 0,78 |
| Retorno 1000 | 17 | 0,02 | 14,88 | 0,75 |

Nota. En la tabla se muestra los valores que se obtuvieron en la medición de las emisiones contaminantes.

La prueba de emisiones para el vehículo de ensayo 3 se las realizo considerando los parámetros de las RPM y valores de los NOx.

Tabla 17

Valores obtenidos en la prueba de emisiones contaminantes

| Nº de prueba | RPM (1/min) | Óxidos de nitrógeno NOx (ppm vol) |
|---------------------|------------------------|--|
| 1 | 730 | 652 |
| 2 | 740 | 612 |
| 3 | 750 | 605 |
| 4 | 745 | 599 |
| 5 | 756 | 610 |
| 6 | 742 | 622 |
| Promedio | 743,83 | 616,67 |

Nota. En la tabla se muestra los valores obtenidos en las diferentes mediciones en estado de ralentí en los NOx.

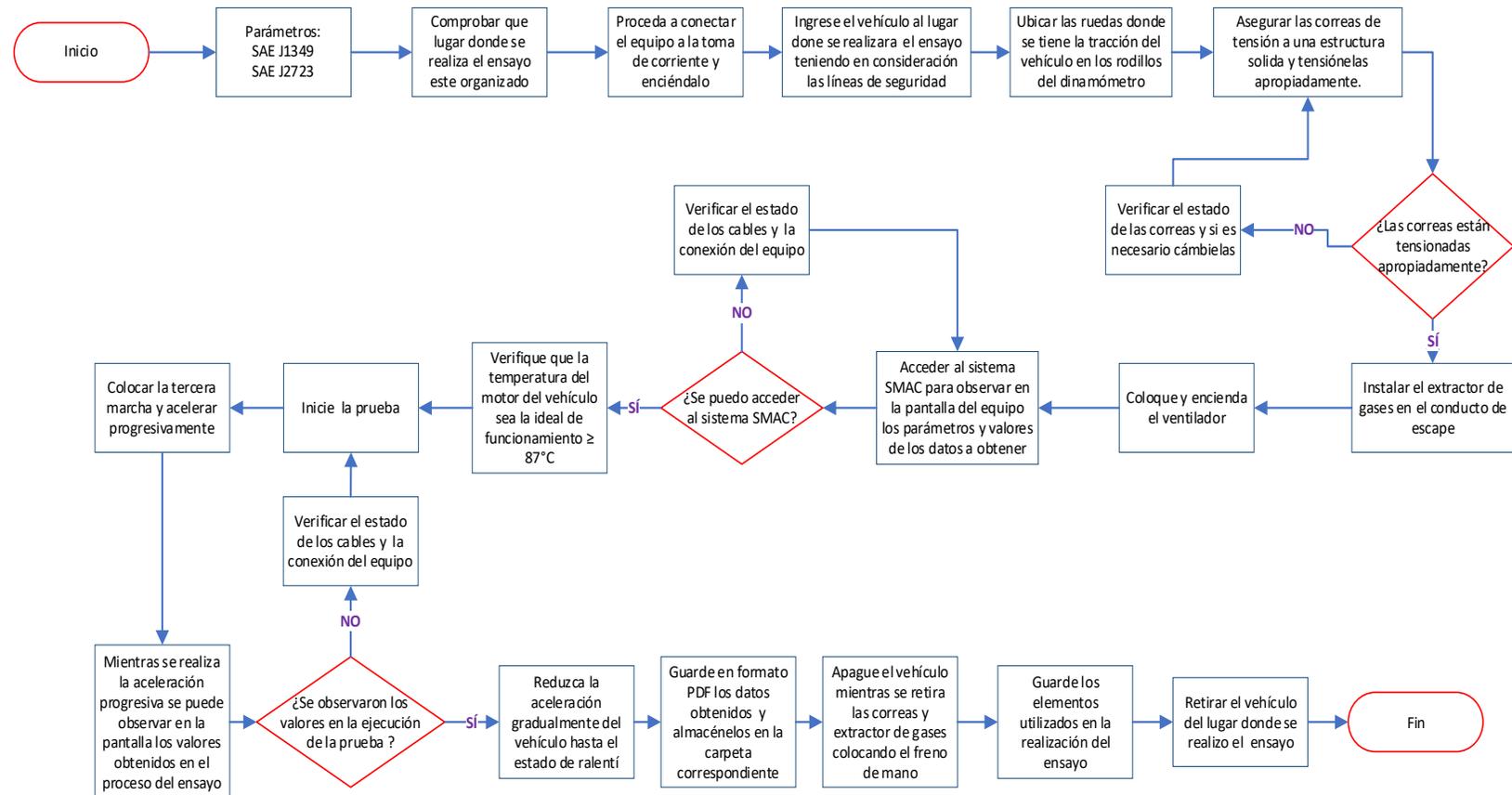
Ensayo de Torque – Potencia

Para el desarrollo del ensayo de Torque - Potencia se empleó un dinamómetro de rodillos de la marca Sáenz BPVI, que utiliza la normativa SAE J1349 con la cual se obtuvo los datos de:

Potencia, potencia motor, potencia de transmisión y torque.

Figura 18

Ensayo de Torque – Potencia diagrama de flujo



Nota. En la figura se muestra el proceso para el desarrollo del ensayo de Torque – Potencia, utilizando un dinamómetro de rodillos

Sáenz BPVI.

Figura 19

Equipo empleado en la realización del ensayo de Torque – Potencia



Nota. En la figura se observa los componentes del dinamómetro de rodillos Sáenz BPVI empleado en las mediciones de Torque – Potencia de los distintos vehículos de ensayo.

Resultados del Ensayo de Torque – Potencia:

Los valores correspondientes en el desarrollo del ensayo dieron a conocer el estado mecánico del motor, con respecto al torque y la potencia antes de ser sometido al método de descarbonización no invasivo.

En la tabla 20. se pueden observar los resultados obtenidos en el ensayo de Torque – Potencia, en el vehículo de ensayo 1.

Tabla 18

Valores obtenidos en el ensayo

| "RPM" | Potencia (HP) | Potencia motor (HP) | Potencia transmisión (HP) | Torque (Kg.m) |
|-------|------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------|
| 2600 | 39 | 47,6 | 8,2 | 11 |
| 2800 | 44 | 52,7 | 8,9 | 11,4 |
| 3000 | 48 | 57,5 | 9,6 | 11,6 |
| 3200 | 51 | 61,1 | 10,2 | 11,5 |

| "RPM" | Potencia (HP) | Potencia motor (HP) | Potencia transmisión (HP) | Torque (Kg. m) |
|-----------------|------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------|
| 3400 | 52 | 62,9 | 11 | 11,1 |
| 3600 | 54 | 65,9 | 11,7 | 10,9 |
| 3800 | 57 | 69,8 | 12,4 | 10,9 |
| 4000 | 62 | 75,4 | 13,1 | 11,2 |
| 4200 | 65 | 79 | 13,9 | 11,2 |
| 4400 | 66 | 80,5 | 14,8 | 10,8 |
| 4600 | 69 | 84,7 | 15,7 | 10,8 |
| 4800 | 75 | 91,2 | 16,7 | 11,2 |
| 5000 | 77 | 94,5 | 17,8 | 11,1 |
| 5200 | 77 | 96,4 | 19,2 | 10,8 |
| 5400 | 79 | 99,3 | 20,6 | 10,5 |
| 5600 | 80 | 102,4 | 22,3 | 10,4 |
| 5800 | 81 | 105,1 | 24,4 | 10,1 |
| 6000 | 81 | 107,9 | 26,7 | 9,8 |
| 6200 | 81 | 110,6 | 29,5 | 9,5 |
| 6400 | 80 | 113,2 | 32,8 | 9,1 |
| 6600 | 78 | 114,9 | 36,5 | 8,6 |
| 6800 | 71 | 111,8 | 40,3 | 7,6 |
| 7000 | 54 | 54 | 0 | 5,6 |
| Promedio | 66,13 | 84,28 | 18,10 | 10,29 |

Nota. En la tabla se observa los valores resultantes del ensayo de Torque – Potencia, teniendo en consideración los valores más elevados, con negrita y de igual manera el promedio del análisis.

En la tabla 21, se indica los valores máximos en el ensayo con respecto a las RPM donde se produjeron.

Tabla 19

Resultados máximos obtenidos con sus respectivas RPM donde se produjo el valor

| Variable | RPM | Máximo |
|---------------|--------|--------|
| Potencia (HP) | 5800,0 | 81 |
| Torque (Kg.m) | 3000,0 | 11,6 |

| Variable | RPM | Máximo |
|------------------------------|--------|--------|
| Potencia de Transmisión (HP) | 6800,0 | 40,3 |
| Potencia Motor (HP) | 6600,0 | 114,9 |

Nota. En la tabla se visualiza los resultados máximos registrados en el ensayo de Torque – Potencia, con sus respectivas RPM.

A continuación, en la tabla 20. se pueden visualizar los valores del resultado en el ensayo de Torque – Potencia en el vehículo de ensayo 2.

Tabla 20

Valores obtenidos en el desarrollo del ensayo

| "RPM" | Potencia (HP) | Potencia motor (HP) | Potencia transmisión (HP) | Torque (Kg. m) |
|-----------------|---------------|---------------------|---------------------------|----------------|
| 2600 | 34 | 39,7 | 5,7 | 9,5 |
| 2800 | 36 | 42,6 | 6,3 | 9,4 |
| 3000 | 39 | 45,7 | 6,8 | 9,3 |
| 3200 | 41 | 48,4 | 7,4 | 9,2 |
| 3400 | 43 | 50,7 | 8,0 | 9,0 |
| 3600 | 44 | 52,5 | 8,6 | 8,8 |
| 3800 | 44 | 53,6 | 9,3 | 8,4 |
| 4000 | 45 | 54,7 | 10,1 | 8,1 |
| 4200 | 45 | 55,7 | 10,8 | 7,7 |
| 4400 | 45 | 56,1 | 11,5 | 7,3 |
| 4600 | 44 | 56,2 | 12,3 | 6,9 |
| 4800 | 43 | 56,0 | 13,2 | 6,4 |
| 5000 | 41 | 54,8 | 14,0 | 5,9 |
| 5200 | 39 | 54,4 | 14,9 | 5,5 |
| 5400 | 36 | 51,6 | 15,8 | 4,8 |
| 5600 | 23 | 23,0 | 0,0 | 3,0 |
| Promedio | 40,13 | 49,73 | 9,67 | 7,45 |

Nota. En la tabla se observa los valores resultantes del ensayo de Torque – Potencia, teniendo en consideración los valores más elevados, con negrita y de igual manera el promedio del análisis.

Tabla 21

Resultados máximos obtenidos con sus respectivas RPM donde se produjo el valor

| Variable | RPM | Máximo |
|------------------------------|------------|---------------|
| Potencia (HP) | 4000,0 | 45 |
| Torque (Kg.m) | 2600,0 | 9,5 |
| Potencia de Transmisión (HP) | 5400,0 | 15,8 |
| Potencia Motor (HP) | 4600,0 | 56,2 |

Nota. En la tabla se observa los valores máximos obtenidos en el ensayo, con sus respectivas RPM.

Por último, en la tabla 22. se muestran los valore del ensayo de Torque – Potencia, en el vehículo de ensayo 3.

Tabla 22

Valores obtenidos en el proceso del ensayo del automóvil

| "RPM" | Potencia (HP) | Potencia motor (HP) | Potencia transmisión (HP) | Torque (Kg. m) |
|-----------------|----------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| 2600 | 64 | 71,7 | 7,8 | 17,8 |
| 2800 | 66 | 75,1 | 8,8 | 17,1 |
| 3000 | 68 | 77,8 | 9,7 | 16,4 |
| 3200 | 69 | 79,8 | 10,7 | 15,8 |
| 3400 | 69 | 81,1 | 11,7 | 14,9 |
| 3600 | 71 | 83,3 | 12,8 | 14,2 |
| 3800 | 72 | 85,6 | 14,0 | 13,7 |
| 4000 | 72 | 87,4 | 15,3 | 13,1 |
| 4200 | 48 | 64,5 | 16,6 | 8,2 |
| 4400 | 33 | 33,1 | 0,00 | 5,5 |
| Promedio | 63,20 | 73,94 | 10,74 | 13,67 |

Nota. En la tabla se observa los resultados del ensayo teniendo en consideración los valores más altos resaltados con negrita y de igual manera el promedio de los resultados.

Tabla 23

Resultados máximos del vehículo de ensayo 3 obtenidos con sus respectivas RPM donde se produjo el valor

| Variable | RPM | Máximo |
|------------------------------|------------|---------------|
| Potencia (HP) | 3800,0 | 72 |
| Torque (Kg.m) | 2600,0 | 17,8 |
| Potencia de Transmisión (HP) | 4200,0 | 16,6 |
| Potencia Motor (HP) | 4000,0 | 87,4 |

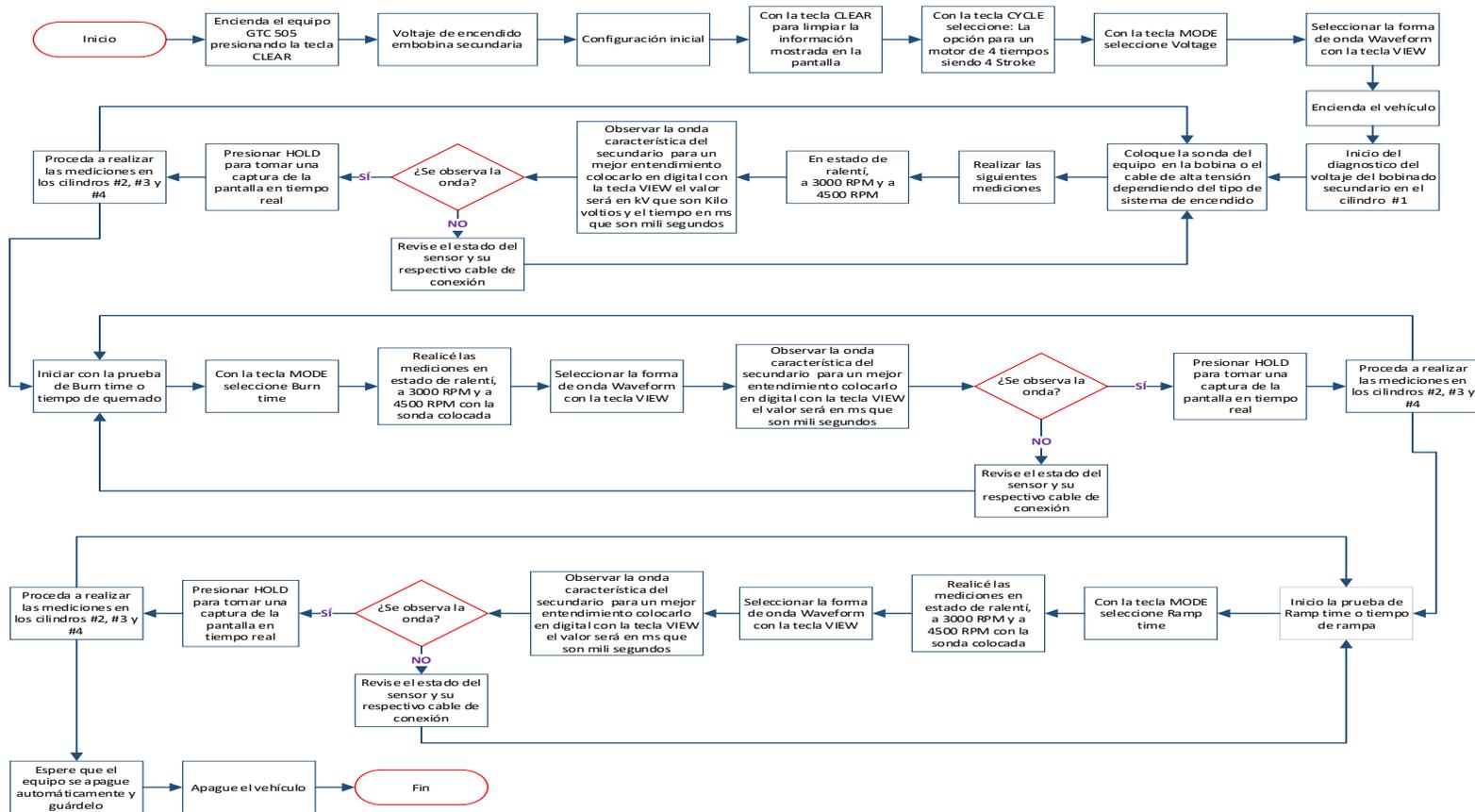
Nota. En la tabla se observa los datos máximos registrados en el ensayo de Torque – Potencia, con sus respectivas RPM.

Analizador de Motores

En esta prueba se utilizó el equipo GTC 505 para la realización de la respectiva medición, en el sistema secundario de la bobina en un sistema de encendido por chispa DIS – COP y convencional para saber el estado, de la señal del secundario, tiempo de quemado y tiempo de rampa.

Figura 20

Diagrama de flujo utilización del equipo GTC 505 para la realización de la prueba



Nota. En la figura se muestra el proceso para la realización de la prueba con el uso del equipo del analizador GTC 505, para los vehículos de ensayo 1 y 2.

Figura 21

Equipo GTC 505 empleado en el desarrollo de la investigación



Nota. En la figura se observa el equipo GTC 505 empleado en las pruebas de los vehículos de ensayo 1 y 2.

En la siguiente tabla 24 se visualizará los valores obtenidos en el vehículo de ensayo 1 teniendo, en consideración que tiene un sistema de encendido por chispa DIS – COP.

Tabla 24

Valores obtenidos en el proceso de la prueba con el equipo GTC 505

| Nº de bobina | "RPM" | Señal del secundario (kV) | Tiempo de quemado (ms) | Tiempo de rampa (ms) |
|---------------------|--------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 1 | Ralentí | 12,33 | 2,05 | 3,69 |
| | 3000 | 14,43 | 1,66 | 3,02 |
| | 4500 | 19,15 | 1,70 | 2,55 |
| 2 | Ralentí | 13,64 | 2,01 | 3,20 |
| | 3000 | 10,07 | 1,79 | 2,67 |
| | 4500 | 14,15 | 1,36 | 2,86 |
| 3 | Ralentí | 12,38 | 2,23 | 3,53 |
| | 3000 | 58,75 | 1,87 | 2,98 |
| | 4500 | 9,78 | 1,62 | 2,87 |
| 4 | Ralentí | 10,87 | 2,56 | 3,53 |
| | 3000 | 7,88 | 1,96 | 3,04 |

| Nº de bobina | "RPM" | Señal del secundario (kV) | Tiempo de quemado (ms) | Tiempo de rampa (ms) |
|-----------------|-------|---------------------------|------------------------|----------------------|
| | 4500 | 8,98 | 1,90 | 2,65 |
| Promedio | | 16,03 | 1,89 | 3,05 |

Nota. En la tabla se observa los valores obtenidos en las diferentes bobinas del vehículo que tiene un sistema de encendido por chispa DIS – COP.

En la tabla 25 se observa los valores resultantes en el vehículo de ensayo 2 teniendo un sistema de encendido convencional.

Tabla 25

Resultados en el proceso de la prueba con el equipo GTC 505

| Nº de bobina | "RPM" | Tiempo de quemado (ms) | Promedio (ms) |
|--------------|-------|------------------------|---------------|
| 1 | 1000 | 2,68 | 2,54 |
| | 2000 | 2,54 | |
| | 3000 | 2,41 | |
| 2 | 1000 | 2,72 | 2,48 |
| | 2000 | 2,47 | |
| | 3000 | 2,24 | |
| 3 | 1000 | 2,56 | 2,43 |
| | 2000 | 2,43 | |
| | 3000 | 2,3 | |
| 4 | 1000 | 2,67 | 2,49 |
| | 2000 | 2,41 | |
| | 3000 | 2,38 | |

Nota. En la tabla se observa los resultados obtenidos en las cuatro bobinas del vehículo teniendo en consideración que utiliza un sistema de encendido convencional.

Opacidad

La prueba de opacidad está determinada mediante los parámetros de las normativas NTE INEN 2202:2013 y 2207:2002 que establecen los procedimientos y valores del ensayo en la determinación del porcentaje de opacidad.

Se utilizó la normativa NTE INEN 2202:2013 para el vehículo a diésel en esta norma está estipulado el método de ensayo en el proceso de determinación, del porcentaje de las emisiones de escape en la prueba estática.

La norma NTE INEN 2207:2002, que determina los límites que son permitidos en las emisiones contaminantes en vehículos automotores de diésel. Además, se establece los parámetros del porcentaje de opacidad en aceleración libre dependiendo de año del modelo.

Tabla 26

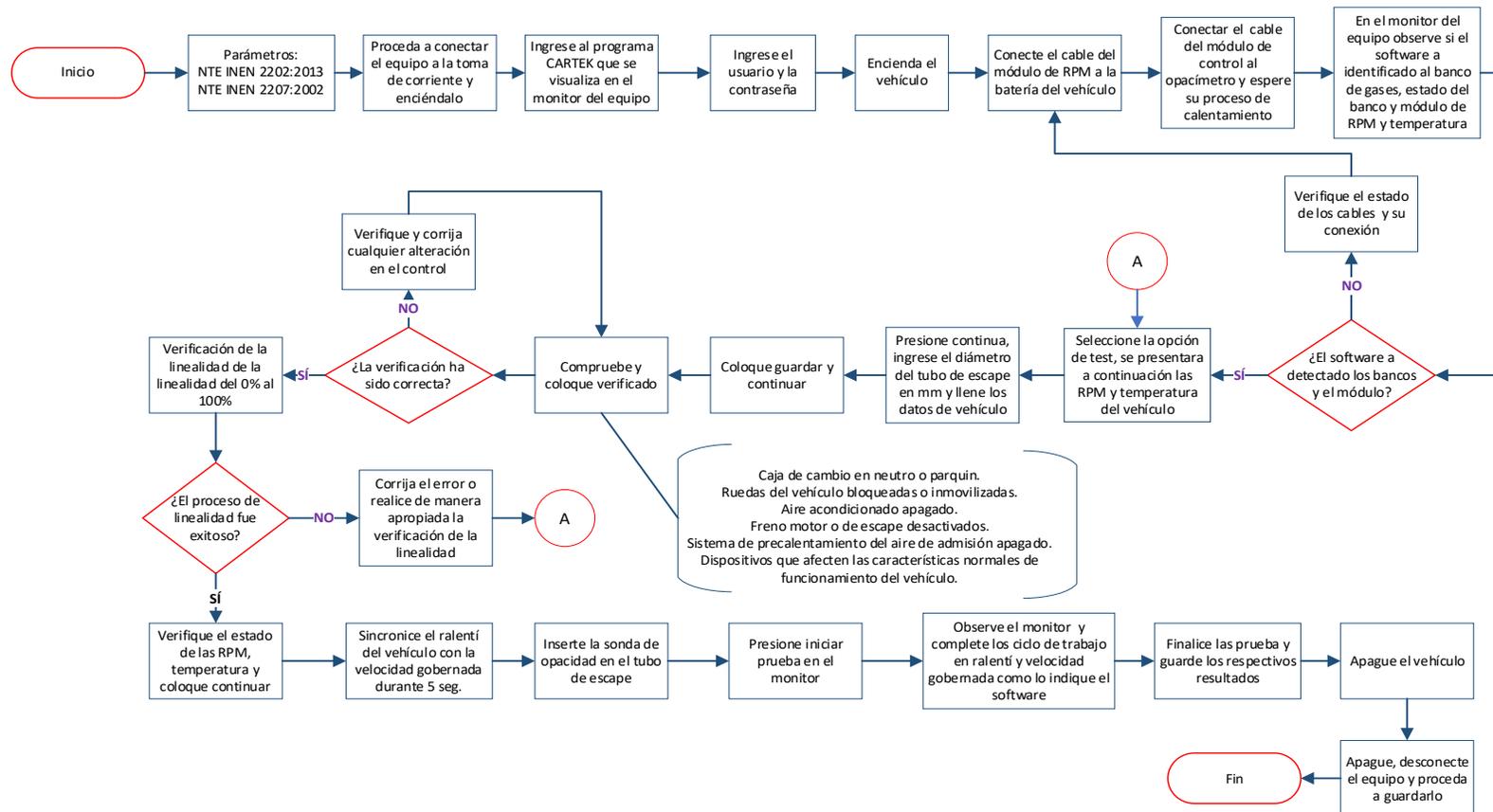
Valores límites máximos del porcentaje de opacidad por la normativa NTE INEN 2207:2002 y la opacidad límite empleada en el equipo de opacidad (prueba de aceleración libre)

| Año de fabricación del vehículo de ensayo | NTE INEN 2207:2002 % | Opacidad límite equipo % |
|--|-------------------------------------|---|
| 2013 | 50 | 15 |

Nota. En la tabla se observa los valores límites del porcentaje de opacidad empleados por la normativa y el equipo de opacidad utilizado en la investigación.

Figura 22

Prueba de opacidad diagrama de flujo



Nota. En la figura se muestra el procedimiento para la realización de la prueba de opacidad. “A” estado como punto de retorno en el caso de que se obtenga un error en el proceso de linealidad.

Figura 23

Equipo empleado en la prueba de opacidad con el opacómetro BEAR 57-220



Nota. En la figura se observa el equipo y el opacómetro entregado por el laboratorio de Autotrónica para el desarrollo de la investigación.

Resultados de la prueba de opacidad:

En la tabla 27 se observan los valores obtenidos en la realización de la prueba de opacidad del vehículo de ensayo 3.

Tabla 27

Valores resultantes del porcentaje de opacidad y estados de mediciones

| Ensayo | Medición | RPM | Prueba | Valores (%) |
|---------------|-----------------|------------|-----------------|--------------------|
| 1 | Ralentí | 779 | Prueba ensayo: | 32,85% |
| | | | Prueba 1: | 34,78% |
| | Governada | 1637 | Prueba 2: | 30,79% |
| | | | Prueba 3: | 32,38% |
| 2 | Ralentí | 819 | Opacidad | 32,65% |
| | | | Prueba ensayo: | 34,35% |

| Ensayo | Medición | RPM | Prueba | Valores (%) | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 3 | Gobernada | 1610 | Prueba 1: | 32,02% | | | |
| | | | Prueba 2: | 34,52% | | | |
| | | | Prueba 3: | 34,73% | | | |
| | Opacidad | | | | 33,76% | | |
| | Ralentí | 781 | Prueba ensayo: | 16,62% | | | |
| | | | Prueba 1: | 15,97% | | | |
| Prueba 2: | | | 15,72% | | | | |
| 4 | Gobernada | 1515 | Prueba 3: | 20,42% | | | |
| | | | Opacidad | | | | 17,37% |
| | | | Prueba ensayo: | 27,17% | | | |
| | Ralentí | 728 | Prueba 1: | 30,29% | | | |
| | | | Prueba 2: | 23,62% | | | |
| | | | Prueba 3: | 29,57% | | | |
| Opacidad | | | | 27,83% | | | |
| 5 | Ralentí | 781 | Prueba ensayo: | 16,62% | | | |
| | | | Prueba 1: | 15,97% | | | |
| | | | Prueba 2: | 15,72% | | | |
| | Gobernada | 1515 | Prueba 3: | 20,42% | | | |
| | | | Opacidad | | | | 17,37% |
| | | | Prueba ensayo: | 32,35% | | | |
| 6 | Ralentí | 791 | Prueba 1: | 33,17% | | | |
| | | | Prueba 2: | 31,79% | | | |
| | | | Prueba 3: | 31,23% | | | |
| | Opacidad | | | | 32,06% | | |
| | Gobernada | 1635 | Prueba ensayo: | 34,35% | | | |
| | | | Prueba 1: | 34,21% | | | |
| Prueba 2: | | | 32,22% | | | | |
| 7 | Ralentí | 819 | Prueba 3: | 31,73% | | | |
| | | | Opacidad | | | | 32,72% |
| | | | Prueba ensayo: | 34,35% | | | |
| | Gobernada | 1610 | Prueba 1: | 32,02% | | | |
| | | | Prueba 2: | 34,52% | | | |
| | | | Prueba 3: | 34,73% | | | |
| Opacidad | | | | 33,76% | | | |
| Ralentí | 781 | Prueba ensayo: | 16,62% | | | | |
| | | Prueba 1: | 15,97% | | | | |
| | | Prueba 2: | 15,72% | | | | |
| Gobernada | 1515 | Prueba 3: | 20,42% | | | | |
| | | Opacidad | | | | 17,37% | |
| | | Prueba ensayo: | 27,17% | | | | |
| Ralentí | 728 | Prueba 1: | 30,29% | | | | |
| | | Prueba 2: | 23,62% | | | | |
| | | Prueba 3: | 29,57% | | | | |
| Opacidad | | | | 27,83% | | | |
| 5 | Ralentí | 781 | Prueba ensayo: | 16,62% | | | |
| | | | Prueba 1: | 15,97% | | | |
| | | | Prueba 2: | 15,72% | | | |
| | Gobernada | 1515 | Prueba 3: | 20,42% | | | |
| | | | Opacidad | | | | 17,37% |
| | | | Prueba ensayo: | 32,35% | | | |
| 6 | Ralentí | 791 | Prueba 1: | 33,17% | | | |
| | | | Prueba 2: | 31,79% | | | |
| | | | Prueba 3: | 31,23% | | | |
| | Opacidad | | | | 32,06% | | |
| | Gobernada | 1635 | Prueba ensayo: | 34,35% | | | |
| | | | Prueba 1: | 34,21% | | | |
| Prueba 2: | | | 32,22% | | | | |
| 7 | Ralentí | 819 | Prueba 3: | 31,73% | | | |
| | | | Opacidad | | | | 32,72% |
| | | | Prueba ensayo: | 34,35% | | | |
| | Gobernada | 1610 | Prueba 1: | 32,02% | | | |
| | | | Prueba 2: | 34,52% | | | |
| | | | Prueba 3: | 34,73% | | | |
| Opacidad | | | | 33,76% | | | |
| Ralentí | 781 | Prueba ensayo: | 16,62% | | | | |
| | | Prueba 1: | 15,97% | | | | |
| | | Prueba 2: | 15,72% | | | | |
| Gobernada | 1515 | Prueba 3: | 20,42% | | | | |
| | | Opacidad | | | | 17,37% | |
| | | Prueba ensayo: | 27,17% | | | | |
| Ralentí | 728 | Prueba 1: | 30,29% | | | | |
| | | Prueba 2: | 23,62% | | | | |
| | | Prueba 3: | 29,57% | | | | |
| Opacidad | | | | 27,83% | | | |

Nota. En la tabla se visualiza los valores obtenidos en las pruebas referentes al porcentaje de opacidad.

A continuación, en la tabla 28, se muestran los valores promedios obtenidos con los resultados de los porcentajes de las pruebas de.

Tabla 28

Valores promedios obtenidos en las pruebas de opacidad

| Prueba | Valores (%) | Opacidad (%) |
|---------------|------------------------|-------------------------|
| 1 | 28,06% | |
| 2 | 26,34% | 27,68% |
| 3 | 28,64% | |

Nota. En la tabla se observan los resultados del promedio de las pruebas de opacidad realizadas.

Presión de compresión

La presión de compresión es una prueba que ayudo a la verificación de la eficiencia, del motor mediante la utilización de un compresómetro y datos técnicos del vehículo en el cual se emplearon manuales de servicios para las características de la compresión de los vehículos utilizados en la investigación. Los valores están dados en PSI.

Tabla 29

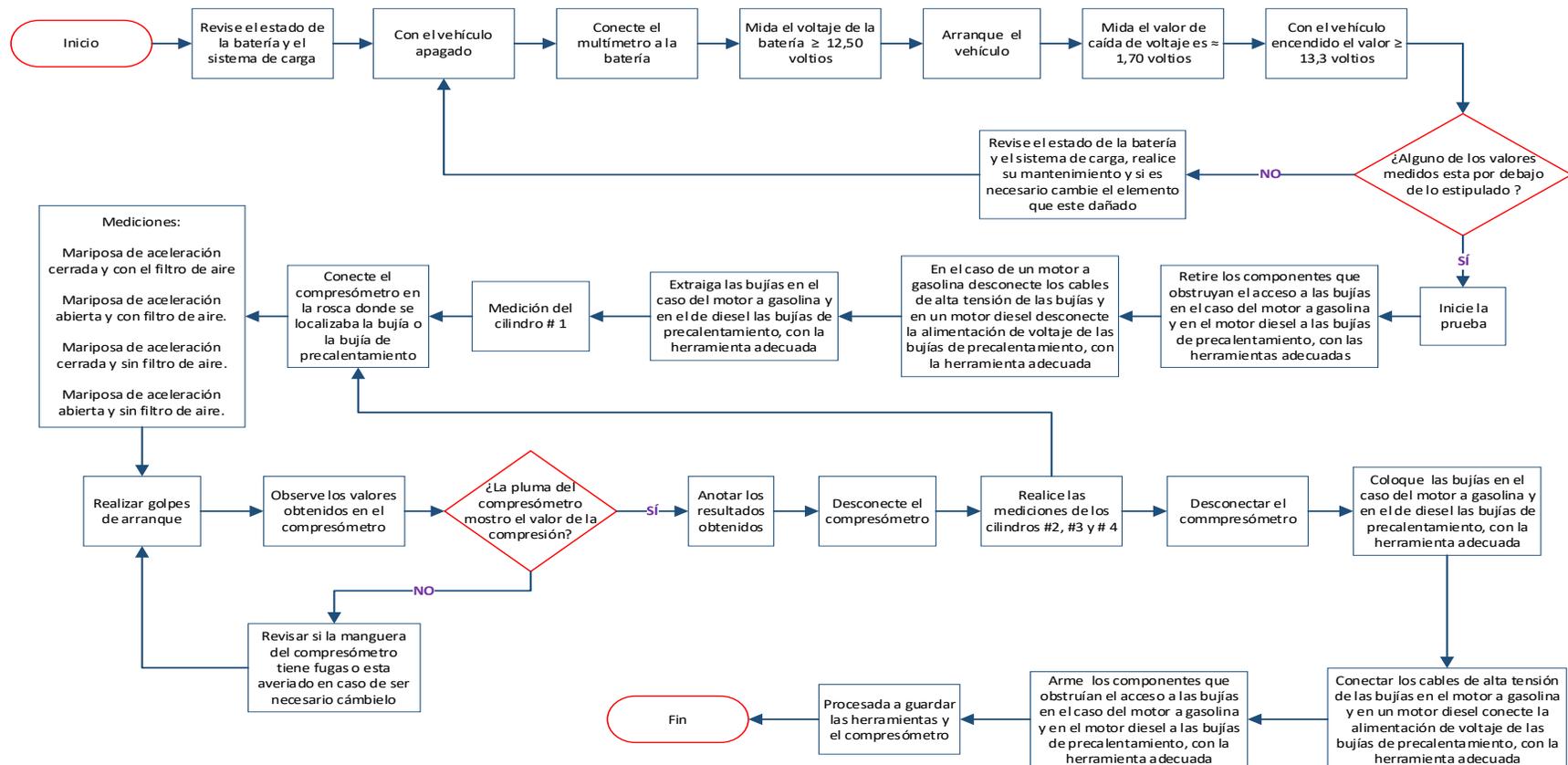
Valores empleados en la medición de compresión de los vehículos de ensayo

| Vehículo de ensayo | Presión de compresión (PSI) |
|---------------------------|--|
| 1 | 188.55 |
| 2 | 114,58 |
| 3 | 309 |

Nota. En la tabla se muestran los valores de presión de compresión tomada de manuales y páginas de web para los vehículos de ensayo empleados en la investigación.

Figura 24

Prueba de compresión diagrama de flujo



Nota. En la figura se muestra el proceso para la realización de la prueba de compresión tomando en consideración a los vehículos a gasolina como a diésel.

Figura 25

Utilización del compresómetro para la toma de mediciones en la prueba de compresión



Nota. En la figura se puede observar el compresómetro colocado en los cilindros de los vehículos de ensayo para posteriormente medir su compresión.

Resultados de las pruebas de compresión:

En la siguiente tabla 30, se muestran los valores obtenidos en el vehículo de ensayo 1, con los siguientes parámetros: con la mariposa de aceleración totalmente cerrada y con el filtro de aire, mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire, mariposa de aceleración cerrada y sin filtro de aire y mariposa de aceleración abierta y sin filtro de aire. Además, con el valor dado por la página web aborudos que es de 188.55 PSI.

Tabla 30

Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración totalmente cerrada y con el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 125 | 130 | 130 | 125 |
| Variación en (%) con referencia de | 33,70 | 31,05 | 31,05 | 33,70 |

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| la página aborudos (188.55 Psi) Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (130 Psi) | 3,85 | 0,00 | 0,00 | 3,85 |

Nota. En la tabla se muestra los valores medidos, la comparación con el dato de aborudos, y la variación con el valor más alto, teniendo en consideración la mariposa de aceleración cerrada y con filtro de aire.

Tabla 31

Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 130 | 130 | 135 | 130 |
| Variación en (%) con referencia de la página aborudos (188.55 Psi) | 31,05 | 31,05 | 28,40 | 31,05 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (135 Psi) | 3,70 | 3,70 | 0,00 | 3,70 |

Nota. En la tabla se observa los valores medidos, con la comparación del dato de aborudos, y la variación con el valor más alto, teniendo en consideración que la mariposa de aceleración abierta y con filtro de aire.

Tabla 32

Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración cerrada y sin el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 130 | 130 | 130 | 130 |
| Variación en (%) con referencia de la página aborudos (188.55 Psi) | 31,05 | 31,05 | 31,05 | 31,05 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (130 Psi) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Nota. En la tabla se observa los valores medidos, de la comparación del dato de aborudos, y la variación con el valor más alto, teniendo en consideración la mariposa de aceleración cerrado y sin filtro de aire.

Tabla 33

Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y sin el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 132 | 130 | 135 | 132 |
| Variación en (%) con referencia de la página aborudos (188.55 Psi) | 29,99 | 31,05 | 28,40 | 29,99 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor | 2,22 | 3,70 | 0,00 | 2,22 |

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| más alto obtenido en la prueba de (130 Psi) | | | | |

Nota. En la tabla se observa los valores medidos, la comparación del dato de aborudos, y la variación con el valor más alto, teniendo en consideración que la mariposa de aceleración abierta y sin filtro de aire.

El valor tomado para la evaluación de los resultados del vehículo de ensayo 2 están, dados por la página carinf, siendo 143.14 PSI.

Tabla 34

Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración totalmente cerrada y con el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 120 | 120 | 120 | 100 |
| Variación en (%) con referencia de la página carinf (143.14 Psi) | 16,17 | 16,17 | 16,17 | 30,14 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (120 Psi) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 16,67 |

Nota. En la tabla se muestra los valores medidos, la variación en porcentaje tanto con el valor obtenido de la presión de compresión y el más alto obtenido en la medición.

Tabla 35

Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 125 | 120 | 125 | 105 |
| Variación en (%) con referencia de la página carinf (143.14 Psi) | 12,67 | 16,17 | 12,67 | 26,65 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (125 Psi) | 0,00 | 4,00 | 0,00 | 16,00 |

Nota. En la tabla se observa los valores resultantes de las mediciones, la comparación entre el dato de carinf, y la variación con el valor más alto, teniendo en consideración la mariposa de aceleración abierta y con filtro de aire.

Tabla 36

Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración cerrada y sin el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 125 | 120 | 122 | 105 |
| Variación en (%) con referencia de la página carinf (143.14 Psi) | 12,67 | 16,17 | 14,77 | 26,65 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor | 0,00 | 4,00 | 2,40 | 16,00 |

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| más alto obtenido en la prueba de (125 Psi) | | | | |

Nota. En la tabla se muestra los valores medidos, la variación en porcentaje tanto con el valor obtenido la presión de compresión y el más alto obtenido en la medición.

Tabla 37

Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y sin el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 122 | 125 | 125 | 108 |
| Variación en (%) con referencia de la página carinf (143.14 Psi) | 14,77 | 12,67 | 12,67 | 24,55 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (125 Psi) | 2,40 | 0,00 | 0,00 | 13,60 |

Nota. En la tabla se observa los valores medidos, de la comparación del dato de carinf, y la variación con el valor más alto teniendo en consideración de la mariposa de aceleración abierta y sin filtro de aire.

En la tabla 38 se muestran los valores obtenidos de la prueba de compresión, en el vehículo de ensayo 3, Teniendo el valor del manual de servicios del motor 4JA1 de 309 PSI.

Tabla 38

Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración totalmente cerrada y con el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 230 | 200 | 200 | 180 |
| Variación en (%) con referencia del manual de servicios (309 Psi) | 25,57 | 35,28 | 35,28 | 41,75 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (230 Psi) | 0,00 | 13,04 | 13,04 | 21,74 |

Nota. En la tabla se muestra los valores medidos, la comparación con respecto al dato del manual de servicio y la variación con el valor más alto teniendo en consideración de la mariposa de aceleración cerrada y con filtro de aire.

Tabla 39

Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 238 | 200 | 210 | 185 |
| Variación en (%) con referencia del manual de servicios (309 Psi) | 22,98 | 35,28 | 32,04 | 40,13 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor | 0,00 | 19,00 | 13,33 | 28,65 |

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| más alto obtenido en la prueba de (238 Psi) | | | | |

Nota. En la tabla se observa los resultados de las mediciones, la comparación del dato dado por el manual de servicios y la variación con el valor más alto teniendo en consideración la mariposa de aceleración abierta y con filtro de aire.

Tabla 40

Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración cerrada y sin el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 230 | 210 | 200 | 185 |
| Variación en (%) con referencia del manual de servicios (309 Psi) | 25,57 | 32,04 | 35,28 | 40,13 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (230 Psi) | 0,00 | 8,70 | 13,04 | 19,57 |

Nota. En la tabla se observa los valores medidos, comparación con el dato del manual de servicios y la variación con el valor más alto teniendo en consideración de la mariposa de aceleración cerrado y sin filtro de aire.

Tabla 41

Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y sin el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 240 | 210 | 210 | 190 |
| Variación en (%) con referencia del manual de servicios (309 Psi) | 22,33 | 32,04 | 32,04 | 38,51 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (240 Psi) | 0,00 | 12,50 | 12,50 | 20,83 |

Nota. En la tabla se observa los valores medidos, la comparativa del dado por el manual de servicios, y la variación con el valor más elevado, teniendo en consideración la mariposa de aceleración abierta y sin filtro de aire.

Prueba de vacío

La realización de la prueba de vacío ayudo en el análisis del diagnóstico del estado general del motor y el funcionamiento de diferentes componentes internos de él, empleando el instrumento de medición vacuómetro.

Tabla 42

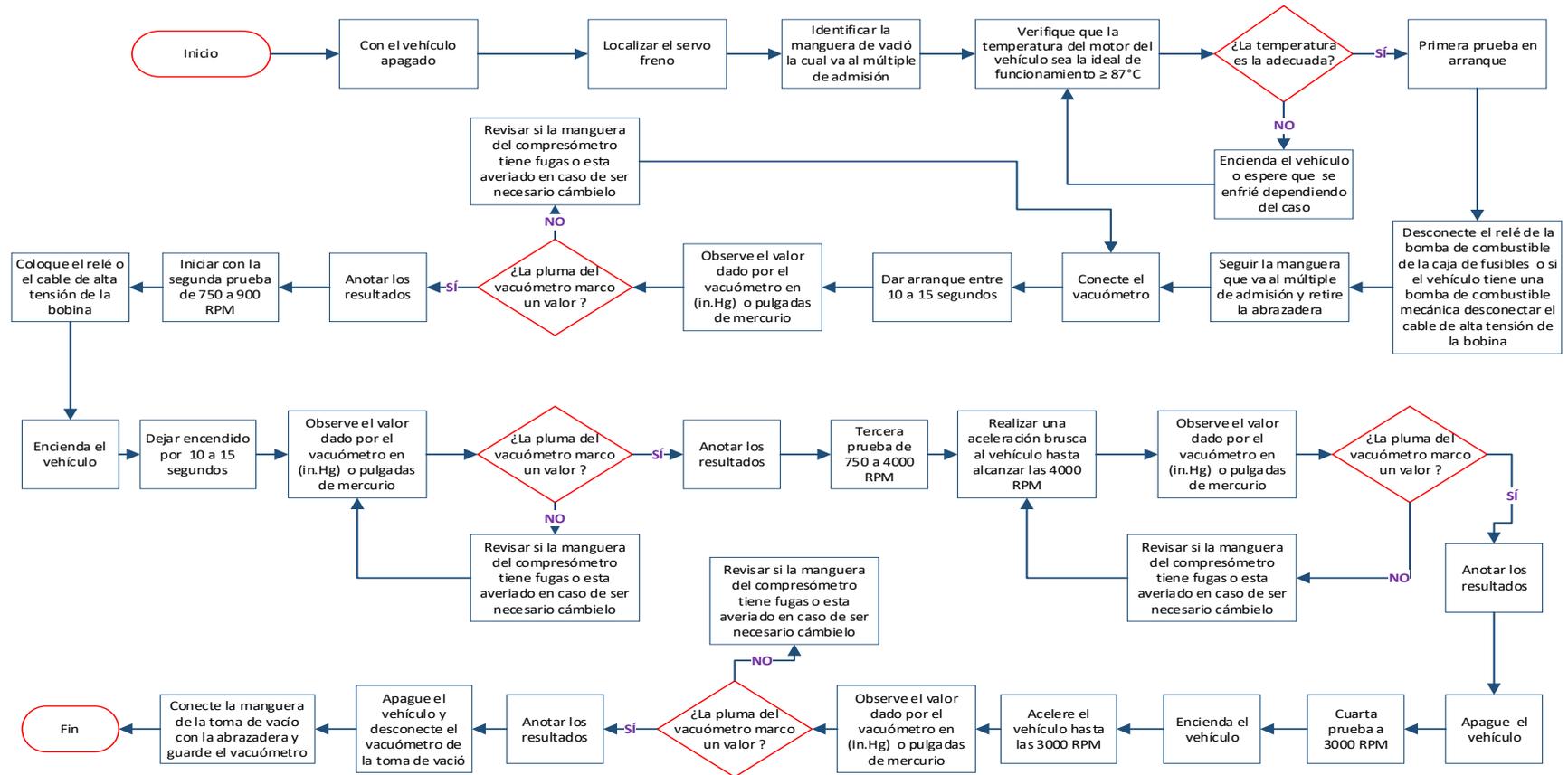
Se muestran los valores, datos y parámetros

| Variable | Dato | Nº de prueba | Parámetro RPM |
|----------------|-----------|--------------|---------------|
| Ciudad | Latacunga | 1 | Arranque |
| | | 2 | 750-900 |
| Altitud (msnm) | 2850 | 3 | 750 a 4000 |
| | | 4 | 3000 |

Nota. En la tabla se muestra los valores para las condiciones de la realización de la prueba.

Figura 26

Diagrama de flujo del proceso para la prueba de vacío



Nota. En la figura se muestra el procedimiento para la realización de la prueba de vacío con las mediciones en estado de arranque, 750-900, 750 - 4000 y 3000 RPM

Figura 27

Toma de mediciones con la utilización del vacuómetro



Nota. En la figura se puede visualizar algunos de los valores obtenidos en la realización de las medicaciones en la prueba de vacío en los vehículos de ensayo.

Valores obtenidos en las pruebas de vacío:

Las pruebas de vacío a los vehículos de ensayo están realizadas a una temperatura de funcionamiento del motor térmico, siendo esta entre los 80 a 90 °C. Dada la altitud del lugar donde se desarrolla el ensayo, que es de 2850 msnm, el rango de lectura del vacuómetro será de 10,62 a 15,72 (in Hg), considerando el factor de corrección.

Tabla 43

Valores obtenidos en el proceso del de la prueba de vacío en el vehículo de ensayo 1.

| Prueba realizada | Vacuómetro Valores de presión (in Hg) | | Conducta de la pluma del vacuómetro | | Estado de motor |
|------------------|---|----|---|---------|--------------------|
| | De | A | Oscila | Estable | |
| Arranque | 7 | 7 | | X | Bueno |
| 750 - 900 | 14 | 16 | | X | Bueno |
| 750 - 4000 | 14 | 21 | X | | Bueno |
| 3000 | 19 | 19 | X | | Bueno |

Nota. En la tabla se observa los resultados de las mediciones de presión, conducta de la pluma del vacuómetro y el estado del motor al realizar la prueba.

Tabla 44

Valores obtenidos en la prueba de vacío en el vehículo de ensayo 2.

| Prueba realizada | Vacuómetro Valores de presión (in Hg) | | Conducta de la pluma del vacuómetro | | Estado de motor |
|------------------|---|----|---|---------|--------------------|
| | De | A | Oscila | Estable | |
| Arranque | 7 | 7 | | X | Bueno |
| 750 - 900 | 13 | 13 | | X | Bueno |
| 750 - 4000 | 0 | 15 | X | | Bueno |
| 3000 | 15 | 15 | | X | Bueno |

Nota. En la tabla se especifica los valores de la prueba, como también el estado de la pluma de vacuómetro y funcionamiento del motor.

Tabla 45

Resultados obtenidos en la prueba de vacío del vehículo de ensayo 3

| Prueba realizada | Vacuómetro Valores de presión (in Hg) | | Conducta de la pluma del vacuómetro | | Estado de motor |
|------------------|---|------|---|---------|--------------------|
| | De | A | Oscila | Estable | |
| Arranque | 20.5 | 20.5 | | X | Bueno |
| 750 - 900 | 20.5 | 20.5 | | X | Bueno |
| 750 - 4000 | 20.5 | 20.5 | | X | Bueno |
| 3000 | 20.5 | 20.5 | | X | Bueno |

Nota. En la tabla se visualiza los valores de la prueba como también el estado de la pluma del vacuómetro y del funcionamiento del motor.

Prueba de fugas

La realización de la prueba de fugas en la investigación está enfocada en la determinación de la hermeticidad de los cilindros y de la cámara de combustión de los motores.

Tabla 46

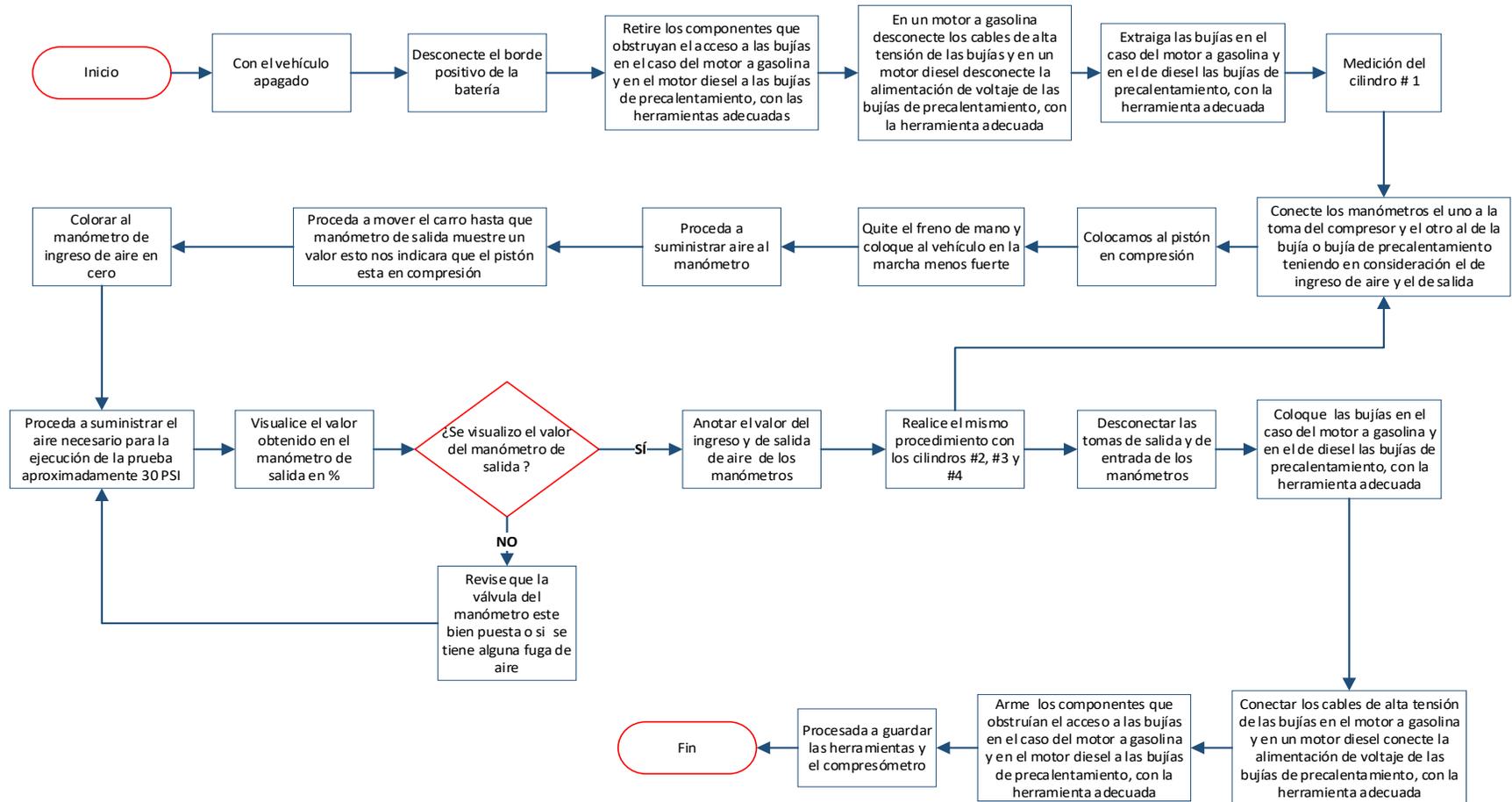
Se muestran las escalas de colores del manómetro de salida

| Color | Variación en (%) | Descripción |
|--------------|-------------------------|--------------------|
| Rojo | 100 - 70 | HIGH |
| Amarillo | 70 - 40 | MODERATE |
| Verde | 40 - 10 | LOW |
| Amarillo | 10 - 0 | SET |

Nota. En la tabla se mencionan los colores, porcentaje y significados que se emplearon para el análisis del estado del motor.

Figura 28

Diagrama de flujo del proceso para la prueba de vacío



Nota. En la figura se muestra los pasos a seguir en el proceso de ejecución de la prueba de fugas o de estanqueidad

Figura 29

Manómetros de entrada y de salida de aire con sus respectivas escalas de presión y porcentaje



Nota. En la figura se puede visualizar la realización de las medicaciones en la prueba de fugas.

Valores obtenidos en las pruebas de fugas o de estanqueidad:

A continuación, se observan los valores de los resultados obtenidos en los 3 vehículos de ensayados empleados en la investigación

Tabla 47

Valores obtenidos en la prueba de fugas en el vehículo de ensayo 1

| Nº de cilindro | Manómetro # 1 Ingreso de aire (PSI) | Manómetro # 2 Salida de aire (%) | Observación del estado del motor |
|-----------------------|--|---|---|
| 1 | 12 | 60 | MODERATE |
| 2 | 15 | 52 | MODERATE |
| 3 | 16 | 48 | MODERATE |
| 4 | 15 | 52 | MODERATE |

Nota. En la tabla se observa los resultados de la ejecución de la prueba de fugas, con los valores de presión suministrados en las pruebas, el porcentaje y el respectivo estado del motor

Tabla 48

Valores obtenidos en la prueba de fugas en el vehículo de ensayo 2

| Nº de cilindro | Manómetro # 1 Ingreso de aire (PSI) | Manómetro # 2 Salida de aire (%) | Observación del estado del motor |
|-----------------------|--|---|---|
| 1 | 14 | 48 | MODERATE |
| 2 | 15 | 52 | MODERATE |
| 3 | 15 | 45 | MODERATE |
| 4 | 15 | 65 | MODERATE |

Nota. En la tabla se observa los resultados de la prueba de fugas, con los valores suministrados de presión en la ejecución de las pruebas, el porcentaje y el respectivo estado del motor

Tabla 49

Valores obtenidos en la prueba de fugas en el vehículo de ensayo 3

| Nº de cilindro | Manómetro # 1 Ingreso de aire (PSI) | Manómetro # 2 Salida de aire (%) | Observación del estado del motor |
|-----------------------|--|---|---|
| 1 | 29 | 39 | LOW |
| 2 | 28 | 41 | MODERATE |
| 3 | 30 | 45 | MODERATE |
| 4 | 29 | 43 | MODERATE |

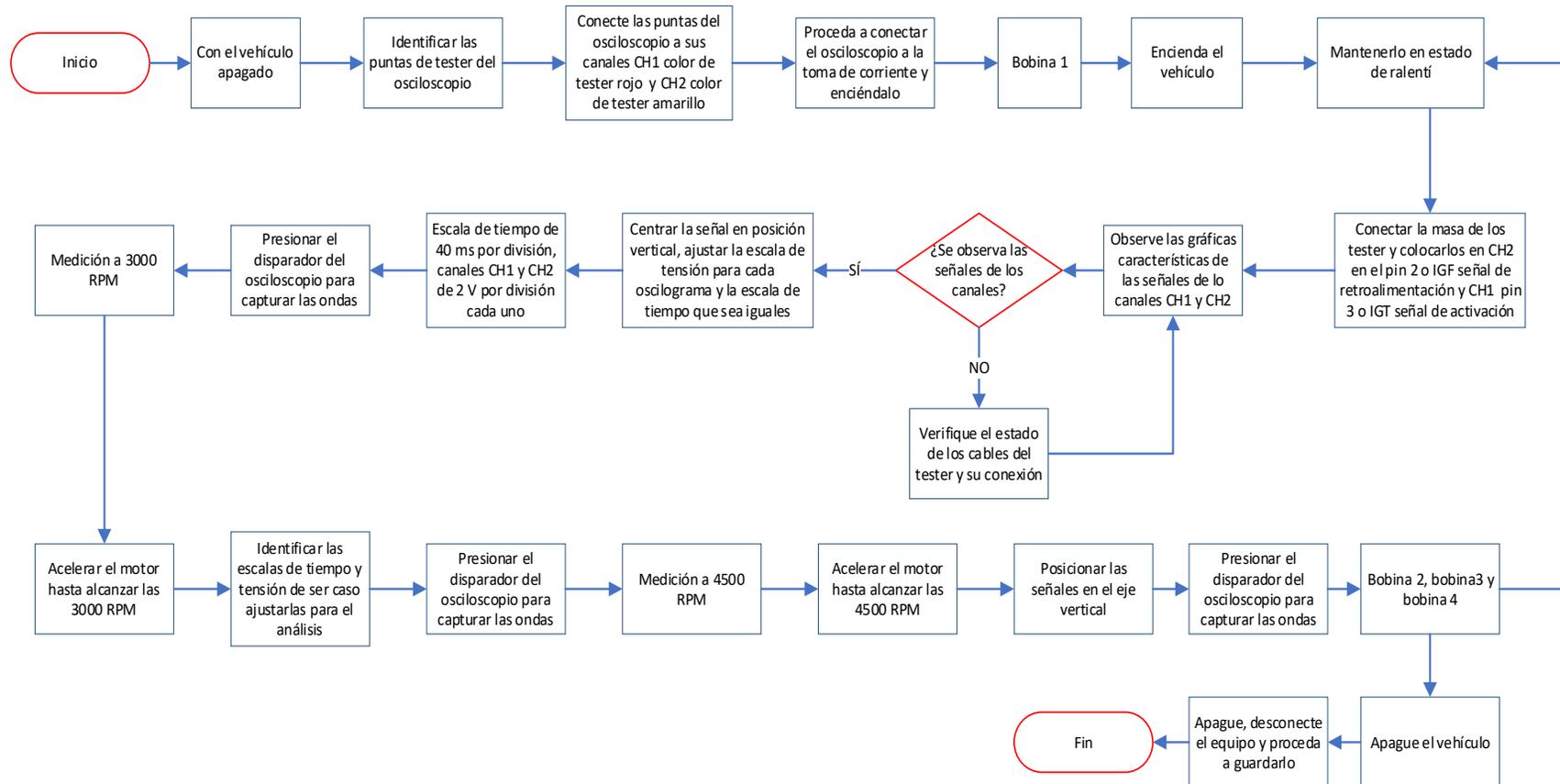
Nota. En la tabla se observa los resultados de la ejecución de la prueba de fugas, con los valores de presión, el porcentaje y el estado del motor

Oscilogramas

La medición de los oscilogramas para el tema de investigación está relacionados a conocer el estado del sistema de encendido, del vehículo mediante la utilización de un osciloscopio y la pinza amperimétrica.

Figura 30

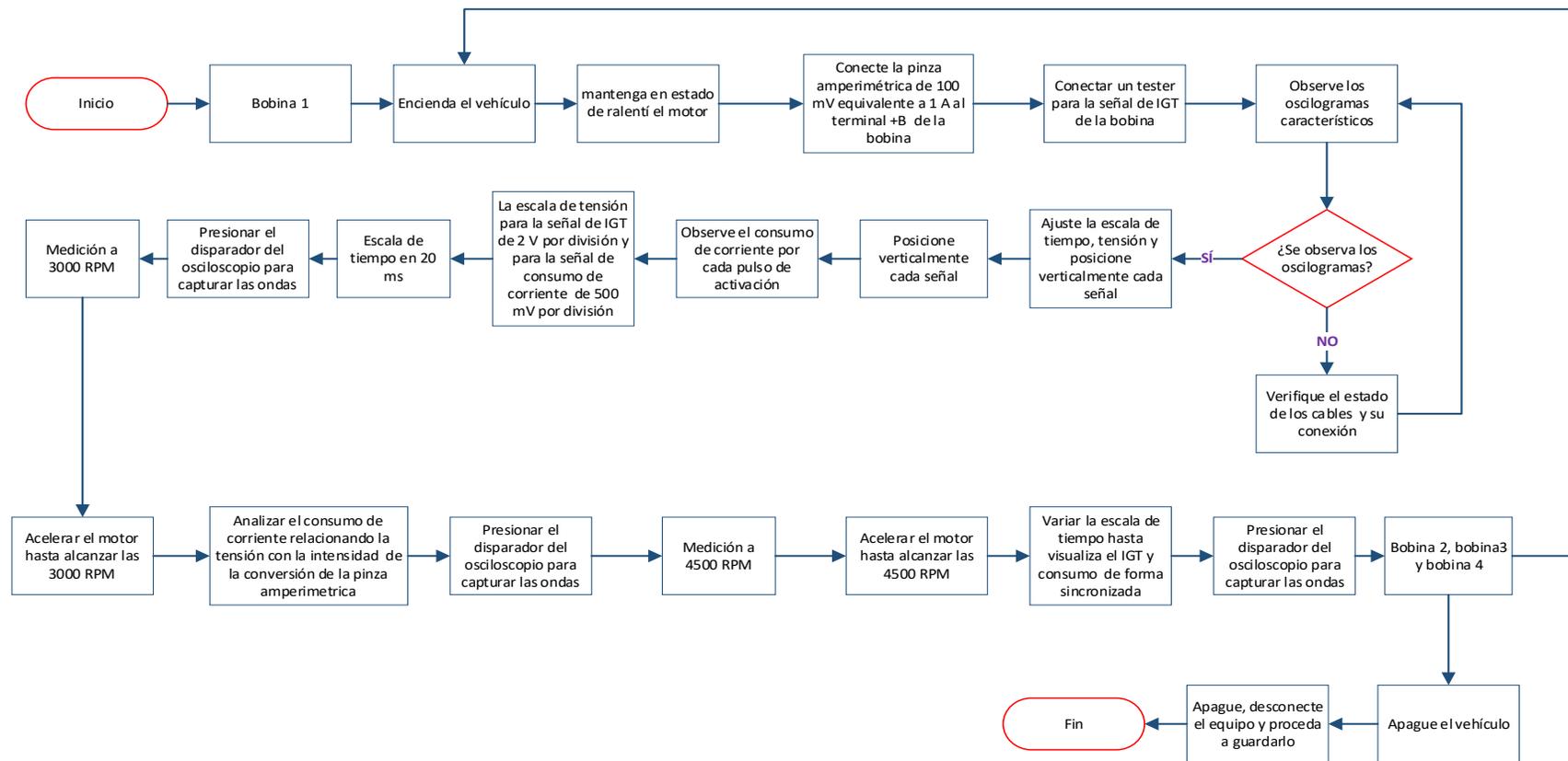
Diagrama de flujo medición de oscilogramas con el osciloscopio



Nota. En la figura se muestra el procedimiento para la medición de los oscilogramas del sistema de encendido empleando el osciloscopio.

Figura 31

Diagrama de flujo medición de consumo de corriente con la pinza amperimétrica



Nota. En la figura se visualiza los pasos para el proceso de la medición del consumo de corriente en el sistema e encendido con la pinza amperimétrica.

Figura 32

En el lado derecho se puede observar en la pantalla del osciloscopio las señales IGT y IGF y en la izquierda la pinza amperimétrica



Nota. En la figura se puede observar la utilización del osciloscopio y las pinzas amperimétricas para la realización de las mediciones.

Resultados de las mediciones en los oscilogramas de encendido:

Datos obtenidos en el vehículo de ensayo 1, los cuales están tomados de las bobinas de cada cilindro al disponer de un sistema de encendido DIS - COP. Además, los valores están tomados en tres distintos regímenes de revoluciones: a ralentí, a 3000 y 4500 RPM.

Tabla 50

Valores obtenidos en los oscilogramas de la bobina N^o 1 y 2

| Oscilograma | Tensión min. /máx.(V) | Corriente min. / máx. (A) | Periodo (ms) | Tiempo de activación (ms) |
|----------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
| Bobina 1 - Ralentí | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0,4 / 4,4 | ----- | 144 | 6,6 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,8 / 5,6 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 2 / 13,5 | 144 | 6,6 |

| Oscilograma | Tensión min. /máx.(V) | Corriente min. / máx. (A) | Periodo (ms) | Tiempo de activación (ms) |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| Bobina 1 – 3000 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0,4 / 4,4 | ----- | 44,6 | 3,2 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,8 / 5,2 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 2 / 13 | 44,6 | 3,2 |
| Bobina 1 – 4500 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0,4 / 4,4 | ----- | 32 | 2,4 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,8 / 5,6 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 2 / 10 | 32 | 2,4 |
| Bobina 2 - Ralentí | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0,4 / 4,4 | ----- | 184 | 6,2 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,9 / 5,6 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 2 / 13 | 184 | 6,2 |
| Bobina 2 – 3000 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0,4 / 4,4 | ----- | 48 | 3,6 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,9 / 5,6 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 2 / 13 | 48 | 3,6 |
| Bobina 2 – 4500 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0,4 / 4,4 | ----- | 40 | 3,2 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,9 / 5,6 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 2 / 13 | 40 | 3,2 |

Nota. En la tabla se observa los resultados de los valores obtenidos de las señales IGT, IGF y la señal de corriente de saturación en las bobinas # 1 y #2 a los tres regímenes de revoluciones dispuestos.

Tabla 51

Valores obtenidos en los oscilogramas de la bobina N^o 3 y 4

| Oscilograma | Tensión min. /máx.(V) | Corriente min. / máx. (A) | Periodo (ms) | Tiempo de activación (ms) |
|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| Bobina 3 - Ralentí | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0,35 / 4,35 | ----- | 176 | 5,3 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,85 / 4,95 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 1,3 / 10,6 | 176 | 5,3 |
| Bobina 3 – 3000 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0,35 / 4,35 | ----- | 41,85 | 3,71 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,85 / 4,95 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 1,4 / 9,3 | 41,85 | 3,71 |
| Bobina 3 – 4500 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0,35 / 4,35 | ----- | 10,7 | 1 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,85 / 4,95 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 1,3 / 8,2 | 10,7 | 1 |
| Bobina 4 - Ralentí | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0,4 / 4,4 | ----- | 176 | 6,6 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,8 / 5,2 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 2 / 11 | 176 | 6,6 |
| Bobina 4 – 3000 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0,4 / 4,4 | ----- | 41,6 | 3,2 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,9 / 5,6 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 2 / 11 | 41,6 | 3,2 |
| Bobina 4 – 4500 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0,35 / 4,35 | ----- | 10 | 0,85 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,85 / 4,95 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 1,1 / 8,1 | 10 | 0,85 |

Nota. En la tabla se observa los resultados de las señales IGT, IGF y de saturación de los valores obtenidos en las bobinas # 3 y # 4 en los tres regímenes de revoluciones dispuestos.

A continuación, se presentan los resultados en el proceso medición del vehículo de ensayo 2.

Tabla 52

Valores obtenidos en los oscilogramas

| Nº de cilindro | Estado de medición (RPM) | Corriente min. / máx. (A) | Periodo (ms) | Tiempo de activación (ms) |
|----------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|
| 1 | Ralentí | 2 / 12,75 | 149 | 6,8 |
| | 3000 | 2 / 12,25 | 49,6 | 4,2 |
| | 4500 | 2 / 10 | 40 | 3,6 |
| 2 | Ralentí | 2 / 12,65 | 192 | 6,8 |
| | 3000 | 2 / 12,75 | 60 | 3,8 |
| | 4500 | 2 / 12,75 | 48 | 3,2 |
| 3 | Ralentí | 1,7 / 11,3 | 186 | 5,7 |
| | 3000 | 1,6 / 11,3 | 45 | 3,9 |
| | 4500 | 1,4 / 8,1 | 12,6 | 1,9 |
| 4 | Ralentí | 2 / 10,5 | 186 | 7,6 |
| | 3000 | 2 / 10 | 47 | 3,7 |
| | 4500 | 1,2 / 8 | 15 | 1,5 |

Nota. En la tabla se observa los resultados de los valores de la señal de corriente de saturación en los cilindros del vehículo de ensayo en los tres regímenes de revoluciones dispuestos.

Consumo de combustible

La medición está enfocada a determinar el consumo del combustible previo, al proceso de la aplicación del método no invasivo de descarbonización en los vehículos de ensayo.

Tabla 53

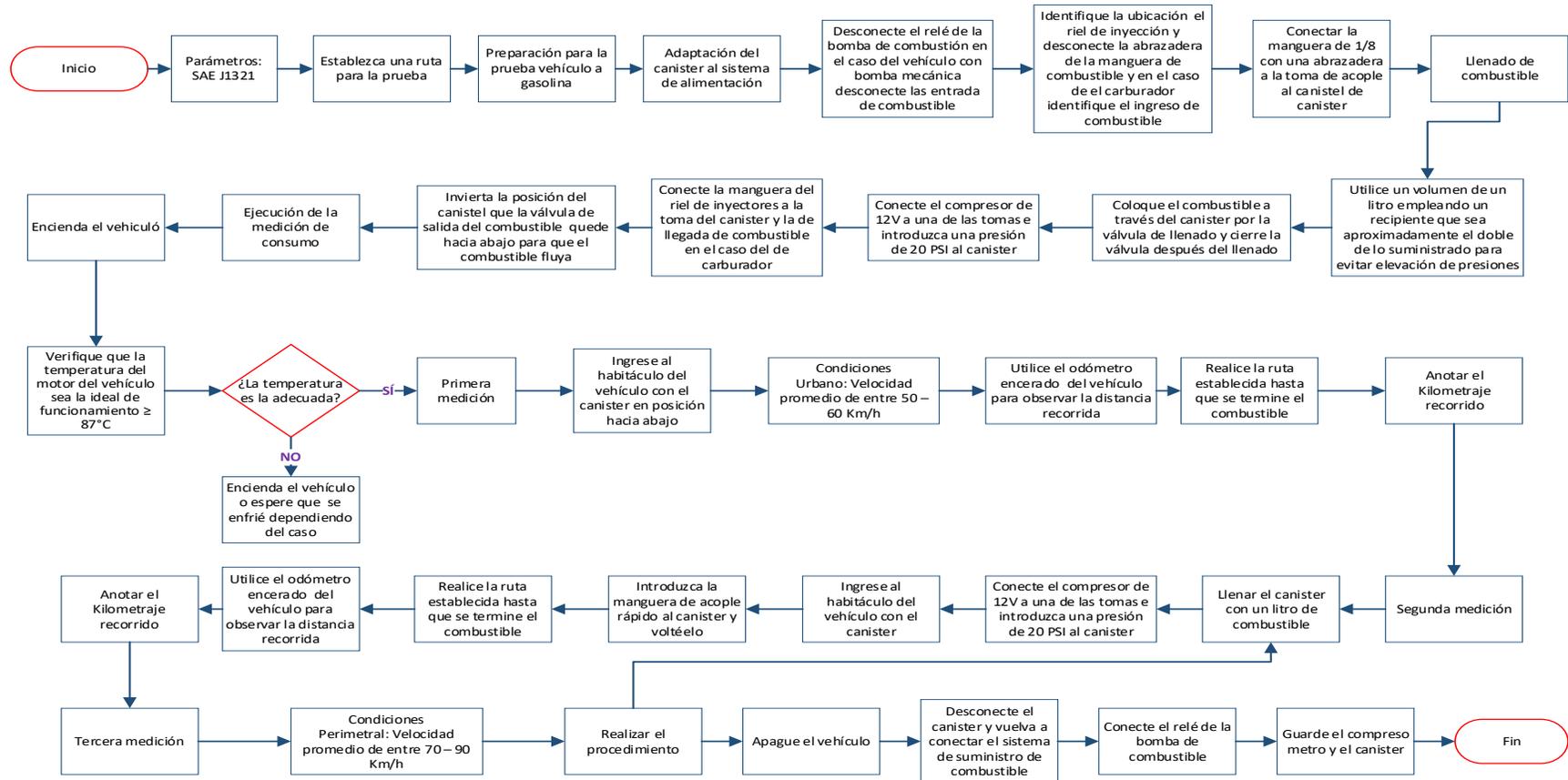
Se muestran los ciclos de conducción

| Recorrido | Velocidad promedio (Km/h) |
|------------|------------------------------|
| Urbano | 50 - 60 |
| Perimetral | 70 - 90 |
| Carretera | 90 - 100 |

Nota. En la tabla se observan los ciclos empleados para la realización de la prueba de consumo para los vehículos de ensayo 1 y 2.

Figura 33

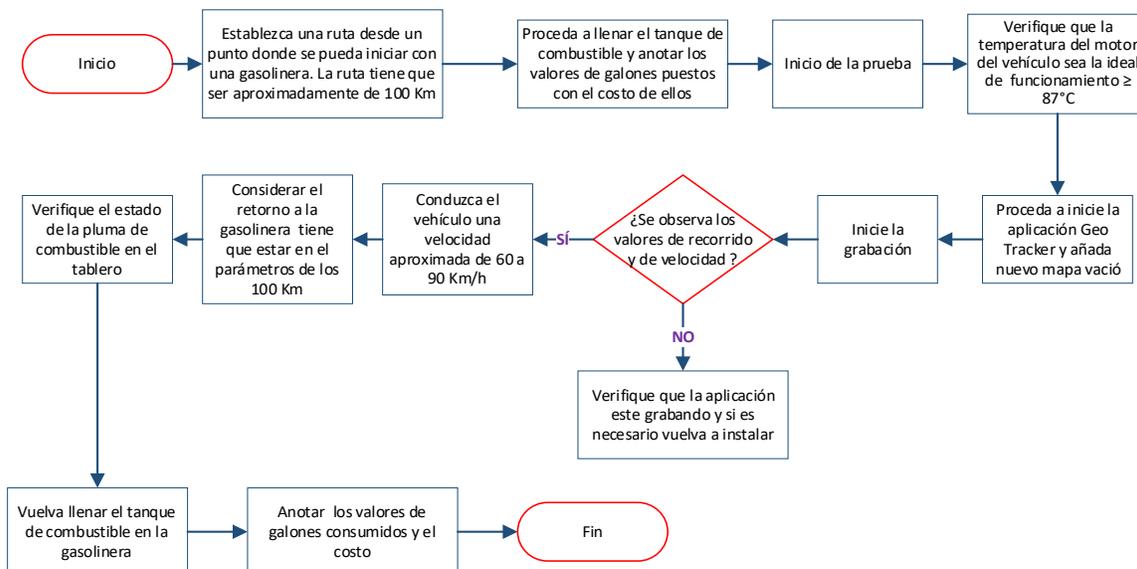
Diagrama de flujo medición de consumo de combustible para los vehículos de ensayo con motor de gasolina



Nota. En la figura se visualiza el procedimiento para la ejecución de la medición del consumo de combustible en los vehículos con motor a gasolina.

Figura 34

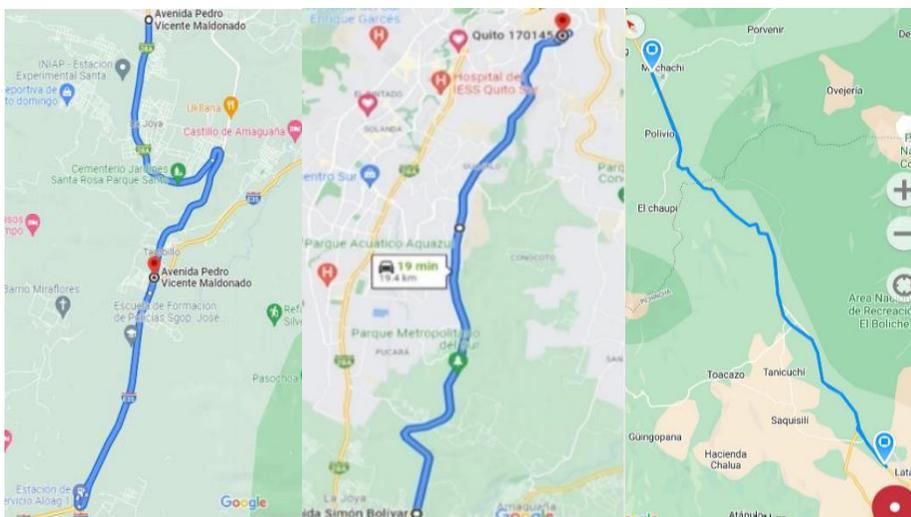
Diagrama de flujo de la medición de consumo de combustible para el vehículo de ensayo 3



Nota. En la figura se puede observar el procedimiento en la realización de la prueba de consumo para el vehículo de ensayo 3.

Figura 35

Rutas establecidas para el desarrollo de la prueba de medición de consumo de combustible



Nota. En la figura se visualiza las rutas realizadas en el desarrollo de las mediciones del consumo de los vehículos de ensayo.

Resultados de las mediciones de consumo en los vehículos de ensayo:

La medición del consumo de combustible para los vehículos de ensayo 1 y 2 se tiene los siguientes parámetros de medición en recorridos: urbano, perimetral y carretera. Además, el precio del combustible extra es de \$ 2,55 que equivale en litros a ¢ 0,67, debido a que se empleó un litro de combustible para la realización de la prueba en ambos casos.

Tabla 54

Valores obtenidos medición de consumo del vehículo de ensayo 1

| Recorrido | Consumo de combustible en galones (gal) | Kilómetros recorridos (Km) | Kilómetros por litro (Km/l) | Kilómetros por galón (Km/gal) |
|------------------|--|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Urbano | 0,264 | 10,6 | 10,6 | 40,12 |
| Perimetral | 0,264 | 12,9 | 12,9 | 48,83 |
| Carretera | 0,264 | 16,0 | 16,0 | 60,56 |

Nota. En la tabla se visualizan los datos de la distancia recorrida en la prueba además de la cantidad de consumo en galones, kilómetros por litro y kilómetros por galón.

Tabla 55

Valores obtenidos medición de consumo del vehículo de ensayo 2

| Recorrido | Consumo de combustible en galones (gal) | Kilómetros recorridos (Km) | Kilómetros por litro (Km/l) | Kilómetros por galón (Km/gal) |
|------------------|--|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Urbano | 0,264 | 11,8 | 11,8 | 44,66 |
| Perimetral | 0,264 | 14,7 | 14,7 | 55,64 |
| Carretera | 0,264 | 18,0 | 18,0 | 68,13 |

Nota. En la tabla se observan los valores en las distancias recorrida en la prueba además de la cantidad de consumo en galones y litros, kilómetros por litro y kilómetros por galón.

La medición del consumo de combustible para el vehículo de ensayo 3 tiene como parámetros una distancia recorrida, de 100 Km a una velocidad promedio de 60 a 90 Km/h. Por otra parte,

con una consideración del precio del combustible diésel es de \$ 1,90 que equivale en litros a ¢ 0,502.

Tabla 56

Valores obtenidos en la medición de consumo.

| Kilometro recorridos (Km) | Costo del llenado de combustible al finalizar la prueba (\$) | Galones de combustible consumidos (gal) | Litros de combustible consumidos (l) | Kilómetros por galón (Km/gal) | Kilómetros por litro (Km/l) |
|--------------------------------------|---|--|---|--------------------------------------|------------------------------------|
| 98,88 | 4,00 | 2,105 | 7,968 | 46,968 | 12,409 |

Nota. En la tabla se visualiza los valores obtenidos en el recorrida en la prueba además de la cantidad de costo de combustible, consumo en galones y litros, kilómetros por litro y kilómetros por galón.

Características del equipo de descarbonización.

El prototipo realizado está basado en un equipo de descarbonización industrializado el cual fue ajustado, para la industria ecuatoriana. La máquina utilizada como como base del diseño, es la HHO CARBON CLEANER 6.0 de fabricación China la cual emplea una limpieza de la carbonilla, por oxihidrógeno HHO". Además, se lo pudo observar en el Taller de reparación de automóviles SERVICENTRO ubicado en la ciudad de Quito.

Figura 36

Equipo de descarbonización HHO CARBON CLEANER 6.0



Nota. En la figura se visualizar el equipo utilizado en la descarbonización de motores por el Taller de reparación de automóviles SERVICENTRO de ciudad de Quito.

A continuación, se presentan las características del equipo de descarbonización elaborado, relacionadas con la preparación de la solución, la respectiva ficha técnica, sus especificaciones, partes principales y la estructura lógica de funcionamiento.

Preparación de la solución

Para determinar la mezcla idónea para la utilización del equipo se realizaron cinco ensayos empleando bicarbonato de sodio y cloruro de sodio disueltos en agua.

Tabla 57

Datos obtenidos en las pruebas realizadas

| Nº de prueba | Mezcla | Tiempo (min) | Amperaje (A) | Características |
|---------------------|--|---------------------|---------------------|---|
| 1 | 60 gr Bicarbonato de sodio (NaHCO_3) – 500 ml Agua (H_2O) | 5 | No mayor a 4 | Agua sobresaturada. Baja reacción. |
| 2 | 20 gr Bicarbonato de sodio (NaHCO_3) – 500 ml Agua (H_2O) | 5 | No mayor a 3 | Aumento proporcional de hidrogeno en relación a la cantidad de cantidad de corriente. |

| Nº de prueba | Mezcla | Tiempo (min) | Amperaje (A) | Características |
|---------------------|---|------------------------|---------------------|--|
| 3 | 40 gr Cloruro de sodio (NaCl) – 500 ml Agua (H ₂ O) | 1 | 3 | Sobrecalentamiento de cables de conexión. Aumento proporcional de hidrogeno en relación a la cantidad de corriente. |
| | | 5 | 20 | Sobrecalentamiento de cables de conexión. |
| 4 | 10 gr Cloruro de sodio (NaCl) – 500 ml Agua (H ₂ O) | 5 | 15 | El amperaje aumenta en relación al tiempo hasta mantenerse estable el amperaje |
| 5 | 2,5 gr Cloruro de sodio (NaCl) – 500 ml Agua (H ₂ O) | Al conectar el sistema | 3 | El amperaje generado es muy bajo. No permite un buen proceso de electrólisis en la botella generadora. |
| | | 5 | 4,5 | |
| | | 20 | 5 | |

Nota. En la tabla se observa los valores obtenidos en la realización de las pruebas para obtener la mezcla idónea para la utilización del equipo donde se puede visualizar los tiempos, amperaje y las características de cada una.

Debido a las características de la construcción de la botella generadora y el tiempo considerado, para la ejecución del método de descarbonización se estableció que la composición ideal, que se debe suministrar en el interior de la botella generadora es de 500 ml el agua común con 10 gr de cloruro de sodio, debido que de esta forma fue posible realizar la prueba de electrólisis en un periodo de tiempo de 5 minutos, sin el peligro de poder dañar los componentes de la botella generadora.

Ficha técnica**Tabla 58****Ficha técnica**

| Descripción | Características |
|---|--|
| Tipo de equipo | Descarbonizador por oxihidrógeno "HHO" |
| Materia de fabricación | Madera de tipo MDF |
| Voltaje de funcionamiento | 12 voltios de corriente continua (CC) |
| Cables de alimentación | Booster Cable 200 A |
| Tipo de contactor | Interruptor automático de 16A |
| Seguridad | Botón de emergencia |
| Pantalla | LCD de 16x2 |
| Voltímetro | Digital circular |
| Balanza | Digital |
| Temporizador | De 0 a 59 min |
| Tipo de disolución empleada en el proceso de electrolisis | 10 gr Cloruro de sodio (NaCl) y 500 ml Agua (H ₂ O) |
| Agente limpiador | 68 ml |
| Tipo de botella generadora | Celdas húmedas |
| Tipo de bomba | Diafragma |
| Presión de la bomba | 0.80 MPa (Max 116 Psi) |
| Deposito | 600 ml |
| Dimensiones (A x B x C x D) | (877,99 x 400 x 530 x 700) mm |

Nota. En la tabla se observan la ficha técnica del equipo de descarbonización con la descripción con sus respectivas características.

Figura 37

Se visualizan las letras empleadas en las dimensiones del equipo



Nota. En la figura se puede identificar las letras utilizadas para identificar las dimensiones del equipo estipuladas en la ficha técnica del equipo.

Especificaciones

El equipo de descarbonización funciona con 12 voltios suministrados desde la batería del vehículo. A través del microcontrolador y cuatro transistores tipo MOSFET, se controla la frecuencia de la corriente recibida desde 1 KHz hasta 15 KHz, además el ancho de pulso PWM una onda de señal cuadrada y separadas según la necesidad mediante un potenciómetro, del temporizador para la optimización del proceso de electrolisis en la botella generadora de hidrogeno.

Advertencia: Tenga cuidado con la manguera que sale desde el generador de hidrógeno en la toma de aire del motor ya que se puede acumular el hidrógeno, debido que si una persona está fumando o usa una llama abierta cerca de él puede llegar a encenderse.

Recomendaciones de uso: No dejar la maquina expuesta al sol, no dejar el equipo expuesto a la lluvia, no mojar las partes eléctricas, usar un embudo para llenar el depósito, no fumar, no

acercar llamas ni chispa, no abrir la maquina sin el consentimiento del fabricante o de la persona encargada y para la limpieza con paño húmedo y alcohol,

Equipo de seguridad: Utilizar guantes y mandil.

Antes de encender el equipo: En cualquier tipo de motor debe estar a la temperatura normal de funcionamiento, (estado del motor entre 80 a 90 °C).

Limpieza de la botella generadora: Se la tiene que limpiar después de cada proceso de uso del equipo.

Partes del equipo

A continuación, se presenta los componentes del equipo de descarbonización empleando en su presentación en la estructura real de la máquina.

Tabla 59

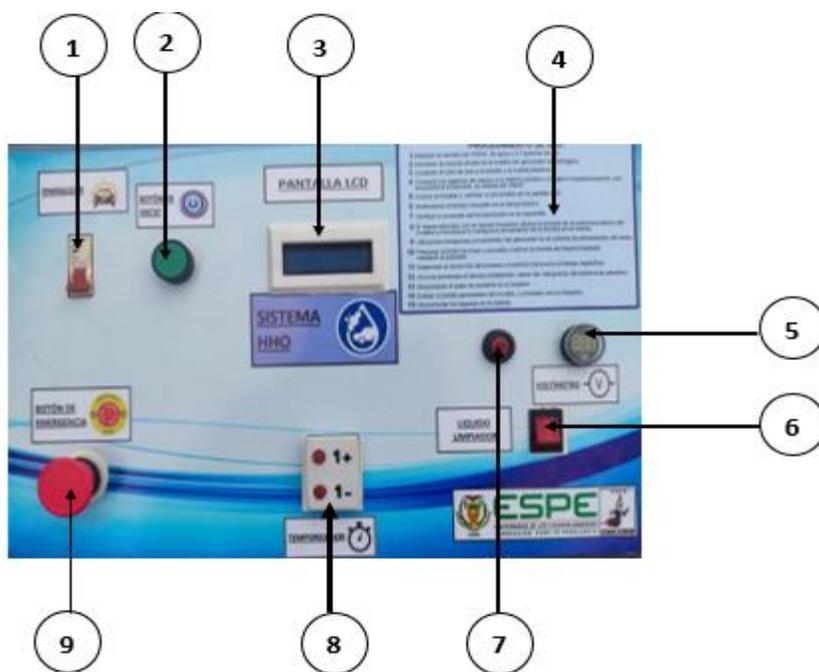
Componentes del tablero de control

| Componentes | |
|--------------------|-----------------------------------|
| 1 | Contactador de energizar |
| 2 | Botón de inicio |
| 3 | Pantalla LCD |
| 4 | Proceso de uso |
| 5 | Voltímetro |
| 6 | Interruptor del líquido limpiador |
| 7 | Indicador de la bomba |
| 8 | Temporizador |
| 9 | Botón de emergencia |

Nota. En la tabla se explican los nombres de los componentes que forman parte del tablero del control con una respectiva numeración.

Figura 38

Numeración de los componentes del tablero del control



Nota. En la figura se puede identificar la respectiva numeración de los elementos que conforman el panel de control del equipo.

Tabla 60

Componentes externos

| Componentes | |
|--------------------|---|
| 1 | Manija de apertura de la parte interna del equipo |
| 2 | Acople rápido para el líquido limpiador |
| 3 | Acople rápido del HHO |
| 4 | Booster Cable 200 A |

Nota. En la tabla se explican los nombres de los componentes externos.

Figura 39

Numeración de los componentes externos



Nota. En la figura se puede identificar la respectiva numeración de los elementos externos.

Tabla 61

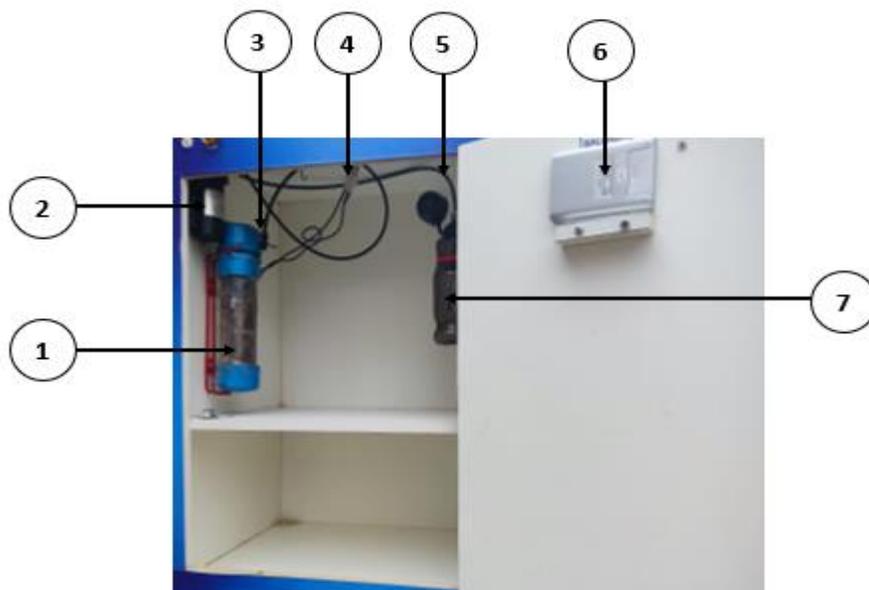
Componentes internos

| Componentes | |
|--------------------|---|
| 1 | Botella generadora |
| 2 | Bomba |
| 3 | Manguera de salida del HHO |
| 4 | Socket de la botella generado |
| 5 | Manguera de salida del líquido limpiador |
| 6 | Balanza |
| 7 | Deposito |

Nota. En la tabla se explican los nombres de los componentes interno.

Figura 40

Numeración de los componentes internos



Nota. En la figura se puede identificar la respectiva numeración de los elementos internos.

Tabla 62

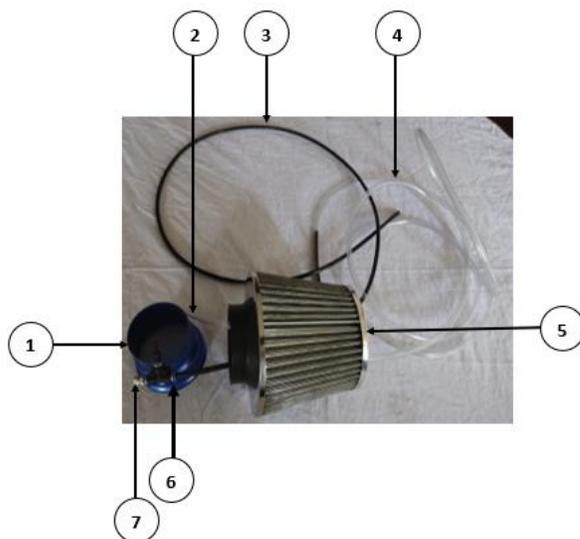
Componentes designados para acople al sistema de admisión del motor

| Componentes | |
|--------------------|---|
| 1 | Adaptador para la toma de admisión del motor en caso de ser necesario |
| 2 | Salida de HHO al sistema de admisión del motor |
| 3 | Manguera de líquido limpiador |
| 4 | Manguera del HHO |
| 5 | Filtro cónico |
| 6 | Acople rápido del pulverizador |
| 7 | Pulverizador |

Nota. En la tabla se explican los nombres de los componentes empleados para el acople al sistema de admisión del motor

Figura 41

Numeración de los componentes para el acople al sistema de admisión del motor



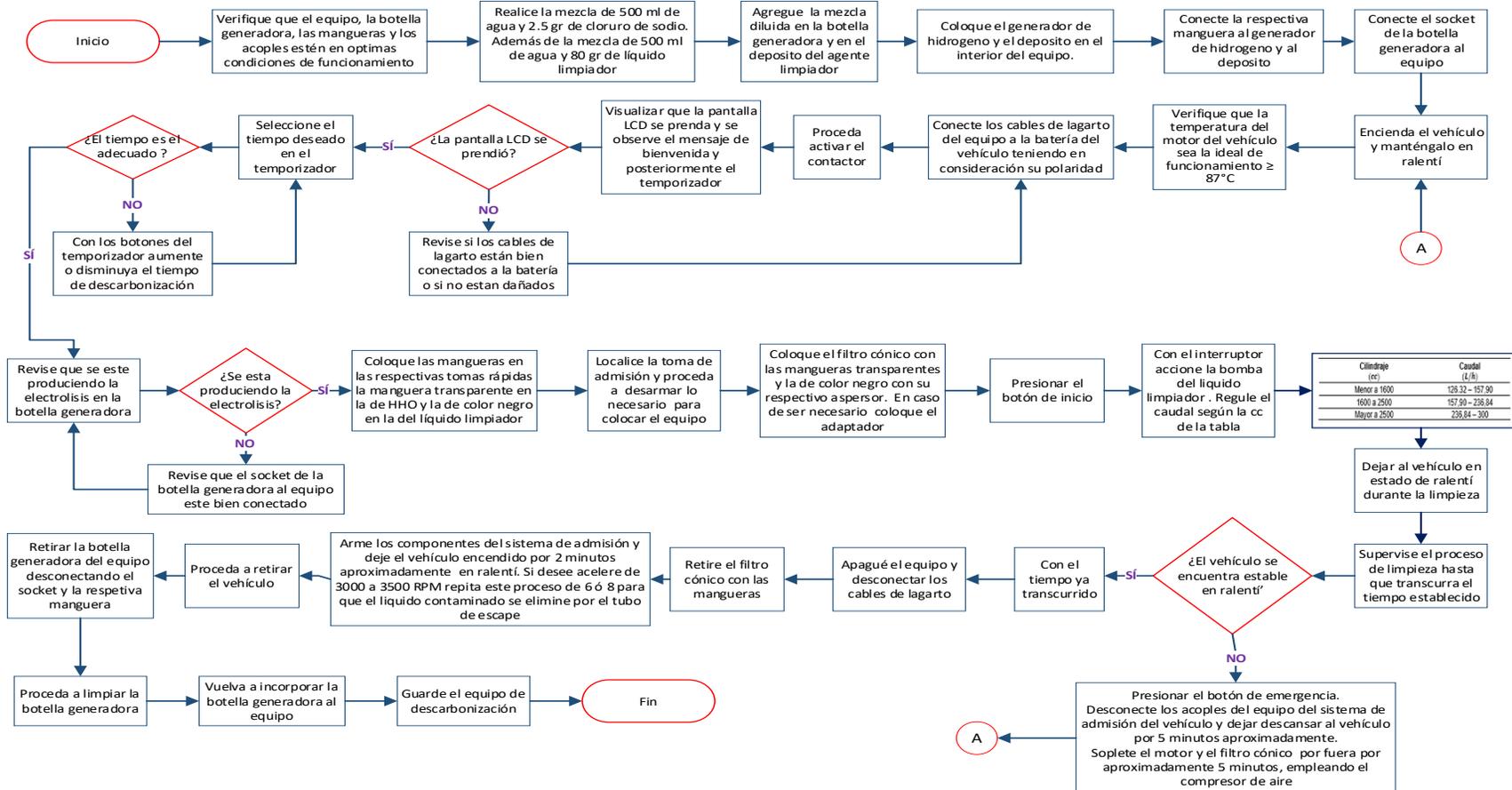
Nota. En la figura se puede identificar la respectiva numeración de los elementos que intervienen en la conexión del equipo con el sistema de admisión del vehículo.

Estructura lógica

En la estructura lógica se procedió a detallar los pasos a realizar para una adecuada utilización, del equipo de descarbonización considerando posibles aspectos en caso de una emergencia.

Figura 42

Estructura lógica del procedimiento de utilización del equipo de descarbonización



Nota. En la figura se observa la estructura lógica de los pasos para la realización del método de descarbonización.

Propuesta de diseño del equipo de tratamiento y descarbonización del motor.

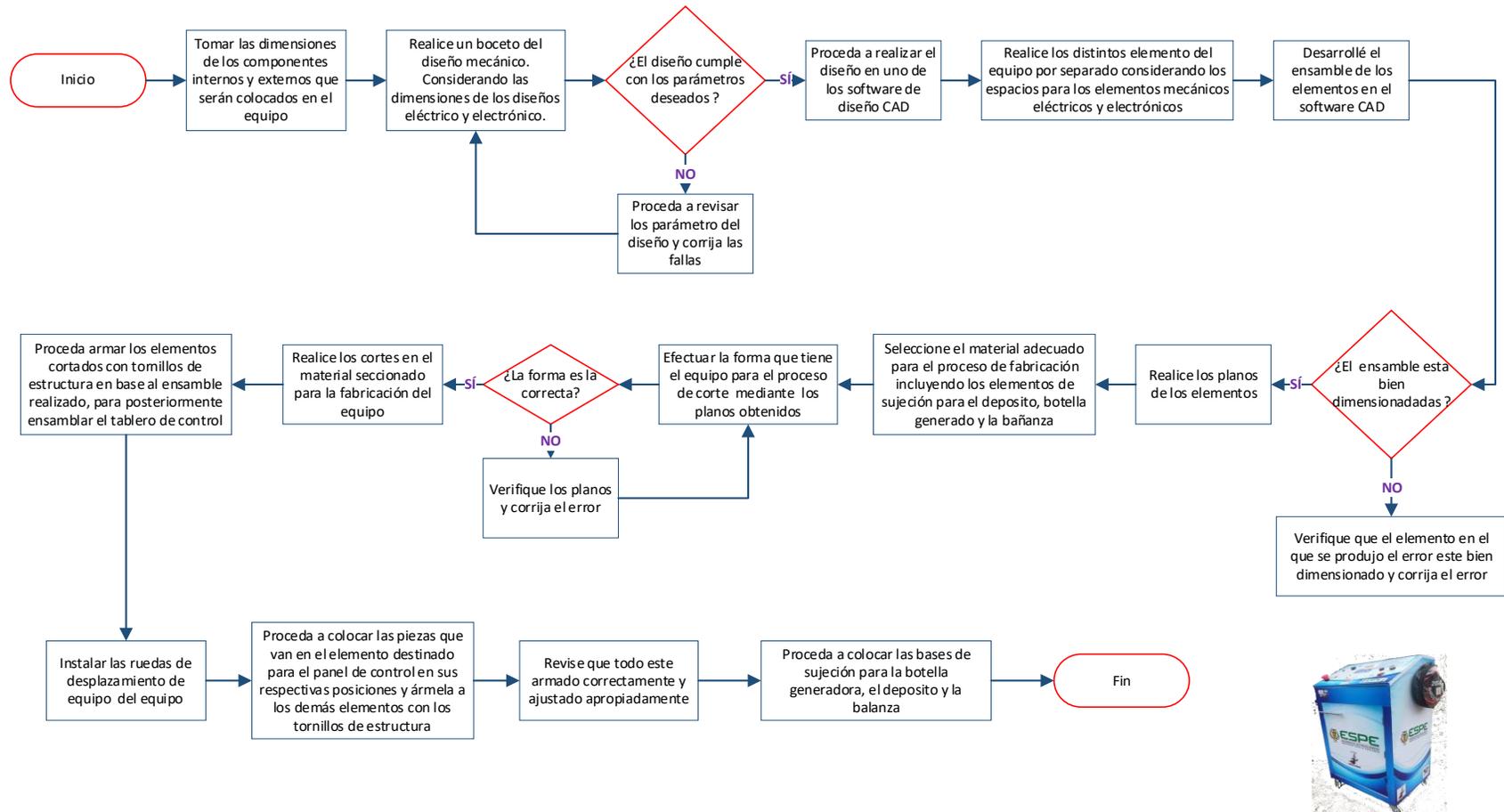
Las características del equipo de descarbonización están enfocadas para brindar al usuario un manejo del equipo que sea eficaz y fácil de manipular: además se presentaron en las secciones, anteriores lo que son los datos de la preparación de la solución, la ficha técnica, especificaciones, partes del equipo y la estructura lógica.

Diseño Mecánico

Las características del diseño mecánico se lo procedido a determinaran mediante un diagrama de flujo.

Figura 43

Diagrama de flujo proceso de diseño y construcción del equipo



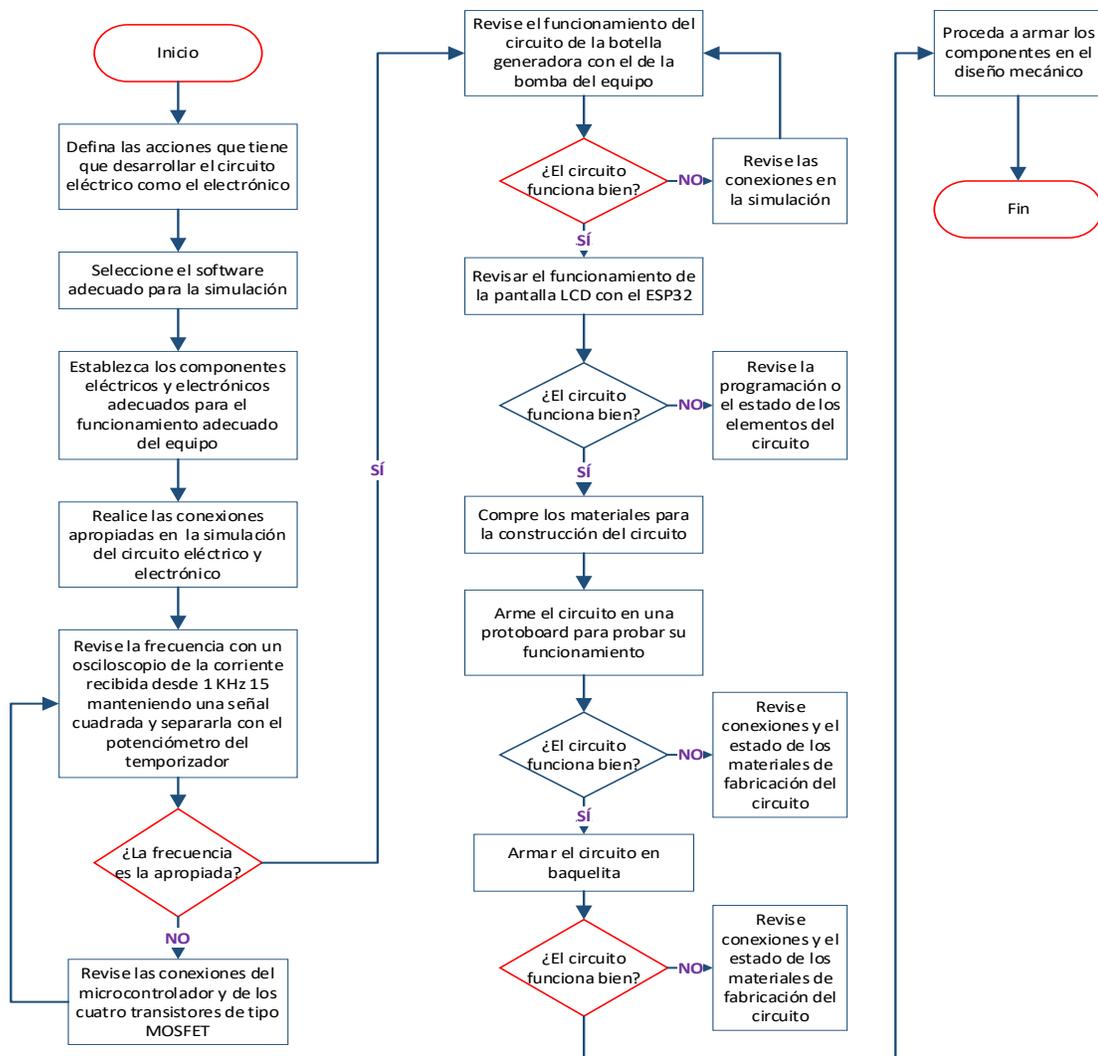
Nota. En la figura se visualizan los pasos a seguir para el proceso del diseño y construcción del equipo de decarbonización.

Diseño eléctrico y electrónico

El diseño eléctrico y electrónico está constituido en el diagrama a los pasos realizados a fin de tener un sistema funcional, que brinde seguridad y estabilidad al equipo de descarbonización para su uso.

Figura 44

En el diagrama de flujo se visualiza los pasos a tener en consideración en el diseño eléctrico y electrónico para la creación de los circuitos del equipo de descarbonización



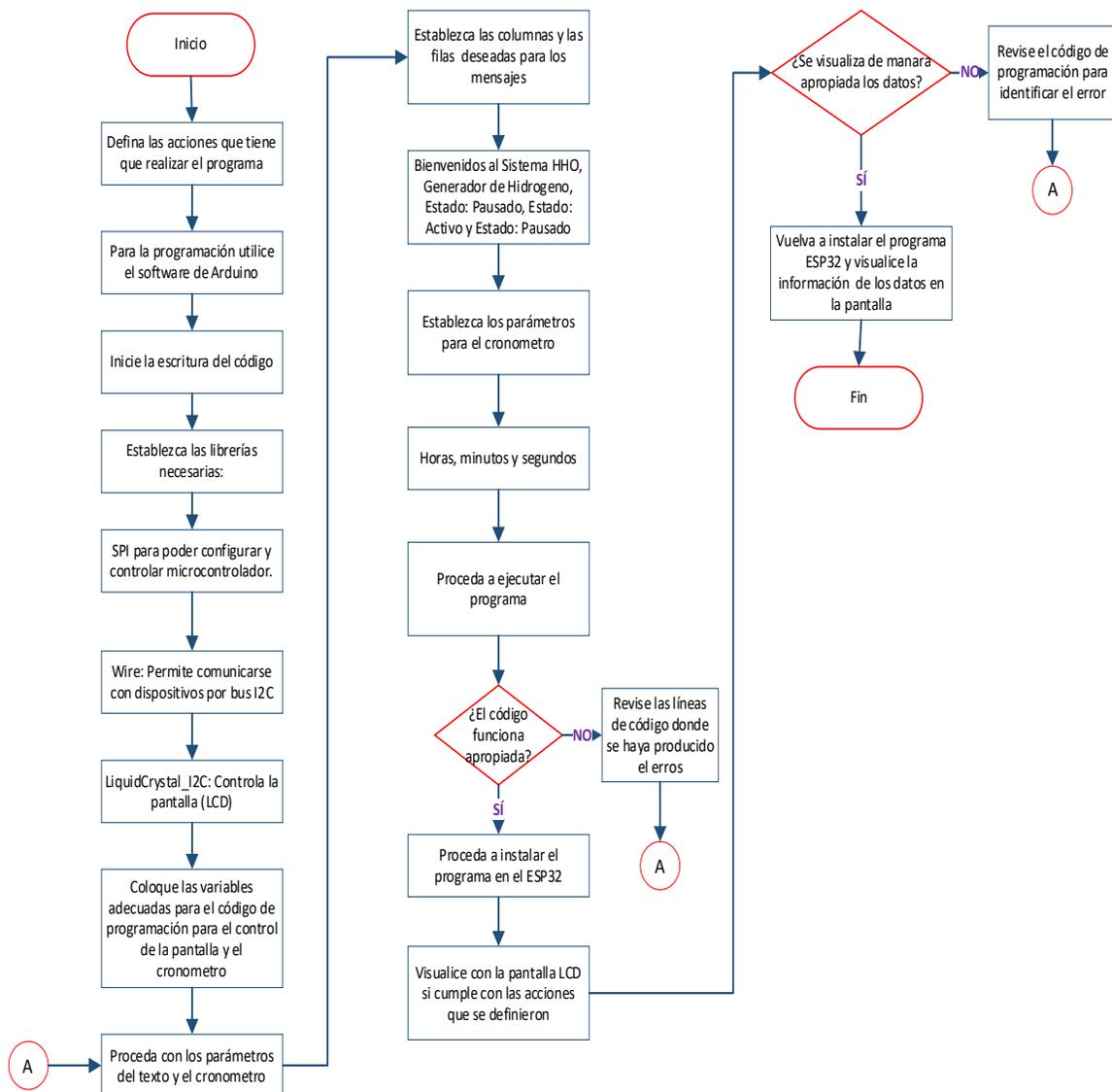
Nota. En la figura se puede observar los pasos a tomar en consideración para el proceso del diseño eléctrico y electrónico.

Programación

Para la programación se procedió a realizar un diagrama de flujo para un entendimiento mejor del proceso de programación.

Figura 45

En el diagrama de flujo de la programación



Nota. En la figura se puede visualizar los pasos a tomar en consideración para el proceso de la realización de la programación.

Análisis de Costos

Para el análisis de los costos se tomó en consideración los sistemas empleados en el proceso de fabricación del equipo, como son el costo total de la estructura, el costo aproximado de la programación del módulo y los gastos varios dados en el transcurso de la fabricación del equipo.

Tabla 63

Análisis del costo de fabricación del equipo de descarbonización

| Descripción | Costo \$ |
|--|-----------------|
| Estructura del equipo HHO | 80 |
| Sistema electrónico y panel de control | 70 |
| Sistema eléctrico | 40 |
| Sistema hidráulico y neumático | 280 |
| Programación del módulo | 40 |
| Gastos varios | 30 |
| Total | 540 |

Nota. En la tabla se observan los valores del costo de fabricación de un solo equipo de descarbonización.

Producción en serie

Para una producción en serie se tomó en consideración el precio \$540 que sería el costo de fabricación de un solo equipo de descarbonización, al ser llevándolo a una producción en serie del producto se considera una reducción en sus costos de fabricación, equivalente a un 30%, del valor total siendo una reducción de costo de \$162 con un valor total de \$378 por unidad. Además, se tiene que considerar que para un proceso de limpieza empleando esta tecnología,

el costo esta entre los \$60, teniendo una recuperación de lo invertido en la manufactura del equipo en la realización de 6,3 descarbonizaciones.

También se tiene que considerar que este proceso de descarbonización no invasiva lleva un tiempo de limpieza de 20 minutos, en comparación de un método invasivo que puede llevar hasta 6 horas por vehículo, en el proceso de la realización de la limpieza, además que el costo de mano de obra está aproximadamente por los \$80, por otra parte, se tiene que considerar otros insumos como son empaques, silicón, sellado entre otros con costo adicional de aproximadamente \$52 dando un total del costo de \$132.

Tabla 64

Valores y tiempo de ejecución del método no invasivo e invasivo

| Descripción | Característica |
|---|-----------------------|
| Método no invasivo | |
| Costo de la fabricación del equipo por unidad (\$) | 540 |
| Costo de la fabricación del equipo en serie con 30% de descuento (\$) | 378 |
| Precio de la realización de la limpieza (\$) | 60 |
| Numero de limpiezas realizadas para recuperar el precio de la inversión | 6,3 |
| Tiempo de limpieza (min) | 20 |
| Método invasivo | |
| Costo de mano de obra (\$) | 80 |
| Costo de insumos para armar el motor después del procedo (\$) | 52 |
| Tiempo de limpieza (hr) | 6 |

Nota. En la tabla se visualiza los parámetros a consideración en la utilización de los métodos de descarbonización no invasivo e invasivo.

Descarbonización por HHO.

Para el proceso de descarbonización se debe considerar los siguientes aspectos como son: El protocolo, tiempo de realización de la limpieza, flujo y el caudal de la inyección de oxihidrógeno para obtener un funcionamiento adecuado del equipo.

Protocolo

En el protocolo de limpieza está establecido para seguir los pasos apropiados en la utilización, de una manera adecuada el equipo de descarbonización en vehículos con motor de combustión interna.

Pasos para el procedimiento de uso del equipo:

1. Establecer los parámetros de la disolución de agua con cloruro de sodio en los porcentajes, de acuerdo a los parámetros de diseño del equipo. Considere una mezcla de 500 ml de H₂O y 10 gramos de NaCl.
2. Introduzca la mezcla realizada en el paso 1 en la botella del generador de hidrógeno por el codo de latón y proceda a tapparla con su respectivo tapón.
3. Ponga la botella generadora en su respectiva base en la parte interna del equipo, teniendo en consideración que el acople rápido de ¼, se pueda conectar de manera fácil con la manguera del equipo.
4. Conectar la respectiva manguera a la botella generadora en acople rápido de ¼, de color negro y el socket eléctrico de color blanco ubicado, en la parte superior de la parte interna del equipo.
5. Coloque el depósito con una mezcla diluida de 500 ml de agua con 80 gr, del agente limpiador en el interior del equipo y conecte la respectiva manguera que sale desde la bomba.

6. Encienda el vehículo y manténgalo en estado de ralentí. Colocar los cables de lagarto del equipo a la batería, positivo (rojo) y negativo (negro), respectivamente. Verifique el estado de la batería con el voltímetro digital circular.
7. Activar el contactor y verifique el encendido en la pantalla LCD observando un mensaje de bienvenida.
8. Seleccione un tiempo que sea adecuado con los botones del temporizador en base a los parámetros de diseño del equipo. Tomando en consideración un tiempo de 20 minutos empleando la disolución del paso 1.
9. Verifique si la escala del temporizador está en los parámetros apropiados.
10. Identifique la toma de admisión al vehículo que se va a realizar la limpieza y proceda a desmontar los elementos, que sean necesario para colocar el equipo.
11. Ubique el filtro de cónico con las respectivas mangueras, provenientes del generador y de la bomba en el sistema de alimentación del motor. De ser necesario utilice el adaptador.
12. Presionar el botón de inicio y proceda a la activación de la bomba del líquido limpiador mediante el interruptor de color rojo.
13. Supervisar el desarrollo del proceso de limpieza mientras transcurre el tiempo establecido.
14. Transcurrido el tiempo de limpieza se escuchará el sonido de una alarma. Proceda apagar el equipo con el contactor y desconecte los cables de lagarto de la batería.
15. Retire las mangueras del sistema de admisión del vehículo y arme los componentes extraídos para la colocación del equipo.
16. Dejar encendido al vehículo por dos minutos en estado de ralentí y si desea realice acelere de 3000 a 3500 RPM, repitiendo el proceso de 6 a 8 veces para que el líquido contaminado se elimine por el tubo de escape.

17. Proceda a retirar el vehículo de la bahía de trabajo.
18. Retire la botella generada del equipo, proceda a realizar su respectiva limpieza y vuelva a colocarla en el equipo limpiador.
19. Guarde el equipo de descarbonización.

Figura 46

Equipo de descarbonización por oxihidrógeno



Nota. En la figura se observan las conexiones de alimentación y de colocación en el sistema de admisión del equipo de descarbonización en el vehículo de ensayo, en las instalaciones del laboratorio de Autotrónica.

Tiempo

El tiempo para la ejecución de la prueba está determinado en 20 minutos a una temperatura óptima de funcionamiento del motor que está entre los 87 °C, para proteger la integridad mecánica del motor, debido a que la temperatura del combustible aumenta rápidamente produciéndose una pirolisis, que es la encargada de que se produce la disolución de la carbonilla que se encuentra alojada en la parte interna del motor del vehículo. De la misma forma la cual si no es controlada apropiadamente producirá lo que son detonaciones, además en casos extremos se puede tener el riesgo de una reducción de la viscosidad del aceite

aumentando el desgaste del motor, provocando un recalentamiento de los elementos y por lo tanto un incremento de la fricción.

Flujo

La cantidad de flujo esta determinados por la capacidad de la bomba que suministra el líquido limpiado la cual tiene una capacidad de 5 l/min (300 l/h). Por lo tanto, se tiene los siguientes valores que se tienen que suministrar en un motor dependiendo, de la cilindrada con valores, que van desde los 126,32 hasta los 300 L/h en vehículos con una cilindrada menor a los 1600 y superiores a los 2500 cc respectivamente.

Caudal de inyección de Oxihidrógeno

El caudal de inyección está determinado por la cilindrada de los vehículos, a los cuales se les proceda a realizar la limpieza y la bomba que inyecta del líquido limpiador, debido a su respectiva característica del caudal en su funcionamiento.

Tabla 65

Valores de los caudales de inyección de oxihidrógeno en los motores de combustión interna

| Cilindraje (cc) | Caudal (L/h) |
|----------------------------|-------------------------|
| Menor a 1600 | 126,32 – 157,90 |
| 1600 a 2500 | 157,90 – 236,84 |
| Mayor a 2500 | 236,84 – 300 |

Nota. En la tabla se observan la cilindra y el caudal a ser suministrado de oxihidrógeno que debe ser empleado en el proceso de limpieza tanto para vehículos a gasolina como a diésel.

Capítulo IV

Análisis de la incidencia del método de descarbonización no invasivo

En el presente capítulo se da a conocer los resultados obtenidos en la ejecución del tema, de investigación al ser realizado el proceso de descarbonización empleando un método no invasivo en los vehículos de ensayo. Además, para la realización de pruebas y los respectivos ensayos se emplearon los mismos parámetros de medición del antes de la limpieza.

Parámetros del estado del vehículo después del proceso de limpieza por HHO.

Prueba de Emisiones Contaminantes

Figura 47

Toma de mediciones después del proceso de descarbonización



Nota. En la figura se puede observar la introducción de la sonda en el sistema de escape para la recolección de datos después del proceso de descarbonización.

Tabla 66

Valores obtenidos después del proceso de descarbonización en el Vehículo de ensayo 1

| Parámetros "RPM" (1/min) | Hidrocarburos HC(ppm vol) | Monóxido de carbono CO (% vol) | Dióxido de carbono CO ₂ (% vol) | Oxígeno O ₂ (% vol) | Sonda lambda Λ(-) |
|--------------------------------|------------------------------|---|--|-----------------------------------|-------------------------|
| 1100 | 51 | 0,03 | 14,29 | 0,23 | 0,996 |
| 2500 | 22 | 0,01 | 13,93 | 0,63 | 1,018 |
| Retorno 1100 | 9 | 0,01 | 14,18 | 0,25 | 1,002 |

Nota. En la tabla se muestra los resultados obtenidos de las emisiones contaminantes después de ser ejecutada la limpieza.

Tabla 67

Valores obtenidos en el vehículo de ensayo 2

| Parámetros "RPM" (1/min) | Hidrocarburos HC(ppm vol) | Monóxido de carbono CO (% vol) | Dióxido de carbono CO ₂ (% vol) | Oxígeno O ₂ (% vol) |
|--------------------------------|------------------------------|---|--|-----------------------------------|
| 1000 | 56 | 0,03 | 15,33 | 0,64 |
| 2500 | 26 | 0,02 | 15,02 | 0,81 |
| Retorno 1000 | 15 | 0,03 | 15,24 | 0,42 |

Nota. En la tabla se muestra los valores obtenidos de HC, CO, CO₂ y O₂ con la utilización del método no invasivo.

Tabla 68

Valores obtenidos en la prueba de emisiones contaminantes del vehículo de ensayo 3

| Nº de prueba | RPM (1/min) | Óxidos de nitrógeno NO _x (ppm vol) |
|-----------------|----------------|---|
| 1 | 730 | 66 |
| 2 | 733 | 61 |
| 3 | 740 | 55 |
| 4 | 720 | 45 |
| 5 | 740 | 16 |
| 6 | 738 | 18 |
| Promedio | 733,50 | 43,50 |

Nota. En la tabla se muestra los valores obtenidos en la medición de NOx en las pruebas de emisiones contaminantes.

Ensayo de Torque – Potencia

Figura 48

Realización del ensayo de Torque – Potencia en los vehículos de ensayo



Nota. En la figura se puede observar la toma de datos después de la realización de la descarbonización en los vehículos de ensayo.

Tabla 69

Valores obtenidos después del proceso de descarbonización en el en el vehículo de ensayo 1

| "RPM" | Potencia (HP) | Potencia motor (HP) | Potencia transmisión (HP) | Torque (Kg. m) |
|-------|---------------|---------------------|---------------------------|----------------|
| 2600 | 36 | 48,4 | 8 | 10,1 |
| 2800 | 40 | 53,5 | 8,7 | 10,4 |
| 3000 | 44 | 58 | 9,3 | 10,8 |
| 3200 | 48 | 61,4 | 10 | 10,8 |
| 3400 | 51 | 62,6 | 10,7 | 10,7 |
| 3600 | 51 | 65,4 | 11,3 | 10,3 |
| 3800 | 53 | 69,2 | 12,2 | 10,2 |
| 4000 | 56 | 74,2 | 13 | 10,2 |
| 4200 | 60 | 79 | 13,8 | 10,4 |
| 4400 | 64 | 80,5 | 14,5 | 10,6 |
| 4600 | 65 | 82,8 | 15,3 | 10,3 |

| "RPM" | Potencia (HP) | Potencia motor (HP) | Potencia transmisión (HP) | Torque (Kg. m) |
|-----------------|------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------|
| 4800 | 67 | 88,3 | 16,2 | 10 |
| 5000 | 71 | 94,2 | 17,2 | 10,3 |
| 5200 | 76 | 96,3 | 18,2 | 10,6 |
| 5400 | 77 | 98,2 | 19,3 | 10,3 |
| 5600 | 78 | 100,9 | 20,5 | 10 |
| 5800 | 79 | 103,7 | 22 | 9,8 |
| 6000 | 80 | 106 | 23,8 | 9,6 |
| 6200 | 80 | 108,7 | 25,9 | 9,3 |
| 6400 | 80 | 111,2 | 28,4 | 9,1 |
| 6600 | 80 | 114,2 | 31,4 | 8,8 |
| 6800 | 79 | 115,9 | 34,9 | 8,4 |
| 7000 | 77 | 115,2 | 38,5 | 8 |
| 7200 | 73 | 102,4 | 42,4 | 7,3 |
| 7400 | 58 | 85,38 | 44,7 | 5,7 |
| Promedio | 64,92 | 48,4 | 20,408 | 9,68 |

Nota. En la tabla se observa los valores resultantes del ensayo de Torque – Potencia, teniendo en consideración la realización de la limpieza.

En la tabla 70, se indica los valores máximos en el ensayo con respecto a las RPM donde se produjeron.

Tabla 70

Resultados máximos obtenidos con sus respectivas RPM donde se produjo el valor

| Variable | RPM | Máximo |
|------------------------------|--------|--------|
| Potencia (HP) | 6000,0 | 80 |
| Torque (Kg.m) | 3000,0 | 10,8 |
| Potencia de Transmisión (HP) | 7400,0 | 44,7 |
| Potencia Motor (HP) | 7000,0 | 115,9 |

Nota. En la tabla se visualiza los resultados más altos obtenidos en el ensayo.

Tabla 71

Valores obtenidos en el proceso de descarbonización en el ensayo de Torque – Potencia en el vehículo de ensayo 2

| "RPM" | Potencia (HP) | Potencia motor (HP) | Potencia transmisión (HP) | Torque (Kg. m) |
|-----------------|---------------|---------------------|---------------------------|----------------|
| 2600 | 33 | 38,2 | 6,5 | 8,0 |
| 2800 | 33 | 41,1 | 7,1 | 8,4 |
| 3000 | 35 | 43,8 | 7,4 | 8,9 |
| 3200 | 40 | 47,1 | 8,1 | 8,9 |
| 3400 | 40 | 49,7 | 9,5 | 8,9 |
| 3600 | 41 | 52,8 | 10,6 | 8,9 |
| 3800 | 44 | 53,6 | 10,4 | 8,7 |
| 4000 | 44 | 54,7 | 11,3 | 8,7 |
| 4200 | 44 | 56,3 | 12,2 | 8,0 |
| 4400 | 43 | 56,4 | 13,1 | 7,9 |
| 4600 | 42 | 55,2 | 14,4 | 7,5 |
| 4800 | 38 | 54,4 | 15,1 | 7,1 |
| 5000 | 37 | 52,2 | 15,3 | 7,1 |
| 5200 | 35 | 51,5 | 16,2 | 5,8 |
| 5400 | 28 | 45,2 | 18,2 | 4,6 |
| 5600 | 21 | 21,7 | 0,0 | 2,9 |
| Promedio | 37,4 | 48,4 | 11,0 | 7,5 |

Nota. En la tabla se puede observar los resultados al aplicar el método de limpieza no invasiva.

Tabla 72

Resultados máximos obtenidos con sus respectivas RPM donde se produjo el valor.

| Variable | RPM | Máximo |
|------------------------------|--------|--------|
| Potencia (HP) | 4200,0 | 44 |
| Torque (Kg.m) | 2600,0 | 8,9 |
| Potencia de Transmisión (HP) | 5400,0 | 18,2 |
| Potencia Motor (HP) | 4400,0 | 56,3 |

Nota. En la tabla se observa los valores más elevados obtenidos en el ensayo de Torque – Potencia, con sus respectivas RPM.

Tabla 73

Valores obtenidos el vehículo de ensayo 3

| "RPM" | Potencia (HP) | Potencia motor (HP) | Potencia transmisión (HP) | Torque (Kg.m) |
|-----------------|------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------|
| 2600 | 62 | 70,0 | 7,8 | 17,1 |
| 2800 | 65 | 73,1 | 8,6 | 16,2 |
| 3000 | 66 | 75,9 | 9,6 | 16,2 |
| 3200 | 68 | 78,7 | 10,6 | 15,6 |
| 3400 | 69 | 80,4 | 11,6 | 14,7 |
| 3600 | 70 | 82,4 | 12,6 | 14,0 |
| 3800 | 71 | 84,6 | 13,8 | 13,4 |
| 4000 | 72 | 86,7 | 15,0 | 12,9 |
| 4200 | 45 | 61,3 | 16,2 | 7,7 |
| 4400 | 29 | 28,7 | 0,0 | 4,8 |
| Promedio | 61,70 | 72,18 | 10,58 | 13,26 |

Nota. En la tabla se observa los valores de RPM, potencia, potencia motor, potencia transmisión y el torque después del proceso de descarbonización por HHO.

Tabla 74

Resultados máximos del vehículo de ensayo 3 obtenidos con sus respectivas RPM donde se produjo el valor.

| Variable | RPM | Máximo |
|------------------------------|--------|--------|
| Potencia (HP) | 4000,0 | 72 |
| Torque (Kg.m) | 2600,0 | 17,1 |
| Potencia de Transmisión (HP) | 4200,0 | 16,2 |
| Potencia Motor (HP) | 4000,0 | 86,7 |

Nota. En la tabla se observa los datos registrados en el ensayo de Torque – Potencia, con sus respectivas RPM y los respectivos valores más altos.

Analizador de Motores

Figura 49

Equipo de diagnóstico GTC 505



Nota. En la figura se puede observar en la parte izquierda la medición de las RPM del motor y en lado derecho como se visualizan los datos de la prueba después de la realización de la descarbonización en los vehículos de ensayo 1 y 2.

Tabla 75

Valores obtenidos en el proceso de la prueba después de la realización del proceso de descarbonización empleando un método no invasivo, con el equipo GTC 505 del vehículo de ensayo 1

| Nº de bobina | "RPM" | Señal del secundario (kV) | Tiempo de quemado (ms) | Tiempo de rampa (ms) |
|--------------|---------|---------------------------|------------------------|----------------------|
| 1 | Ralentí | 11,83 | 1,96 | 3,54 |
| | 3000 | 14 | 1,34 | 2,82 |
| | 4500 | 18,85 | 1,59 | 2,39 |
| 2 | Ralentí | 13,34 | 1,91 | 3,15 |
| | 3000 | 9,95 | 1,67 | 2,46 |
| | 4500 | 13,85 | 1,24 | 2,73 |

| Nº de bobina | "RPM" | Señal del secundario (kV) | Tiempo de quemado (ms) | Tiempo de rampa (ms) |
|-----------------|---------|---------------------------|------------------------|----------------------|
| 3 | Ralentí | 12,08 | 1,96 | 3,23 |
| | 3000 | 55,89 | 1,56 | 2,79 |
| | 4500 | 9,06 | 1,41 | 2,66 |
| 4 | Ralentí | 10,12 | 2,22 | 3,13 |
| | 3000 | 7,02 | 1,77 | 2,86 |
| | 4500 | 8,59 | 1,73 | 2,40 |
| Promedio | | 15,38 | 1,70 | 2,85 |

Nota. En la tabla se observa los valores obtenidos en el sistema de encendido por chispa DIS – COP.

En la tabla 76, se indica los resultados obtenidos al emplear el analizador de motores en el vehículo de ensayo 2.

Tabla 76

Resultados en el proceso de la prueba después de la realización del proceso de descarbonización con el método no invasivo, con el equipo GTC 505

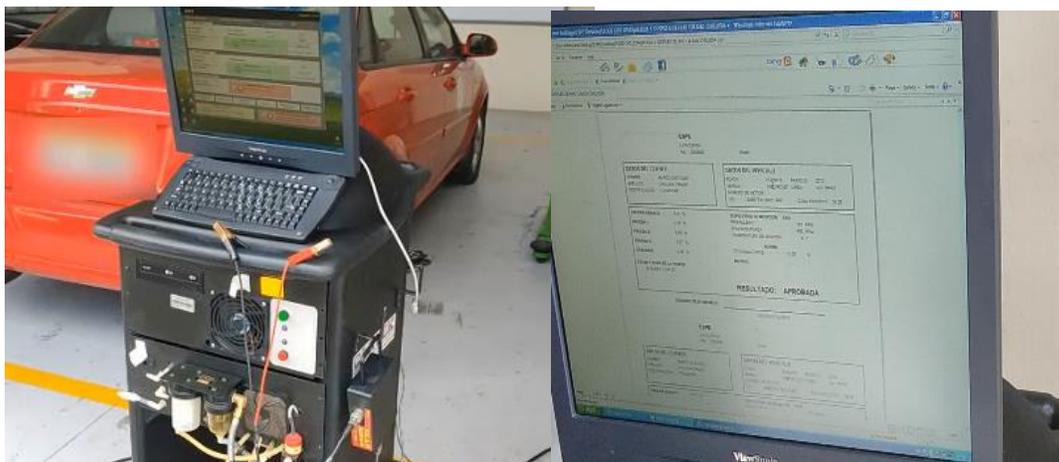
| Nº de bobina | "RPM" | Tiempo de quemado (ms) | Promedio (ms) |
|--------------|-------|------------------------|---------------|
| 1 | 1000 | 1,75 | 1,64 |
| | 2000 | 1,56 | |
| | 3000 | 1,63 | |
| 2 | 1000 | 1,54 | 1,54 |
| | 2000 | 1,58 | |
| | 3000 | 1,51 | |
| 3 | 1000 | 1,58 | 1,56 |
| | 2000 | 1,52 | |
| | 3000 | 1,57 | |
| 4 | 1000 | 1,71 | 1,60 |
| | 2000 | 1,56 | |
| | 3000 | 1,52 | |

Nota. En la tabla se visualiza los resultados arrojados por el equipo en las bobinas del vehículo.

Opacidad

Figura 50

Obtención de datos de opacidad en el vehículo de ensayo 3



Nota. En la figura se puede observar el equipo de opacidad proporcionado por el laboratorio de autotrónica para la investigación del antes y después del proceso de descarbonización.

Tabla 77

Valores obtenidos del porcentaje de opacidad después del proceso de descarbonización en el vehículo de ensayo 3.

| Ensayo | Medición | RPM | Prueba | Valores (%) |
|-----------------|-----------|------|----------------|--------------|
| 1 | Ralentí | 793 | Prueba ensayo: | 6,21% |
| | | | Prueba 1: | 6,57% |
| | Governada | 1468 | Prueba 2: | 6,65% |
| | | | Prueba 3: | 5,87% |
| Opacidad | | | | 6,36% |
| 2 | Ralentí | 772 | Prueba ensayo: | 3,08% |
| | | | Prueba 1: | 6,54% |
| | Governada | 1418 | Prueba 2: | 7,18% |
| | | | Prueba 3: | 4,73% |
| Opacidad | | | | 6,15% |
| 3 | Ralentí | 599 | Prueba ensayo: | 1,54% |
| | | | Prueba 1: | 0,26% |

| Ensayo | Medición | RPM | Prueba | Valores (%) |
|---------|-----------|-----------------|-----------------|--------------|
| 4 | Gobernada | 2313 | Prueba 2: | 1,06% |
| | | | Prueba 3: | 0,47% |
| | Ralentí | 774 | Opacidad | 0,60% |
| | | | Prueba ensayo: | 2,31% |
| | Gobernada | 1476 | Prueba 1: | 5,62% |
| | | | Prueba 2: | 15,05% |
| Ralentí | 972 | Prueba 3: | 10,45% | |
| | | Opacidad | 10,37% | |
| 5 | Gobernada | 2431 | Prueba ensayo: | 3,98% |
| | | | Prueba 1: | 3,68% |
| | Ralentí | 599 | Prueba 2: | 4,71% |
| | | | Prueba 3: | 4,40% |
| | Gobernada | 2203 | Opacidad | 4,26% |
| | | | Prueba ensayo: | 1,54% |
| Ralentí | 1194 | Prueba 1: | 1,26% | |
| | | Prueba 2: | 2,06% | |
| 6 | Gobernada | 2203 | Prueba 3: | 1,47% |
| | | | Opacidad | 1,60% |
| | Ralentí | 599 | Prueba ensayo: | 4,95% |
| | | | Prueba 1: | 4,58% |
| | Gobernada | 2343 | Prueba 2: | 4,17% |
| | | | Prueba 3: | 4,40% |
| Ralentí | 1194 | Opacidad | 4,38% | |
| | | Prueba ensayo: | 4,95% | |

Nota. En la tabla se observa los resultados en las pruebas referentes al porcentaje de opacidad.

Tabla 78

Valores promedios pruebas de opacidad en el vehículo de ensayo 3.

| Prueba | Valores (%) | Opacidad (%) |
|--------|-------------|--------------|
| 1 | 4,07% | 4,82% |
| 2 | 5,84% | |
| 3 | 4,54% | |

Nota. En la tabla se observan los resultados del promedio de las siete pruebas realizadas en función del porcentaje de opacidad.

Presión de compresión

Figura 51

Prueba de compresión



Nota. En la figura se puede observar algunos de los valores obtenidos en el desarrollo de las pruebas en los 3 vehículos de ensayo.

Datos del vehículo de ensayo 1 después del proceso de descarbonización.

Tabla 79

Prueba de compresión con la mariposa de aceleración totalmente cerrada y con el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 130 | 130 | 135 | 130 |
| Variación en (%) con referencia de la página aborudos (188.55 Psi) | 31,05 | 31,05 | 28,40 | 31,05 |
| Variación en (%) teniendo como | 3,70 | 3,70 | 0,00 | 3,70 |

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (135 Psi) | | | | |

Nota. En la tabla se muestra los valores obtenidos de los cuatro cilindros, comparados con un valor de referencia y el más alto en la realización de la prueba.

Tabla 80

Resultados de la prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 135 | 135 | 130 | 135 |
| Variación en (%) con referencia de la página aborudos (188.55 Psi) | 28,40 | 28,40 | 31,05 | 28,40 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (135 Psi) | 0,00 | 0,00 | 3,70 | 0,00 |

Nota. En la tabla se observa los valores obtenidos en el proceso de medición de la compresión.

Tabla 81

Prueba de compresión con la mariposa de aceleración cerrada y sin el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 132 | 130 | 135 | 132 |
| Variación en (%) con referencia de la página aborudos (188.55 Psi) | 29,99 | 31,05 | 28,40 | 29,99 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (135 Psi) | 2,22 | 3,70 | 0,00 | 2,22 |

Nota. En la tabla tienen los valores resultantes de la prueba.

Tabla 82

Prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y sin el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 136 | 135 | 135 | 135 |
| Variación en (%) con referencia de la página aborudos (188.55 Psi) | 27,87 | 28,40 | 28,40 | 28,40 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (136 Psi) | 0,00 | 0,74 | 0,74 | 0,74 |

Nota. En la tabla se observa los valores resultantes en las mediciones de los distintos cilindros.

Datos del vehículo de ensayo 2 después del proceso de descarbonización.

Tabla 83

Resultado de los valores con la mariposa de aceleración totalmente cerrada y con el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 120 | 120 | 120 | 118 |
| Variación en (%) con referencia de la página carinf (143.14 Psi) | 16,17 | 16,17 | 16,17 | 17,56 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (120 Psi) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,67 |

Nota. En la tabla se muestra los valores asociados a los cilindros en la realización de la prueba.

Tabla 84

Prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 128 | 125 | 126 | 120 |
| Variación en (%) con referencia de la página carinf (143.14 Psi) | 10,58 | 12,67 | 11,97 | 16,17 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (128 Psi) | 0,00 | 2,34 | 1,56 | 6,25 |

Nota. En la tabla se observa los valores de las mediciones en los distintos cilindros.

Tabla 85

Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración cerrada y sin el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 125 | 124 | 128 | 122 |
| Variación en (%) con referencia de la página carinf (143.14 Psi) | 12,67 | 13,37 | 10,58 | 14,77 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (128 Psi) | 2,34 | 3,13 | 0,00 | 4,69 |

Nota. En la tabla se muestra los valores medidos, la variación en porcentaje tanto con el valor obtenido la presión de compresión y el más alto obtenido en la medición.

Tabla 86

Prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y sin el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 130 | 128 | 125 | 124 |
| Variación en (%) con referencia de la página carinf (143.14 Psi) | 9,18 | 10,58 | 12,67 | 13,37 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido | 0,00 | 1,54 | 3,85 | 4,62 |

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| en la prueba de (130 Psi) | | | | |

Nota. En la tabla se observa los valores referentes a los cuatro cilindros considerando diversos parámetros como la compresión de referencia y el dato más alto obtenido.

Datos del vehículo de ensayo 3 después del proceso de descarbonización.

Tabla 87

Prueba de compresión con la mariposa de aceleración totalmente cerrada y con el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 260 | 220 | 240 | 210 |
| Variación en (%) con referencia del manual de servicios (309 Psi) | 15,86 | 28,80 | 22,33 | 32,04 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (260 Psi) | 0,00 | 15,38 | 7,69 | 19,23 |

Nota. En la tabla se muestra los valores medidos en las condiciones establecidas para su ejecución.

Tabla 88

Prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 265 | 230 | 248 | 220 |
| Variación en (%) con referencia del manual de servicios (309 Psi) | 14,24 | 25,57 | 19,74 | 28,80 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (265 Psi) | 0,00 | 13,21 | 6,42 | 16,98 |

Nota. En la tabla se observa los resultados obtenidos en las mediciones en los cilindros considerando un valor referencial y el dato más elevado de la prueba.

Tabla 89

Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración cerrada y sin el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 262 | 220 | 245 | 215 |
| Variación en (%) con referencia del manual de servicios (309 Psi) | 15,21 | 28,80 | 20,71 | 30,42 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (262 Psi) | 0,00 | 16,03 | 6,49 | 17,94 |

Nota. En la tabla se observa los valores determinados en el proceso del desarrollo de la prueba.

Tabla 90

Valores obtenidos en la prueba de compresión con la mariposa de aceleración abierta y sin el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 265 | 230 | 245 | 216 |
| Variación en (%) con referencia del manual de servicios (309 Psi) | 14,24 | 25,57 | 20,71 | 30,10 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (240 Psi) | 0,00 | 13,21 | 7,55 | 18,49 |

Nota. En la tabla se observa los valores obtenidos en el proceso de toma de datos de la prueba teniendo como análisis un valor de indicación y el más elevado dato de la medición.

Prueba de vacío

Figura 52*Prueba de vacío*

Nota. En la figura se puede visualizar la toma de los datos de algunas mediciones en los vehículos de ensayo empleando el vacuómetro en la toma de mediciones.

Tabla 91*Valores obtenidos en el vehículo de ensayo 1*

| Prueba realizada | Vacuómetro Valores de presión (in Hg) | | Conducta de la pluma del vacuómetro | | Estado de motor |
|------------------|---|----|---|---------|--------------------|
| | De | A | Oscila | Estable | |
| Arranque | 7 | 7 | | X | Bueno |
| 750 - 900 | 15 | 15 | | X | Bueno |
| 750 - 4000 | 17 | 21 | X | | Bueno |
| 3000 | 6 | 17 | X | | Bueno |

Nota. En la tabla se observa los resultados de las mediciones de presión, conducta de la pluma del vacuómetro y el estado del motor.

Tabla 92*Valores obtenidos en la prueba de vacío en el vehículo de ensayo 2*

| Prueba realizada | Vacuómetro Valores de presión (in Hg) | | Conducta de la pluma del vacuómetro | | Estado de motor |
|------------------|---|----|---|---------|--------------------|
| | De | A | Oscila | Estable | |
| Arranque | 7 | 7 | | X | Bueno |
| 750 - 900 | 14 | 14 | | X | Bueno |
| 750 - 4000 | 0 | 19 | X | | Bueno |
| 3000 | 16 | 16 | | X | Bueno |

Nota. En la tabla se especifica los valores de la prueba y del estado de la pluma del vacuómetro y funcionamiento del motor.

Tabla 93

Resultados obtenidos en la prueba de vacío del vehículo de ensayo 3

| Prueba realizada | Vacuómetro Valores de presión (in Hg) | | Conducta de la pluma del vacuómetro | | Estado de motor |
|------------------|---|------|---|---------|--------------------|
| | De | A | Oscila | Estable | |
| Arranque | 20.5 | 20.5 | | X | Bueno |
| 750 - 900 | 20.5 | 20.5 | | X | Bueno |
| 750 - 4000 | 20.5 | 20.5 | | X | Bueno |
| 3000 | 20.5 | 20.5 | | X | Bueno |

Nota. En la tabla se visualiza los valores del vacuómetro, como el estado de la pluma y del funcionamiento del motor.

Prueba de fugas

Figura 53

Prueba de fugas



Nota. En la figura se puede visualizar los valores tomados en diferentes cilindros al realizar la prueba.

Tabla 94

Valores obtenidos en la prueba de fugas en el vehículo de ensayo 1

| Nº de cilindro | Manómetro # 1 Ingreso de aire (PSI) | Manómetro # 2 Salida de aire (%) | Observación del estado del motor |
|----------------|---|--|--|
| 1 | 18 | 40 | MODERATE |
| 2 | 16 | 43 | MODERATE |
| 3 | 13 | 40 | MODERATE |
| 4 | 11 | 45 | MODERATE |

Nota. En la tabla se observa los resultados de los valores obtenidos en la prueba en cada uno de los cilindros con el respectivo estado del motor.

Tabla 95

Valores obtenidos prueba de hermeticidad en el vehículo de ensayo 2

| Nº de cilindro | Manómetro # 1 Ingreso de aire (PSI) | Manómetro # 2 Salida de aire (%) | Observación del estado del motor |
|----------------|---|--|--|
| 1 | 19 | 38 | LOW |
| 2 | 15 | 45 | MODERATE |
| 3 | 16 | 42 | MODERATE |
| 4 | 15 | 50 | MODERATE |

Nota. En la tabla se observa los resultados de los valores suministrados de presión en la ejecución de las pruebas, el porcentaje y el respectivo estado del motor

Tabla 96

Valores obtenidos en la prueba de fugas en el vehículo de ensayo 3

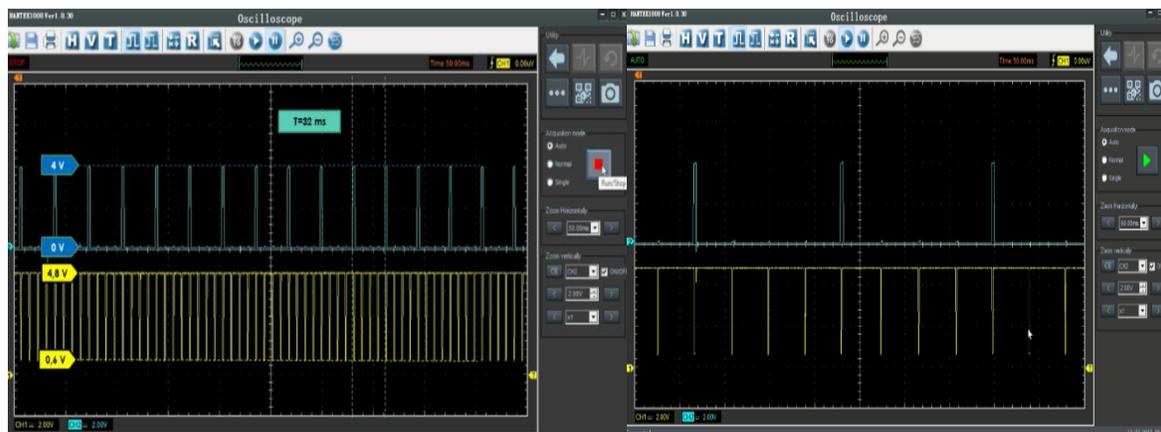
| Nº de cilindro | Manómetro # 1 Ingreso de aire (PSI) | Manómetro # 2 Salida de aire (%) | Observación del estado del motor |
|----------------|---|--|--|
| 1 | 28 | 60 | MODERATE |
| 2 | 29 | 55 | MODERATE |
| 3 | 29 | 55 | MODERATE |
| 4 | 30 | 55 | MODERATE |

Nota. En la tabla se observa los resultados de la ejecución de la prueba de fugas, con los valores de presión, el porcentaje y el estado del motor

Oscilogramas

Figura 54

Mediciones de oscilogramas



Nota. En la figura se puede observar las mediciones de las señales IGF y IGT de los canales CH1 Y CH2 respectivamente.

Datos del vehículo de ensayo 1.

Tabla 97

Valores obtenidos en los oscilogramas de la bobina N^o 1 y 2

| Oscilograma | Tensión min. /máx.(V) | Corriente min. / máx. (A) | Periodo (ms) | Tiempo de activación (ms) |
|----------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
| Bobina 1 - Ralentí | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0 / 4 | ----- | 155 | 3 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,4 / 4,8 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 1,2 / 12,7 | 155 | 3 |
| Bobina 1 – 3000 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0 / 4 | ----- | 46 | 2,7 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,7 / 4,8 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 1,6 / 12,5 | 46 | 2,7 |
| Bobina 1 – 4500 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0 / 4 | ----- | 32 | 2,5 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,6 / 4,8 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 2 / 10 | 32 | 2,5 |
| Bobina 2 - Ralentí | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0 / 4 | ----- | 170 | 4 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,6 / 4,8 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 1,6 / 12,4 | 170 | 4 |
| Bobina 2 – 3000 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0 / 4 | ----- | 42 | 3 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,6 / 4,8 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 1,6 / 12,4 | 42 | 3 |
| Bobina 2 – 4500 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0 / 4 | ----- | 30 | 2,4 |

| Oscilograma | Tensión min. /máx.(V) | Corriente min. / máx. (A) | Periodo (ms) | Tiempo de activación (ms) |
|----------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,6 / 4,8 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 1,6 / 12,4 | 30 | 2,4 |

Nota. En la tabla se observa los resultados de los valores de las señales IGT, IGF y la señal de corriente de saturación.

Tabla 98

Valores obtenidos en los oscilogramas de la bobina N^o 3 y 4

| Oscilograma | Tensión min. /máx.(V) | Corriente min. / máx. (A) | Periodo (ms) | Tiempo de activación (ms) |
|----------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
| Bobina 3 - Ralentí | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0 / 4 | ----- | 135 | 3,2 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,6 / 4,8 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 1,1 / 10,3 | 135 | 3,2 |
| Bobina 3 – 3000 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0 / 4 | ----- | 42 | 2,5 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,6 / 4,8 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 1,25 / 9,20 | 42 | 2,5 |
| Bobina 3 – 4500 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0 / 4 | ----- | 38 | 1,1 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,6 / 4,8 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 1,1 / 8,1 | 38 | 1,1 |
| Bobina 4 - Ralentí | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0,4 / 4 | ----- | 155 | 3 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,7 / 4,9 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 1,8 / 10,5 | 155 | 3 |
| Bobina 4 – 3000 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0 / 4 | ----- | 168 | 2,5 |

| Oscilograma | Tensión min. /máx.(V) | Corriente min. / máx. (A) | Periodo (ms) | Tiempo de activación (ms) |
|----------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,7 / 4,9 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 1,60 / 10,5 | 168 | 2,5 |
| Bobina 4 – 4500 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | 0 / 4 | ----- | 40 | 2,7 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,6 / 4,8 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 1,1 / 8,1 | 40 | 2,7 |

Nota. En la tabla se observa los valores de las señales IGT, IGF y de saturación de los valores obtenidas.

Datos del vehículo de ensayo 2.

Tabla 99

Medidas resultantes en el proceso de medición de los oscilogramas

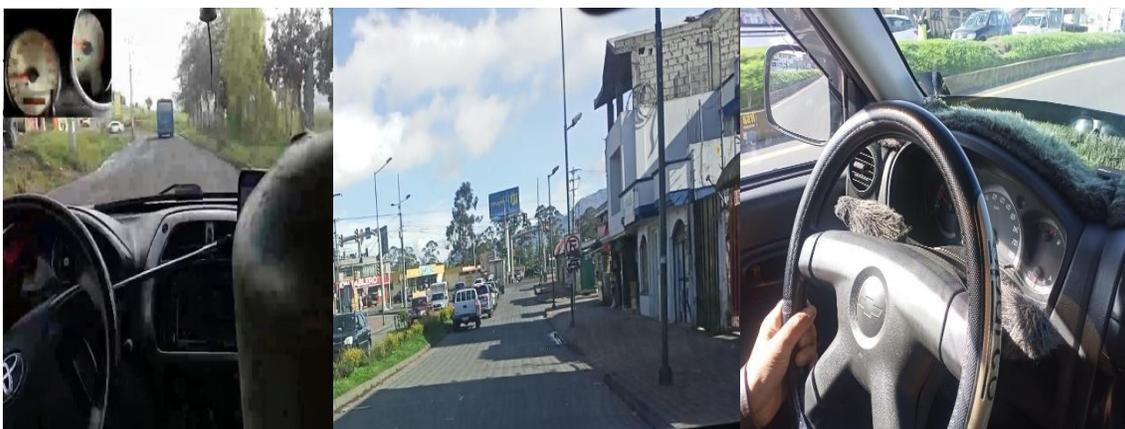
| Nº de cilindro | Estado de medición (RPM) | Corriente min. / máx. (A) | Periodo (ms) | Tiempo de activación (ms) |
|----------------|--------------------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
| 1 | Ralentí | 1,6 / 12,4 | 156 | 3,5 |
| | 3000 | 1,82 / 12,15 | 49,6 | 4 |
| | 4500 | 1,2 / 9,5 | 40 | 3,4 |
| 2 | Ralentí | 1,2 / 12,1 | 182 | 5,9 |
| | 3000 | 1,5 / 12,3 | 60 | 3 |
| | 4500 | 1,4 / 12,3 | 48 | 2,8 |
| 3 | Ralentí | 1,4 / 10,8 | 176 | 5,1 |
| | 3000 | 1,5 / 9,2 | 45 | 3 |
| | 4500 | 1,4 / 8,1 | 12,6 | 1 |
| 4 | Ralentí | 1,6 / 10,1 | 185 | 7 |
| | 3000 | 1,5 / 12,3 | 47 | 3,1 |
| | 4500 | 1,4 / 12,3 | 15 | 1 |

Nota. En la tabla se visualiza los resultados en la ejecución de la evaluación de la corriente de saturación.

Consumo de combustible

Figura 55

Prueba de consumo de combustible



Nota. En la figura se visualiza el desarrollo de la prueba por las rutas establecidas.

Tabla 100

Valores obtenidos medición de consumo del vehículo de ensayo 1

| Recorrido | Consumo de combustible en galones (gal) | Kilómetros recorridos (Km) | Kilómetros por litro (Km/l) | Kilómetros por galón (Km/gal) |
|------------|---|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Urbano | 0,264 | 11,2 | 11,2 | 42,39 |
| Perimetral | 0,264 | 14,7 | 14,7 | 55,64 |
| Carretera | 0,264 | 17,6 | 17,6 | 66,62 |

Nota. En la tabla se visualizan los valores obtenidos la distancia recorrida, cantidad de consumo en galones, kilómetros por litro y kilómetros por galón.

Tabla 101

Valores obtenidos en la medición de consumo del vehículo de ensayo 2

| Recorrido | Consumo de combustible en galones (gal) | Kilómetros recorridos (Km) | Kilómetros por litro (Km/l) | Kilómetros por galón (Km/gal) |
|-----------|---|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Urbano | 0,264 | 12,4 | 12,4 | 46,93 |

| Recorrido | Consumo de combustible en galones (gal) | Kilómetros recorridos (Km) | Kilómetros por litro (Km/l) | Kilómetros por galón (Km/gal) |
|------------|---|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Perimetral | 0,264 | 16,3 | 16,3 | 61,70 |
| Carretera | 0,264 | 19,5 | 19,5 | 73,81 |

Nota. En la tabla se visualizan los valores registrados en las distancias recorrida, consumo en galones y litros, kilómetros por litro y kilómetros por galón.

Tabla 102

Valores obtenidos medición de consumo del vehículo de ensayo 3

| Kilometro recorridos (Km) | Costo del llenado de combustible al finalizar la prueba (\$) | Galones de combustible consumidos (gal) | Litros de combustible consumidos (l) | Kilómetros por galón (Km/gal) | Kilómetros por litro (Km/l) |
|---------------------------|--|---|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 100,17 | 3,81 | 2,005 | 7,968 | 49,954 | 13,198 |

Nota. En la tabla se visualiza los valores registrados en la trayectoria realizada como: Costo de combustible, consumo en galones y litros, kilómetros por litro y kilómetros.

Análisis.

Estadístico

Se establecen la variación de los valores obtenidos en el proceso pre y post, tratamiento al proceso de descarbonización por oxihidrógeno, en los diferentes vehículos de ensayo.

Tabla 103

Variación de las emisiones contaminantes del vehículo de ensayo 1

| Parámetros "RPM" (1/min) | Hidrocarburos HC(ppm vol) | Monóxido de carbono CO (% vol) | Dióxido de carbono CO ₂ (% vol) | Oxígeno O ₂ (% vol) | Sonda lambda Λ(-) |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|-------------------|
| 1100 | 19 | 0,03 | 0,54 | -0,9 | -0,041 |
| 2500 | 1 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | -0,012 |
| Retorno 1100 | -5 | 0,00 | 0,36 | -0,36 | -0,027 |

Nota. En la tabla se muestra los resultados obtenidos en la ejecución del tema de investigación.

Tabla 104

Referencia entre los valores normados y obtenidos en la ejecución de las mediciones del vehículo de ensayo 1

| Parámetros "RPM" (1/min) | HC(ppm) | CO (%) | Antes HC(ppm vol) | Después HC(ppm vol) | Antes CO (% vol) | Después CO (% vol) |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
| | NTE INEN 2204 | NTE INEN 2204 | | | | |
| 1100 | 200 | 1 | 32 | 51 | 0,00 | 0,03 |
| 2500 | 200 | 1 | 21 | 22 | 0,01 | 0,01 |
| Retorno 1100 | 200 | 1 | 14 | 9 | 0,01 | 0,01 |

Nota. En la tabla se puede observar la comparativa de los valores de HC y CO de la normativa NTE INEN 2204 y los valores obtenidos en el proceso de la investigación.

Tabla 105

Valores del cambio producido en las emisiones contaminantes vehículo de ensayo 2

| Parámetros "RPM" (1/min) | Hidrocarburos HC(ppm vol) | Monóxido de carbono CO (% vol) | Dióxido de carbono CO ₂ (% vol) | Oxígeno O ₂ (% vol) |
|--------------------------------|------------------------------|---|--|-----------------------------------|
| 1100 | 18 | 0,02 | 0,52 | -0,8 |
| 2500 | 2 | 0,00 | 0,04 | 0,03 |
| Retorno 1100 | 0,01 | 0,36 | -0,33 | 0,01 |

Nota. En la tabla se muestra los valores en el desarrollo de la investigación.

Tabla 106

Referencia entre los valores normales y obtenidos en la ejecución de las mediciones del vehículo de ensayo 2

| Parámetros "RPM" (1/min) | HC(ppm) | CO (%) | Antes HC(ppm vol) | Después HC(ppm vol) | Antes CO (% vol) | Después CO (% vol) |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
| | NTE INEN 2204 | NTE INEN 2204 | | | | |
| 1100 | 200 | 1 | 38 | 56 | 0,01 | 0,03 |
| 2500 | 200 | 1 | 24 | 26 | 0,02 | 0,02 |
| Retorno 1100 | 200 | 1 | 17 | 15 | 0,02 | 0,02 |

Nota. En la tabla muestran los valores de HC y CO de la normativa NTE INEN 2204 y los resultados obtenidos en la investigación.

Tabla 107

Valores producidas emisiones contaminantes vehículo de ensayo 3

| Nº de prueba | Óxidos de nitrógeno NOx (ppm vol) | RPM (1/min) |
|--------------|--------------------------------------|----------------|
| 1 | 586 | 0 |
| 2 | 551 | 7 |
| 3 | 550 | 10 |
| 4 | 554 | 25 |
| 5 | 594 | 16 |
| 6 | 604 | 4 |
| Promedio | 573,17 | 10,33 |

Nota. En la tabla se muestra la variación de NOx con las respectivas RPM en la realización en la realización de las diferentes pruebas.

A continuación, se presentan los valores obtenidos, en el ensayo de Torque – Potencia realizados a los vehículos de ensayo.

Tabla 108

Variación de mediciones en el vehículo de ensayo 1

| Variable | Variación del promedio |
|---------------|------------------------|
| Potencia (HP) | -1,26 |

| Variable | Variación del promedio |
|----------------------------------|-------------------------------|
| Potencia motor (HP) | -0,93 |
| Potencia transmisión (HP) | 0,3 |
| Torque (Kg.m) | -0,33 |

Nota. En la tabla se muestra la variación del ensayo realizado teniendo una consideración de 2600 hasta las 7000 RPM.

Tabla 109

Variación vehículo de ensayo 2

| Variable | Variación del promedio |
|----------------------------------|-------------------------------|
| Potencia (HP) | -2,8 |
| Potencia motor (HP) | -1,4 |
| Potencia transmisión (HP) | 1,3 |
| Torque (Kg.m) | 0,1 |

Nota. En la tabla se muestra los resultados de la fluctuación con un régimen de giro de 2600 hasta las 5600 RPM.

Tabla 110

Variación vehículo de ensayo 3

| Variable | Variación del promedio |
|----------------------------------|-------------------------------|
| Potencia (HP) | -1,5 |
| Potencia motor (HP) | -0,4 |
| Potencia transmisión (HP) | -0,2 |
| Torque (Kg.m) | -1,8 |

Nota. En la tabla se muestra la variabilidad con un parámetro de 2600 hasta las 4400 RPM.

Datos de la prueba del analizador de motores.

Tabla 111

Promedio de los valores obtenidos en el vehículo de ensayo 1

| Estado | Señal del secundario (kV) | Tiempo de quemado (ms) | Tiempo de rampa (ms) |
|------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Antes | 16,03 | 1,89 | 3,05 |
| Después | 15,38 | 1,70 | 2,85 |
| Variación | 0,65 | 0,20 | 0,20 |

Nota. En la tabla se observa los valores promedios del antes y después del proceso de descarbonización con la respectiva variación en el proceso.

Tabla 112

La media de los resultados de los valores en el vehículo de ensayo 2

| Nº de bobina | "RPM" | Tiempo de quemado (ms) | Promedio (ms) |
|---------------------|--------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 1 | 1000 | 0,93 | 0,90 |
| | 2000 | 0,98 | |
| | 3000 | 0,78 | |
| 2 | 1000 | 1,18 | 0,93 |
| | 2000 | 0,89 | |
| | 3000 | 0,73 | |
| 3 | 1000 | 0,98 | 0,87 |
| | 2000 | 0,91 | |
| | 3000 | 0,73 | |
| 4 | 1000 | 0,96 | 0,89 |
| | 2000 | 0,85 | |
| | 3000 | 0,86 | |

Nota. En la tabla se visualizan la variación de los valores resultantes de las mediciones con el equipo GTC 505 del pre y post de la aplicación del método de descarbonización no invasivo.

Datos de las mediciones de opacidad.

Tabla 113

Valores obtenidos en el vehículo de ensayo 3

| Nº de prueba | Antes (%) | Después (%) | Variación (%) |
|---------------------|------------------|--------------------|----------------------|
| 1 | 28,06% | 4,07% | 23,99% |
| 2 | 26,34% | 5,84% | 20,50% |
| 3 | 28,64% | 4,54% | 24,10% |
| Opacidad | 27,68% | 4,82% | 22,86% |

Nota. En la tabla se observan la comparación de los valores resultante de en el desarrollo de la investigación.

Resultados de la prueba de presión de compresión en los vehículos de ensayo.

Tabla 114

Valores obtenidos vehículo de ensayo 1

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 5 | 0,0 | 5 | 5 |
| Variación en (%) con referencia de la página aborudos (188.55 Psi) | 2,65 | 0,0 | 2,65 | 2,65 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (135 Psi) | 3,70 | 0,00 | 3,70 | 3,70 |

Nota. En la tabla se muestra la variación de los valores en el proceso de medición de compresión del vehículo teniendo en cuenta la mariposa de aceleración cerrada y con filtro de aire.

Tabla 115

Datos obtenidos en la segunda medición del vehículo de ensayo 1

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 5 | 5 | -5 | 5 |
| Variación en (%) con referencia de la página aborudos (188.55 Psi) | 2,65 | 2,7 | -2,65 | 2,65 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (135 Psi) | 3,70 | 3,70 | -3,70 | 3,70 |

Nota. En la tabla se observa los resultados de la variación con la mariposa de aceleración abierta y con filtro de aire.

Tabla 116

Tercera prueba vehículo de ensayo 1

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 2 | 0 | 5 | 2 |
| Variación en (%) con referencia de la página aborudos (188.55 Psi) | 1,06 | 0,0 | 2,65 | 1,06 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (135 Psi) | 1,48 | 0,00 | 3,70 | 1,48 |

Nota. En la tabla se observa los resultados con la prueba teniendo como parámetro la mariposa de aceleración cerrado y sin filtro de aire.

Tabla 117*Cuarta prueba vehículo de ensayo 1*

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 4 | 5 | 0 | 3 |
| Variación en (%) con referencia de la página aborudos (188.55 Psi) | 2,12 | 2,7 | 0,00 | 1,59 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (136 Psi) | 2,94 | 3,68 | 0,00 | 2,21 |

Nota. En la tabla se observa la variación de los valores con la mariposa de aceleración abierta y sin filtro de aire.

Valores obtenidos en el vehículo de ensayo 2 en la prueba de medición de compresión.

Tabla 118*Variación de los valores con la mariposa de aceleración totalmente cerrada y con el filtro de aire*

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 18 |
| Variación en (%) con referencia de la página carinf (143.14 Psi) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 9,55 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,00 |

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| en la prueba de (120 Psi) | | | | |

Nota. En la tabla se muestra los valores asociados a los cilindros en la realización de la prueba.

Tabla 119

Prueba con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 3 | 5 | 1 | 15 |
| Variación en (%) con referencia de la página carinf (143.14 Psi) | 1,59 | 2,7 | 0,53 | 7,96 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (128 Psi) | 2,34 | 3,91 | 0,78 | 11,72 |

Nota. En la tabla se observa la variación de los valores en las mediciones de los distintos cilindros.

Tabla 120

Resultados de las mediciones con la mariposa de aceleración cerrada y sin el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 0,00 | 4 | 6 | 17 |
| Variación en (%) con referencia de | 0,00 | 2,1 | 3,18 | 9,02 |

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| la página carinf (143.14 Psi) Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (128 Psi) | 0,00 | 3,13 | 4,69 | 13,28 |

Nota. En la tabla muestra la variación de los valores obtenidos en la ejecución de la prueba.

Tabla 121

Variaciones de las mediciones con la mariposa de aceleración abierta y sin el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 8 | 3 | 0 | 16 |
| Variación en (%) con referencia de la página carinf (143.14 Psi) | 4,24 | 1,6 | 0,00 | 8,49 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (130 Psi) | 6,15 | 2,31 | 0,00 | 12,31 |

Nota. En la tabla se aprecian los valores referentes a los cuatro cilindros.

Resultado de las mediciones de la prueba de compresión en el vehículo de ensayo 3.

Tabla 122

Primera prueba resultado de las mediciones

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 30 | 20 | 40 | 30 |
| Variación en (%) con referencia del manual de servicios (309 Psi) | 9,71 | 6,5 | 12,94 | 9,71 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (260 Psi) | 11,54 | 7,69 | 23,08 | 11,54 |

Nota. En la tabla variación de las medidas con la mariposa de aceleración cerrada y con filtro de aire.

Tabla 123

Prueba con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 27 | 30 | 38 | 35 |
| Variación en (%) con referencia del manual de servicios (309 Psi) | 8,74 | 9,7 | 12,30 | 11,33 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (265 Psi) | 10,19 | 11,32 | 14,34 | 13,21 |

Nota. En la tabla se observa la variación de las mediciones con la mariposa de aceleración abierta y con filtro de aire.

Tabla 124

Tercera prueba mariposa de aceleración cerrada y sin el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 32 | 10 | 45 | 30 |
| Variación en (%) con referencia del manual de servicios (309 Psi) | 10,36 | 3,2 | 14,56 | 9,71 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (262 Psi) | 12,21 | 3,82 | 17,18 | 11,45 |

Nota. En la tabla se observa los valores determinados en el proceso del desarrollo de la prueba.

Tabla 125

Prueba cuatro con la mariposa de aceleración abierta y sin el filtro de aire

| Parámetro | Cilindro # 1 | Cilindro # 2 | Cilindro # 3 | Cilindro # 4 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Resultado de los valores medidos en (PSI) | 25 | 20 | 35 | 26 |
| Variación en (%) con referencia del manual de servicios (309 Psi) | 8,09 | 6,5 | 11,33 | 8,41 |
| Variación en (%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (240 Psi) | 9,43 | 7,55 | 13,21 | 9,81 |

Nota. En la tabla se observa la variación producida en la prueba al realizar el proceso de descarbonización con el método no invasivo

Seguidamente se presentará los valores obtenidos en la medición del vacío de los cilindros.

Tabla 126

Variación vehículo de ensayo 1

| Prueba realizada | Vacuómetro Valores de presión (in Hg) | |
|------------------|---|----|
| | De | A |
| Arranque | 0 | 0 |
| 750 - 900 | 1 | -1 |
| 750 - 4000 | 3 | 0 |
| 3000 | -13 | -2 |

Nota. En la tabla se observa los resultados de la variación de las mediciones realizadas con el vacuómetro.

Tabla 127

Resultados vehículo de ensayo 2

| Prueba realizada | Vacuómetro Valores de presión (in Hg) | |
|------------------|---|---|
| | De | A |
| Arranque | 0 | 0 |
| 750 - 900 | 1 | 1 |
| 750 - 4000 | 0 | 4 |
| 3000 | 1 | 1 |

Nota. En la tabla se visualiza la alteración de las mediciones realizadas con el instrumento de medición.

Tabla 128*Valores obtenidos vehículo de ensayo 3*

| Prueba realizada | Vacuómetro Valores de presión (in Hg) | |
|------------------|---|---|
| | De | A |
| Arranque | 0 | 0 |
| 750 - 900 | 0 | 0 |
| 750 - 4000 | 0 | 0 |
| 3000 | 0 | 0 |

Nota. En la tabla se observan los datos de la variación de la prueba realizada antes y después del proceso de descarbonización.

Resultados de las mediciones de la comparativa en la realización de la prueba de fugas en los vehículos de ensayo.

Tabla 129*Valores obtenidos vehículo de ensayo 3*

| Prueba realizada | Vacuómetro Valores de presión (in Hg) | |
|------------------|---|---|
| | De | A |
| Arranque | 0 | 0 |
| 750 - 900 | 0 | 0 |
| 750 - 4000 | 0 | 0 |
| 3000 | 0 | 0 |

Nota. En la tabla se observan los datos de la variación de la prueba realizada antes y después del proceso de descarbonización.

Datos obtenidos en el resultado de las mediciones de la prueba de fugas en los respectivos vehículos de ensayo.

Tabla 130

Variación de los parámetros de medición

| Nº de cilindro | Manómetro # 1 Ingreso de aire (PSI) | Manómetro # 2 Salida de aire (%) |
|-----------------------------|--|---|
| Vehículo de ensayo 1 | | |
| 1 | 6 | -20 |
| 2 | 1 | -9 |
| 3 | -3 | -8 |
| 4 | -4 | -7 |
| Vehículo de ensayo 2 | | |
| 1 | 1 | -10 |
| 2 | 2 | -7 |
| 3 | 3 | -3 |
| 4 | 4 | -15 |
| Vehículo de ensayo 3 | | |
| 1 | -1 | 21 |
| 2 | 1 | 14 |
| 3 | -1 | 10 |
| 4 | 1 | 12 |

Nota. En la tabla se observa los resultados de la comparativa realizada con el proceso de descarbonización en los diferentes vehículos de ensayo.

Resultados de las mediciones de los oscilogramas en los correspondientes vehículos de ensayo.

Tabla 131

Variación de los oscilogramas de la bobina Nº 1 y 2

| Oscilograma | Tensión min. /máx.(V) | Corriente min. / máx. (A) | Periodo (ms) | Tiempo de activación (ms) |
|----------------------------------|--------------------------------------|--|-------------------------|--|
| Bobina 1 - Ralentí | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | - 0,4 / -0,4 | ----- | 11 | -3,6 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | -0,8 / -0,8 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | -0,8 / -0,8 | 11 | -3,6 |

| Oscilograma | Tensión min. /máx.(V) | Corriente min. / máx. (A) | Periodo (ms) | Tiempo de activación (ms) |
|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| Bobina 1 – 3000 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | -0,4 / -0,4 | ----- | 1,4 | -0,5 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,8 / 5,2 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | -0,4 / -0,5 | 1,4 | -0,5 |
| Bobina 1 – 4500 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | -0,4 / -0,4 | ----- | 0 | 0,1 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | -0,2 / -0,8 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 0 / 0 | 0 | 0,1 |
| Bobina 2 - Ralentí | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | -0,4 / -0,4 | ----- | -14 | -2,2 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | -0,3 / -0,8 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | -0,4 / -0,6 | -14 | -2,2 |
| Bobina 2 – 3000 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | -0,4 / -0,4 | ----- | -6 | -0,6 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,9 / 5,6 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | -0,4 / -0,6 | -6 | -0,6 |
| Bobina 2 – 4500 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | -0,4 / -0,4 | ----- | -10 | -0,8 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | -0,3 / -0,8 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | -0,4 / -0,6 | -10 | -0,8 |

Nota. En la tabla se observa los resultados de los valores de las señales IGT, IGF y la señal de corriente de saturación en el vehículo de ensayo 1.

Tabla 132

Modificación en las mediciones de los oscilogramas del vehículo de ensayo en las bobinas N^o 3 y 4

| Oscilograma | Tensión min. /máx.(V) | Corriente min. / máx. (A) | Periodo (ms) | Tiempo de activación (ms) |
|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| Bobina 3 - Ralentí | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | -0,35 / -0,35 | ----- | -41 | -2,1 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | -0,25 / -0,15 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | -0,2 / -0,3 | -41 | -2,3 |
| Bobina 3 – 3000 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | -0,35 / -0,35 | ----- | 0,15 | -2,21 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0,85 / 4,95 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | -0,15 / -0,1 | 0,15 | -2,21 |
| Bobina 3 – 4500 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | -0,35 / -0,35 | ----- | 27,3 | 0,1 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | 0 / 0 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | -0,2 / -0,1 | 27,3 | 0,1 |
| Bobina 4 - Ralentí | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | -0,4 / -0,4 | ----- | -21 | -3,6 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | -0,1 / -0,3 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | -0,2 / -0,5 | -21 | -3,6 |
| Bobina 4 – 3000 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | -0,4 / -0,4 | ----- | 126,4 | -0,7 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | -0,2 / -0,7 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | -0,4 / -0,5 | 126,4 | -0,7 |
| Bobina 4 – 4500 RPM | | | | |
| Señal de disparo (IGT) | -0,35 / -0,35 | ----- | 30 | 1,85 |
| Señal de retroalimentación (IGF) | -0,25 / -0,15 | ----- | ----- | ----- |
| Señal de corriente saturación | ----- | 0 / 0 | 30 | 1,85 |

Nota. En la tabla se observa las señales IGT, IGF y de saturación en el proceso de descarbonización del vehículo.

Datos del vehículo de ensayo 2.

Tabla 133

Alteración del efecto de la descarbonización en los oscilogramas

| Nº de cilindro | Estado de medición (RPM) | Corriente min. / máx. (A) | Periodo (ms) | Tiempo de activación (ms) |
|----------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|
| 1 | Ralentí | -0,4 / -0,35 | 7 | -3,3 |
| | 3000 | -0,18 / -0,1 | 0 | -0,2 |
| | 4500 | -0,8 / -0,5 | 0 | -0,2 |
| 2 | Ralentí | -0,8 / -0,55 | -10 | -0,9 |
| | 3000 | -0,5 / -0,45 | 0 | -0,8 |
| | 4500 | -0,6 / -0,45 | 0 | -0,45 |
| 3 | Ralentí | -0,3 / -0,5 | 10 | -0,6 |
| | 3000 | -0,1 / -2,1 | 0 | -0,9 |
| | 4500 | 0 / 0 | 0 | -0,9 |
| 4 | Ralentí | -0,4 / -0,4 | -1 | -0,6 |
| | 3000 | -0,7 / -0,2 | 0 | -0,6 |
| | 4500 | -0,2 / -0,2 | 0 | -0,5 |

Nota. En la tabla se observa los efectos provocados en las señales de saturación en el vehículo de ensayo.

Derivaciones producidas en el efecto del proceso de descarbonización en los vehículos de ensayo.

Tabla 134

Variación de las mediciones de consumo del vehículo de ensayo 1

| Recorrido | Kilómetros recorridos (Km) | Kilómetros por litro (Km/l) | Kilómetros por galón (Km/gal) |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Urbano | 0,6 | 0,6 | 2,27 |
| Perimetral | 1,8 | 1,8 | 6,81 |
| Carretera | 1,6 | 1,6 | 6,06 |
| Variación en porcentaje | | | |
| Urbano | 1,19% | 1,19% | 17,01% |
| Perimetral | 1,90% | 1,90% | 27,17% |
| Carretera | 2,82% | 2,82% | 40,34% |

Nota. En la tabla se visualiza la variación producida en la distancia recorrida en la prueba además de la cantidad de consumo en galones, kilómetros por litro y kilómetros por galón. Con su respectivo porcentaje dependiendo de la ruta realizada.

Tabla 135

Alteración de los valores de las mediciones de consumo del vehículo de ensayo 2.

| Recorrido | Kilómetros recorridos (Km) | Kilómetros por litro (Km/l) | Kilómetros por galón (Km/gal) |
|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Urbano | 0,6 | 0,6 | 2,27 |
| Perimetral | 1,6 | 1,6 | 6,06 |
| Carretera | 1,5 | 1,5 | 5,68 |
| Variación en porcentaje | | | |
| Urbano | 1,46% | 1,46% | 20,96% |
| Perimetral | 2,40% | 2,40% | 34,33% |
| Carretera | 3,51% | 3,51% | 50,29% |

Nota. En la tabla se observa los valores resultantes relacionados a la distancia recorrida en la prueba, la cantidad de consumo en galones, kilómetros por litro y kilómetros por galón. Con el porcentaje en función del recorrido realizado.

Tabla 136

Valores obtenidos en la medición de consumo del vehículo de ensayo 3

| Kilometro recorridos (Km) | Costo del llenado de combustible al finalizar la prueba (\$) | Galones de combustible consumidos (gal) | Litros de combustible consumidos (l) | Kilómetros por galón (Km/gal) | Kilómetros por litro (Km/l) |
|----------------------------------|---|--|---|--------------------------------------|------------------------------------|
| 98,88 | 4,00 | 2,105 | 7,968 | 46,968 | 12,409 |
| Variación en porcentaje | | | | | |
| 1,29% | 4,75% | 4,75% | 4,75% | 5,98% | 5,98% |

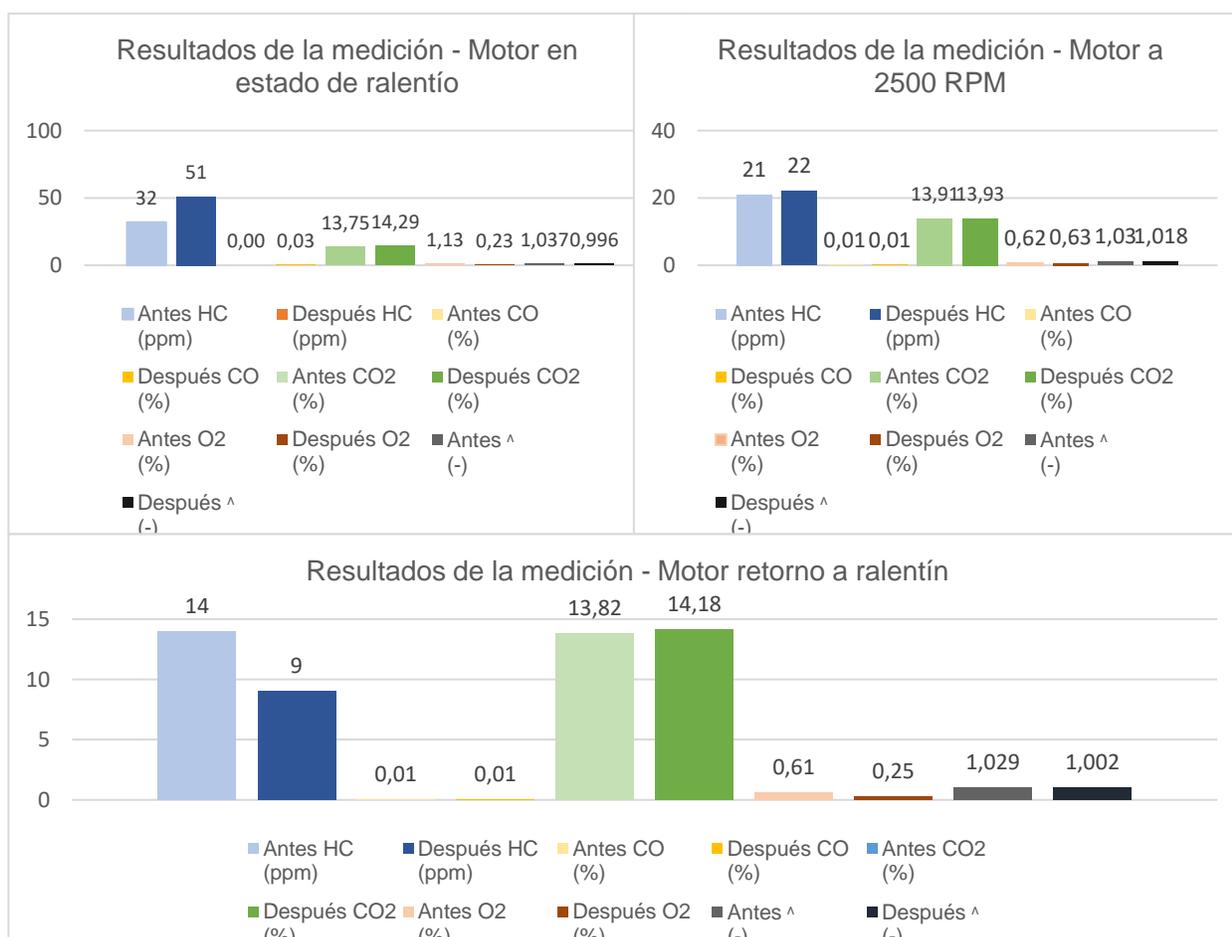
Nota. En la tabla se visualiza la variación de los valores en el recorrida en la prueba además de la cantidad de costo de combustible, consumo en galones y litros, kilómetros por litro y kilómetros por galón.

Gráfica

Valores resultantes en la ejecución de las pruebas de emisiones contaminantes, en los vehículos de ensayo en el proceso de desarrollo de la investigación.

Figura 56

Gráfica de los valores de la prueba realizada en el vehículo de ensayo 1

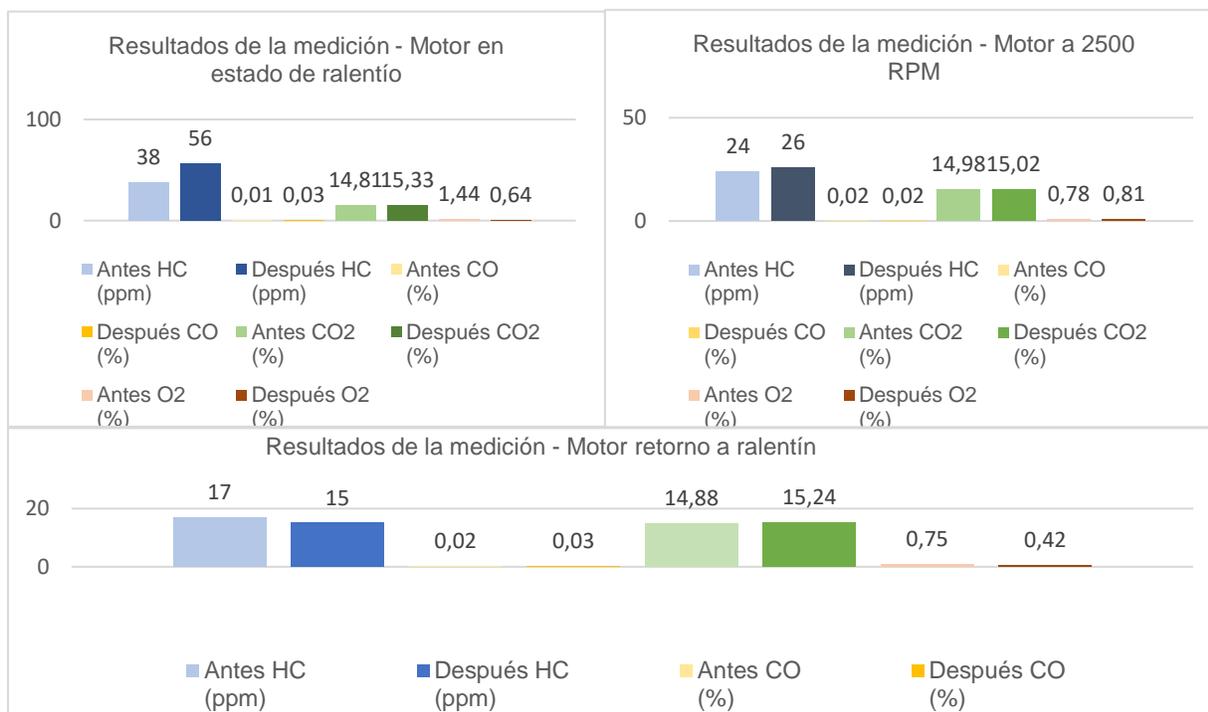


Nota. En la figura se observa los distintos regímenes en los que se realizaron las pruebas y los respectivos valores medidos.

Datos vehículo de ensayo 2.

Figura 57

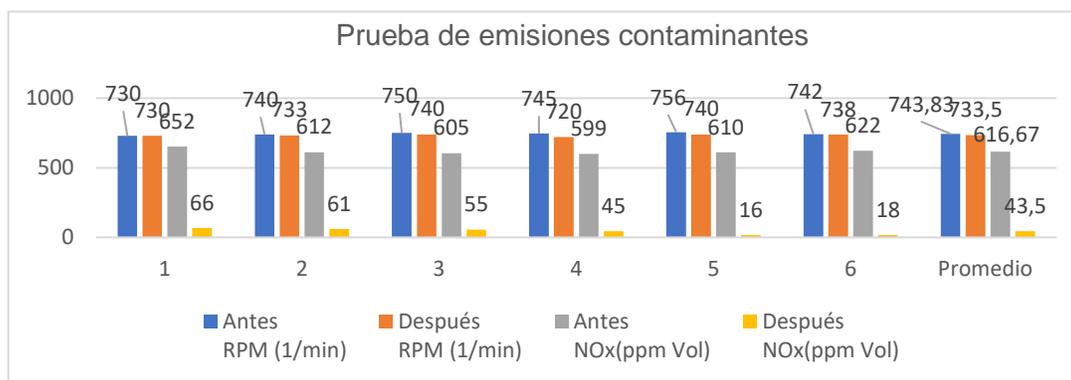
Gráfica de resultado en el proceso de medición de gases contaminantes



Nota. En la figura se observa los valores resultantes de las distintas emisiones contaminantes encontradas en el proceso del desarrollo de la investigación.

Figura 58

Gráfica de emisiones contaminantes del vehículo de ensayo 3

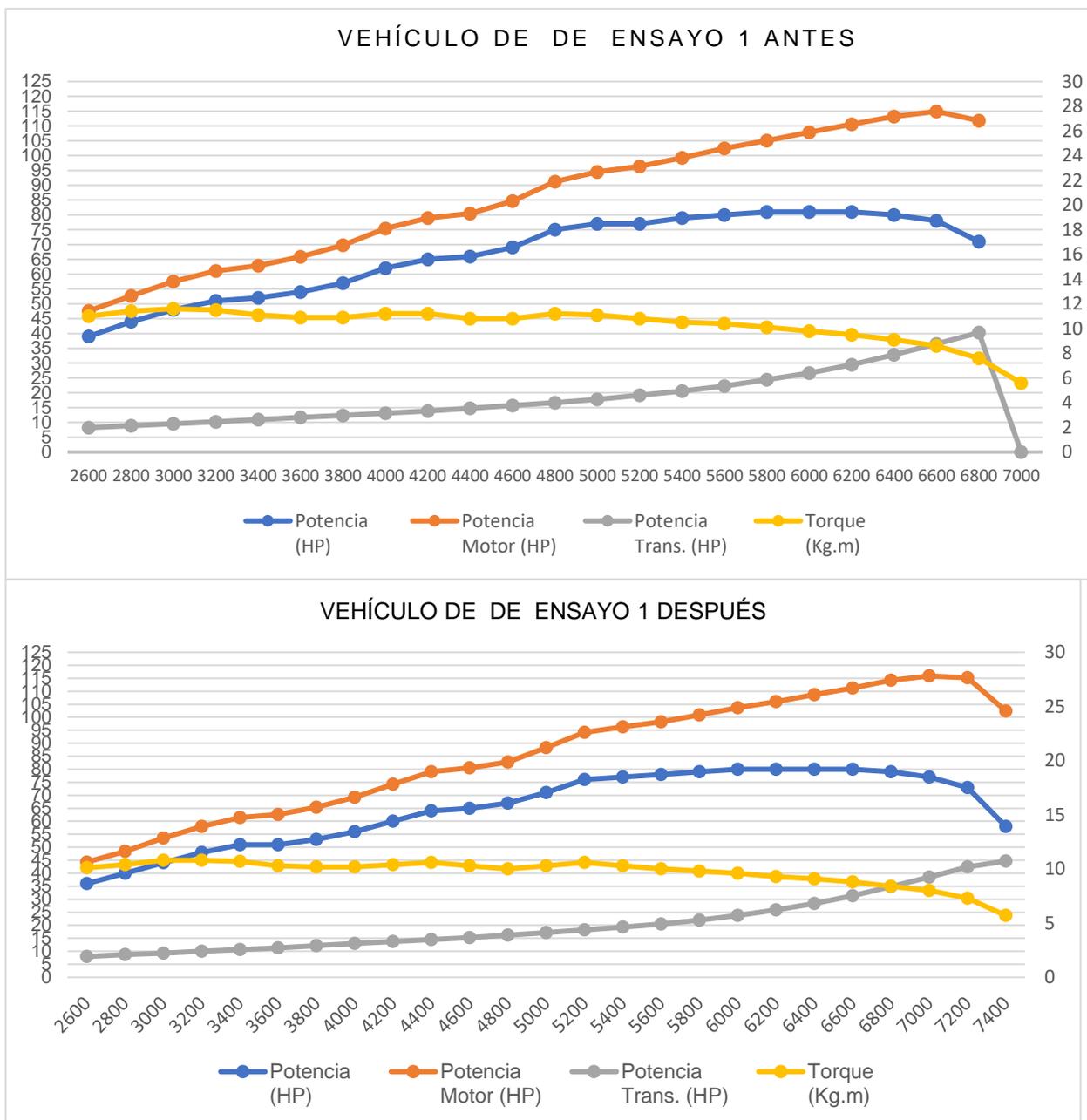


Nota. En la figura se observa los resultados de las emisiones de NOx con sus respectivas RPM.

Gráficas referentes al proceso del ensayo de Torque – Potencia en la realización de la investigación.

Figura 59

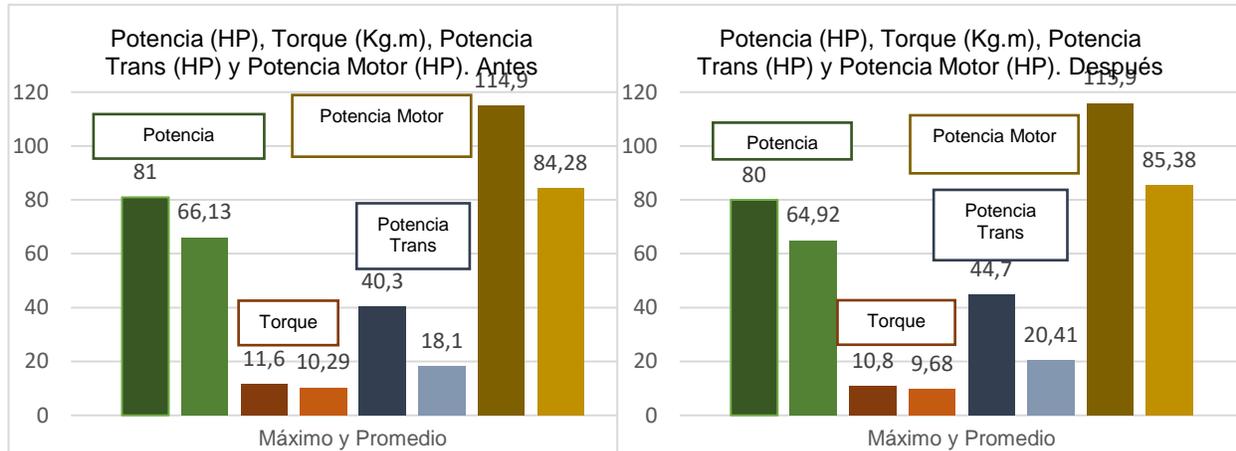
Gráficas obtenidas en el ensayo del vehículo de ensayo 1



Nota. En la figura se observa los resultados de la comparativa del antes y después del proceso de decarbonización respectivamente.

Figura 60

Gráfica valores máximos y promedio del ensayo

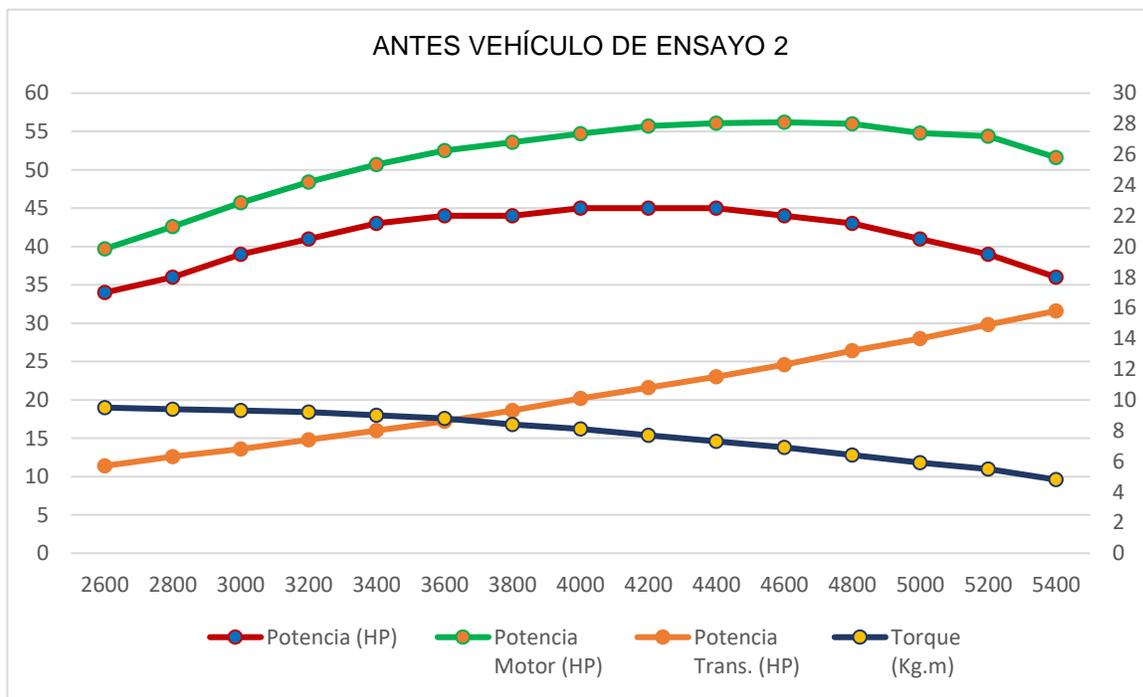


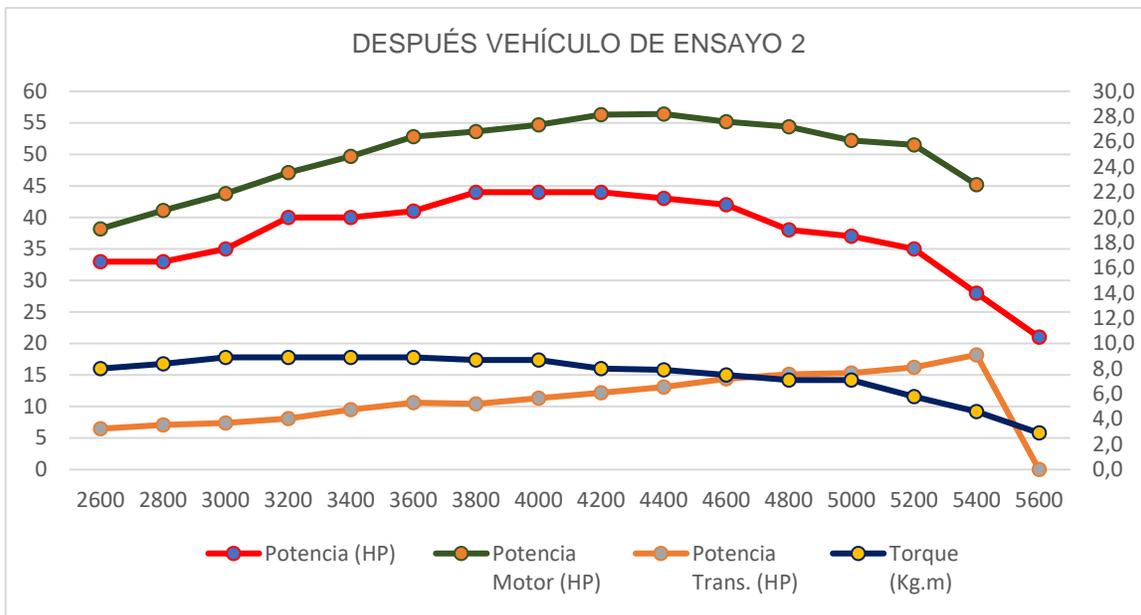
Nota. En la figura se observa los valores obtenidos en la ejecución del proceso de descarbonización.

Referencias obtenidas del vehículo de ensayo 2.

Figura 61

Gráficas de valores en el proceso de ensayo

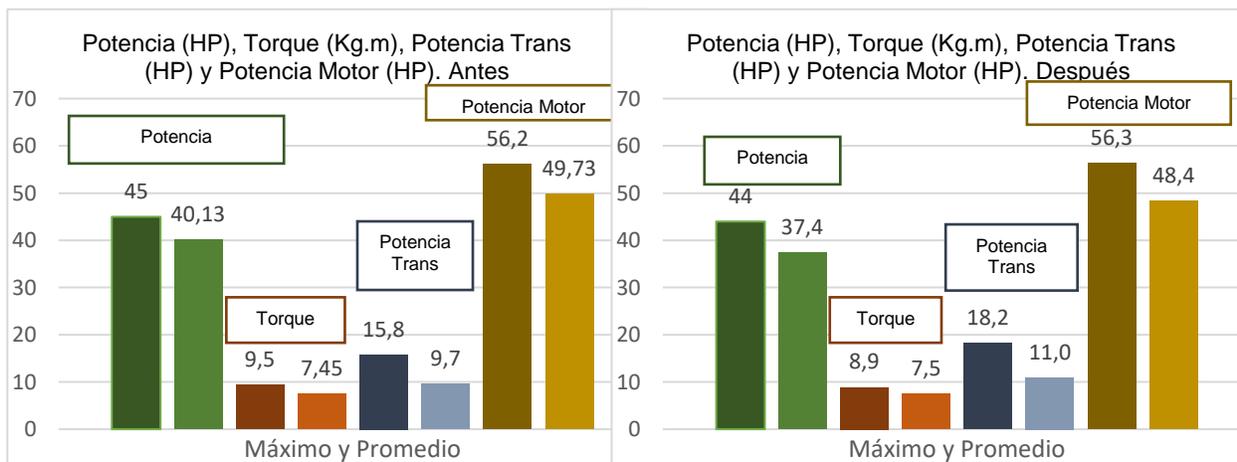




Nota. En la figura se observa las curvas características proporcionadas en el proceso del ensayo.

Figura 62

Gráfica de resultados de las curvas características

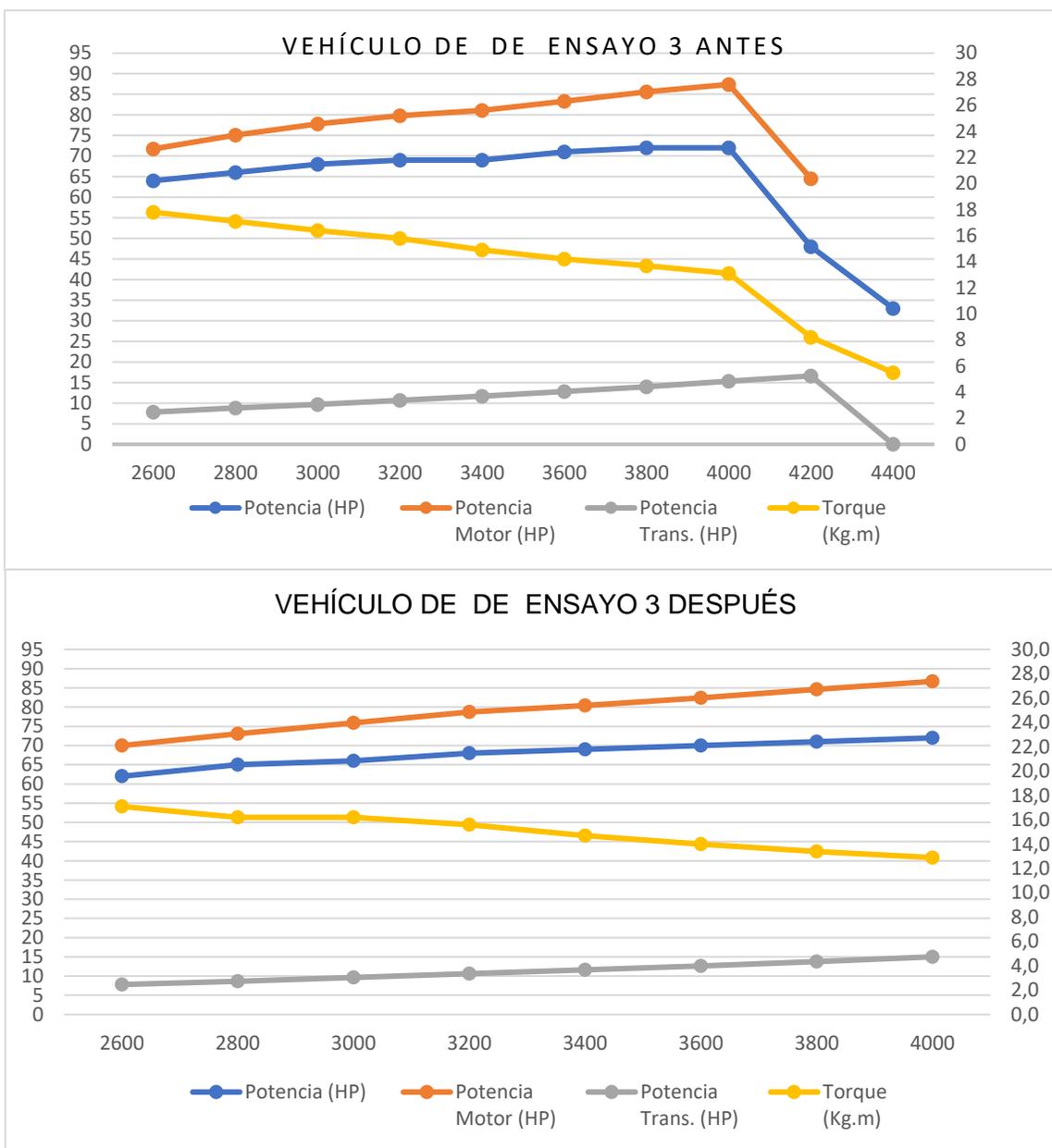


Nota. En la figura se observa los resultados de la comparación en el proceso de la aplicación del método no invasivo.

Antecedente de los valores del resultado del vehículo de ensayo 3.

Figura 63

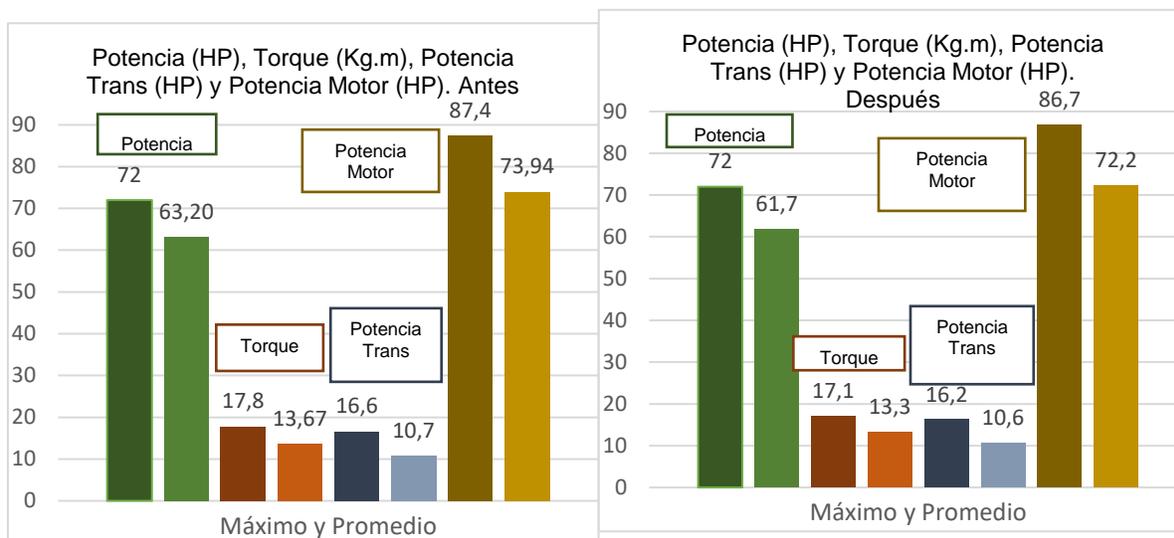
Gráfica curvas características registradas en el proceso de la realización del ensayo



Nota. En la figura se observa los valores de las mediciones del ensayo realizado con sus respectivos regímenes de giro.

Figura 64

Valores obtenidos en los parámetros del ensayo

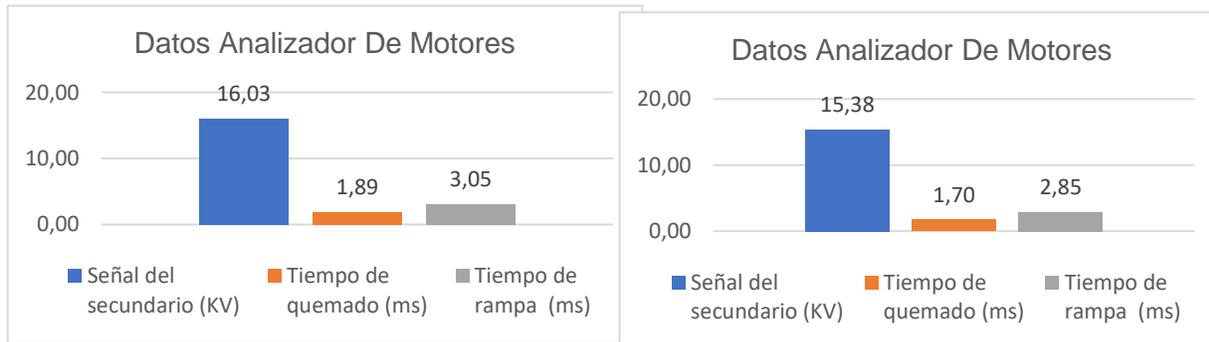


Nota. En la figura se observa los valores del antes y después respectivamente del proceso de descarbonización de las distintas potencias y torque obtenidas con el dinamómetro de rodillos.

Resultados de investigación de las mediciones obtenidas con la utilización del analizador de motores.

Figura 65

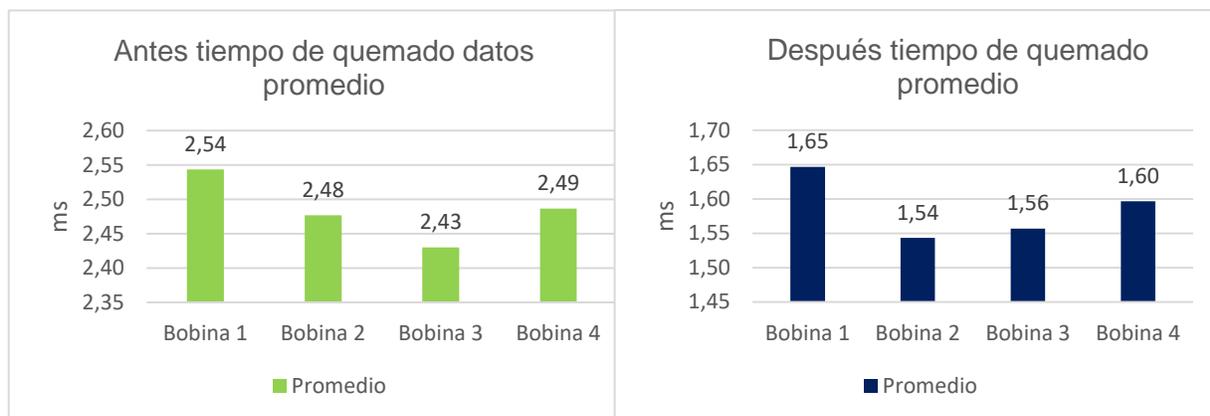
Gráfica de los datos obtenidos en el proceso de medición del vehículo de ensayo 1



Nota. En la figura izquierda se visualizan los valores de pre y a la derecha del post tratamiento.

Figura 66

Gráfica obtenidas en el vehículo de ensayo 2

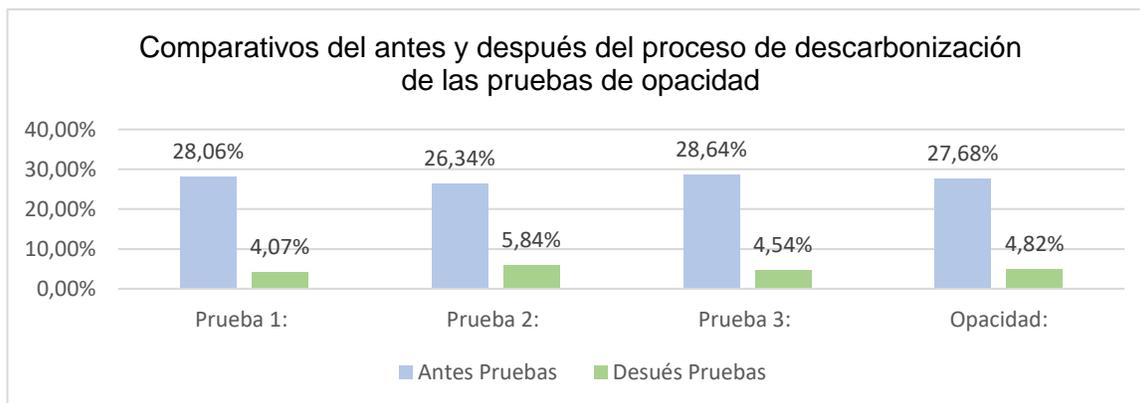


Nota. En la figura se pueden observar los valores obtenidos antes y después de emplear el método no invasivo respectivamente.

Datos prueba de opacidad del vehículo de ensayo 3.

Figura 67

Gráfica obtenidas en el vehículo

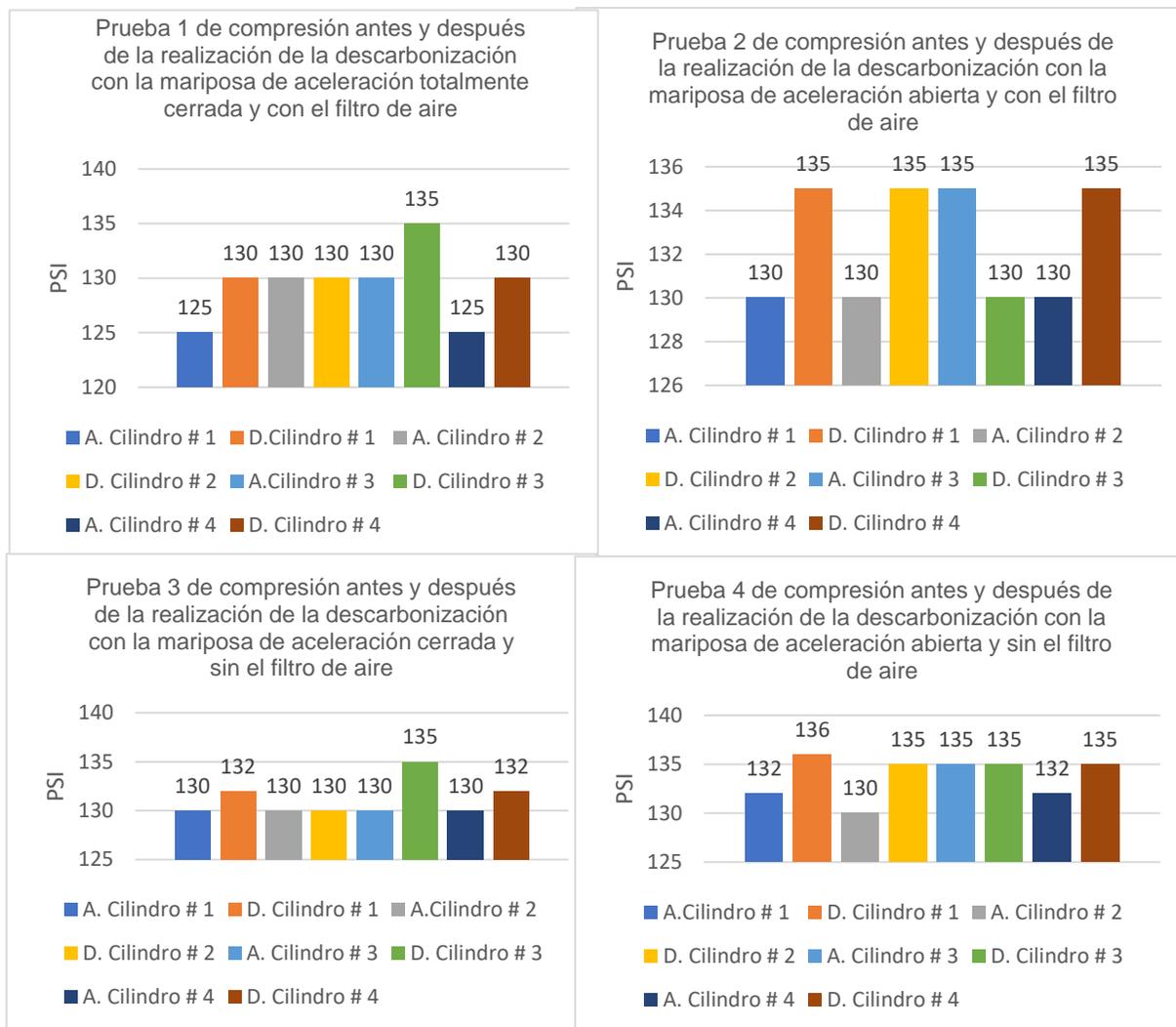


Nota. En la figura se pueden observar los valores de la comparación del estado del vehículo sin y con la aplicación del método no invasivo.

Gráficas obtenidas de las pruebas realizadas en los vehículos de ensayo en base a las pruebas de la medición de la compresión.

Figura 68

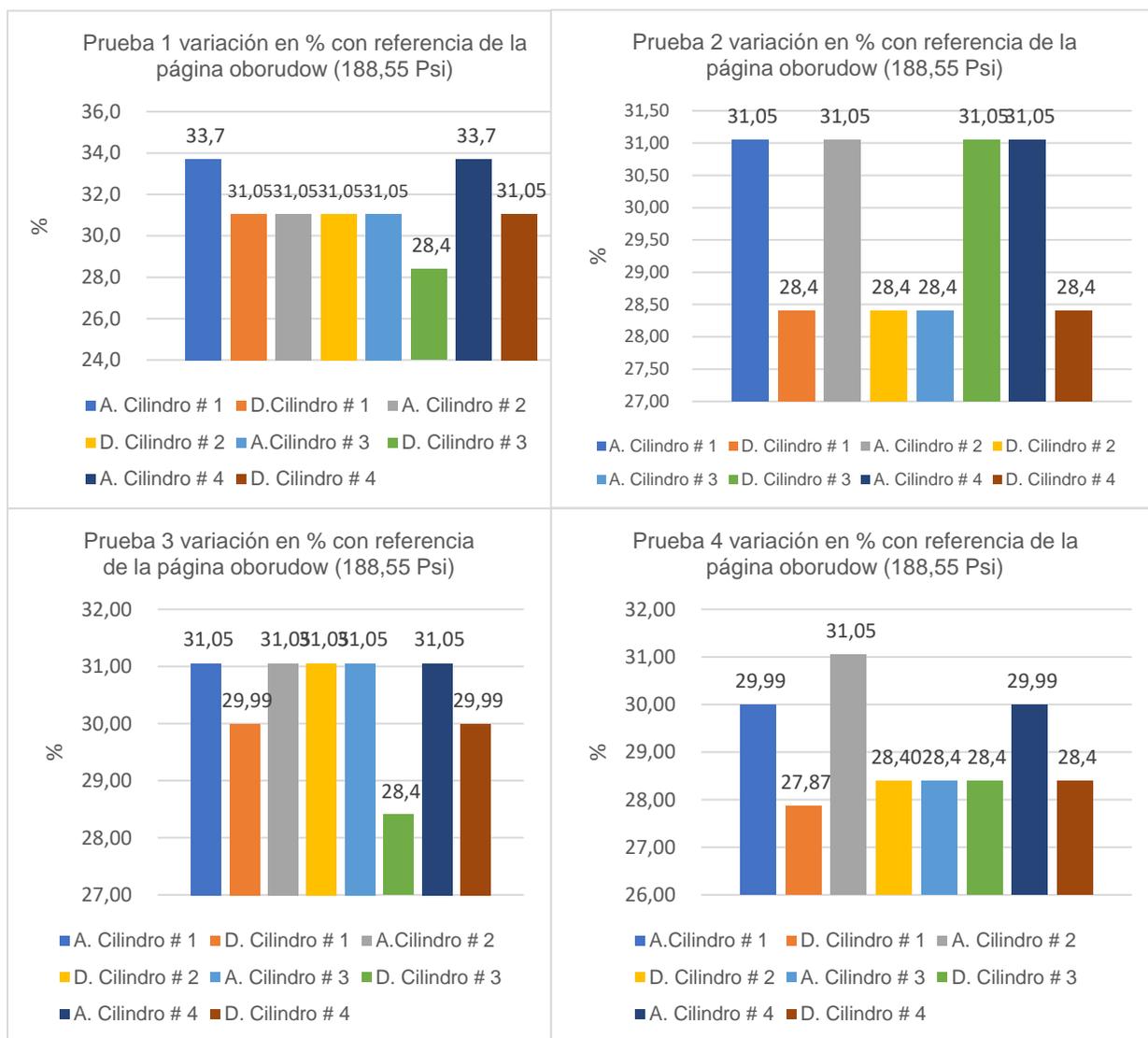
Gráfica de datos obtenidos en la medición de la compresión en el vehículo de ensayo 1



Nota. En la figura se observa los valores obtenidos en PSI en la realización de la prueba empleando los diferentes parámetros de medición en los cilindros.

Figura 69

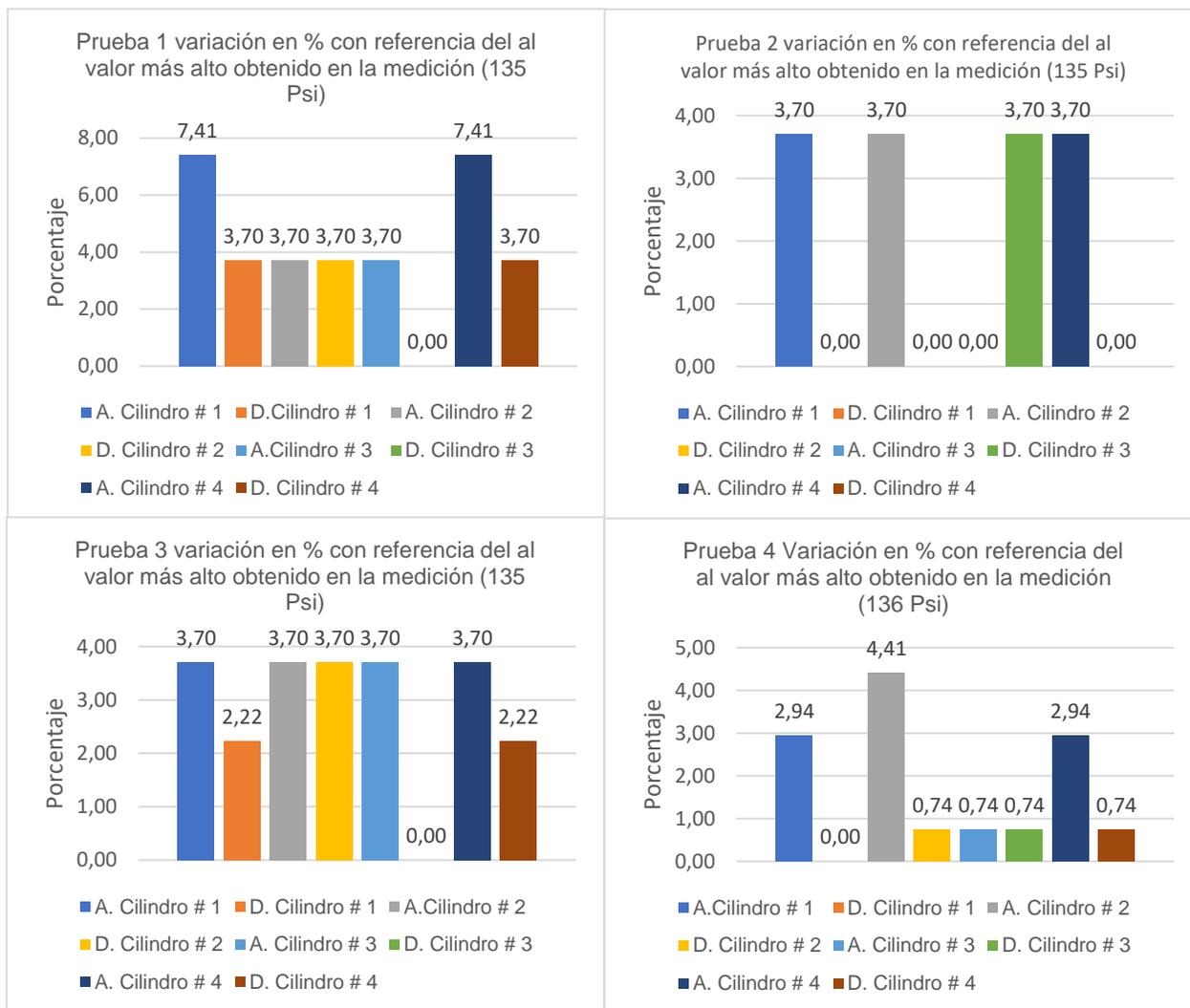
Gráfica del porcentaje considerando el valor de (185,55 Psi).



Nota. En la figura se muestra la variación del dato dado por aborudos con el valor medido de la compresión de los diferentes cilindros.

Figura 70

Gráfica de los porcentajes de las medidas obtenidas en comparación con el valor más alto de prueba

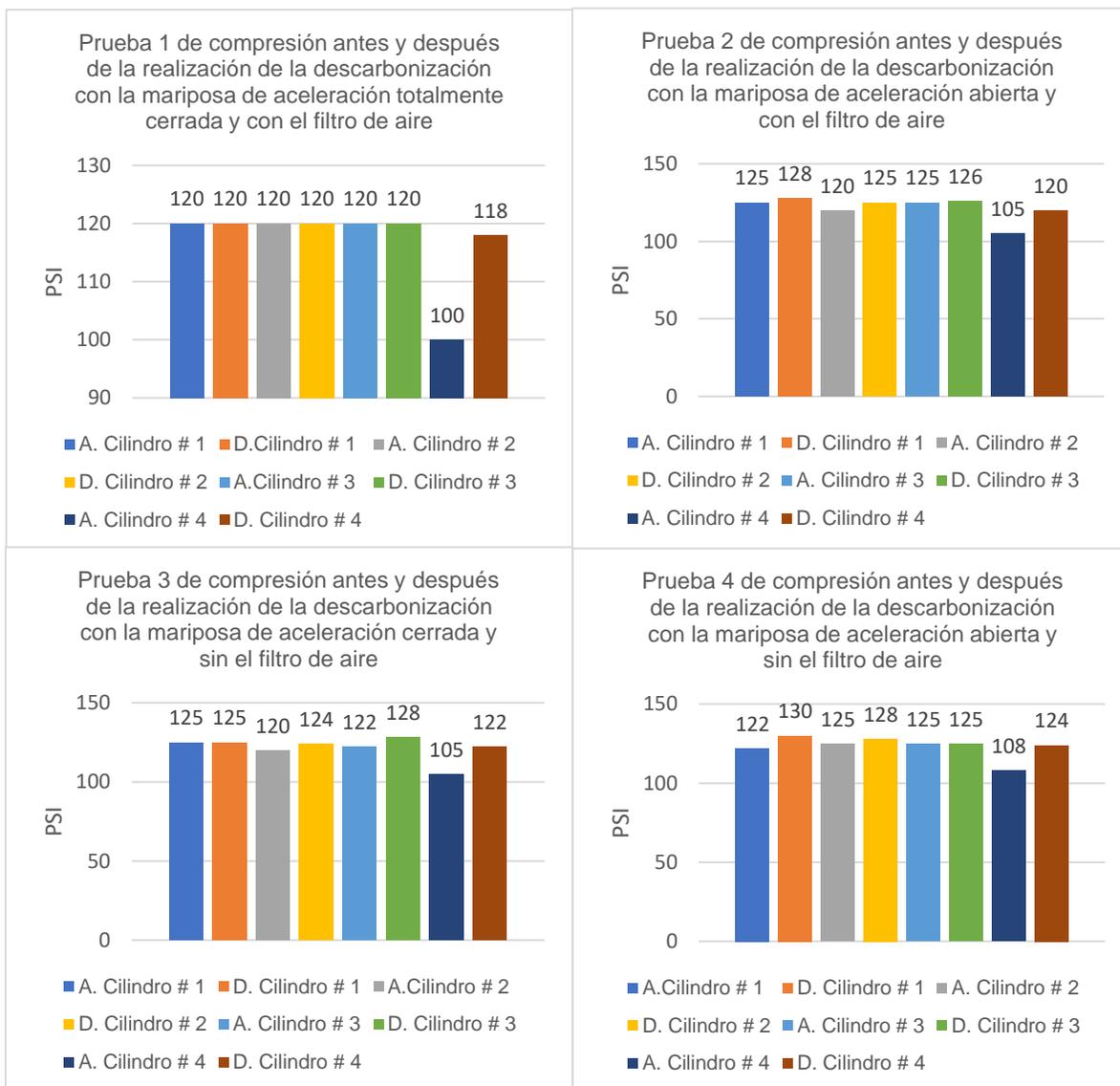


Nota. En la figura se observa la variación expresada en porcentaje del valor más elevado obtenido en el proceso de medida.

Representación gráfica de los valores obtenidos, del vehículo de ensayo 2 de la prueba realizada.

Figura 71

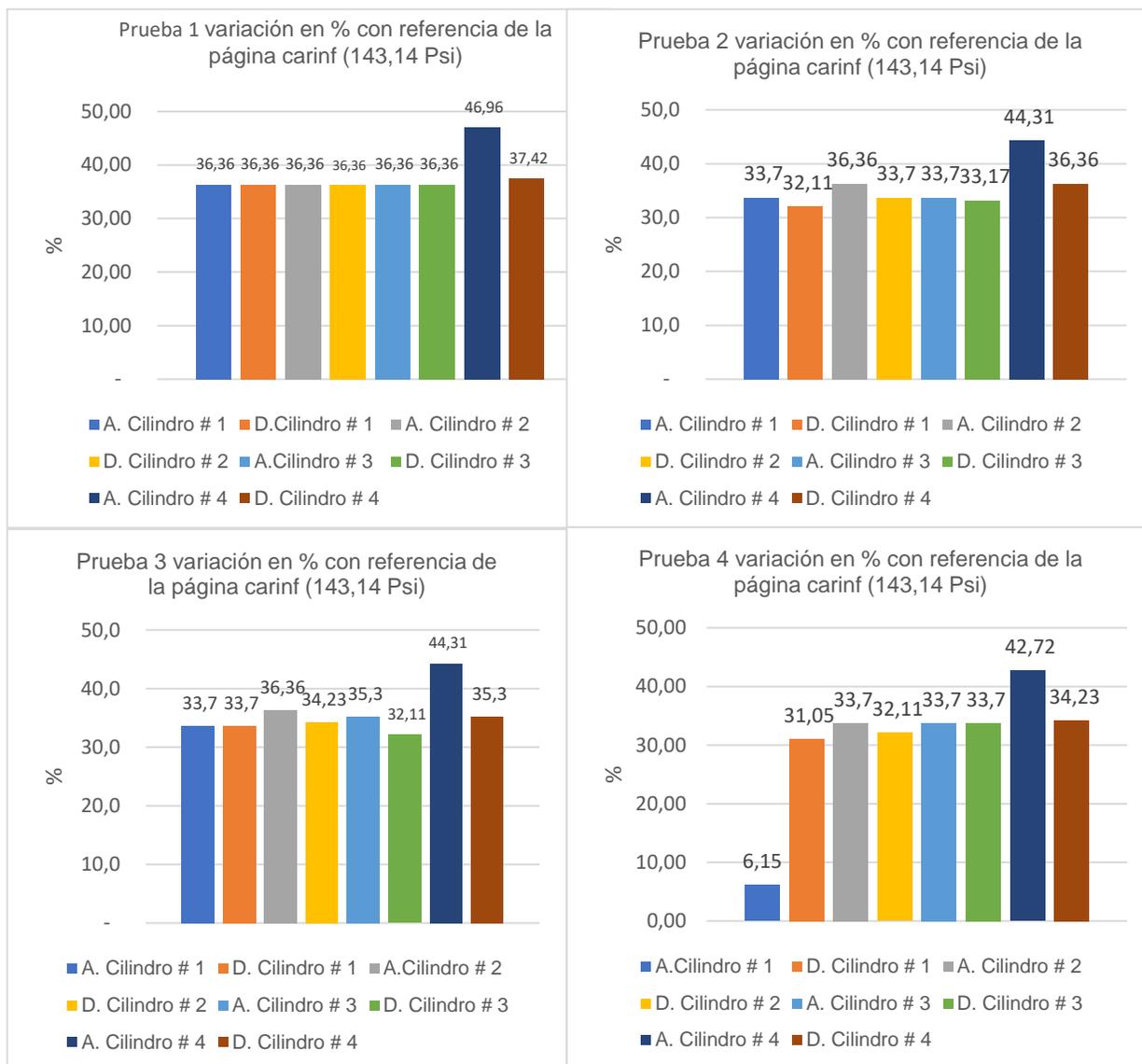
Gráfica del estado del vehículo antes y después del proceso de descarbonización



Nota. En la figura se observa los datos obtenidos en el proceso de la prueba dados en PSI.

Figura 72

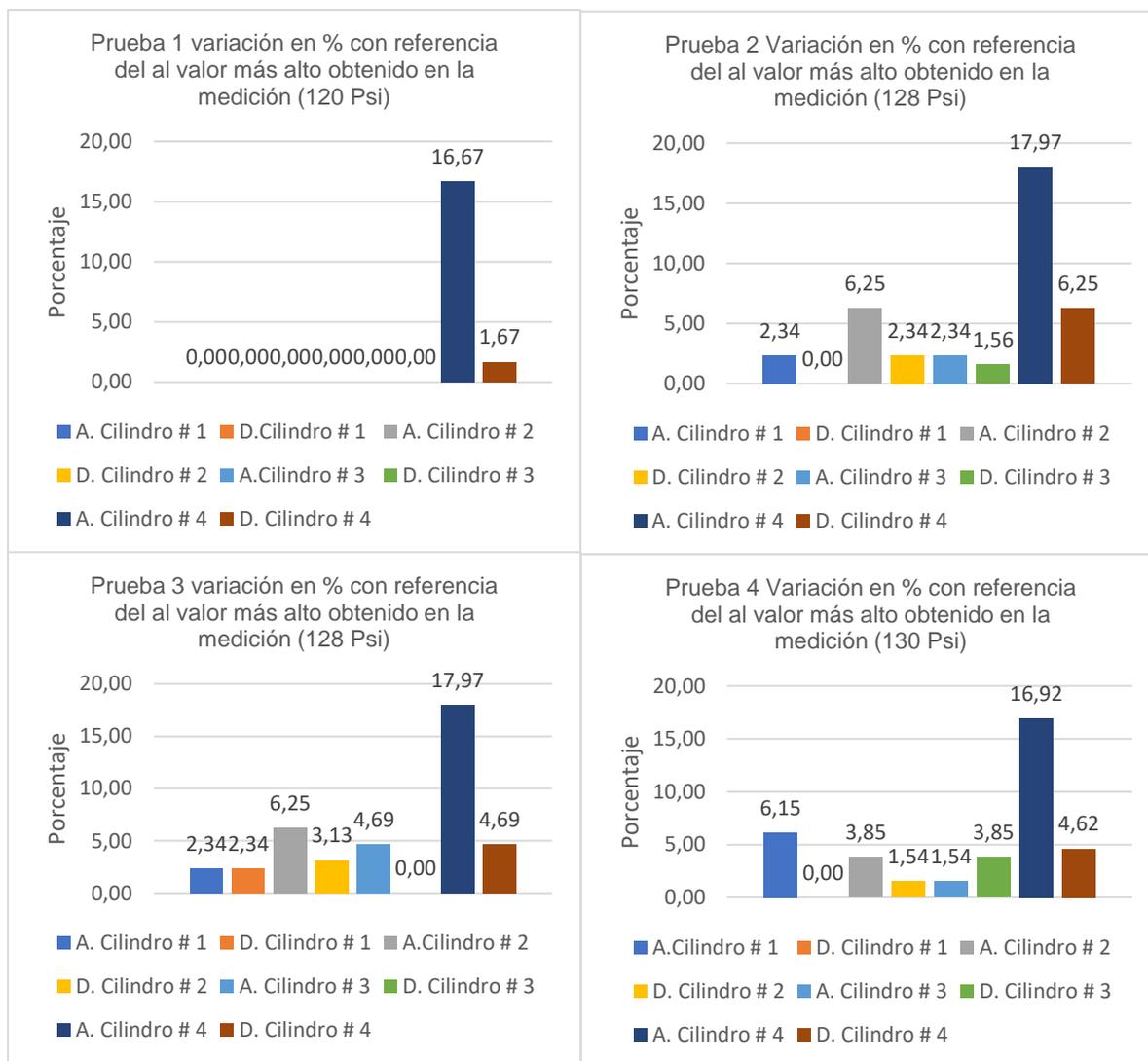
Gráfica de los valores referentes a 143,14 Psi



Nota. En la figura se muestra la variación expresada en porcentaje del valor dado por carinf en los cilindros del vehículo de prueba.

Figura 73

Gráfica de la variación de % considerando el valor más alto de la medición

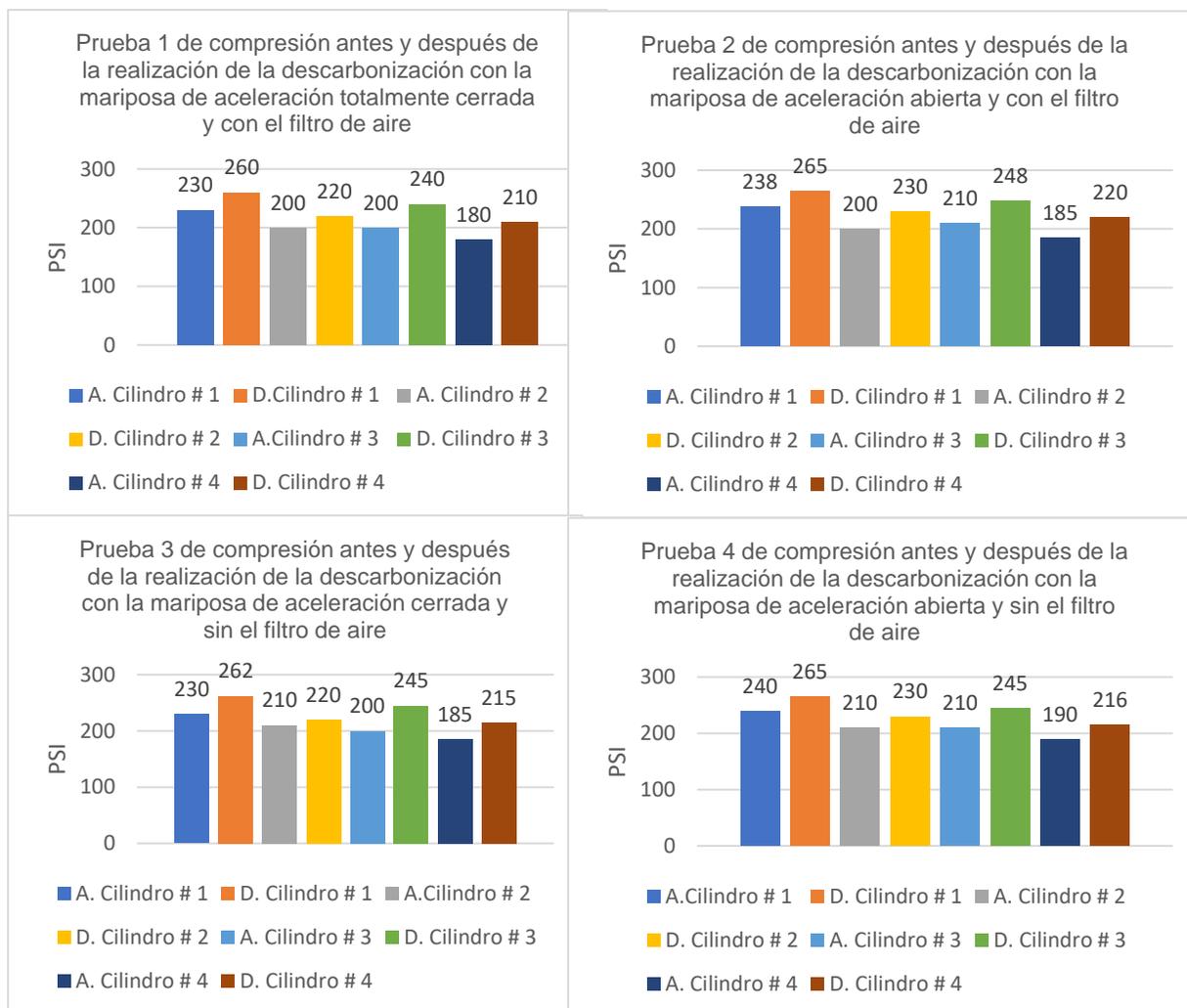


Nota. En la figura se observa la variación expresada en porcentaje del valor más elevado obtenido en el proceso de medición considerando sus cuatro parámetros.

Comparación de los valores resultantes del vehículo de ensayo 3 en el proceso de desarrollo de la investigación.

Figura 74

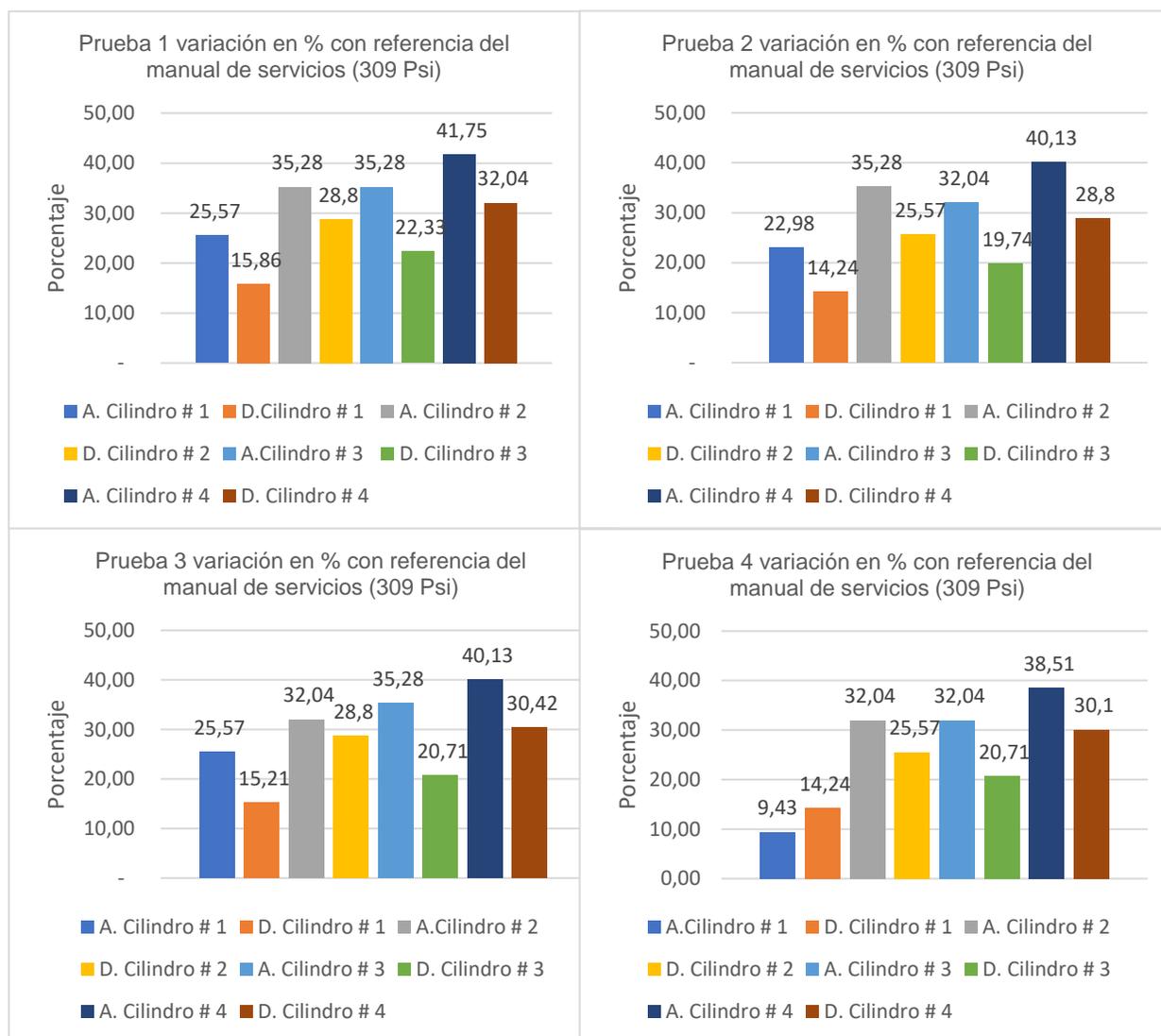
Resultado en la medición en los distintos cilindros del vehículo



Nota. En la figura se muestra los valores referentes a las mediciones en PSI obtenidos en la investigación.

Figura 75

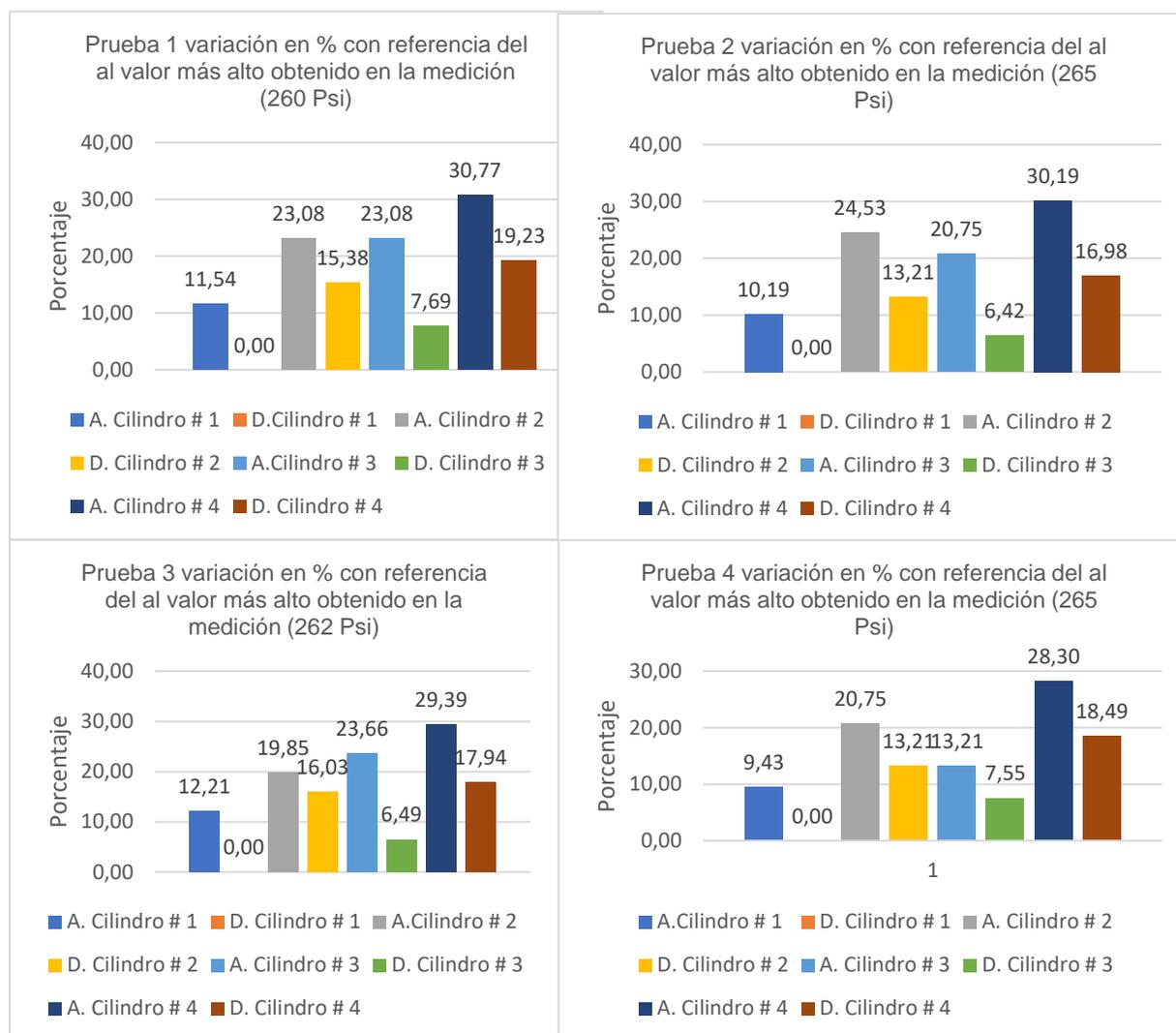
Gráfica del porcentaje obtenido de 309 PSI dato dado por el manual de servicios del motor



Nota. En la figura se muestra la variación expresada en porcentaje de los cilindros del vehículo con el parámetro obtenido.

Figura 76

Gráfica de la variación de % considerando el valor más alto de la medición

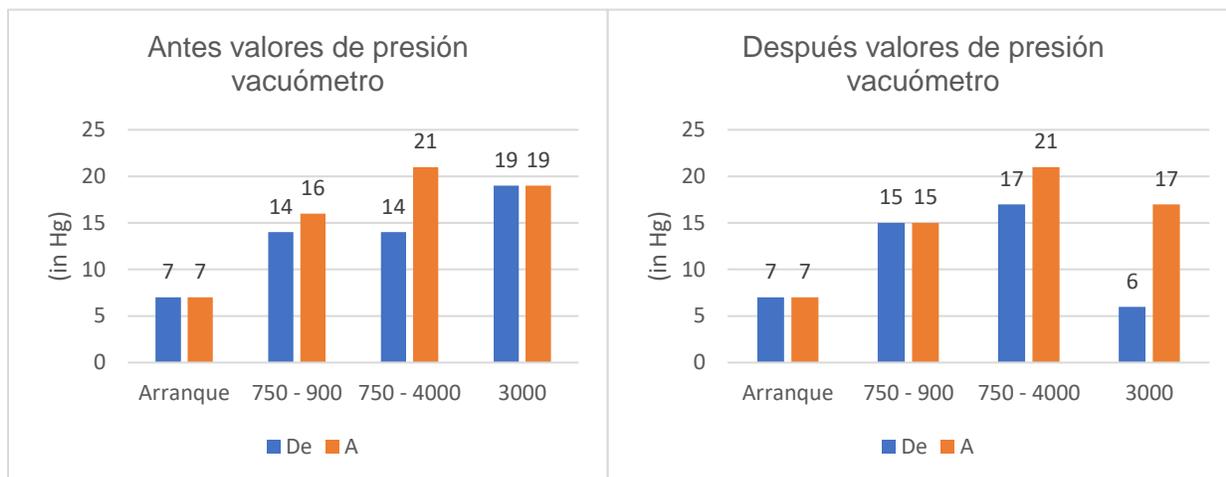


Nota. En la figura se observa la variación expresada en porcentaje del valor más elevado obtenido en el proceso de medición.

Datos obtenidos en la realización de la prueba de vacío, comparando los estados previos y posteriores a la realización del tratamiento en los vehículos de ensayo.

Figura 77

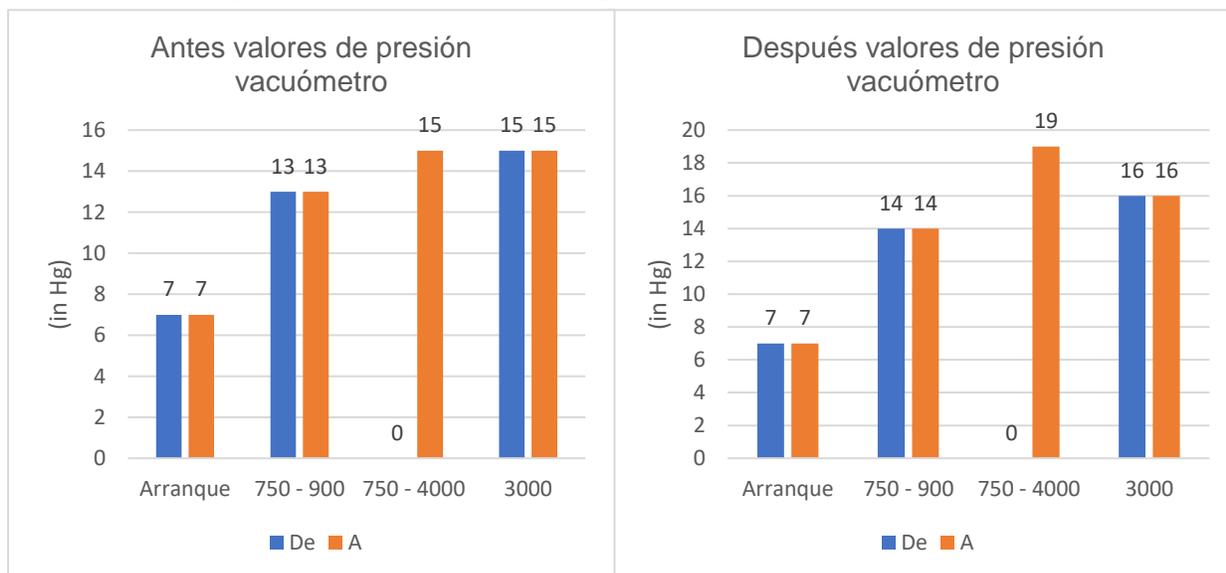
Gráfica de los valores del vehículo de ensayo 1



Nota. En la figura se observa la variación de la pluma del vacuómetro al momento de realizar las mediciones.

Figura 78

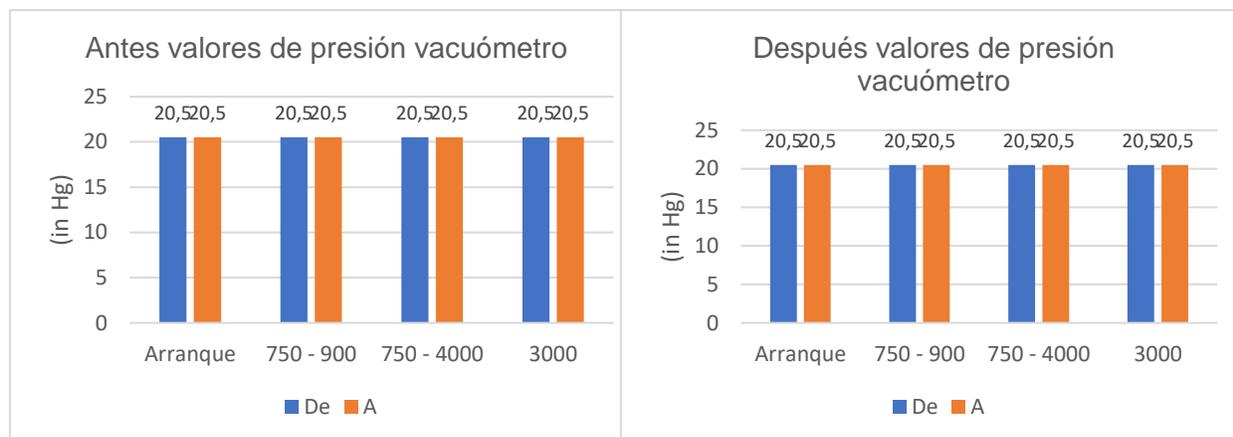
Resultados de la prueba del vehículo de ensayo 2



Nota. En la figura se observa los valores medidos en el vacuómetro en la variación de la pluma.

Figura 79

Valores del vehículo de ensayo 3

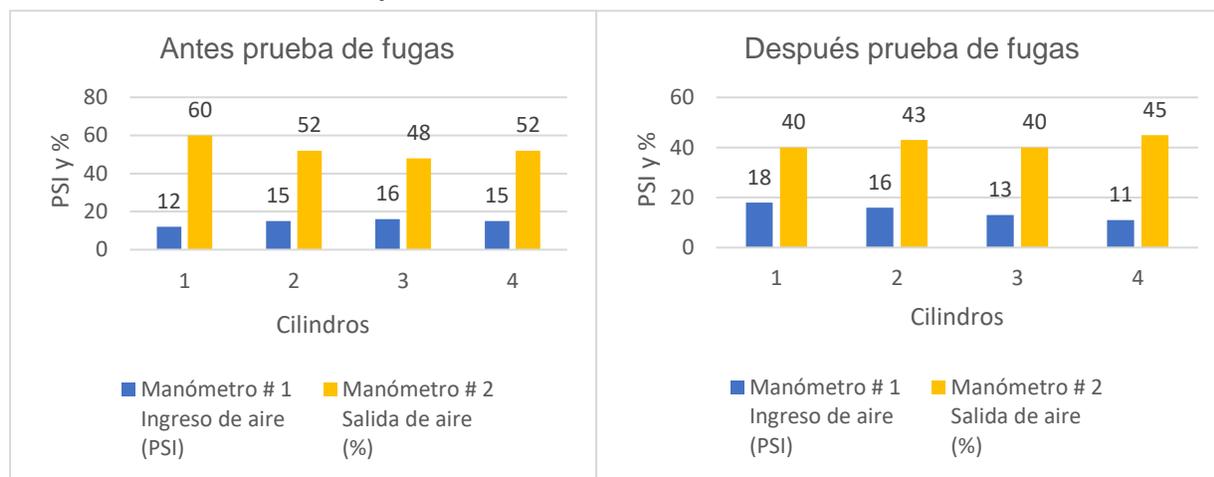


Nota. En la figura se observa los resultados del vacuómetro en la ejecución de la prueba.

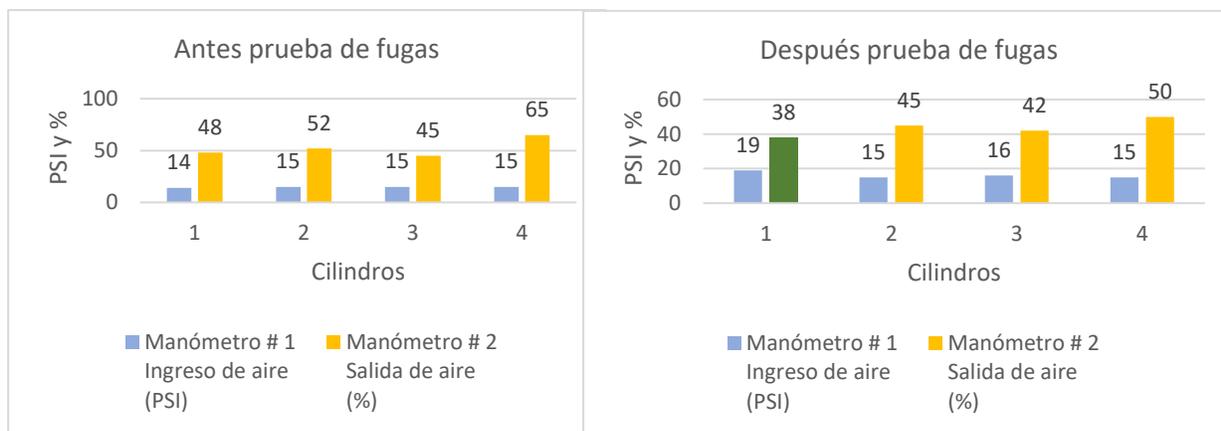
Resultados de las mediciones de las pruebas de fugas de los vehículos de ensayo.

Figura 80

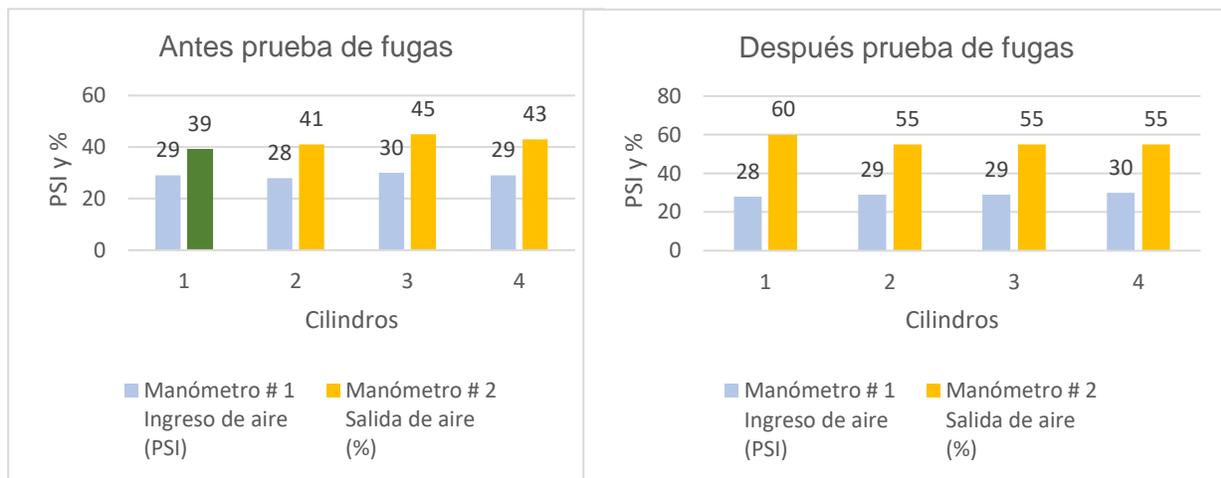
Gráfica del vehículo de ensayo 1



Nota. En la figura se visualiza los valores de presión suministrada en el manómetro de ingreso y el porcentaje del valor de la salida del aire.

Figura 81*Datos del vehículo de ensayo 2*

Nota. En la figura se visualiza los valores de presión de ingreso expresado en las barras de color celeste y el porcentaje de salida del aire del color observado en el manómetro.

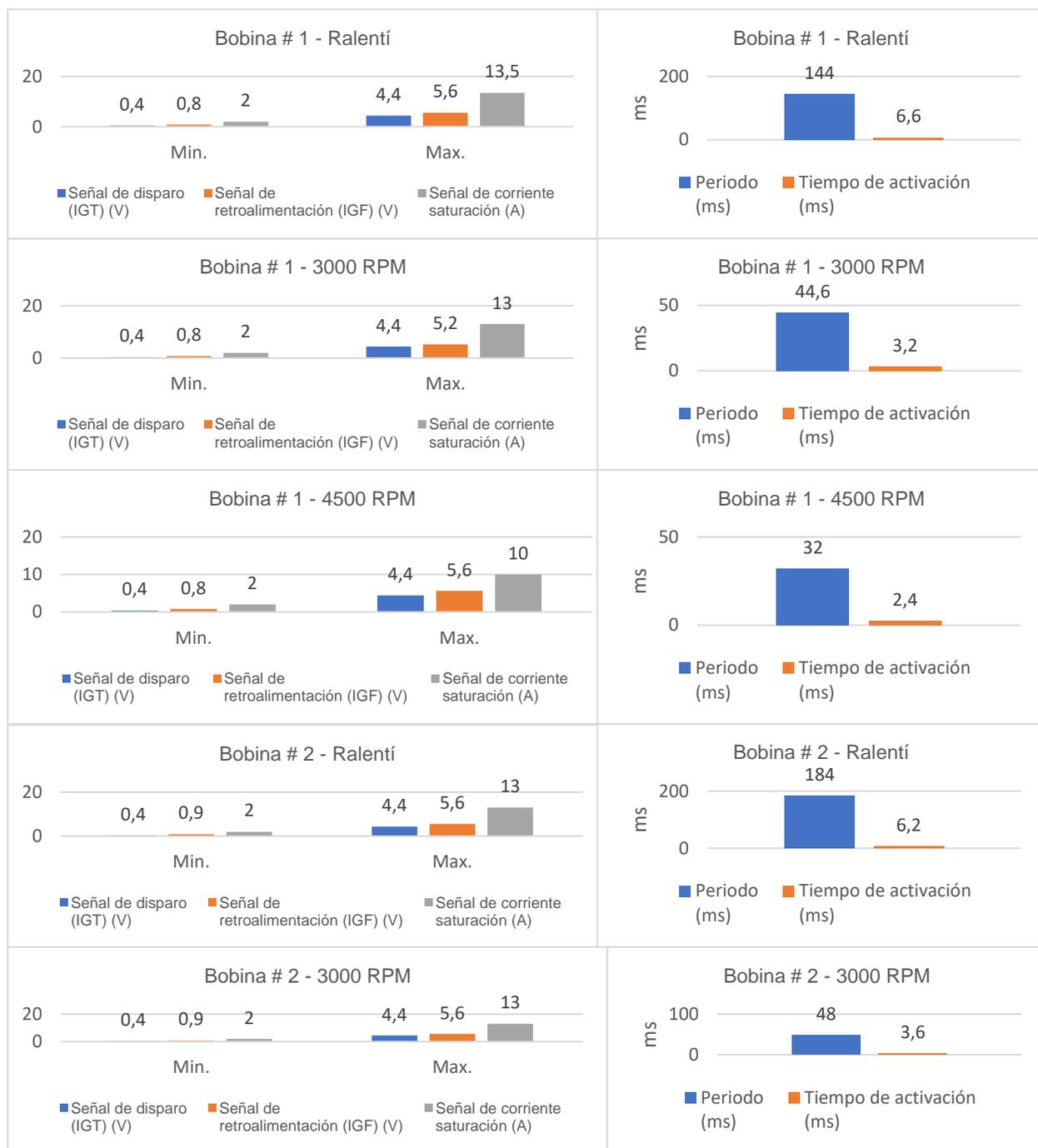
Figura 82*Resultados del análisis del vehículo de ensayo 3*

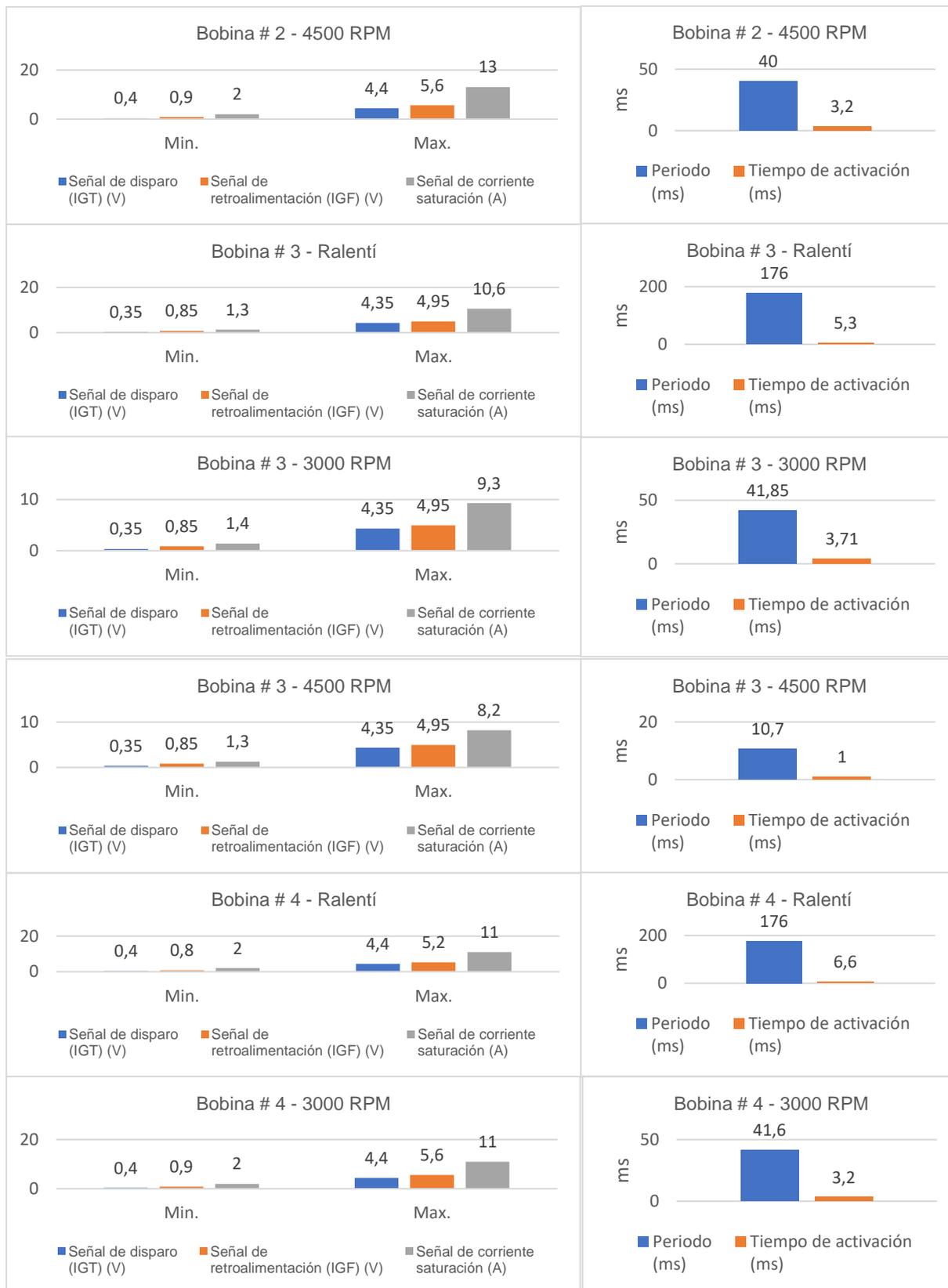
Nota. En la figura se observa los valores anotados en el proceso de realización de la prueba.

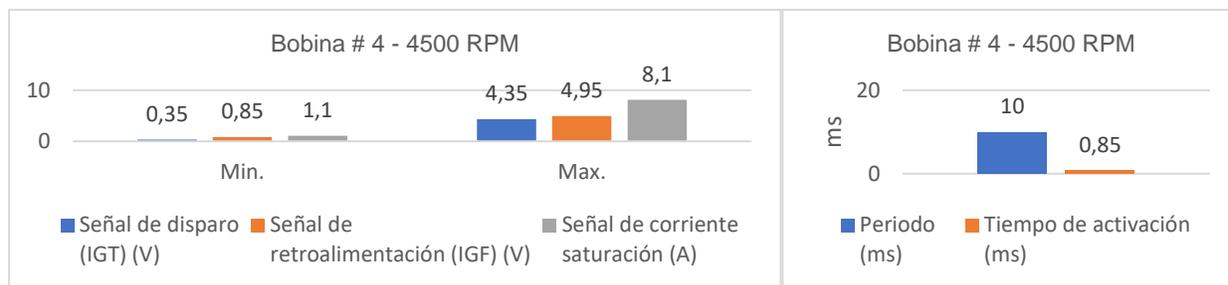
Valores obtenidos en las mediciones de los oscilogramas realizados a los vehículos de ensayo 1 y 2.

Figura 83

Gráficas de datos vehículo de ensayo 1



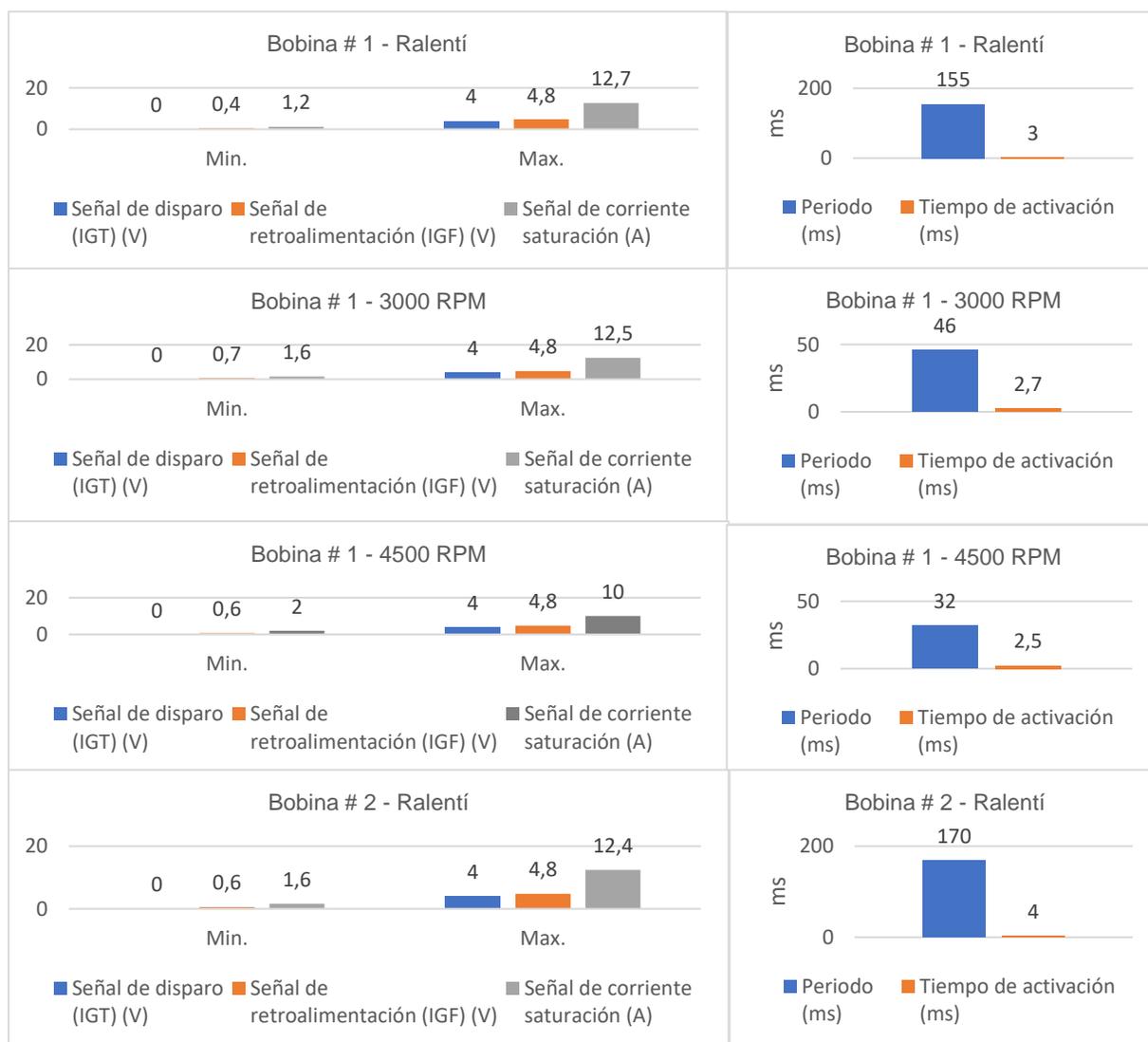


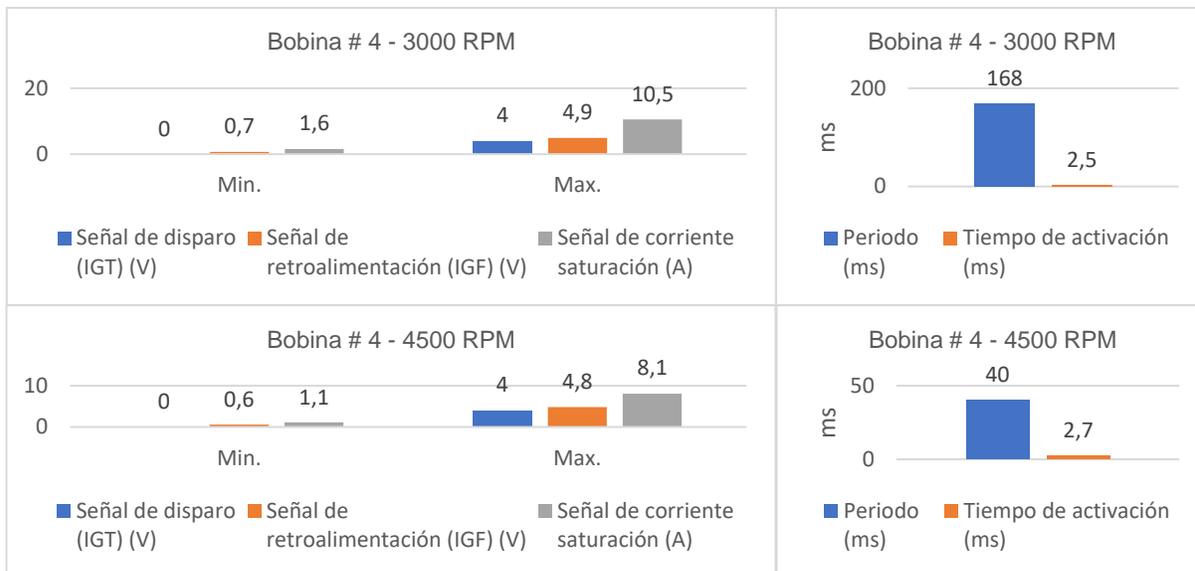


Nota. En las figuras se puede observar las distintas señales, el periodo y el tiempo de activación antes de la realización del proceso de descarbonización.

Figura 84

Valores obtenidos del vehículo de ensayo 1

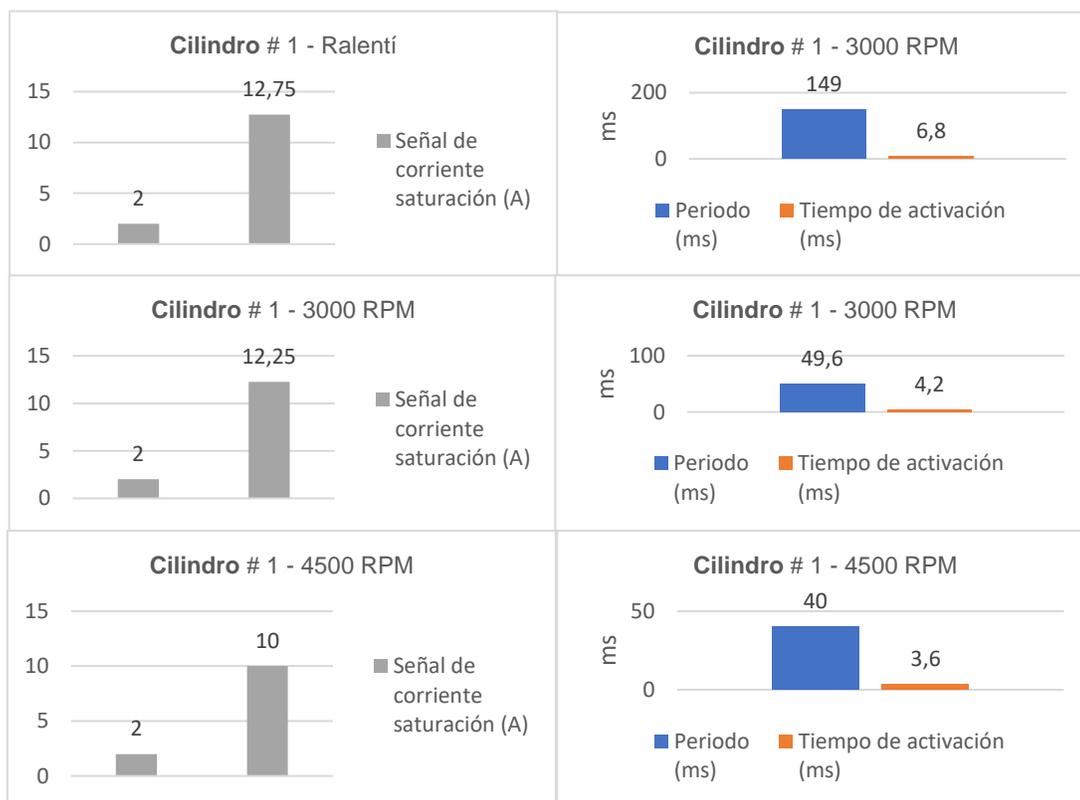


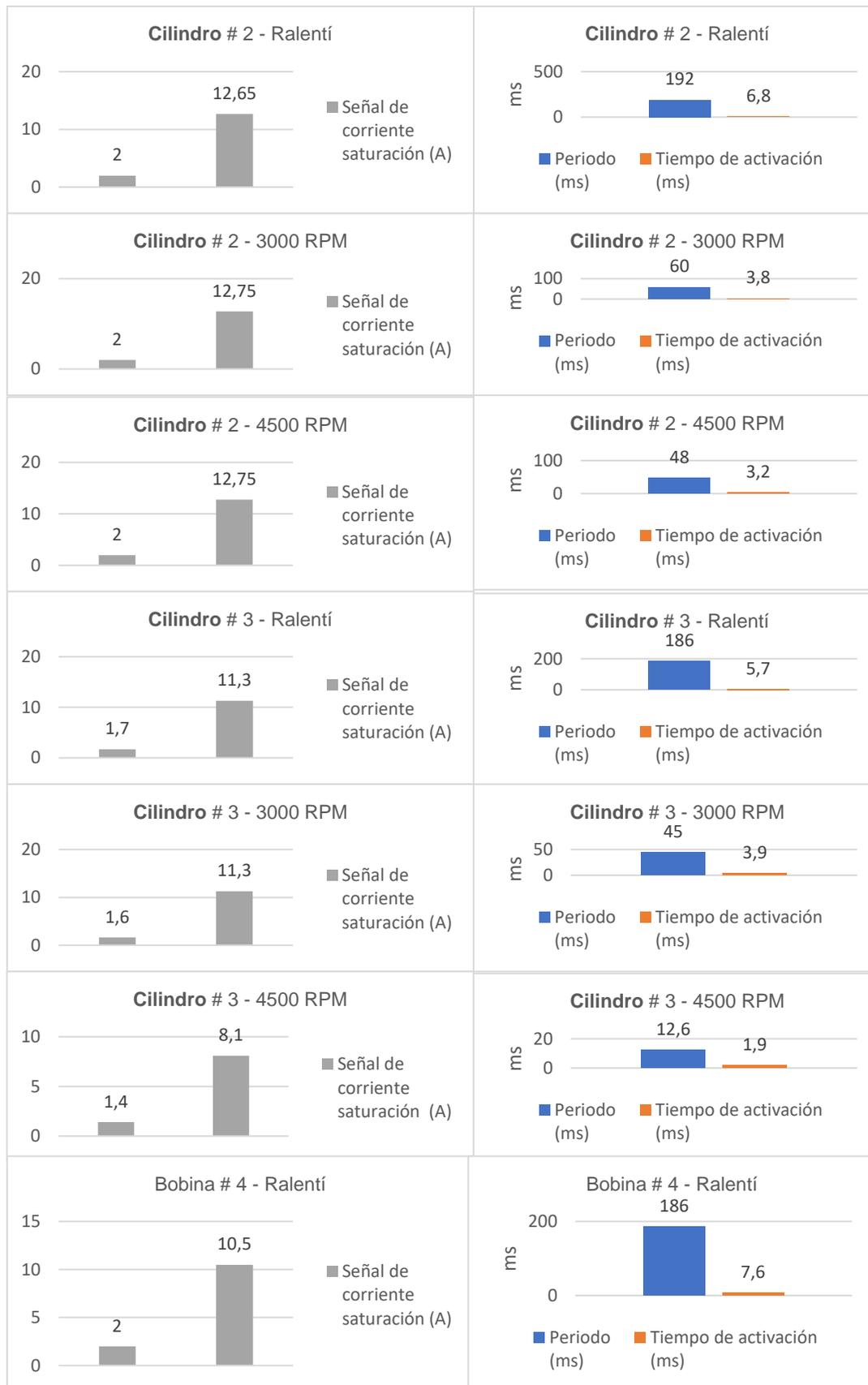


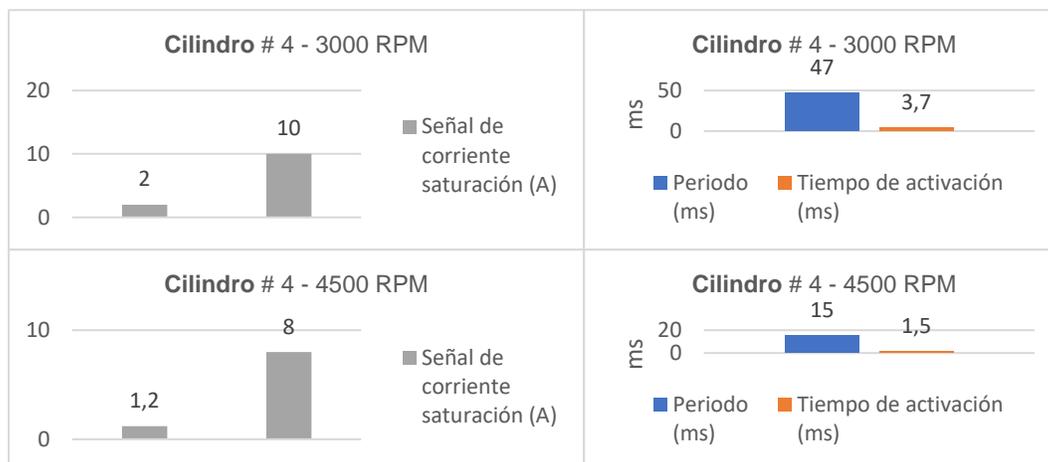
Nota. En las figuras se observa los parámetros obtenidos después del proceso de descarbonización.

Figura 85

Gráfica obtenidas en el vehículo de ensayo 2



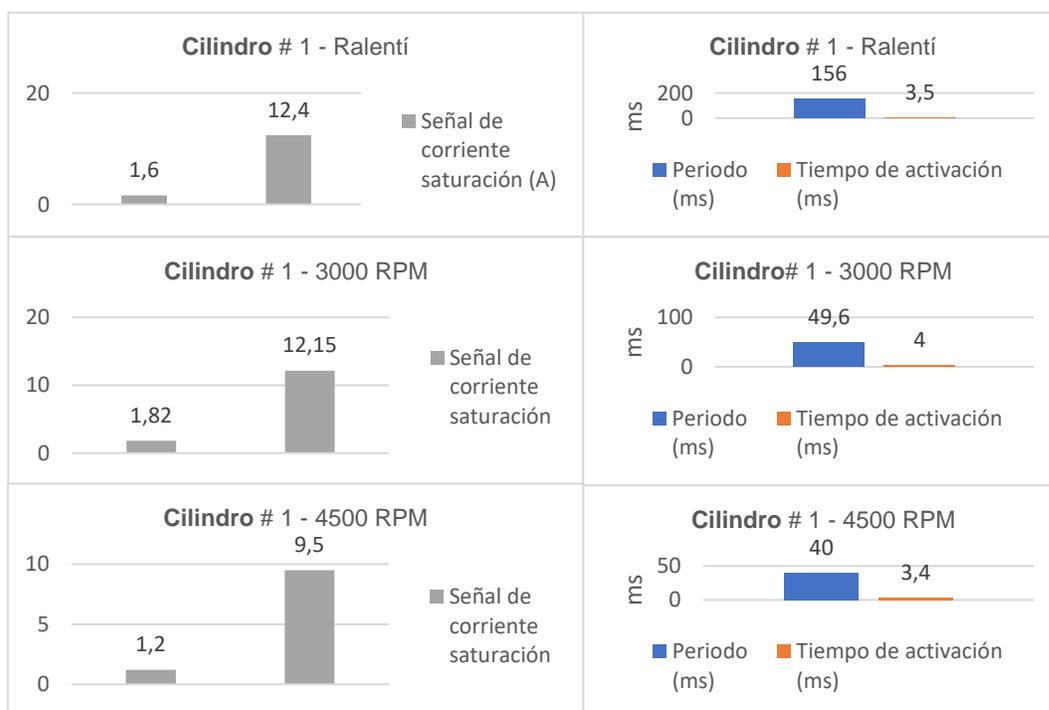


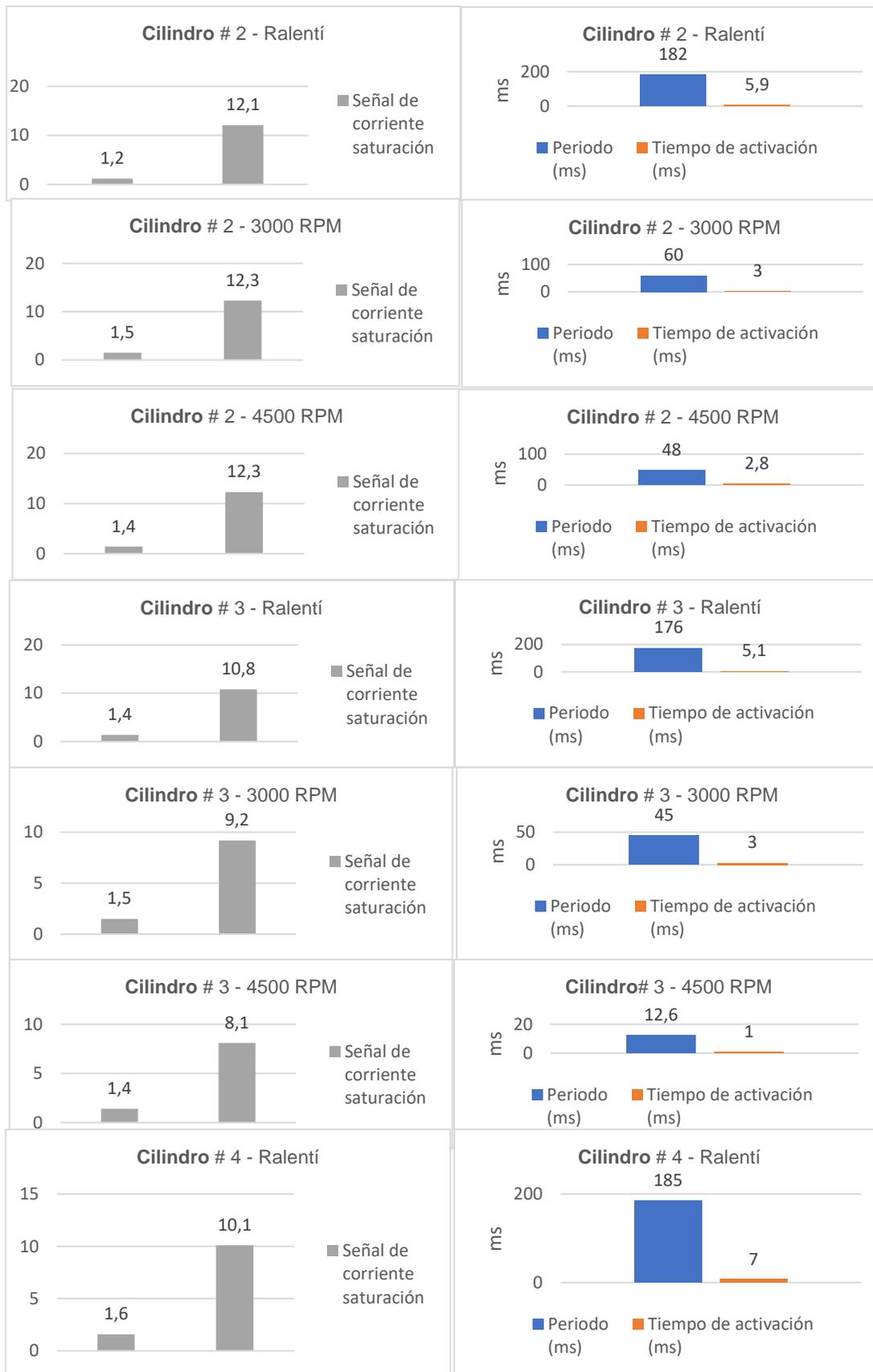


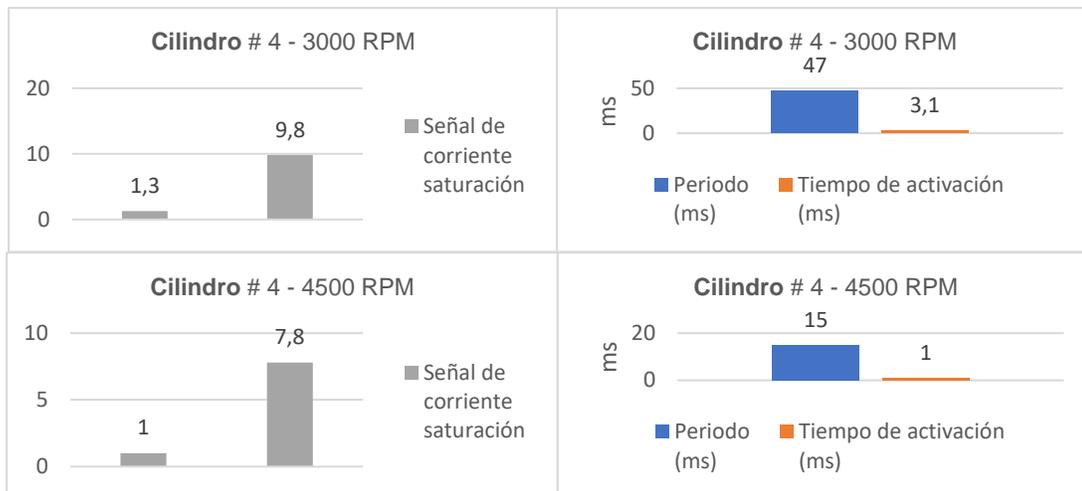
Nota. En las figuras se puede observar en la parte izquierda los valores mínimos y máximos obtenidos en la señal de corriente saturada en amperios y en la derecha el periodo y el tiempo de activación.

Figura 86

Gráfica de los datos obtenidos posteriormente del proceso de la descarbonización





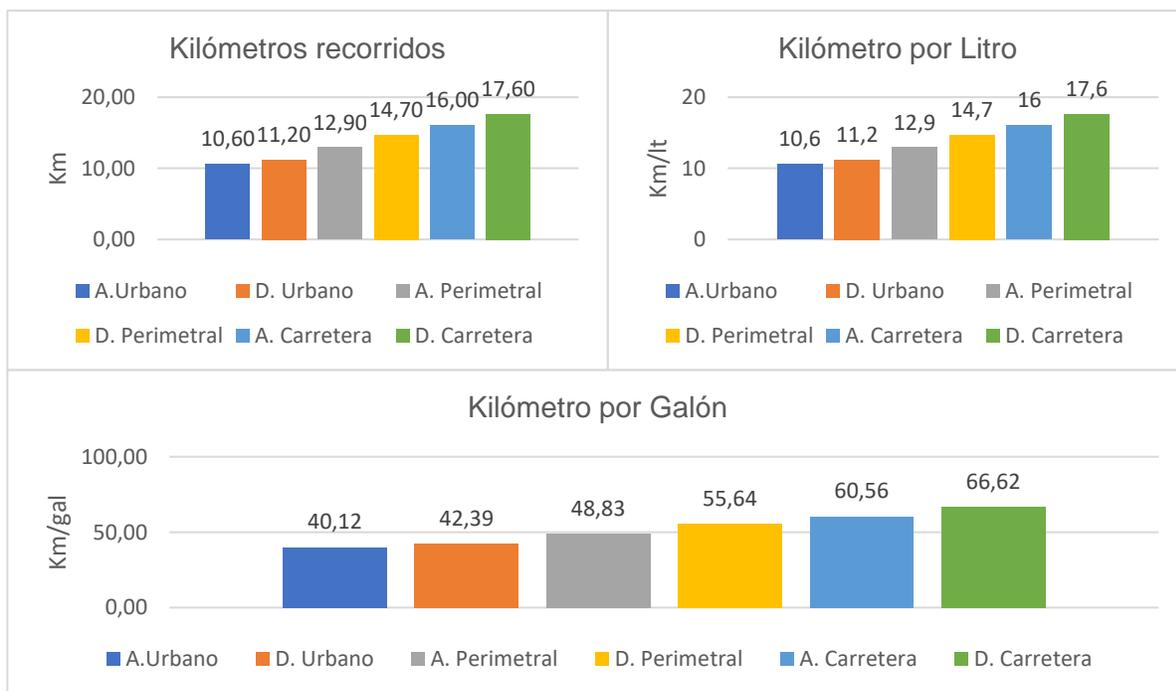


Nota. En las figuras se observa los valores obtenidos al aplicar el método no invasivo en el vehículo de ensayo.

Resultado de los valores en el proceso de la investigación del consumo de combustible.

Figura 87

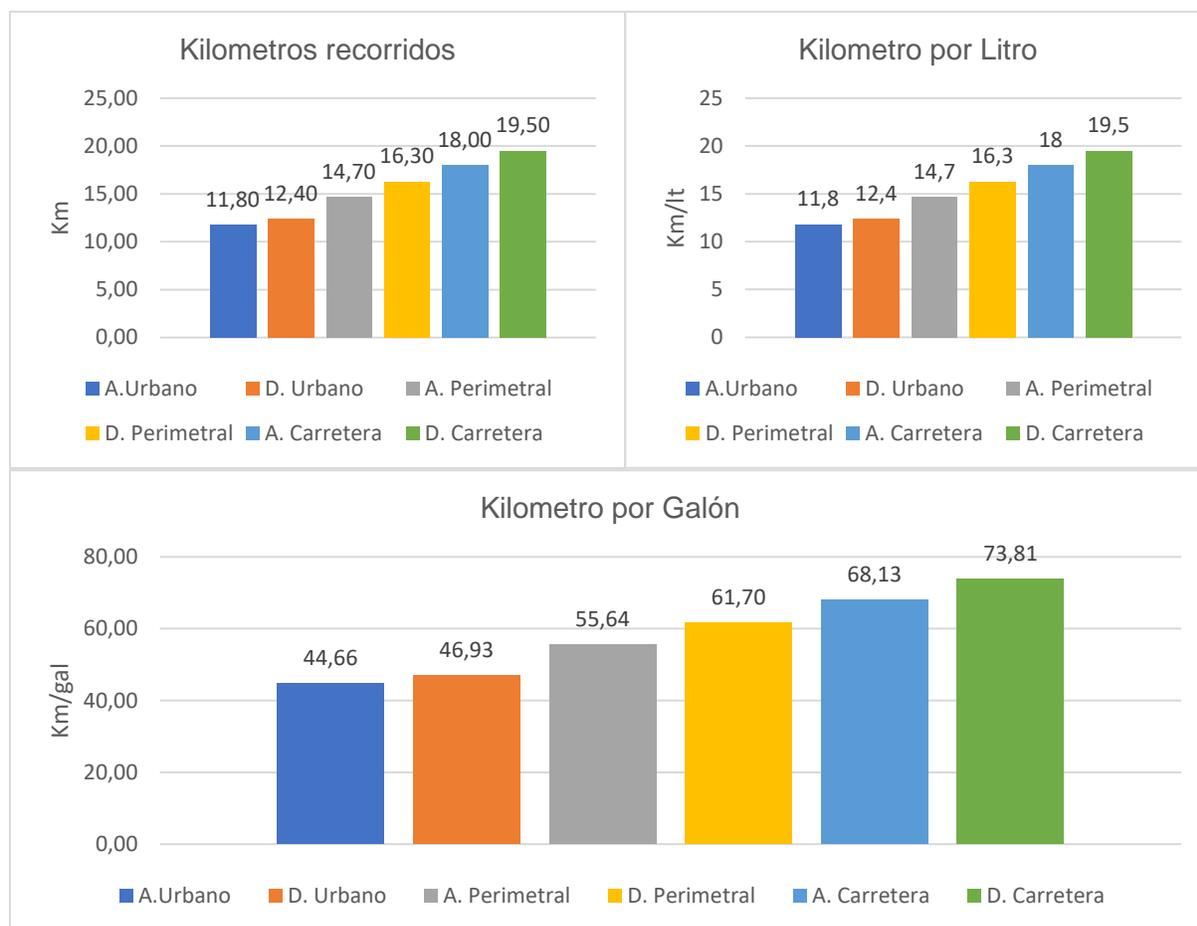
Gráfica de los datos en la prueba realizada al vehículo de ensayo 1



Nota. En la figura se observa la variación los kilómetros recorridos, Kilómetros por litro y kilómetros por galón empleando un volumen de un litro de combustible para el análisis en el caso de la prueba.

Figura 88

Gráfica de los valores obtenidos en el vehículo de ensayo 2

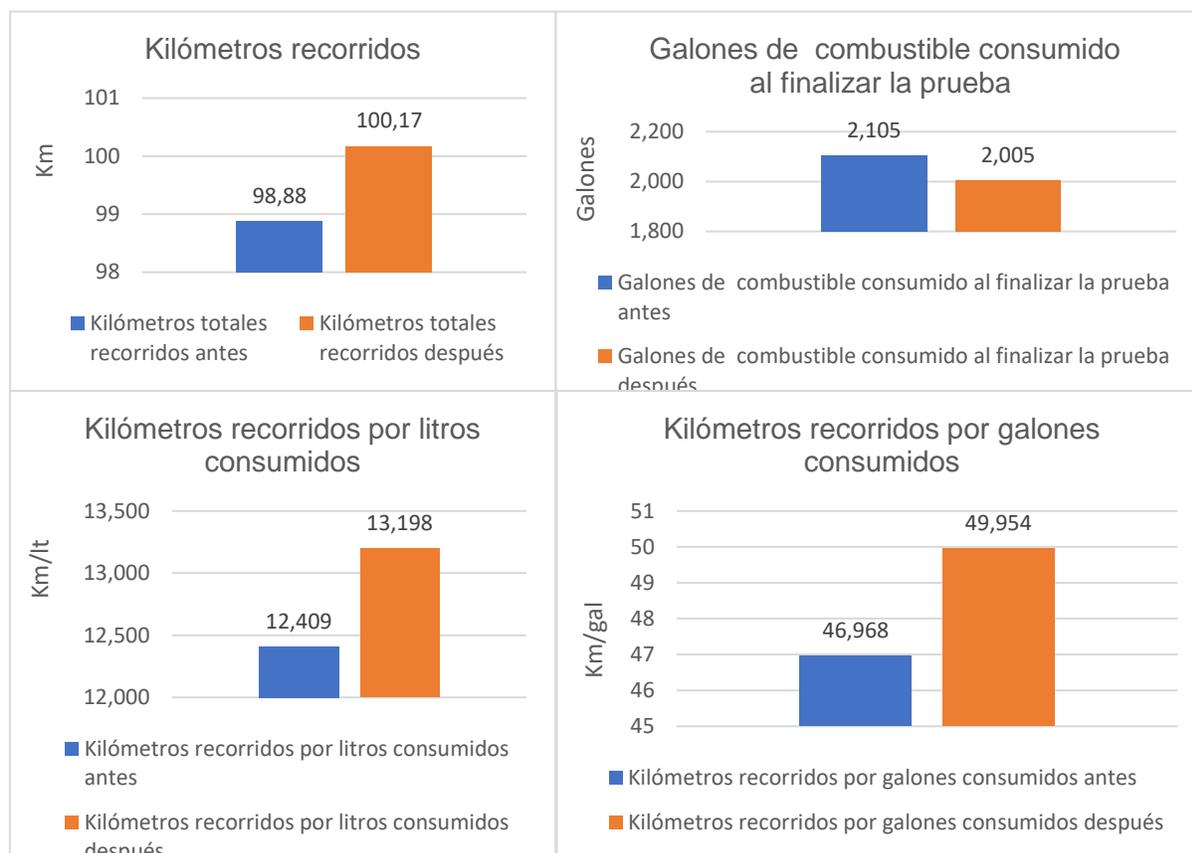


Nota. En la figura se observa los resultados en el proceso de las mediciones utilizando un litro de combustible en la comparación del proceso de investigación.

Valores del vehículo de ensayo 3.

Figura 89

Gráfica de valores obtenidos en el desarrollo de investigación



Nota. En la figura se visualiza la comparación de los resultados en la realización de las pruebas.

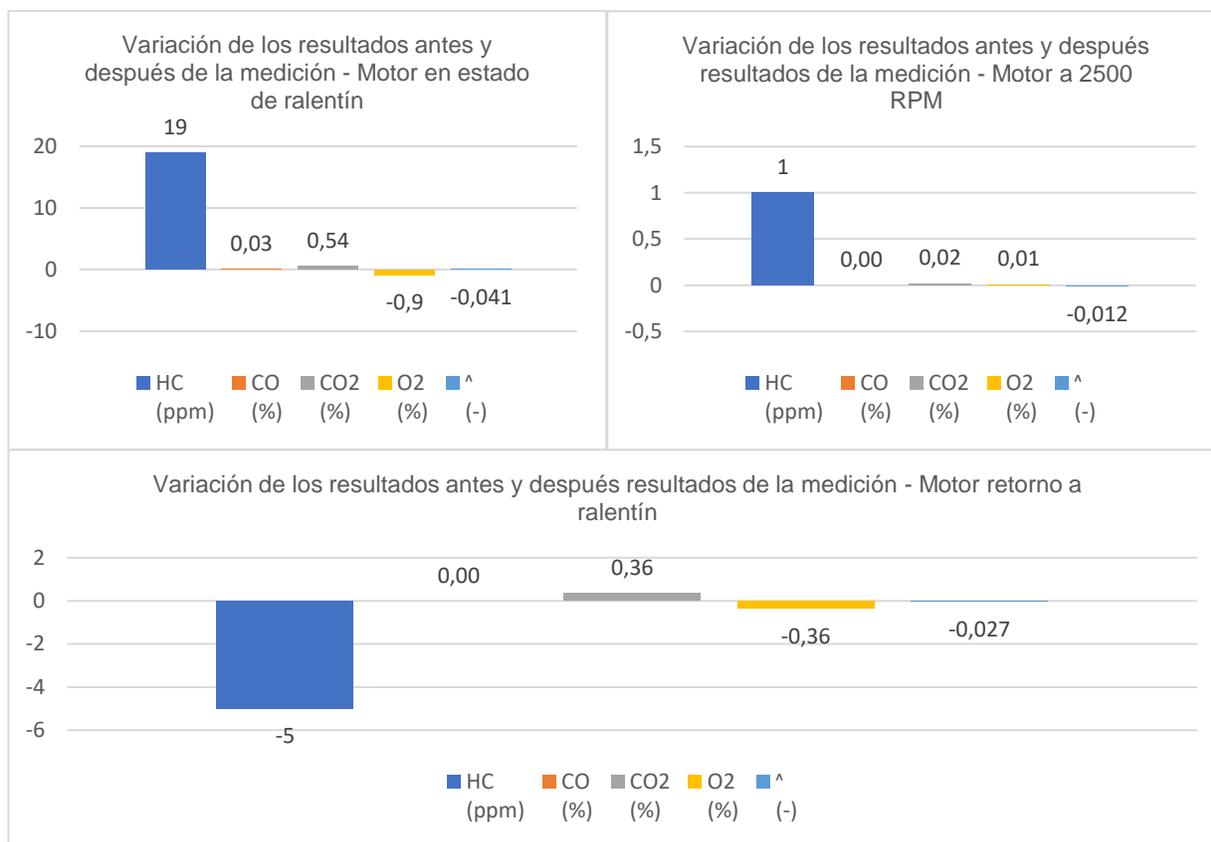
Comparativo

En lo comparativo se evaluará el estado de los vehículos de ensayo, considerando su estado pre y post tratamiento al ser sometidos, a un método de descarbonización que utiliza el oxihidrógeno para la limpieza de la carbonilla.

Variación obtenida en el proceso de la ejecución de la prueba de emisiones contaminantes en los respectivos vehículos de ensayo.

Figura 90

Variación de las medidas en el vehículo de ensayo 1



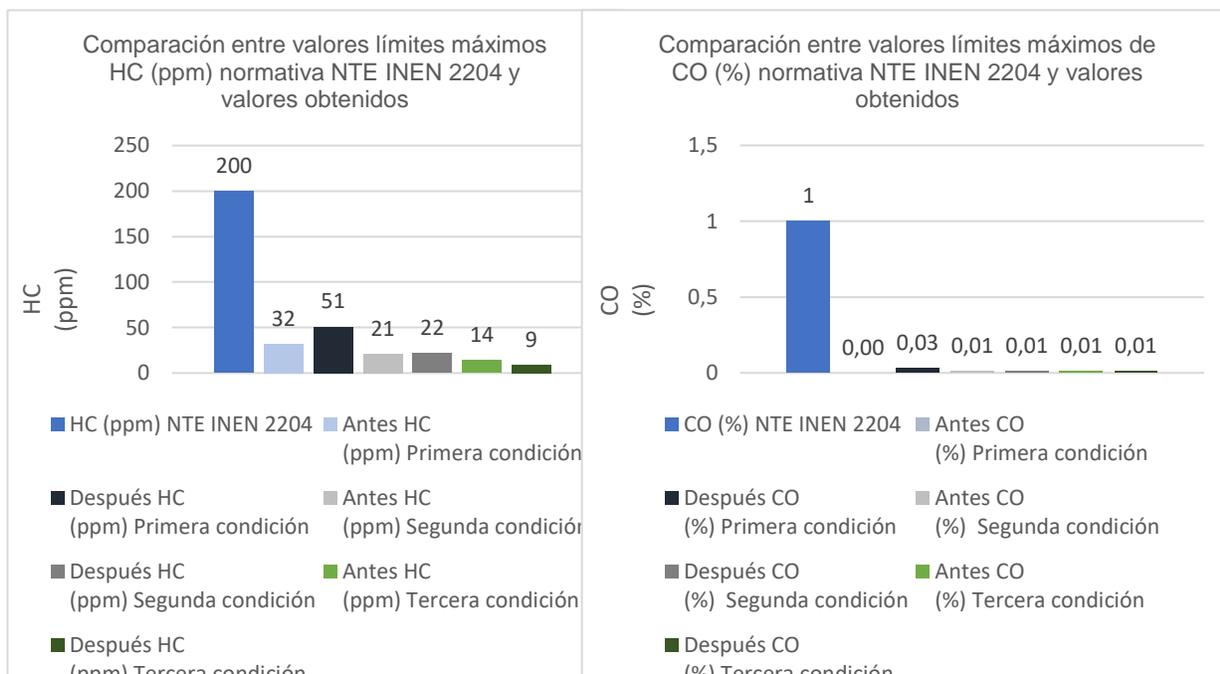
Nota. En la figura se observa la alteración en los valores medidos en los diversos regímenes del motor.

Al examinar las gráficas se puede observar un incremento de los HC en 19 y 1 ppm, en ralentí y a 2500 RPM respectivamente, además de al momento de retorno a ralentí se nota un decremento en 5 ppm. En las emisiones de CO se observa un incremento de 0,03 en un estado, de ralentí también se puede visualizar que en los dos parámetros de medición se mantiene igual. Asimismo, en los resultados de CO₂ se observa un aumento en todas las pruebas realizadas de 0,54, 0,02 y 0,36. En los valores de O₂ se nota una reducción en ralentí de 0,9 y de 0,36 al momento de retornar a este estado, pero en el caso de 2500 RPM se ve un alza de 0,01. Las mediciones en el factor lambda

$\Lambda(-)$ se denota una reducción siendo la más notoria en la del tercer parámetro ya que al disminuir su valor, en 0,027 se encuentra en 1,002 aproximándose a 1 que es la mezcla ideal en un motor de combustión.

Figura 91

Gráfica de la comparación con la normativa NTE INEN 2204

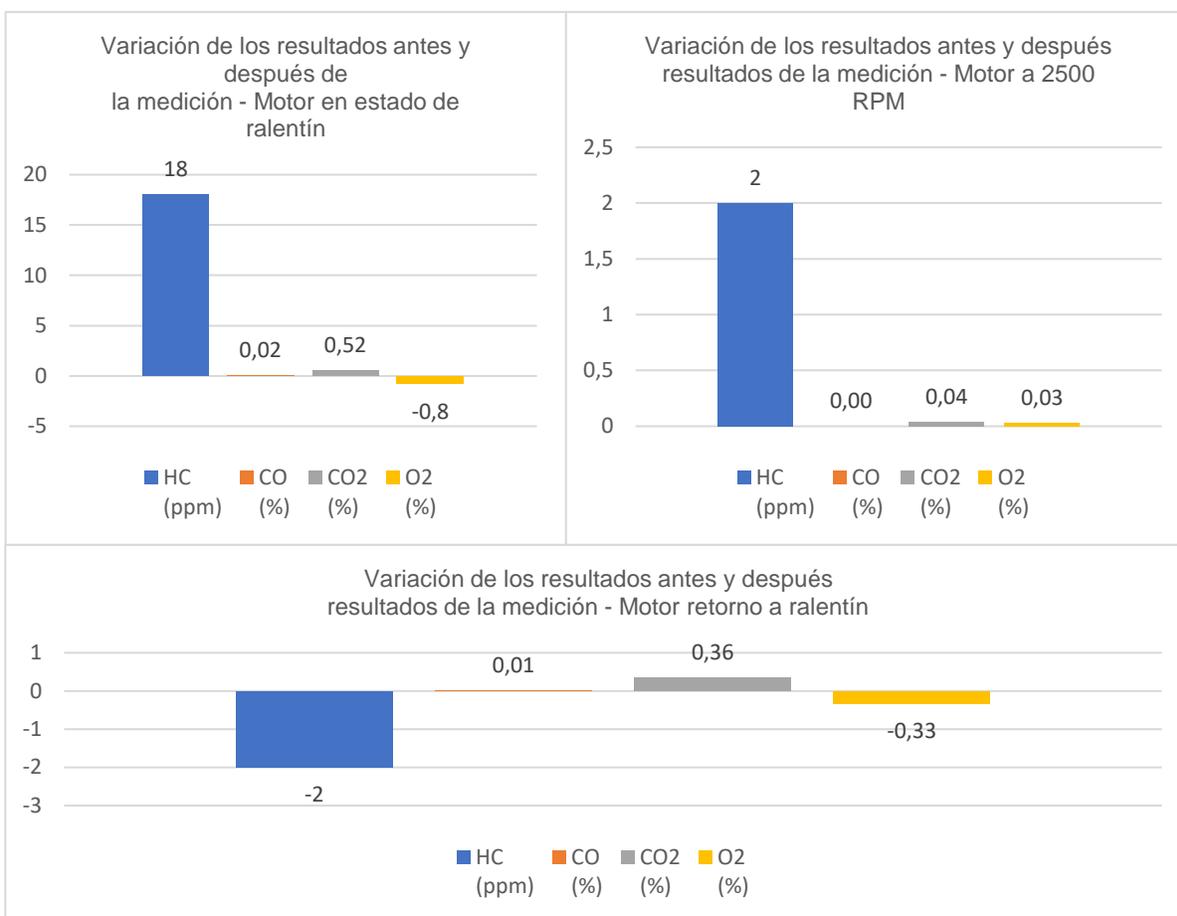


Nota. En las figuras se observan los valores referentes al HC (200 ppm) y CO (1 %) de la normativa en comparación con las mediciones obtenidas.

Al analizar las grafica de HC y de CO en función de la norma se puede observar que, aunque en algunos puntos se visualiza un incremento después del proceso de descarbonización, del vehículo de ensayo 1 los valores no superan el rango máximo estipulado.

Figura 93

Gráfica valores del vehículo de ensayo 2



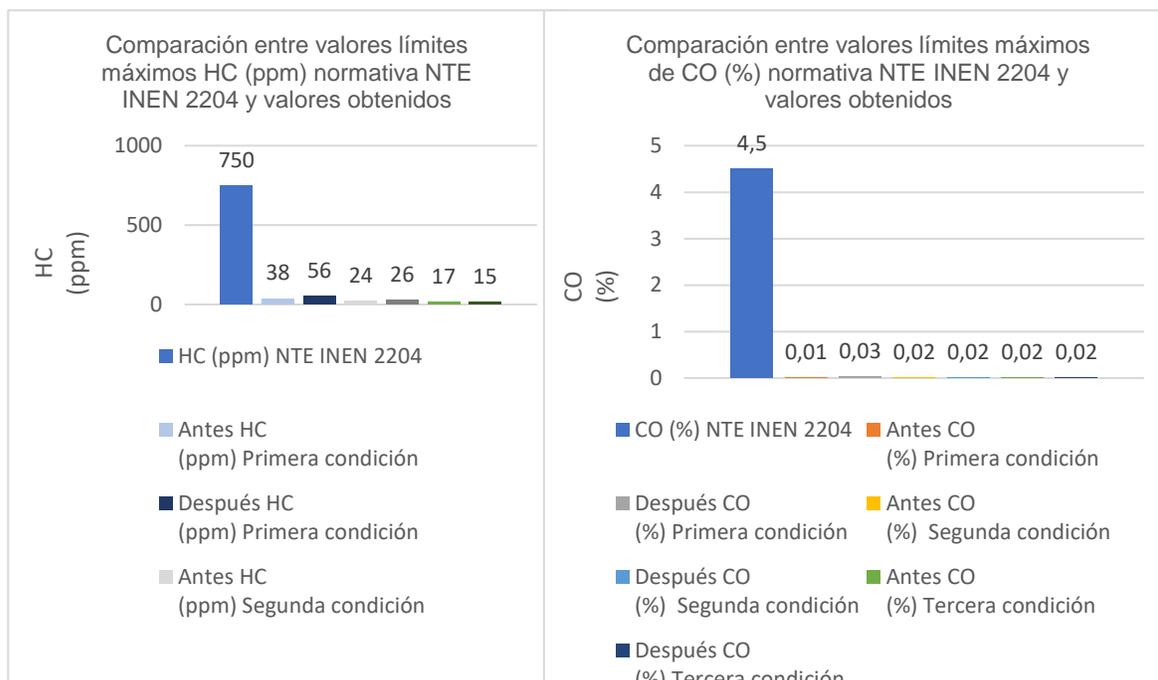
Nota. En las figuras se observa la variación de los valores medidos en la prueba de emisiones contaminantes.

En la gráfica se puede visualizar en las mediciones de HC en los dos primeros estados de medición produciéndose, un crecimiento de 18 y 2 ppm y una pérdida en el retorno a ralentí de 2 ppm. En los valores de CO a las 2500 RPM no se produjo ninguna variación y en otros regímenes se observa, una elevación de 0,02 y 0,01. Además, se tiene que los valores de CO₂ que en la prueba se elevaron en los tres parámetros de evaluación siendo de 0,52, 0,04 y 0,36 respectivamente. Por otra parte, las emisiones de O₂ obtenidas muestran en estado de ralentí y

de retorno a él, se da una disminución de 0,8 y 0,33 y en 2500 RPM se tiene un acrecentamiento de 0,03.

Figura 94

Gráfica comparativa empleando los valores los valores de la normativa NTE INEN 2204.

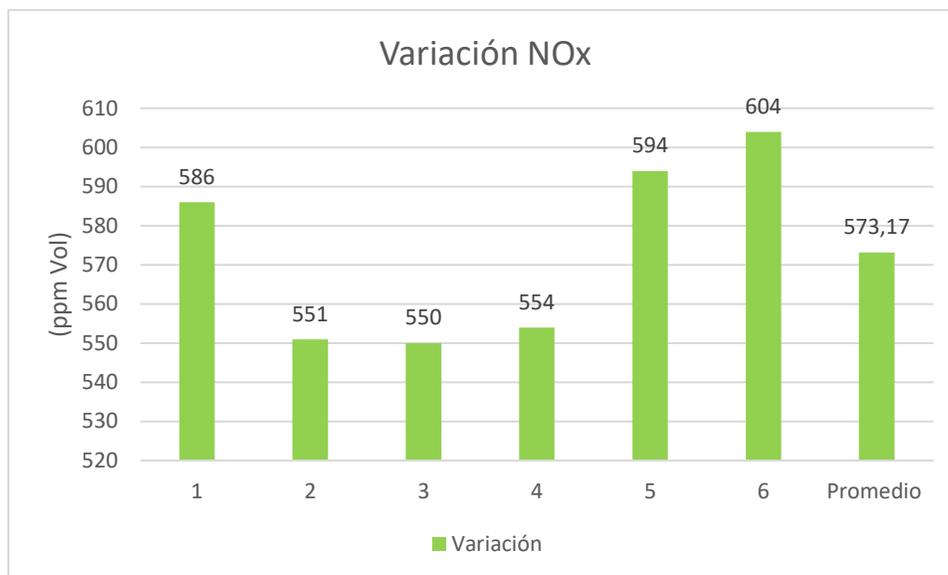


Nota. En las figuras se observan las mediciones de HC y CO comparados con el valor de la norma que son (750 ppm) y (4,5 %) respectivamente.

Al visualizar las gráficas se pudo entender que en los parámetros de HC, aunque después de la prueba se incrementaron en la mayoría de los parámetros, todavía no superan el valor máximo permitido de (750 ppm). En el caso del CO en la mayoría de los valores no se han mantenido constantes a excepción de la primera, medición en la cual se dio un aumento de 0,02 a pesar de esto los resultados obtenidos no sobrepasan el 4,5 % establecido en la normativa.

Figura 95

Valores en la alteración del vehículo de ensayo 3



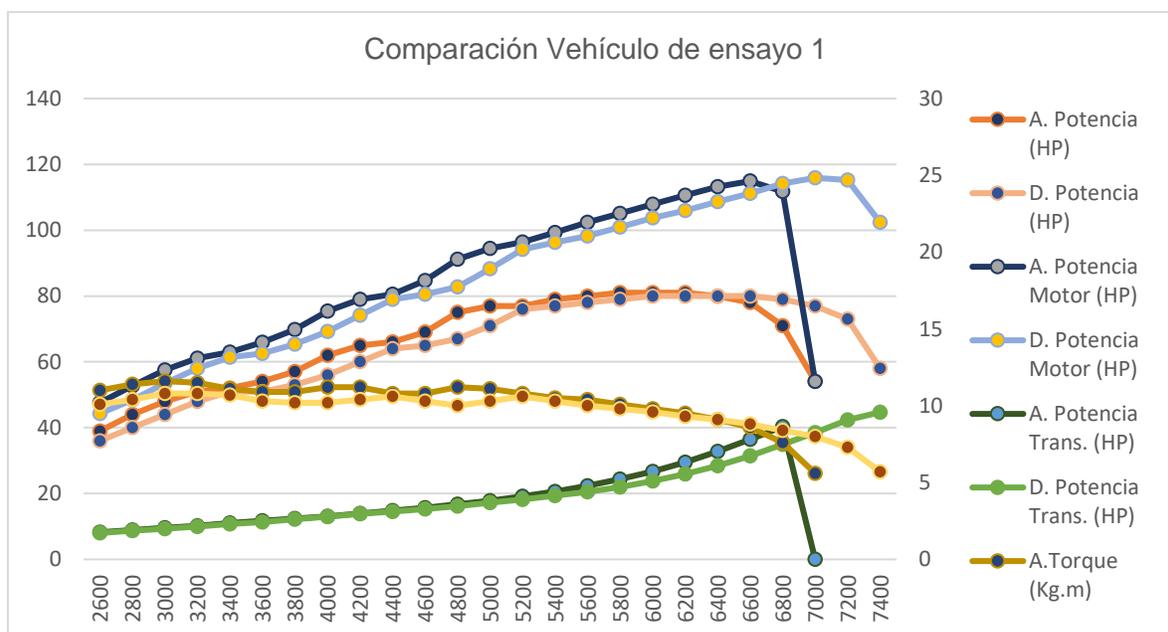
Nota. En la figura se observa la variación en el proceso de investigación de las emisiones contaminantes.

Al estudiar la gráfica se puede notar una disminución considerable de los valores emitidos de NOx, en el vehículo de ensayo en las seis pruebas realizadas de igual forma con su promedio que es de 573, 17 (ppm Vol.), considerando que al iniciar se tenía 616, 67 y al finalizar se redujo a 43,50 (ppm Vol.) teniendo una recuperación de un 92,95%.

Modificación en el comportamiento de los valores obtenidos en el desarrollo del ensayo de Torque – potencia.

Figura 96

Gráfica de los valores obtenidos en el proceso de descarbonización en el vehículo de ensayo 1



Nota. En la figura se observa las curvas características de la potencia y torque obtenidas antes y después del emplear el método de descarbonización no invasivo.

Tabla 137

Comparación de la potencia máxima del proceso pre y post tratamiento

| Parámetro | Potencia (HP) | Valor de RPM |
|----------------|---------------|--------------|
| Pretratamiento | 114,9 | 6600 |
| Postratamiento | 115,9 | 7000 |
| Fabricante | 123 | 6000 |

Nota. En la tabla se observa los valores determinados en el proceso de investigación equiparándolos con el del fabricante.

Al analizar la tabla se puede notar un incremento del valor de la potencia del vehículo de 114,9 a 115,9 HP, aunque las RPM donde se producen han variado de 6600 a 7000 respectivamente. Con referente a la medida del fabricante estas se origina a las 6000 RPM teniendo una

diferencia de 600 RPM, sin la realización del método de descarbonización y después del proceso es de 1000 RPM. A pesar de esto ningún valor alcanza las 123 HP, esto se da por el mismo desgaste de los componentes del vehículo.

Tabla 138

Comparación del torque máximo en el pre y post tratamiento

| Parámetro | Torque (Kg.m) | Valor de RPM |
|------------------|--------------------------|-------------------------|
| Pretratamiento | 11,6 | 3000 |
| Postratamiento | 10,8 | 3000 |
| Fabricante | 16,4174 | 4200 |

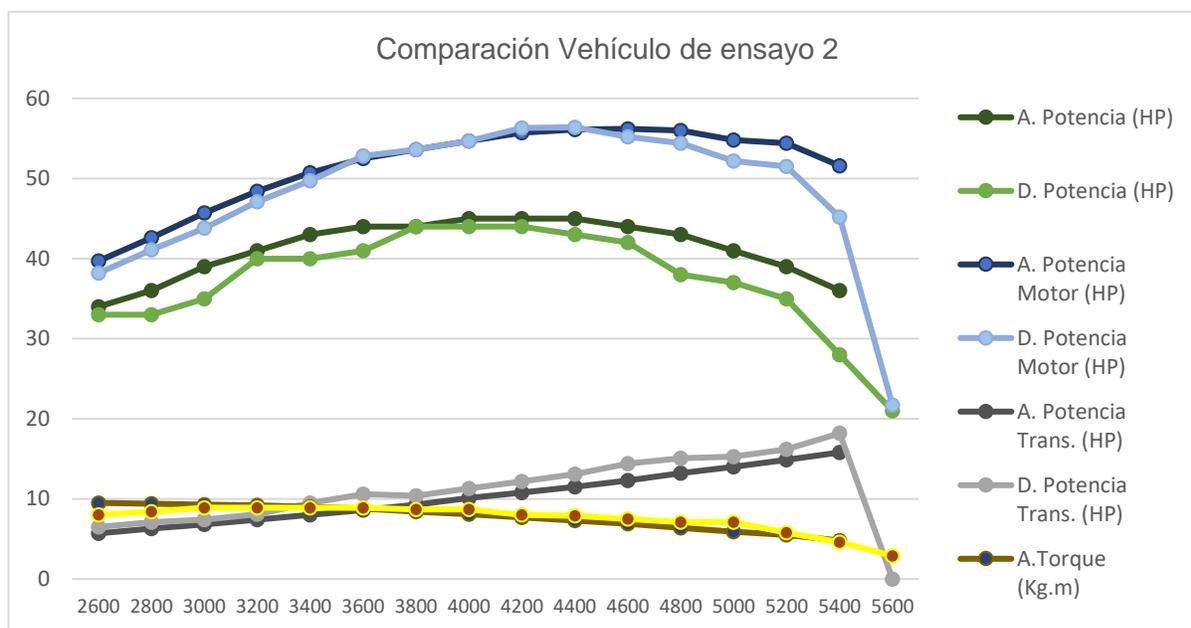
Nota. En la tabla se observa los valores obtenidos en proceso de investigación, con el dato del fabricante.

Al observar la tabla se puede notar una pérdida en el torque a las 3000 RPM de 11,6 ha 10,8 Kg.m siendo una reducción de 0,8. Con los parámetros del fabricante de 161 Nm (16,4173 Kg.m), se puede ver que el máximo torque se da a los 4200 RPM siendo un valor superior, que los obtenidos en el proceso esto se puede dar por el desgaste de las piezas del motor.

Resultados del ensayo realizado al vehículo de ensayo 2.

Figura 97

Gráfica de los resultados en la ejecución de la aplicación del método no invasivo



Nota. En la figura se visualizan las curvas formadas en el ensayo de la potencia y torque obtenidas en el pre y post tratamiento del método de descarbonización.

Tabla 139

Comparación de la potencia máximo antes y después de la aplicación del método no invasivo

| Parámetro | Potencia (HP) | Valor de RPM |
|----------------|---------------|--------------|
| Pretratamiento | 45 | 4000 |
| Postratamiento | 44 | 3800 |
| Fabricante | 71,64 | 5700 |

Nota. En la tabla se visualizará los resultados del ensayo en función de la potencia obtenida y el valor dado por el fabricante del vehículo.

En la tabla se analiza los valores del ensayo teniendo en consideración la reducción de 45 a 44 HP, en un régimen de giro de 4000 y 3800 RPM proporcionalmente dando una reducción en los

dos valores. En el caso del antecedente dado por el fabricante el resultado es muy elevado en comparación con el del ensayo.

Tabla 140

Variación del torque más elevado en el pre y post proceso de descarbonización

| Parámetro | Torque (Kg.m) | Valor de RPM |
|------------------|--------------------------|-------------------------|
| Pretratamiento | 9,5 | 2600 |
| Postratamiento | 8,9 | 3000 |
| Fabricante | 11,24 | 3200 |

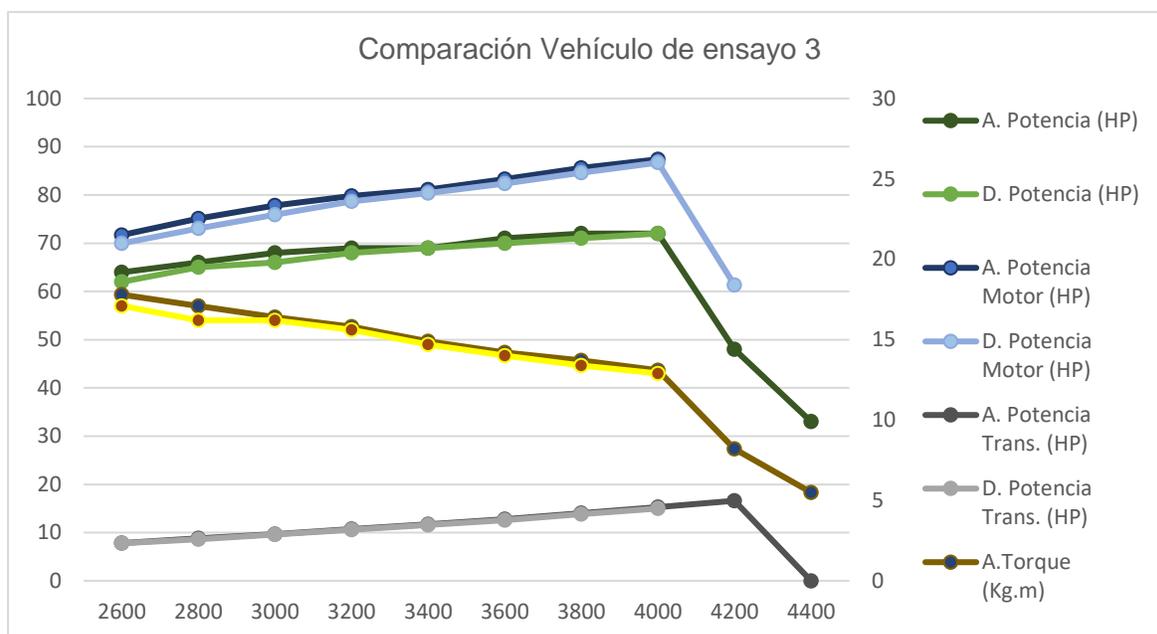
Nota. En la tabla se visualiza los parámetros obtenidos en el proceso de aplicación del método, con el valor del fabricante.

Al comparar los valores de la tabla se pudo entender que el valor del torque que se tiene presenta una reducción de 0,6 Kg.m, después del proceso de descarbonización y un aumento en las RPM para que se produzca el valor máximo en 400 RPM. Con el valor del fabricante se tiene una variación de 2,34 Kg.m y de 200 RPM después de la realización de la limpieza.

Comparación de los resultados del ensayo en el vehículo de ensayo 3.

Figura 98

Consecuencias del proceso de descarbonización



Nota. En la figura se visualizan los resultados de la realización del ensayo antes y después de aplicar el proceso de descarbonización.

Tabla 141

Análisis de los valores más elevados en el ensayo en las mediciones de potencia

| Parámetro | Potencia (HP) | Valor de RPM |
|----------------|---------------|--------------|
| Pretratamiento | 72 | 3800 |
| Postratamiento | 72 | 4000 |
| Fabricante | 79 | 3900 |

Nota. En la tabla se observa los valores de RPM y potencia incluyendo el valor dado por el fabricante.

Al examinar la tabla se puede observar una igualdad en las mediciones de la potencia manteniéndose en 72 HP, pero la diferencia se da en las RPM ya que después de la descarbonización se aumentó en 200 RPM, para obtener el valor más elevad. En el dato dado

por el fabricante se puede notar que la variación, se da en 7 HP y en 100 RPM menores que al ser aplicada el método.

Tabla 142

Alteración del torque antes y después del proceso de descarbonización

| Parámetro | Torque (Kg.m) | Valor de RPM |
|----------------|------------------|-----------------|
| Pretratamiento | 17,8 | 2600 |
| Postratamiento | 17,1 | 2600 |
| Fabricante | 17.95 | 2000 |

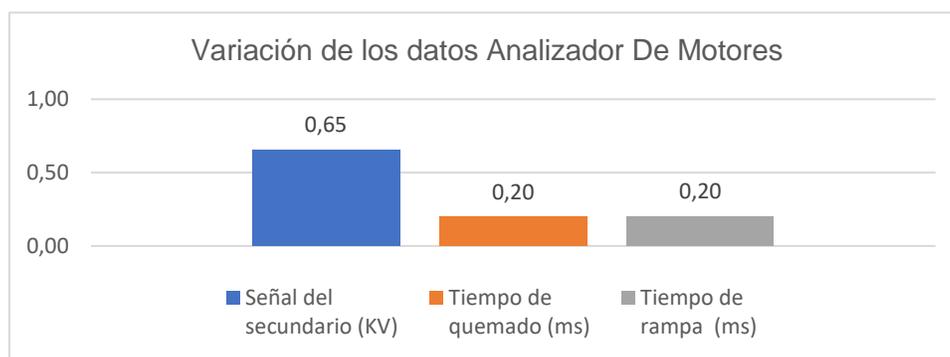
Nota. En la tabla se visualiza los valores obtenidos en las mediciones con respecto al ensayo y el antecedente del fabricante con sus respectivas RPM.

En la tabla se visualiza una disminución de 0,7 Kg.m, en el torque a las 2600 RPM después del proceso en la utilización del método no invasivo. Además, en comparación se con respecto a la cifra del fabricante, es más elevada que los datos en el proceso de la investigación y el régimen de revoluciones es menor en el punto máximo del torque.

Comparación de los resultados de las mediciones empleando el analizador de motores en los vehículos de ensayo 1 y 2.

Figura 99

Gráfica de la variación en las mediciones al utilizar el analizador de motores

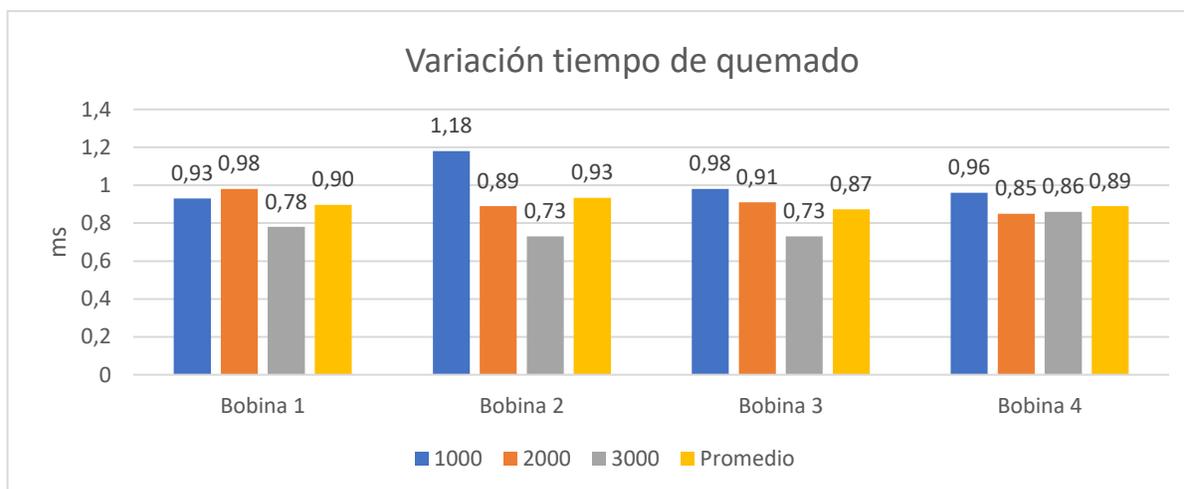


Nota. En la figura se observa la comparación de los valores obtenidos en el antes y después de la descarbonización.

En la gráfica se puede distinguir la reducción en la señal secundaria, tiempo de quemado y de rampa en 0,65, 0,20 y 0,20 respectivamente. En la cual se puede notar una mejora en las condiciones del vehículo, destacando el tiempo de quemado ya que después de la limpieza está en un valor de 1,70 ms estando el parámetro adecuado de funcionamiento.

Figura 99

Gráfica de los datos del vehículo de ensayo 2



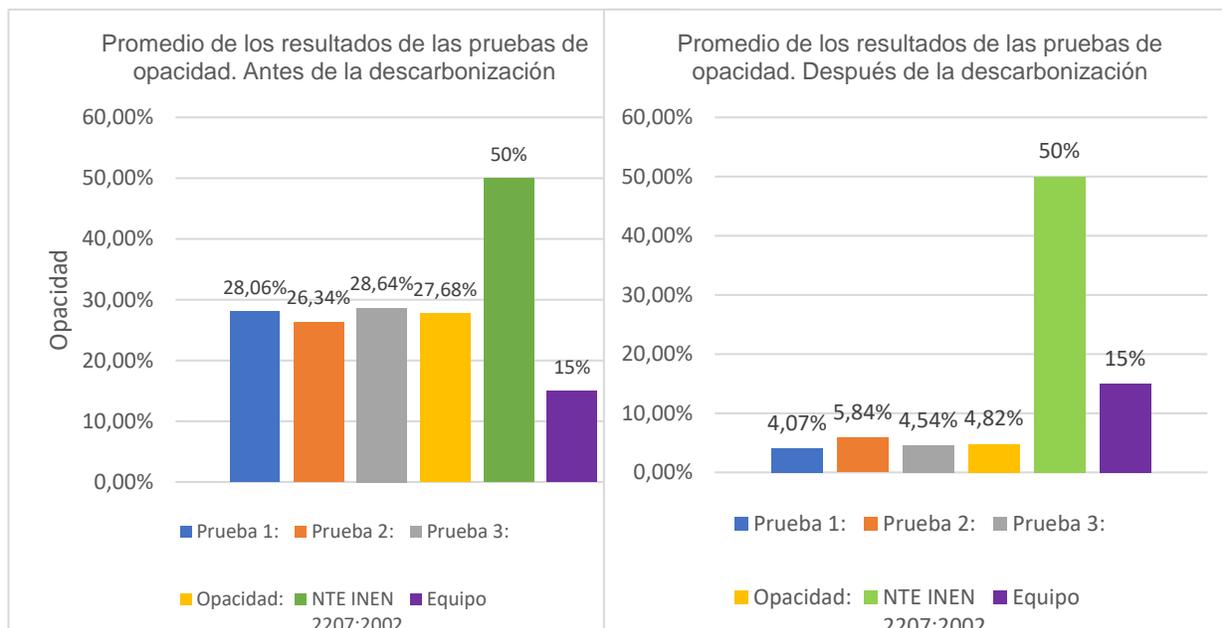
Nota. En la figura se visualiza los resultados en la ejecución del método no invasivo.

Al analizar la gráfica se puede observar una reducción en los tiempos de quemado siendo favorables debido que después del proceso de descarbonización estos valores fluctúan entre 1,51 hasta 1,75 ms estando en los límites de 1 a 1,70 ms que indican un buen estado de la chispa.

Valores obtenidos en el análisis de la opacidad realizada al vehículo de ensayo 3.

Figura 100

Gráficas de los valores promedio de las pruebas antes y después de la realización de la descarbonización con los valores de la normativa y del equipo

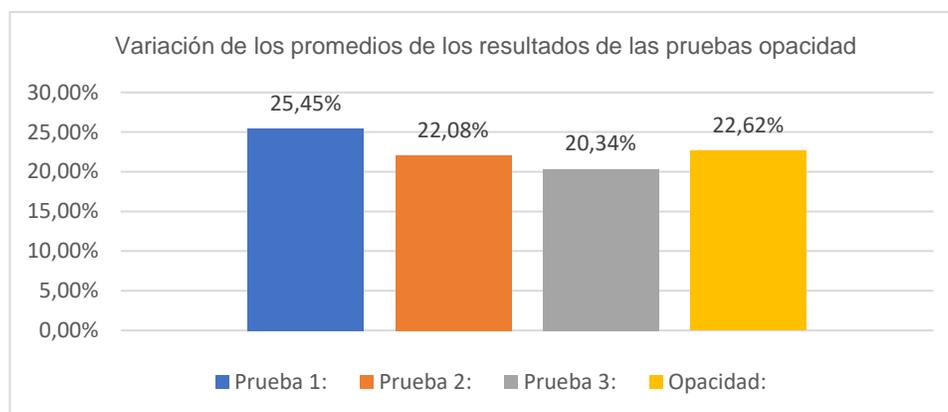


Nota. En la figura de la izquierda se observa los valores obtenidos antes de la realización del método no invasivo y en la derecha los resultados del después del tratamiento.

En las gráficas se pueden observar que antes del proceso de descarbonización el vehículo comparándolo con el valor del 50%, de opacidad de la normativa NTE INEN 2207:2002 están entrados en el rango permitido a la vez que por el equipo que tiene una calibración del 15% estos valores serán rechazados. En la gráfica donde se visualizan los datos de la aplicación del método, se nota que los valores son aprobatorios tanto para la normativa como para el equipo.

Figura 101

Gráfica de pruebas rechazadas después del proceso de descarbonización

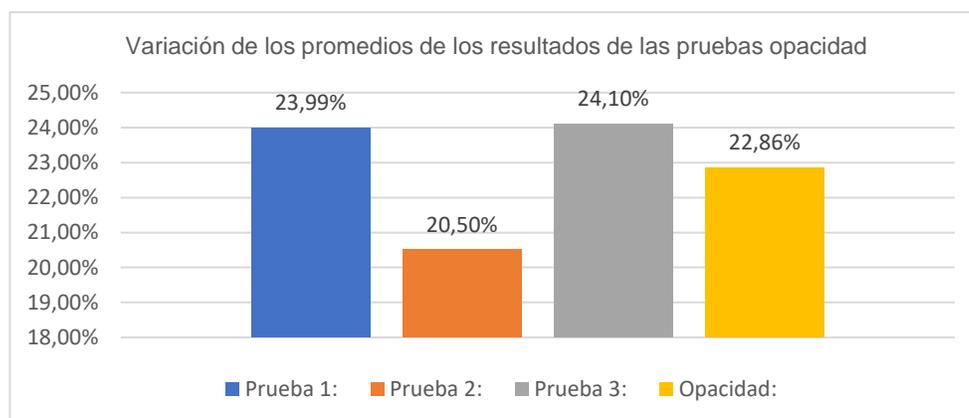


Nota. En la figura se observa la variación de las dos pruebas que no fueron aprobadas.

Las pruebas realizadas que han salido rechazadas se las realizó a pocos días de la limpieza no teniendo el resultado deseado ya que la carbonilla no se ha desprendido por completo.

Figura 102

Gráfica de la variación de los valores de opacidad



Nota. En la figura se observa el resultado de la comparación de los valores de pre y post tratamiento.

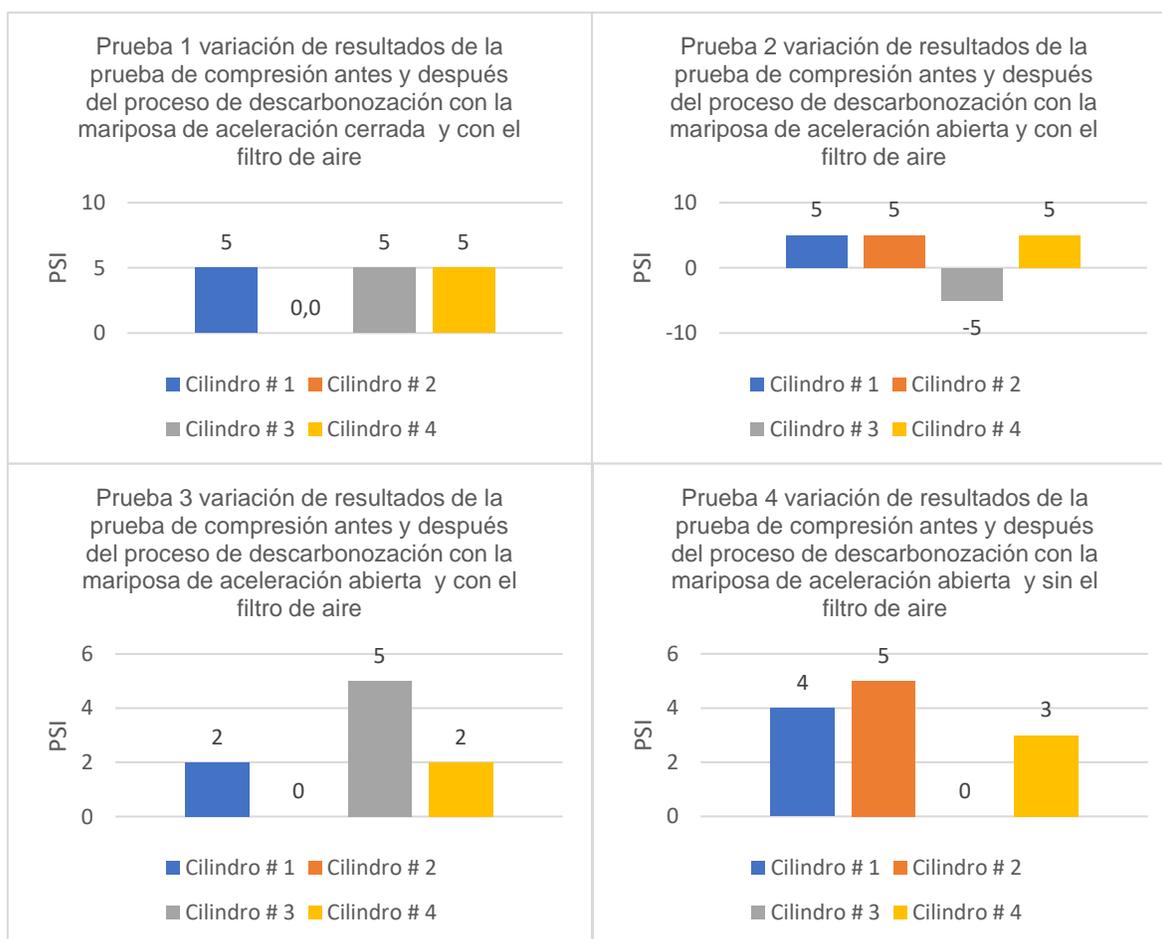
En la gráfica se muestra el porcentaje de opacidad que se ha disminuido con la realización del método de descarbonización no invasivo por oxihidrógeno en las pruebas realizadas.

Variaciones obtenidas en los vehículos de ensayo en el proceso de medición de los valores de compresión.

Vehículo de ensayo 1.

Figura 103

Gráfica de la variación de las medidas de compresión



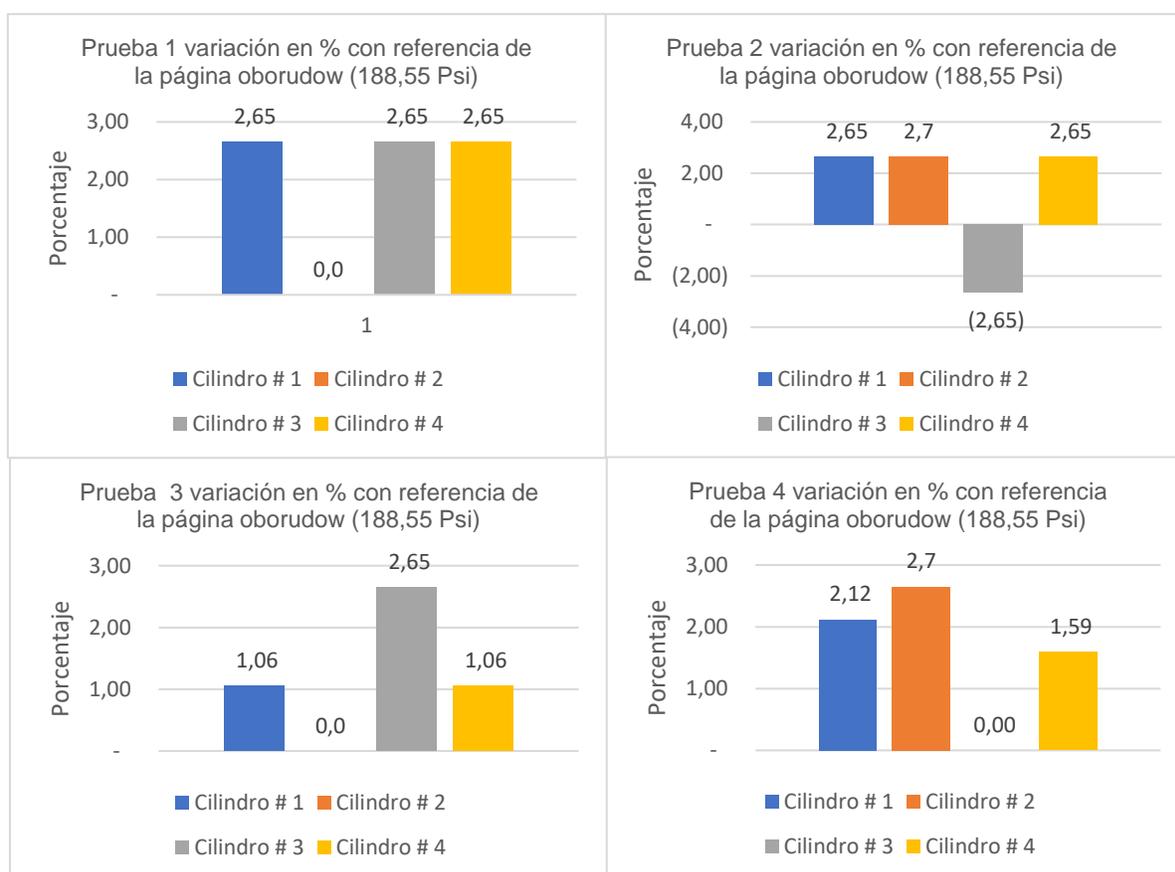
Nota. En la figura se observa los resultados obtenidos en función de la comparativa al momento de la ejecución de la prueba.

Al estudiar las gráficas se puede ver que en algunos parámetros se mantiene los valores en las mediciones por otra parte se tiene en algunos, casos un incremento de 2 hasta 5 PSI.

Igualmente se observa una disminución en el cilindro #3 al momento de obtener el valor con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire.

Figura 104

Graficas de la variación con la comparación de 188, 55 Psi

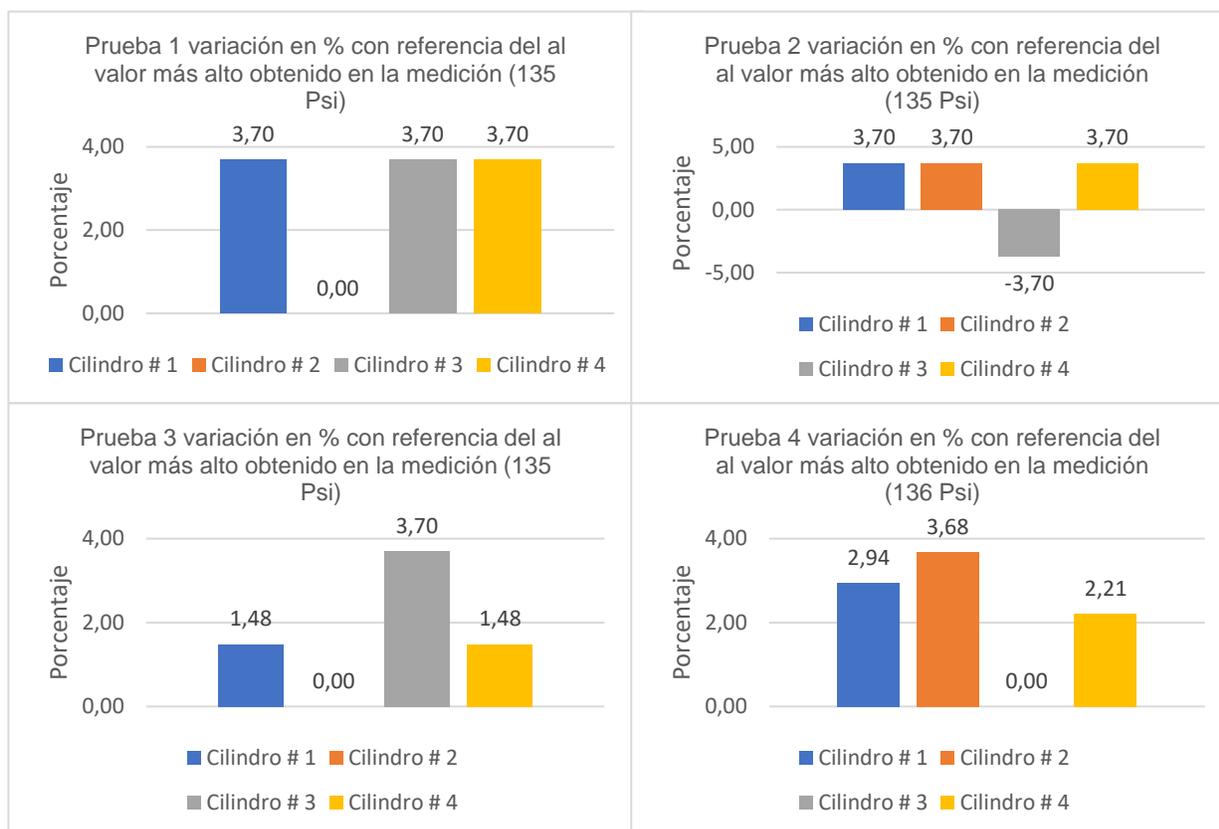


Nota. En las figuras se puede observar la alteración considerando la cifra dada por la página oborudow en las mediciones.

En las gráficas se visualiza el valor de la variación en la comparación del antes y el después con el valor de 188,55 PSI, teniendo un incrementó debido al aumento de la compresión en los distintos cilindros a excepción de la prueba 3, que dio una reducción en su cilindrada.

Figura 105

Gráfica de la variación del porcentaje con respecto al valor más elevado obtenido



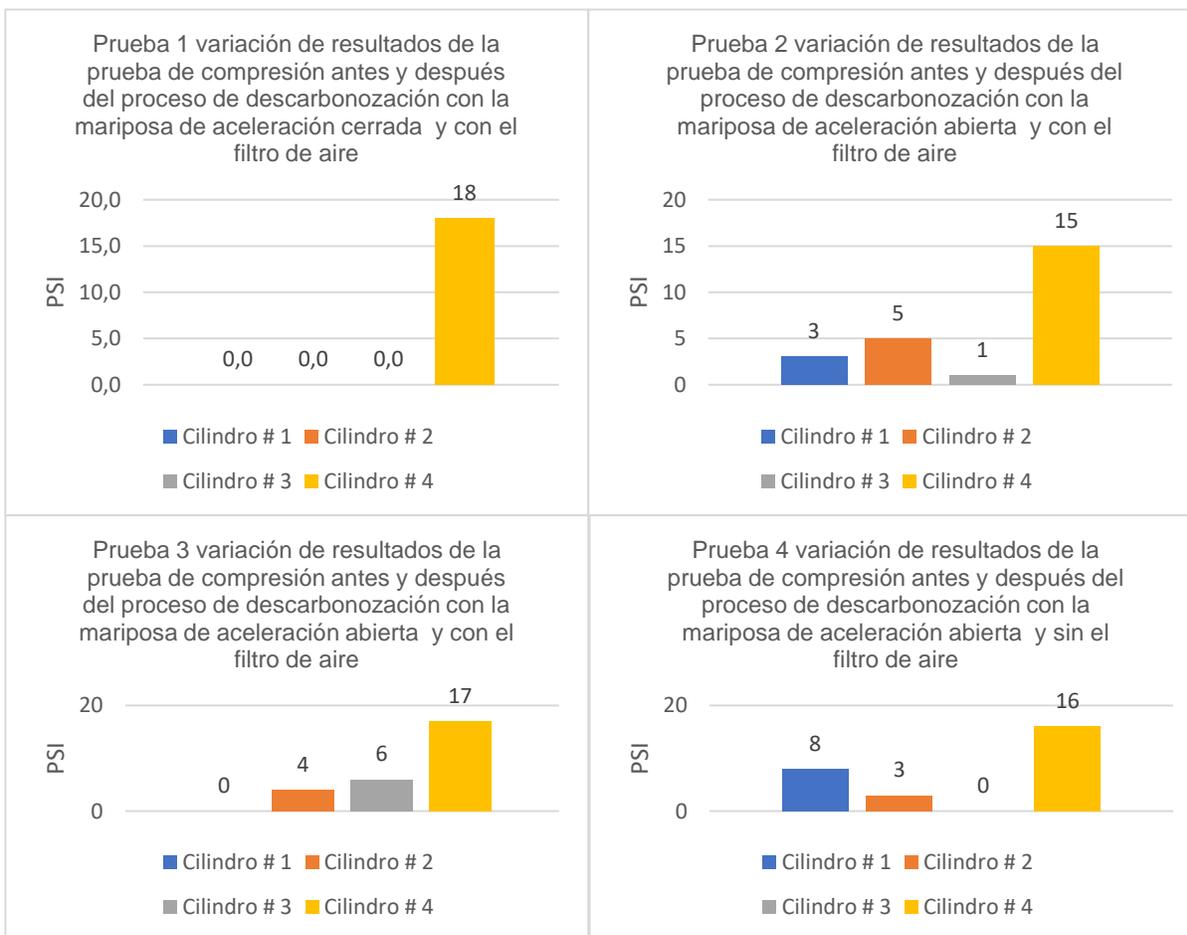
Nota. En las figuras se visualiza la alteración producida de la compresión de los cilindros de mayor elevación de compresión de cada prueba.

Al estudiar la gráfica se nota una mejora en la presión de la compresión en la todos los cilindros del vehículo sin considerar la prueba 2, en la cual es la única que demuestra una reducción en su compresión.

Variación obtenidos en el proceso de investigación del Vehículo de ensayo 2.

Figura 106

Gráfica de modificación en las mediciones obtenidas en la compresión

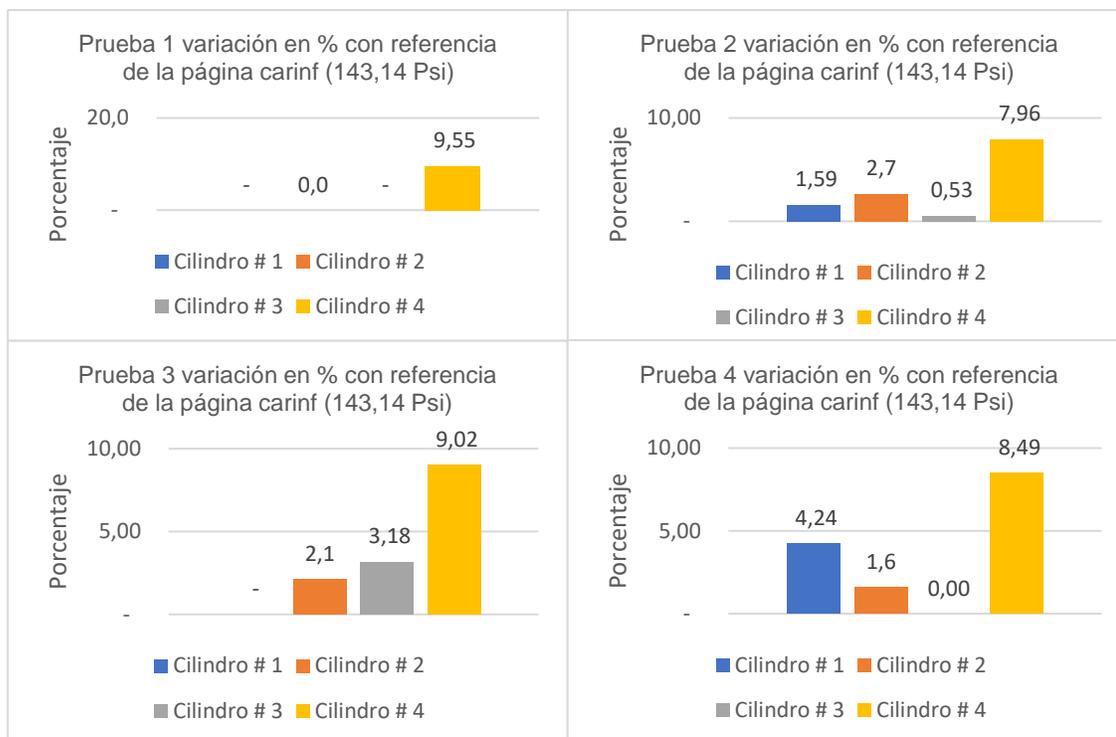


Nota. En la figura se observa las medidas en PSI de la alteración producida en los cilindros al aplicar el método de limpieza no invasivo.

En las gráficas se observan un incremento en todos los cilindros del vehículo de ensayo especialmente en el cilindro #4, que antes del proceso de descarbonización tenía el valor más bajo medido. De la misma forma se puede visualizar que en algunas pruebas se mantiene el valor de medición después del tratamiento.

Figura 107

Graficas de la alteración con el valor de 143,14 PSI

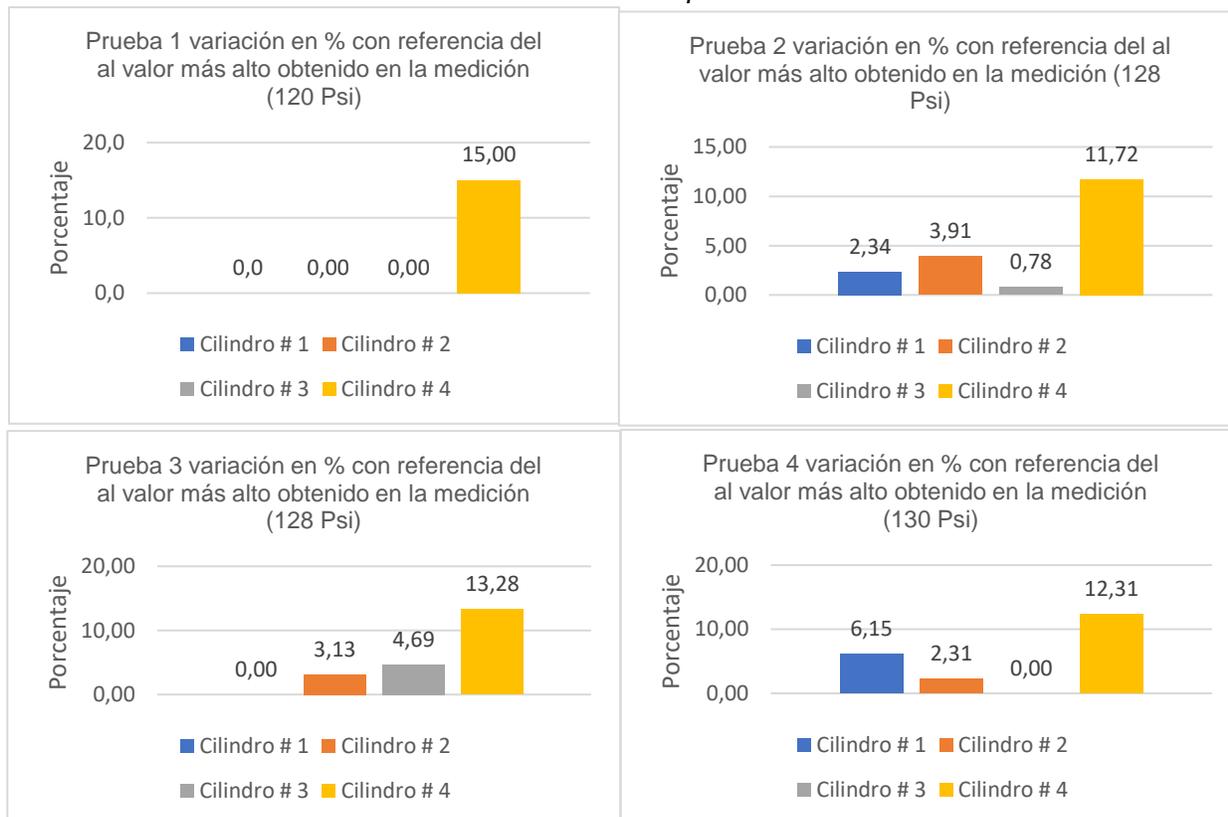


Nota. En la figura se observa la variación de los resultados de la medición teniendo en consideración el valor de la página carinf.

Al analizar las gráficas se nota una alteración que muestra una mejora en la compresión de los cilindros.

Figura 108

Gráfica de la variación de los valores obtenidos comparado con el más elevado



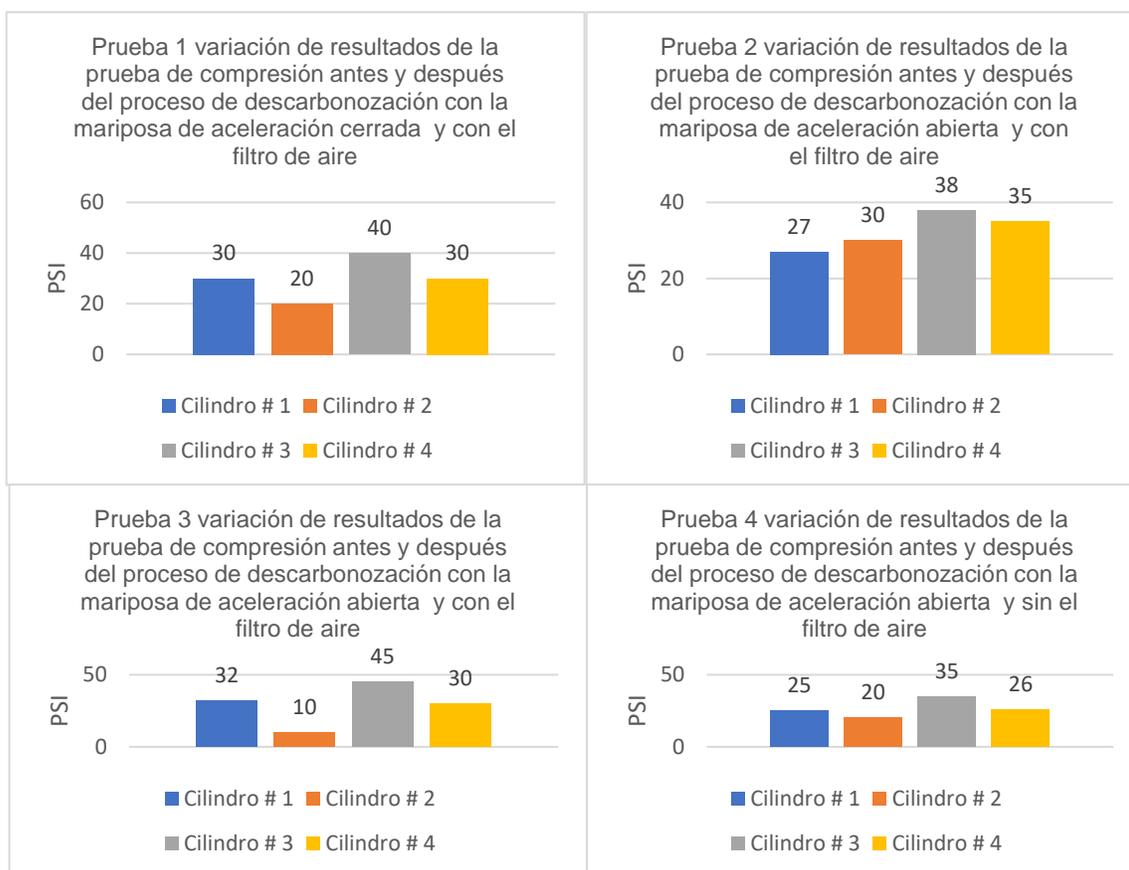
Nota. En la figura se observa los resultados de la ejecución del proceso de limpieza por oxihidrógeno.

Al observar las gráficas se puede notar un aumento de la compresión en la mayoría de las pruebas realizadas, tomando como consideración el valor más obtenido de las respectivas mediciones realizadas.

Resultados del análisis del vehículo de ensayo 3.

Figura 109

Gráfica de las mediciones de compresión en PSI

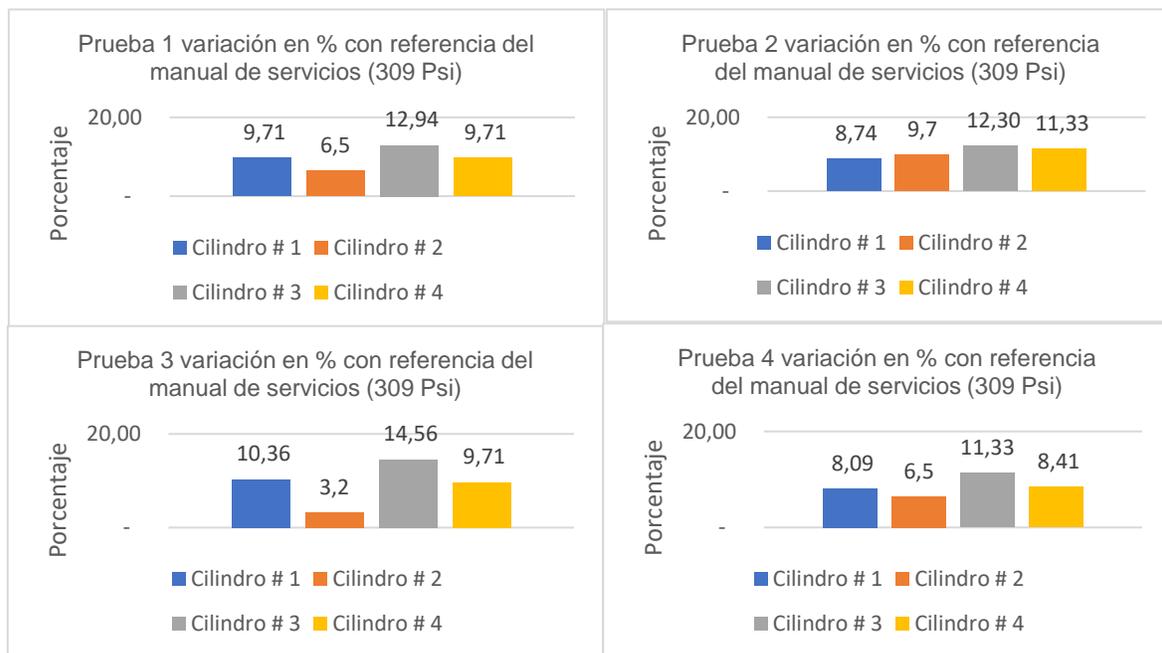


Nota. En las figuras se pueden visualizar la variación de la compresión en la realización de las pruebas con los diversos parámetros de medición.

Al estudiar las gráficas se puede observar un aumento en todos los parámetros, de medición teniendo un incremento de 10 hasta 45 PSI dependiendo del criterio de la prueba realizada.

Figura 110

Gráfica de la comparación con el dato de 309 PSI

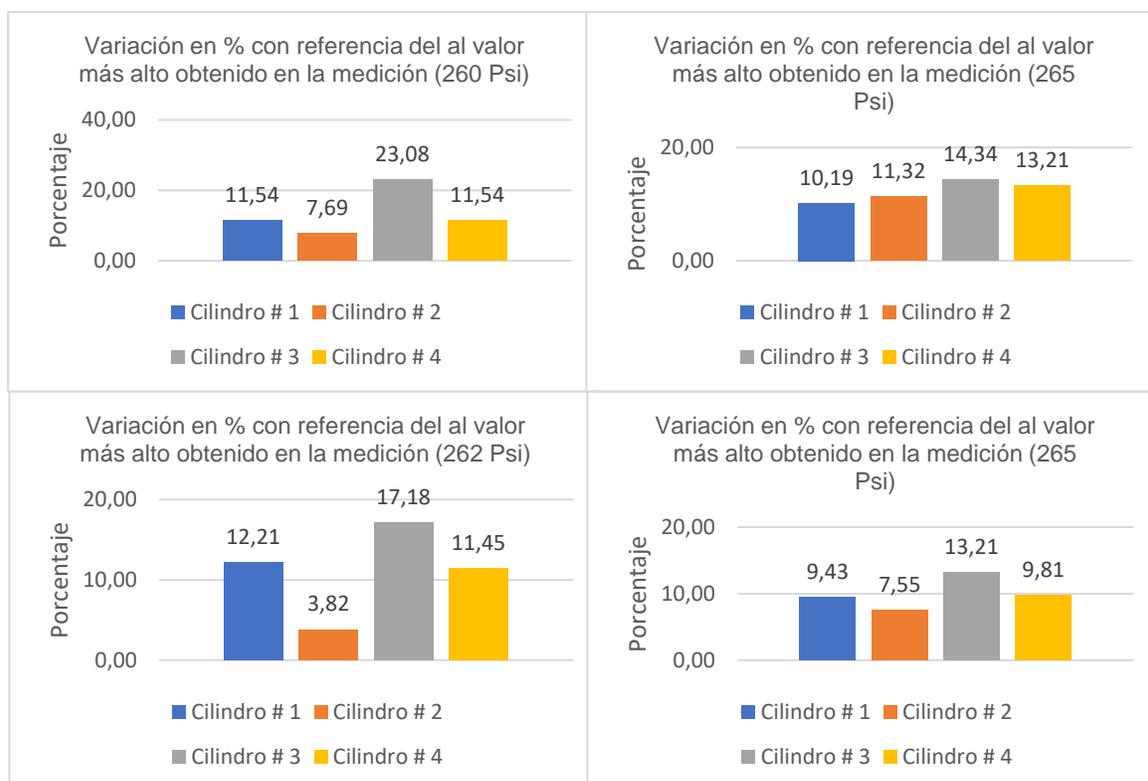


Nota. En las figuras se muestran los resultados de las mediciones relacionándola con el valor descrito con el manual de servicios.

En la gráfica se puede distinguir los valores de incrementos en la comparación de la compresión de 309 PSI, determinada por el manual de servicios analizadas con el proceso previo a la descarbonización y después de su ejecución.

Figura 111

Gráfica de los resultados del proceso de investigación con el valor más elevado de compresión



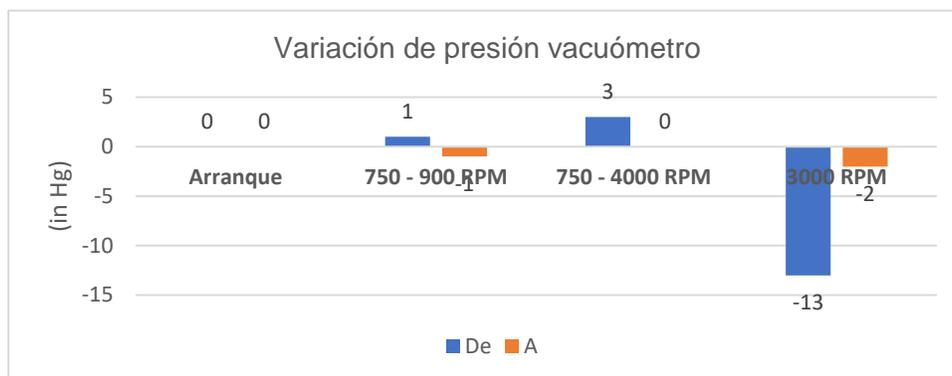
Nota. En las figuras se observa la variación expresada en porcentaje del valor más elevado obtenido en el proceso de medición.

Al analizar las gráficas se puede observar una elevación en los valores de presión de compresión de los cilindros teniendo la comparación entre los valores medidos, previamente de la utilización del método no invasivo de descarbonización con los datos posteriores del proceso.

A continuación, se presenta los resultados de los valores obtenidos en la prueba de vacío en los distintos vehículos de ensayo.

Figura 112

Gráfica de la alteración de la pluma del vacuómetro en el vehículo de ensayo 1

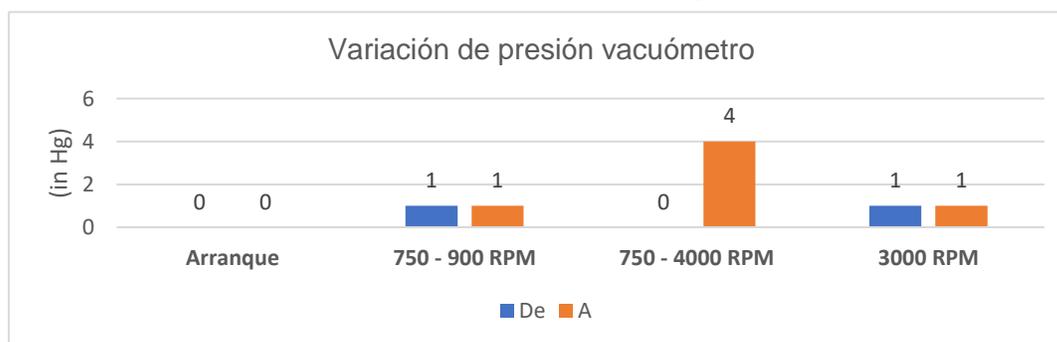


Nota. En la figura se visualiza la fluctuación en los parámetros de mediciones.

En la prueba de arranque como se puede observar después del proceso de descarbonización no se produjo, ninguna variación manteniendo el estado bueno del vehículo. De 750 a 900 RPM de una indicación de un resultado de un motor en buen estado. También se nota que de 750 a 4000 RPM indicando que el motor se encuentra muy bien. Además, a 3000 RPM de igual manera un muy buen estado del motor

Figura 113

Gráfica de la variación del vacuómetro del vehículo de ensayo 2



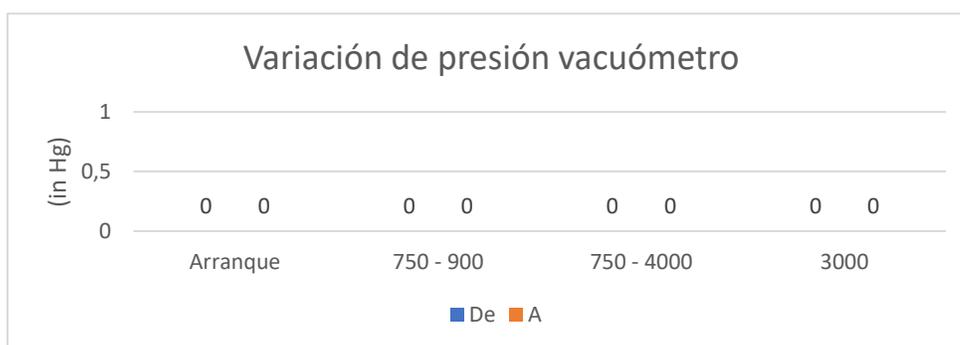
Nota. En la figura se observa la modificación de los valores de la pluma al realizar las pruebas en el proceso de descarbonización.

En la gráfica de la variación del vacuómetro se puede analizar en el proceso de descarbonización del vehículo, en el cual se visualiza que en el parámetro de arranque se mantiene en un buen estado del motor. A 750 a 900 RPM se mantiene en un motor en buen estado. También de 750 a 4000 revoluciones por minuto conserva su buen estado del motor. Y en 3000 RPM se queda en una índole de un estado bueno del motor.

Resultados vehículos de ensayo 3.

Figura 114

Gráfica de la modificación generada en el proceso de investigación de la prueba realizada



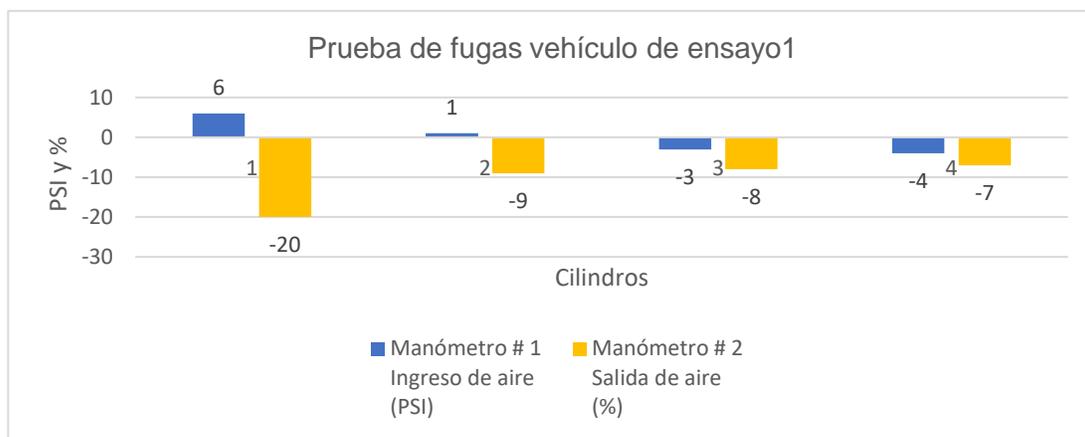
Nota. En la figura se observa la alteración de las mediciones obtenidas con el instrumento de medición vacuómetro.

Como se manifiesta en la gráfica después de realizarse el proceso de descarbonización y empleando los respectivos parámetros, de medición no se notó una variación en la pluma del vacuómetro manteniéndose en 20,5 in Hg entendiéndose que el motor se encuentra en buenas condiciones.

Variación de las mediciones realizadas en la prueba de fugas a los vehículos de ensayo empleados en la investigación.

Figura 115

Gráfica de la variabilidad de los manómetros en el proceso de medición

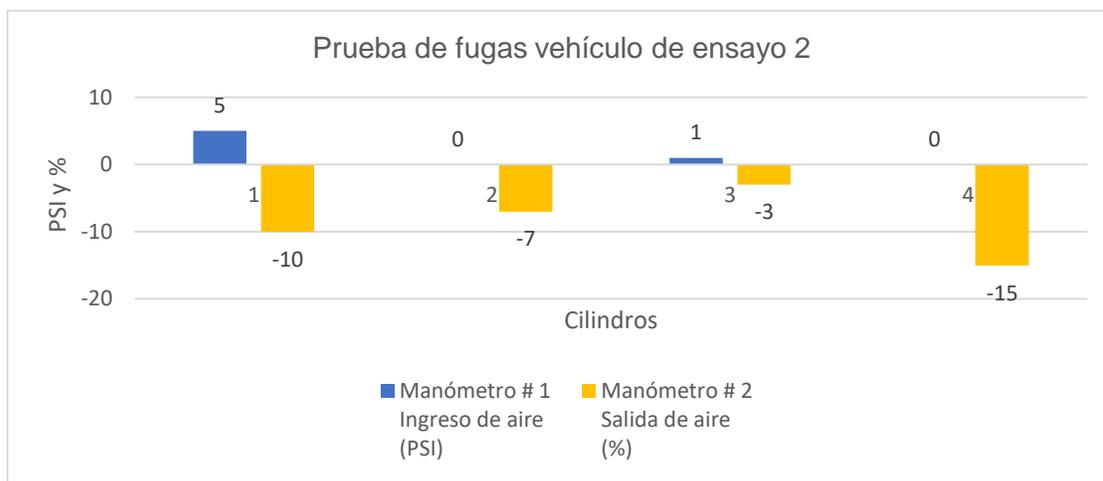


Nota. En la figura se observa la di referencia en los valores de ingreso y de salida en el equipo de medición en el vehículo de ensayo 1.

Al comparar la gráfica se puede visualizar en el cilindro 1 se ve un aumento de 6 Psi, al ingreso y una reducción del 20% con un 40% en el manómetro de salida de aire, acercándose a un estado LOW o bajo mostrando una mejoría. En el cilindro 2 se observa un incremento de 1 Psi de entrada y una reducción de 9 Psi manteniéndose en una condición de moderada con una mejora de 52 a un 43%. Además, en el cilindro 3 si nota una disminución de la presión suministrada de 3 PSI y de un 8%, pasando de un 48% a 40% aproximándose a LOW que sería un mejor estado en el motor. De la misma manera en el cilindro 4 se produce una reducción de 4 PSI y 7% llegando a un valor de 45% estado en valor moderado.

Figura 116

Gráfica de las modificaciones producidas en las mediciones realizadas

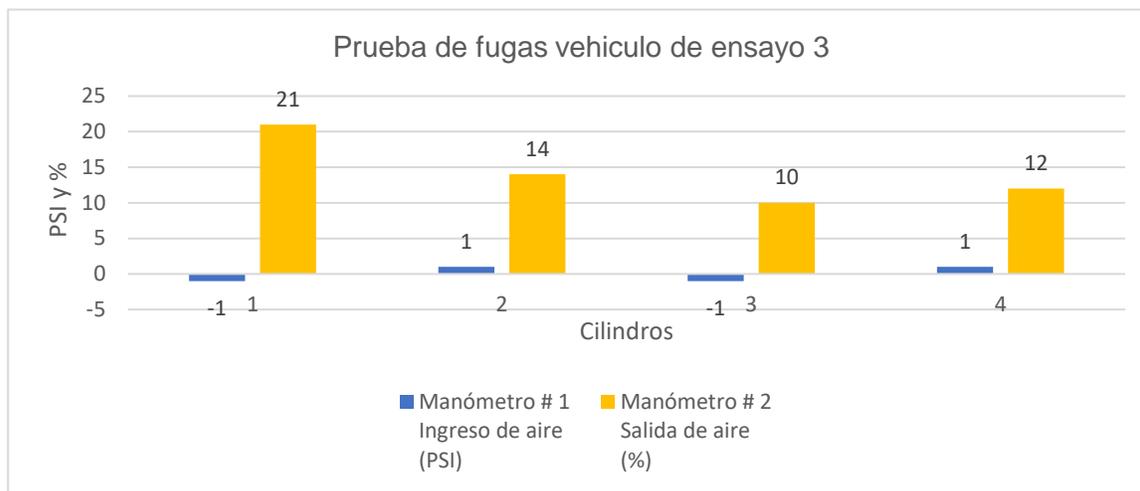


Nota. En la figura se visualiza la alteración de los valores obtenidos en el vehículo de ensayo 2.

En la gráfica se puede analizar en el cilindro #1 se observa un incremento en la presión de ingreso en 5 PSI y una disminución en la salida de 10%, dando un resultando del 38% estando de LOW que es bajo notando, una mejoría del motor ya que antes estaba en moderado. En el cilindro #2 la presión es de entrada es la misma y se denota una reducción del 7% llegando a un 47%, estando en moderado. Además, en el cilindro #3 se aumenta en 1 PSI y un decrecimiento 3% llegando al 42% siendo moderado. Por último, en el cilindro #4 se mantuvo la presión de entrada y se produjo una disminución en la salida de 15% manteniéndose un rango moderado al pasar de 65 a 50 %.

Figura 117

Gráfica fluctuación de las mediciones en el vehículo de ensayo 3



Nota. En la figura se observa las modificaciones ocasionadas en el proceso de descarbonización del vehículo.

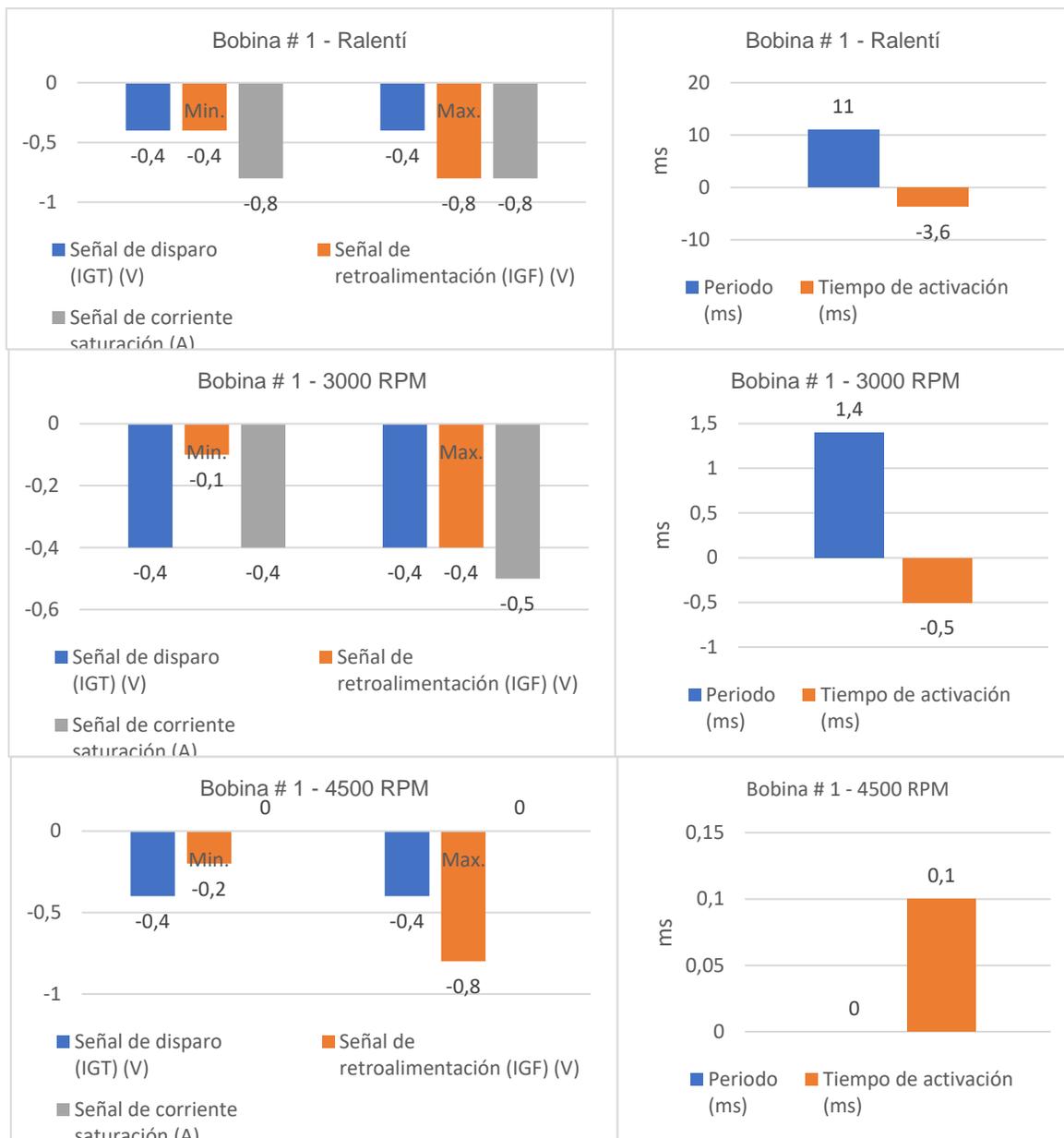
En la gráfica se puede notar un aumento en los valores de salida en los cuatro parámetros, medidos manteniéndose en un estado moderados a excepción del cilindro #1 que al inicio tenía un valor de 39 al 60% pasando a moderado.

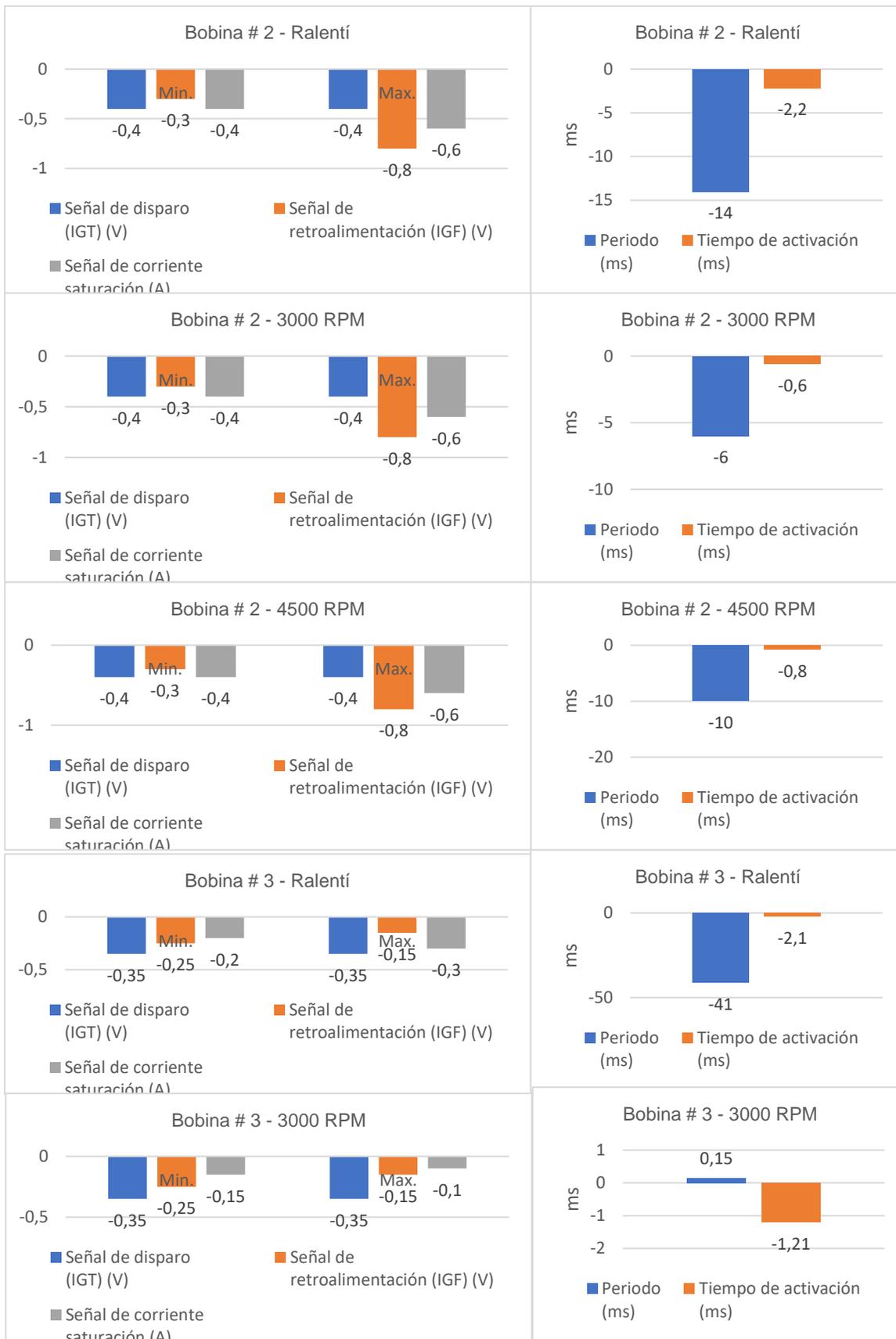
Análisis de los resultados de los oscilogramas de los vehículos de ensayo 1 y 2.

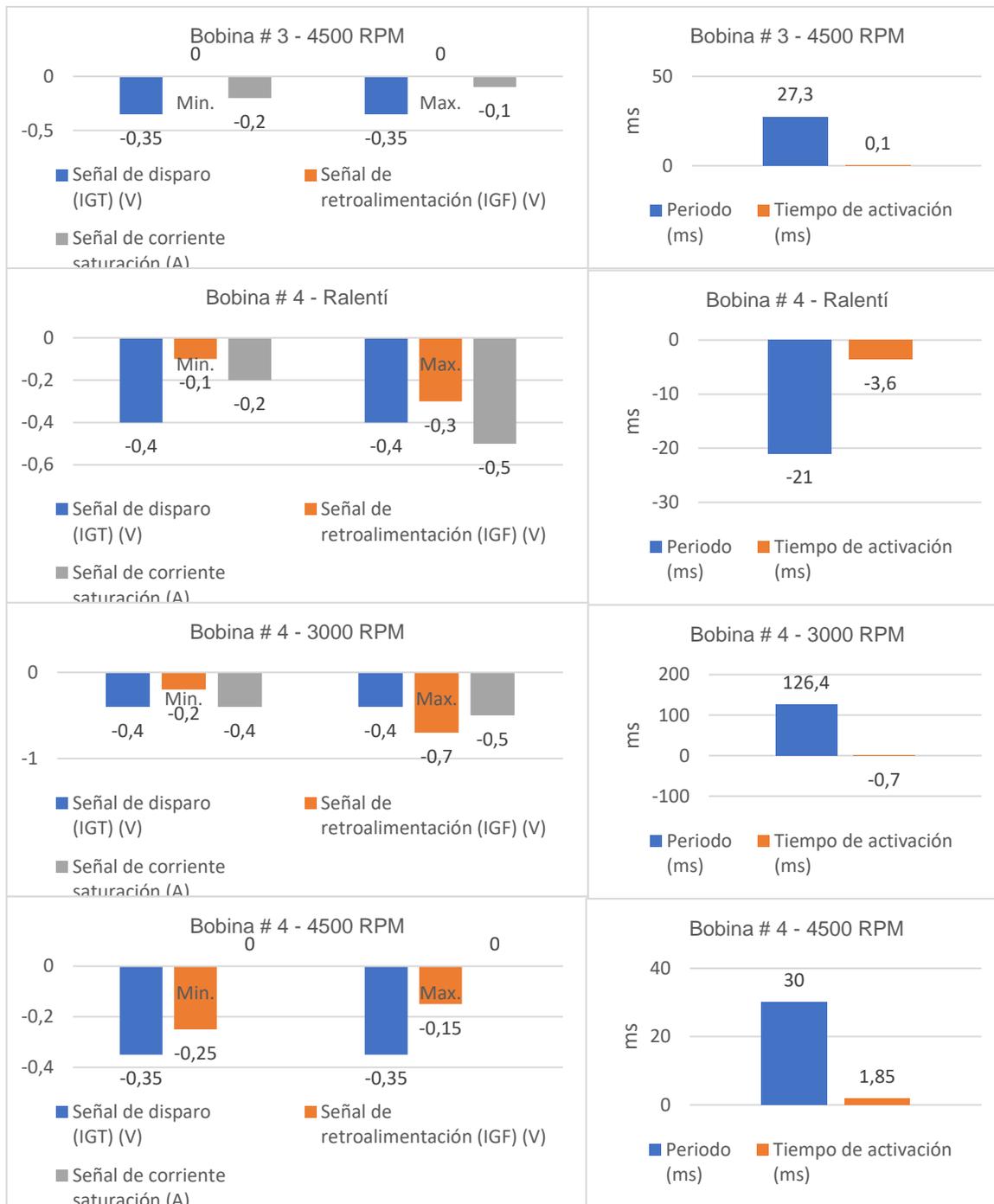
Datos vehículo de ensayo 1.

Figura 118

Gráfica de la alteración de los valores obtenidos en las mediciones de los oscilogramas







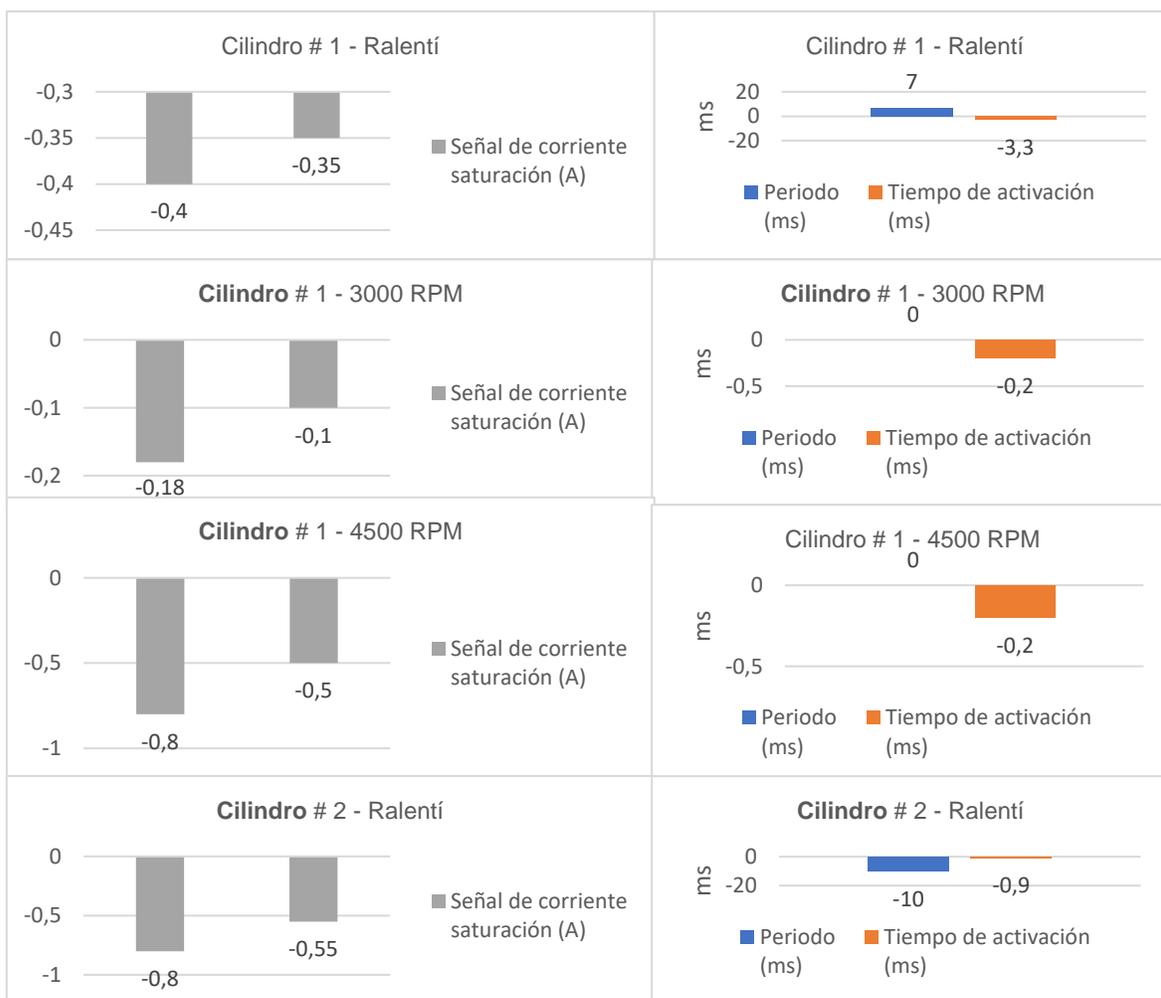
Nota. En la figura del lado izquierdo se pueden observar las señales IGT, IGF y de corriente de saturación y del lado derecho se puede visualizar los valores del periodo y del tiempo de activación.

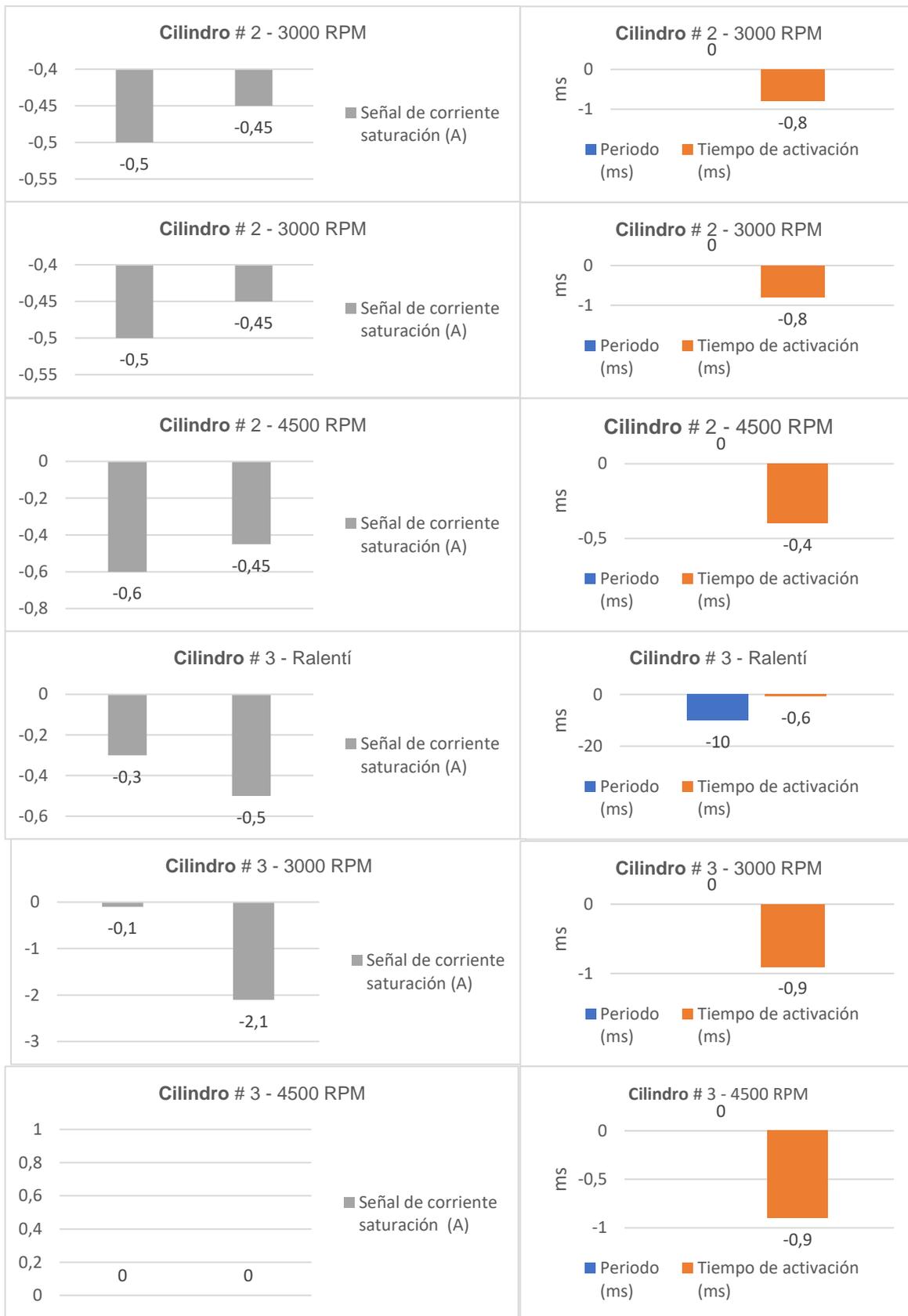
Al estudiar las gráficas se puede notar una disminución en la cantidad de voltaje y amperaje suministrado, tanto en los valores mínimos como en los máximos. Además, en la mayoría de los casos de las bobinas, en el periodo y el tiempo de activación han disminuidos, entendiendo que la inducción en el primario se está produciendo de una manera más rápida, como resultado el arco eléctrico del secundario se realice en menos tiempo.

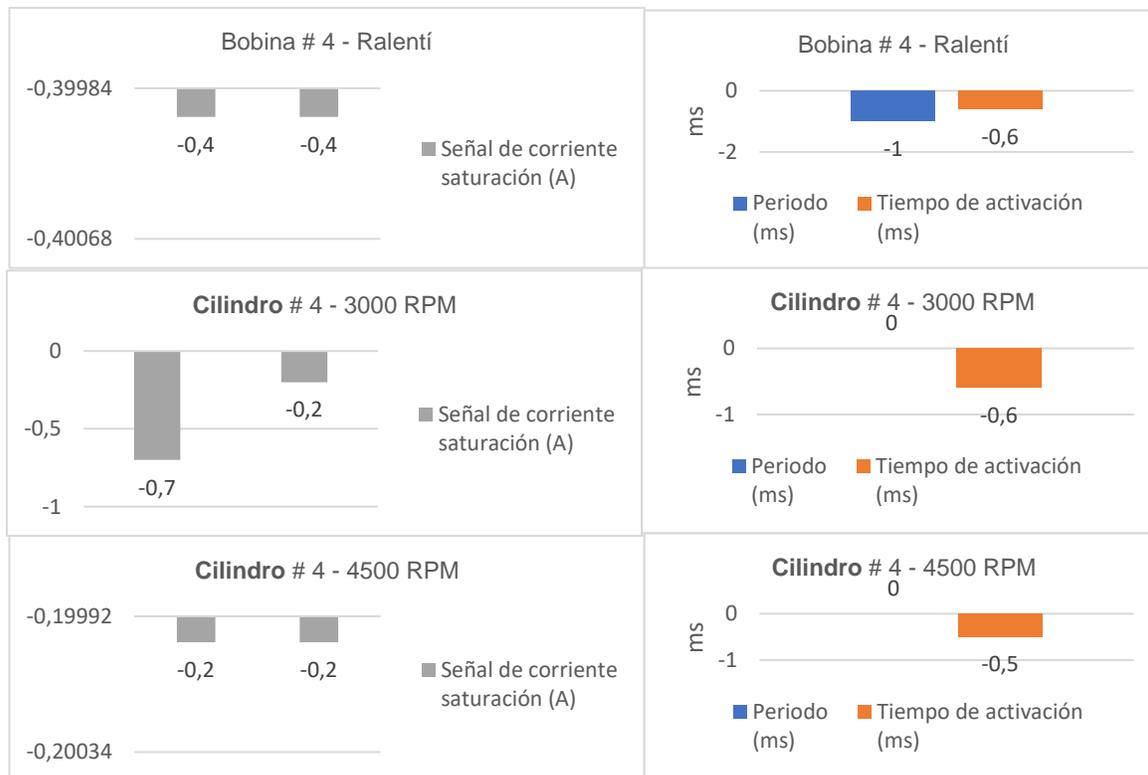
Datos vehículo de ensayo 2.

Figura 119

Gráfica de las modificaciones presentadas en los valores de los oscilogramas







Nota. En la figura de la izquierda se puede visualizar el valor de la señal de corriente saturada y en la derecha el periodo y el tiempo de activación.

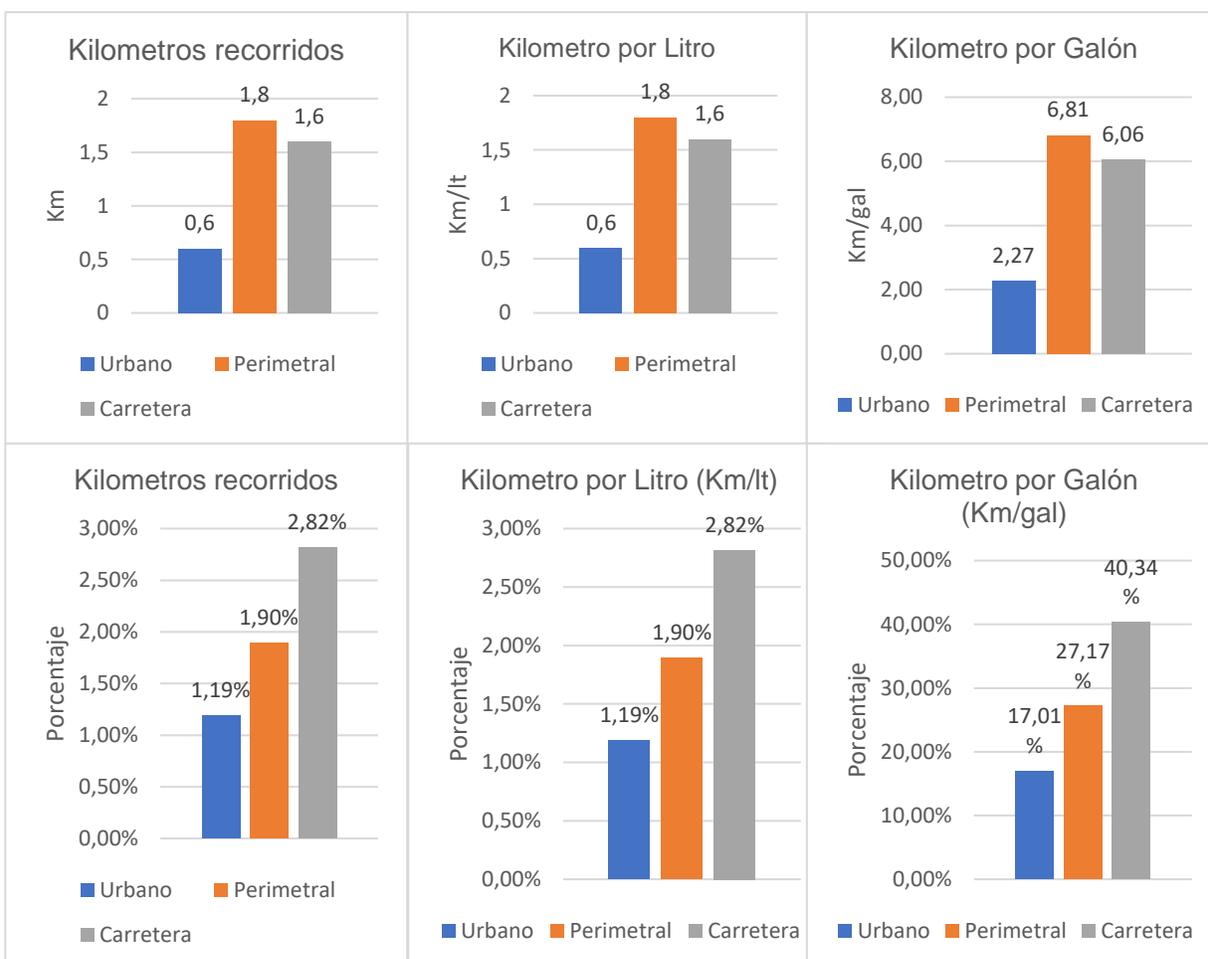
Al analizar las gráficas se nota una disminución de los amperajes tanto en los valores, mínimos y máximos en la señal de corriente de saturación. Además del periodo y del tiempo de activación mejorando las condiciones, en el proceso un mejor encendido en la chispa la combustión de la mezcla de combustible.

Análisis de los valores obtenidos en la prueba realizada de consumo de combustible en los vehículos empleados en la investigación.

Valores del vehículo de ensayo 1.

Figura 120

Gráfica de las variaciones en función de los resultados obtenidos

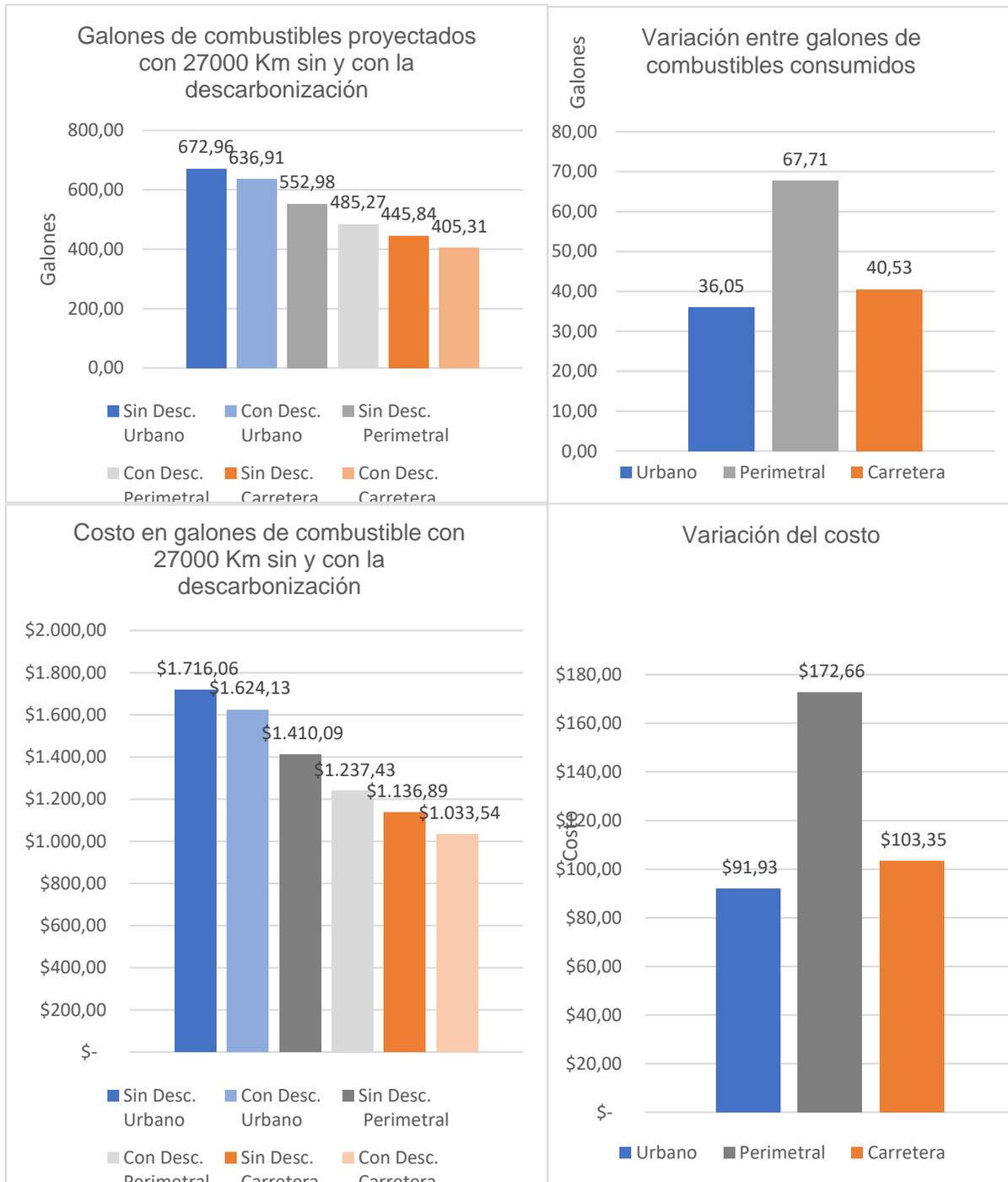


Nota. En las figuras se muestran los resultados obtenidos en los diferentes recorridos establecidos para las mediciones.

Del análisis de las gráficas, indican que en todas las rutas establecidas se obtuvo un aumento en el rendimiento del vehículo relacionados con el consumo de combustible.

Figura 121

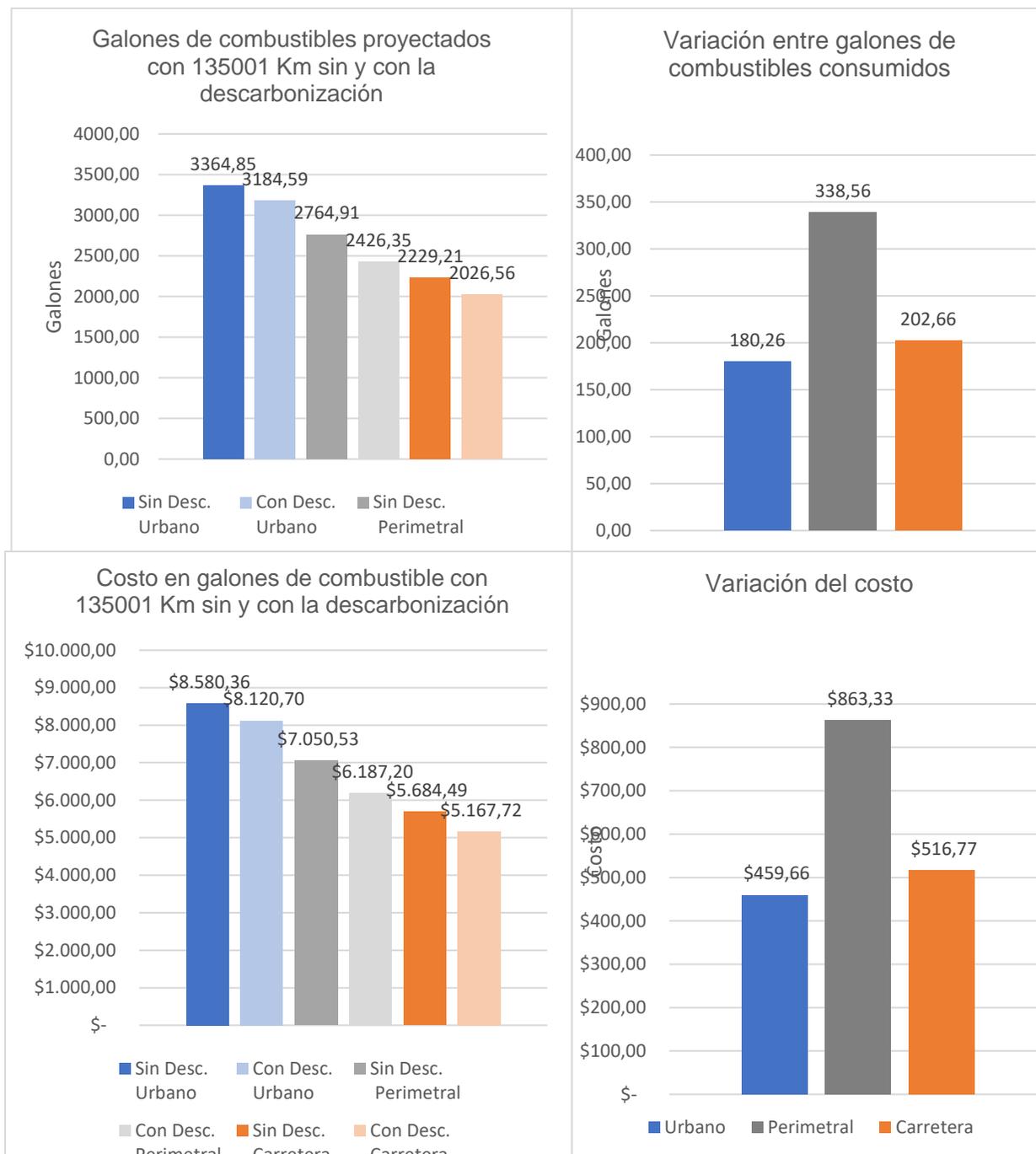
Gráfica de los valores proyección para 27000 Km que es recorrido máximo en un año



Nota. En la figura se observa en la parte superior los galones consumidos de combustible, en la posición inferior los costos relacionados sin y con la aplicación del método de limpieza por HHO.

Figura 122

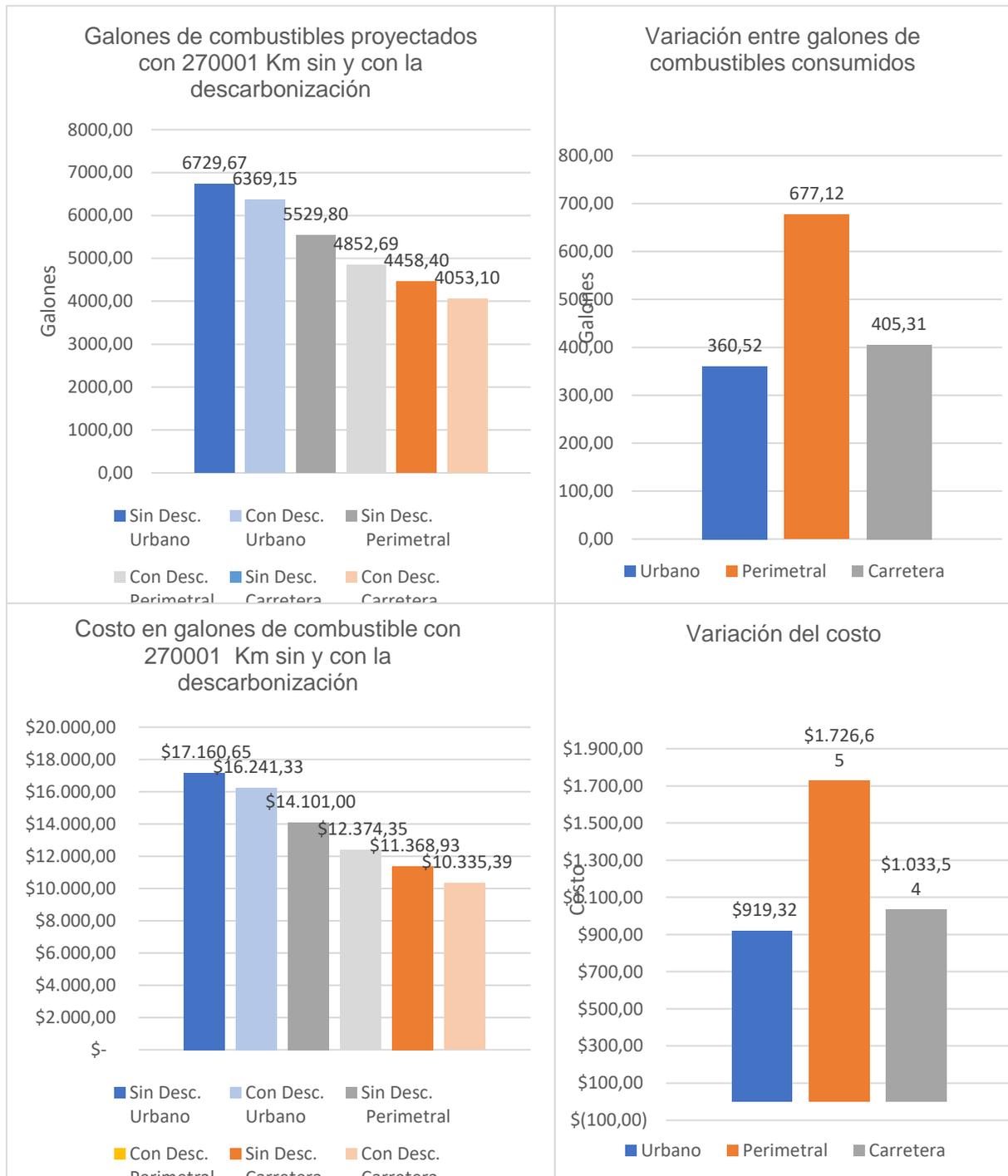
Gráfica de 135001 kilómetros máximo recorridos en cinco años



Nota. En la figura se visualizan los valores calculados tanto del consumo en galones como el costo.

Figura 123

Gráfica de la evaluación con 270001 kilómetros recorrido máximo en diez años

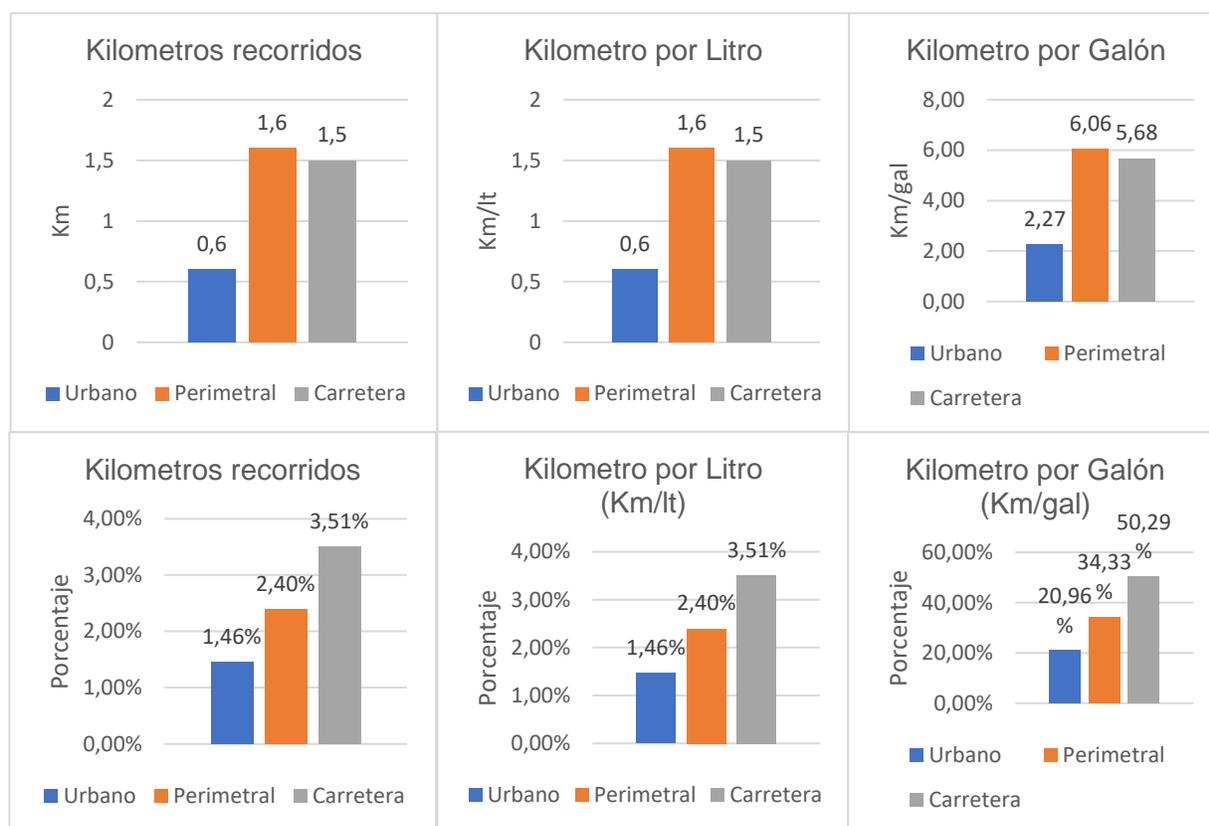


Nota. En la figura se observa los resultados de las proyecciones considerando el consumo en galones y el costo.

Datos relacionados al vehículo de ensayo 2.

Figura 124

Gráfica de la diferencia entre los parámetros de la ejecución de la prueba



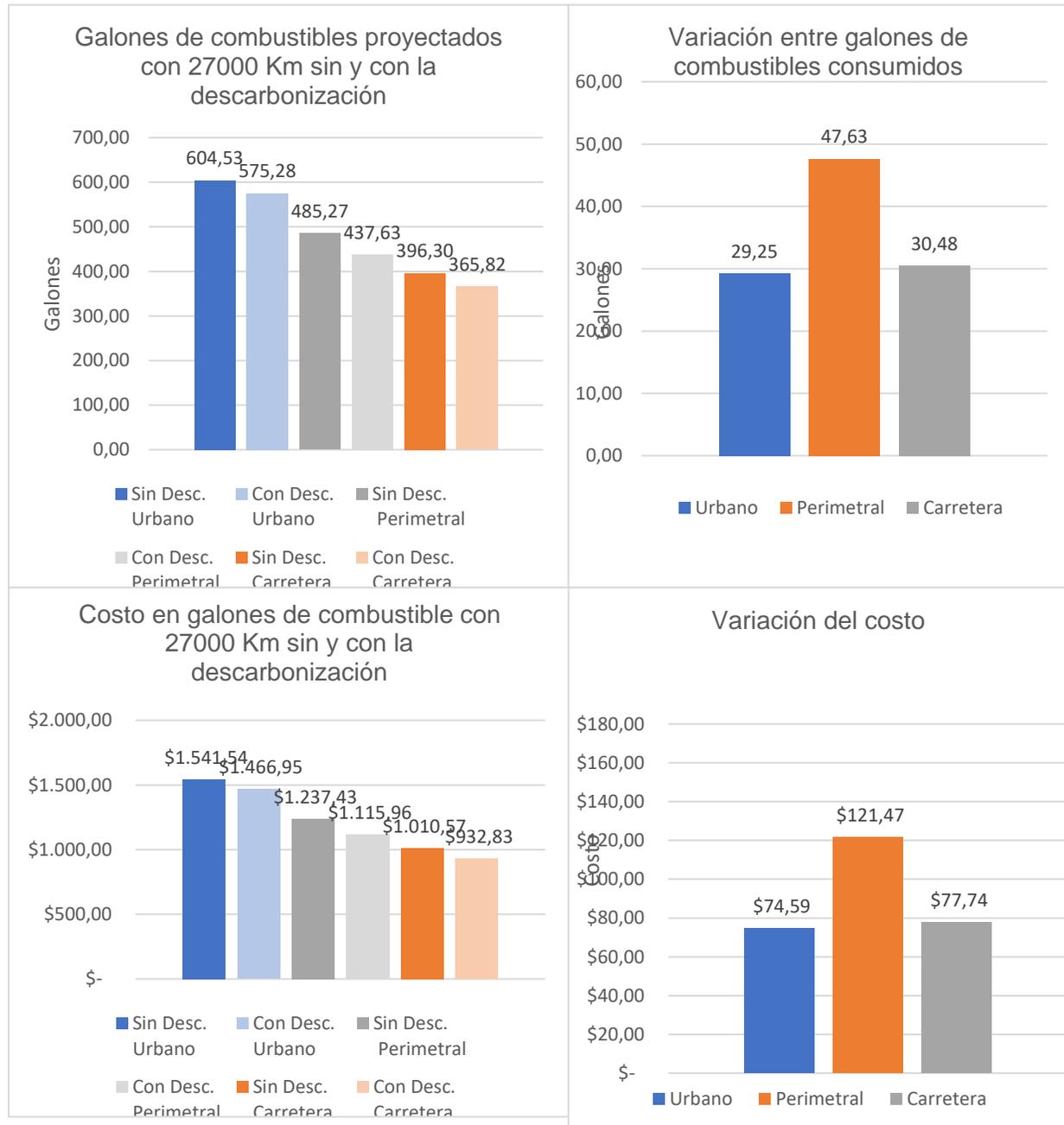
Nota. En la figura se observa los resultados obtenidos de la alteración generada en el pre y post tratamiento de descarbonización.

Al comparar los valores de las gráficas se puede denotar una mejoría en la cantidad, de kilómetros recorridos y una reducción en las mediciones del consumo, de combustible en todas las rutas realizadas.

Posteriormente se muestra los valores obtenidos en una proyección sin la ejecución del método y después de realizarla.

Figura 125

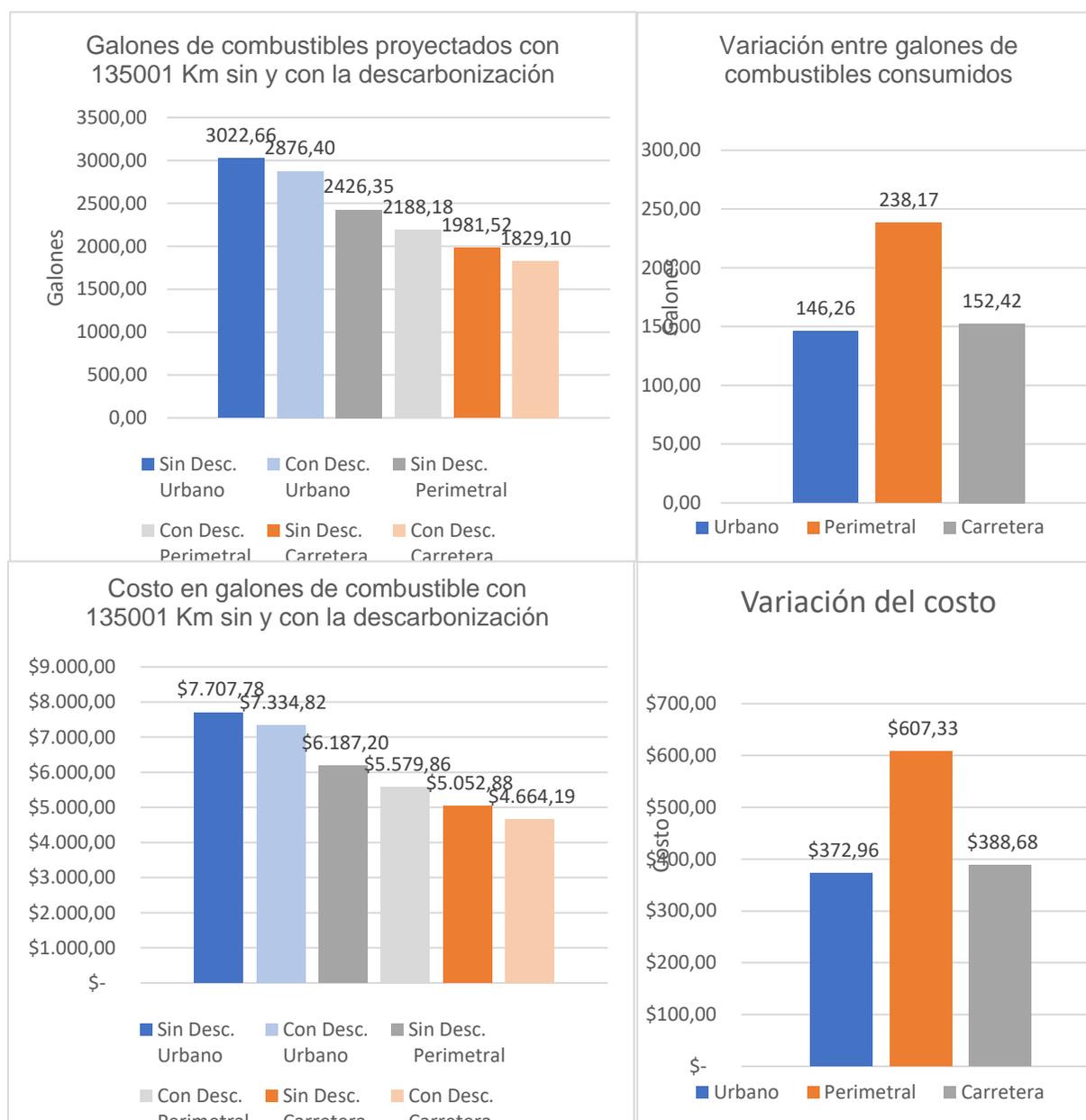
Gráfica de la proyección del consumo de combustible para un año a 27000 Km



Nota. En la figura se puede observar la representación de los valores al no realizar el método de descarbonización y en el caso de ser realizada.

Figura 126

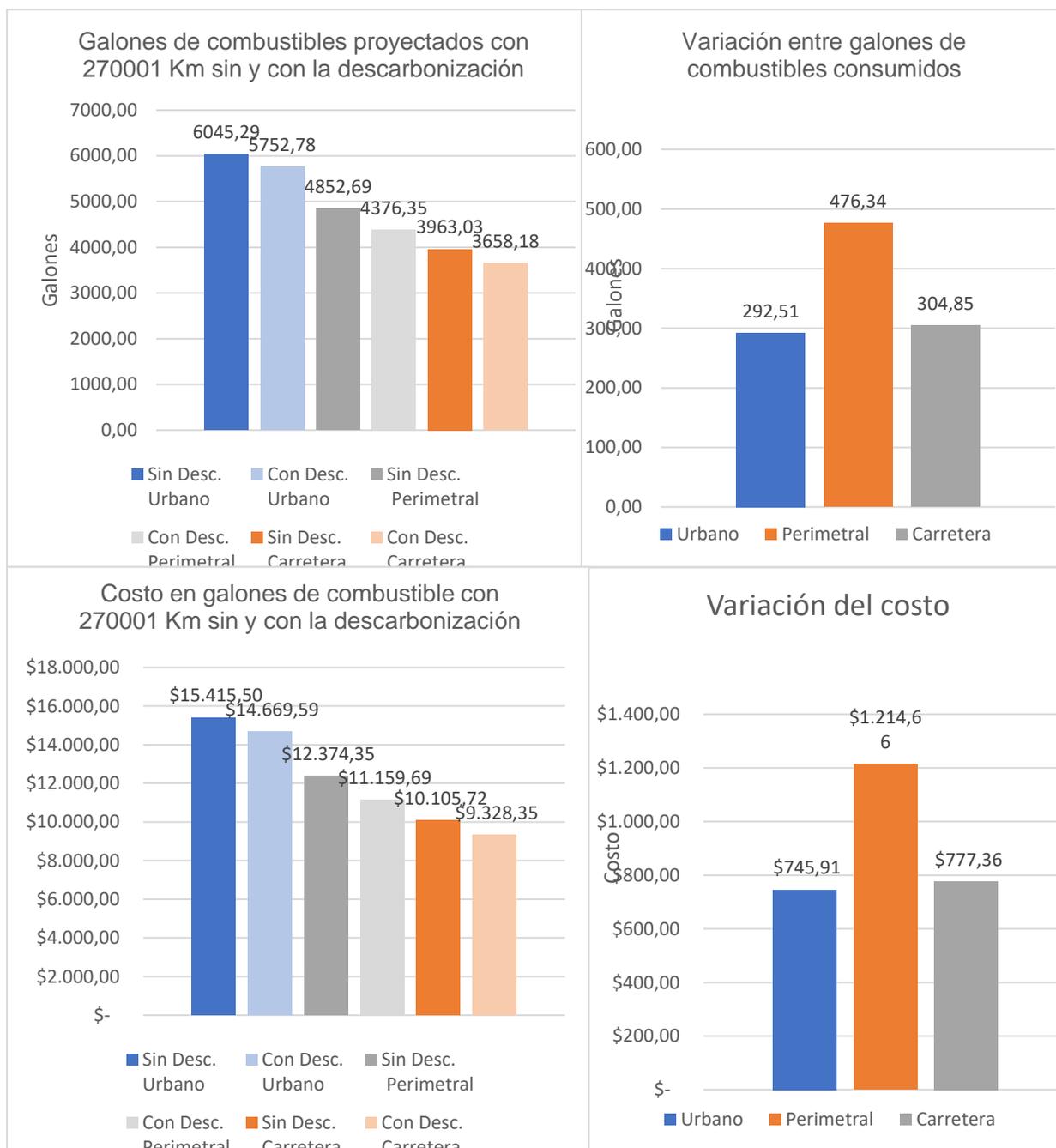
Gráfica de 135001 kilómetros de recorrido en cinco años



Nota. En la figura se observa la evolución de los valores de consumo evaluados sin la realización y con el proceso de descarbonización no invasivo.

Figura 127

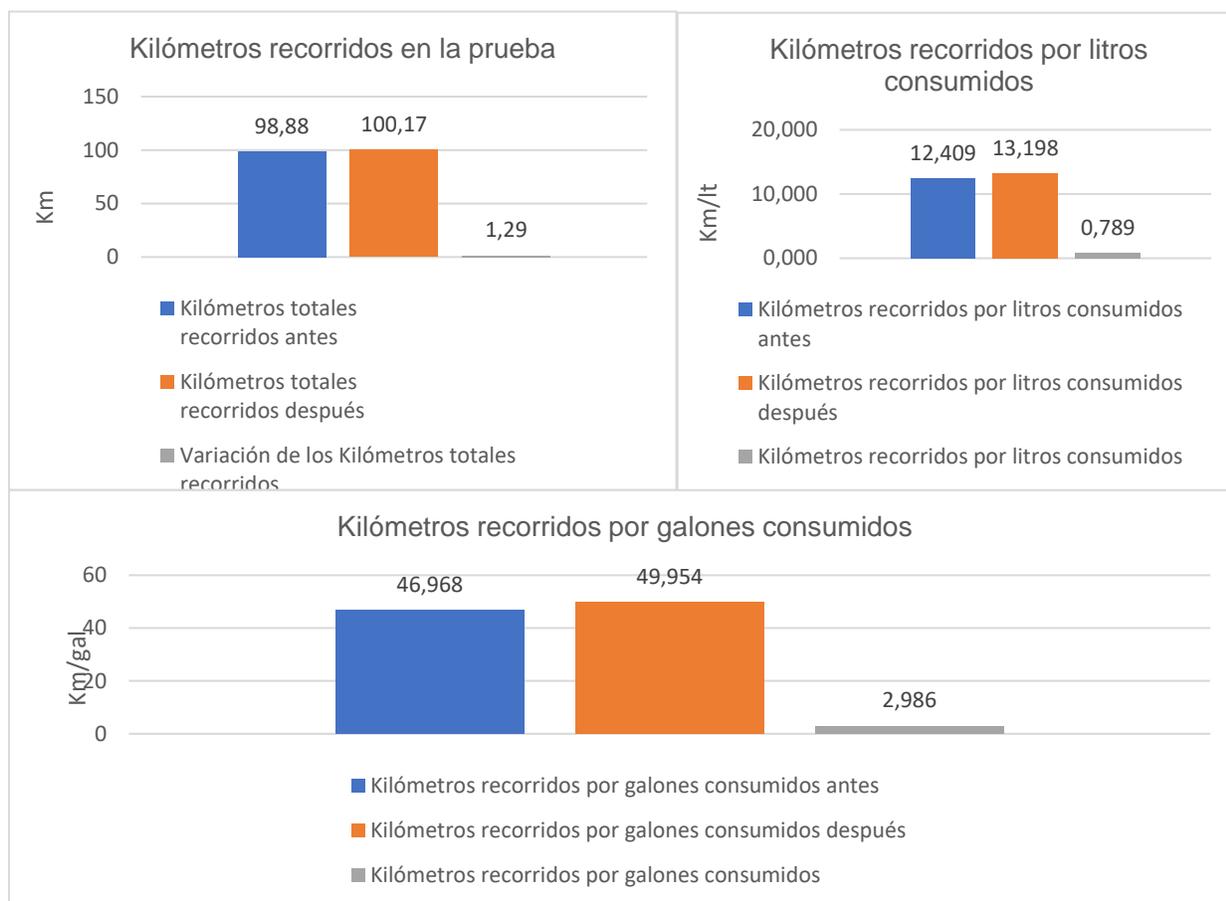
Gráfica de estipulación de kilómetros y galones en un periodo de diez años



Nota. En la figura se visualiza los valores de consumo en un recorrido de 270001 kilómetros teniendo en consideración la no aplicación del método y la utilización de la misma.

Figura 128

Gráfica de la alteración en los valores medidos del vehículo de ensayo 3

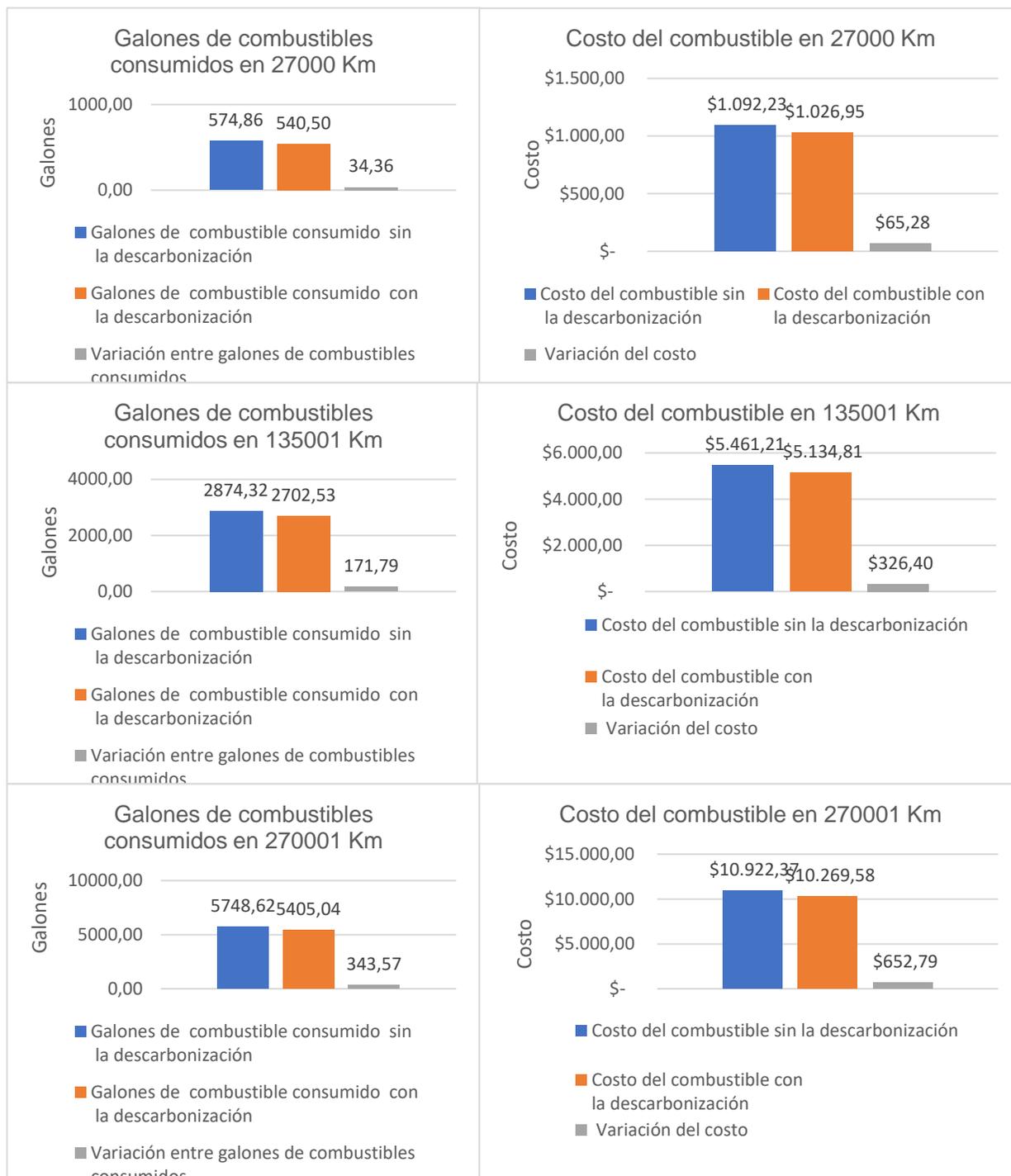


Nota. En las figuras se pueden ver los diversos parámetros de mediciones de los kilómetros, kilómetros por litros y kilómetros por galón con la respectiva variación en cada uno de sus parámetros.

Al observar las gráficas se puede notar un mejor rendimiento en el consumo de combustible, en la ruta establecida en la realización de la prueba tanto en lo que son Kilómetros por litro y por galón.

Figura 129

Gráfica de la variación considerando 27000, 135001 y 270001 kilómetros



Nota. En la figura se visualiza los valores de consumo de combustible teniendo en consideración 1, 5 y 10 años sin la realización de la limpieza y con la descarbonización.

Matemático

Se presentan los valores del caudal de inyección determinado para cada cilindrada, de un automóvil desde los 800 hasta los 3500 cc, en intervalos de 100 centímetros cúbicos y el tiempo de ejecución para todos los casos está estipulado en 20 minutos.

Tabla 143

Valores de suministración de caudal para diversos motores de combustión interna

| Cilindraje (cc) | Caudal (L/h) |
|----------------------------|-------------------------|
| 800 | 126.32 |
| 900 | 130.27 |
| 1000 | 134.22 |
| 1100 | 138.16 |
| 1200 | 142.11 |
| 1300 | 146.06 |
| 1400 | 150 |
| 1500 | 153.95 |
| 1600 | 157.90 |
| 1700 | 166.67 |
| 1800 | 175.44 |
| 1900 | 184.21 |
| 2000 | 192.98 |
| 2100 | 201.76 |
| 2200 | 210.53 |
| 2300 | 219.30 |
| 2400 | 228.07 |
| 2500 | 236.84 |
| 2600 | 243.16 |
| 2700 | 249.47 |
| 2800 | 255.79 |
| 2900 | 262.10 |
| 3000 | 268.42 |
| 3100 | 274,74 |
| 3200 | 281.05 |
| 3300 | 287.37 |
| 3400 | 293.64 |
| 3500 | 300 |

Nota. En la tabla se observan el caudal necesario de inyección de oxihidrógeno desde los 800 hasta los 3500 cc con el tiempo de ejecución de la prueba.

Capítulo V

Marco administrativo

Recursos.

El desarrollo del tema de “INVESTIGACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL MÉTODO DE LIMPIEZA NO INVASIVO POR DESCOMPOSICIÓN DEL AGUA POR ELECTROLISIS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA” empleo los recursos humanos, tecnológicos y materiales.

Recursos Humanos

En la tabla se puntualiza los recursos humanos que conformaron parte en el desarrollo del proyecto de investigación.

Tabla 144

Recursos humanos

| Orden | Detalle | Cantidad | Función |
|--------------|------------------------------------|-----------------|------------------------------------|
| 1 | Sr. Marco Santiago Chiluisa Tirado | 1 | Investigador |
| 2 | Ing. Leonidas Antonio Quiroz Erazo | 1 | Director del trabajo de titulación |

Nota. La tabla muestra los recursos humanos que fueron parte en el proceso de realización del trabajo de investigación.

Recursos Tecnológicos

Los recursos tecnológicos fueron permitieron obtener datos para el análisis comparativo de los resultados obtenidos en la ejecución del proyecto desarrollado.

Tabla 145*Recursos tecnológicos equipos*

| Equipos | Descripción |
|--|---|
| Analizador de gases AGS -688 | Determina el porcentaje de los gases en un sistema escape |
| Tacómetro de RPM y temperatura MGT - 300 | Registro de revoluciones y temperatura para motores diésel y gasolina |
| Dinamómetro de rodillos Sáenz BPVI | Medidor de torque y de la potencia en un vehículo |
| Analizador de motores GTC 505 | Medición del rendimiento de los sistemas de encendido por chispa |
| Opacímetro 57-220 | Mide el porcentaje de opacidad en los sistemas de escape en vehículos a diésel. |
| Compresómetro | Indicador de la compresión en los cilindros de los motores en los vehículos |
| Vacuómetro | Medidor de la aspiración en el motor empleado en el diagnostico de posibles averías |
| Osciloscopio Hantek DS01102B | Permite la medición de corriente, voltaje y posee dos canales. |
| Pinza amperimétrica | Trabaja con una corriente de hasta 60A, permitiendo una conversión de 100 mV/A |
| Multímetro | Verificación de la tensión y la continuidad en los circuitos |

Nota. En la tabla se visualizan los recursos tecnológicos en función de los equipos utilizados en el transcurso de la investigación.

Tabla 146*Recursos tecnológicos software*

| Software | Descripción |
|---|---|
| Software para el análisis de gases | Funciona conjuntamente con el equipo de análisis de gases |
| Software de ensayo de Torque – Potencia | Actúa simultáneamente con el dinamómetro |
| Programa de opacímetro | Opera paralelamente con el opacímetro |
| Software Arduino | Empleado para la programación del módulo ESP32 |
| Simulador para circuitos | Utilizado en el desarrollo de circuitos |
| Simulador sistemas hidráulicos y neumáticos | Diseño de los sistemas hidráulicos y neumáticos |

| Software | Descripción |
|---------------------|--|
| Programas de Office | Creación de hojas de cálculo y documentos de escritura |

Nota. En la tabla se visualiza los recursos tecnológicos sobre los softwares utilizados para la realización del tema de investigación.

Recursos Materiales

Los recursos materiales empleados en el proceso de la investigación se los procederá a detallar en la tabla 147:

Tabla 147

Recursos materiales

| Cantidad | Descripción |
|-----------------|-------------------------------|
| 1 | Plancha de madera de tipo MDF |
| 4 | Botones |
| 1 | Voltímetro digital circular |
| 1 | Contactador |
| 1 | Interruptor |
| 1 | Generador de hidrogeno |
| 4 | Acoples rápidos |
| 1 | Pantalla LCD |
| 1 | Módulo ESP32 |
| 1 | Interruptos |
| 5 | Metros de cable AWG 12 |
| 1 | Bomba de diafragma |
| 3 | Metros de manguera de aire |
| 1 | Filtro cónico |
| 10 | Materiales adicionales |

Nota. En la tabla se visualizan los recursos materiales para la fabricación del equipo prototipo de descarbonización por oxihidrógeno.

Presupuesto.

El presupuesto que se empleó para el cumplimiento del proyecto de investigación es de \$1500 el cual se lo detallara a continuación en la tabla 150.

Tabla 148*Presupuesto*

| Orden | Detalle | Cantidad | Costo unitario | Costo total |
|--|--|-----------------|-----------------------|--------------------|
| Construcción del Prototipo – Equipo | | | | |
| 1 | Estructura del equipo | 1 | \$ 80 | \$ 80 |
| 2 | Sistema electrónico y panel de control | 1 | \$ 70 | \$ 70 |
| 3 | Sistema eléctrico | 1 | \$ 40 | \$ 40 |
| 4 | Sistema hidráulico y neumático | 1 | \$ 280 | \$ 280 |
| 5 | Programación del módulo | 1 | \$ 40 | \$ 40 |
| 6 | GTC 505 | 1 | \$ 280 | \$ 280 |
| Descarbonización por HHO | | | | |
| 1 | Vehículo de ensayo 1 | 1 | \$ 60 | \$ 60 |
| 2 | Vehículo de ensayo 2 | 1 | \$ 60 | \$ 60 |
| 3 | Vehículo de ensayo 3 | 1 | \$ 60 | \$ 60 |
| Pruebas | | | | |
| 1 | Compresión | 6 | \$ 5 | \$ 30 |
| 2 | Fugas | 6 | \$ 10 | \$ 60 |
| 3 | Vacío | 6 | \$ 5 | \$ 30 |
| 4 | Torque y potencia | 6 | \$ 15 | \$ 90 |
| Imprevistos | | | | |
| 1 | Calibración equipo de opacidad y analizador de gases | 1 | \$ 265 | \$ 265 |
| 2 | Otros | 1 | \$ 30 | \$ 30 |
| TOTAL | | | | \$ 1500 |

Nota. En la tabla se especifica el costo total en el proceso de la realización del proyecto siendo este la suma de la construcción del prototipo, equipo, descarbonización por HHO pruebas e imprevistos como son la calibración de los equipos y otros.

Conclusiones

- Se fundamentó teóricamente la utilización de la tecnología de la limpieza no invasiva en los motores de combustión interna mediante la utilización de referencias bibliográficas confiables, las cuales ayudaron a determinar la factibilidad del proceso de limpieza por oxihidrógeno y de este modo poder recuperar la eficiencia perdida en el motor de combustión interna.
- Al estudiar los métodos de descarbonización no invasivo en los motores de combustión interna de ciclo diésel y gasolina, se pudo entender que la utilización de una técnica de limpieza por oxihidrógeno, en comparación con otros métodos, permite tener una reducción en el tiempo de ejecución y gastos realizados, obteniendo un buen resultado después de su ejecución.
- La acumulación de la carbonilla en un motor de combustión interna se da por la combustión incompleta de la mezcla de la combustión, la baja calidad del combustible y debido a la separación térmica de los hidrocarburos, inclusive en el momento cuando existe una excesiva cantidad de oxígeno.
- Se aplicó y se desarrolló un método de descarbonización para los motores de combustión interna basados en un equipo industrializado al cual se lo ajustó en base al prototipo diseñado que se lo describe en el trabajo de investigación teniendo en consideración un tiempo de ejecución de 20 *min* a una temperatura óptima de funcionamiento del motor aproximadamente entre los 87°C y el caudal esta de inyección de oxihidrógeno “HHO” está determinado para una cilindra que va desde los 800 hasta 3500 centímetros cúbicos tanto para motores con ciclo Otto y Diésel.
- El diseño y la construcción del prototipo de descarbonización se apoyó con la utilización de simuladores para las partes, eléctricas, electrónicas, hidráulica y neumáticas. Además de software para el desarrollo de un programa en beneficio del control de los

parámetros de ejecución de la prueba. De la misma forma herramientas computacionales CAD, permitiendo obtener parámetros de funcionamientos apropiados para el prototipo y unas características estructurales lógicas y dinámicas en su fabricación.

- Al utilizar oxihidrógeno que es una mezcla de hidrogeno atómico y oxigeno atómico, la cual se la determino mediante los parámetros de cilindra de un vehículo basado en las propiedades del equipo industrializado llevándolos a una escala adecuada de funcionamiento del prototipo realizado.
- Al introducir el fluido de oxihidrógeno de una forma externa en el sistema de admisión en los vehículos de ensayo se obtuvo la quema y la eliminación controlada de los residuos internos y de la carbonilla interna que se encontraba alojada en los componentes internos de la maquina térmica pudiéndose visualizar al final de proceso de la descarbonización en pequeñas gotas de agua con residuos de carbonilla que salían por el sistema de escame de los automóviles involucrados en la investigación.
- Al analizar la incidencia en el rendimiento del motor de combustión después del método de descarbonización no invasivo se pudo denotar una mejoría en los sistemas eléctricos, electrónicos como mecánicos que se pudo observar en las pruebas realizadas a los tres vehículos de ensayo a excepción del vehículo de ensayo 3 que tuvo un retroceso en la prueba de fugas, pero manteniéndose en un estado moderado detallados en el trabajo de investigación.
- Al ejecutar el ensayo de Torque – Potencia en comparación con el antes y después se puede notar en el vehículo de ensayo 1 un aumento de la potencia de 114,9 a 115,9 HP, pero produciendo un incremento de las RPM donde se produjeron de 6600 a las 7000 y en el caso del torque se disminuyó de 11,6 a 10,8 Kg.m manteniendo las 3000 revoluciones por minutos. En el vehículo de ensayo 2 se observó una reducción de 45 a

44 HP, con una reducción en el régimen de giro de 4000 a 3800, el torque presenta un decrecimiento de 9,5 a 8,9 Kg.m en regímenes de giro de 2600 a 3000 respectivamente. Y por último en el vehículo de ensayo se mantuvo con 72 HP con una variación de RPM de 3800 a 4000 y en el torque hubo una pérdida de 0,7 kg.m en el mismo régimen de revoluciones de 2600.

- En el consumo de combustible se puede observar una mejora en el rendimiento en los kilómetros recorridos entre 0,6 a 1,8 Km, en los kilómetros por litros de 0,6 hasta 1,8 y en kilómetros por galón de 2,27 hasta 6,81 establecidos en los diferentes recorridos realizados en el caso de los vehículos de ensayo 1 y 2. En el Vehículo de ensayo 3 se nota una mejoría de 0,789 *Km/lt* y 2,986 *Km/gal* en el recorrido realizado. Además, se realizó proyecciones gráficas para recorridos de uno, cinco y diez años especificados en la investigación.
- En el caso del vehículo de ensayo 1 se nota una reducción en la señal del secundario (KV), tiempo de quemado (ms) y de rampa (ms) en 0,65, 0,20 y 0,20 respectivamente notándose una mejora en el tiempo de quemado llegando una mejora en tiempo de quemado aproximándose a los valores de 1 a 1,7 ms óptimos de funcionamiento de igual manera sucede en el vehículo de ensayo 2. En los oscilogramas de los dos vehículos se puede notar una manera más eficaz como resultado que la chispa del secundario se realice en una menor cantidad de tiempo.
- En las emisiones contaminantes en comparación con la normativa NTE INEN 2204 en los casos de los vehículos de ensayo 1 y 2 a gasolina con parámetros de HC y CO de valor máximo permitido es de 200 y 750 (ppm) y de 1 a 4,5 (%) respectivamente de cada uno de los vehículos después de la realización de la limpieza en algunos puntos de medición se incrementaron los vehículos no pasaron de los valores permitidos siendo los valores más elevados de 51 y 56 (HC) ppm y de 0,03 CO (%) en ambos

casos. Y en el caso del vehículo de ensayo 3 se redujo los óxidos de nitrógeno (NOx) variaron su promedio en las pruebas de 616, 67 a 43,50 (ppm Vol.) teniendo un porcentaje de reducción del 92,95%.

- Los resultados obtenidos en los diferentes parámetros medidos variaron dependiendo del estado en el que se encontraba los automóviles de ensayo antes del proceso de descarbonización pudiéndose visualizar esto en la recuperación de la compresión del vehículo de ensayo 3 que es un auto de cooperativa mientras que los otros dos vehículos de ensayo son de uso personal y su variación de compresión fue menor.

Recomendaciones

- Se aconseja la continuación del análisis de la descarbonización de vehículos con un método de limpieza no invasivo por medio de la descomposición del agua por electrolisis en los motores de combustión interna debido a que son tecnologías innovadoras que buscan contribuir en la reducción de emisiones contaminantes y mejorar la eficiencia de los motores.
- Se sugiere la implementación del método de limpieza no invasivo por oxihidrógeno en los planes de mantenimientos preventivos en los motores de combustión interna cada 40.000 o 50.000 Km.
- Cada vez que se emplee el funcionamiento del equipo realizando para una limpieza por oxihidrógeno el vehículo debe estar a una temperatura optima de funcionamiento entre 80 a 90 °C. Además, se tiene que realizar la limpieza del generador de hidrogeno. Después de ejecutar el proceso.
- En el desarrollo de la limpieza tener cuidado con el generador de hidrogeno debido que se puede acumular en la toma de aire del motor si una persona está fumando o usa una llama abierta cerca de él puede llegar a producir un incendio.
- Al momento de iniciar las pruebas de opacidad como las de emisiones contaminantes, se aconseja realizar la respectiva calibración del equipo de medición para obtener datos que sean confiables en cada una de las pruebas realizadas, además de ayudar a preservar la duración de las maquinas. También se debe verificar el buen estado de sus componentes y la correcta manipulación del mismo.
- Al aplicar herramientas CAD se tiene que asegurar que sean las adecuadas en el proceso de diseño del prototipo de descarbonización, de igual manera para

la simulación de los sistemas eléctrico, electrónicos, neumáticos e hidráulicos del sistema y teniendo en consideración un software de progresión que sea de fácil de adquirir y se ajuste a los requerimientos deseados.

- Para la realización de las mediciones y pruebas realizadas en los vehículos a los que se les haya hecho un proceso de limpieza por este método es aconsejable esperar que la carbonilla se disuelva completamente de las paredes de la cámara de combustión para obtener resultados más exactos del procedimiento.

Bibliografía

Álvarez. (2005, p.194). *Análisis de la producción de carbonilla en la cámara de combustión de un motor diésel ISUZU 4JB1 2.8, con el uso de diésel premium y biodiesel a base de higuera B10*. Barcelona: Polítext. Recuperado el 20 de Julio de 2021, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36805/9788498802368.pdf>

ANETA. (2018). *En Quito, los vehículos son los que más contaminan el aire*. Quito: ANETA. Recuperado el 21 de Julio de 2021, de <https://www.aneta.org.ec/en-quito-los-vehiculos-son-los-que-mas-contaminan-el-aire/>

Augusto, J. (2018, pp.10-15). *Análisis de la producción de carbonilla en la cámara de combustión de un motor diésel ISUZU 4JB1 2.8, con el uso de diésel premium y biodiesel a base de higuera B10*. Ibarra: UTN. Recuperado el 20 de Julio de 2021, de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8096/1/04%20MAUT%20056%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

Aupacar. (07 de Agosto de 2017). *¿CUÁLES SON LOS BENEFICIOS DE DESCARBONIZAR EL MOTOR DE TU COCHE?* Recuperado el 18 de Agosto de 2017, de <https://tallereshendin.com/descarbonizar-el-motor/>

Autodoc club. (18 de Agosto de 2020). *En qué consiste la descarbonización de un motor*. Obtenido de <https://club.autodoc.es/magazin/en-que-consiste-la-descarbonizacion-de-un-motor>

Autos, T. (20 de Mayo de 2011). *Ficha Técnica del Mazda 323 SW 1.5, ensamblado en 1985*. Recuperado el 12 de Mayo de 25, de <https://tecnoautos.com/automoviles/fichas-tecnicas/ficha-tecnica-del-mazda-323-sw-1-5-ensamblado-en-1985/>

BEAR. (25 de Marzo de 2007). *Cartek inspector gas analizador de emisiones contaminantes para motores gasolina, GND y diesel*. Obtenido de

<https://es.scribd.com/document/497871635/Manual-de-operacion-de-Analizador-de-gases-y-opacidad>

Blázquez, L. (19 de Abril de 2019). *Descarbonización del motor*. Recuperado el 18 de Agosto de 2021, de <https://noticias.coches.com/consejos/descarbonizacion-del-motor/335985>

Carinf. (20 de Junio de 2022). *Mazda 323 1.5 GLX (1998)*. Obtenido de <https://www.carinf.com/>

Chevrolet, R. (2009, p.525). *Manual RT V1 1*. PICTORIAL.INDEX. Recuperado el 15 de Junio de 2022, de <https://www.chevrolet.com.ec/content/dam/chevrolet/south-america/ecuador/espanol/index/pickups-and-trucks/2019-dmax/mov/01-pdf/manual-d-max-ecuador.pdf>

China, M. M. (2022). *Quitar el motor de HHO Decarbonizer carbono el carbono de la máquina de limpieza*. M Made in China. Obtenido de https://es.made-in-china.com/co_kingkar/product_Carbon-Remove-Hho-Engine-Decarbonizer-Carbon-Cleaner-Machine_eghernnsg.html

Cisneros, E., & Viteri, & F. (2018, pp.8-9). *Estudio Estático Del Desgaste De Un Motor En Tiempos Definidos*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador. Recuperado el 19 de Junio de 2022, de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2501/1/T-UIDE-1793.pdf>

Cova, V. (2018, pp.4-6). *Físico-química biológica*. Universidad Nacional del litoral. Recuperado el 2022 de Junio de 2022, de http://www.unl.edu.ar/ingreso/cursos/medicina/wp-content/uploads/sites/8/2017/10/Quimica_05.pdf

Díaz, F. (2017, p.5). *Elaboración de una base de datos para la detección de fallos del sistema de encendido de un motor OTTO Chevrolet Aveo 1.6l DOHC a través del procedimiento estadístico de las señales del oscilograma de encendido y sensor MAP*. Cuenca: Universidad

Politécnica Salesiana Sede Matriz Cuenca. Recuperado el 20 de Junio de 2022, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14867/1/UPS-CT007298.pdf>

FLEXFUEL. (09 de Abril de 2020). *Todo sobre descarbonización*. Recuperado el 18 de Agosto de 2021, de <https://www.flexfuel-company.es/descarbonizacion-motores/faq/>

Fluke. (s.f.). *Analizador de motor y de calidad eléctrica Fluke 438-II*. Recuperado el 05 de Agosto de 2021, de <https://www.fluke.com/es-ec/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/438-ii>

Getauto. (2017). *Descarbonización de motor HHO 6.0*. Recuperado el 05 de Agosto de 2021, de <https://getauto.es/descarbonizar-motor-madrid>

Gorky et al. (2016, p4.). *Determinación de torque y potencia de un motor de combustión interna utilizando mezclas parciales de biodiésel*. Quito: p-ISSN 1900-3102 / e-ISSN 2357-6014.

Recuperado el 20 de Junio de 2022, de

<https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/download/1413/1517/#:~:text=Se%20eligi%C3%B3%20la%20norma%20sae,neta%20solamente%20en%20el%20motor>

IBÉRICO, H. (s.f.). *HHO CARBON CLEANER 6.0*. Obtenido de <https://hhoiberica.com/hho-carbon-cleaner-6-0/#>

INEN. (2000). *INEN 2 203:2000*. Quito: INEN. Recuperado el 19 de Junio de 2022, de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2203.pdf>

INEN. (2002). *2207:2002*. Quito: INEN. Recuperado el 03 de Agosto de 2021, de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2207.pdf>

INEN. (s.f.). *NTE INEN 2207 & 2204*. Quito: INEN. Recuperado el 21 de Julio de 2021, de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/>

Infotaller.tv. (11 de Abril de 2019). *Cuatro métodos para limpiar la carbonilla*. Recuperado el 18 de Agosto de 2021, de https://www.infotaller.tv/repuracion/metodos-limpiar-carbonilla_0_1317768211.html

Isuzu. (Noviembre de 2011, p.58). *Manual de servicio SERIE TF motor 4JA1/4JH1-TC*. Isuzu. Recuperado el 2022 de Marzo de 14, de <https://automotrizenvideo.com/wp-content/uploads/2011/11/MANUAL-ISUZU-4JA1-4JH1.pdf>

Ltd., C. K.-T. (s.f.). *Welcome to kingkar*. Changsha Kingkar Eco-Technologies Co.. Ltd. doi:<https://es.scribd.com/document/400764149/HHO-carbon-cleaner-6-0-pdf>

Mapfre. (30 de Enero de 2020). *Descarbonizar el motor*. Recuperado el 20 de Julio de 2021, de <https://www.motor.mapfre.es/consejos-practicos/consejos-de-mantenimiento/descarbonizar-el-motor/>

Mendieta, M. C. (2016, pp. 21-30). *Aplicación del proceso de descarbonización del motor M16A de un vehículo Suzuki SX4, utilizando un generador HHO*. Managua: UNI. Recuperado el 01 de Agosto de 2021, de <http://ribuni.uni.edu.ni/1737/1/90294.pdf>

Motortec. (14 de Febrero de 2017). *HHO Carbon Cleaner 6.0, la descarbonizadora de motor más avanzada del mundo*. Recuperado el 21 de Junio de 2022, de <https://www.ifema.es/motortec/noticias/exp/hho-carbon-cleaner-60--la-descarbonizadora-de-motor-mas-avanza#:~:text=23%20ABR%202022-,HHO%20Carbon%20Cleaner%206.0%2C%20la%20descarbonizadora%20de%20motor%20m%C3%A1s%20avanzada,mercado%20que%20realiza%20ambos%2>

Motortec, M. (2017). *La descarbonizadora de motor más avanzada del mundo*. Madrid: Motortec Madrid. Recuperado el 20 de Julio de 2021, de <https://www.ifema.es/motortec/noticias/exp/hho-carbon-cleaner-60--la-descarbonizadora-de-motor-mas-avanza>

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA. (2013). *NTE INEN 2202:2013*. Quito: INEN. Recuperado el 05 de Agosto de 2021, de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2202-1.pdf>

NORMALIZACIÓN, I. E. (2002). *NTE INEN 2204:2002*. Quito: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. Recuperado el 19 de Junio de 2022, de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2204.pdf>

o..Ltd., C. K.-T. (s.f.). *Welcome to kingkar*. Changsha Kingkar Eco-Technologies o..Ltd. Recuperado el 23 de Junio de 2022, de <https://es.scribd.com/document/400764149/HHO-carbon-cleaner-6-0-pdf>

Oborudow. (2021). *Todo sobre el motor 1zz. Motores Toyota ZZ: ¿qué tienen de bueno y de malo? Algunos detalles interesantes*. Recuperado el 23 de Junio de 2022, de <https://oborudow.ru/es/obogrev-i-ohlazhdenie/vse-o-dvigatele-1zz-dvigateli-zz-ot-toyota-chto-v-nih-plohogo-i-horoshego/>

Pacheco, M. (18 de Noviembre de 2020). *Análisis de la calidad de derivados en Ecuador se inició*. (E. Comercio, Ed.) Recuperado el 22 de Julio de 2021, de <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/analisis-calidad-derivados-ecuador-inicio.html>

Pesánte, J., & Tacuri, & J. (2021, pp.66-67). *Adaptación de un generador de hidrógeno tipo celda seca en un motor endotérmico 150cc de 4 tiempos con fuentes alternativas de combustible*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Recuperado el 19 de Junio de 2022, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21256/1/UPS-CT009350.pdf>

Petrucci et. al. (2011, p.152). *Química General*. Madrid: PEARSON. Recuperado el 16 de Junio de 2022, de https://quimica247403824.files.wordpress.com/2018/11/quimica_general_petrucci.pdf

Poalacín et al. (2021, p.39). *Reingeniería y mantenimiento del sistema de control mecánico y electrónico del dinamómetro de rodillos Motorroll (Md200hp), para el desarrollo de pruebas dinámicas en vehículos*. Latacunga: ESPE. Recuperado el 04 de Agosto de 2021, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24389/1/T-ESPEL-MAI-0707.pdf>

Reynasa. (Mayo de 2020). *Las ITV, pero también los talleres, requieren de esta herramienta que sirve para medir la “carbonilla” o humo negro que sale por el escape de estos vehículos*. Obtenido de <https://www.reynasa.es/opacimetro-para-controlar-las-emisiones-de-los-diesel/>

Ríos, U. N. (2019, p.33). *Módulo Introduccion a la Química*. Uruguay: Universidad Nacional de Entre Ríos. Recuperado el 18 de Junio de 2022, de <https://uner.edu.ar/public/uploads/243136983681.pdf>

Rodríguez, F. D. (2008, p.2). *Lectura de ingeniería 7 principios de electrodeposición*. Cuatitlán: Facultad de estudios superiores Cuatitlán. Recuperado el 15 de Junio de 2022, de http://olimpia.cuatitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/principios%20de%20electrolisis.pdf

SAE. (2015). *Engine Power Test Code - Engine Power and Torque Certification*. SAE. Recuperado el 20 de Junio de 2021, de https://www.sae.org/standards/content/j2723_201509/

Sánchez, M. G. (2016, p.2). *Electroquímica*. Chiapas: Universidad Politécnica de Chiapas. Recuperado el 15 de Junio de 2022, de https://www.academia.edu/30317238/Procesos_de_electrolisis

Schröe, R., & Vásquez, R. (2018, p.55). *Tecnología del hidrógeno*. Santiago de Chile: Deutsche Gesellschaft für. Recuperado el 18 de Junio de 2022, de <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2020/07/LIBRO-TECNOLOGIAS-H2-Y-PERSPECTIVAS-CHILE.pdf>

Suárez, K. (2018, p.3). *Un poco de todo sobre el Hidrógeno*. México. Recuperado el 30 de Marzo de 2021, de

https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/70_1/PDF/Hidrogeno.pdf

Suárez, K. (2019, p.3). *Un poco de todo sobre el HIDRÓGENO*. México: AMC. Recuperado el 18 de Junio de 2022, de

https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/70_1/PDF/Hidrogeno.pdf

Vega, D., Ocaña, L., & Parra, R. (2015, pp. 3-5). *Inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito. Año base 2012*. Quito: ISSN 1390-5384.

Recuperado el 20 de Julio de 2021, de

<https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/270/271>

Ventos. (21 de Junio de 2021). *Especificaciones y revisión, datos de servicio Toyota 1ZZ-FE*.

Recuperado el 21 de Junio de 2022, de <https://www.ventos.site/fichas-tecnicas/especificaciones-y-revision-datos-de-servicio-toyota-1zz-fe/>

Anexos