



ESPE¹
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Análisis del proceso de reducción catalítica selectiva como catalizadores para el control de emisiones en vehículos con ciclo diésel

Gallo Porras, Steven Rafael y Zapata Jara, Juan Sebastián

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

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

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio MSc.

08 de febrero del 2022

Latacunga



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, “**Análisis del proceso de reducción catalítica selectiva como catalizadores para el control de emisiones en vehículos con ciclo diésel**” fue realizado por los señores **Gallo Porras, Steven Rafael y Zapata Jara, Juan Sebastián** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 08 de febrero del 2022

.....
Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio MSc

C. C.: 050250999-5

Reporte de verificación de contenido



.....
Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio MSc

C. C.: 050250999-5



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Gallo Porras, Steven Rafael y Zapata Jara Juan Sebastián**, con cédulas de ciudadanía N° **1804848271** y **1722713664**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Análisis del proceso de reducción catalítica selectiva como catalizadores para el control de emisiones en vehículos con ciclo diésel** es de nuestra 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, 08 de febrero del 2022

.....
Gallo Porras, Steven Rafael

C.C.: 180484827-1

.....
Zapata Jara, Juan Sebastián

C.C.: 172271366-4



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autorización de publicación

Nosotros **Gallo Porras, Steven Rafael** y **Zapata Jara Juan Sebastián**, con cédulas de ciudadanía N° **1804848271** y **1722713664** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Análisis del proceso de reducción catalítica selectiva como catalizadores para el control de emisiones en vehículos con ciclo diésel** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 08 de febrero del 2022

.....
Gallo Porras, Steven Rafael

C.C.: 180484827-1

.....
Zapata Jara, Juan Sebastián

C.C.: 172271366-4

Dedicatoria

Con humildad y amor dedico este trabajo primero a Dios por haberme guiado y traído con bien hasta este momento exacto de mi vida con salud, bendiciones, con muchos nuevos conocimientos y experiencias.

A mi padre Fausto Gallo que ha sabido poder motivarme y ayudarme a salir siempre adelante, a mi difunta madre Guadalupe Porras que sé que ahora está orgullosa en el cielo de verme logrando subir un escalón en mi vida profesional, a mi hermano mellizo Daniel Gallo que siempre ha estado para mí en todo momento siendo un cómplice y amigo.

A toda mi familia que de una u otra forma me ayudaron durante el curso de toda mi carrera profesional cuando los necesite.

A Sebastián, mi compañero de tesis y amigo de toda la carrera por todos los momentos vividos durante nuestros estudios y convivencias que me demostró que más que un amigo es un hermano para mí.

A mis amigos que hice durante mi estadía en Latacunga que fueron un refugio de auxilio durante los malos momentos y una caravana de fiesta durante los buenos, me llevo de ellos más que una amistad un vínculo familiar.

Gallo Porras, Steven Rafael

Dedicatoria

Dedico este proyecto primero que todo a Dios y a la Virgen Dolorosa que se siempre me han guiado por el camino del bien, me han llevado hasta donde estoy con salud y conocimiento y han sabido darme la mano cuando más los he necesitado.

A mis padres, Belén y Fausto por ser los pilares fundamentales durante toda mi vida, apoyarme en los momentos más difíciles y por haberme criado como lo que soy ahora, gracias por el amor incondicional que siempre me brindan y espero se sientan orgullosos de este gran esfuerzo que he hecho para alcanzar mis metas. A mi hermano Juan Pablo, a pesar de pelear por cualquier cosa, eres una persona en la que puedo confiar y en la que me puedo apoyar siempre que lo demás me falte, eres un gran amigo y hermano. A mi familia en general, porque sé que cada uno de ustedes han apoyado con un granito de arena en mi formación personal y profesional y les estoy eternamente agradecidos.

A mis amigos, porque siempre han estado ahí en los momentos más difíciles durante la carrera, me han sabido apoyar y por eso estamos donde estamos, por eso y más se han convertido en mi familia incondicional.

A mi compañero de tesis, Steven, que, a pesar de nuestras diferencias, logramos realizar nuestro cometido y cumplir nuestro sueño de ser ingenieros, luchando hasta el final siempre serás mi hermano.

Zapata Jara, Juan Sebastián

Agradecimiento

Agradezco a Dios por haberme dejado llegar hasta aquí y con alegría y humildad ver cumplir uno de mis sueños profesionales.

A mi Padre y mi hermano que siempre estuvieron puestos para ayudarme y seguir adelante con mis estudios.

A mis primos Carlos Madrid y Mirian Porras que fueros quienes con su buena voluntad pusieron a disposición uno de los vehículos de su empresa para realizar este trabajo.

Al ingeniero tutor y amigo Leonidas Quiroz por su tiempo y paciencia a la hora de guiarnos tanto en nuestros estudios cuando fue docente y ahora en nuestro trabajo de titulación.

Al ingeniero y amigo José Quiroz por su tiempo y guía en la docencia.

A toda mi familia que nunca dudo de mi capacidad y de que este momento llegaría.

A Sebastián mi compañero y amigo que siempre supo estar apoyándome en las buenas y en las malas en todas las situaciones que pasamos a través de los años de convivencia y amistad siempre demostrando que es una persona de confianza.

A mis amigos de la universidad que fueron fuente de inspiración para culminar con mis estudios.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L por la formación académica y a sus docentes por los conocimientos impartidos.

Gallo Porras, Steven Rafael

Agradecimiento

Agradezco a Dios y a la Dolorosa que me han sabido dar el conocimiento y recursos necesarios para llevar a cabo este trabajo y convertirme en profesional.

A mis padres y hermano, por brindarme su apoyo en todo el transcurso de mi formación personal y profesional.

Al tutor del proyecto, el ingeniero Leonidas Quiroz, por su paciencia a la hora de asesorarnos para llevar a cabo nuestro trabajo, y por compartir su conocimiento para nuestro desarrollo.

A los ingenieros que tuve durante toda mi carrera, por haber inculcado sus conocimientos y sus enseñanzas las cuales fueron primordiales en el cumplimiento de mis objetivos.

A mis amigos que sin ellos no puede haber sobrellevado la carrera de la mejor y más hermosa manera, fueron mi familia durante toda esta etapa de gozo, disfrute y sobre todo estudio, y que ahora serán mis hermanos para toda la vida.

A Gaby por su apoyo incondicional durante varios años de mi carrera y por enseñarme a ser mejor y madurar como ser humano.

A mi compañero de tesis, Steven, por todo el apoyo que nos hemos brindado para sobrellevar de la mejor manera este proyecto y poder alcanzar nuestros objetivos juntos como hermanos que nos hemos convertido.

Zapata Jara, Juan Sebastián

Tabla de Contenidos

| | |
|--|----|
| Carátula | 1 |
| Certificación | 2 |
| Reporte de verificación de contenido | 3 |
| Responsabilidad de autoría..... | 4 |
| Autorización de publicación..... | 5 |
| Dedicatoria..... | 6 |
| Dedicatoria..... | 7 |
| Agradecimiento | 8 |
| Agradecimiento | 9 |
| Tabla de Contenidos | 10 |
| Índice de tablas | 16 |
| Índice de figuras | 18 |
| Índice de ecuaciones..... | 23 |
| Resumen | 24 |
| Abstract..... | 25 |
| Planteamiento del Problema de Investigación..... | 26 |
| Antecedentes Investigativos | 26 |
| Planteamiento del Problema | 32 |
| Descripción Resumida del Proyecto | 35 |
| Justificación e Importancia | 36 |
| Objetivos | 38 |
| <i>Objetivo General</i> | 38 |
| <i>Objetivos Específicos</i> | 38 |
| Metas | 39 |
| Hipótesis | 39 |

| | |
|---|-----------|
| | 11 |
| Variables de Investigación | 39 |
| <i>Variable Dependiente.....</i> | <i>39</i> |
| <i>Variable Independiente.....</i> | <i>41</i> |
| Marco Teórico | 43 |
| Sistema SCR (Reducción Catalítica selectiva)..... | 43 |
| <i>Reacción Química del Proceso SCR.....</i> | <i>43</i> |
| Componentes del Sistema de Inyección de AdBlue | 45 |
| <i>Solución de Urea</i> | <i>45</i> |
| <i>Depósito de solución de urea</i> | <i>46</i> |
| <i>Catalizador SCR.....</i> | <i>47</i> |
| <i>Inyector de AdBlue.....</i> | <i>47</i> |
| <i>Bomba de Suministro de AdBlue</i> | <i>48</i> |
| Nanopartículas de Ferrita | 49 |
| Gases de Escape Originados tras la Combustión..... | 49 |
| <i>Óxidos de Nitrógeno (NO_x).....</i> | <i>49</i> |
| <i>Hidrocarburos (HC).....</i> | <i>49</i> |
| <i>Monóxido de Carbono (CO)</i> | <i>50</i> |
| <i>Dióxido de Carbono (CO₂).....</i> | <i>50</i> |
| Normas Técnicas de Emisiones y Opacidad..... | 50 |
| <i>NTE INEN 2202:2013</i> | <i>50</i> |
| <i>NTE INEN 2207:2002</i> | <i>50</i> |
| <i>NTE INEN 2349:2003</i> | <i>51</i> |
| <i>SAE J1667</i> | <i>52</i> |
| Principios Hidráulicos..... | 53 |
| <i>Ecuación General de la Energía</i> | <i>53</i> |
| <i>Numero de Reynolds</i> | <i>54</i> |

| | |
|---|-----------|
| | 12 |
| <i>Pérdidas menores</i> | 54 |
| Ley de Ohm..... | 55 |
| Arduino | 55 |
| Equipos de Medición | 56 |
| <i>Opacímetro 57-220</i> | 56 |
| <i>Analizador de Gases AGS-688</i> | 56 |
| <i>Contador de RPM MGT-300</i> | 57 |
| Implementación del Sistema Reducción Catalítica Selectiva por Inyección de AdBlue y Nanopartículas de Ferrita como catalizador | 58 |
| Diseño | 58 |
| Diseño mecánico | 58 |
| <i>Sistema de Escape</i> | 58 |
| <i>Catalizador SCR</i> | 59 |
| <i>Construcción e Implementación del Catalizador SCR</i> | 60 |
| <i>Modelado del Sistema Mecánico</i> | 61 |
| <i>Nanopartículas de ferrita</i> | 61 |
| <i>Implementación de las nanoparticulas de ferrita</i> | 62 |
| Diseño Hidráulico | 63 |
| <i>Bomba de suministro</i> | 63 |
| <i>Manguera de alta presión</i> | 64 |
| <i>Esquema Hidráulico</i> | 65 |
| <i>Implementación Sistema Hidráulico</i> | 68 |
| Diseño Eléctrico..... | 69 |
| <i>Interruptor Electromagnético</i> | 69 |
| <i>Sistema de Protección</i> | 69 |
| <i>Cable Conductor</i> | 71 |

| | |
|--|-----|
| | 13 |
| <i>Control de Activación del Sistema de Inyección</i> | 72 |
| Diseño Electrónico | 72 |
| <i>Sensor de Posición del Árbol de Levas</i> | 73 |
| <i>Sensor de Temperatura</i> | 76 |
| <i>Microcontrolador</i> | 78 |
| <i>Regulador de Tensión</i> | 79 |
| Programación | 80 |
| <i>Codificación del Control de Inyección</i> | 80 |
| <i>Implementación Sistema Electrónico</i> | 81 |
| Análisis del Control de Emisiones a Partir de la Implementación del Sistema de Reducción Catalítica | 85 |
| Protocolos para la Realización de Pruebas | 85 |
| <i>Puesta a Punto del Vehículo</i> | 85 |
| <i>Prueba de Ruta Periódica</i> | 89 |
| <i>Calibración de los Equipos de Medición</i> | 91 |
| <i>Condiciones Ambientales para medición de gases</i> | 91 |
| <i>Lista de abreviaturas</i> | 92 |
| Prueba de Opacidad | 93 |
| <i>Protocolo De Uso Opacímetro</i> | 93 |
| <i>Resultados Opacidad</i> | 95 |
| <i>Análisis por Horario</i> | 96 |
| <i>Análisis por Condición</i> | 101 |
| <i>Análisis con Nanopartículas de Ferrita</i> | 103 |
| <i>Análisis con todas las condiciones</i> | 105 |
| Pruebas de Emisiones de Gases | 106 |
| <i>Protocolo de uso Analizador de Gases AGS-688</i> | 106 |

| | |
|--|------------|
| Tabulación Resultados de Emisiones de Gases | 108 |
| Resultados de CO..... | 108 |
| Análisis de CO por Horario | 111 |
| Análisis de CO por Condición | 117 |
| Análisis de CO con Nanopartículas de Ferrita | 120 |
| Análisis de CO con todas las condiciones | 123 |
| Resultados de CO2..... | 124 |
| Análisis de CO2 por Horario | 126 |
| Análisis de CO2 por Condición | 132 |
| Análisis de CO2 con Nanopartículas de Ferrita | 135 |
| Análisis de CO2 con todas las condiciones | 137 |
| Resultados de HC..... | 138 |
| Análisis de HC por Horario | 141 |
| Análisis de HC por Condición..... | 147 |
| Análisis de HC con Nanopartículas de Ferrita..... | 150 |
| Análisis de HC con todas las condiciones..... | 152 |
| Resultados de O2 | 154 |
| Análisis de O2 por Horario..... | 156 |
| Análisis de O2 por Condición | 162 |
| Análisis de O2 con Nanopartículas de Ferrita | 165 |
| Análisis de O2 con todas las condiciones | 167 |
| Resultados de NO..... | 168 |
| Análisis de NO por Horario | 171 |
| Análisis de NO por Condición | 177 |
| Análisis de NO con Nanopartículas de Ferrita | 180 |
| Análisis de NO con todas las condiciones | 183 |

| | |
|-----------------------------------|------------|
| | 15 |
| Consumo de AdBlue | 184 |
| Marco Administrativo | 188 |
| Factibilidad | 188 |
| <i>Recursos Materiales</i> | <i>188</i> |
| <i>Recursos Humanos.....</i> | <i>189</i> |
| <i>Recurso Financiero.....</i> | <i>190</i> |
| <i>Recursos Tecnológicos.....</i> | <i>191</i> |
| Conclusiones | 193 |
| Recomendaciones | 200 |
| Bibliografía | 202 |
| Anexos | 206 |

Índice de tablas

| | |
|---|------------|
| Tabla 1 Operacionalización de la variable dependiente..... | 39 |
| Tabla 2 Operacionalización de la variable independiente..... | 41 |
| Tabla 3 Propiedades químicas de AUS 32 (AdBlue)..... | 45 |
| Tabla 4 Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor diésel..... | 51 |
| Tabla 5 Características del Equipo de Análisis de Gases según la norma NTE INEN 2349..... | 51 |
| Tabla 6 Características de la máquina medidora de opacidad según la norma NTE INEN 2349..... | 52 |
| Tabla 7 Selección del tubo para el sistema de escape..... | 59 |
| Tabla 8 Selección de catalizador SCR..... | 59 |
| Tabla 9 Selección de las nanopartículas de ferrita..... | 61 |
| Tabla 10 Selección de bomba de inyección..... | 63 |
| Tabla 11 Selección de manguera de alta presión..... | 64 |
| Tabla 12 Potencia de la bomba..... | 65 |
| Tabla 13 Especificaciones técnicas del interruptor electromagnético seleccionado..... | 69 |
| Tabla 14 Intensidad de corriente en los componentes del sistema electrónico..... | 70 |
| Tabla 15 Especificaciones técnicas cables según AWG..... | 71 |
| Tabla 16 Variación del periodo de señal CMP a diferentes rpm..... | 74 |
| Tabla 17 Variación de la tensión en función de la temperatura del motor..... | 77 |
| Tabla 18 Selección de microcontrolador..... | 78 |
| Tabla 19 Condiciones ambientales para la medición de gases..... | 91 |
| Tabla 20 Kilometrajes recorridos para opacidad..... | 95 |
| Tabla 21 Porcentajes de opacidad..... | 95 |
| Tabla 22 Kilometrajes recorridos para análisis de gases..... | 108 |

| | |
|---|------------|
| Tabla 23 <i>Porcentaje de monóxidos de carbono</i> | 109 |
| Tabla 24 <i>Porcentaje de CO₂</i> | 124 |
| Tabla 25 <i>PPM de hidrocarburos</i> | 139 |
| Tabla 26 <i>Porcentaje de O₂</i> | 154 |
| Tabla 27 <i>PPM de monóxidos de nitrógeno</i> | 169 |
| Tabla 28 <i>Tabla de consumo de solución a diferentes regímenes y tiempo de giro</i> | 185 |
| Tabla 29 <i>Recursos materiales</i> | 188 |
| Tabla 30 <i>Recursos humanos</i> | 189 |
| Tabla 31 <i>Costos recursos materiales</i> | 190 |
| Tabla 32 <i>Costos imprevistos</i> | 191 |
| Tabla 33 <i>Recursos tecnológicos</i> | 191 |

Índice de figuras

| | |
|---|-----------|
| Figura 1 <i>Árbol de problemas</i> | 33 |
| Figura 2 <i>Sistema de inyección de AdBlue</i> | 43 |
| Figura 3 <i>AdBlue</i> | 46 |
| Figura 4 <i>Depósito de AdBlue</i> | 46 |
| Figura 5 <i>Catalizador SCR</i> | 47 |
| Figura 6 <i>Inyector de AdBlue</i> | 48 |
| Figura 7 <i>Bomba de suministro de solución de urea</i> | 48 |
| Figura 8 <i>Opacímetro Cartek 57-220</i> | 56 |
| Figura 9 <i>Analizador AGS-688</i> | 57 |
| Figura 10 <i>MGT-300</i> | 57 |
| Figura 11 <i>Sistema mecánico</i> | 58 |
| Figura 12 <i>Procedimiento de la construcción e implementación del sistema mecánico</i> . | 60 |
| Figura 13 <i>Composición del sistema de escape SCR</i> | 61 |
| Figura 14 <i>Implementación de las nanoparticulas de ferrita</i> | 62 |
| Figura 15 <i>Colocación de las nanoparticulas de ferrita</i> | 62 |
| Figura 16 <i>Sistema de escape con nanoparticulas de ferrita</i> | 63 |
| Figura 17 <i>Sistema hidráulico</i> | 65 |
| Figura 18 <i>Implementación del diseño hidráulico</i> | 68 |
| Figura 19 <i>Sistema eléctrico de control de activación del sistema de inyección</i> | 72 |
| Figura 20 <i>Sensor CMP del motor del V.P.</i> | 73 |
| Figura 21 <i>Señal del osciloscopio a 3370 rpm</i> | 74 |
| Figura 22 <i>Relación Periodo - RPM</i> | 75 |
| Figura 23 <i>Sensor ECT del motor V.P.</i> | 76 |
| Figura 24 <i>Relación Tensión – Temperatura (ECT)</i> | 77 |
| Figura 25 <i>Circuito regulador de Tensión</i> | 79 |

| | |
|--|------------|
| Figura 26 <i>Diagrama de flujo de la programación</i> | 80 |
| Figura 27 <i>Diagrama de Flujo de la implementación del sistema electrónico</i> | 81 |
| Figura 28 <i>Diagrama de diseño y fabricación de la placa PCB y módulo completo</i> | 82 |
| Figura 29 <i>Diagrama eléctrico del sistema de inyección de AdBlue</i> | 83 |
| Figura 30 <i>Diagrama de flujo mantenimiento preventivo</i> | 86 |
| Figura 31 <i>Diagrama de Flujo A</i> | 87 |
| Figura 32 <i>Diagrama de flujo B</i> | 88 |
| Figura 33 <i>Diagrama de Flujo C</i> | 89 |
| Figura 34 <i>Ruta de Prueba</i> | 90 |
| Figura 35 <i>Opacímetro Cartek 57-220</i> | 93 |
| Figura 36 <i>Procedimiento para prueba de opacidad</i> | 94 |
| Figura 37 <i>Resultados de opacidad en la mañana sin accesorios</i> | 96 |
| Figura 38 <i>Resultados de opacidad en la mañana con accesorios</i> | 97 |
| Figura 39 <i>Resultados de opacidad en la media mañana sin accesorios</i> | 98 |
| Figura 40 <i>Resultados de opacidad en la media mañana con accesorios</i> | 99 |
| Figura 41 <i>Resultados de opacidad en la tarde sin accesorios</i> | 100 |
| Figura 42 <i>Resultados de opacidad en la tarde con accesorios</i> | 101 |
| Figura 43 <i>Resultados de opacidad por condición con el catalizador SCR</i> | 102 |
| Figura 44 <i>Resultados de opacidad por condición con el sistema de inyección</i> | 103 |
| Figura 45 <i>Resultados de opacidad con N.F.</i> | 104 |
| Figura 46 <i>Resultados de opacidad con S.I. y N.F.</i> | 105 |
| Figura 47 <i>Analizador de gases AGS-688</i> | 106 |
| Figura 48 <i>Diagrama de flujo pruebas de análisis de gases</i> | 107 |
| Figura 49 <i>Resultados de CO en la mañana sin accesorios</i> | 111 |
| Figura 50 <i>Resultados de CO en la mañana con accesorios</i> | 112 |
| Figura 51 <i>Resultados en la media mañana sin accesorios</i> | 113 |

| | |
|--|-----|
| Figura 52 Resultados de CO en la media mañana con accesorios..... | 114 |
| Figura 53 Resultados de CO en la tarde sin accesorios..... | 115 |
| Figura 54 Resultados de CO en la tarde con accesorios | 116 |
| Figura 55 Resultados de CO por condición con el catalizador SCR a 2500 rpm..... | 117 |
| Figura 56 Resultados de CO por condición con el catalizador SCR a 3370 rpm..... | 118 |
| Figura 57 Resultados de CO por condición con el sistema completo a 2500 rpm..... | 119 |
| Figura 58 Resultados de CO por condición con el sistema completo a 3370 rpm..... | 120 |
| Figura 59 Resultados de CO con N.F. como catalizador a 2500 rpm | 121 |
| Figura 60 Resultados de CO con N.F. como catalizador a 3370 rpm | 122 |
| Figura 61 Resultados obtenidos de CO con S.I. y N.F. | 123 |
| Figura 62 Resultados de CO ₂ en la mañana sin accesorios..... | 126 |
| Figura 63 Resultados de CO ₂ en la mañana con accesorios | 127 |
| Figura 64 Resultados de CO ₂ en la media mañana sin accesorios..... | 128 |
| Figura 65 Resultados de CO ₂ en la media mañana con accesorios | 129 |
| Figura 66 Resultados de CO ₂ en la tarde sin accesorios..... | 130 |
| Figura 67 Resultados de CO ₂ en la tarde con accesorios | 131 |
| Figura 68 Resultados de CO ₂ por condición con el catalizador SCR a 2500 rpm..... | 132 |
| Figura 69 Resultados de CO ₂ por condición con el catalizador SCR a 3370 rpm..... | 133 |
| Figura 70 Resultados de CO ₂ por condición con el sistema completo a 2500 rpm | 134 |
| Figura 71 Resultados de CO ₂ por condición con el sistema completo a 3370 rpm | 135 |
| Figura 72 Resultados de CO ₂ con N.F. como catalizador a 2500 rpm | 136 |
| Figura 73 Resultados de CO con N.F. como catalizador a 3370 rpm | 137 |
| Figura 74 Resultados de CO ₂ con el S.I. y N.F. | 138 |
| Figura 75 Resultados de HC en la mañana sin accesorios..... | 141 |
| Figura 76 Resultados de HC en la mañana con accesorios..... | 142 |
| Figura 77 Resultados de HC en la media mañana sin accesorios..... | 143 |

| | |
|--|-----|
| Figura 78 Resultados de HC en la media mañana con accesorios..... | 144 |
| Figura 79 Resultados de HC en la tarde sin accesorios..... | 145 |
| Figura 80 Resultados de HC en la tarde con accesorios..... | 146 |
| Figura 81 Resultados de HC por condición con el catalizador SCR a 2500 rpm..... | 147 |
| Figura 82 Resultados de HC por condición con el catalizador SCR a 3370 rpm..... | 148 |
| Figura 83 Resultados de HC por condición con el sistema completo a 2500 rpm..... | 149 |
| Figura 84 Resultados de HC por condición con el sistema completo a 3370 rpm..... | 150 |
| Figura 85 Resultados de HC con N.F. como catalizador a 2500 rpm | 151 |
| Figura 86 Resultados de HC con N.F. como catalizador a 3370 rpm | 152 |
| Figura 87 Resultados de HC con S.I. y N.F. | 153 |
| Figura 88 Resultados de O2 en la mañana sin accesorios | 156 |
| Figura 89 Resultados de O2 en la mañana con accesorios | 157 |
| Figura 90 Resultados de O2 en la media mañana sin accesorios | 158 |
| Figura 91 Resultados de O2 en la media mañana con accesorios | 159 |
| Figura 92 Resultados de O2 en la tarde sin accesorios | 160 |
| Figura 93 Resultados de O2 en la tarde con accesorios | 161 |
| Figura 94 Resultados de O2 por condición con el catalizador SCR a 2500 rpm | 162 |
| Figura 95 Resultados de O2 por condición con el catalizador SCR a 3370 rpm | 163 |
| Figura 96 Resultados de O2 por condición con el sistema completo a 2500 rpm..... | 164 |
| Figura 97 Resultados de O2 por condición con el sistema completo a 3370 rpm | 165 |
| Figura 98 Resultados de O2 con N.F. como catalizador a 2500 rpm..... | 166 |
| Figura 99 Resultados de O2 con N.F. como catalizador a 3370 rpm..... | 167 |
| Figura 100 Resultados de O2 con S.I. y N.F..... | 168 |
| Figura 101 Resultados de NO en la mañana sin accesorios..... | 171 |
| Figura 102 Resultados de NO en la mañana con accesorios | 172 |
| Figura 103 Resultados de NO en la media mañana sin accesorios..... | 173 |

| | |
|---|------------|
| Figura 104 <i>Resultados de NO en la media mañana con accesorios</i> | 174 |
| Figura 105 <i>Resultados de NO en la tarde sin accesorios</i> | 175 |
| Figura 106 <i>Resultados de NO en la tarde con accesorios</i> | 176 |
| Figura 107 <i>Resultados de NO por condición con el catalizador SCR a 2500 rpm</i> | 177 |
| Figura 108 <i>Resultados de NO por condición con el catalizador SCR a 3370 rpm</i> | 178 |
| Figura 109 <i>Resultados de NO por condición con el sistema completo a 2500 rpm</i> | 179 |
| Figura 110 <i>Resultados de NO por condición con el sistema completo a 3370 rpm</i> | 180 |
| Figura 111 <i>Resultados de NO con N.F. como catalizador a 2500 rpm</i> | 181 |
| Figura 112 <i>PPM de NO con N.F. como catalizador a 3370 rpm</i> | 182 |
| Figura 113 <i>PPM de NO con S.I. y N.F.</i> | 183 |
| Figura 114 <i>Diagrama de flujo prueba de consumo de disolución de urea</i> | 184 |
| Figura 115 <i>Gráfica de consumo de la solución de urea</i> | 185 |
| Figura 116 <i>Nivel de combustible inicial</i> | 186 |
| Figura 117 <i>Nivel de combustible final</i> | 187 |

Índice de ecuaciones

| | |
|---|-----------|
| Ecuación 1 <i>Reacción de Hidrólisis</i> | 44 |
| Ecuación 2 <i>Reacción SCR</i> | 44 |
| Ecuación 3 <i>Ecuación General de la Energía</i> | 53 |
| Ecuación 4 <i>Numero de Reynolds</i> | 54 |
| Ecuación 5 <i>Ecuación de Darcy</i> | 54 |
| Ecuación 6 <i>Ley de Ohm</i> | 55 |
| Ecuación 7 <i>Ecuación de periodo vs rpm</i> | 75 |
| Ecuación 8 <i>Ecuación de temperatura vs tensión</i> | 78 |

Resumen

El presente proyecto analizó los procesos de reducción catalítica selectiva como catalizadores para el control de emisiones en vehículos con ciclo diesel, mediante el diseño, construcción e implementación de un sistema de inyección de AdBlue con catalizador SRC y estructura de nanopartículas de ferrita como filtración de los gases contaminantes en el sistema de escape del vehículo de prueba; considerando parámetros mecánicos, hidráulicos, eléctricos, electrónicos y programación, los cuales se tomaron en cuenta para la selección de los componentes que constituyen todo el sistema y su compatibilidad para la adaptación en el sistema de escape. Se realizaron pruebas de ruta de con recorridos con intervalos de 200 km, de tal manera de estudiar la incidencia de la implementación en el control de emisiones contaminantes, además se pudo determinar el consumo de AdBlue a diferentes revoluciones, y la relación de dicho resultado en base al consumo de combustible. Se estableció que el sistema de reducción catalítica selectiva para el control de emisiones en vehículos con ciclo diesel redujo el 25% de opacidad y disminuyó el 17% de óxidos de nitrógeno (NOx), demostrando una incidencia positiva del sistema de inyección de urea al 32% con nanopartículas de ferrita y catalizador SCR en motores de combustión ciclo diesel.

Palabras clave:

- **SCR**
- **NANOPARTÍCULAS DE FERRITA**
- **UREA**
- **EMISIONES – OPACIDAD**

Abstract

This project analyzed the processes of selective catalytic reduction as catalysts for the control of emissions in vehicles with diesel cycle, through the design, construction and implementation of an AdBlue injection system with SRC catalyst and ferrite nanoparticles structure as filtration of polluting gases in the exhaust system of the test vehicle; considering mechanical, hydraulic, electrical, electronic and programming parameters, which were taken into account for the selection of the components that constitute the entire system and its compatibility for the adaptation in the exhaust system. Road tests were carried out with 200 km intervals, in order to study the impact of the implementation on the control of pollutant emissions, in addition to determining the AdBlue consumption at different revolutions, and the relationship of this result based on fuel consumption. It was established that the selective catalytic reduction system for emission control in diesel cycle vehicles reduced 25% of opacity and reduced 17% of nitrogen oxides (NO_x), demonstrating a positive incidence of the 32% urea injection system with ferrite nanoparticles and SCR catalyst in diesel cycle combustion engines.

Key words:

- **SCR**
- **FERRITE NANOPARTICLES**
- **UREA**
- **EMISSIONS - OPACITY**

Capítulo I

1. Planteamiento del Problema de Investigación

1.1. Antecedentes Investigativos

En Ecuador, la venta de vehículos pesados se ha visto afectado durante el 2020 debido a la pandemia del COVID-19, según la AEADE (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador) en 2020 se vendieron 11 293 vehículos pesados diésel (camiones, van y buses) mientras que en el año 2019 se lograron vender 14 344 vehículos, por lo que el sector automotriz de vehículos pesados tuvo una disminución de ventas del 21.27%. (AEADE, 2020, p. 08)

El parque automotor nacional actual respecto a vehículos de carga ligera, que según la AEADE son los que tienen una capacidad de carga menor a 3,5 toneladas, es actualmente de 333.328 automotores de esta clase, en los que se incluyen camiones (237.336), buses (38.380) y VANS (57.612); cabe recalcar que utilizan motores de combustión interna por compresión. (AEADE, 2021, p. 03)

Mientras que los vehículos de carga pesada (capacidad de carga mayor a 3,5 toneladas) según la Federación de Transporte Pesado del Ecuador (FENATRAPE) en el país existen más de 220 mil unidades de esta clase, de estas, entre 35 mil y 45 mil sobrepasan los 32 años de vida útil, el cual es el tiempo máximo de operatividad de estos (resolución 074 de la Agencia Nacional de Tránsito), según el sitio web de la revista Vistazo. (Vistazo, 2017)

En Ecuador existe hasta diciembre del 2020, 333 328 vehículos tipo comerciales (camión, bus, van) con una edad promedio de dicho parque automotor de 16.1 años lo cual los hace en su mayoría grandes contaminantes de óxidos nitrosos en el país (AEADE, 2021, p. 03).

A nivel mundial, según la página de censos Datos Macro, el parque automotor correspondiente a vehículos comerciales, es decir de carga pesada, que en su mayoría utilizan motores de combustión interna por compresión y que, arroja resultados como: datos por país, el cual menciona a Estados Unidos como el país con mayor número de vehículos comerciales en el mundo con 141'872.375 unidades, le sigue China con 27'039.668 vehículos comerciales, ubicándose después Japón y México con cifras similares. (DatosMacro, 2015)

En el Informe Final de Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio, DMQ 2011 resalta que: De las 25.060 toneladas de óxidos nitrosos que se emitieron durante el año 2011, más del 69% fueron generadas por vehículos, principalmente buses y transporte pesado a diésel que representa el 40%, además se incluyen vehículos particulares livianos que equivalen a más del 24%. (Baca, 2014, pp. 08-09)

El motor diésel como consecuencia de su funcionamiento genera gases contaminantes como el óxido nitroso controlado drásticamente de acuerdo con normas EURO, por lo que es necesario la implementación de un catalizador con sistema de catalizador de reducción selectiva que reduce drásticamente las emisiones de NOx. Por reacciones químicas. (Blumberg et al., 2003, p. 17)

(Fernández & Bustos, 2020) en su investigación "Tecnologías probadas para el Control de Emisiones Atmosféricas en Grupos Electrógenos" en la ciudad de Santiago de Chile, Chile, realiza una implementación de un sistema de reducción catalítica selectiva en un motor por encendido por compresión estacionario, en el cual, se implementa un catalizador de reducción selectiva que al inyectar AdBlue, el cual al exponerse a altas temperaturas se transforma en amoníaco y da como resultado una disminución de las emisiones de óxidos nitrosos hasta en un 95% y como mínimo 80%;

gracias al sistema SCR, y las reacciones químicas que todo este proceso abarca expulsando únicamente vapores de agua y nitrógeno inocuos. (p. 09)

Un método más elaborado para la reducción catalítica selectiva es la utilización de nanopartículas de ferrita como un reactivo ante los óxidos nitrosos, logrando transformar dichos óxidos en nitrógeno inocuo (N_2); gracias a la formación de las nanopartículas mediante un método denominado sol-gel se logra crear $CoFe_2O_4$, y mediante pruebas se evidencia que las nanopartículas son eficientes para la reducción catalítica de NO_x en temperaturas desde 250 a 500 °C logrando la reducción de los óxidos nitrosos hasta en un 40% (Briceño et al., 2011, p. 11).

Los catalizadores de NO_x para un sistema de reducción catalítica presentan dos tipos, el primero el cual está en el sistema SCR dentro del que se realiza la inyección de AdBlue, transformándose en amoníaco y reaccionando con los óxidos nitrosos para formar agua y nitrógeno; reduciendo dichas emisiones en hasta un 90% (FleetGuard, 2010, p. 02).

El otro tipo de catalizadores NO_x que se utilizan en motores de combustión interna por compresión son los catalizadores acumuladores los cuales tienen una temperatura de funcionamiento de 250° a 500°C y funcionan mediante la utilización de un recubrimiento de las paredes con sales de bario u óxidos de bario, las cuales son las encargadas de acumular los óxidos nitrosos y transformarlos en nitrógeno; reduciendo las emisiones de NO_x . (FleetGuard, 2010, p. 02).

Según la norma NTE INEN 2207:2002 permite la emisión de gases de óxido nitrosos es de 5 gramos por cada kilómetro de recorrido, permitiendo también el uso de las normas EURO 2 como mínimo en los automotores que circulan en el Ecuador; en la parte de opacidad dicta la norma una opacidad máxima de 50% (año modelo 2000 y posteriores) y 60% (año modelo 1999 y anteriores) (INEN, 2002, p .05).

Las nuevas tecnologías se han ido presentando durante los últimos años es así como, en el 2020 durante el cuadragésimo Simposio Internacional del Motor de Viena, algunas empresas grandes o colaboraciones han innovado y logrado emisiones de casi cero con respecto a las normas actuales de emisiones de NOx. Por un lado, BOSCH, en su página web oficial, presentó su sistema de reducción catalítica selectiva, que tiene la particularidad de tener un sistema de calentamiento a más de 200 °C de los gases y así optar por un catalizador más pequeño sin dejar de lado el funcionamiento óptimo del mismo. (BOSCH, 2018).

Dentro de un motor de combustión interna por compresión, existen diferentes procesos mediante el cual dicho motor cumple la función de generar energía cinética; así menciona (Consuegra, 2010), en su módulo de Motores Diésel, aclarando que el diesel está conformado por carbono e hidrógeno, y que al comprimirse en la cámara de combustión junto con el oxígeno del aire comprimido a unos 80 bares y 1000 °K; toda esa mezcla de componentes al quemarse forman óxidos de nitrógeno, carbono, azufre, así como también vapor de agua y nitrógeno; dando a entender la composición de los gases de escape que salen del motor, como afectan estos al medio que lo rodea y como tratarlos. (p. 30)

Durante las emisiones hay que tomar en cuenta que solo el 40% máximo del combustible diésel se quema en la combustión, provocando la formación de hidrocarburos no-quemados, CO y NOx; cada uno de estos componentes dan una idea de que sucede dentro de la cámara de combustión. Si existen mayor número de hidrocarburos y CO es porque la presión y temperatura dentro de la cámara de combustión es muy baja; por el contrario, si dicha presión y temperatura es elevada, ayuda a la formación de óxidos nitrosos; esto debido a que la alta cantidad de oxígeno a compresión reacciona con el nitrógeno del aire, formando NOx. (Ciria & Wearcheck Iberica, 2013, pp. 07-08)

Según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España presenta datos en base a un estudio que han realizado sobre motores diésel, acerca de la composición de los gases de escape de los motores de encendido por compresión los cuales son: 67% de nitrógeno, 12% de CO₂, 11% de H₂O, 10% de O₂, y solo un 0,3% de gases contaminantes entre los cuales se encuentran: NOx, SO₂, CO, HC y partículas de hollín. (Donaire, 2013, p. 15)

Concluyendo así que las emisiones contaminantes son insignificantes en comparación con todos los componentes que expulsa un motor diésel, pero al mismo tiempo son altamente contaminantes por lo que es obligatorio y justificado la creación y utilización de entes reguladores de estos gases contaminantes. (Donaire, 2013, p. 15)

Los óxidos nitrosos presentes como un gas en el aire son altamente nocivos tanto para las personas como para el medio ambiente, el cual es producido en un 75% por los vehículos; según un informe de Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo los efectos generales que se pueden dar en la salud de una persona por estar en contacto prologando con gases NOx son: irritación ocular y respiratoria, tos, flema,

dificultad al respirar; además existen registros de una baja probabilidad de enfermarse con cáncer de pulmón. (Donaire, 2013, p. 16)

La OMS entrega valores técnicos sobre la exposición humana a los gases NOx medida en partes por millón (ppm), informando que de 1-3 ppm de NOx, es solo perceptible por el olfato; 13 ppm se produce una irritación de nariz, garganta y ojos; 25 ppm congestión y enfermedades pulmonares; 100-1000 ppm puede llegar a ser mortal con exposición breve (Droadio Villarejo, 2013, p. 36).

El efecto que causan los gases NOx al medio ambiente principalmente se trata de la formación de smog en el aire, lo que provoca una reflexión de la luz, induciendo efectos como el calentamiento global o efecto invernadero, como consecuente se produce la lluvia ácida, así lo afirma la página oficial de GreenFacts. (GreenFacts, 2020)

La opacidad permite determinar los contaminantes que se están expulsando por el sistema de escape de un vehículo con motor de encendido por compresión, y para determinar dicho contaminante en una ciudad se realiza un muestreo de cuantos vehículos cumplen con las normas nacionales en este caso INEN 2207 que dictamina una opacidad no mayor al 50%; y así se puede concluir que esto se debe a varios factores, entre ellos el kilometraje recorrido por el automotor relacionado con la vida útil del mismo y también por los mantenimientos que el usuario propietario realice al vehículo (Pozo & Cabascango, 2017, p. 01).

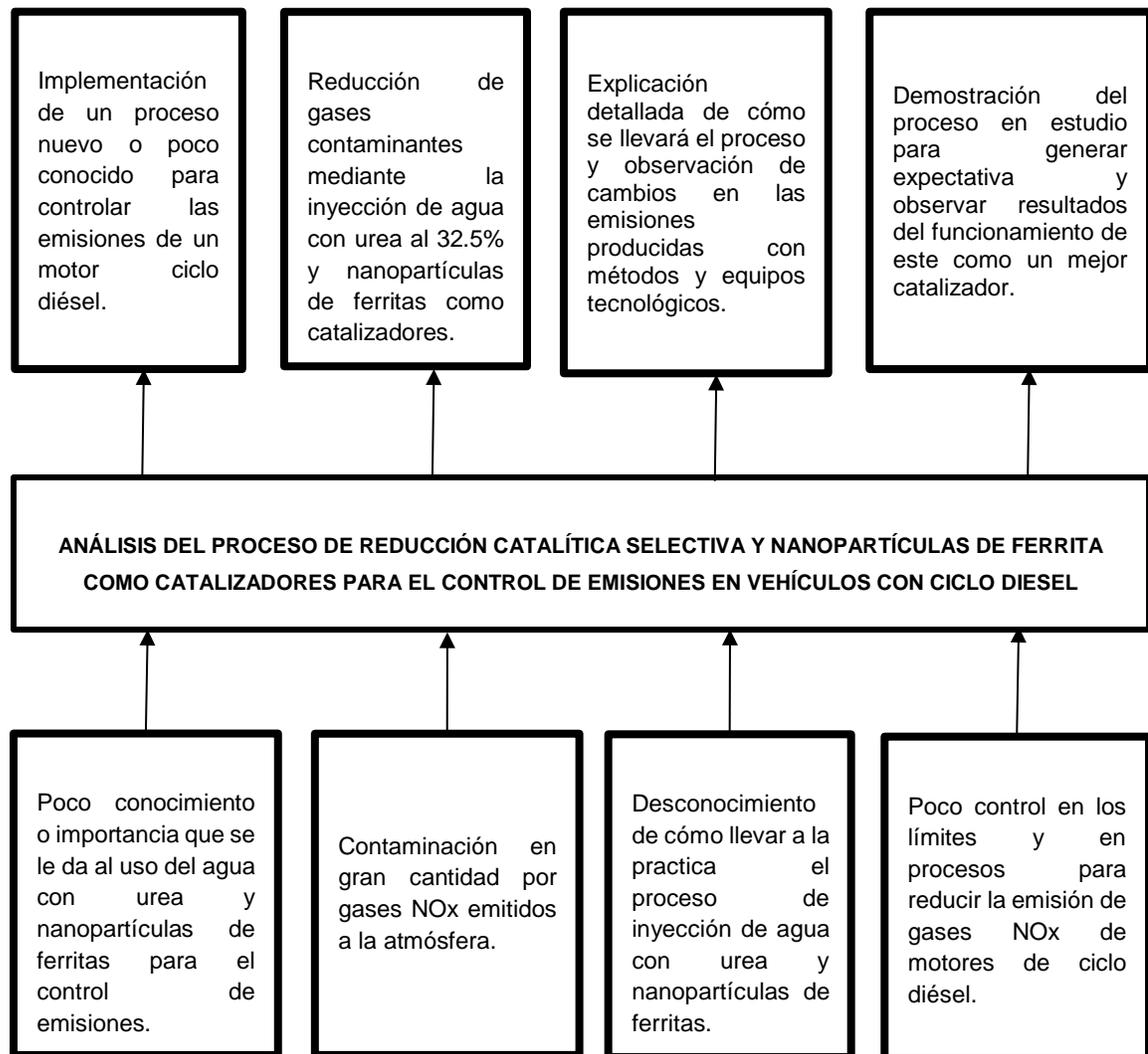
1.2. Planteamiento del Problema

Los vehículos con motores de combustión interna con encendido por compresión producen altos índices de emisiones de óxidos nitrosos que resulta de la suma de monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂), gases que se forman cuando el combustible se quema a altas temperaturas, reaccionando con el aire para así crear varios tipos de ácidos y ozono troposférico (smog), que lleva a efectos adversos en los sistemas terrestres y acuáticos, problemática de la contaminación del ecosistema y degradación de la calidad de vida.

El parque automotor en Ecuador de transporte y carga pesada vinculada en el comercio nacional llevado a cabo por vehículos de ciclo diésel es de 553 000 unidades, es decir que este sector automotriz es uno de los mayores contaminantes a nivel nacional; con mayor incidencia en el país gracias a la libre circulación, pues no existen controles, además de no tener actualizadas las normativas nacionales de control en emisiones de óxidos nitrosos y opacidad con límites que disminuyan el impacto en la atmósfera por parte de los organismos de tránsito como los Gobiernos Autónomos Descentralizados.

Figura 1

Árbol de problemas



Nota. El gráfico se observa el árbol de problemas presentes durante la investigación y lo que se busca resolver

El transporte comercial y público en un país como Ecuador ya sea por su geografía o por el lento desarrollo que ha tenido en métodos alternativos hace que en el sector se generen nuevas alternativas para el control de emisiones mediante procesos como inyección de AdBlue y nanopartículas de ferrita como catalizadores al motor de ciclo diésel y así disminuir los gases nocivos que afectan a la atmósfera y al medio ambiente.

El problema generado a partir de estas emisiones no controladas seguirá en constante crecimiento ya sea por la calidad de diésel que se tiene en el país o por el hecho de que al momento de mantenimiento de los vehículos no se considere un problema la emisión desmedida de gases NOx, en su mayoría, que pueden afectar directamente la salud humana y ayudar al desequilibrio de ecosistemas.

El proceso considerado a realizarse actualmente en el país es poco o casi nada conocido generando así una cultura de mínima importancia hacia la contaminación desmedida por gases NOx generados por un motor de ciclo diésel ; en este caso se intentará demostrar que el proceso de inyectar AdBlue y nanopartículas de ferrita puede ser una gran ayuda como catalizador en estos tipos de motor, dando una pauta para ser más amigables con el medio ambiente y generando una conciencia sobre la emisión de gases contaminantes.

Entonces el problema a investigar es el “Análisis del proceso de reducción catalítica selectiva como catalizadores para el control de emisiones en vehículos con ciclo diésel”.

1.3. Descripción Resumida del Proyecto

La presente investigación del “Análisis del proceso de reducción catalítica selectiva como catalizadores para el control de emisiones en vehículos con ciclo diésel”, consideró lo siguiente:

Se recolectó información técnica-científica para fundamentar aspectos teóricos y prácticos realizando así la investigación con bases de datos digitales, libros, manuales, normativas y artículos confiables, referente a los sistemas de reducción catalítica selectiva, catalizadores reductores de NOX y nanopartículas de ferrita para la reducción de óxidos nitrosos y opacidad, comprobando la reducción mediante pruebas de emisiones.

Se implementó un kit para el sistema de reducción selectiva controlado electrónicamente por un módulo que inyecta AdBlue en el sistema de escape de vehículos de carga pesada a través de un método de selección que consideró aspectos mecánicos, hidráulicos, gestión eléctrica y electrónica con el sistema de escape estándar y catalizador SCR.

Se estructuró catalizadores a partir de nanopartículas de ferrita que validó la reducción catalítica selectiva de NOx y opacidad, implementado después del catalizador SCR del sistema de inyección de AdBlue.

Se efectuó la calibración de los equipos de medición de emisiones y opacidad de los laboratorios de Autotrónica y Mecánica de Patio, mediante la utilización de analizadores de gases como son: opacímetro 57-220 y AGS-688, con lo que se garantizó la correcta operación de los analizadores de acuerdo a la instrumentación y técnicas para la medición de emisiones de gases de escape según la norma NTE INEN 2349:2003, la cual menciona parámetros que deben tener los equipos de medición y el vehículo de prueba, así como también condiciones meteorológicas y ambientales para realizar las mediciones.

Se ejecutó ensayos de medición de emisiones acorde a la normativa nacional vigente aplicada en los CRTV “Centros de Revisión Técnica Vehicular” NTE INEN 2349:2003, NTE INEN 2 207 :2002, NTE INEN 2 202:2013, con ensayos de gases NOx y determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diésel mediante la prueba estática por el método de aceleración libre.

1.4. Justificación e Importancia

Las normas de regulación que existen en el país referente a las emisiones de los vehículos tanto livianos como pesados son altamente permisibles. Como referencia se toma las normas EURO para el control de emisiones las cuales en el país se decreta a comercializar y utilizar los vehículos con una norma EURO II (NTE INEN 2207) como mínimo, mientras que en Europa se rigen actualmente bajo las normas nivel V y VI; esto da como resultado una alta contaminación en el Ecuador ya que las instituciones reguladoras (INEN) son permisibles con las normas afectando directamente la salud de todos los ciudadanos, especialmente en las ciudades con alto número de habitantes y vehículos.

Dentro de las normas EURO más actuales, se plantea diferentes sistemas de control de emisión de gases contaminantes, con lo cual este proyecto es justificado para aplicar un sistema de inyección de AdBlue para poder reducir así las emisiones de óxidos nitrosos (NOx) mediante las reacciones químicas entre estos dos componentes, y poder garantizar los niveles de emisiones requerido por las normas ecuatorianas; este sistema se complementará con la implementación de nanopartículas de ferrita en el catalizador lo cual aporta a la reducción de los niveles de NOx en los gases de escape.

Para el control de estas emisiones se utilizan procedimientos, calibraciones, puestas a punto y equipos de medición que exigen las normas específicamente las normas INEN NTE 2349 y 2202 las cuales se utilizan en centros de revisión técnica vehicular y permite establecer valores y exigencias para que un vehículo pueda circular dentro del territorio ecuatoriano; todo esto con el fin de sustentar y fundamentar el presente proyecto. Además, la investigación servirá para que muchos vehículos que utilicen un motor de encendido por compresión (MEC) tanto livianos como pesados, puedan implementar nuestro proyecto y así no tener problemas al momento de registrar su vehículo ante la CORPAIRE, y aportar de mejor manera al medio ambiente, disminuyendo como se mencionó antes los índices de las emisiones.

En base al desarrollo de esta investigación, se logró determinar pros y contras al implementar un sistema SCR, tanto de inyección de AdBlue como de nanopartículas de ferrita a modo de catalizador, en un vehículo con motor diesel para realizar mediciones de emisiones y opacidad. Justificando así, el funcionamiento y eficiencia del sistema de inyección de solución de urea y nanopartículas de ferrita, sustentándolo mediante los subprocesos de implementación, concretando que el sistema es eficiente al reducir los gases NOx, siendo así una alternativa viable a implementar en proyectos futuros.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Analizar el proceso de reducción catalítica selectiva y nanopartículas de ferrita como catalizadores para el control de emisiones en vehículos con motor de combustión interna por compresión.

1.5.1. Objetivos Específicos

- Fundamentar con información técnica-científica los métodos y sistemas de reducción catalítica selectiva en catalizadores reductores de NO.
- Consultar en fuentes bibliográficas el uso de nanopartículas de ferrita para la reducción de óxidos nitrosos y opacidad.
- Implementar un kit para el sistema de reducción selectiva controlado electrónicamente por inyección de AdBlue en vehículos ciclo diesel.
- Dimensionar el sistema de reducción catalítica selectiva desde la visión mecánica, hidráulica, eléctrica y electrónica con catalizadores nuevos y estándar.
- Emplear un sistema de filtración de gases de escape mediante la implantación de nanopartículas de ferrita como agente catalítico.
- Efectuar la calibración de los equipos de medición de emisiones y opacidad de los laboratorios de Autotrónica y Mecánica de Patio.
- Ejecutar ensayos de medición de emisiones acorde a la normativa nacional vigente aplicada en los CRTV y NTE INEN.
- Determinar la opacidad de emisiones de escape de motores de diésel mediante la prueba estática por el método de aceleración libre.

- Medir el humo de motor, según gestión ambiental para automotores y sus límites permitidos de emisiones producidas por motores de vehículos diésel por procedimiento de prueba de humo de aceleración rápida.

1.6. Metas

- Disminuir las emisiones NOx y opacidad en 25% un motor ciclo diésel mediante procesos de reducción catalítica selectiva y nanopartículas de ferrita.
- Implementar un sistema de inyección de AdBlue tomando en cuenta parámetros para el diseño y selección de componentes.
- Demostrar que las nanopartículas de ferritas son un componente complementario en la reducción de los óxidos nitrosos y opacidad, a partir de su adaptación como catalizador.

1.7. Hipótesis

Los procesos de reducción catalítica selectiva son métodos eficientes para la reducción de emisiones en fuentes móviles – automotores con ciclo diésel de carga pesada hasta en un 25%

1.8. Variables de Investigación

1.8.1. Variable Dependiente

Emisiones de NOx y Opacidad

Tabla 1

Operacionalización de la variable dependiente

| Concepto | Categoría | Indicadores | Ítem | Técnicas | Instrumentos |
|----------|-----------|-------------|------|----------|----------------------------------|
| | | | | | NTE INEN |
| | | CO | % | Medición | 2207:2002; NTE INEN 2202:2002 |

| Concepto | Categoría | Indicadores | Ítem | Técnicas | Instrumentos |
|--|---|-----------------|------|----------|--|
| Medición emisiones de gases NOx y opacidad mediante analizador de gases | Gases expulsados por el motor de encendido por compresión | CO ₂ | % | Medición | Analizador de Gases ECE -49 |
| | | | | | NTE INEN 2207:2002; NTE INEN 2202:2002 |
| | | HC | ppm | Medición | Analizador de Gases ECE -49 |
| | | | | | NTE INEN 2207:2002; NTE INEN 2202:2002 |
| Medición emisiones de gases NOx y opacidad mediante analizador de gases | Gases expulsados por el motor | NO | ppm | Medición | Analizador de Gases ECE -49 |
| | | | | | NTE INEN 2207:2002; NTE INEN 2202:2002 |
| | | | | | Analizador de Gases ECE -49 |
| | | | | | NTE INEN 2207:2002; NTE INEN 2202:2002 |

| Concepto | Categoría | Indicadores | Ítem | Técnicas | Instrumentos |
|----------|------------|-------------|------|----------|--------------------------------|
| | de | | | | NTE INEN |
| | encendido | | | | 2207:2002; NTE |
| | por | | | | INEN 2202:2002 |
| | compresión | Opacidad | % | Medición | Opacómetro |
| | | | | | Prueba de aceleración libre |

Nota. En la tabla se describe la variable dependiente, misma que permite conocer la categoría, indicadores, ítem, técnicas e instrumentos.

1.8.2. Variable Independiente

Reducción catalítica selectiva.

Tabla 2

Operacionalización de la variable independiente

| Concepto | Categoría | Indicadores | Ítem | Técnicas | Instrumentos |
|---------------------------------------|-----------|---|----------------|-----------------|-----------------------------|
| | | Tensión de activación de la bomba | <i>voltios</i> | Medición | Multímetro |
| Inyección electrónica de AdBlue | | Temperatura del motor | °C | Medición OBD | MGT-300 Evo Multímetro |
| | | Revoluciones del motor | <i>rpm</i> | OBD Medición | Osciloscopio MGT-300 Evo |

| Concepto | Categoría | Indicadores | Ítem | Técnicas | Instrumentos |
|--|--|---|------|----------|--------------------|
| Proceso de reducción catalítica selectiva | Nanopartículas de ferrita en catalizador adaptado | Cantidad de nanopartículas de ferrita | gr | Medición | Báscula |
| | | Tiempo de reacción | S | Medición | Pruebas de Ruta |

Nota. En la tabla se describe la variable independiente, misma que permite conocer la categoría, indicadores, ítem, técnicas e instrumentos.

Capítulo II

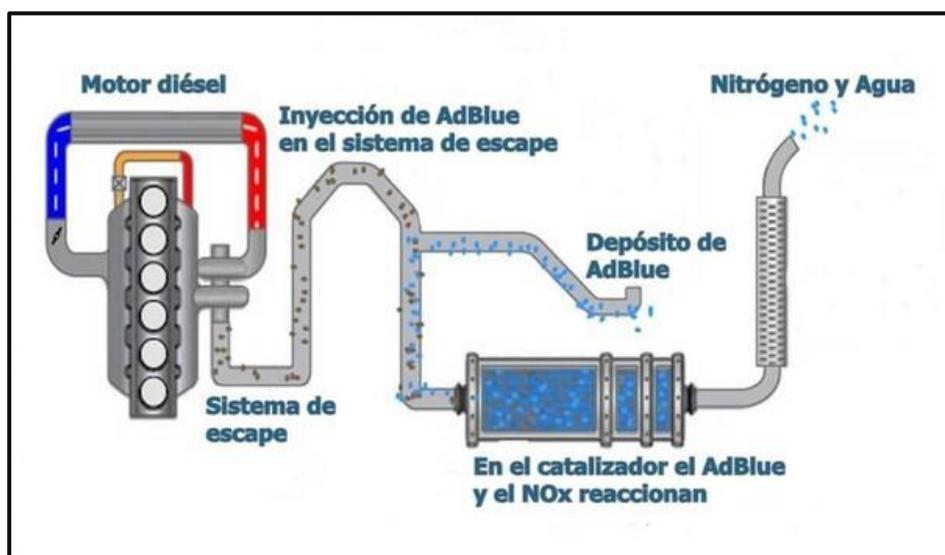
2. Marco Teórico

2.1. Sistema SCR (Reducción Catalítica selectiva)

En la revista Cummins (FleetGuard, 2010) señala que el objetivo del sistema SCR es menorar los niveles de NOx que son dañinos para la salud y el medio ambiente. SCR es un método de postratamiento para los gases de escape del motor (Figura 2). Una mínima cantidad de AdBlue es inyectada en el sistema de escape, donde se forma amoníaco y dióxido de carbono. (p. 01)

Figura 2

Sistema de inyección de AdBlue

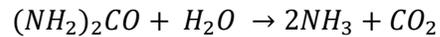


Nota. La figura muestra los componentes del sistema de reducción catalítica selectiva con inyección de AdBlue. Tomado de *ABC motor*, por ABC, 2018.

2.1.1. Reacción Química del Proceso SCR

La reacción química de este proceso comprende en utilizar la mezcla de agua con urea al 32.5% en los gases de escape haciendo que estos sean eliminados hasta en un 90%. (Cefic, 2005, p. 05)

El AdBlue es dosificado en los gases de escape sufriendo una hidrólisis a una temperatura mayor de 180° C, formando amoníaco (NH₃) según la Ecuación 1. (Cefic, 2005, p. 05)



Ecuación 1

Reacción de Hidrólisis

Donde:

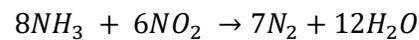
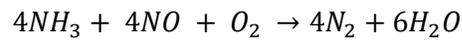
(NH₂)₂CO: Urea (mol)

H₂O: Vapor de agua (mol)

NH₃: Amoniaco (mol)

CO₂: Dióxido de carbono (mol)

Dentro del catalizador SCR se produce la siguiente reacción para transformar el NO_x junto con el NH₃ obtenido de la reacción de hidrólisis, en nitrógeno y agua. (Cefic, 2005, pp. 05-06)



Ecuación 2

Reacción SCR

Donde:

NH₃: Amoniaco (mol)

NO: Monóxido de nitrógeno (mol)

O₂: oxígeno gaseoso (mol)

NO₂: Dióxido de nitrógeno (mol)

N₂: Nitrógeno gaseoso (mol)

H₂O: Vapor de agua (mol)

2.2. Componentes del Sistema de Inyección de AdBlue

2.2.1. Solución de Urea

En la página web de Verband der Automobilindustrie (VDA), la solución de urea conocido también como AUS 32 o comercialmente como AdBlue es una solución de agua destilada o desionizada con 32.5% de urea. El AdBlue (Figura 3) es de suma importancia para el correcto funcionamiento de los sistemas de reducción catalítica selectiva o SCR. Este fluido transparente, no es tóxico, es seguro de manipular y lo más primordial no contamina el medio ambiente. (VDA, 2020)

Tabla 3

Propiedades químicas de AUS 32 (AdBlue)

| Propiedad | Valor | Unidades |
|----------------------------------|---------------|----------------------------|
| Contenido de Urea | 31.8 – 33.2 | % en peso |
| Densidad a 20°C | 1.087 – 1.093 | $\frac{g}{cm^3}$ |
| Alcalinidad como NH ₃ | 0.2 | % |
| Punto de congelación | -11 | °C |
| Punto de evaporación | 30 | °C |
| Conductividad térmica | 0.570 | $\frac{W}{m * ^\circ K}$ |
| Calor específico | 3.40 | $\frac{KJ}{Kg * ^\circ K}$ |

Nota. La tabla (traducida) muestra las propiedades químicas del AdBlue. Tomado de *DIN 70070*, por Instituto Alemán de Normalización, 2008.

Figura 3

Solución de urea



Nota. La figura muestra el aditivo AdBlue de la marca Total. Tomado de *Total Blog España*, por Total, 2016.

2.2.2. Depósito de solución de urea

(Pérez Belló, 2011) indica que el depósito de AdBlue (Figura 4) se ubica dependiendo del vehículo, en el caso de vehículos pesados, se debe tener un depósito de gran capacidad. Se debe acoplar en un área con ambiente fresco, tomando en cuenta las propiedades del AdBlue. (p. 395)

Figura 4

Depósito de Solución de urea



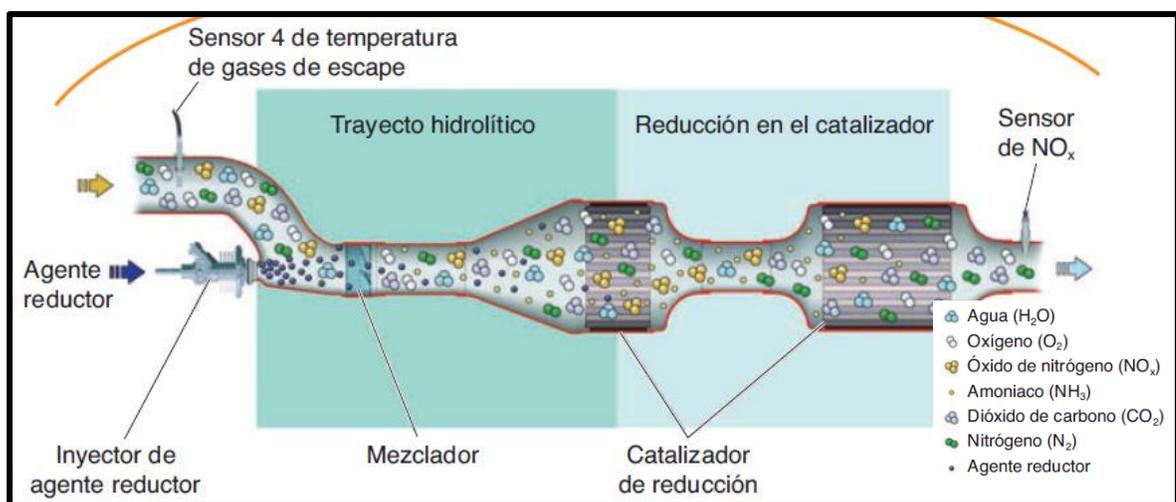
Nota. En la figura se ejemplifica un depósito para AdBlue con su respectivo sensor de nivel de aditivo. Tomado de *Drift HQ*, por AEM, 2022.

2.2.3. Catalizador SCR

Como menciona (Pardiñas, 2012) acerca del catalizador de reducción selectiva, es el que se encarga de convertir los óxidos nitrosos en vapor de agua y nitrógeno gaseoso (Figura 5). La temperatura de funcionamiento del catalizador SCR es de 200°C. (p. 446)

Figura 5

Catalizador SCR



Nota. En la figura se muestra las reacciones y gases que se forman dentro del sistema de escape al inyectar AdBlue. Tomado de *Sistemas auxiliares del motor* (p. 446), por J. Pardiñas, 2012, Editorial Editex.

2.2.4. Inyector de AdBlue

El inyector (Figura 6) se encuentra ubicado entre la salida del escape del turbo y el catalizador SCR, el mismo inyecta la solución de urea exacta para que se lleve a cabo la reacción química, así lo menciona la página Autocasión. (Fidalgo, 2018)

(Ruiz Saráchaga, 2012) menciona algunas propiedades que debe tener el inyector las cuales son:

- $2.7 \frac{l}{min}$ de solución de urea de 45-70 psi

- Orificio de 4.5 mm, gotitas de 35-40 micras. (p. 43)

Figura 6

Inyector de AdBlue



Nota. En la figura se muestra un inyector de AdBlue de la marca Bosch. Tomado de *Bosch*, por Bosch, 2021.

2.2.5. Bomba de Suministro de AdBlue

La bomba de suministro de solución de urea AdBlue (Figura 7), especificada en el sitio oficial de Bosch, tiene como función principal el distribuir el aditivo desde el depósito hasta el inyector, a través de una membrana controlada por un solenoide de manera precisa. (Bosch, 2021)

Figura 7

Bomba de suministro de solución de urea



Nota. En la figura se observa una bomba de AdBlue de la marca Bosch. Tomado de *Bosch*, por Bosch 2021.

(Bosch, 2021) expone en su página oficial las especificaciones técnicas de la bomba:

- Presión de operación: 87 ± 7.25 psi
- Tensión de funcionamiento: $8V - 16 V$

2.3. Nanopartículas de Ferrita

(Fino et al., 2006) alude en su artículo que las nanopartículas de ferrita tienen como una de sus aplicaciones la reducción catalítica, ya que se puede utilizar como un filtro de partículas, y así reducir las emisiones de óxidos nitrosos y hollín, además se pueden implantar dentro de un catalizador SCR y ser un complemento para el sistema de inyección de AdBlue. (p. 39)

2.4. Gases de Escape Originados tras la Combustión

Principalmente los gases con más presencia en el sistema de escape son el nitrógeno, oxígeno y el vapor de agua, los cuales no son venenosos ni contaminantes para el medio ambiente y los seres vivos. (Bosch, 1996, p. 486)

2.4.1. Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

(Pardiñas, 2012) afirma sobre los óxidos de nitrógeno que “son consecuencia de la combinación del oxígeno con el nitrógeno en condiciones de alta presión y temperatura. El NO, en presencia del oxígeno del aire, se transforma en NO_2 el cual origina irritación.” (p. 88)

2.4.2. Hidrocarburos (HC)

Los hidrocarburos son parte de los gases de escape, producto del combustible sin quemar o aceite en la cámara de combustión. (Pardiñas, 2012, pp. 87-88)

2.4.3. Monóxido de Carbono (CO)

(Bosch, 1996) alude sobre el monóxido de carbono que “el respirar 30 minutos un aire que contenga un 0.3% en volumen de CO puede ser mortal. Al ralentí el contenido de CO del gas de escape de los motores Otto es alto.” (p. 486)

2.4.4. Dióxido de Carbono (CO₂)

(Pardiñas, 2012) señala sobre el CO₂ que:

Aunque no es tóxico, resulta perjudicial para el medio ambiente cuando se encuentra en concentraciones superiores a las normales. Siempre que la cantidad de CO₂ presente en la atmósfera sea superior a la que las plantas puedan absorber para transformar en oxígeno, se produce el efecto invernadero que hace que la temperatura de todo el planeta aumente y se produzcan cambios climáticos. (p. 87)

2.5. Normas Técnicas de Emisiones y Opacidad

2.5.1. NTE INEN 2202:2013

La norma INEN 2202:2013 establece disposiciones generales para realizar las pruebas de opacidad, tales como, condiciones ambientales, prueba de aceleración libre, los cuales son esenciales para realizar una prueba precisa. (INEN, 2013, p. 01)

2.5.2. NTE INEN 2207:2002

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2002) decreta que “esta norma establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de opacidad de las emisiones de escape de las fuentes móviles con motor de diesel mediante el método de aceleración libre.” (p. 01)

(INEN, 2002) señala que “Toda fuente móvil con motor de diésel, en condición de aceleración libre, no podrá descargar al aire humos en cantidades superiores a las indicadas en la Tabla 4” (p. 05)

Tabla 4

Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor diésel

| Año modelo | % Opacidad |
|--------------------|-----------------------|
| 2000 y posteriores | 50 |
| 1999 y anteriores | 60 |

Nota. Tomado de *INEN 2207*, por Instituto Ecuatoriano de Normalización 2002.

2.5.3. NTE INEN 2349:2003

La norma (INEN, 2003) menciona que “Esta norma se aplica al proceso de revisión que realizan los Centros de Revisión y Control Vehicular (CRCV), en lo relacionado con sus procedimientos y su equipamiento” (p. 01)

El (INEN, 2003) establece que, para el uso de un analizador de gases este debe ser capaz de medir 4 gases y con la posibilidad de hacerlo con 5, habilitando una vía para los gases NO_x, según características mostradas en la Tabla 5.

Tabla 5

Características del Equipo de Análisis de Gases según la norma NTE INEN 2349

| PARÁMETRO | REQUERIMIENTO | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--|-----------------|--------------------------|--------------------------|---------|---------------------------------------|---------|---------------------------|---------|---------------------------------|---------------|-----------------------------|----------------|
| Características generales | Capacidad de medición y reporte automáticos de la concentración en volumen de CO, CO ₂ , HC y O ₂ , en los gases emitidos por vehículos | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Rango de medición</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Monóxido de carbono (CO)</td> <td>0 – 10%</td> </tr> <tr> <td>Dióxido de carbono (CO₂)</td> <td>0 – 16%</td> </tr> <tr> <td>Oxígeno (O₂)</td> <td>0 – 21%</td> </tr> <tr> <td>Hidrocarburos no combustiónados</td> <td>0 – 5 000 ppm</td> </tr> <tr> <td>Velocidad de giro del motor</td> <td>0 – 10 000 rpm</td> </tr> </tbody> </table> | Variable | Rango de medición | Monóxido de carbono (CO) | 0 – 10% | Dióxido de carbono (CO ₂) | 0 – 16% | Oxígeno (O ₂) | 0 – 21% | Hidrocarburos no combustiónados | 0 – 5 000 ppm | Velocidad de giro del motor | 0 – 10 000 rpm |
| Variable | Rango de medición | | | | | | | | | | | | |
| Monóxido de carbono (CO) | 0 – 10% | | | | | | | | | | | | |
| Dióxido de carbono (CO ₂) | 0 – 16% | | | | | | | | | | | | |
| Oxígeno (O ₂) | 0 – 21% | | | | | | | | | | | | |
| Hidrocarburos no combustiónados | 0 – 5 000 ppm | | | | | | | | | | | | |
| Velocidad de giro del motor | 0 – 10 000 rpm | | | | | | | | | | | | |
| Rangos de medición | | | | | | | | | | | | | |

| PARÁMETRO | REQUERIMIENTO | |
|---|-----------------------|------------------|
| | Temperatura de aceite | 0 – 150 °C |
| | Factor lambda | 0 – 2 |
| Condiciones ambientales de funcionamiento | Temperatura | 5 – 40 °C |
| | Humedad relativa | 0 – 90% |
| | Altitud | Hasta 3 000 msnm |
| | Presión | 500 – 760 mm Hg |

Nota. Tomado de *INEN 2349*, por Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2003.

Para el uso del opacímetro de flujo parcial establece las siguientes características en la Tabla 6:

Tabla 6

Características de la máquina medidora de opacidad según la norma NTE INEN 2349

| PARÁMETRO | REQUERIMIENTO | |
|---|--|------------------|
| Características Generales | Capacidad de medición y reporte automáticos de la opacidad del humo emitido por el tubo de escape de vehículos Diesel. | |
| | 0 – 100% de opacidad y | 1% de resolución |
| Mediciones y resolución | Factor K de 0 – 9 999 (∞) m^{-1} | 0,01 m^{-1} |
| Condiciones ambientales de funcionamiento | Temperatura | 5 – 40 °C |
| | Humedad relativa | 0 – 90% |
| | Altitud | Hasta 3 000 msnm |
| | Presión | 500 – 760 mm Hg |

Nota. Tomado de *INEN 2349*, por Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2003.

2.5.4. SAE J1667

La norma SAE J1667 ayuda a establecer el procedimiento para realizar una prueba de aceleración rápida el cual es que antes de iniciar la prueba de aceleración rápida, el motor debe estar en marcha mínima. Desde ahí, se debe pisar el acelerador a fondo lo más rápido posible. (SAE, 1996, p. 07)

El operador debe mantener el vehículo acelerado a fondo hasta que el motor llegue a la velocidad gobernada, y mantener ahí durante cuatro segundos. Pasado este periodo, se libera el pie, y se deja que el motor se mantenga a ralentí por al menos 5 segundos, para después repetir todo el proceso cuatro veces. (SAE, 1996, p. 07)

2.6. Principios Hidráulicos

2.6.1. Ecuación General de la Energía

Según (Mott, 1996), aclara que la ecuación general de la energía determina “las pérdidas y las adiciones de energía en un sistema en términos de energía por unidad de peso o de fluido que fluye por el sistema” (p. 195).

$$\frac{P1}{\gamma} + Z1 + \frac{V1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P2}{\gamma} + Z2 + \frac{V2^2}{2g}$$

Ecuación 3

Ecuación General de la Energía

Donde:

$P1$ = Presión al inicio (Pa)

γ = Peso específico del fluido ($\frac{N}{m^3}$)

$Z1$ = Altura del depósito a la bomba (m)

$V1$ = Velocidad del fluido al inicio ($\frac{m}{s}$)

g = Gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

h_A = Energía proporcionada por la bomba (m)

h_R = Energía del fluido por medio de un motor (m)

$P2$ = Presión al final (Pa)

$Z2$ = Altura de la bomba hacia el inyector (m)

$V2$ = Velocidad del fluido al final ($\frac{m}{s}$)

h_L = Pérdida de energía debido a la fricción (m)

2.6.2. Numero de Reynolds

Asimismo, (Mott, 1996) declara que “un numero sin dimensiones, el *número de Reynolds*, relaciona las variables más importantes que describen un flujo: velocidad, longitud de la trayectoria del flujo, densidad de fluido y viscosidad” (p. 219).

$$N_R = \frac{V * D * \rho}{\mu}$$

Ecuación 4

Numero de Reynolds

Donde:

N_R = Número de Reynolds

V = Velocidad del flujo ($\frac{m}{s}$)

D = Diámetro del conducto (m)

ρ = Densidad del fluido ($\frac{Kg}{m^3}$)

μ = Viscosidad del fluido ($Pa * s$)

2.6.3. Pérdidas menores

(Mott, 1996) menciona que “las pérdidas menores ocurren cuando hay un cambio en la sección cruzada de la trayectoria del flujo o en la dirección de flujo, o cuando la trayectoria de flujo se encuentra obstruida, como sucede con una válvula” (p. 267).

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 5

Ecuación de Darcy

Donde:

h_L = pérdida de energía debido a la fricción (m)

f = factor de fricción

L = longitud de la corriente de flujo (m)

D = diámetro del conducto (m)

V = velocidad de flujo promedio ($\frac{m}{s}$)

g = Gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

2.7. Ley de Ohm

Según (López Rodríguez, 2012), sostiene que la ley de Ohm es “la proporcionalidad entre la tensión aplicada a un conductor cilíndrico y la corriente que circulaba por él, a la constante de proporcionalidad le llamó resistencia eléctrica. La ecuación que expresa dicha ley es.” (p. 29).

$$V = I * R$$

Ecuación 6

Ley de Ohm

Donde:

V = Tensión (V)

I = Intensidad de corriente (A)

R = Resistencia (Ω)

2.8. Arduino

Según la página oficial de (Arduino, 2018), la cual informa sobre su tecnología de programación resaltando que Arduino es un software libre el cual permite programar en código C, y mediante su hardware se puede introducir señales de entrada y emitir señales de salida según la codificación empleada.

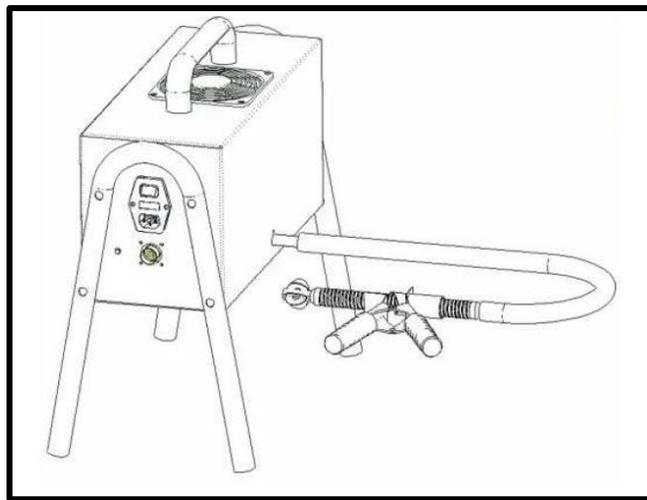
2.9. Equipos de Medición

2.9.1. Opacímetro 57-220

Según el manual de operación del opacímetro 57-220 (Cartek, 2007), este equipo (Figura 8) ha sido diseñado y fabricado para que cumpla las especificaciones NF R 10-025 que son estandarizaciones francesas altamente exigentes.

Figura 8

Opacímetro 57-220



Nota. Se observa en la figura el opacímetro utilizado en el presente proyecto. Tomado de *Cartek 57-220* (p. 103), Por Bear, 2007.

2.9.2. Analizador de Gases AGS-688

(Globaltech, 2019), página comercializadora de equipos automotrices, señala algunas características técnicas del analizador de gases AGS-688 como son:

- Función automática de calibración a CERO
- Sistema de filtrado reforzado y con trampa de agua
- Pruebas automáticas para residuos de HC y vacío
- Mide: HC, CO, CO₂, O₂
- Habilitado para medición de NO_x con sensor opcional

Figura 9*Analizador AGS-688*

Nota. La figura muestra el analizador de gases utilizado para las mediciones de gases en la investigación. Tomado de MAHLE, por BrainBee, s.f.

2.9.3. Contador de RPM MGT-300

El contador de revoluciones MGT-300 (Figura 10) registra los valores mediante la señal de carga de batería del vehículo, además para una lectura más precisa se puede conectar además un sensor de vibración de tipo magnético. Este equipo ayuda a determinar la temperatura del motor mediante una sonda que se introduce en la varilla del medidor de aceite. (MAHLE, 2019)

Figura 10*MGT-300*

Nota. Contador de RPM que permite observar la temperatura del motor. Tomado de MAHLE, por BrainBee, s.f.

Capítulo III

3. Implementación del Sistema Reducción Catalítica Selectiva por Inyección de AdBlue y Nanopartículas de Ferrita como catalizador

3.1. Diseño

El sistema de inyección de AdBlue está conformado por cuatro subsistemas: mecánico, hidráulico, eléctrico y electrónico.

3.2. Diseño mecánico

El diseño mecánico consiste en un sistema de fijación de tipo permanente para el inyector de AdBlue y el catalizador SCR en el sistema de escape del vehículo de prueba como se observa en la Figura 11.

Figura 11

Sistema mecánico



Nota. La figura muestra el catalizador SCR y el orificio para el inyector ya implementado en el sistema de escape, con medidas necesario para el modelado.

3.2.1. Sistema de Escape

La selección del tubo debe tener parámetros a tomar en cuenta como lo son: diámetro del tubo, espesor, costo y el peso.

Tabla 7*Selección del tubo para el sistema de escape*

| Tipo | Diámetro in | Espesor mm | Peso kg/m | Disponibilidad | Costo |
|--|----------------|---------------|--------------|----------------|-------|
| Tubería estructural redonda negro | 2 ½ | 2.00 | 3.50 | Disponible | Bajo |
| Tubería de cerramiento | 2 ½ | 2.3 | 4.01 | Disponible | Medio |
| Tubería negra sin costura | 2 ½ | 3.05 | 5.30 | Disponible | Medio |

Nota. La tabla muestra el diámetro, espesor y peso de diferentes tubos utilizados para el sistema de escape.

A partir de la Tabla 7, se seleccionó, considerando el diámetro y espesor del tubo del sistema de escape estándar, el tubo estructural redondo negro.

3.2.2. Catalizador SCR

El catalizador debe cumplir con requerimientos específicos que aportan a que la reacción de los gases funcione en óptimas condiciones, dichos requerimientos son:

estructura interna cerámica, número de vías: 3, y debe tener una entrada y salida de 2 $\frac{1}{2}$ pulgadas para que se acople correctamente al sistema de escape.

Tabla 8*Selección de catalizador SCR*

| Tipo | Diámetro in | Estructura interna | N° vías | Disponibilidad | Costo |
|-------------------------|-----------------|-----------------------|------------|----------------|------------|
| Cummins A061A101 | 2 $\frac{1}{2}$ | Cerámica | 3 | Disponible | Medio-Alto |
| Magnaflow 53035 | 2 $\frac{1}{4}$ | Cerámica | 2 | Importación | Bajo |
| Magnaflow 94056 | 2 $\frac{1}{2}$ | Cerámica | 3 | Importación | Medio |

Nota. En la tabla se observa diámetro de entrada y salida y la estructura de diferentes catalizadores para un sistema SCR.

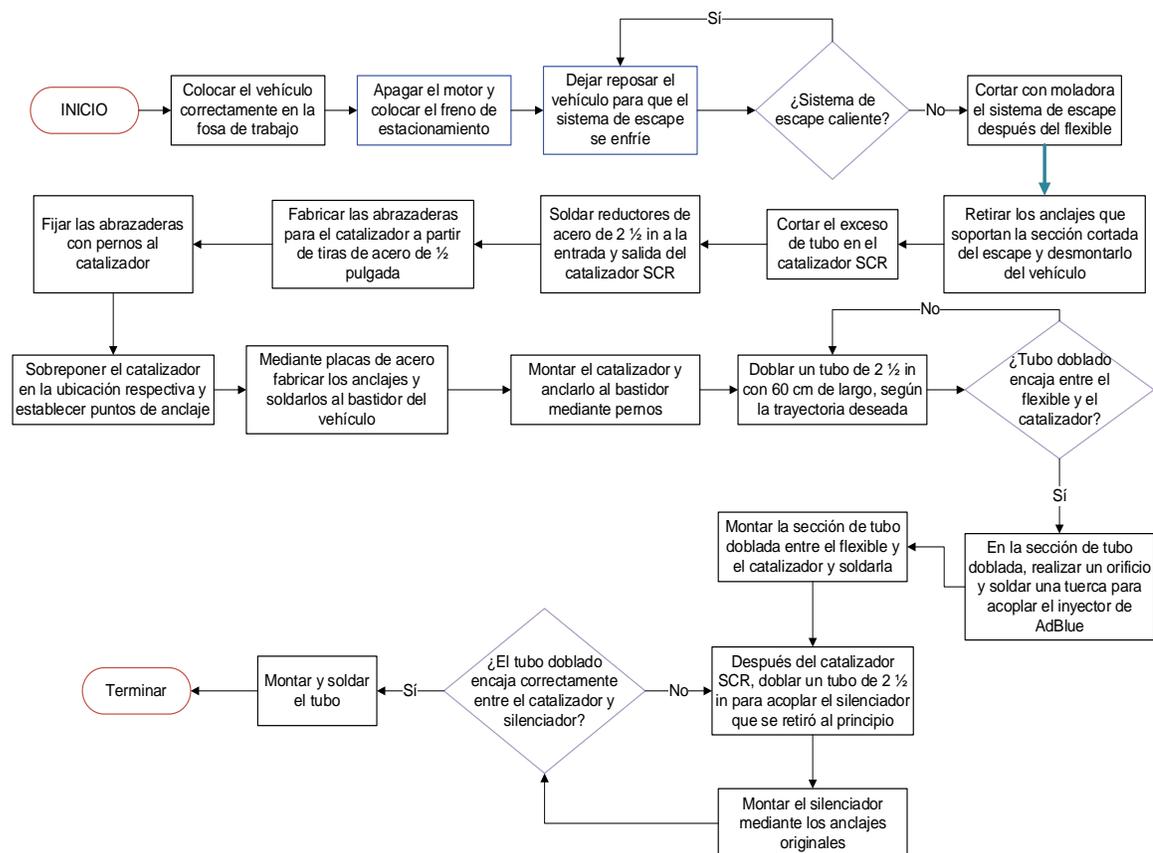
Con los datos de la Tabla 8, se optó por seleccionar el catalizador SCR Cummins, considerando diámetros de entrada y salida y su estructura interna.

3.2.3. Construcción e Implementación del Catalizador SCR

En el diagrama de flujo (Figura 12) se detalla procedimiento a seguir para implementar el diseño mecánico del sistema de inyección de AdBlue en el vehículo de prueba. Al realizar la implementación, se verificó el correcto anclaje y funcionamiento del sistema de escape, comprobando el buen flujo de los gases, fugas o taponamientos en todo el recorrido.

Figura 12

Procedimiento de la construcción e implementación del sistema mecánico



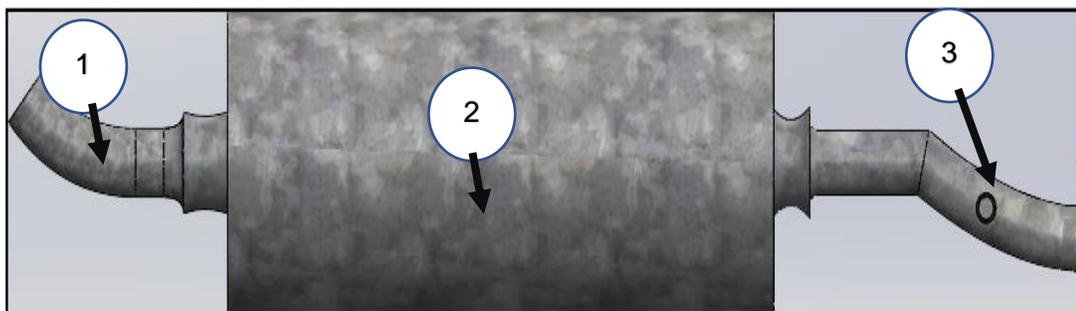
Nota. La figura detalla el procedimiento a seguir para la implementación del diseño mecánico del sistema de inyección de urea, tomando en cuenta sistemas de anclaje, soldadura, entre otros parámetros.

3.2.4. Modelado del Sistema Mecánico

En la Figura 13, se muestra como fue modelado la sección del escape donde fue implementado el catalizador SCR (2) y el tubo seleccionado (1), así como también el orificio para el acoplamiento del inyector de AdBlue (3).

Figura 13

Composición del sistema de escape SCR



Nota. La figura muestra el modelado en CAD del diseño mecánico implementado en el vehículo de prueba y sus diferentes componentes.

3.2.5. Nanopartículas de ferrita

Para la selección de las nanopartículas de ferrita se tomó en cuenta el tamaño del grano, densidad, precio y disponibilidad en el mercado.

Tabla 9

Selección de las nanopartículas de ferrita

| Tipo | Tamaño de grano nm | Densidad g/cm ³ | Peso g | Disponibilidad | Costo |
|--------------------------------------|--------------------|----------------------------|--------|----------------|-------|
| Nanopartículas de ferrita de cobalto | 30 | 5,3 | 100 | Importación | Medio |
| Nanopartículas de ferrita de bismuto | 25 | 8,22 | 100 | Importación | Alto |
| Nanopartículas de ferrita de zinc | 10-30 | 5,1 | 100 | Importación | Medio |

Nota. La tabla muestra diferentes tipos de nanopartículas según su composición

química y sus propiedades físicas de cada uno. Tomado de *Nanoshel*, s.f., Nanoshel.

De acuerdo con la Tabla 9 se seleccionó las nanopartículas de ferrita de cobalto, por su tamaño de grano y la densidad necesario para su buena implementación.

3.2.6. Implementación de las nanopartículas de ferrita

Para la adaptación de las nanopartículas de ferrita se seccionó el sistema de escape y se adaptó unas placas de acero para la contención de estas.

Figura 14

Implementación de las nanopartículas de ferrita



Nota. Implementación de las nanopartículas como filtración de los gases de escape.

Como se muestra en la Figura 14, se realizó la adaptación del escape para poder encapsular las nanopartículas entre las dos secciones del escape. Se introdujo las nanopartículas dentro de una malla metálica, como se observa en la Figura 15, asegurando su implementación.

Figura 15

Colocación de las nanopartículas de ferrita



Nota. En la figura se muestran las nanopartículas dentro del filtro mallado a la salida del sistema de escape

Una vez colocado la sección de tubo cortada se aprietan los puntos de sujeción para que el sistema de filtración por nanopartículas quede sellado, Figura 16.

Figura 16

Sistema de escape con nanopartículas de ferrita.



Nota. La figura muestra el sistema de filtración de los gases de escape implementado en el tubo de escape del vehículo de prueba.

3.3. Diseño Hidráulico

El diseño hidráulico está constituido por: bomba de suministro, manguera de alta presión, inyector de AdBlue, depósito de aditivo.

3.3.1. Bomba de suministro

Se considera la presión entregada por la bomba de 0,75 MPa a 1,55 MPa y caudal de $0,1 \frac{m^3}{h}$ a $0,4 \frac{m^3}{h}$ para que el sistema de inyección funcione correctamente, además se toma en cuenta la tensión de funcionamiento de 12 V.

Tabla 10

Selección de bomba de inyección

| Tipo | Presión de trabajo MPa | Caudal m ³ /h | Tensión de operación V | Disponibilidad | Costo |
|-------------|------------------------|--------------------------|------------------------|----------------|-------|
| AEM 30-3015 | 1,38 | 0,2271 | 12 | Disponible | Bajo |

| Tipo | Presión de trabajo MPa | Caudal m ³ /h | Tensión de operación V | Disponibilidad | Costo |
|------------|------------------------|--------------------------|------------------------|----------------|-------|
| VDO 3059 | 0,4 | 0,095 | 12 | Disponible | Bajo |
| Bosch 3065 | 0,6 | 0,12 | 12 | Importación | Bajo |

Nota. La tabla muestra las especificaciones técnicas de varias bombas de inyección previo a la selección de la óptima para el sistema.

Según los datos de la Tabla 10, la bomba de inyección de la marca AEM cumple con requerimientos específicos para el sistema de inyección de AdBlue, considerando el caudal entregado, la presión de la bomba y la tensión de alimentación.

El fabricante de la bomba seleccionada provee el kit de inyección, el que incluye el inyector y el depósito de AdBlue.

3.3.2. Manguera de alta presión

Se toma en cuenta la presión de la bomba de suministro de 200 psi y por el diámetro externo, para la selección del conducto del sistema hidráulico.

Tabla 11

Selección de manguera de alta presión

| Tipo | Diámetro externo in (mm) | Presión de trabajo psi | Diámetro interno in (mm) | Disponibilidad | Costo |
|------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|----------------|-------|
| EATON 4247-041 | $\frac{1}{4}$ (6.35) | 1200 | 0.170 (4.318) | Disponible | Bajo |
| WYNNsky W53-004C | $\frac{1}{4}$ (6.35) | 200 | 0.170 (4.318) | Importación | Bajo |
| 538475534-100 | $\frac{1}{4}$ (6.35) | 150 | 0.170 (4.318) | Importación | Medio |

Nota. En la tabla se observa los datos técnicos para mangueras de alta presión.

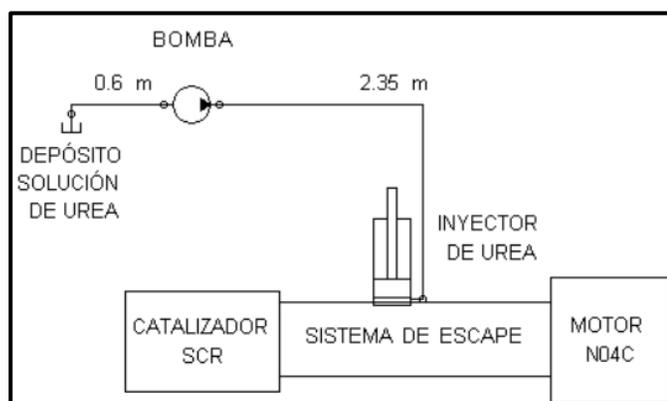
De acuerdo con la Tabla 11, se optó por la manguera de EATON número de parte 4247-041 del catálogo de (EATON, s.f.) por su diámetro externo compatible con las conexiones de los componentes hidráulicos, además de la presión de trabajo.

3.3.3. Esquema Hidráulico

Como se muestra en la Figura 17, el diseño está conformado por: depósito, bomba, inyector y las mangueras de alta presión.

Figura 17

Sistema hidráulico



Nota. La figura muestra los componentes utilizados en el diseño del sistema hidráulico de inyección de Adblue y las distancias entre estos.

Para el cálculo de la potencia de la bomba de inyección de Adblue se contempla las pérdidas que existen en los diferentes tramos del sistema.

Tabla 12

Potencia de la bomba

| Parámetro | Valor | Unidades |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------|
| Radio interno de la cañería | $r = 2,159 \times 10^{-3}$ | m |
| Área interna de la cañería | $A = \pi * r^2$ | m^2 |
| Área interna de la cañería | $1,4643 \times 10^{-5}$ | m^2 |
| Caudal | $Q = 0,23$ | $\frac{m^3}{h}$ |

| Parámetro | Valor | Unidades |
|--|--|-------------------------------|
| Velocidad del fluido | $V = \frac{Q}{A}$ | $\frac{m}{h}$ o $\frac{m}{s}$ |
| Velocidad del fluido | 5508,22 | $\frac{m}{h}$ |
| Velocidad del fluido | 1,53 | $\frac{m}{s}$ |
| Viscosidad dinámica | $n = 1,4 * 10^{-3}$ | Pa * s |
| Diámetro de succión y descarga | $D = 4,318 * 10^{-3}$ | m |
| Número de Reynolds | $Nr = \frac{V * D * \rho}{n}$ | N/A |
| Número de Reynolds | 5129,51 (FLUJO TURBULENTO) | N/A |
| Rugosidad del material | $\epsilon = 1 * 10^{-5}$ | m |
| Factor de fricción | $f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \frac{D}{\epsilon}} + \frac{5,74}{Nr^{0,9}} \right) \right]^2}$ | N/A |
| Factor de fricción | $f = 0,04$ | N/A |
| Coefficiente de Resistencia | $K = 0,5$ | N/A |
| Gravedad | 9,81 | $\frac{m}{s^2}$ |
| Pérdidas menores | $h_L = K \frac{V^2}{2g}$ | m |
| Pérdidas menores | $h_L = 0,038$ | m |
| Distancia de la cañería desde el depósito hasta la bomba | $L_1 = 0,60$ | m |
| Pérdidas en la cañería tramo h_{L1} | $h_{L1} = \frac{f * L_1 * V^2}{D * 2g}$ | m |
| Pérdidas en la cañería tramo h_{L1} | $h_{L1} = 0,66$ | m |
| Distancia de la cañería desde la bomba hasta el inyector | $L_2 = 2,35$ | m |
| Pérdidas en la cañería tramo h_{L2} | $h_{L2} = \frac{f * L_2 * V^2}{D * 2g}$ | m |
| Pérdidas en la cañería tramo h_{L2} | $h_{L2} = 2,62$ | m |

| Parámetro | Valor | Unidades |
|--|---|------------------|
| Pérdidas totales | $h_{Lt} = h_L + h_{L1} + h_{L2}$ | m |
| Pérdidas totales | $h_{Lt} = 3,32$ | m |
| Densidad | 1087 | $\frac{kg}{m^3}$ |
| Peso específico | $\gamma = \rho * g$ | $\frac{KN}{m^3}$ |
| Peso específico | $\gamma = 10663,47$ | $\frac{KN}{m^3}$ |
| Presión de la bomba | $P2 = 1379000$ | Pa |
| Altura tramo 1 | $Z1 = 0,35$ | m |
| Altura tramo 2 | $Z2 = 1,95$ | m |
| Presión y Volumen antes de la bomba | $P1 \text{ y } V1 = 0$ | N/A |
| Ecuación general de la energía Bernoulli | $\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_a - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$ | N/A |
| Energía añadida por la bomba | $h_a = 131,07$ | m |
| Potencia de la bomba | $Pot = h_a * \gamma * Q$ | Watts |
| Potencia de la bomba | $Pot = 88,05$ | Watts |
| Potencia de la bomba | $Pot = 0,12$ | HP |

Nota. En la tabla se especifica el proceso para calcular las pérdidas generadas por el sistema hidráulico y la potencia total de la bomba en base a las distancias entre los componentes.

En el cálculo del sistema hidráulico, se integra variantes como las dimensiones de las mangueras, a fin de obtener una velocidad del aditivo de $1,53 \frac{m}{s}$, por el diseño del circuito se obtiene un flujo turbulento, derivado del número de Reynolds igual a $NR = 5129,51$. Dentro del sistema se obtienen pérdidas totales de 3,32 m; por último, se calcula una potencia de la bomba de 88,05 Watts.

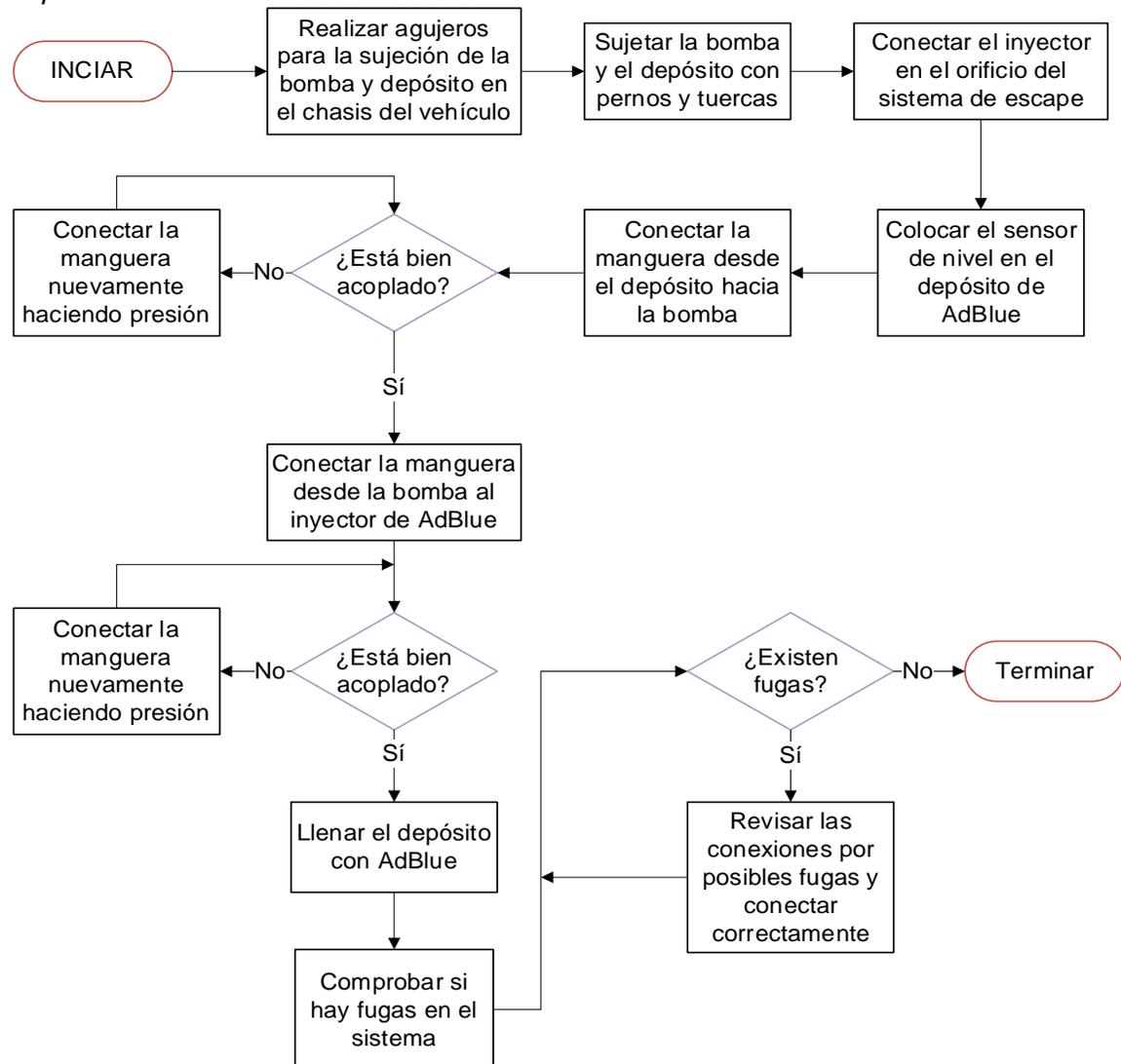
3.3.4. Implementación Sistema Hidráulico

El diagrama de flujo (Figura 18) muestra el procedimiento necesario para la implementación del diseño hidráulico del sistema de inyección de AdBlue.

Una vez instalado todos los componentes del sistema hidráulico, se verifico que no existan fugas durante todo el circuito y que el sistema funcione correctamente.

Figura 18

Implementación del diseño hidráulico



Nota. La figura especifica el procedimiento para implementar el sistema hidráulico en el vehículo de prueba, de manera que no existan fugas ni pérdidas de presión a lo largo del circuito.

3.4. Diseño Eléctrico

El sistema eléctrico es el encargado de suministrar la tensión de alimentación para el módulo de control y la bomba de suministro de AdBlue.

3.4.1. Interruptor Electromagnético

Se selecciona a partir de la intensidad de corriente de 10 A de la bomba de inyección, se seleccionó un relé del catálogo de SONGLE modelo SRD (T73) de 15 A con las especificaciones dadas en la Tabla 13.

Tabla 13

Especificaciones técnicas del interruptor electromagnético seleccionado

| Información técnica | |
|-------------------------------|----------------|
| Carga Nominal | 12 V |
| Corriente | 15 A |
| Temperatura de trabajo | -40 °C a 85 °C |
| Número de terminales | 5 |
| Resistencia | 70 ± 10 Ω |

Nota. La tabla muestra las especificaciones del relé para la activación del sistema de inyección de AdBlue.

3.4.2. Sistema de Protección

En la protección del sistema se aborda principalmente la intensidad de corriente que cada componente del sistema consume, para así poder determinar los fusibles correspondientes que preserven el sistema en caso de una sobre alimentación de este.

Tabla 14*Intensidad de corriente en los componentes del sistema electrónico*

| Parámetro | Valor | Unidades |
|---|---|-----------------|
| Tensión de alimentación del relé | $V = 12$ | V |
| Resistencia de la bobina del relé | $R = 70$ | Ω |
| Intensidad del relé | $I_1 = \frac{V}{R}$ | A |
| Intensidad relé | $I_1 = 0,17$ | A |
| Tensión transistor de la bomba | $V = 5$ | V |
| Resistencia transistor de la bomba | $R = 32,5$ | K Ω |
| Intensidad transistor de la bomba | $I_2 = \frac{V}{R}$ | A |
| Intensidad transistor de la bomba | $I_2 = 1,4 * 10^{-4}$ | A |
| Consumo de la corriente de la pantalla | $I_3 = 0,04$ | A |
| Intensidad de las señales del vehículo | $I_4 = 0,05$ | A |
| Intensidad display LCD | $I_5 = 1,12$ | A |
| Intensidad Arduino | $I_6 = 0,04$ | A |
| Intensidad total de los componentes | $I_T = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6$ | A |
| Intensidad total de los componentes | $I_T = 1,42$ | A |

Nota. En la tabla se puede visualizar los respectivos datos de tensión e intensidades de los componentes y dando a conocer el consumo de intensidad total de los mismos.

El fusible seleccionado para la protección de la bomba es de 15 A, ya que el consumo de esta es de 10 A, de la serie 43 del catálogo de (DIFUS, 2018).

Como se observa en la Tabla 14, la intensidad de corriente total de los componentes electrónicos del sistema es de 1,4215 amperios, por lo que se selecciona un fusible de 2 amperios de la serie 43 del catálogo de (DIFUS, 2018).

3.4.3. Cable Conductor

El cable conductor seleccionado se basa en las intensidades que van a circular por todo el circuito; también a partir de la temperatura de funcionamiento y el tipo de aislante se elegirá el cable en base a las especificaciones técnicas de American Wire Gauge (AWG) detallado en la Tabla 15.

Tabla 15

Especificaciones técnicas cables según AWG

| Parámetro | Valor | Unidades |
|------------------|----------|----------|
| Temperatura | $T = 60$ | °C |
| Resistencia relé | $R = 70$ | Ω |
| Cable 20 AWG | $I = 2$ | A |
| Cable 18 AWG | $I = 10$ | A |
| Cable 16 AWG | $I = 13$ | A |
| Cable 14 AWG | $I = 18$ | A |

Nota. La tabla muestra los diferentes tamaños de cables, con la intensidad de corriente que cada uno de estos soporta. Tomado de *ELECTRO de la hoz*, por Electrónica de la Hoz, s.f.

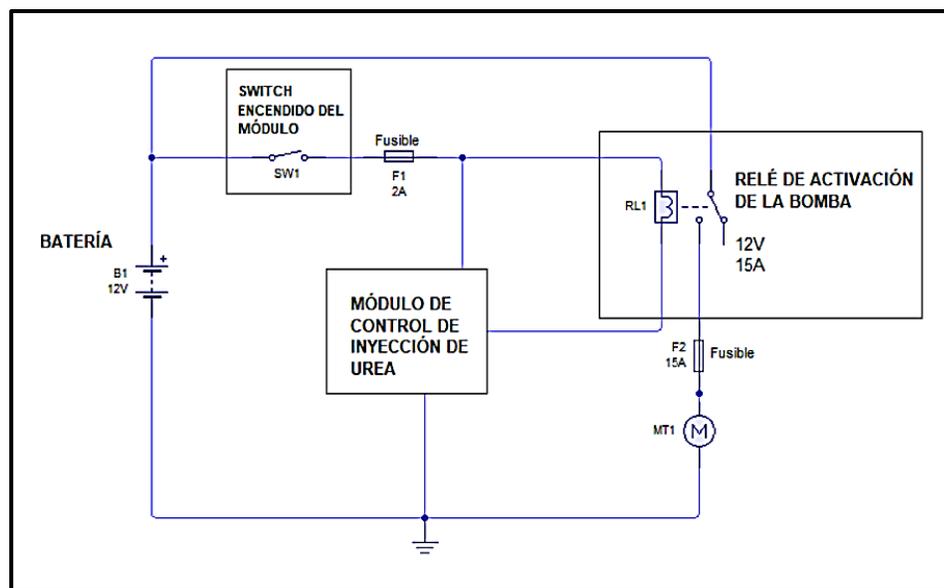
De acuerdo con la Tabla 15, se seleccionó cable 18 AWG para las conexiones, por su amperaje soportado.

3.4.4. Control de Activación del Sistema de Inyección

Para la activación de la bomba de inyección de AdBlue se considera el estado del motor en ese instante (temperatura y RPM), nivel del aditivo en el depósito, lo cual será monitoreado y comandado por el microcontrolador. El sistema está conformado por fusibles y relé previamente seleccionados como se muestra en la Figura 19.

Figura 19

Sistema eléctrico de control de activación del sistema de inyección



Nota. La figura muestra el circuito eléctrico utilizado para la activación de la bomba, en base a los componentes de seguridad seleccionados.

3.5. Diseño Electrónico

El sistema electrónico es el encargado de controlar los pulsos de activación de la bomba a partir de señales de entrada de los sensores ECT (termistor), CMP (magnético) y el sensor de nivel. El módulo de control a través de programación y procesa los datos.

3.5.1. Sensor de Posición del Árbol de Levas

La señal cuadrada de la posición del árbol de levas es enviada a través del sensor CMP tipo hall que trabaja entre 0-5 V.

El sensor de posición varia la señal según el régimen de giro del árbol de levas; siendo este de 640 RPM con un periodo de 184,60 ms y 3370 RPM de máximo giro con un periodo de 35,70 ms.

Para que el sistema de inyección de AdBlue funcione el sensor debe emitir una señal de periodo de mínimo 113 ms que equivalen a 1000 RPM.

El cable rojo del sensor CMP, Figura 20, es el que va a mandar la señal de la de la posición, conectado en el pin #1 del mismo, del cual se hizo una conexión directa empalmando con un cable que va conectado al módulo de control.

Figura 20

Sensor CMP del motor del V.P.

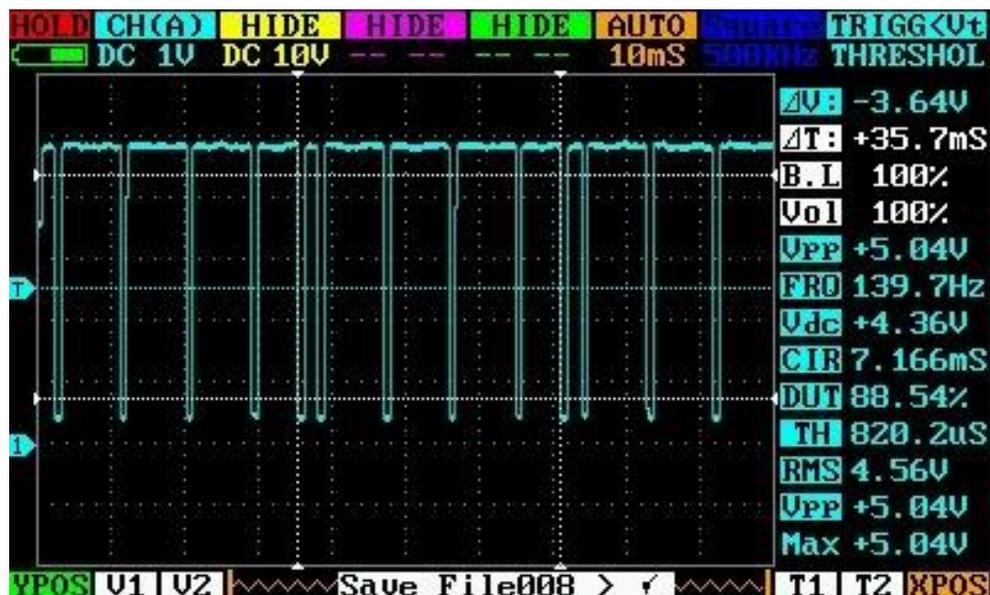


Nota. La figura muestra el pin 1 el cual fue utilizado para extraer la señal del CMP del motor, misma que se utilizó para controlar la activación de la bomba.

La señal cuadrada obtenida en el osciloscopio a un máximo de revoluciones de 3370 con un pico de 5 voltios y un periodo de 35,7 ms observada en la Figura 21.

Figura 21

Señal del osciloscopio a 3370 rpm



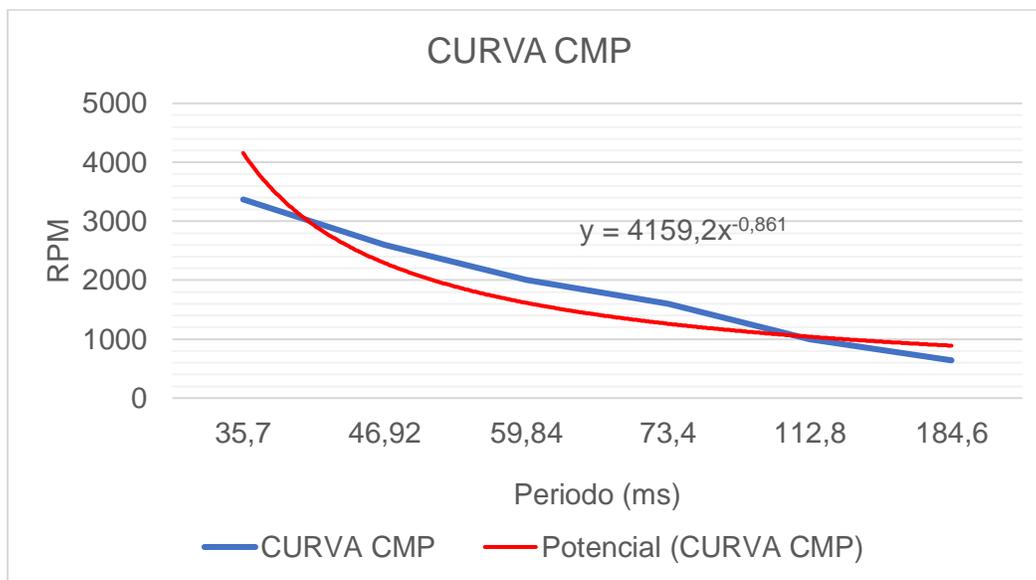
Nota. La figura muestra la señal tomada del CMP a 3370 rpm mediante el osciloscopio.

Tabla 16

Variación del periodo de señal CMP a diferentes rpm

| Periodo de señal del CMP vs RPM del motor | | | | | | | |
|---|----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| RPM | Medición | 640 | 1000 | 1600 | 2000 | 2600 | 3370 |
| PERIODO (ms) | 1 | 183 | 113 | 74,5 | 59 | 47,3 | 35,7 |
| | 2 | 185 | 112 | 70,7 | 59,7 | 46,7 | 35,7 |
| | 3 | 185 | 113 | 75,3 | 60,7 | 46,3 | 35,7 |
| | 4 | 185 | 111 | 74 | 59,7 | 47,3 | 35,7 |
| | 5 | 185 | 115 | 70,7 | 60,1 | 47 | 35,7 |
| Promedio (ms) | | 184,60 | 112,80 | 73,04 | 59,84 | 46,92 | 35,70 |

Nota. Al realizar las mediciones se pudo obtener un valor promedio del periodo para mayor exactitud.

Figura 22*Relación Periodo - RPM*

Nota. La gráfica muestra la variación del periodo en función al régimen de giro del motor del vehículo de prueba.

A partir de la Figura 22 se obtienen los datos del sensor CMP y se obtiene la ecuación la cual servirá para conocer el ancho del pulso que será enviado para la activación de la bomba a diferentes revoluciones del motor:

$$y = 4159,2 * x^{-0,861}$$

Ecuación 7*Ecuación de periodo vs rpm*

Donde:

y= RPM del motor

x= Periodo en ms.

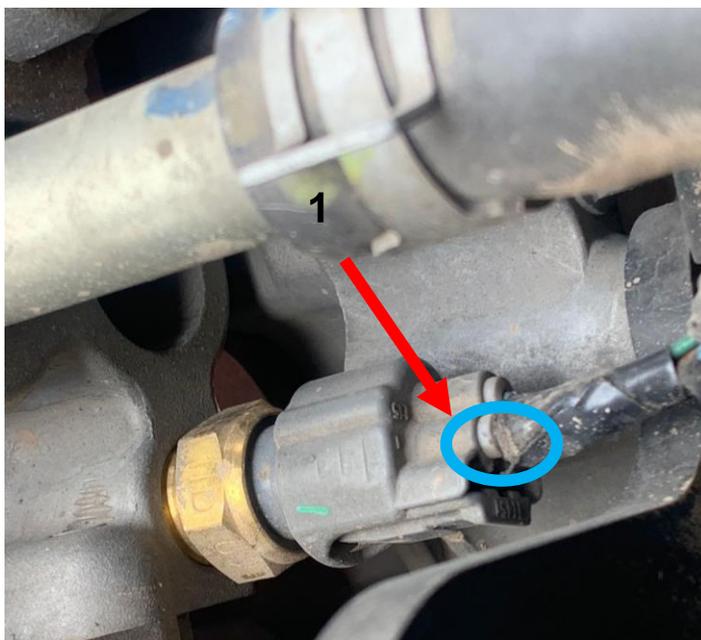
3.5.2. Sensor de Temperatura

Para que el sistema de inyección trabaje es necesario que el motor se encuentre a temperatura de funcionamiento es decir a 80°C o más, por lo que al realizar la medición de la señal del sensor se pudo evidenciar que la tensión a dicha temperatura es de 0,64 V. Este voltaje será considerado al momento de realizar la programación e ingresar los datos de entrada.

Para tomar la señal del sensor se conectó una aguja al pin #1 del cable de color GRN/RED como se muestra en la Figura 23, permitiendo así determinar los diferentes voltajes que el sensor entrega a diferentes temperaturas.

Figura 23

Sensor ECT del motor V.P.



Nota. La figura muestra el pin 1 de donde se extrajo la señal del sensor ECT para determinar la temperatura del motor del vehículo de prueba.

La relación entre la tensión y la temperatura del motor se obtuvo con la variación de voltaje y temperatura con el equipo MGT-300 EVO en la Tabla 17.

Tabla 17

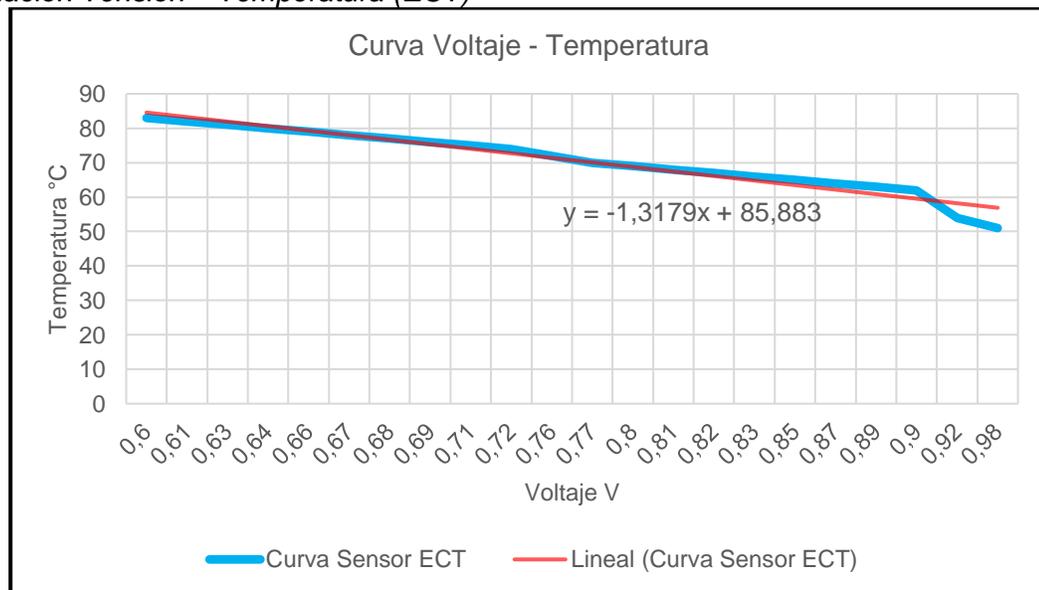
Variación de la tensión en función de la temperatura del motor

| Temperatura °C | Tensión de señal V | Temperatura °C | Tensión de señal V |
|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| 51 | 0,98 | 72 | 0,76 |
| 54 | 0,92 | 74 | 0,72 |
| 62 | 0,9 | 75 | 0,71 |
| 63 | 0,89 | 76 | 0,69 |
| 64 | 0,87 | 77 | 0,68 |
| 65 | 0,85 | 78 | 0,67 |
| 66 | 0,83 | 79 | 0,66 |
| 67 | 0,82 | 80 | 0,64 |
| 68 | 0,81 | 81 | 0,63 |
| 69 | 0,8 | 82 | 0,61 |
| 70 | 0,77 | 83 | 0,6 |

Nota. En esta tabla se observa la variación de tensión obtenido mediante osciloscopio a diferentes temperaturas del motor.

Figura 24

Relación Tensión – Temperatura (ECT)



Nota. La gráfica muestra la variación de la tensión en función a la temperatura del motor del vehículo de prueba.

Como se observa en la Figura 24, la línea de tendencia determina la ecuación de la recta, que es utilizada como dato de entrada por el microcontrolador para establecer la temperatura del motor y activar la bomba de suministro:

$$y = -1,3179x + 85,883$$

Ecuación 8

Ecuación de temperatura vs tensión

Donde:

y= Temperatura en °C

x= Tensión de señal

3.5.3. Microcontrolador

Al momento de la selección del microcontrolador se considera especificaciones técnicas como: el número de entradas y salidas los cuales deben ser estimadas según el número de sensores, alimentación, actuadores y pantalla LCD.

Tabla 18

Selección de microcontrolador

| Parámetro | Tipo de controlador | | |
|-----------------------------|---------------------|-----------|------------|
| | ATmega328P | ATmega328 | ATmega2560 |
| Tensión de operación | 5 V | 5 V | 5 V |
| Tensión de entrada | 7-12 V | 7-12 V | 7-12 V |
| Pines digitales | 14 | 22 | 54 |
| Pines analógicos de entrada | 6 | 8 | 16 |
| Pines digitales PWM | 6 | 6 | 15 |
| SRAM | 2 KB | 2 KB | 8 KB |
| Velocidad | 16 MHz | 16 MHz | 16 MHz |

Nota. En la tabla se muestra parámetros técnicos de los microcontroladores del mercado para su selección. Tomado de *Arduino*, por Arduino, 2021.

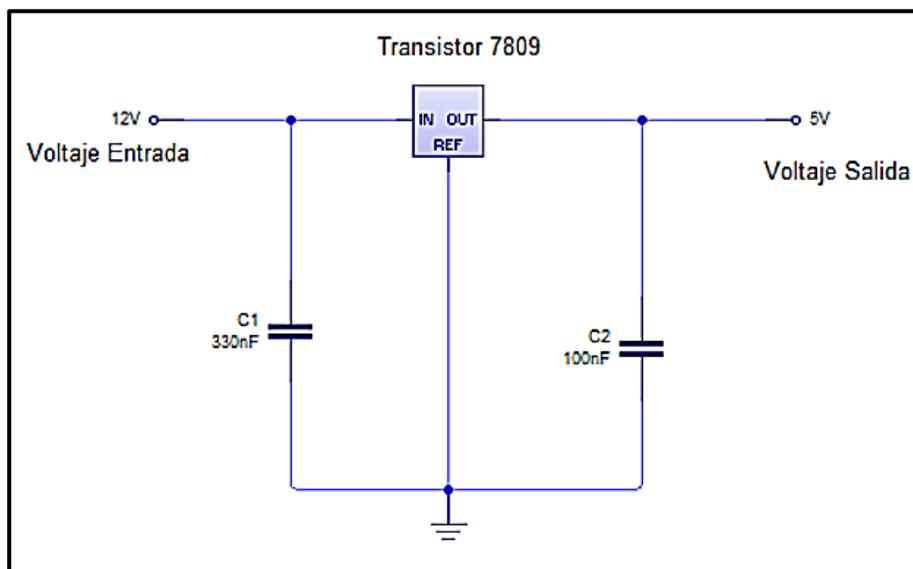
De acuerdo con la Tabla 18 el sistema electrónico de inyección de AdBlue requiere pocos pines a utilizar tanto para las entradas y salidas se opta por seleccionar el microcontrolador ATmega328P.

3.5.4. Regulador de Tensión

El control de tensión y su respectiva regulación se realiza mediante un transistor LM7809, la función de este es convertir la entrada de 12 voltios, que se obtuvo desde la alimentación del panel de instrumentos del vehículo de prueba, a 5 voltios para el correcto funcionamiento del microcontrolador.

Figura 25

Circuito regulador de tensión



Nota. La figura muestra la composición del circuito regulador de tensión sugerido por el fabricante. Tomado de *DATASHEET*, 2005.

En el circuito de la Figura 25 se observa como el transistor 7809 es conectado con dos condensadores a la entrada y a la salida de este, de 330 nf y de 100 nf respectivamente, ya que las especificaciones del (Datasheet, 2005) recomiendan esta conexión para un correcto funcionamiento.

3.6. Programación

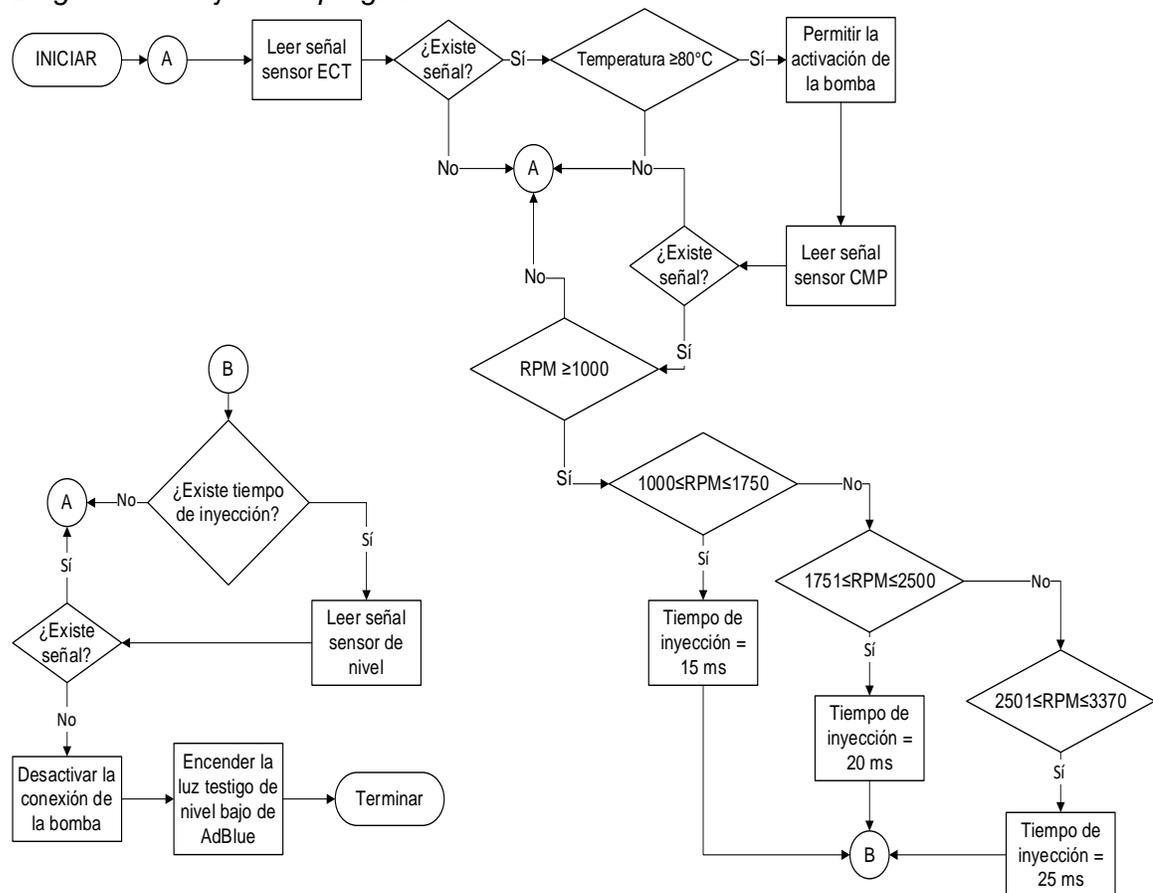
La programación del módulo de control de inyección de AdBlue se lo realizó mediante lenguaje C++ la cual es compilada y subida al controlador ATmega328P; todo esto se lo realiza en el software libre Arduino IDE el cual permite declarar señales de entrada y salida utilizados para: activación de la bomba de inyección y ancho de pulso.

3.6.1. Codificación del Control de Inyección

En la Figura 26 se especifica la programación realizada mediante un diagrama de flujo, en el cual se determina el ancho de pulso para la bomba y la lectura de las señales de entrada y desactivación del sistema.

Figura 26

Diagrama de flujo de la programación



Nota. A es un punto de retorno para volver a leer la señal de los sensores en caso de que las condiciones no se cumplan. B manda a leer la señal del sensor de nivel.

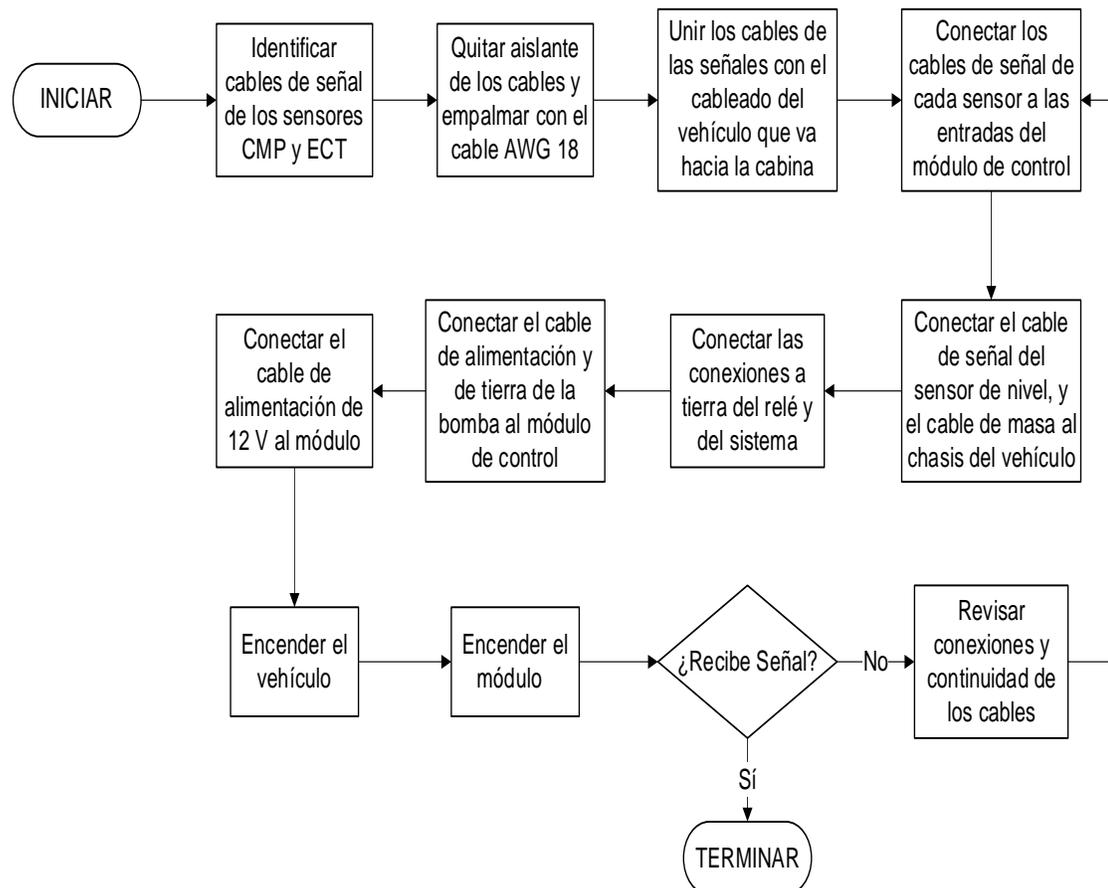
Al realizar la programación se comprobó que la codificación este bien escrita, así como que la compilación no de errores, una vez realizado esto se procedió a subirla al microcontrolador para realizar comprobaciones finales del funcionamiento del sistema electrónico.

3.6.2. Implementación Sistema Electrónico

En la Figura 27 del sistema electrónico, se tomó señales de los sensores como datos de entrada, y las señales de salida para la activación de la bomba.

Figura 27

Diagrama de Flujo de la implementación del sistema electrónico

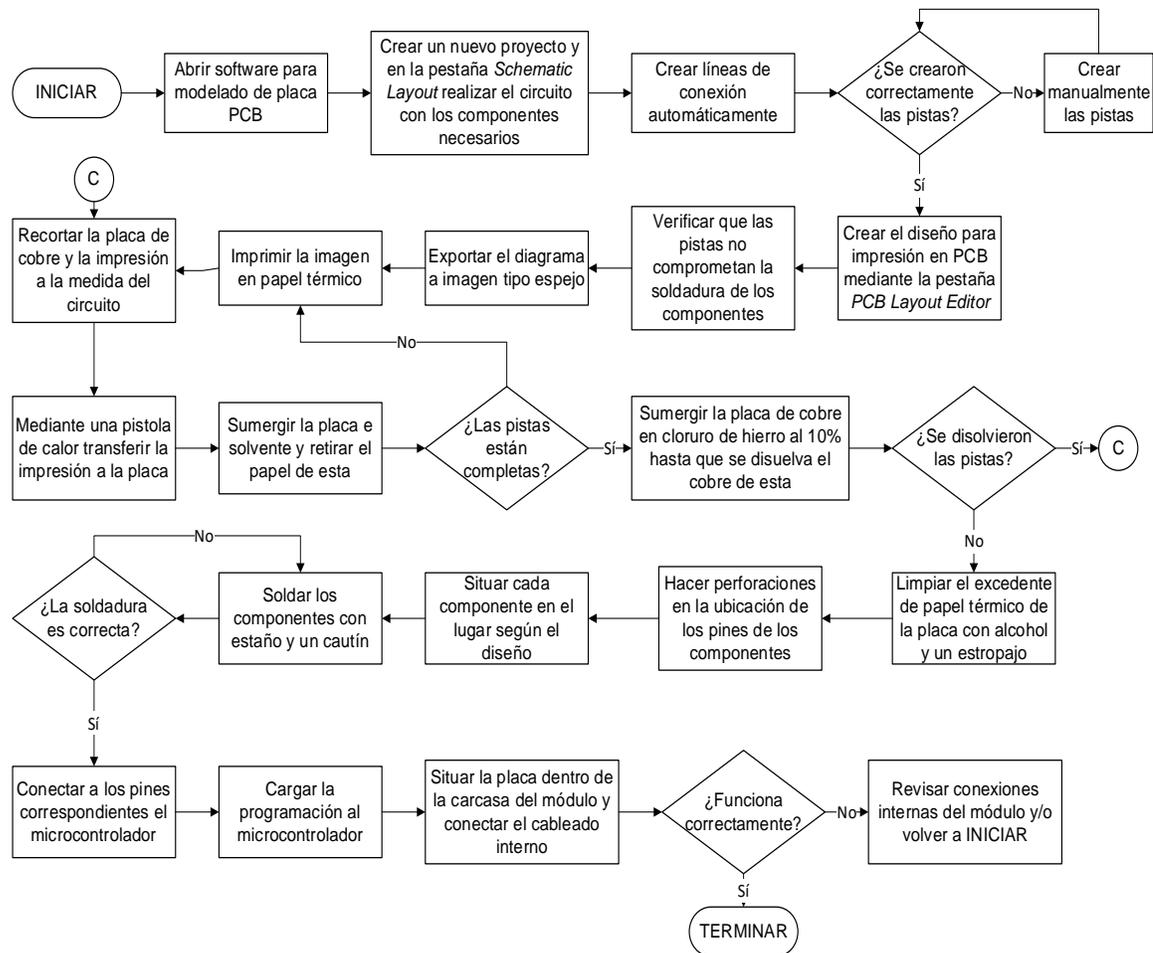


Nota. En la figura se muestra las conexiones eléctricas de todo el sistema, desde las señales de entrada y alimentación hasta las conexiones de salida para la activación de la bomba de inyección.

En la Figura 28, se especifica como fue el proceso de quemado de la placa PCB que es utilizada para conectar los componentes del módulo de control, desde el microcontrolador hasta el sistema de protección, entre otros.

Figura 28

Diagrama de diseño y fabricación de la placa PCB y módulo completo



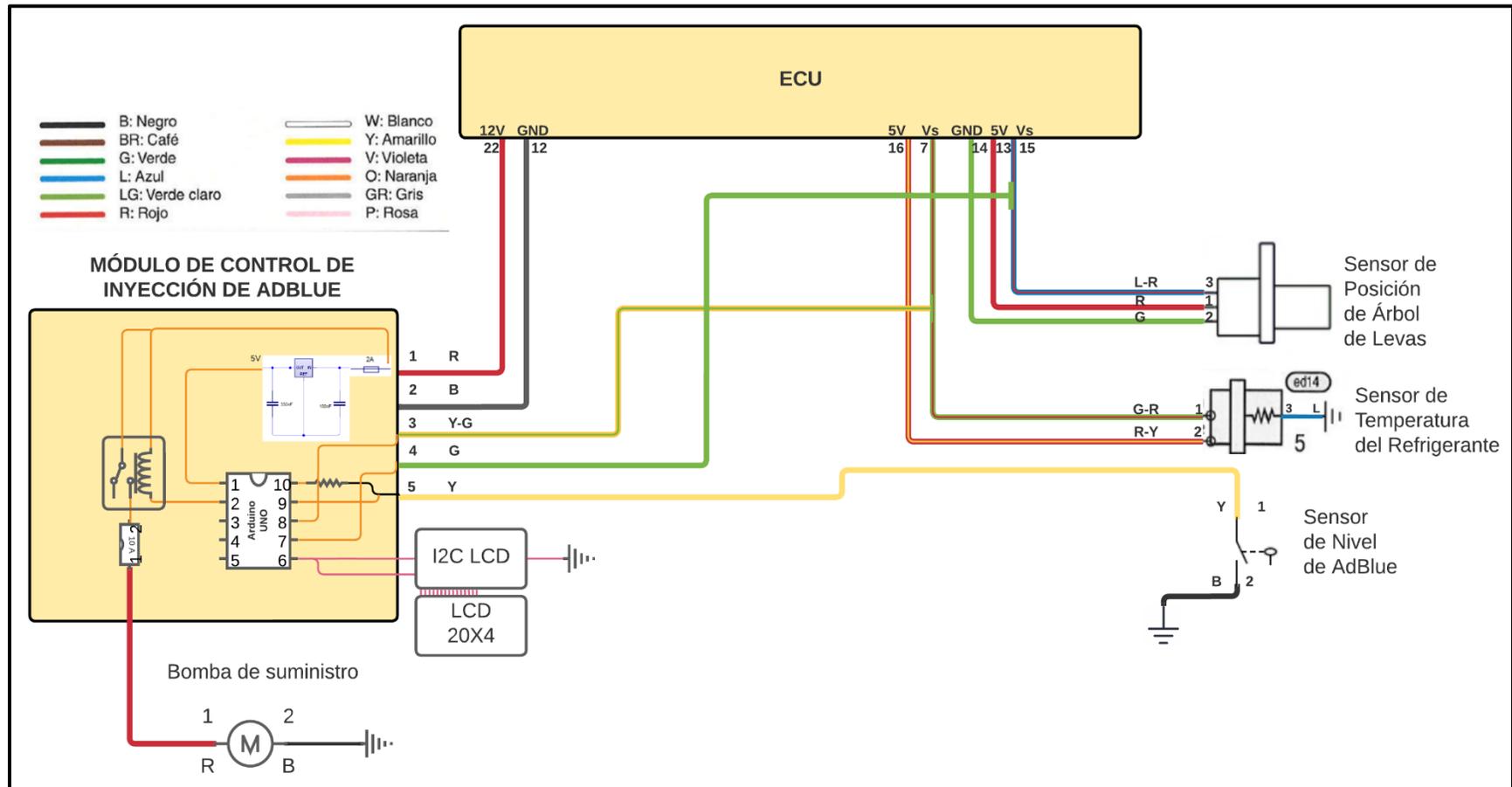
Nota. El diagrama muestra el procedimiento para la impresión de un circuito en baquelita y la conexión de sus componentes. C es un punto de retorno en caso de error en la impresión del circuito.

Mediante un software de simulación se trazó el diagrama del sistema eléctrico y electrónico implementado, para mayor facilidad del conocimiento y manipulación del

módulo de control y sus señales de entrada y salida como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 29

Diagrama eléctrico del sistema de inyección de AdBlue



Nota. La figura muestra el diagrama eléctrico del módulo de control del sistema de inyección de solución de urea, además del cableado con códigos de colores.

Capítulo IV

4. Análisis del Control de Emisiones a Partir de la Implementación del Sistema de Reducción Catalítica

Para el análisis de resultados se han efectuado pruebas de emisiones estandarizadas por las normativas INEN NTE 2202:2013 Y INEN NTE 2207:2002, además de pruebas de consumo de AdBlue.

4.1. Protocolos para la Realización de Pruebas

Las mediciones tanto de opacidad como de emisión de gases se las realiza cada 1000 km de recorrido del vehículo, en diferentes estados del sistema de escape: escape estándar, catalizador SCR, sistema de inyección de AdBlue y filtro de nanopartículas de ferrita.

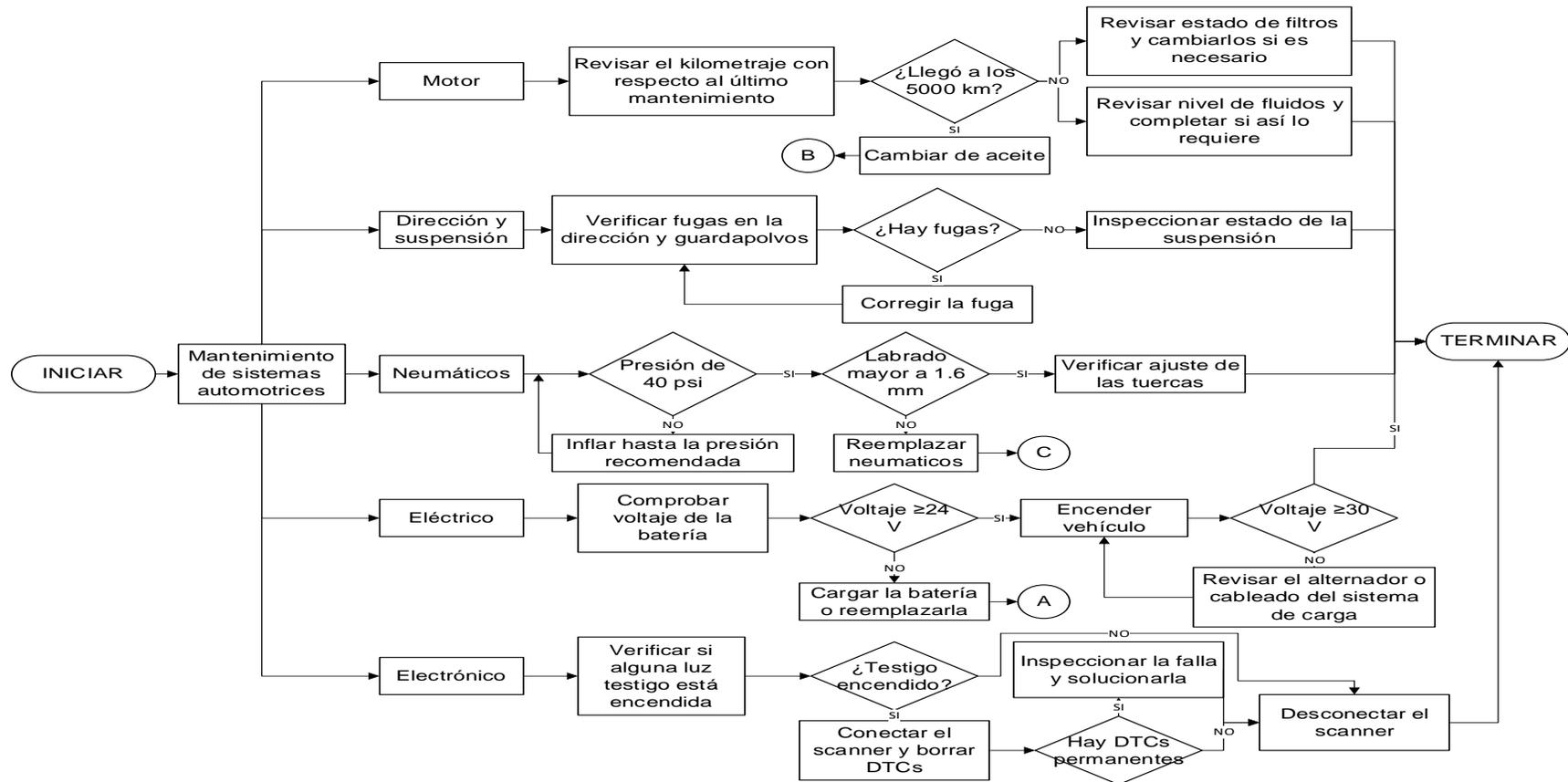
Se realiza, además, una comparativa entre los de funcionamiento del vehículo de prueba (V.P. en adelante) y se los analiza con el valor máximo permisible por el opacímetro, por la norma NTE INEN 2207:2002, además de compararlo con los resultados utilizando el sistema de escape estándar. La opacidad y gases se midió en tres horarios diferentes en un mismo día: mañana, media mañana y tarde para determinar la variación de las mediciones durante estos. Todos los criterios de medición mencionados se los realiza con los accesorios y aire acondicionado encendido y apagado con la finalidad de observar la variación en estos dos estados del vehículo.

4.1.1. Puesta a Punto del Vehículo

Para poner a punto el vehículo de prueba se procedió a realizar el mantenimiento preventivo sugerido por el fabricante cada 5000 km, abarcando los diferentes sistemas que existen en el automóvil que son: mecánicos, eléctricos y electrónicos del vehículo como se muestra en la Figura 30 con el fin de evitar anomalías al momento de realizar mediciones.

Figura 30

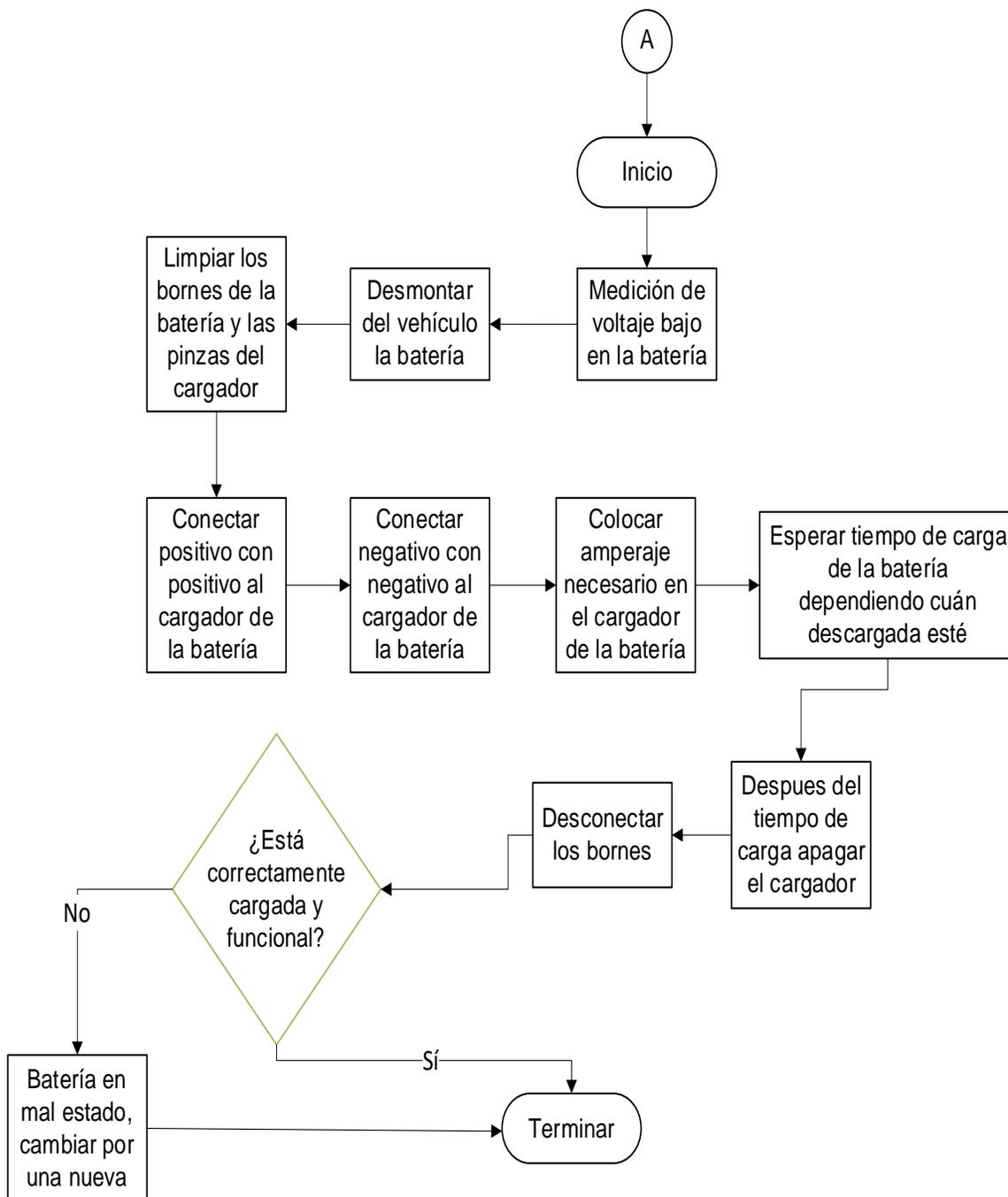
Diagrama de flujo mantenimiento preventivo



Nota. El diagrama muestra el procedimiento para realizar un mantenimiento preventivo del vehículo de prueba, previo a la realización de las mediciones de gases y opacidad..

Figura 31

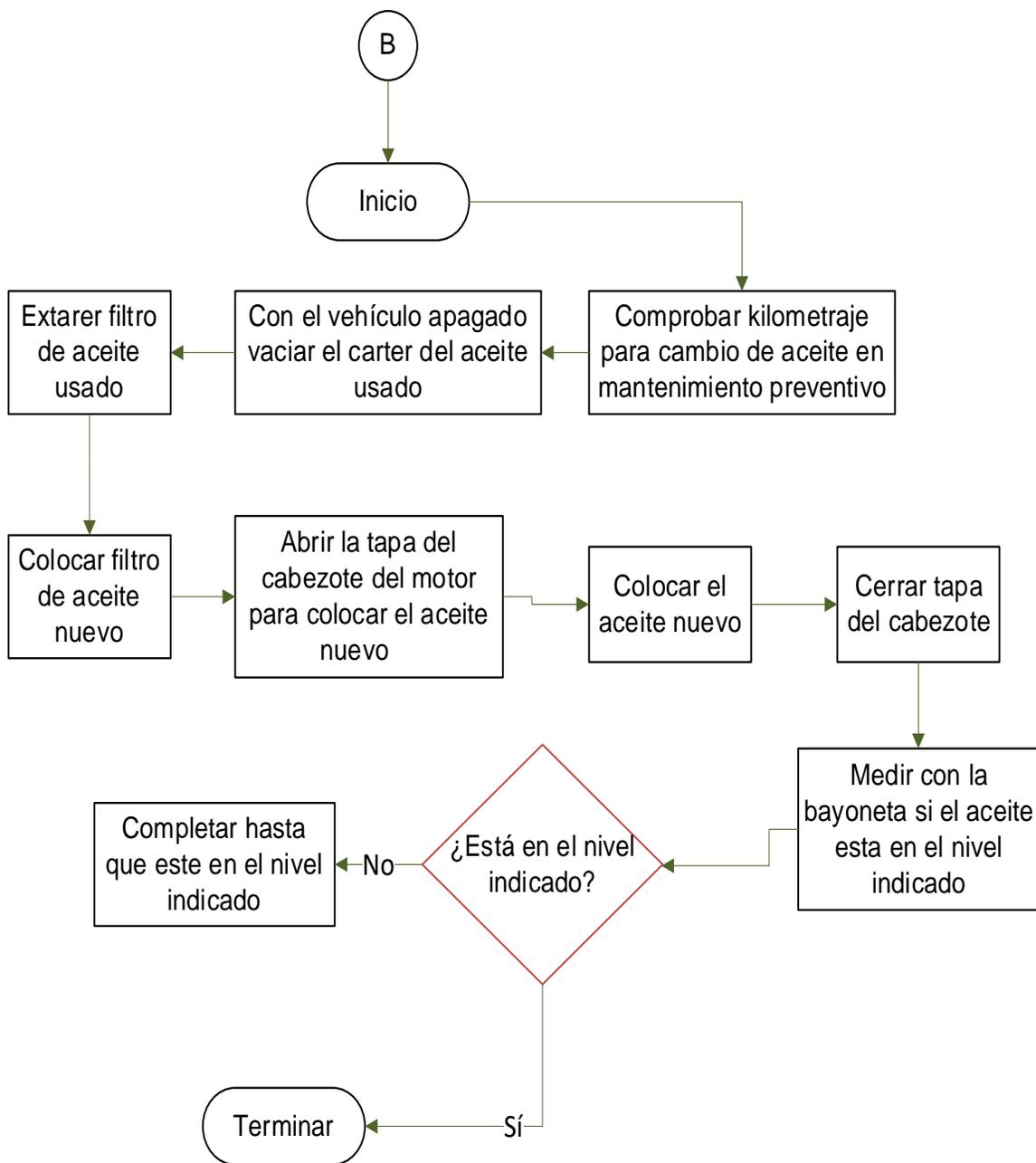
Diagrama de Flujo A



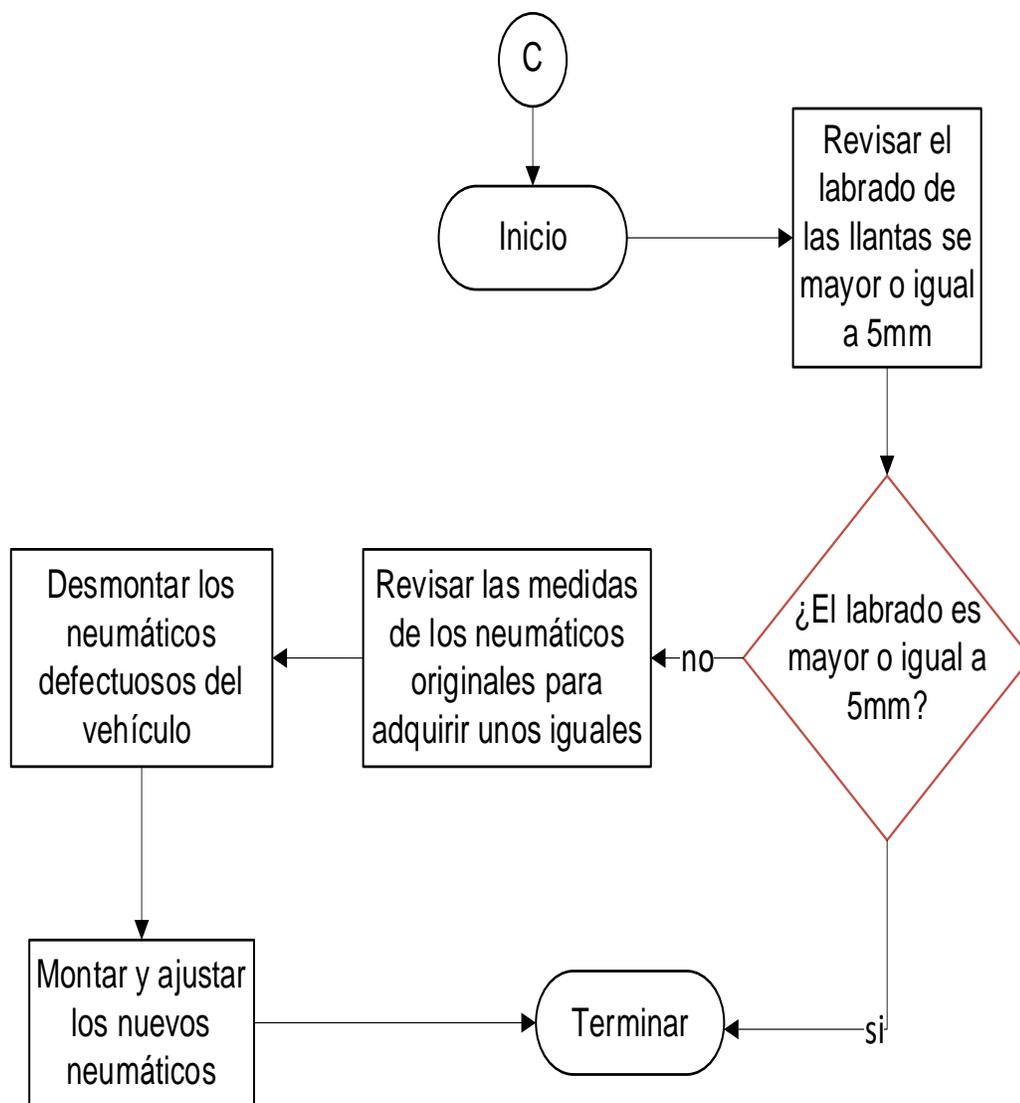
Nota. La figura muestra el procedimiento necesario para cargar la batería del vehículo si es que esta llegase a agotarse.

Figura 32

Diagrama de flujo B



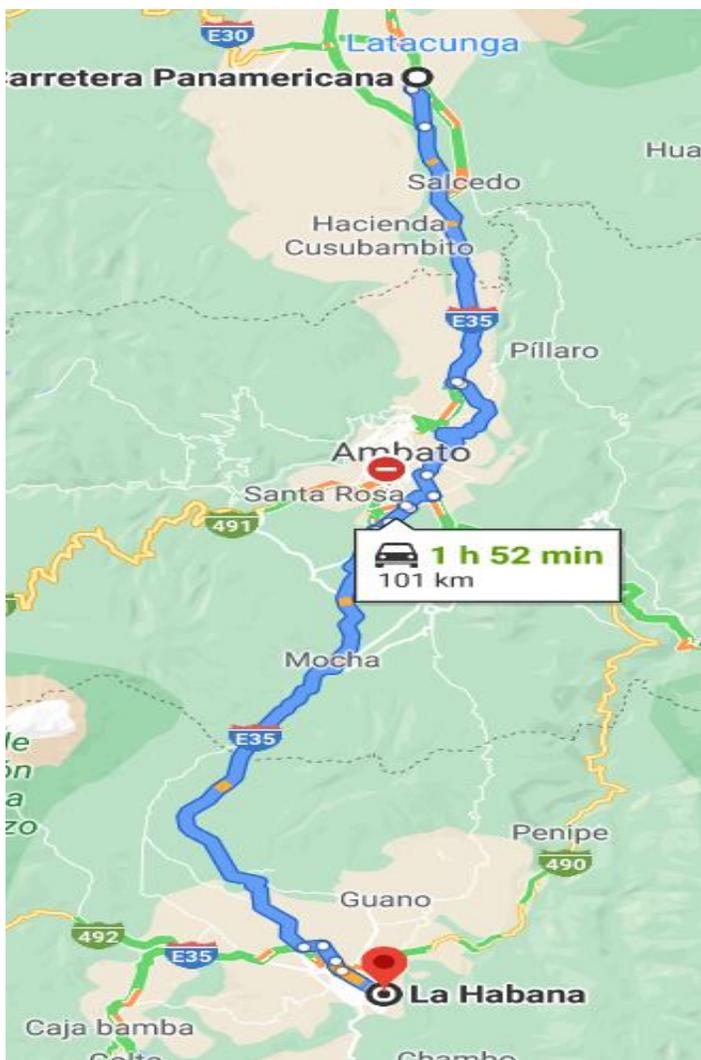
Nota. La figura muestra los pasos a seguir para realizar un correcto cambio de aceite en el vehículo para obtener resultados de emisiones más precisos.

Figura 33*Diagrama de Flujo C*

Nota. La figura muestra los pasos a seguir para verificar el estado de los neumáticos y como cambiarlos de ser necesario.

4.1.2. Prueba de Ruta Periódica

Se estableció una ruta diaria de recorrido de 100 km (Figura 34), los cuales se realizarán de en un periodo de 8 semanas, para un trayecto total de 3000 km. Esto se lo realiza para determinar el correcto funcionamiento del sistema de inyección y sus componentes.

Figura 34*Ruta de Prueba*

Nota. La figura muestra la ruta que se implementó para realizar las pruebas de opacidad y gases en el vehículo de prueba.

- Distancia recorrida en zona urbana: 14.4 km con una velocidad media: $30 \frac{km}{h}$
- Distancia recorrida en carretera: 86.6 km con una velocidad media: $75 \frac{km}{h}$

El punto de partida de la ruta es en Latacunga, Av. Eloy Alfaro (Panamericana) y Rafael Cajiao Enríquez. El punto de llegada es en la ciudad de Riobamba, La Habana y Cien Fuegos.

4.1.3. Calibración de los Equipos de Medición

El opacímetro 57-220 requiere una calibración de linealidad del haz de luz, se realiza la prueba de linealidad al 0% y 100% de obstrucción del paso de luz.

El analizador de gases AGS-688 se calibró mediante el gas patrón FF522540/15417 y el análisis cromatográfico 15417, realizado por una empresa especializada, con la finalidad de cumplir los parámetros fijados por el fabricante del gas patrón.

4.1.4. Condiciones Ambientales para medición de gases

Para las pruebas de emisiones y opacidad se toma en cuenta los parámetros ambientales que se especifica en la norma INEN NTE 2349:2003 sobre la revisión técnica vehicular ya que las condiciones meteorológicas influyen en la toma de mediciones y puede que se presenten anomalías en los datos finales. En la Tabla 19 se muestran los valores a considerar.

Tabla 19

Condiciones ambientales para la medición de gases

| Parámetro | Requerimiento | |
|---|------------------|-------------------|
| | Variable | Rango de medición |
| Condiciones ambientales de funcionamiento | Temperatura | 5 – 40 °C |
| | Humedad Relativa | 0 – 90% |
| | Altitud | Hasta 3000 msnm |
| | Presión | 500 – 760 mm Hg |

Nota. La tabla muestra los valores a considerar antes de iniciar una prueba de mediciones de gases u opacidad estandarizado por la norma INEN NTE 2349:2003.

Tomado de INEN 2349, 2003.

4.1.5. Lista de abreviaturas

La siguiente lista de abreviaturas es usada para simplificar las tablas de los resultados, tanto de opacidad como de análisis de gases.

- V.P. = Vehículo de prueba
- KM 1= Primer kilometraje en el que se realizaron las mediciones
- KM 2= Segundo kilometraje en el que se realizaron las mediciones
- KM 3= Tercer kilometraje en el que se realizaron las mediciones
- KM 4= Cuarto kilometraje en el que se realizaron las mediciones
- S/A = Sin Accesorios activados
- C/A = Accesorios activados
- E. STD. = Escape estándar
- C. SCR = Catalizador SCR
- S.C. = Inyección de AdBlue
- N.F. = Nanopartículas de ferrita
- S/R = Datos antes de las pruebas de ruta
- R 1 = Recorrido 1 sin inyectar AdBlue
- R 2 = Recorrido 2 inyectando AdBlue
- S/I = Medición sin inyectar AdBlue
- C/I = Medición inyectando AdBlue
- M1 = Periodo de la mañana
- M2 = Periodo de la media mañana
- T1 = Periodo de la tarde

4.2. Prueba de Opacidad

4.2.1. Protocolo De Uso Opacómetro

Mediante las normas NTE INEN 2202:2013 y 2207:2002 se realizan las pruebas de opacidad con el fin de obtener resultados puntuales y confiables. Las mediciones están basadas en los procedimientos para una prueba de aceleración libre.

Figura 35

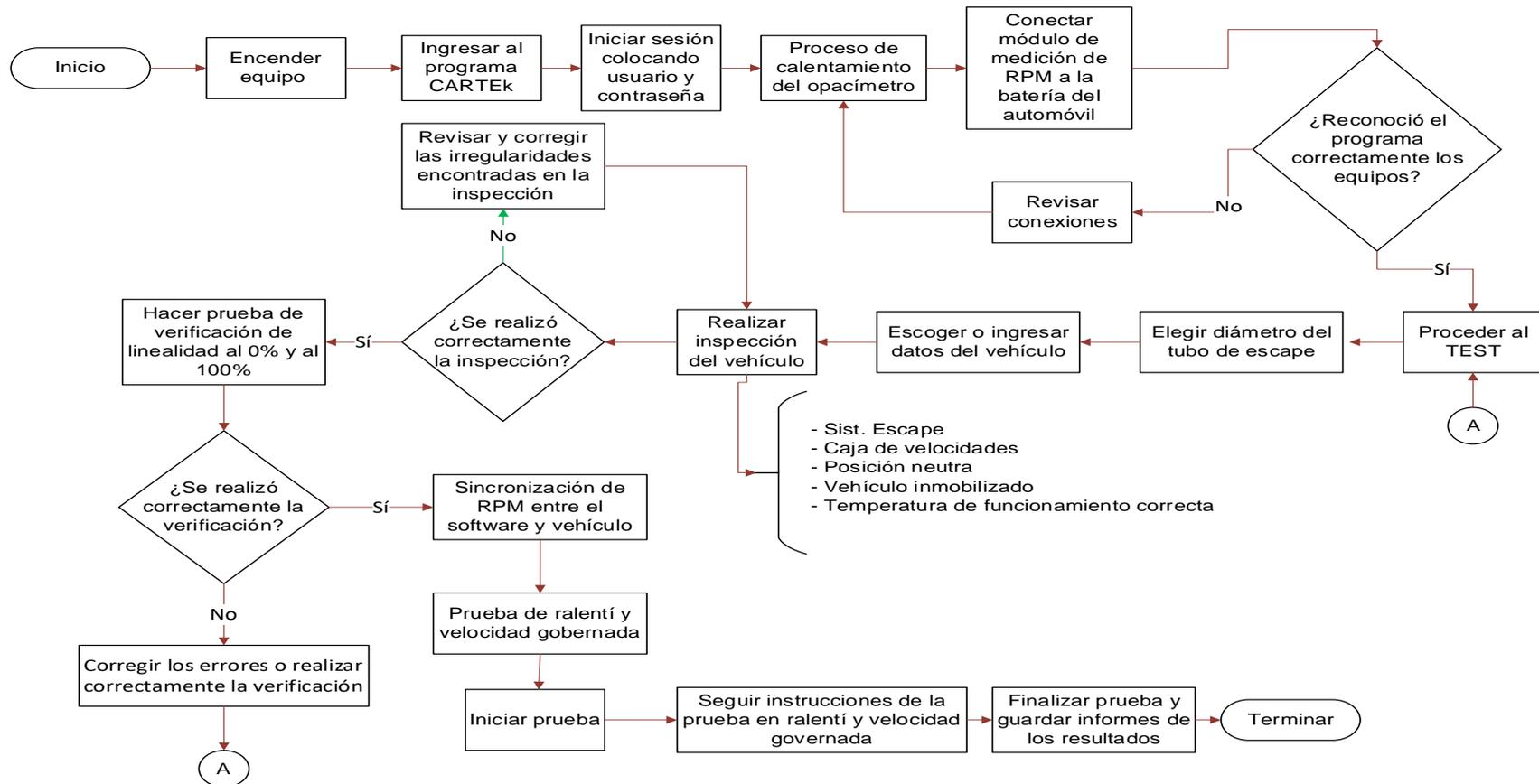
Opacómetro 57-220



Nota. La figura muestra el opacómetro proporcionado por el laboratorio de Autotrónica, utilizado en las pruebas de la investigación.

Figura 36

Procedimiento para prueba de opacidad



Nota. Procedimiento a seguir para realizar una prueba de opacidad de manera correcta mediante protocolos establecidos por el opacímetro. “A” es un retorno si se llegara a fallar la prueba de linealidad.

4.2.2. Resultados Opacidad

Se realizaron mediciones cada 1000 km con un recorrido total de 3000 km.

desde que se efectuó el mantenimiento preventivo, de acuerdo con la Tabla 20.

Tabla 20

Kilometrajes recorridos para opacidad

| Parámetro | Kilometraje (km) |
|-----------|------------------|
| KM 1 | 120 080 |
| KM 2 | 121 123 |
| KM 3 | 122 191 |
| KM 4 | 123 097 |

Nota. Kilometrajes registrados después de las pruebas de ruta.

La Tabla 21 muestra los resultados de opacidad que se obtuvieron en todas las pruebas realizadas de todas las condiciones a las que se sometió el vehículo, estos datos se analizan por horarios, por condición del V.P. y finalmente se compara todos los resultados en conjunto.

Tabla 21

Porcentajes de opacidad

| PERIODO | | OPACIDAD (%) | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------------|------|------|------|------|------|------------|------|----------|-------|
| | | KM 1 | | KM 2 | | KM 3 | | KM 4 | | PROMEDIO | |
| | | S/A | C/A | S/A | C/A | S/A | C/A | S/A | C/A | S/A | C/A |
| M1 | E. STD | 0,73 | 0,93 | 0,79 | 0,94 | 0,82 | 0,89 | 0,79 | 0,93 | 0,783 | 0,923 |
| | C. SCR | 0,63 | 0,66 | 0,51 | 0,55 | 0,52 | 0,75 | 0,69 | 0,67 | 0,588 | 0,658 |
| | S.C. | 0,69 | 1,59 | 0,69 | 1,42 | 0,54 | 1,00 | 0,60 | 1,78 | 0,630 | 1,448 |
| M2 | E. STD | 0,8 | 0,79 | 0,73 | 0,86 | 0,64 | 0,75 | 0,73 | 0,71 | 0,725 | 0,778 |
| | C. SCR | 0,35 | 0,35 | 0,49 | 0,49 | 0,57 | 0,57 | 0,60 | 0,69 | 0,503 | 0,525 |
| | S.C. | 0,59 | 0,55 | 0,70 | 1,34 | 1,97 | 1,99 | 0,62 | 0,65 | 0,970 | 1,133 |
| T1 | E. STD | 0,69 | 0,77 | 0,62 | 0,88 | 0,61 | 0,66 | 0,76 | 0,77 | 0,670 | 0,770 |
| | C. SCR | 0,26 | 0,57 | 0,35 | 0,67 | 0,60 | 0,61 | 0,83 | 1,17 | 0,510 | 0,755 |
| | S.C. | 1,58 | 2,33 | 0,96 | 1,92 | 0,96 | 1,92 | 0,53 | 0,69 | 1,008 | 1,715 |
| N.F. | | S/R | | R1 | | R2 | | Límite | | Límite | |
| | | S/I | C/I | S/I | C/I | S/I | C/I | Opacímetro | | INEN | |
| | | 0,76 | 4,01 | 0,70 | 1,74 | 1,12 | 1,07 | 15 | | 50 | |

Nota. La tabla especifica los resultados de opacidad en los escenarios medidos.

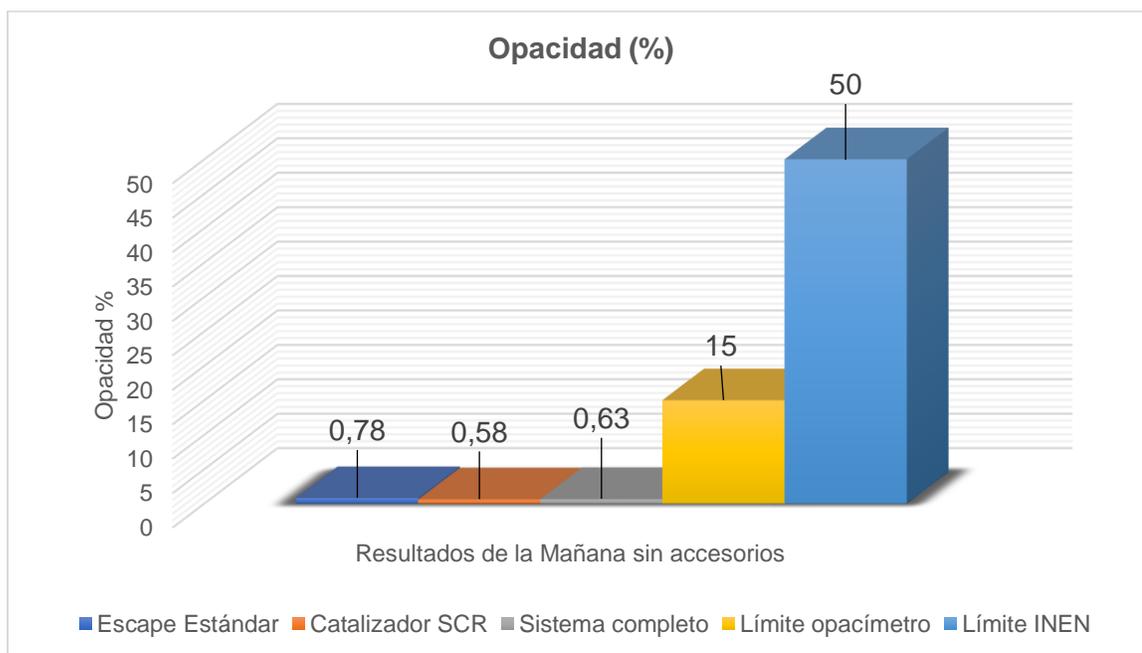
4.2.3. Análisis por Horario

Se realiza una comparación de las diferentes condiciones del sistema de escape en cada uno de los horarios del día en que se realizaron las pruebas de opacidad.

- “M1” sin accesorios

Figura 37

Resultados de opacidad en la mañana sin accesorios.



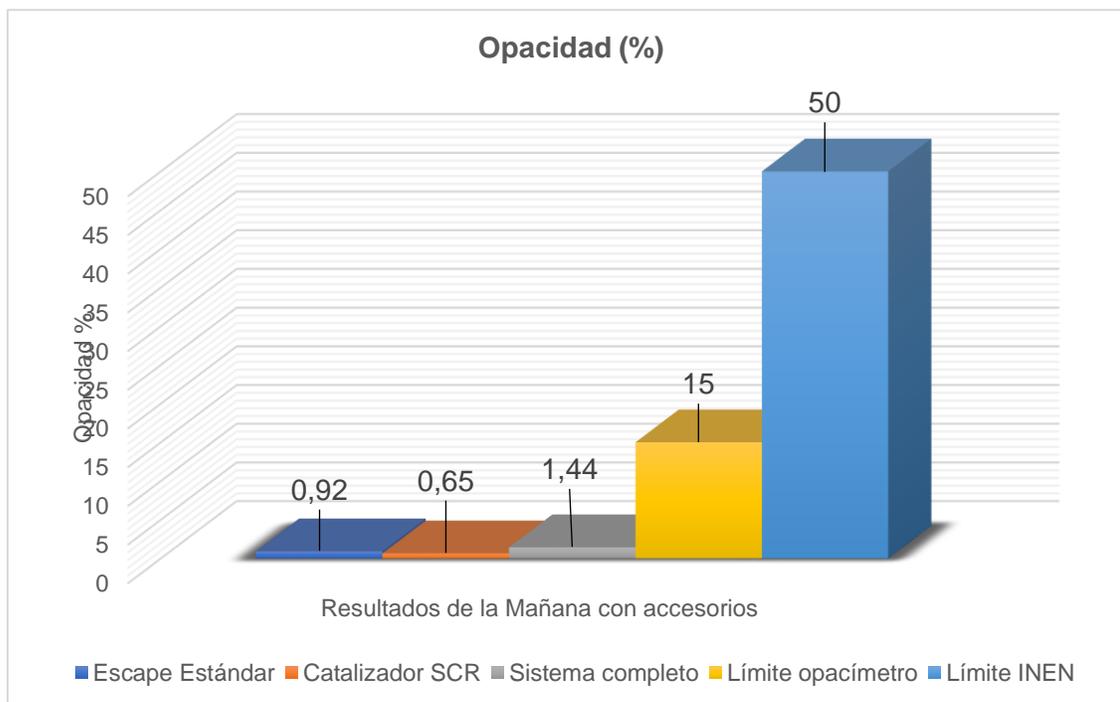
Nota. Resultados de opacidad en la mañana sin accesorios.

Como se muestra en la Figura 37, el promedio de las mediciones de opacidad de todos los kilometrajes da como resultado que en base al escape estándar con 0,78%, el resultado con catalizador SCR (0,58%) se reduce en un 0,20%, mientras que con el sistema completo se reduce en un 0,15% la opacidad; por otro lado el porcentaje de opacidad del sistema de inyección completo se aumenta un 0,05% con respecto a el valor solo con el catalizador SCR, aun así, se aprueba en todos los casos los límites de la máquina y de la norma INEN NTE 2207:2002.

- “M1” con accesorios

Figura 38

Resultados de opacidad en la mañana con accesorios



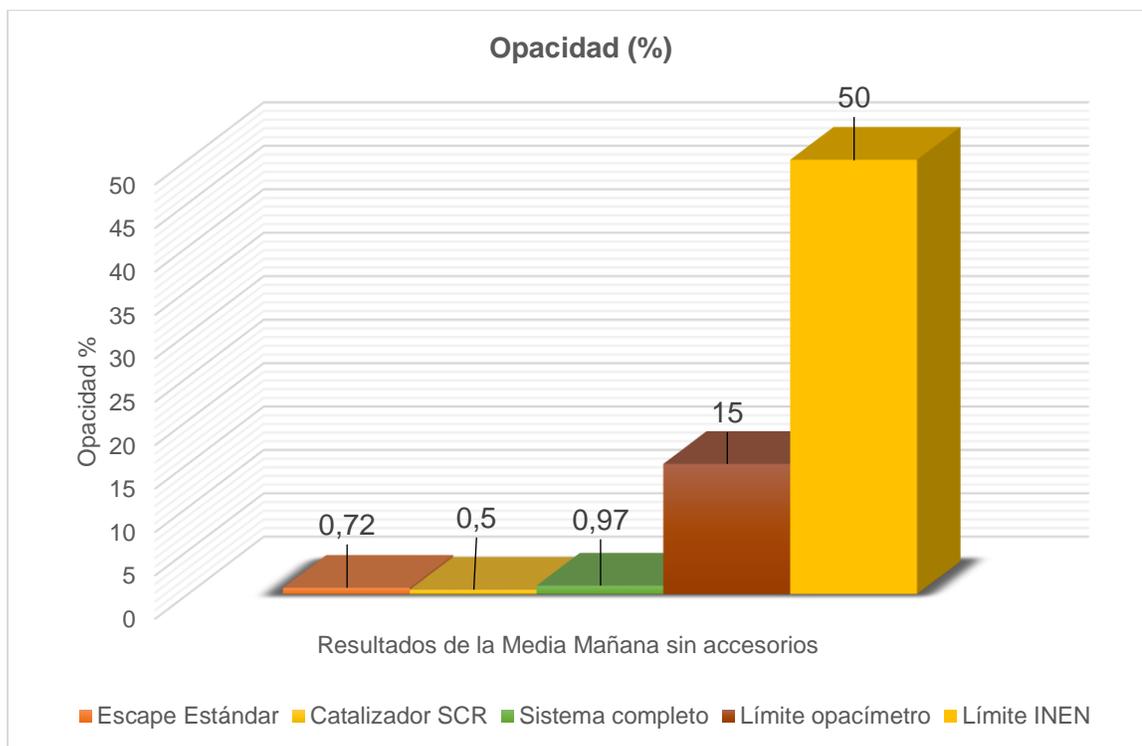
Nota. Resultados de opacidad en la mañana con accesorios.

En la Figura 38 se muestra la opacidad en todas las condiciones; la opacidad con catalizador SCR se reduce en un 0,27% frente a la medición con escape estándar (0,92%), por otro lado, la opacidad aumenta en un 0,52% con el sistema completo; asimismo, aumenta en un 0,79% con respecto al valor con catalizador SCR, por lo que la contaminación ambiental es menor solo con el catalizador SCR en este caso. En todos los casos el vehículo aprobaría la revisión técnica vehicular.

- “M2” sin Accesorios

Figura 39

Resultados de opacidad en la media mañana sin accesorios



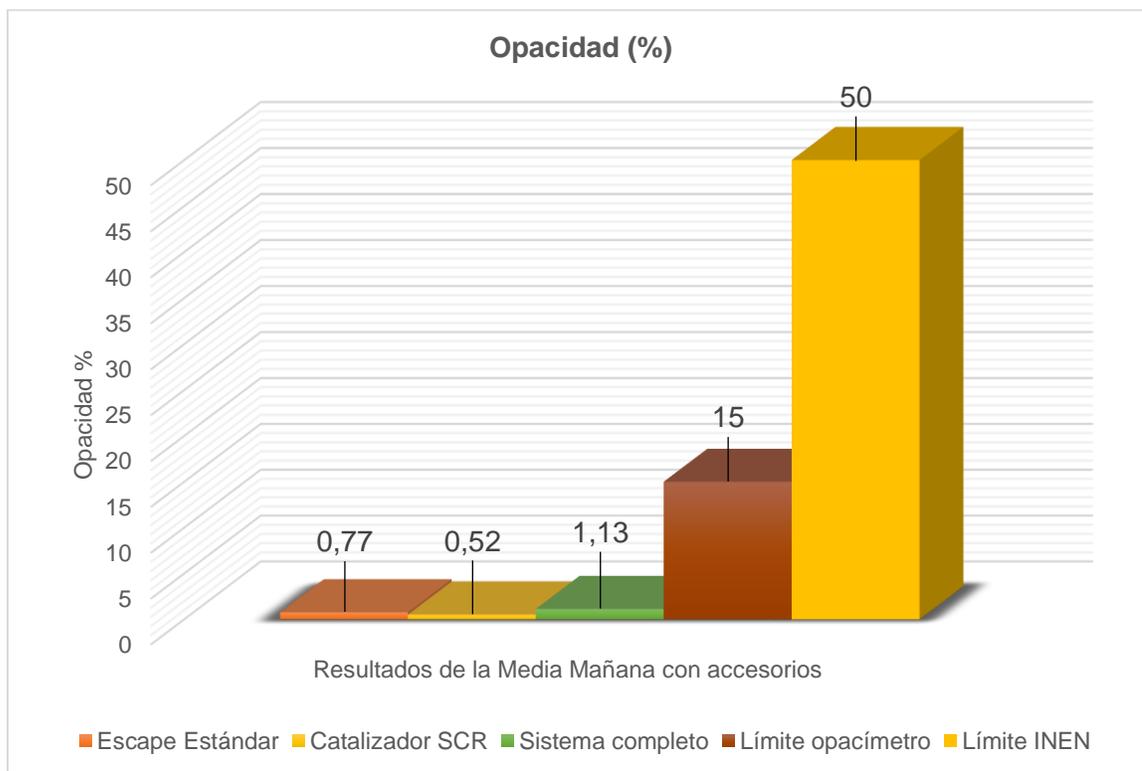
Nota. Resultados de opacidad en la media mañana sin accesorios en las diferentes condiciones.

La Figura 39 indica el porcentaje de opacidad medido en los 3 estados del vehículo, mostrando como diferencia primordial la reducción de la contaminación del uso del catalizador SCR con respecto al escape estándar en un 0,22% mientras que se presenta un aumento de los resultados cuando se usa el sistema completo de 0,25% y 0,47% en referencia al escape estándar y al catalizador SCR respectivamente; siendo, sin embargo, resultados que aprueban una revisión vehicular.

- “M2” con Accesorios

Figura 40

Resultados de opacidad en la media mañana con accesorios



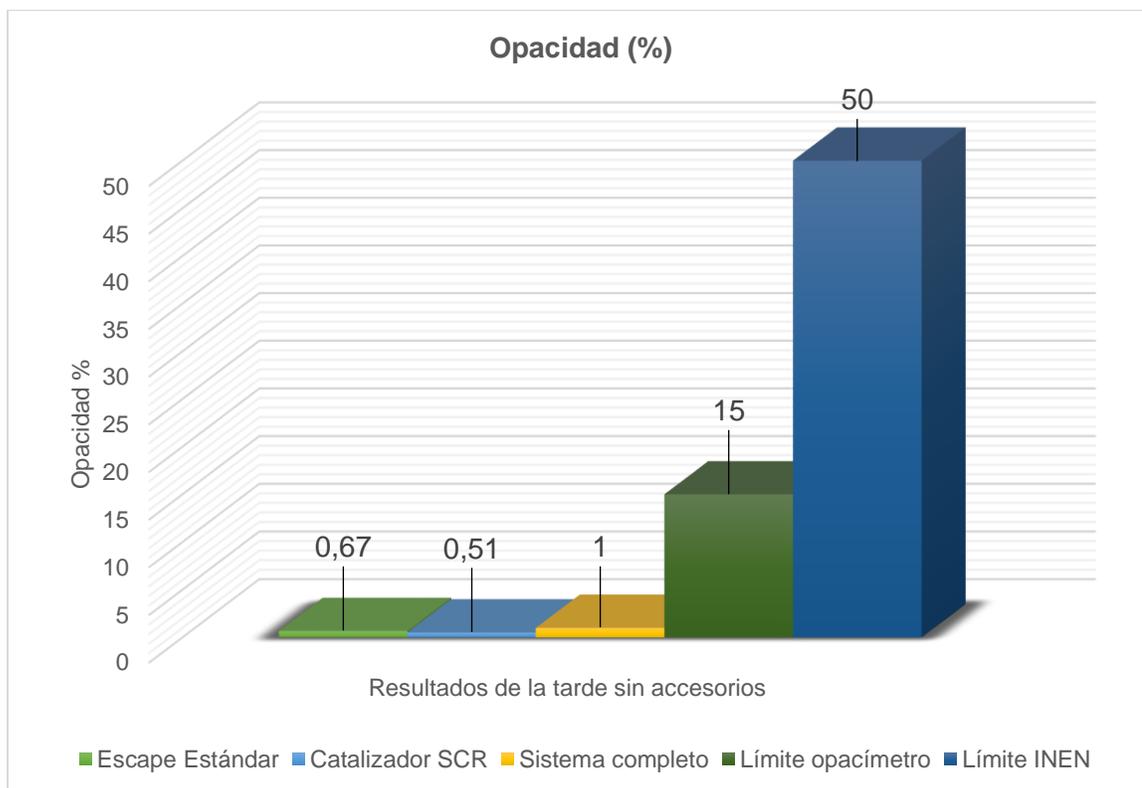
Nota. Resultados de opacidad en la media mañana con accesorios en las diferentes condiciones.

La Figura 40 muestra que existe una disminución de la opacidad máxima cuando solo se usa el catalizador SCR, ya que con el sistema completo la medición aumenta en un 0,61% (1,13%), y con el escape estándar la opacidad incrementa en un 0,25%, los resultados aprueban la revisión técnica sin problemas.

- “T1” sin accesorios

Figura 41

Resultados de opacidad en la tarde sin accesorios



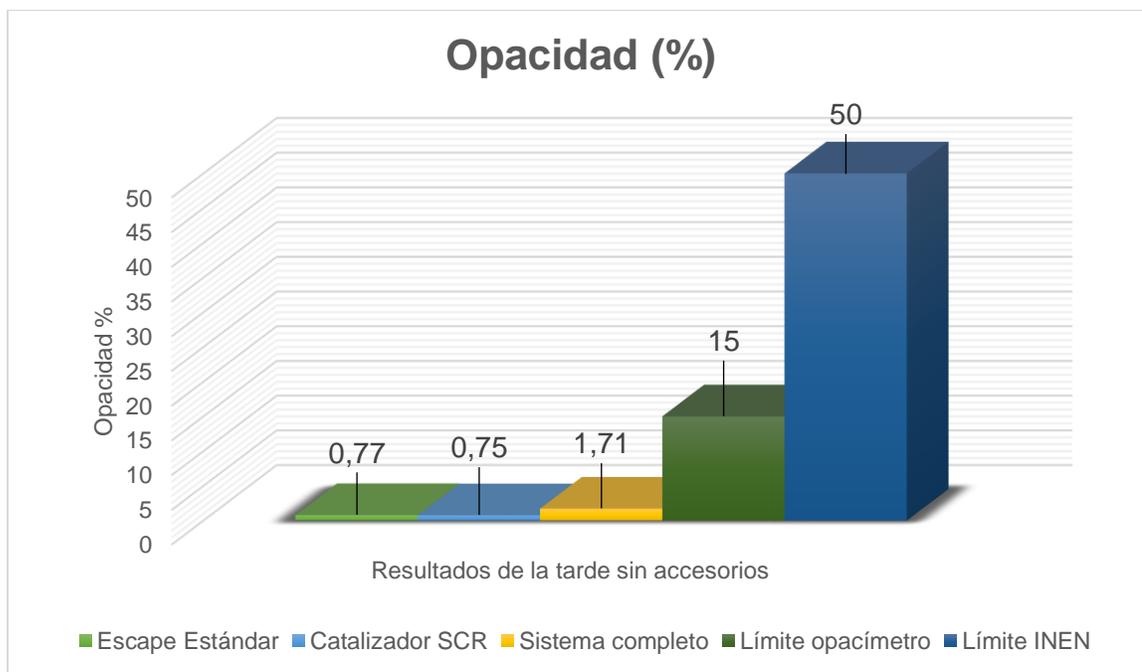
Nota. Resultados de opacidad en la tarde sin accesorios en las diferentes condiciones.

La Figura 41 da a entender que la opacidad mínima se obtiene con el catalizador SCR, mientras que el valor más alto resulta cuando se usa todo el sistema completo. Aumenta en el escape estándar un 0,16% y con sistema completo un 0,49% en base a la opacidad con el catalizador SCR, en cualquier condición aprobaría la revisión técnica.

- “T1” con Accesorios

Figura 42

Resultados de opacidad en la tarde con accesorios



Nota. Resultados de opacidad en la tarde con accesorios en las diferentes condiciones.

En la Figura 42 se puede evidenciar que la opacidad más baja que se midió fue con el catalizador SCR con 0,75%, y la más alta utilizando el sistema e inyección completo con 1,71%. Aumenta entonces, 0,02% el escape estándar y 0,96% el sistema completo; de igual manera en cualquier estado aprobaría la revisión vehicular.

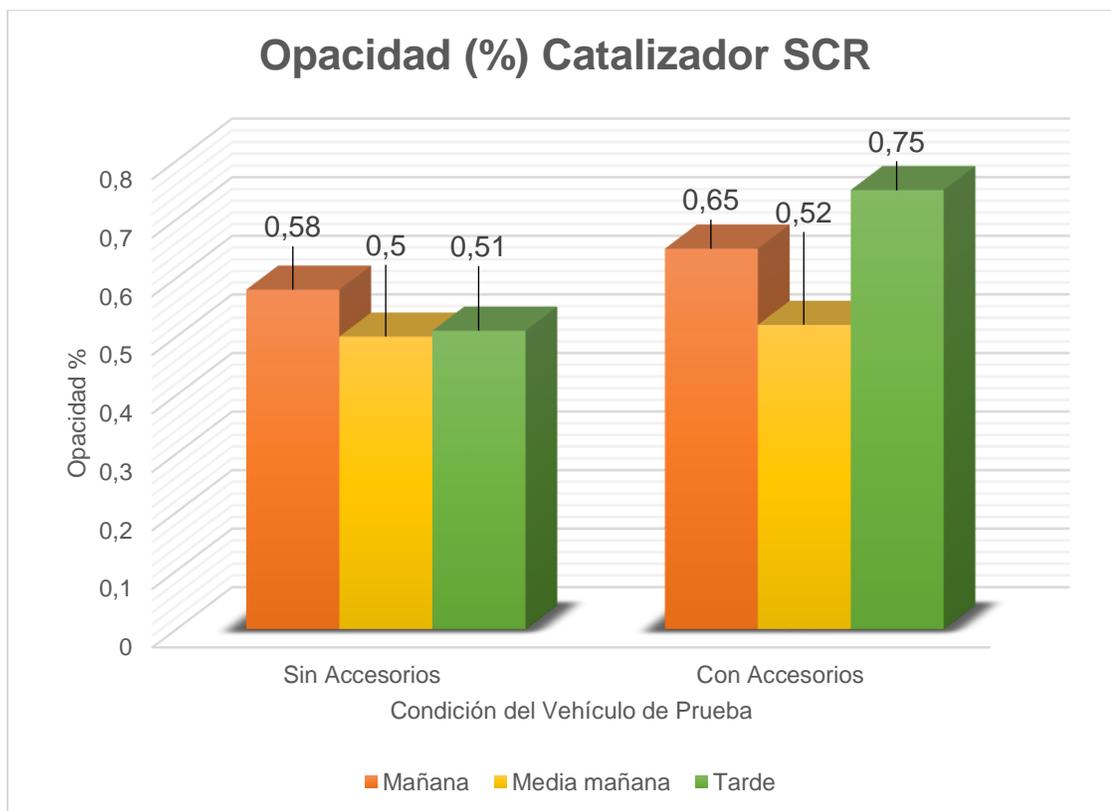
4.2.4. Análisis por Condición

En este análisis se compara los valores de un mismo sistema de escape con diferentes estados del vehículo, es decir, con los accesorios activados y desactivados, para observar la incidencia de estos en la variación de opacidad.

- **Catalizador SCR**

Figura 43

Resultados de opacidad por condición con el catalizador SCR



Nota. Resultados de opacidad sin y con accesorios con el catalizador SCR.

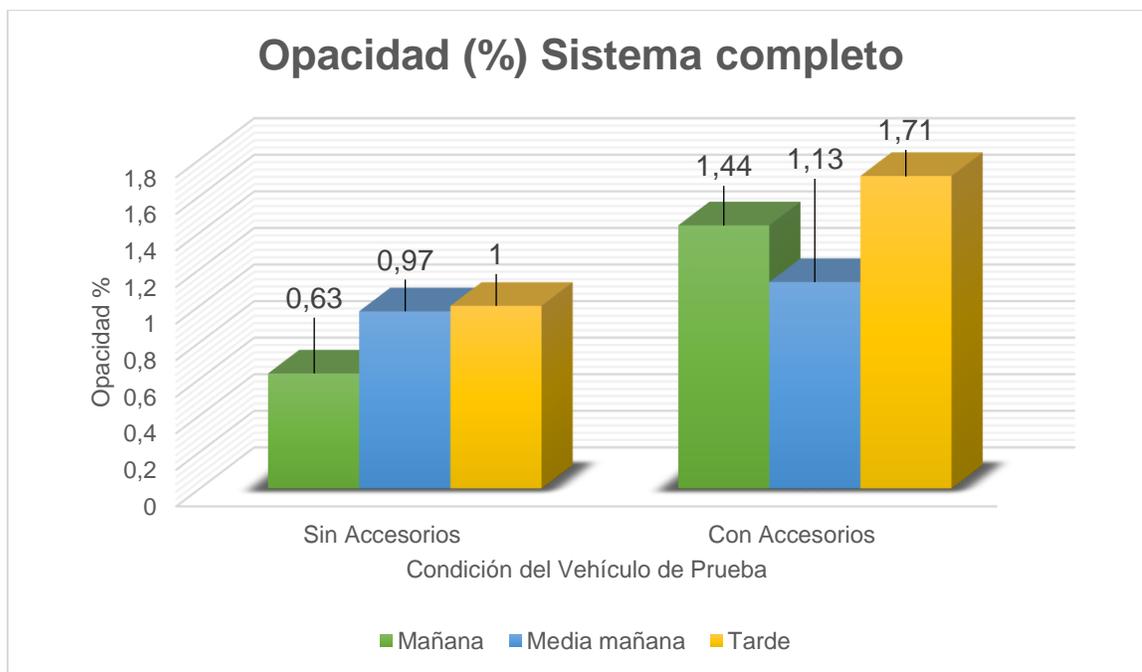
En la Figura 43, se comparan los datos de promedios de opacidad obtenidos sin la activación y con la activación de accesorios respectivamente y ya instalado el catalizador SCR, sin la activación el punto más alto es en la mañana con un 0.58% en registro que comparado al de la media mañana reduce en un 0.08% y al de la tarde en un 0.07%.

En las pruebas con la activación de accesorios se tiene el valor más alto en la prueba de la tarde con un 0.75%, comprado a los resultados de la mañana y tarde aumenta un 0.1 y 0.23% respectivamente.

- **Inyección de AdBlue**

Figura 44

Resultados de opacidad por condición con el sistema de inyección



Nota. Resultados de opacidad sin y con accesorios con el sistema completo.

En la Figura 44, se observa la variación de opacidad con el sistema funcionando, siendo con los accesorios desactivados el valor más bajo en la mañana con un 0.63% aumentando con el de media mañana y tarde en 0.34% y 0.37% respectivamente.

Los valores obtenidos con pruebas con los accesorios en funcionamiento fue el más bajo en la media mañana con un 1.13% que en relación con el de la mañana disminuyó un 0.31% y en relación con el de la tarde aumentó un 0.58%.

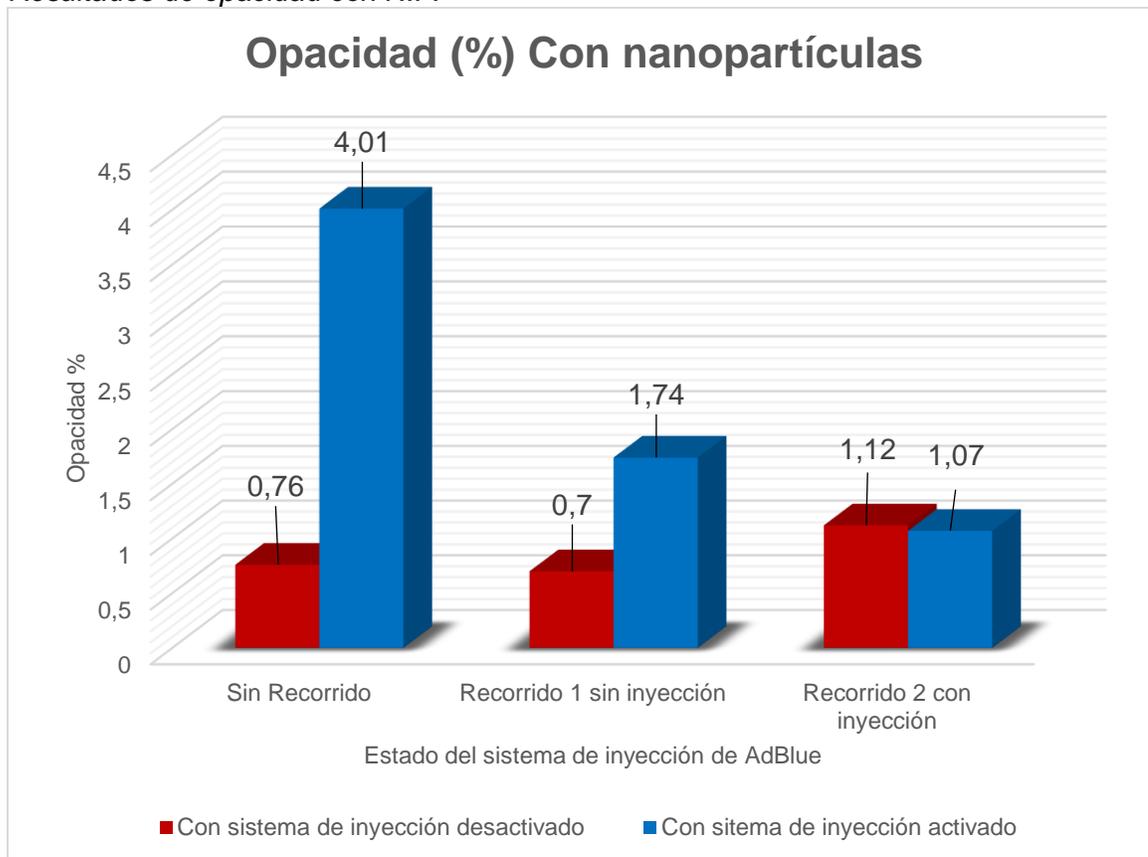
4.2.5. Análisis con Nanopartículas de Ferrita

Para este análisis se implementó un filtro mallado el cual internamente se colocaron las nanopartículas de ferrita, actuando como agente reductor de los gases de escape.

Se realizaron tres pruebas, una sin haber realizado recorrido alguno con las nanopartículas de ferrita, otra después de un recorrido de 80 km sin inyectar AdBlue, por último, se realizó otra prueba de ruta, esta vez inyectando AdBlue, las mediciones se realizaron con el sistema de inyección activado y desactivado.

Figura 45

Resultados de opacidad con N.F.



Nota. Resultados de opacidad con nanopartículas y sistema de inyección de AdBlue.

Como se puede observar en la Figura 45 los resultados de opacidad con el sistema de inyección desactivado varían de la primera prueba sin haber hecho un recorrido con la segunda prueba después de haber hecho un recorrido de 80 km sin activar el sistema se reduce en un 0.06% lo que representa el 7,89% y con respecto a la prueba después del segundo recorrido con el sistema de inyección activado aumenta un 0,36% (47,36%).

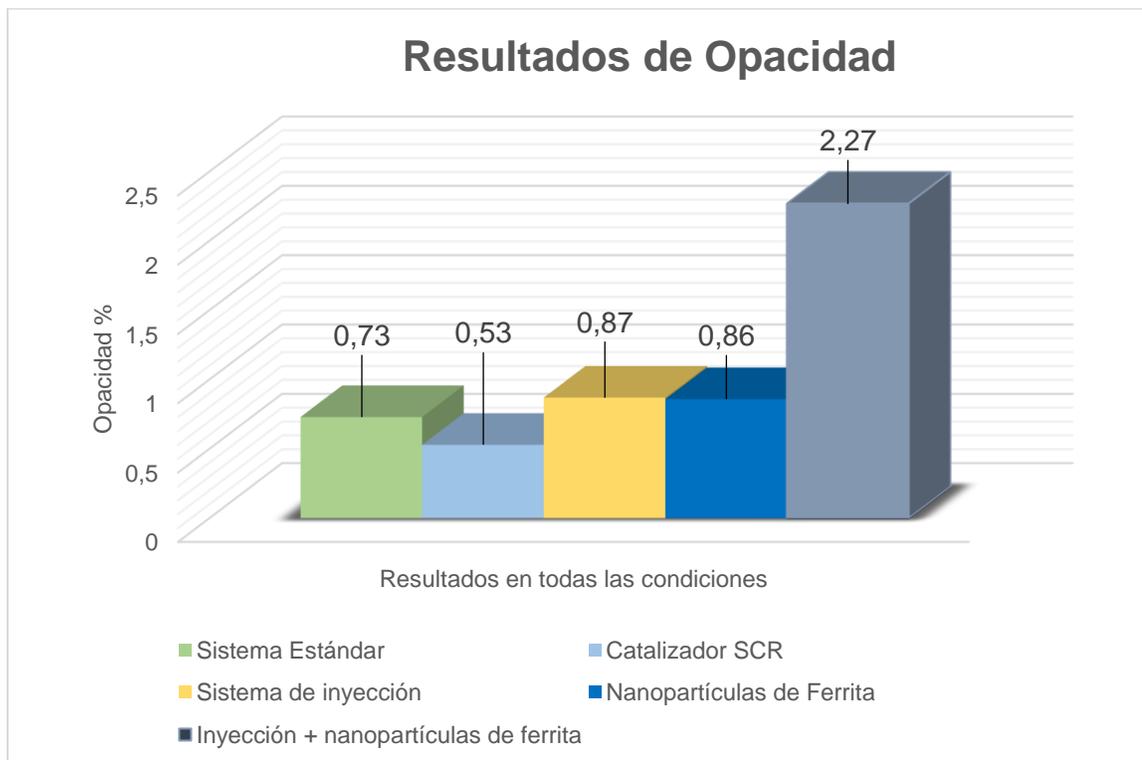
Mientras que los resultados de opacidad con el sistema de inyección activado varían de la primera prueba sin haber hecho un recorrido con la segunda prueba después de haber hecho un recorrido de 80 km sin activar el sistema se reduce en 2,27% es decir en 56,61% y con respecto a la prueba después del segundo recorrido con el sistema de inyección activado aumenta 2,94% lo que representa el 73,31%.

4.2.6. Análisis con todas las condiciones

Para observar la incidencia de la implementación de las nanopartículas de ferrita en el sistema de escape como agente reductor. Los resultados previamente analizados se los comparará con los datos obtenidos al momento de usar el sistema estándar, el catalizador SCR y el sistema de inyección de AdBlue.

Figura 46

Porcentaje de opacidad con S.I y N.F.



Nota. Resultados de opacidad de todos los escenarios en los que se realizaron las mediciones.

Como se muestra en la figura Figura 46, se tomó en cuenta los valores promedio de cada una de las pruebas realizadas con los diferentes sistemas, denotando que el valor más elevado obtenido es con el sistema activado y las nanopartículas de ferrita funcionando simultáneamente con un porcentaje de 2.27% aumentando este en relación con los valores del sistema standard en 1.54%; con los del catalizador SCR en 1.74%; con los del sistema de inyección funcionando independientemente en 1.4% y con las nanopartículas de ferrita en 1.41%.

4.3. Pruebas de Emisiones de Gases

4.3.1. Protocolo de uso Analizador de Gases AGS-688

Las pruebas de emisiones de gases contaminantes (Figura 47) en el vehículo de prueba, se las realizan en base a los protocolos estandarizados por las normas NTE INEN 2202:2013 y 2207:2202 tratados principalmente por ensayos de aceleración libre.

Figura 47

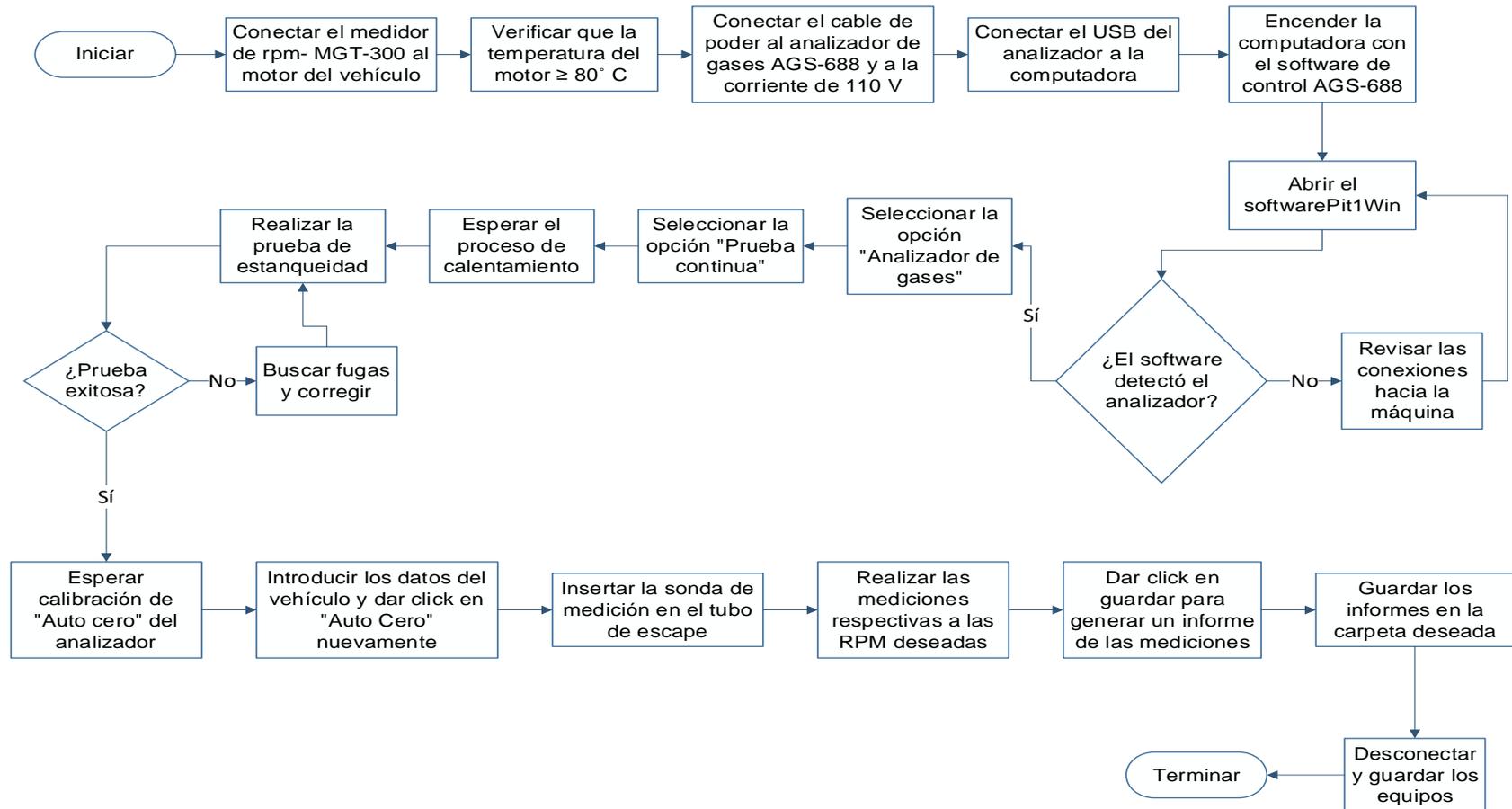
Analizador de gases AGS-688



Nota. Analizador de gases AGS-688 utilizado para realizar las mediciones de emisiones en el vehículo de prueba en el que se implementó la investigación.

Figura 48

Diagrama de flujo pruebas de análisis de gases



Nota. Procedimiento para realizar una prueba de análisis de gases en el equipo AGS-688, previo a la realización de las mediciones en los escenarios respectivos.

4.3.2. Tabulación Resultados de Emisiones de Gases

Se realizaron las mediciones con el sistema de escape estándar, con el catalizador SCR y con el sistema de inyección de AdBlue, para analizar la incidencia de la implementación de la inyección de solución de urea al sistema de escape. En todas las condiciones se las realizó en diferentes regímenes del motor: ralentí, 2500 y 3370 rpm.

Las mediciones se hicieron cada 1000 km desde que se efectúa el mantenimiento preventivo, en un total de 3000 km de recorrido, como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22

Kilometrajes recorridos para análisis de gases

| Parámetro | Kilometraje (km) |
|-----------|------------------|
| KM 1 | 125 552 |
| KM 2 | 127 006 |
| KM 3 | 128 002 |
| KM 4 | 129 840 |

Nota. Kilometrajes registrados antes de realizar las mediciones de gases en las condiciones ya mencionadas.

4.3.3. Resultados de CO

La Tabla 23 muestra los resultados de monóxidos de carbono que se obtuvieron en todas las pruebas realizadas de todas las condiciones a las que se sometió el vehículo, estos datos se analizan por horarios, por condición del V.P. y finalmente se compara todos los resultados en conjunto.

Tabla 23

Porcentaje de monóxidos de carbono

| CO (%Vol) | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----------|---------|--------|------|---------|--------|------|---------|--------|------|------|----------|------|
| | | M1 | | | M2 | | | T1 | | | N.F. | | |
| | RPM | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | | | |
| KM 1 | Idle | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | S/R | Idle | 0,03 |
| | S/A 2500 | 0,27 | 0,26 | 0,25 | 0,27 | 0,28 | 0,23 | 0,30 | 0,26 | 0,23 | | S/I 2500 | 0,24 |
| | 3370 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,17 | 0,16 | 0,14 | 0,16 | 0,16 | 0,13 | | 3370 | 0,15 |
| | Idle | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | C/I | Idle | 0,04 |
| | C/A 2500 | 0,10 | 0,21 | 0,17 | 0,17 | 0,21 | 0,21 | 0,20 | 0,20 | 0,17 | | 2500 | 0,24 |
| | 3370 | 0,04 | 0,12 | 0,10 | 1,12 | 0,11 | 0,10 | 0,12 | 0,12 | 0,10 | | 3370 | 0,13 |
| KM 2 | Idle | | 0,04 | 0,03 | | 0,04 | 0,03 | | 0,04 | 0,04 | R 1 | Idle | 0,04 |
| | S/A 2500 | | 0,28 | 0,23 | | 0,26 | 0,18 | | 0,25 | 0,20 | | S/I 2500 | 0,24 |
| | 3370 | | 0,18 | 0,14 | | 0,17 | 0,13 | | 0,16 | 0,13 | | 3370 | 0,14 |
| | Idle | | 0,04 | 0,04 | | 0,03 | 0,03 | | 0,04 | 0,03 | C/I | Idle | 0,03 |
| | C/A 2500 | | 0,22 | 0,18 | | 0,23 | 0,16 | | 0,21 | 0,15 | | 2500 | 0,23 |
| | 3370 | | 0,13 | 0,11 | | 0,12 | 0,09 | | 0,13 | 0,10 | | 3370 | 0,13 |
| KM 3 | Idle | | 0,03 | 0,04 | | 0,04 | 0,03 | | 0,04 | 0,03 | R 2 | Idle | 0,04 |
| | S/A 2500 | | 0,27 | 0,24 | | 0,28 | 0,17 | | 0,23 | 0,22 | | S/I 2500 | 0,23 |
| | 3370 | | 0,17 | 0,14 | | 0,17 | 0,12 | | 0,18 | 0,13 | | 3370 | 0,15 |
| | Idle | | 0,03 | 0,03 | | 0,05 | 0,03 | | 0,04 | 0,03 | C/I | Idle | 0,05 |
| | C/A 2500 | | 0,20 | 0,18 | | 0,22 | 0,12 | | 0,16 | 0,17 | | 2500 | 0,14 |
| | 3370 | | 0,13 | 0,11 | | 0,15 | 0,09 | | 0,12 | 0,09 | | 3370 | 0,09 |

| CO (%Vol) | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|--------------------------|-------|-------|
| | | M1 | | | M2 | | | T1 | | | | | |
| | RPM | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | N.F. | | |
| KM 4 | Idle | | 0,04 | 0,04 | | 0,04 | 0,04 | | 0,04 | 0,04 | | | |
| | S/A | 2500 | 0,24 | 0,24 | | 0,26 | 0,25 | | 0,24 | 0,24 | | | |
| | | 3370 | 0,18 | 0,15 | | 0,16 | 0,14 | | 0,13 | 0,15 | | | |
| | | Idle | | 0,04 | 0,04 | | 0,04 | 0,03 | | 0,04 | 0,04 | | |
| | C/A | 2500 | 0,21 | 0,20 | | 0,22 | 0,18 | | 0,17 | 0,18 | PROMEDIO TOTAL | | |
| | | 3370 | 0,14 | 0,09 | | 0,09 | 0,10 | | 0,12 | 0,11 | C. SCR S.C | | |
| PROM | Idle | | 0,035 | 0,038 | | 0,040 | 0,035 | | 0,040 | 0,035 | 0,038 | 0,036 | |
| | S/A | 2500 | 0,263 | 0,240 | | 0,270 | 0,208 | | 0,245 | 0,223 | 0,26 | 0,22 | |
| | | 3370 | 0,170 | 0,145 | | 0,165 | 0,133 | | 0,158 | 0,135 | 0,16 | 0,14 | |
| | | Idle | | 0,038 | 0,038 | | 0,038 | 0,030 | | 0,040 | 0,033 | 0,039 | 0,034 |
| | C/A | 2500 | 0,210 | 0,183 | | 0,220 | 0,168 | | 0,185 | 0,168 | 0,21 | 0,17 | |
| | | 3370 | 0,130 | 0,103 | | 0,118 | 0,095 | | 0,123 | 0,100 | 0,12 | 0,09 | |

Nota. La tabla especifica los resultados obtenidos de CO en todos los escenarios medidos. A continuación, se presentan las

abreviaturas para las tablas de todos los gases de aquí en adelante.

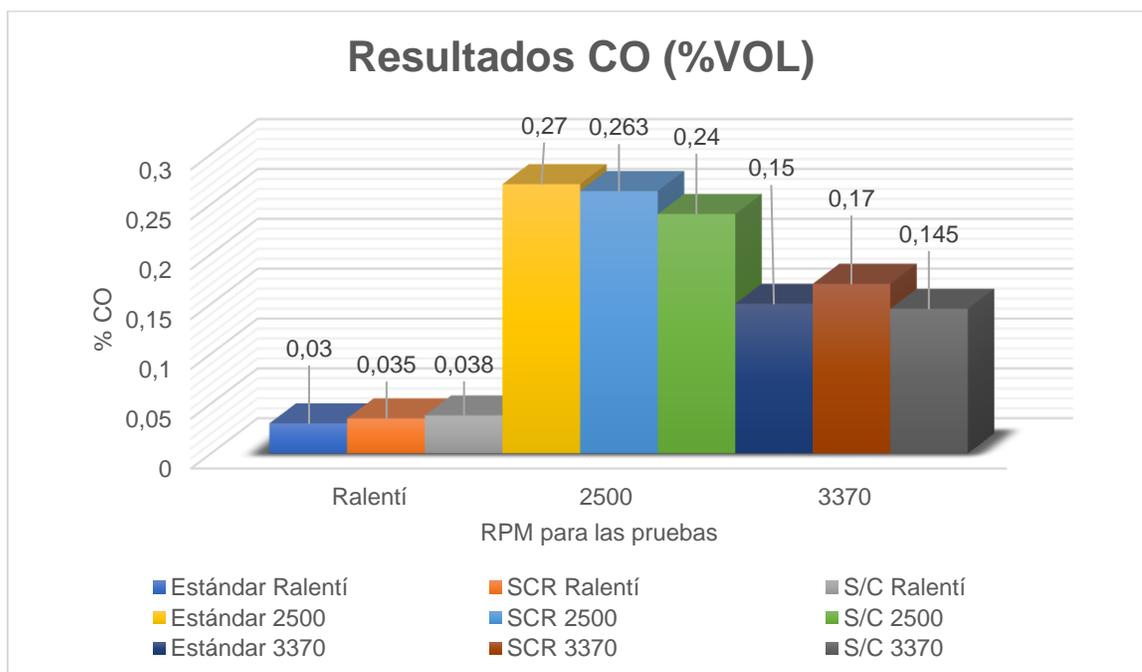
4.3.4. Análisis de CO por Horario

Se realiza una comparación de las diferentes condiciones del sistema de escape en cada uno de los horarios del día en que se realizaron las pruebas de CO.

- “M1” sin accesorios

Figura 49

Resultados de CO en la mañana sin accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones sin accesorios en la mañana de CO en las diferentes condiciones.

Como se muestra en la Figura 49, los resultados de “M1” a ralentí, aumenta con respecto a la medida estándar de 0,03%Vol; con el catalizador SCR existe un aumento de 16,6% (0,035 %Vol). Por lo que, a ralentí, el sistema SCR no es lo ideal.

A 2500 RPM, con el sistema completo reducen las emisiones en un 11,11% con respecto al sistema estándar. A máximo régimen de giro del motor, se presenta un aumento de 13,33% usando el catalizador SCR solamente, pero al inyectar AdBlue, se reduce los gases contaminantes en un 3,33% en base al resultado estándar.

- “M1” con accesorios

Figura 50

Resultados de CO en la mañana con accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones con accesorios en la mañana de CO en las diferentes condiciones.

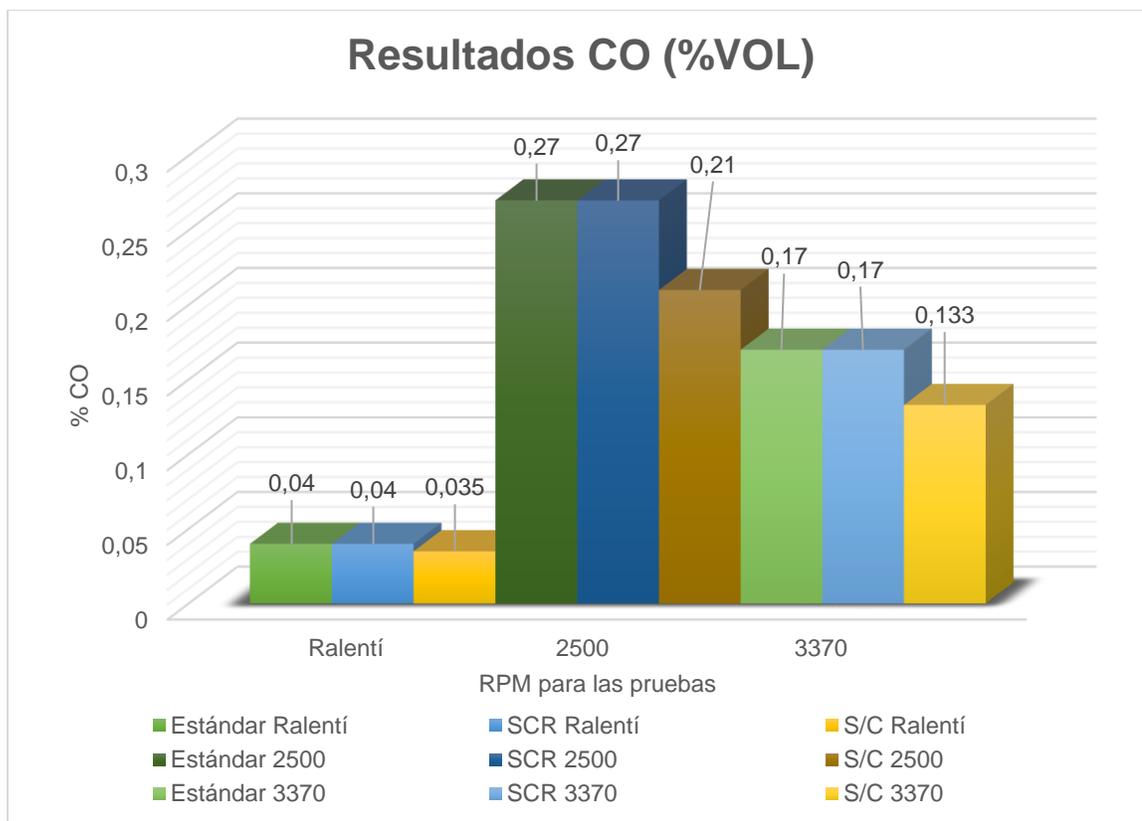
Considerando la Figura 50, los resultados “M1” a ralentí con accesorios, aumenta con respecto a la medida estándar de 0,03%Vol; con el catalizador SCR y con el sistema de inyección completo existe un aumento de 26,6% (0,038 %Vol), en ambos casos.

A 2500 RPM, el %Vol del CO aumenta drásticamente, en un 110% con el catalizador SCR y al usar el sistema completo aumenta en un 80%. A 3370 rpm, existe un incremento, tanto con el catalizador SCR, como con el sistema de inyección, de 0,09 %Vol y 0,058 %Vol respectivamente. El sistema no es fiable al usar accesorios.

- “M2” sin accesorios

Figura 51

Resultados en la media mañana sin accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones sin accesorios en la media mañana de CO en las diferentes condiciones.

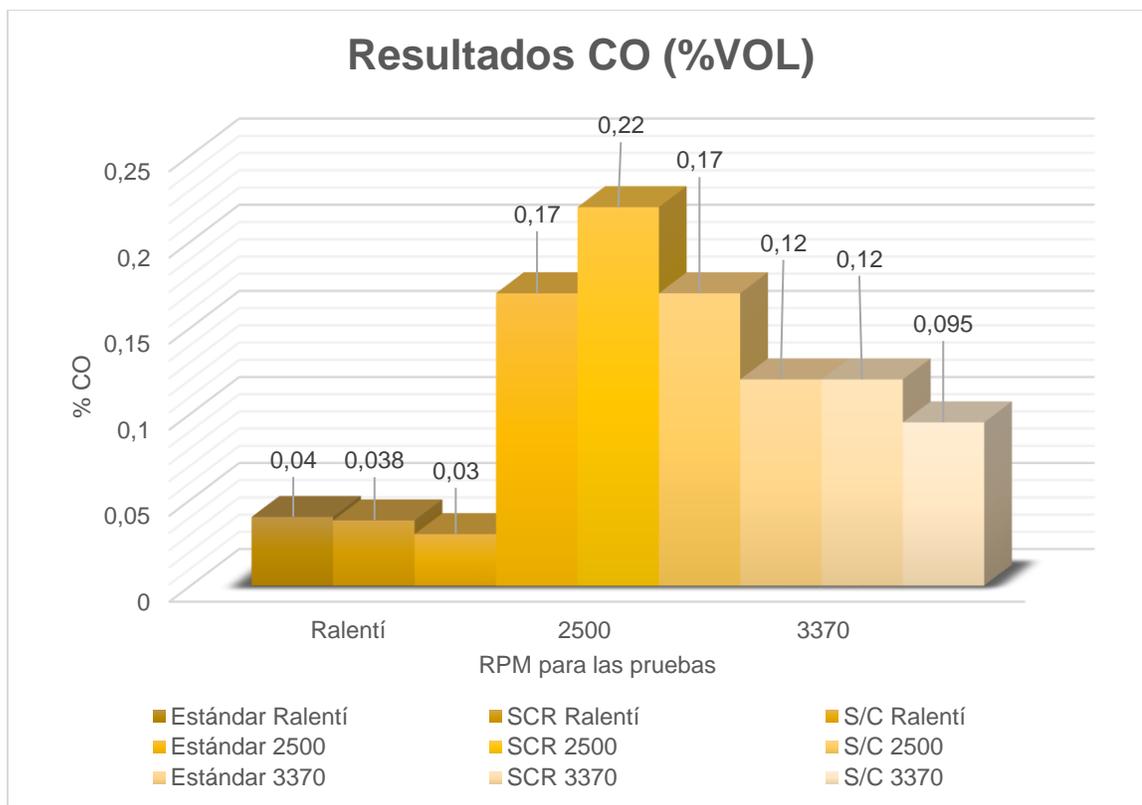
La Figura 51 muestra los resultados que se mantienen constantes entre el sistema estándar y con el uso del catalizador SCR, mientras que, usando el sistema completo, hay una reducción del 12,5%.

A 2500 RPM, el %Vol del CO se mantiene constante en los mismos casos que a ralentí, y se da una disminución de la contaminación con el sistema de inyección del 22,2%, siendo eficiente el sistema SCR en este caso específico. A 3370 rpm, vuelve a ser constante los valores y con el sistema completo disminuye en un 21,76%.

- “M2” con accesorios

Figura 52

Resultados de CO en la media mañana con accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones con accesorios en la media mañana de CO en las diferentes condiciones.

En la Figura 52, los resultados “M2” a ralentí con accesorios tienden a reducirse; en el caso del uso con el catalizador SCR, se redujo un 5%, mientras que con el sistema completo se redujo un 25%.

A 2500 RPM, el %Vol del CO se mantiene constante en el sistema estándar y con el sistema de inyección completo, mientras cuando solo se usa el catalizador SCR, existe un aumento de la contaminación del 29,4%. Los resultados a 3370 rpm estándar y con el catalizador SCR se mantienen constantes, pero al utilizar el sistema de inyección de AdBlue las emisiones de monóxidos de carbono se reducen un 20,83%.

- “T1” sin Accesorios

Figura 53

Resultados de CO en la tarde sin accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones sin accesorios en la tarde de CO en las diferentes condiciones.

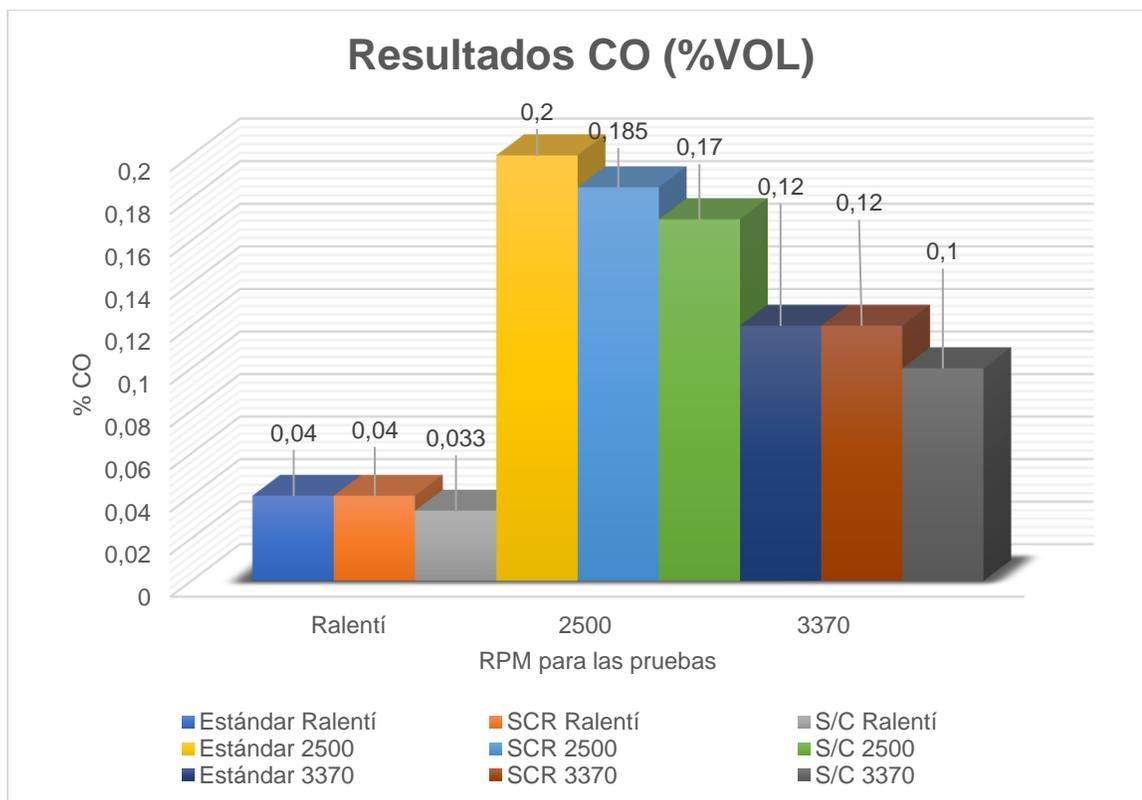
Se muestra en la Figura 53, los resultados “T1” a ralentí sin accesorios; en el caso del uso con el catalizador SCR, se mantiene igual que el estándar, mientras que con el sistema completo se redujo un 12,5%.

A 2500 RPM, las emisiones de CO con el uso del catalizador SCR se reducen un 18,33%, y con el sistema de inyección completo la contaminación por monóxidos de carbono se reduce un 26,66%. Mientras que, a 3370 rpm, existe paridad en los resultados de estándar y con el catalizador SCR, pero cuando se utiliza el sistema de inyección de AdBlue las emisiones de monóxidos de carbono se reducen un 15,63%.

- “T1” con Accesorios

Figura 54

Resultados de CO en la tarde con accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones con accesorios en la tarde de CO en las diferentes condiciones.

En la Figura 54, se observa que los resultados “T1” a ralentí con accesorios tienden a reducirse, en el caso del uso con el catalizador SCR, se mantiene igual que el estándar, mientras que con el sistema completo se redujo un 17,5%.

A 2500 RPM, con el uso del catalizador SCR las emisiones se reducen un 7,5%, y con el sistema de inyección completo se reduce un 15%. A 3370 rpm los resultados de estándar y con el catalizador SCR arrojaron los mismos valores, pero cuando se utiliza el sistema completo las emisiones de monóxidos de carbono se reducen un 16,66%.

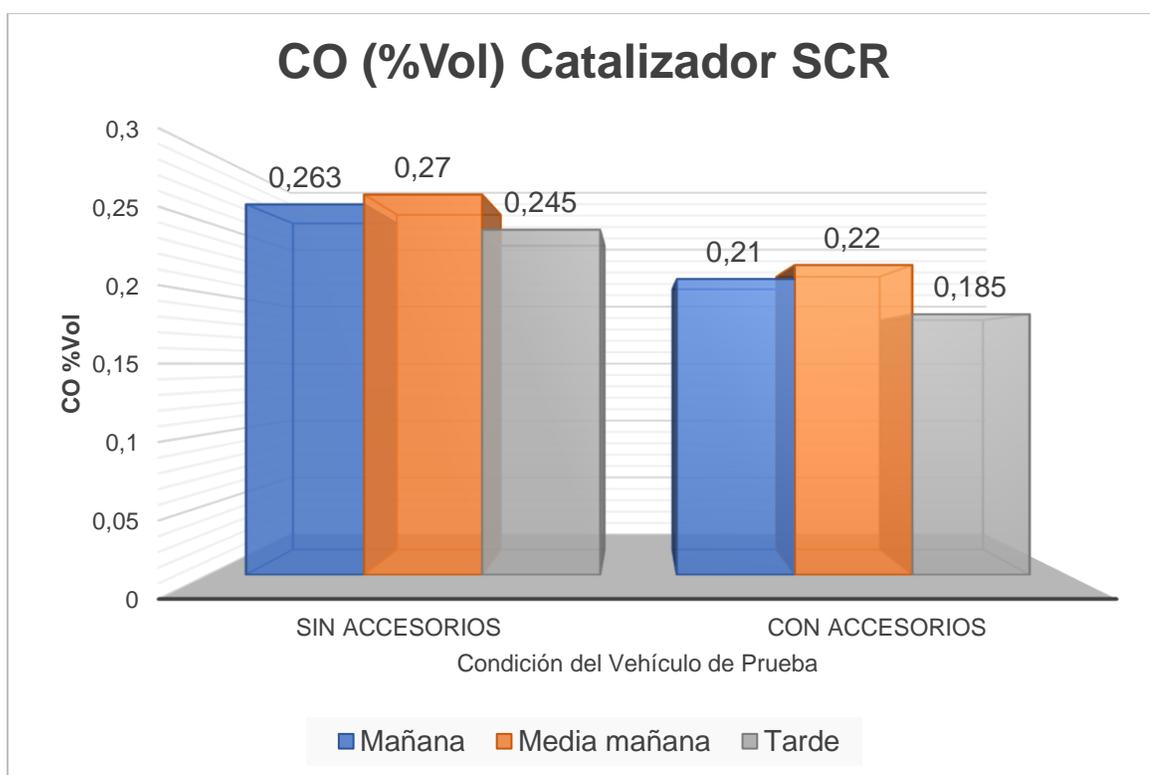
4.3.5. Análisis de CO por Condición

En este análisis se compara los valores de un mismo sistema de escape con diferentes estados del vehículo, es decir, con los accesorios activados y desactivados, para observar la incidencia de estos en la variación de monóxidos de carbono.

- **Catalizador SCR**

Figura 55

Resultados de CO por condición con el catalizador SCR a 2500 rpm

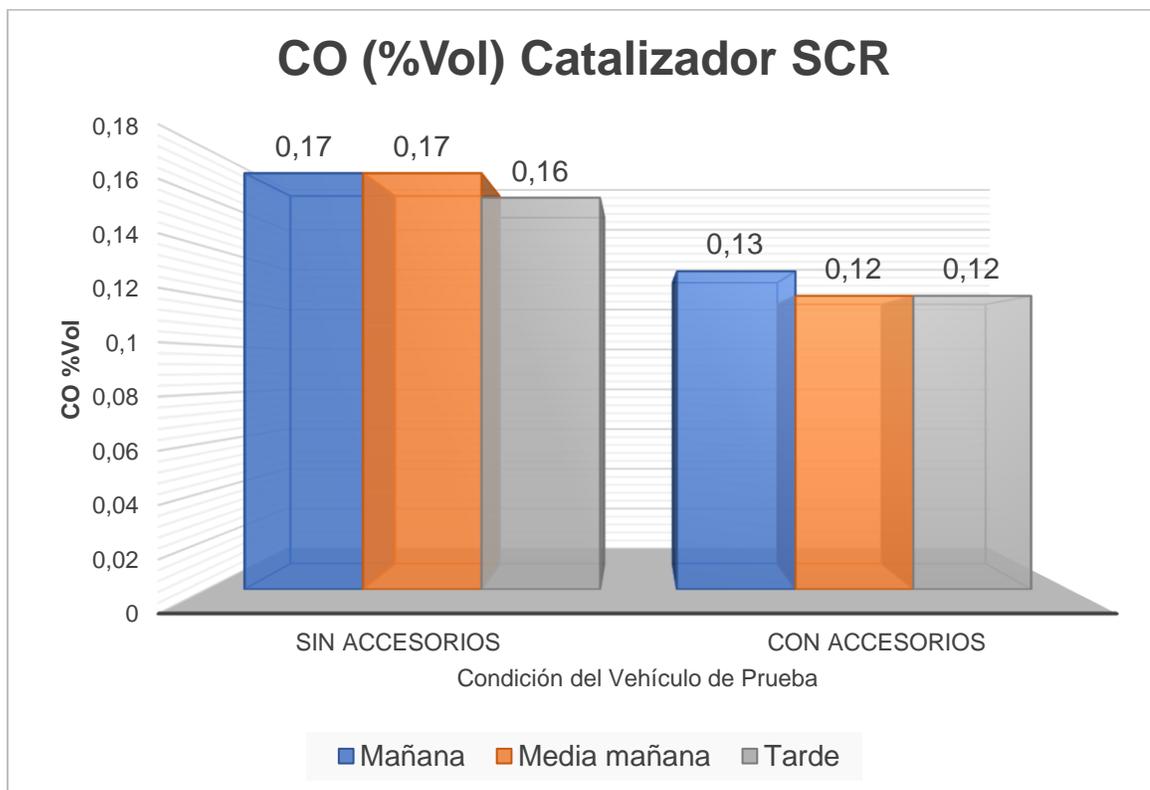


Nota. La figura muestra los resultados de CO sin y con accesorios a 2500 rpm con el catalizador SCR.

Analizando los valores a 2500 rpm, sin accesorios de la Figura 55 se observa que en la tarde arroja el valor más bajo de 0,245%Vol de CO y en la media mañana el más alto de 0,27 %Vol. Con accesorios, el resultado más bajo se dio en la tarde con 0,185 %Vol, y en la media mañana aumenta las emisiones en 15,90%.

Figura 56

Resultados de CO por condición con el catalizador SCR a 3370 rpm



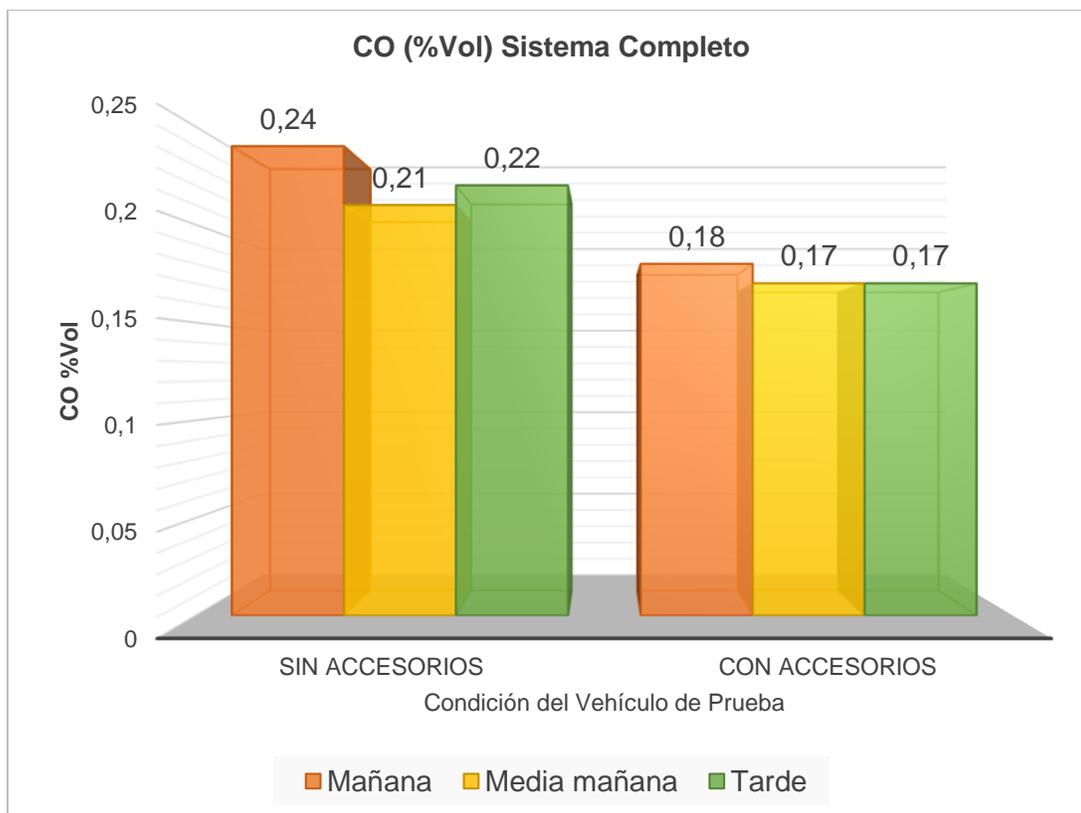
Nota. La figura muestra los resultados de CO sin y con accesorios a 3370 rpm con el catalizador SCR.

Como se observa en la Figura 56, los datos a 3370 rpm sin accesorios muestran que en la tarde arroja el valor más bajo de 0,16%Vol de CO y en la media mañana y mañana el más alto de 0,17 %Vol. Con accesorios, el resultado más bajo se dio en la tarde y media mañana con 0,12 %Vol, y en la media mañana aumenta las emisiones en 7,69%.

- **Sistema Completo**

Figura 57

Resultados de CO por condición con el sistema completo a 2500 rpm

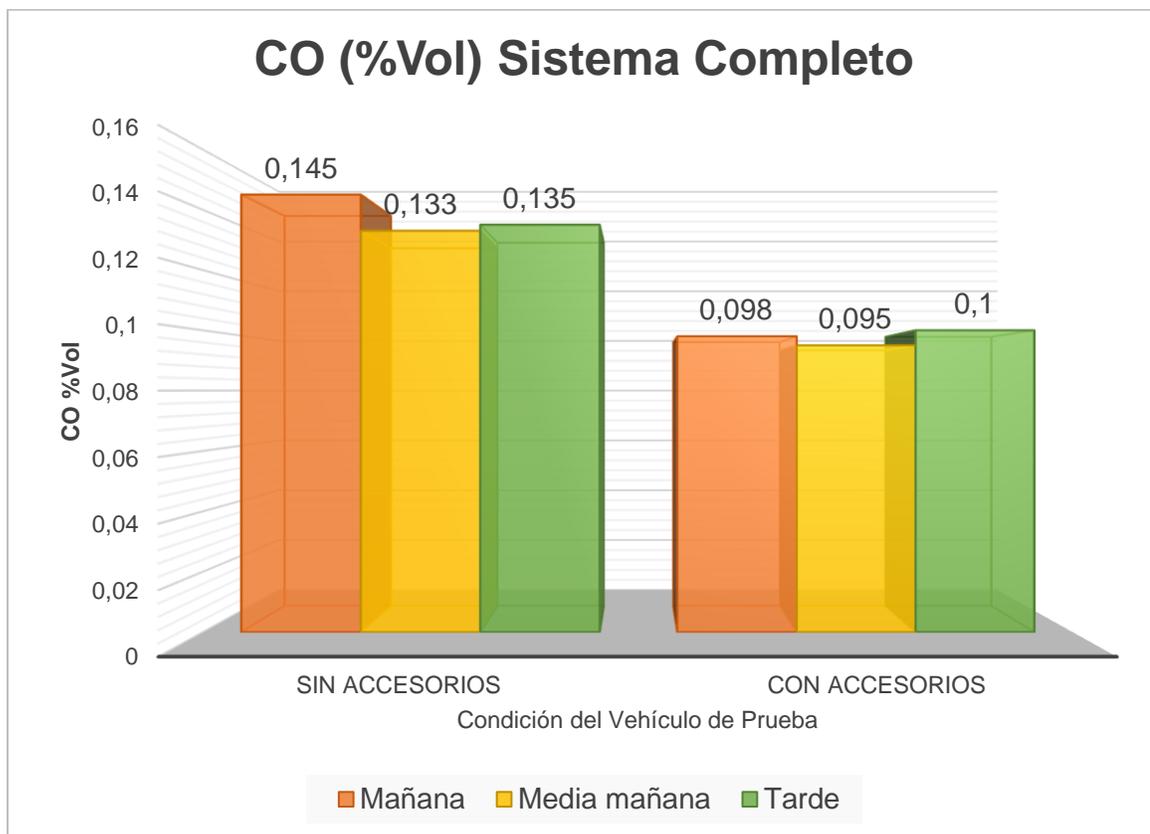


Nota. La figura muestra los resultados de CO sin y con accesorios a 2500 rpm con el sistema de inyección completo.

En la Figura 57, los resultados sin accesorios se observan que en “M2” arroja el valor más bajo de 0,21%Vol de CO y en “M1” el más alto de 0,24 %Vol. Con accesorios, el resultado más bajo se dio en “M2” y tarde con 0,17 %Vol, y en “M1” aumenta las emisiones en 5,55%.

Figura 58

Resultados de CO por condición con el sistema completo a 3370 rpm



Nota. Los resultados de CO sin y con accesorios a 3370 rpm con el sistema de inyección completo.

Como se muestra en la Figura 58, comparando los valores sin accesorios se observa que en “M2” arroja el valor más bajo de 0,133%Vol de CO y en “M1” el más alto de 0,145 %Vol. Con accesorios, el resultado más bajo se dio en la media mañana con 0,095 %Vol, y en la tarde aumenta las emisiones en 5,26%.

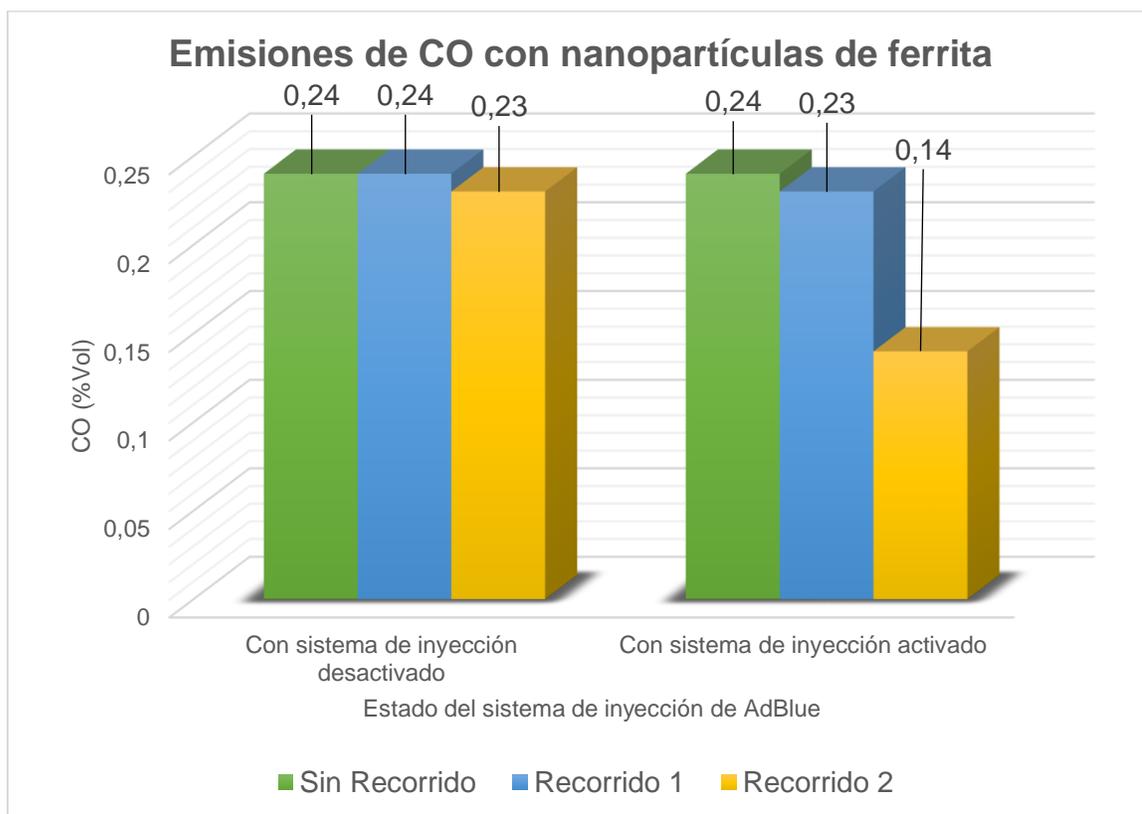
4.3.6. Análisis de CO con Nanopartículas de Ferrita

Para este análisis se implementó un filtro mallado el cual internamente se colocaron las nanopartículas de ferrita, las cuales actuarán como agente reductor de los gases de escape.

Se realizaron tres pruebas, una sin haber realizado recorrido alguno con las nanopartículas de ferrita, otra después de un recorrido de 80 km sin inyectar AdBlue, por último, se realizó otra prueba de ruta, esta vez inyectando AdBlue, las mediciones se realizaron con el sistema de inyección activado y desactivado.

Figura 59

Resultados de CO con N.F. como catalizador a 2500 rpm



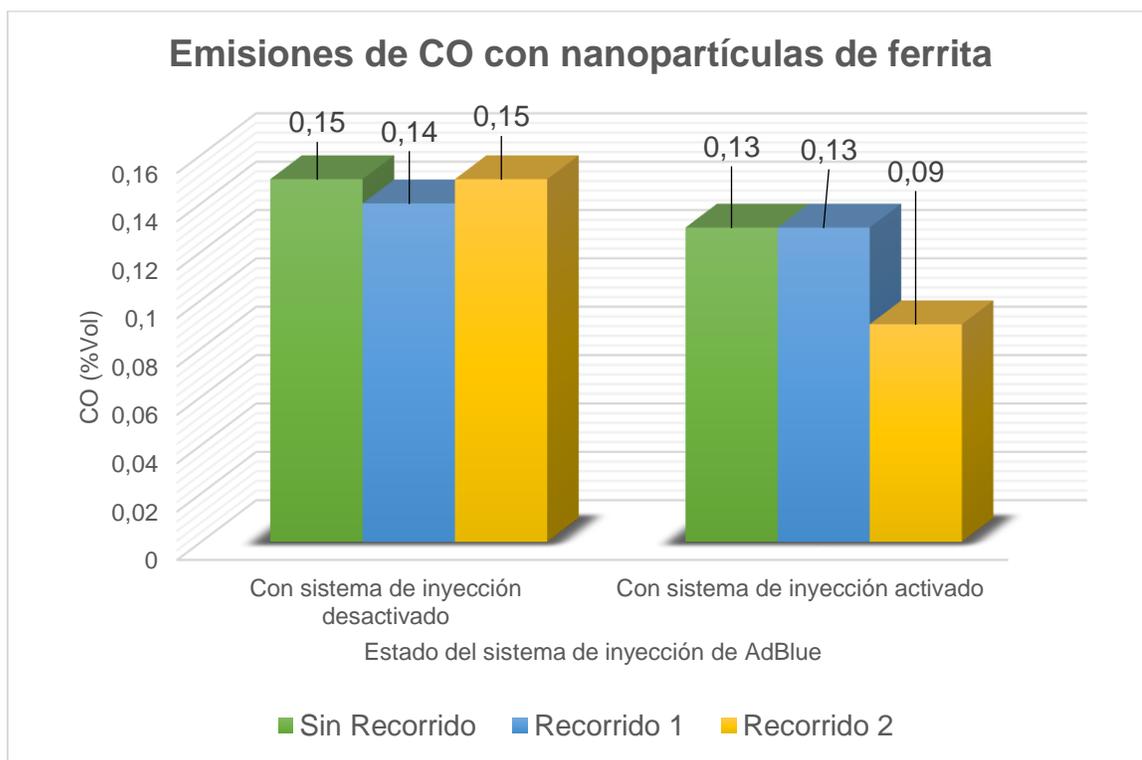
Nota. Resultados de CO de acuerdo con los recorridos y con la activación y desactivación del sistema a 2500 rpm.

Como se observa en la figura Figura 59, las emisiones de monóxido de carbono sin inyectar AdBlue a 2500 rpm, se mantiene casi constante, aun así, se reduce un 0,01 %Vol lo que representa un 4,16%, después del recorrido 2 que se realizó inyectando la solución de urea.

La contaminación por CO cuando se utiliza tanto las nanopartículas como el sistema de inyección se reduce considerablemente al realizar las mediciones después del segundo recorrido en un 41,66% con respecto a la primera medición y en un 39,13% con respecto a los resultados después del primer recorrido.

Figura 60

Resultados de CO con N.F. como catalizador a 3370 rpm



Nota. Resultados de CO de acuerdo con los recorridos y con la activación y desactivación del sistema a 3370 rpm.

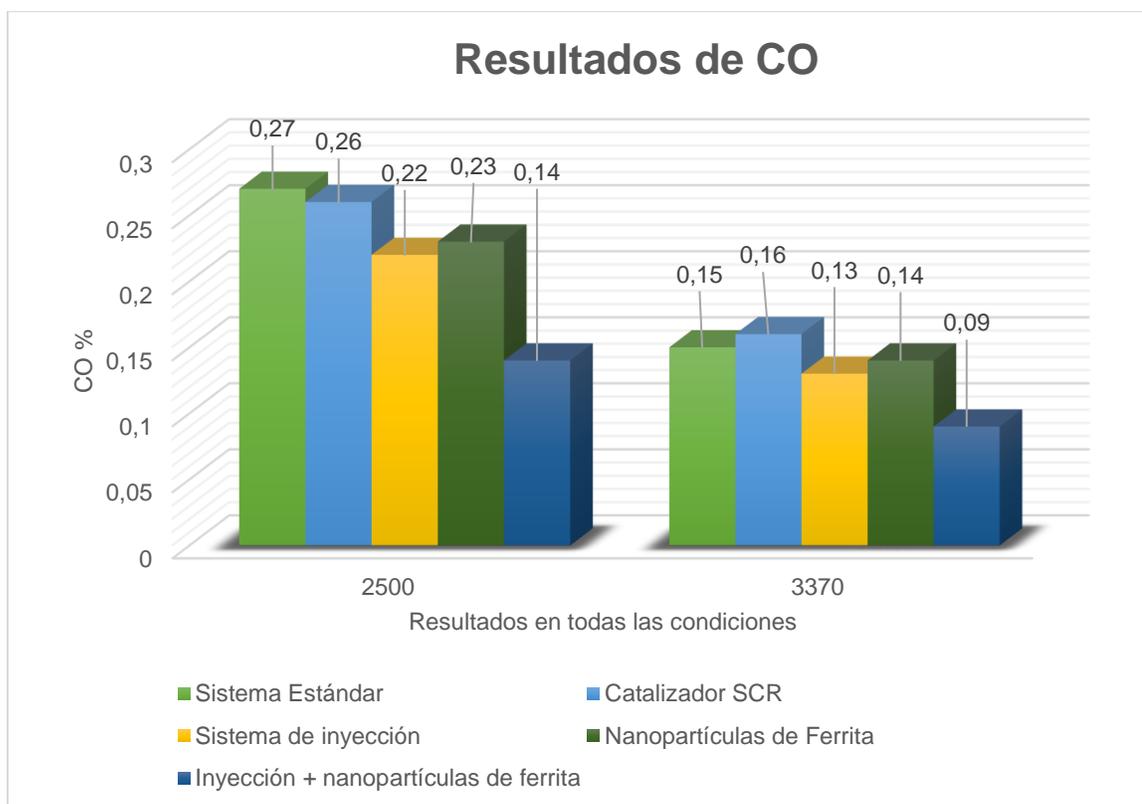
En la figura Figura 60, la contaminación por CO sin inyectar AdBlue a 3370 rpm, se reduce un 0,01 %Vol lo que representa un 6,66%, después del recorrido 1 que se realizó sin inyectar AdBlue. Las emisiones de CO cuando se utiliza tanto las nanopartículas como el sistema de inyección de AdBlue se reduce considerablemente al realizar las mediciones después del segundo recorrido en un 30,77% con respecto a las otras dos mediciones.

4.3.7. Análisis de CO con todas las condiciones

Para observar la incidencia de la implementación de las nanopartículas de ferrita en el sistema de escape como agente reductor, comparándolo con todas las condiciones medidas. Se utilizaron los valores mínimos alcanzados en las mediciones para el análisis.

Figura 61

Resultados obtenidos de CO con S.I. y N.F.



Nota. Resultados de CO de todos los escenarios en los que se realizaron la medición.

Como se muestra en la figura Figura 61, las emisiones más bajas por CO a 2500 RPM se dan cuando se usa las N.F. + S.I. se reduce un 48,15% con respecto al estándar, y en un 33,33% con respecto uso del sistema de inyección de AdBlue. Por otro lado, a 3370 RPM, las emisiones más bajas también se miden combinando los dos agentes reductores, reduciéndose con respecto al estándar en un 40%, y en 32,33% con respecto a la inyección de AdBlue.

4.3.8. Resultados de CO2

Tabla 24

Porcentaje de CO2

| CO2 (%Vol) | | | | | | | | | | | | |
|------------|----------|---------|--------|------|---------|--------|------|---------|--------|------|----------|------|
| | | M1 | | | M2 | | | T1 | | | N.F. | |
| rpm | | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | | |
| KM 1 | Idle | 1,00 | 1,50 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,70 | 1,90 | 1,70 | 1,60 | Idle | 1,70 |
| | S/A 2500 | 2,30 | 2,30 | 2,50 | 2,40 | 2,30 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | S/D 2500 | 2,60 |
| | 3370 | 3,40 | 3,30 | 3,40 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,30 | 3,40 | 3,40 | S/R 3370 | 3,50 |
| | Idle | 2,50 | 2,10 | 2,70 | 2,60 | 2,60 | 2,70 | 2,60 | 2,70 | 2,80 | Idle | 1,70 |
| | C/A 2500 | 3,10 | 2,70 | 2,70 | 2,90 | 2,50 | 2,60 | 2,70 | 2,90 | 2,90 | S/A 2500 | 2,60 |
| | 3370 | 4,10 | 3,40 | 3,60 | 3,70 | 3,50 | 3,60 | 3,60 | 3,70 | 3,70 | 3370 | 3,60 |
| KM 2 | Idle | | 1,50 | 1,70 | | 1,70 | 1,70 | | 1,70 | 1,80 | Idle | 1,90 |
| | S/A 2500 | | 2,40 | 2,60 | | 2,30 | 3,00 | | 2,50 | 2,60 | S/D 2500 | 2,60 |
| | 3370 | | 3,30 | 3,40 | | 3,40 | 3,40 | | 3,40 | 3,40 | R 1 3370 | 3,60 |
| | Idle | | 2,20 | 2,80 | | 2,50 | 2,80 | | 2,70 | 2,70 | Idle | 1,60 |
| | C/A 2500 | | 2,60 | 2,90 | | 2,50 | 3,00 | | 2,80 | 3,10 | S/A 2500 | 2,60 |
| | 3370 | | 3,30 | 3,80 | | 3,40 | 3,80 | | 3,70 | 3,80 | 3370 | 3,70 |
| KM 3 | Idle | | 1,60 | 1,70 | | 1,60 | 2,10 | | 1,70 | 1,80 | Idle | 1,70 |
| | S/A 2500 | | 2,30 | 2,50 | | 2,40 | 2,90 | | 2,50 | 2,60 | S/D 2500 | 2,70 |
| | 3370 | | 3,30 | 3,40 | | 3,40 | 3,40 | | 3,40 | 3,40 | R 2 3370 | 3,70 |
| | Idle | | 2,60 | 2,80 | | 2,70 | 2,80 | | 2,70 | 2,80 | Idle | 1,80 |
| | C/A 2500 | | 2,80 | 2,90 | | 2,90 | 2,90 | | 2,90 | 2,90 | S/A 2500 | 3,00 |
| | 3370 | | 3,60 | 3,70 | | 3,70 | 3,70 | | 3,70 | 3,70 | 3370 | 4,00 |

| CO2 (%Vol) | | | | | | | | | | | |
|------------|-----------------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|-----------------------|
| | | M1 | | | M2 | | | T1 | | | |
| | rpm | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | N.F. |
| KM 4 | <i>Idle</i> | | 1,60 | 1,60 | | 1,70 | 1,70 | | 1,70 | 1,70 | |
| | S/A 2500 | | 2,40 | 2,40 | | 2,50 | 2,50 | | 2,50 | 2,50 | |
| | 3370 | | 3,40 | 3,40 | | 3,40 | 3,40 | | 3,30 | 3,40 | |
| | <i>Idle</i> | | 2,80 | 2,80 | | 2,80 | 2,90 | | 2,80 | 2,90 | |
| | C/A 2500 | | 2,90 | 2,90 | | 2,70 | 2,90 | | 3,10 | 2,90 | PROMEDIO TOTAL |
| | 3370 | | 3,70 | 3,60 | | 3,90 | 3,80 | | 3,80 | 3,80 | C.SCR S.C. |
| PROM | <i>Idle</i> | | 1,550 | 1,650 | | 1,650 | 1,800 | | 1,700 | 1,725 | 1,63 1,73 |
| | S/A 2500 | | 2,350 | 2,500 | | 2,375 | 2,700 | | 2,475 | 2,525 | 2,40 2,58 |
| | 3370 | | 3,325 | 3,400 | | 3,375 | 3,375 | | 3,375 | 3,400 | 3,36 3,39 |
| | <i>Idle</i> | | 2,425 | 2,775 | | 2,650 | 2,800 | | 2,725 | 2,800 | 2,60 2,79 |
| | C/A 2500 | | 2,750 | 2,850 | | 2,650 | 2,850 | | 2,925 | 2,950 | 2,78 2,88 |
| | 3370 | | 3,500 | 3,675 | | 3,625 | 3,725 | | 3,725 | 3,750 | 3,62 3,72 |

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos de CO2 en todos los escenarios medidos.

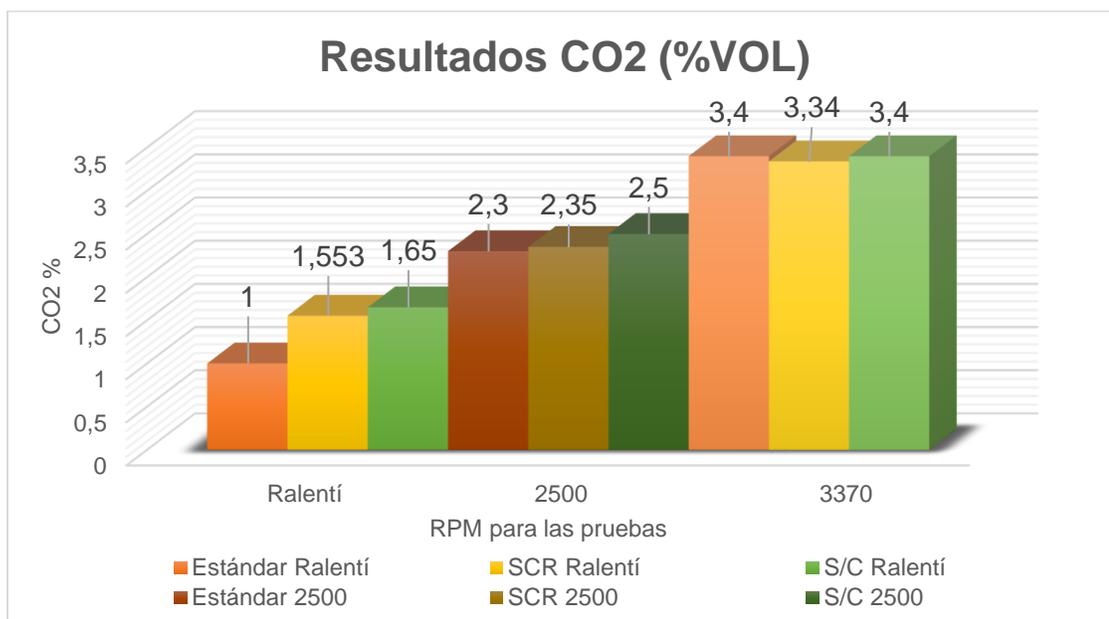
4.3.9. Análisis de CO₂ por Horario

Se realiza una comparación de las diferentes condiciones del sistema de escape en cada uno de los horarios del día en que se realizaron las pruebas de CO₂.

- “M1” sin Accesorios

Figura 62

Resultados de CO₂ en la mañana sin accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones sin accesorios en la mañana de CO₂ en las diferentes condiciones.

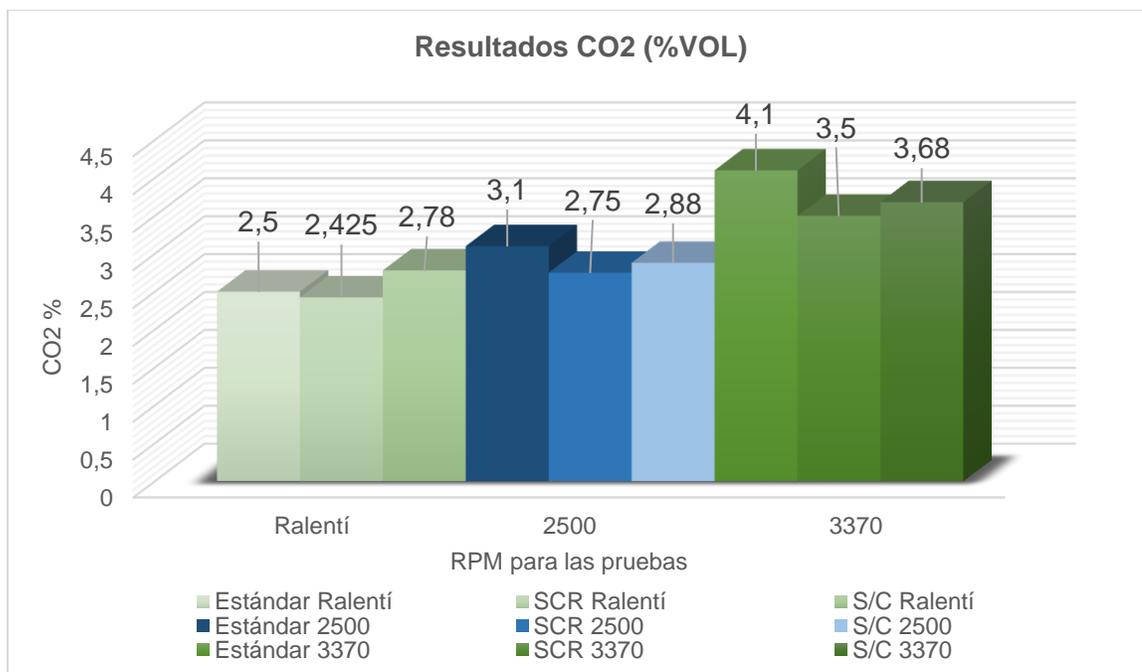
Como se observa en la Figura 62, los resultados de las pruebas de emisiones de CO₂ en la mañana en ralentí sin la activación de accesorios fueron de estándar en comparación con los resultados con el catalizador SCR aumentaron un 40% y un 5% en relación con el sistema completo funcionando.

Los resultados obtenidos en la medición a 2500 revoluciones fueron de un aumento del 6% entre catalizador SCR y con el sistema funcionando y de un 8% entre estándar con el sistema completo funcionando. A 3370 revoluciones los resultados obtenidos solo variaron con respecto al catalizador SCR aumentando 2%.

- **“M1” con Accesorios**

Figura 63

Resultados de CO₂ en la mañana con accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones con accesorios en la mañana de CO₂ en las diferentes condiciones.

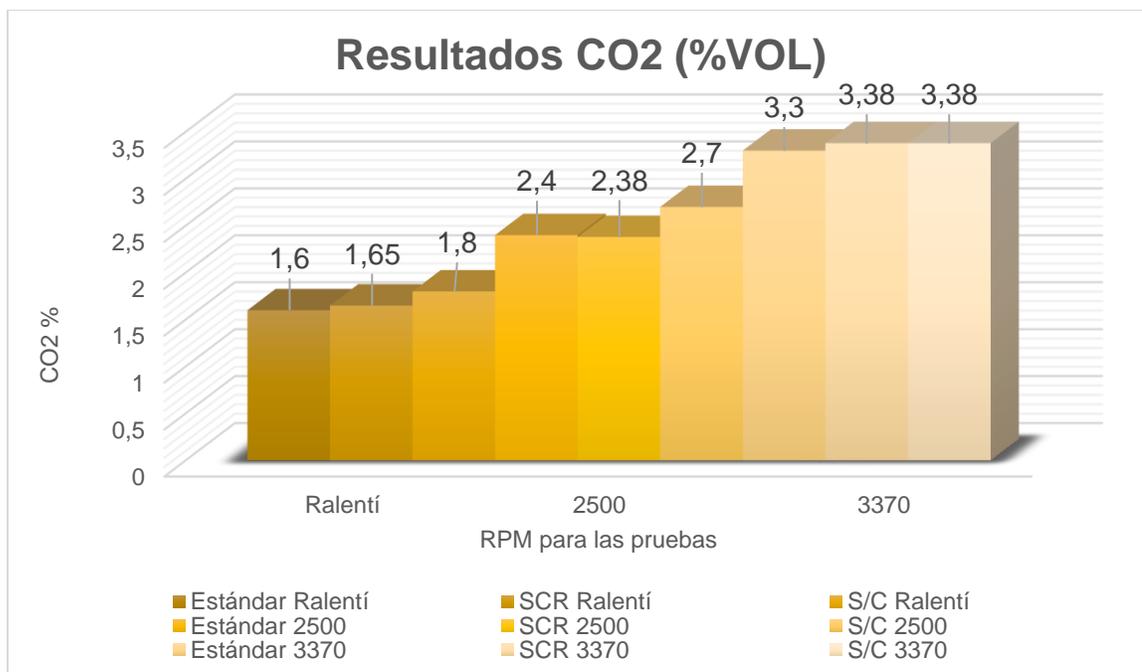
Analizando las emisiones de CO₂ la Figura 63, los resultados en la mañana en ralentí con los accesorios activados aumentaron entre el escape estándar y con el sistema funcionando de un 11% y en relación con el catalizador SCR y el sistema completo funcionando aumentó un 13%.

En las mediciones a 2500 revoluciones por minuto del motor con el sistema completo se redujo un 8% y con el catalizador SCR un 12% en comparación al estándar. A 3370 rpm se redujo en un 14,63% usando el catalizador SCR, e inyectando AdBlue, se redujo un 10,24% con respecto al estándar.

- “M2” sin Accesorios

Figura 64

Resultados de CO₂ en la media mañana sin accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones sin accesorios en la media mañana de CO₂ en las diferentes condiciones.

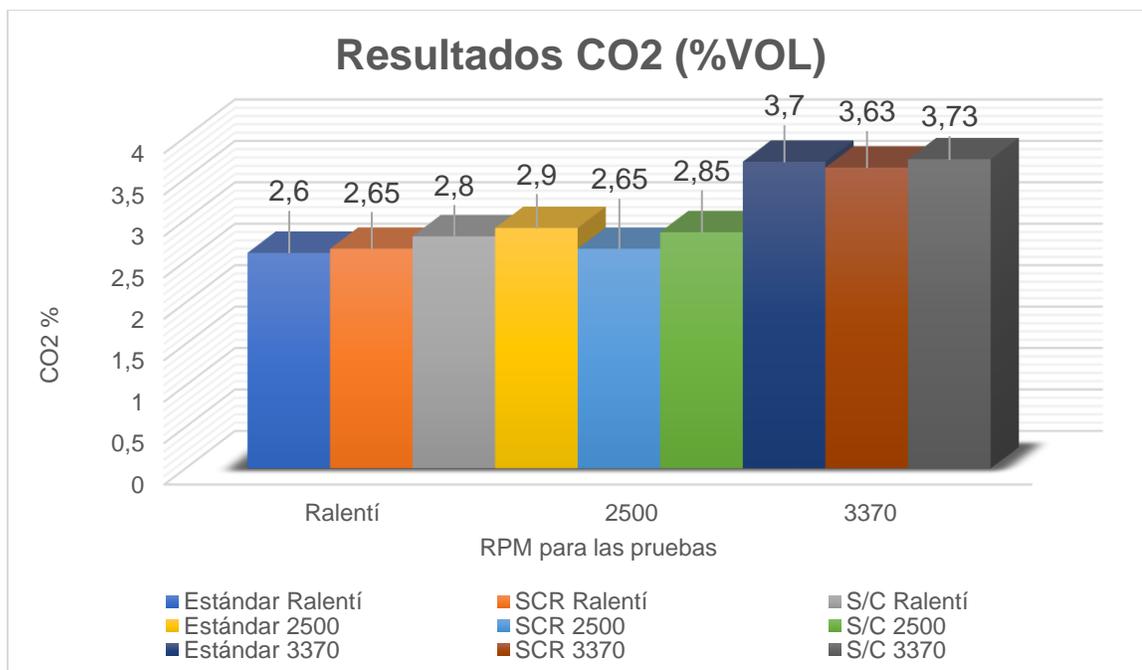
Observando Figura 64, en el periodo de la media mañana sin los accesorios activados en ralentí se observa un incremento de las emisiones de CO₂ del 12% con el escape estándar y del 9% con el catalizador SCR en comparación a cuando ya está con el sistema completo.

Las pruebas realizadas a 2500 revoluciones se muestra un valor de aumento del 12% entre con el escape estándar y con el sistema completo funcionando y de un 13% con el catalizador SCR. A 3370 revoluciones se determina un aumento del 3% entre el escape estándar con respecto al catalizador SCR y al sistema completo en funcionamiento.

- “M2” con Accesorios

Figura 65

Resultados de CO₂ en la media mañana con accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones con accesorios en la media mañana de CO₂ en las diferentes condiciones.

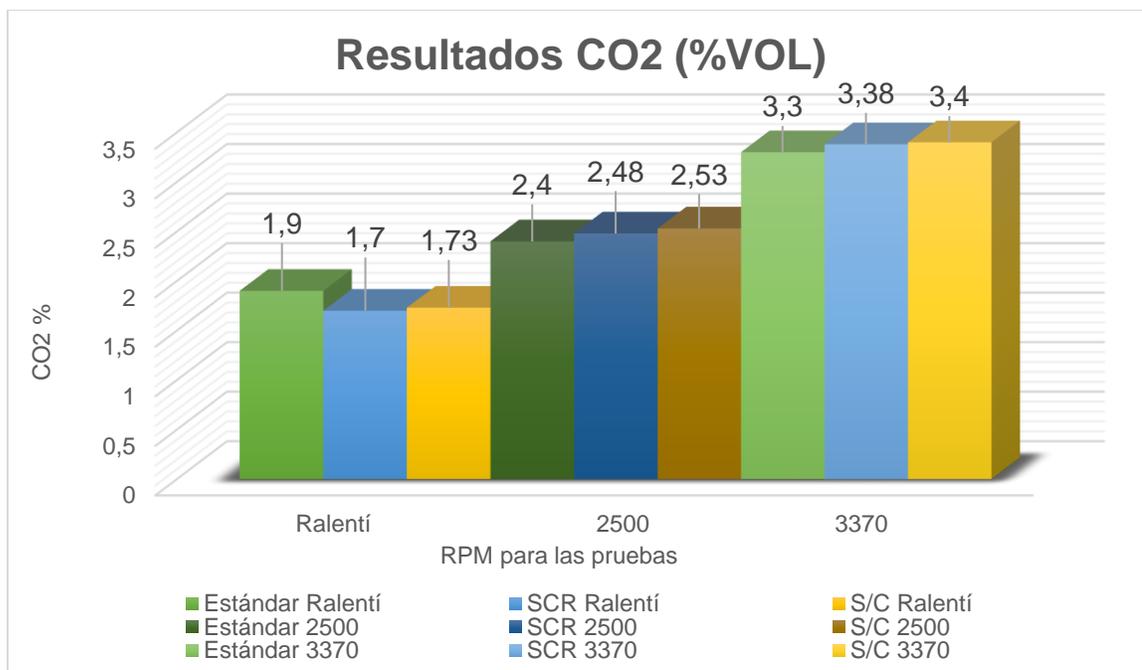
Como se observa en la Figura 65 en el periodo de la media mañana a ralentí y con los accesorios activados respecto a las pruebas con el funcionamiento del sistema completo aumento del sistema estándar y con el catalizador SCR un 8% y un 6% respectivamente las emisiones de CO₂.

En las pruebas a 2500 revoluciones en relación del escape estándar con el catalizador SCR disminuyó un 9% mientras que en relación con el sistema completo ya funcionando disminuyó un 2%. A 3370 existe una disminución de 1,89% y un aumento de 0,81% inyectando AdBlue, con respecto al sistema estándar.

- “T1” sin Accesorios

Figura 66

Resultados de CO₂ en la tarde sin accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones sin accesorios en la tarde de CO₂ en las diferentes condiciones.

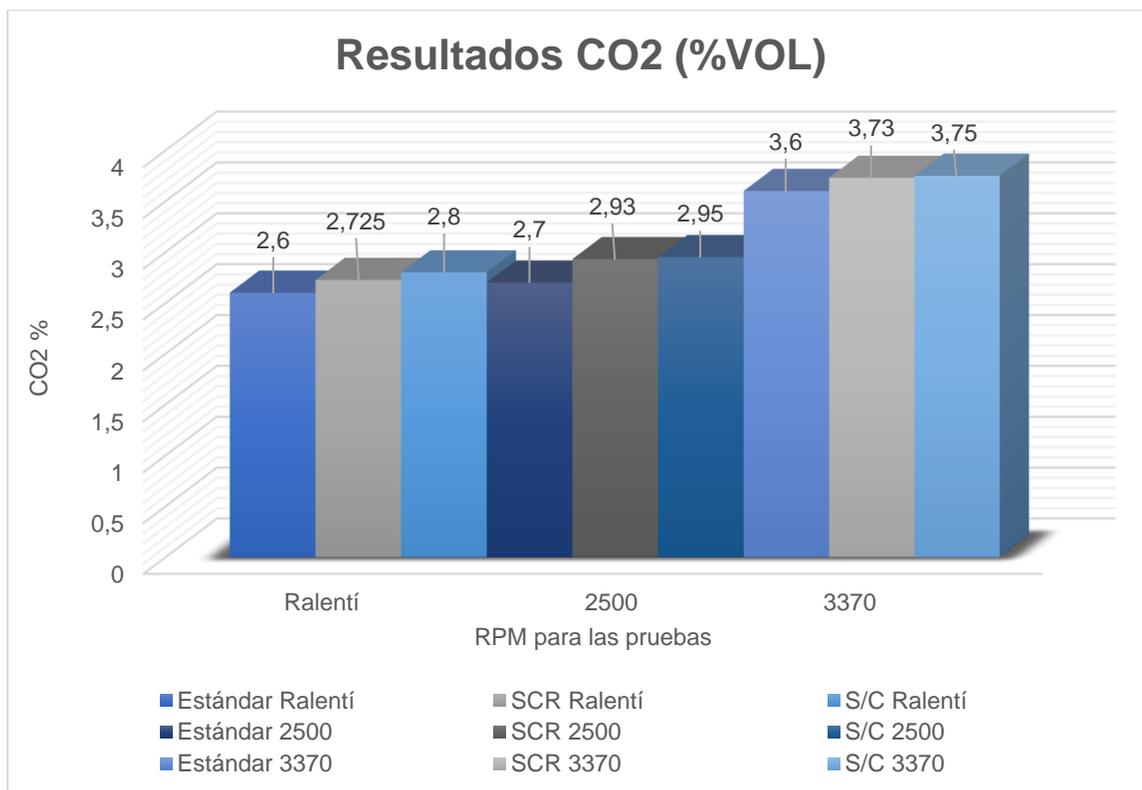
En la Figura 66 se muestran los resultados de la tarde sin activar accesorios de emisiones CO₂; las pruebas realizadas a ralentí muestran una disminución del 11% y del 9% entre el catalizador SCR y el sistema completo con el escape estándar respectivamente.

Los resultados a 2500 revoluciones aumentaron con respecto al escape estándar en un 3% y un 5% con el catalizador SCR y el sistema completo respectivamente; igualmente a 3000 revoluciones por minuto del motor los resultados en comparación con el escape estándar aumentaron un 2% con el catalizador SCR y un 3% con el sistema completo.

- “T1” con Accesorios

Figura 67

Resultados de CO₂ en la tarde con accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones con accesorios de en la tarde CO₂ en las diferentes condiciones.

La Figura 67 se observa el periodo de la tarde con los accesorios activados que a ralentí entre el escape estándar y con el sistema completo aumenta un 8% de emisiones CO₂ y con el catalizador entre el catalizador SCR aumenta un 3%.

A 2500 revoluciones los resultados demuestran un aumento del 9% entre el escape estándar y el sistema completo y un aumento del 1% entre el catalizador SCR y el sistema completo. A 3000 revoluciones hay un aumento con respecto al sistema estándar del 3% y el 4% con el catalizador SCR y el sistema completo respectivamente.

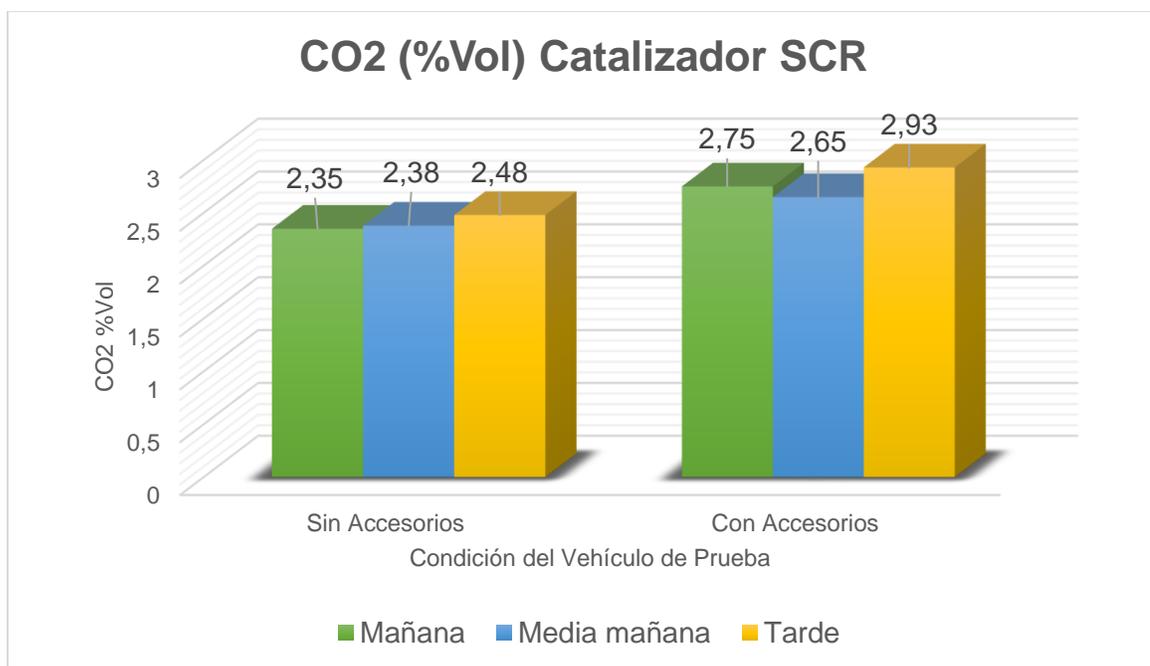
4.3.10. Análisis de CO₂ por Condición

En este análisis se compara los valores de un mismo sistema de escape con diferentes estados del vehículo, es decir, con los accesorios activados y desactivados, para observar la incidencia de estos en la variación de dióxidos de carbono.

- **Catalizador SCR**

Figura 68

Resultados de CO₂ por condición con el catalizador SCR a 2500 rpm

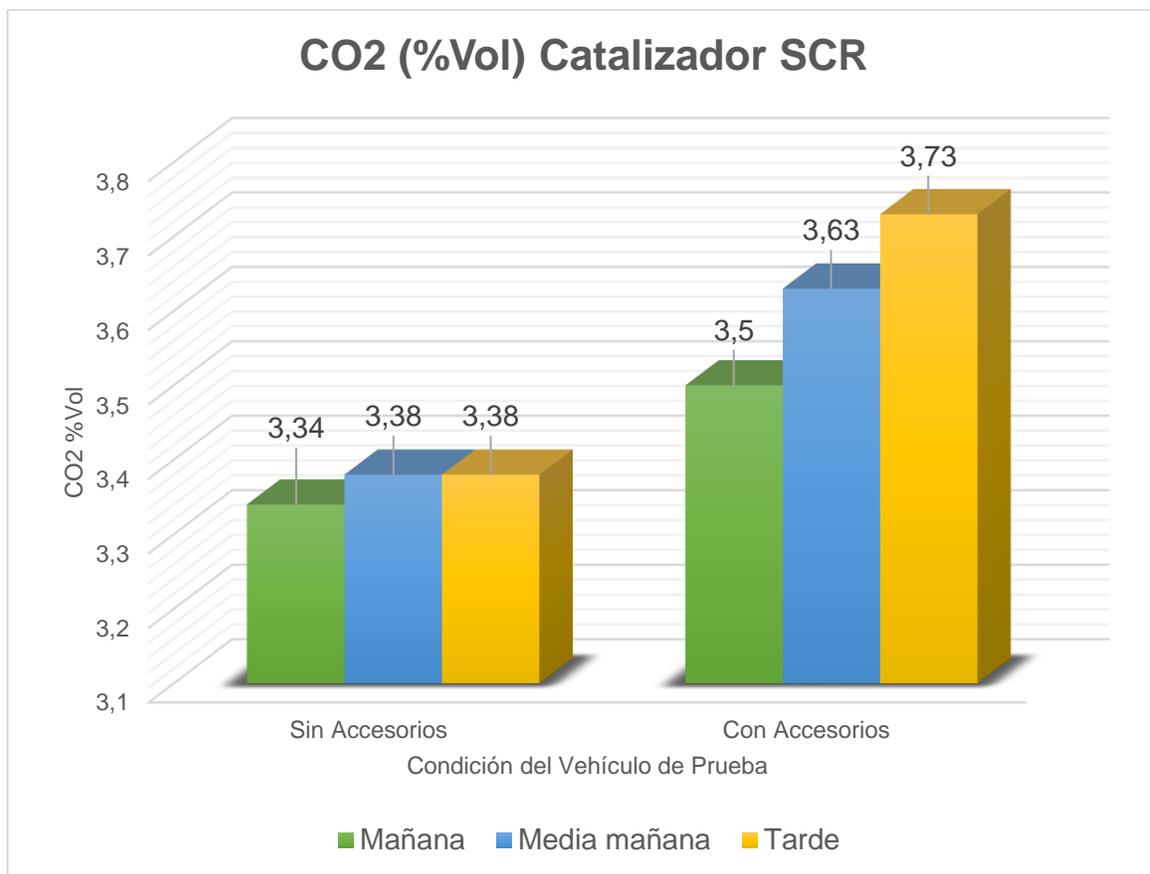


Nota. La figura muestra los resultados de CO₂ sin y con accesorios a 2500 rpm con el catalizador SCR.

Como se observa en la Figura 68, las emisiones de CO₂ a 2500 rpm con el catalizador SCR sin accesorios el valor más alto es de 2,48% en la tarde aumentando un 0,1% con respecto a la media mañana y un 0,13% con respecto a la mañana; mientras que con los accesorios activados el valor más alto es de 2,93% igualmente en la tarde con una diferencia de 0,28% con respecto a la media mañana y un 0,18% con respecto a la mañana.

Figura 69

Resultados de CO₂ por condición con el catalizador SCR a 3370 rpm



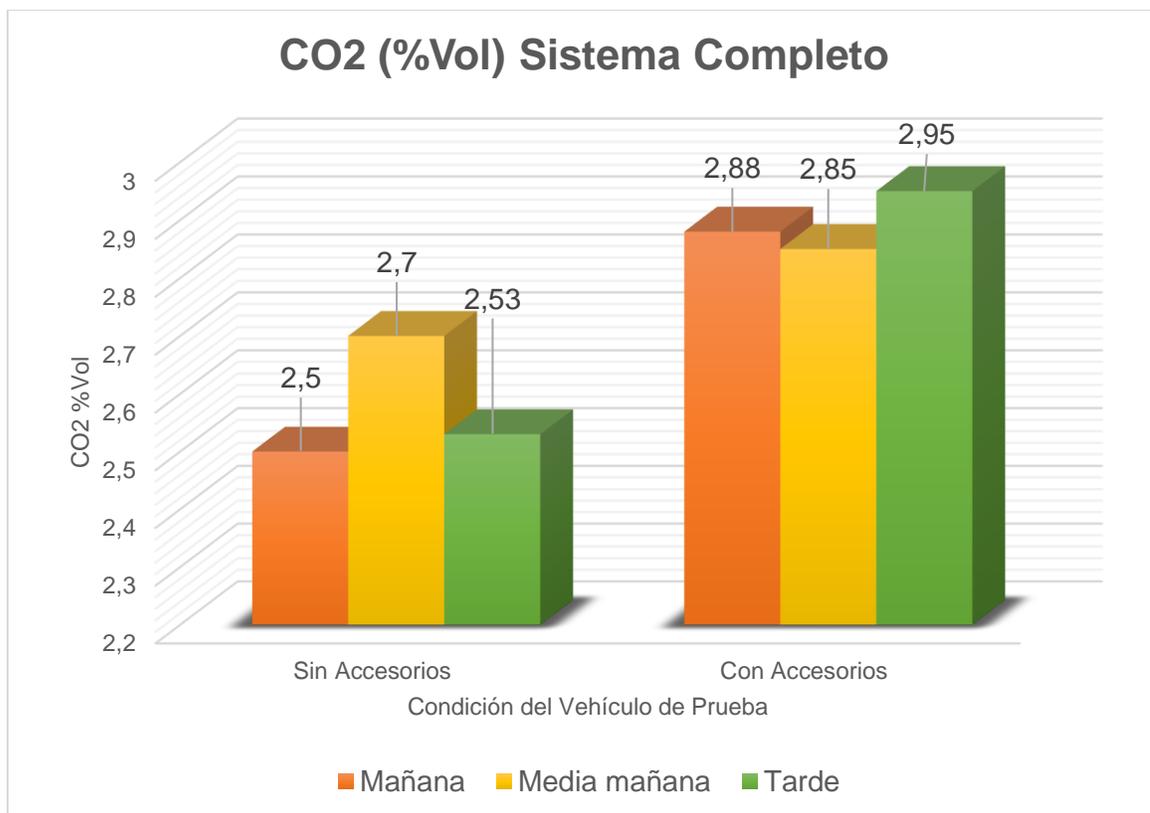
Nota. La figura muestra los resultados de CO₂ sin y con accesorios a 3370 rpm con el catalizador SCR.

Como se observa en la Figura 69, los resultados a 3370 rpm con el catalizador SCR sin la activación de accesorios las emisiones de CO₂ se aumentan un 0,04% en la media mañana y en la tarde con respecto a la mañana. Con los accesorios activados existe un aumento de 0,23% y 0,13% con respecto a la mañana los valores de la media mañana y la tarde respectivamente.

- **Sistema Completo**

Figura 70

Resultados de CO₂ por condición con el sistema completo a 2500 rpm

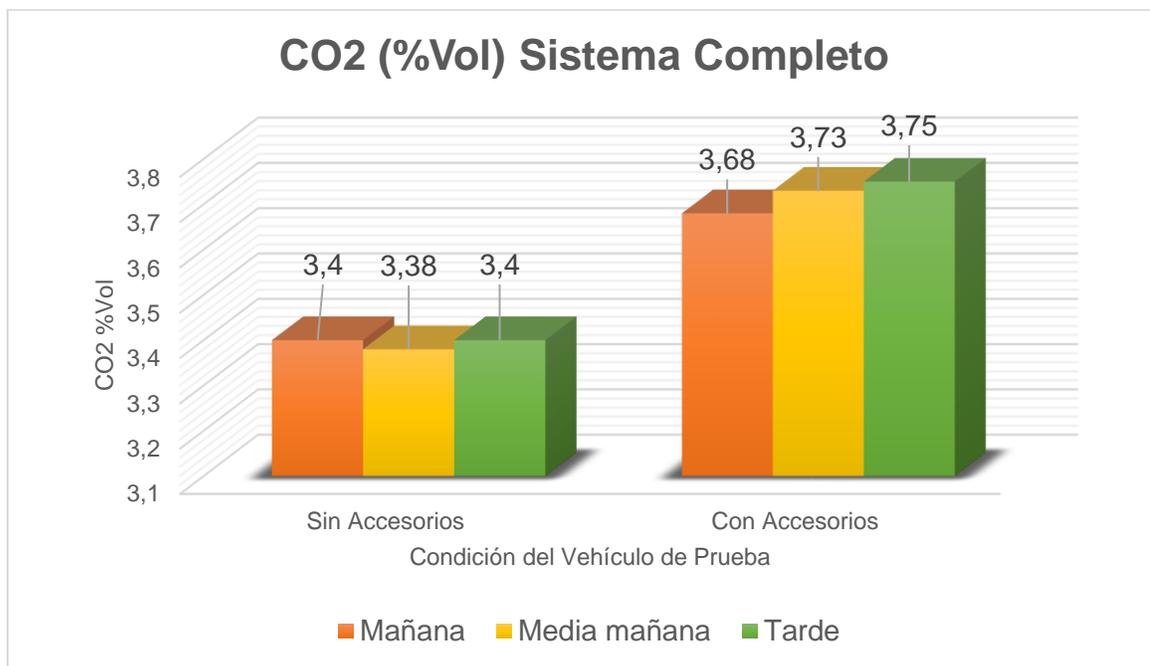


Nota. La figura muestra los resultados de CO₂ sin y con accesorios a 2500 rpm con el sistema de inyección completo.

La Figura 70 muestra los datos obtenidos con el sistema completo sin accesorios y a 2500 rpm se observa que las emisiones de CO₂ en la media mañana aumento un 0,2% y un 0,23% con respecto a la mañana y tarde respectivamente; mientras que con los accesorios activados la tarde fue el valor más alto aumentando un 0,1% y un 0,08% con respecto a la media mañana y mañana respectivamente.

Figura 71

Resultados de CO₂ por condición con el sistema completo a 3370 rpm



Nota. La figura muestra los resultados de CO₂ sin y con accesorios a 3370 rpm con el sistema de inyección completo.

Como se observa en la Figura 71, los resultados obtenidos a 3370 rpm y con el sistema completo funcionando de los gases CO₂, sin la activación de accesorios que tanto los valores de la mañana y tarde aumenta un 0,04% con respecto a los de la media mañana y activando los accesorios con respecto a la mañana los valores de la media mañana y tarde aumentan un 0,05% y 0,07% respectivamente.

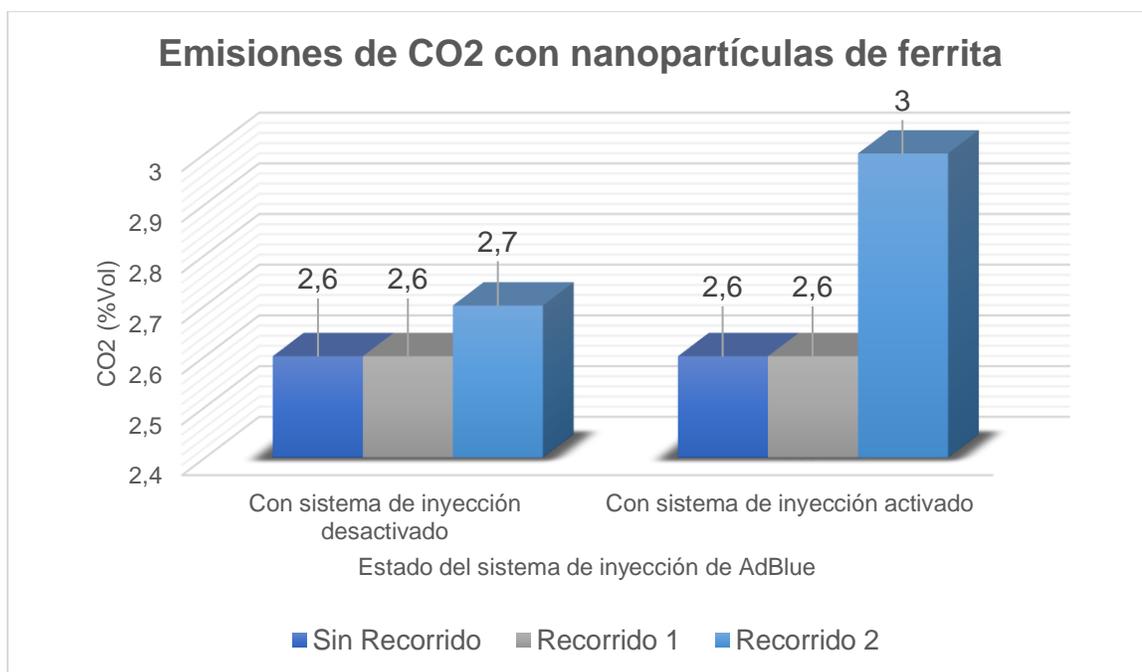
4.3.11. Análisis de CO₂ con Nanopartículas de Ferrita

Para este análisis se implementó un filtro mallado el cual internamente se colocaron las nanopartículas de ferrita, las cuales actuarán como agente reductor de los gases de escape.

Se realizaron tres pruebas, una sin haber realizado recorrido alguno con las nanopartículas de ferrita, otra después de un recorrido de 80 km sin inyectar AdBlue, por último, se realizó otra prueba de ruta, esta vez inyectando AdBlue, las mediciones se realizaron con el sistema de inyección activado y desactivado, como se observa en la Figura 72.

Figura 72

Resultados de CO₂ con N.F. como catalizador a 2500 rpm

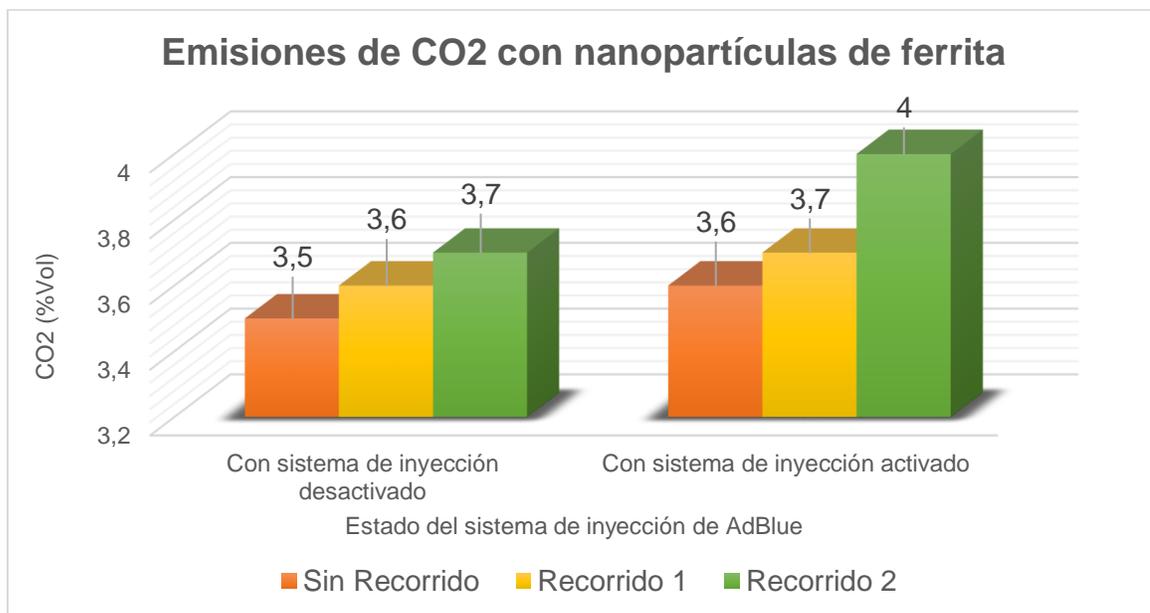


Nota. Resultados de CO₂ de acuerdo con los recorridos y con la activación y desactivación del sistema a 2500 rpm.

Como se observa en la figura Figura 72, las emisiones de CO₂ a 2500 rpm y con el sistema de inyección desactivado muestran que en las pruebas sin hacerse el recorrido y con el primer recorrido se mantienen mientras después de haber hecho el recorrido aumentan un 0,1% al igual que con el sistema de inyección activado solo que al segundo recorrido estas aumentan en un 0,4%.

Figura 73

Resultados de CO con N.F. como catalizador a 3370 rpm



Nota. Resultados de CO₂ de acuerdo con los recorridos y con la activación y desactivación del sistema a 3370 rpm.

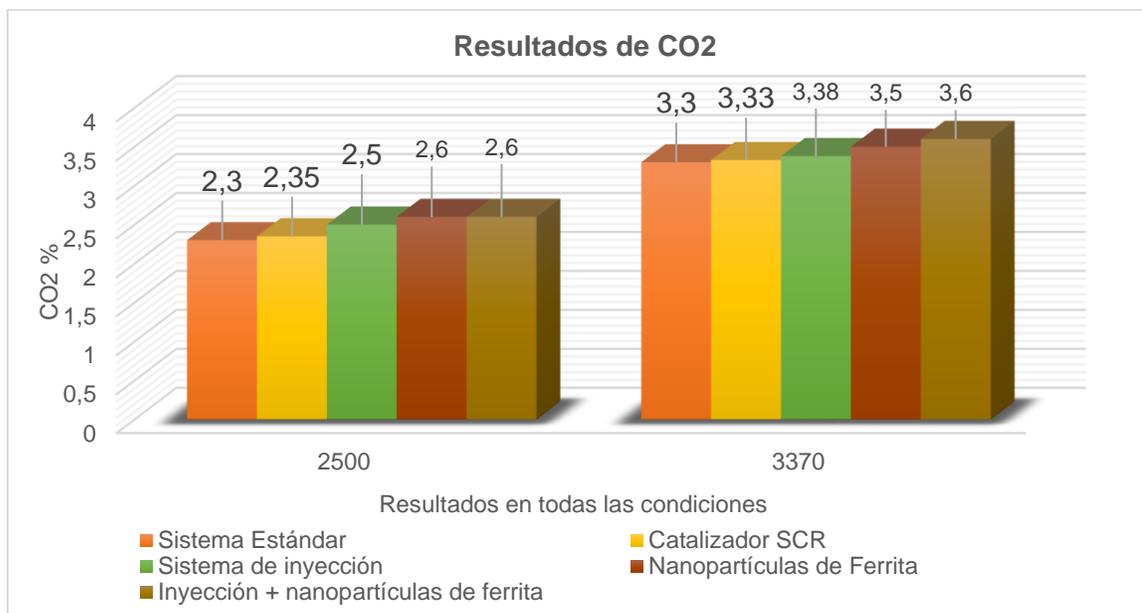
En la Figura 73, se observa que las emisiones de CO₂ sin inyectar AdBlue medidas a 3370 rpm, van aumentándose progresivamente, después de cada recorrido o medición, teniendo un aumento del 5,71% de la primera a la última medición y cuando se utiliza tanto las nanopartículas como el sistema de inyección de AdBlue, tienen la misma tendencia que las emisiones analizadas en el primer caso, teniendo un aumento del 11,11% de la primera a la tercera medición después del recorrido inyectando la solución de urea.

4.3.12. Análisis de CO₂ con todas las condiciones

Para observar la incidencia de la implementación de las nanopartículas de ferrita en el sistema de escape como agente reductor, comparándolo con todas las condiciones medidas. Se utilizaron los valores mínimos alcanzados en las mediciones para el análisis.

Figura 74

Resultados de CO2 con el S.I. y N.F.



Nota. Resultados de CO2 de todos los escenarios en los que se realizaron la medición.

Como se muestra en la Figura 74, los resultados arrojan que las emisiones más bajas de dióxidos de carbono se obtuvieron con el sistema de escape estándar, y ha ido aumentando conforme se implementan agentes reductores de emisiones, dando así que, a 2500 rpm se incrementa un 13,04% del estándar al valor más alto el cual es la combinación de la inyección de AdBlue con las nanopartículas de ferrita. A 3370 rpm ocurre el mismo escenario se da un aumento del 13,93% entre los mismos casos que a 2500 rpm. Por lo que, el sistema de reducción catalítica selectiva no es eficiente en la reducción de las emisiones por CO2.

4.3.13. Resultados de HC

La Tabla 25 muestra los resultados de hidrocarburos que se obtuvieron en todas las pruebas realizadas de todas las condiciones a las que se sometió el vehículo, estos datos se analizan por horarios, por condición del V.P. y finalmente se compara todos los resultados en conjunto.

Tabla 25

PPM de hidrocarburos

| HC (ppm Vol) | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----|---------|---------|--------|------|---------|--------|------|---------|--------|------|------|---------|---|
| | | M1 | | | M2 | | | T1 | | | N.F. | | | |
| | | rpm | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | | | |
| KM 2 | | 2500 | 0 | 0 | 8 | 7 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 2500 | 6 | |
| | | 3370 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 3370 | 0 | |
| | | Ralentí | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 2 | S/R | Ralentí | 0 |
| | C/A | 2500 | 5 | 1 | 7 | 1 | 5 | 1 | 5 | 1 | 0 | S/A | 2500 | 0 |
| | | 3370 | 5 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | | 3370 | 1 |
| KM 2 | | Ralentí | | 0 | 0 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | | Ralentí | 0 |
| | S/A | 2500 | | 0 | 2 | | 0 | 1 | | 0 | 2 | S/D | 2500 | 3 |
| | | 3370 | | 0 | 0 | | 1 | 0 | | 1 | 1 | R 1 | 3370 | 0 |
| | | Ralentí | | 0 | 0 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | | Ralentí | 0 |
| | C/A | 2500 | | 1 | 0 | | 1 | 1 | | 1 | 0 | S/A | 2500 | 6 |
| KM 3 | | 3370 | | 1 | 6 | | 1 | 0 | | 1 | 0 | | 3370 | 1 |
| | | Ralentí | | 0 | 0 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | | Ralentí | 0 |
| | S/A | 2500 | | 0 | 1 | | 0 | 2 | | 0 | 3 | S/D | 2500 | 2 |
| | | 3370 | | 2 | 0 | | 0 | 2 | | 0 | 1 | R 2 | 3370 | 0 |
| | | Ralentí | | 0 | 1 | | 0 | 1 | | 3 | 1 | | Ralentí | 0 |
| KM 4 | C/A | 2500 | | 5 | 2 | | 0 | 2 | | 4 | 1 | S/A | 2500 | 0 |
| | | 3370 | | 5 | 0 | | 0 | 1 | | 3 | 1 | | 3370 | 0 |
| | | Ralentí | | 0 | 0 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | | Ralentí | 0 |
| | S/A | 2500 | | 0 | 0 | | 0 | 9 | | 5 | 0 | | 2500 | 0 |

| HC (ppm Vol) | | | | | | | | | | | |
|--------------|----------------|---------|--------|------|---------|--------|------|---------|--------|------|--------------------------|
| | | M1 | | | M2 | | | T1 | | | |
| | rpm | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | N.F. |
| | 3370 | | 2 | 1 | | 0 | 8 | | 0 | 3 | |
| | <i>Ralentí</i> | | 0 | 0 | | 1 | 6 | | 1 | 0 | |
| C/A | 2500 | | 2 | 0 | | 2 | 7 | | 1 | 1 | PROMEDIO TOTAL |
| | 3370 | | 1 | 2 | | 4 | 5 | | 1 | 1 | C.SCR S.C. |
| | <i>Idle</i> | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | | 0,00 0,00 |
| S/A | 2500 | 0,00 | 2,75 | | 0,00 | 4,50 | | 1,25 | 1,25 | | 0,42 2,83 |
| PROM | 3370 | 1,50 | 0,50 | | 0,50 | 3,00 | | 0,25 | 1,50 | | 0,75 1,67 |
| | <i>Idle</i> | 0,00 | 0,25 | | 1,00 | 1,75 | | 1,00 | 0,75 | | 0,67 0,92 |
| C/A | 2500 | 2,25 | 2,25 | | 2,00 | 2,75 | | 1,75 | 0,50 | | 2,00 1,83 |

Nota. La tabla muestra los resultados de las mediciones de hidrocarburos en los escenarios expuestos.

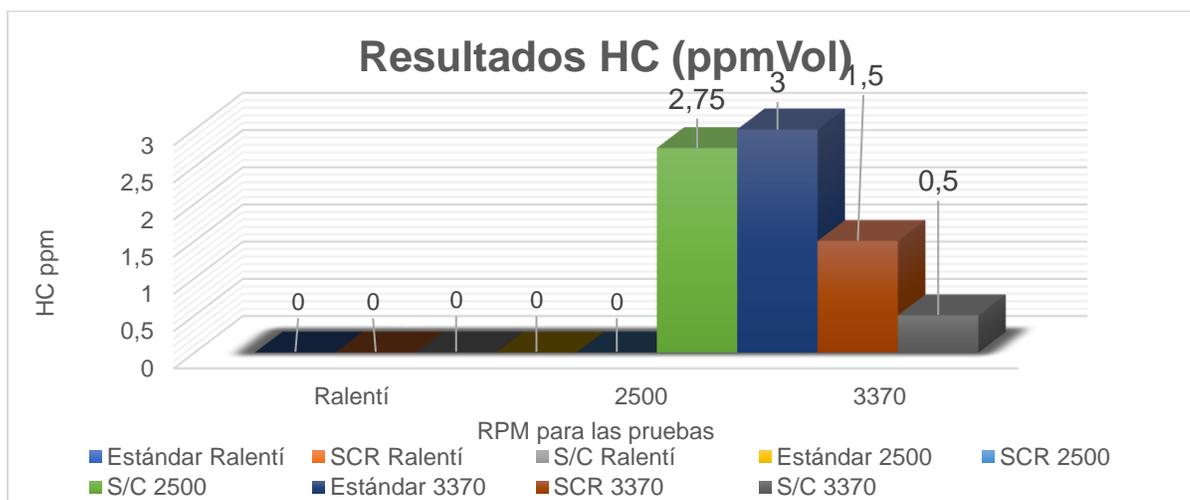
4.3.14. Análisis de HC por Horario

Se realiza una comparación de las diferentes condiciones del sistema de escape en cada uno de los horarios del día en que se realizaron las pruebas de HC.

- “M1” sin Accesorios

Figura 75

Resultados de HC en la mañana sin accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones sin accesorios en la mañana de HC en las diferentes condiciones.

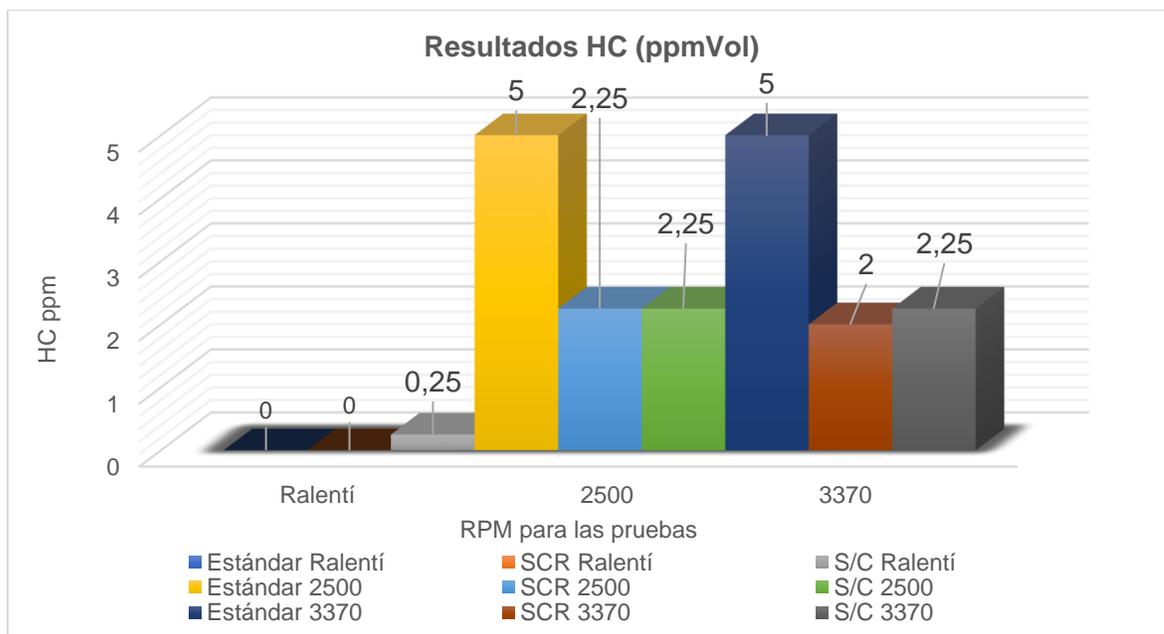
Como se observa en la Figura 75, todos los resultados tanto en ralentí como con el catalizador SCR y como con el sistema completo dan 0 ppm Vol de HC, por lo que la implementación del sistema SCR, no afecta negativamente en las emisiones de hidrocarburos al ambiente, en este caso.

A 2500 RPM, los hidrocarburos aumentaron cuando se utilizó el sistema de inyección de AdBlue, se dio un aumento del 100% ya que en los otros dos casos las partes por millón de HC fueron 0; a 3370 rpm, se da una reducción de los HC, teniendo con el escape estándar emisiones de 3 ppm Vol de HC, y al utilizar el catalizador SCR se obtiene una reducción del 50% en las emisiones, y al usar el sistema completo aumenta la reducción hasta en un 83,33%.

- **“M1” con Accesorios**

Figura 76

Resultados de HC en la mañana con accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones con accesorios en la mañana de HC en las diferentes condiciones.

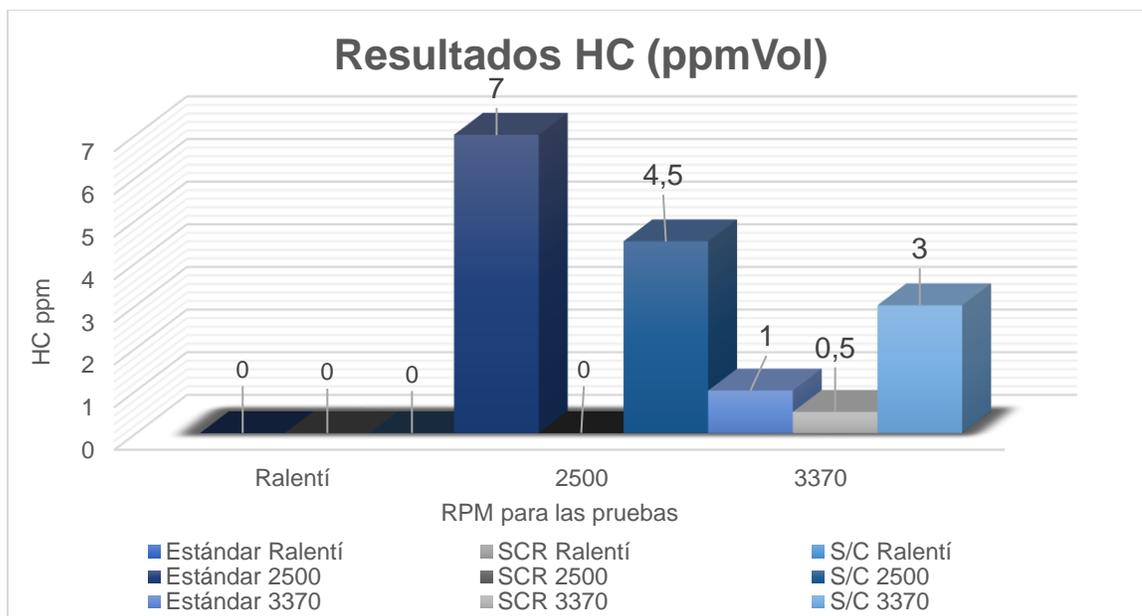
En la Figura 76, los resultados tanto en ralentí como con el catalizador SCR dan 0 ppm Vol de HC, en relación con un aumento de las emisiones de 0,25 ppm Vol cuando se usa el sistema completo, aunque el sistema no está activado a esas revoluciones.

Los valores analizados a 2500 RPM, los hidrocarburos se reducen tanto cuando se usa el solo el catalizador SCR como todo el sistema en conjunto, la reducción fue la misma en ambos casos con un 55% menos emisiones de HC y al analizar a 3370 rpm, se produce una reducción similar, siendo con el catalizador la reducción de 60% y con el sistema de inyección de 55%.

- “M2” sin Accesorios

Figura 77

Resultados de HC en la media mañana sin accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones sin accesorios en la media mañana de HC en las diferentes condiciones.

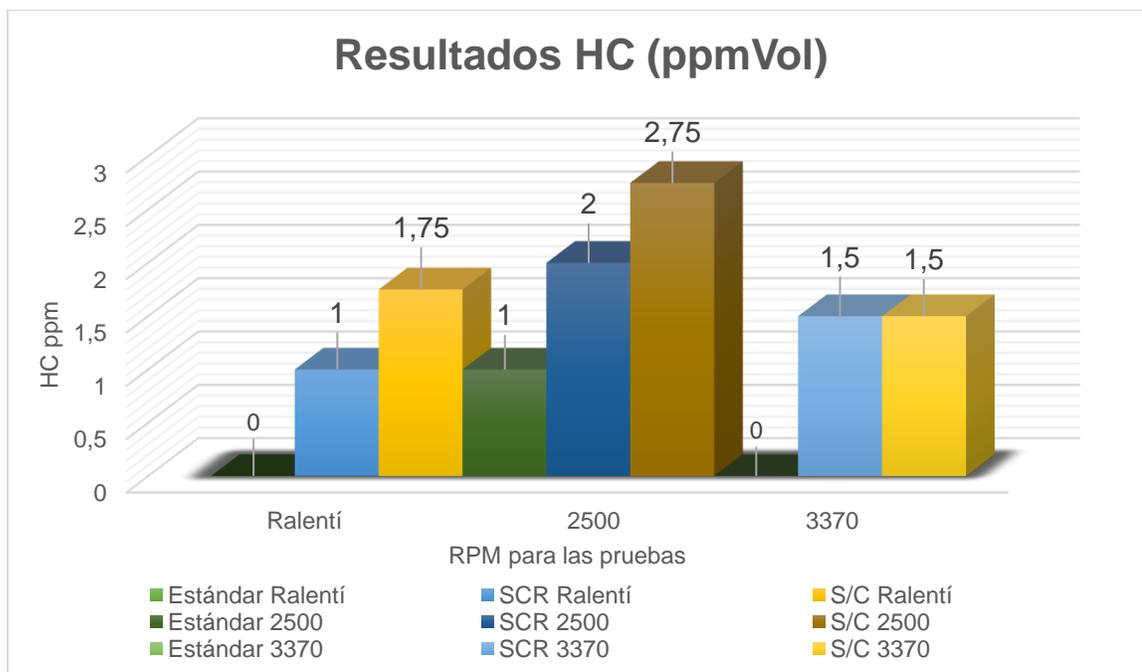
Observando la Figura 77, los valores en ralentí entregan 0 en todos sus escenarios, mientras que los valores a 2500 RPM de hidrocarburos se reducen a 0 ppm Vol cuando solamente se usa el catalizador SCR, mientras que usando el sistema de inyección se reducen en 2,5 ppm Vol representando una disminución de las emisiones de HC en 35,71%.

A 3370 rpm, solamente existe una reducción de la contaminación en 50% cuando se utiliza solo el catalizador SCR, mientras que al inyectar AdBlue en el escape existe un aumento de 2 ppm en las emisiones.

- “M2” con Accesorios

Figura 78

Resultados de HC en la media mañana con accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones con accesorios en la media mañana de HC en las diferentes condiciones.

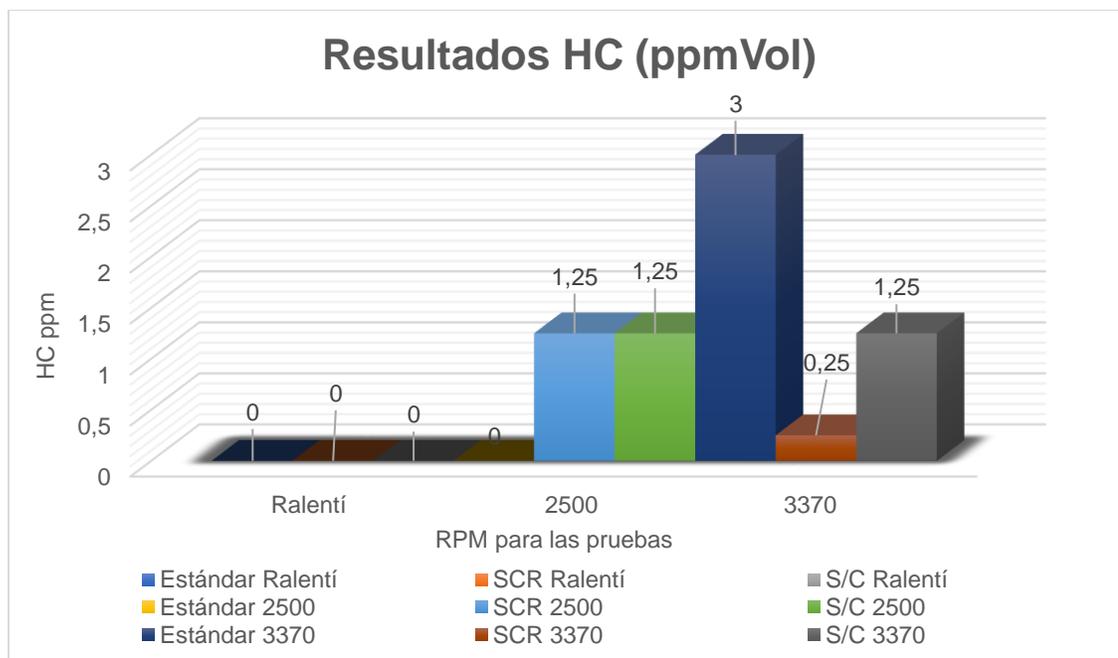
Analizando la Figura 78, los resultados a ralentí, existe un aumento de emisión de gases HC, ya que con el catalizador SCR da un resultado de 1 ppm Vol de HC y con el sistema completo de 1,75 ppm Vol de HC aumentando un 75%. A 2500 RPM, los hidrocarburos están presentes en todas las condiciones, empezando con un valor de 1 con el sistema estándar, mientras que hay un aumento del 100% con el catalizador SCR y de 175% con el sistema de inyección.

Observando los valores a 3370 rpm, las emisiones de HC aumenta de igual forma, en este caso de 0 ppm Vol a 1,5 ppm Vol aumentando un 150% en las otras dos condiciones.

- “T1” sin Accesorios

Figura 79

Resultados de HC en la tarde sin accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones sin accesorios en la tarde de HC en las diferentes condiciones.

Determinado por la Figura 79, en las pruebas a ralentí, todos los valores dan 0, la incidencia del horario en cuestión y el no-uso de accesorios provoca que la contaminación a ralentí por hidrocarburos sea 0 en todos los casos.

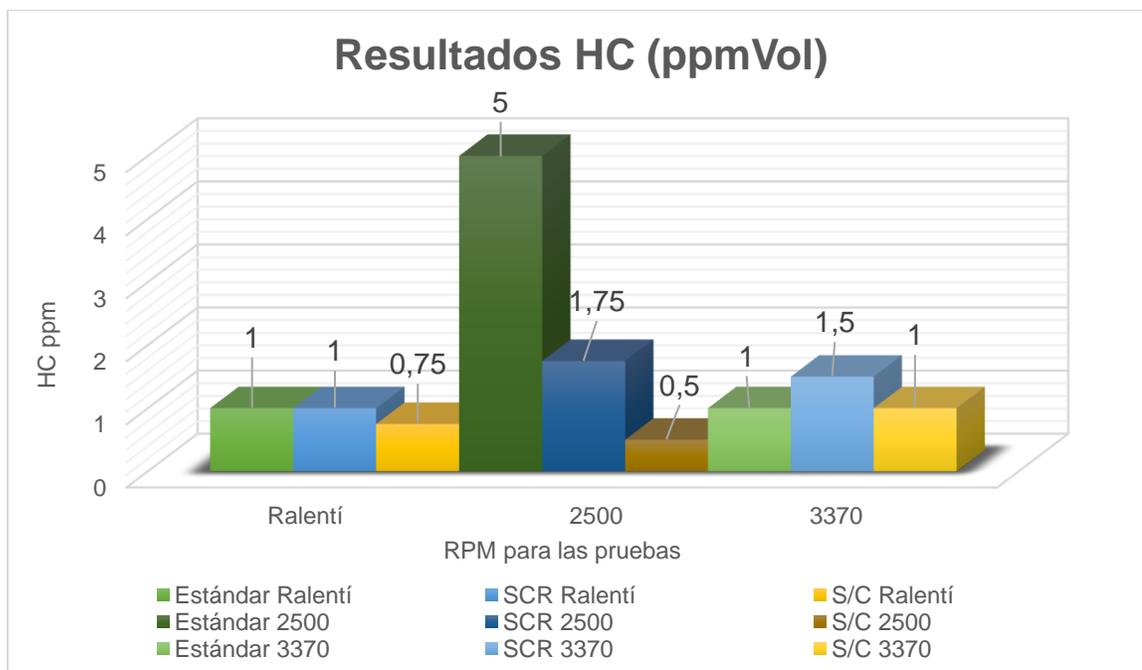
En las pruebas a 2500 RPM, los hidrocarburos están presentes en todas las condiciones, empezando con un valor de 0 con el sistema estándar, hay un aumento con el catalizador SCR y con el sistema completo activado a 1,25 ppm Vol de HC.

Al analizar las pruebas a 3370 rpm, las emisiones de HC disminuyen con el sistema estándar son de 3 ppm Vol, mientras que cuando se utiliza el catalizador SCR las emisiones se reducen en un 91,66% y con el sistema completo se reducen en un 58,33%.

- “T1” con Accesorios

Figura 80

Resultados de HC en la tarde con accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones con accesorios en la tarde de HC en las diferentes condiciones.

Como se observa en la Figura 80, los resultados a ralentí tienen una igualdad entre el sistema estándar y con el uso del catalizador SCR, mientras que al usar el sistema completo hay una disminución de la contaminación de 0,25 ppm Vol de HC, es decir, un 25%.

A 2500 RPM, los hidrocarburos están presentes en todas las condiciones, empezando con un valor de 5 con el sistema estándar, reduciéndose con el catalizador SCR en un 65% de HC y con el sistema completo hasta un 90%, en el caso de las pruebas a 3370 rpm, las emisiones de HC aumentan cuando se usa el catalizador SCR en un 50% mientras que con el sistema completo los hidrocarburos se mantienen iguales.

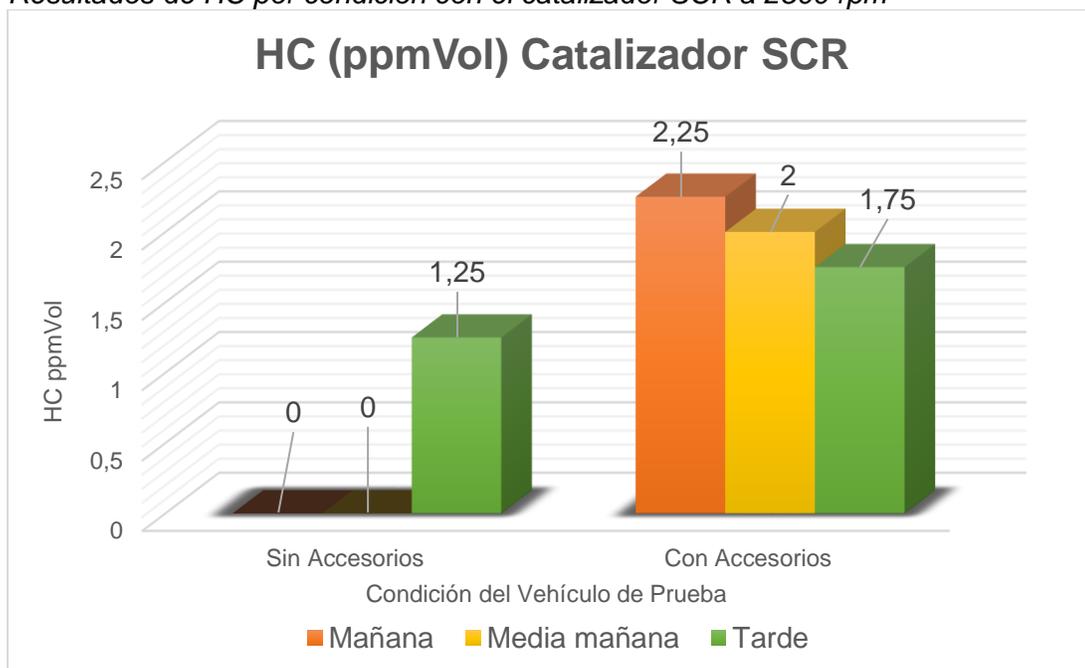
4.3.15. Análisis de HC por Condición

En este análisis se compara los valores de un mismo sistema de escape con diferentes estados del vehículo, es decir, con los accesorios activados y desactivados, para observar la incidencia de estos en la variación de hidrocarburos.

- **Catalizador SCR**

Figura 81

Resultados de HC por condición con el catalizador SCR a 2500 rpm

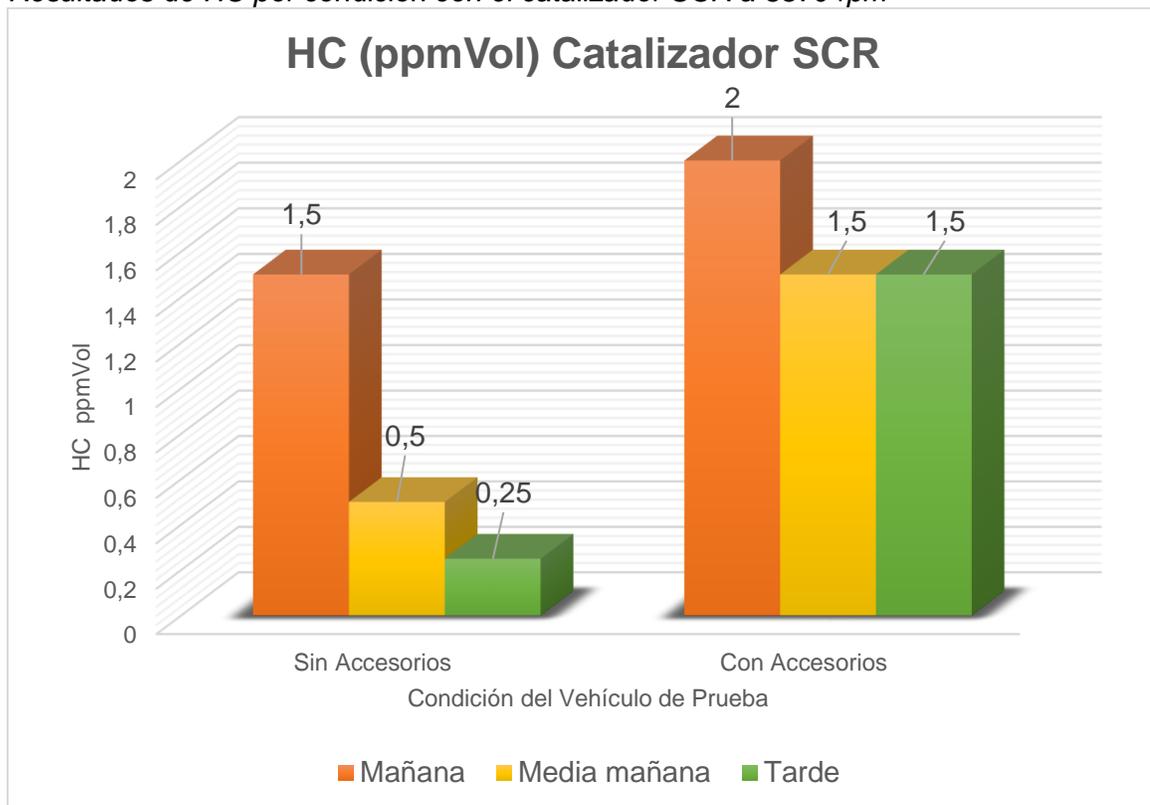


Nota. La figura muestra los resultados de HC sin y con accesorios a 2500 rpm con el catalizador SCR.

Al analizar la Figura 81, las emisiones de hidrocarburos cuando no se usan accesorios en su mayoría da 0, salvo el caso que se realizaron mediciones en la tarde la contaminación de HC sube hasta 1,25 ppm Vol; con respecto a las pruebas con accesorios, la contaminación por hidrocarburos se eleva en la mañana, y se reduce progresivamente a la media mañana un valor del 2% y en la tarde con un valor de 1,75%.

Figura 82

Resultados de HC por condición con el catalizador SCR a 3370 rpm



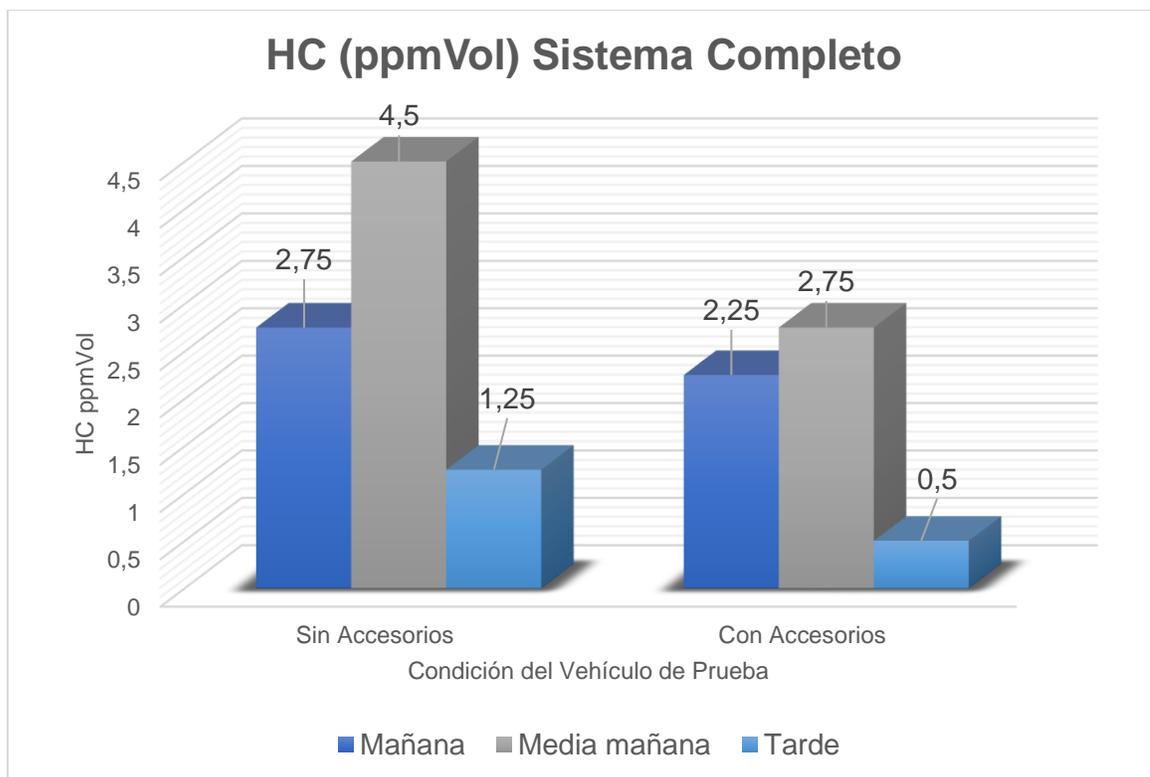
Nota. La figura muestra los resultados de HC sin y con accesorios a 3370 rpm

Como se observa en la Figura 82, existe una disminución progresiva de la contaminación por HC cuando los accesorios no están activados, empezando con 1,5 ppm Vol de HC en la mañana hasta llegar a un valor en la tarde de 0,25 ppm Vol, es decir un 83,33% menos de emisiones; al observar los datos con accesorios activados, se obtiene que el valor más alto es en la mañana con 2 ppm Vol y en la media mañana y tarde se menora a 1,5 ppm Vol, representando un 25% de reducción.

- **Sistema Completo**

Figura 83

Resultados de HC por condición con el sistema completo a 2500 rpm

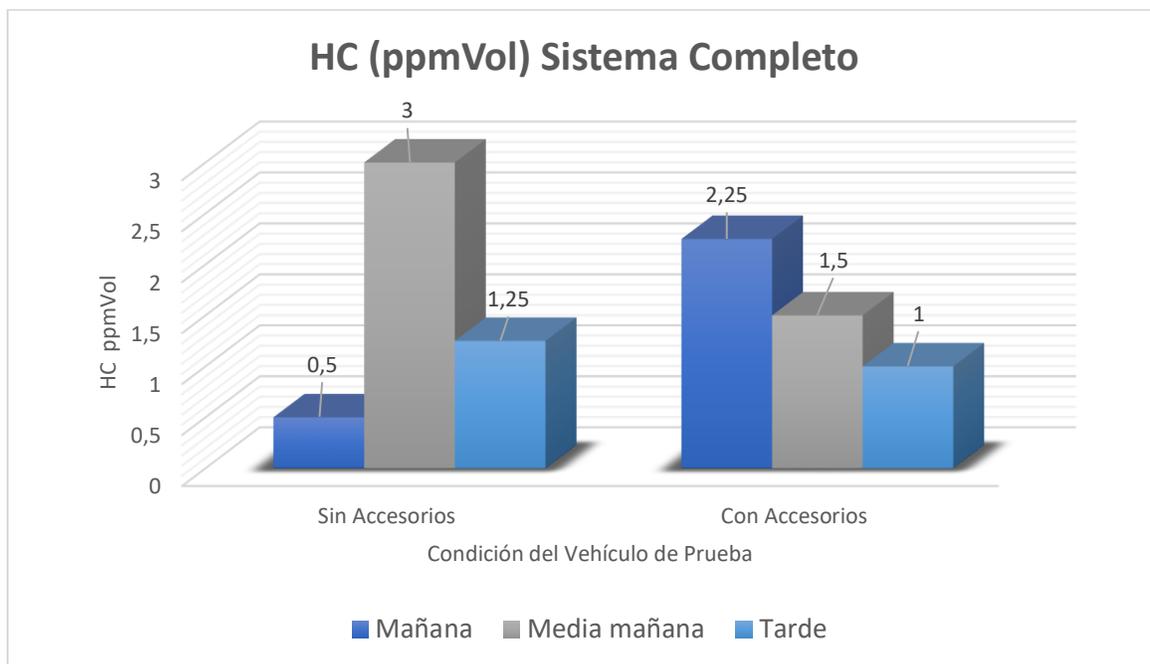


Nota. La figura muestra los resultados de HC sin y con accesorios a 2500 rpm con el sistema de inyección completo.

Al observar la Figura 83, las emisiones de hidrocarburos cuando se utiliza el sistema completo son elevadas, dando el valor más alto en la media mañana con 4,5 ppm Vol, y como el valor más bajo siendo el de la tarde con 1,25 ppm Vol, habiéndose reducido en un 72,22%, a diferencia de los resultados con los accesorios activados siendo el valor más bajo 0,5 ppm Vol.

Figura 84

Resultados de HC por condición con el sistema completo a 3370 rpm



Nota. La figura muestra los resultados de HC sin y con accesorios a 3370 rpm con el sistema de inyección completo.

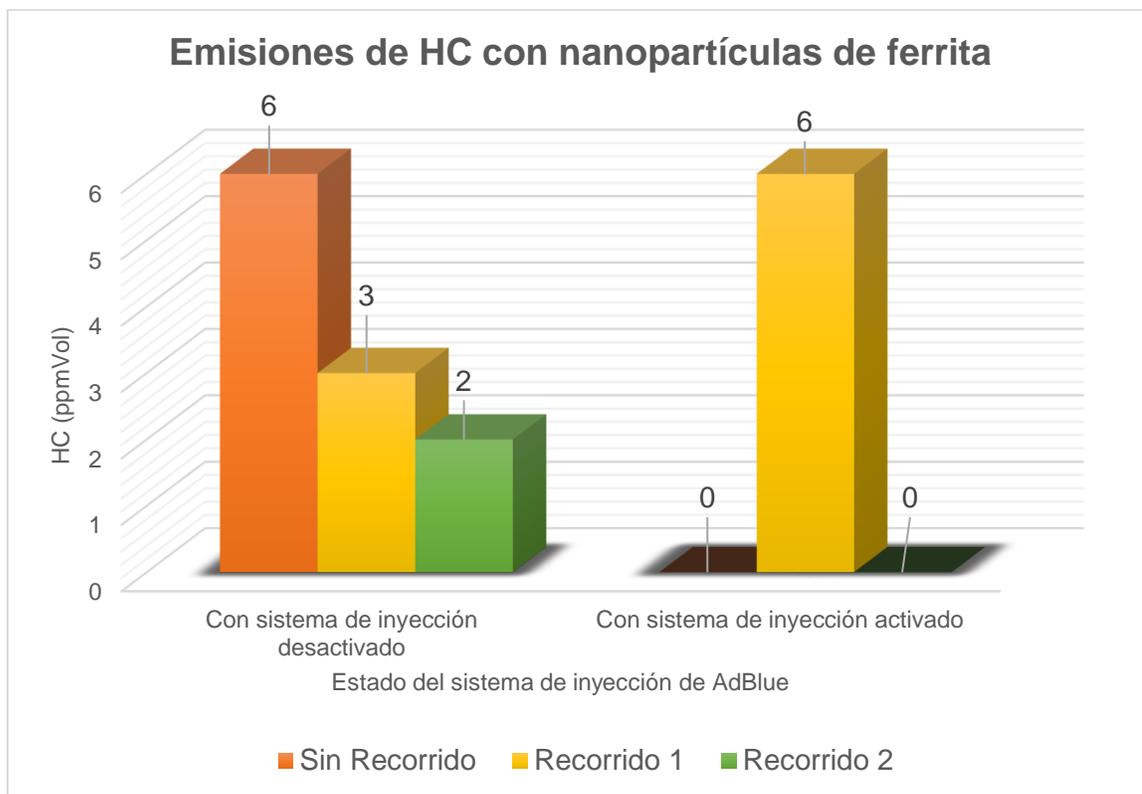
Como se observa en la Figura 84, en la condición sin accesorios, en la mañana se da el valor más bajo de 0,5 ppm Vol de hidrocarburos, mientras que en la media mañana la contaminación se eleva hasta 3 ppm Vol y al observar los datos con accesorios, se tiene que en la mañana se contamina más con hidrocarburos con un valor de 2,25 ppm Vol disminuyendo hasta la tarde a un valor de 1 ppm Vol, representando un 55,55% de reducción en contaminación.

4.3.16. Análisis de HC con Nanopartículas de Ferrita

Se realizaron tres pruebas, una sin haber realizado recorrido alguno con las nanopartículas de ferrita, otra después de un recorrido de 80 km sin inyectar AdBlue, por último, se realizó otra prueba de ruta, esta vez inyectando AdBlue, las mediciones se realizaron con el sistema de inyección activado y desactivado.

Figura 85

Resultados de HC con N.F. como catalizador a 2500 rpm

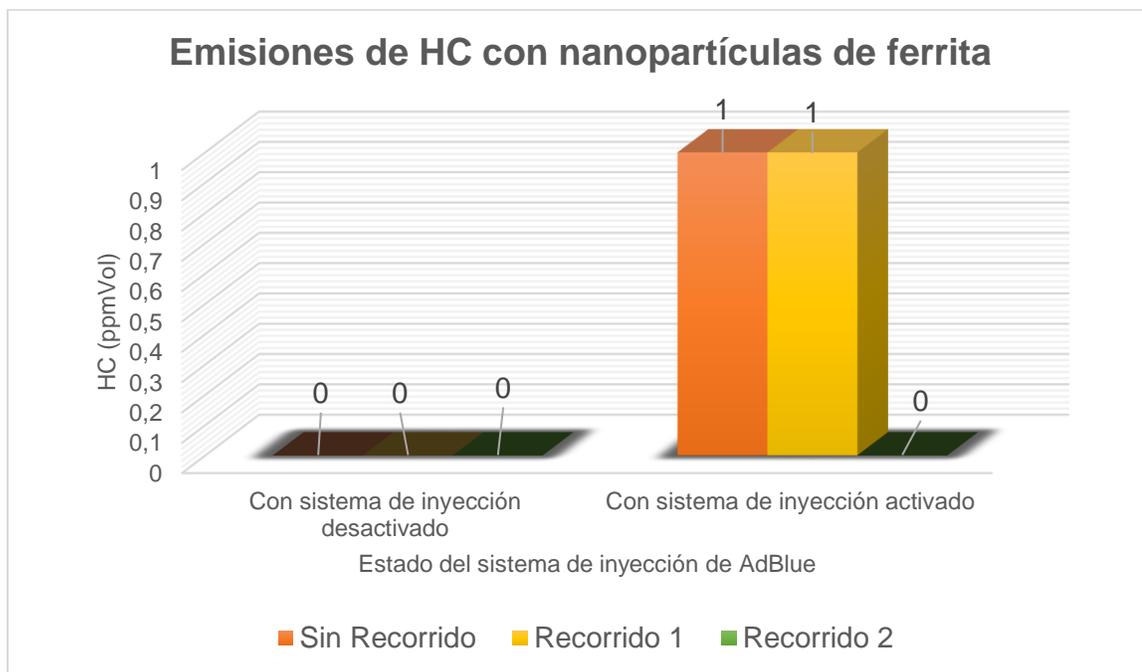


Nota. Resultados de HC de acuerdo con los recorridos y con la activación y desactivación del sistema a 2500 rpm.

Al observar la figura Figura 85, las emisiones de hidrocarburos sin inyectar AdBlue medidas a 2500 rpm, se reducen pasando de medir 6 ppm Vol en la primera medición a 2 ppm Vol en la medición después del segundo recorrido, representando una reducción de por hidrocarburos del 66,66%; a diferencia de la contaminación por HC cuando se utiliza tanto las nanopartículas como el sistema completo solo en el "R 1" aumento de 0 a 6 ppm Vol y 0 en el segundo recorrido.

Figura 86

Resultados de HC con N.F. como catalizador a 3370 rpm



Nota. Resultados de HC de acuerdo con los recorridos y con la activación y desactivación del sistema a 3370 rpm.

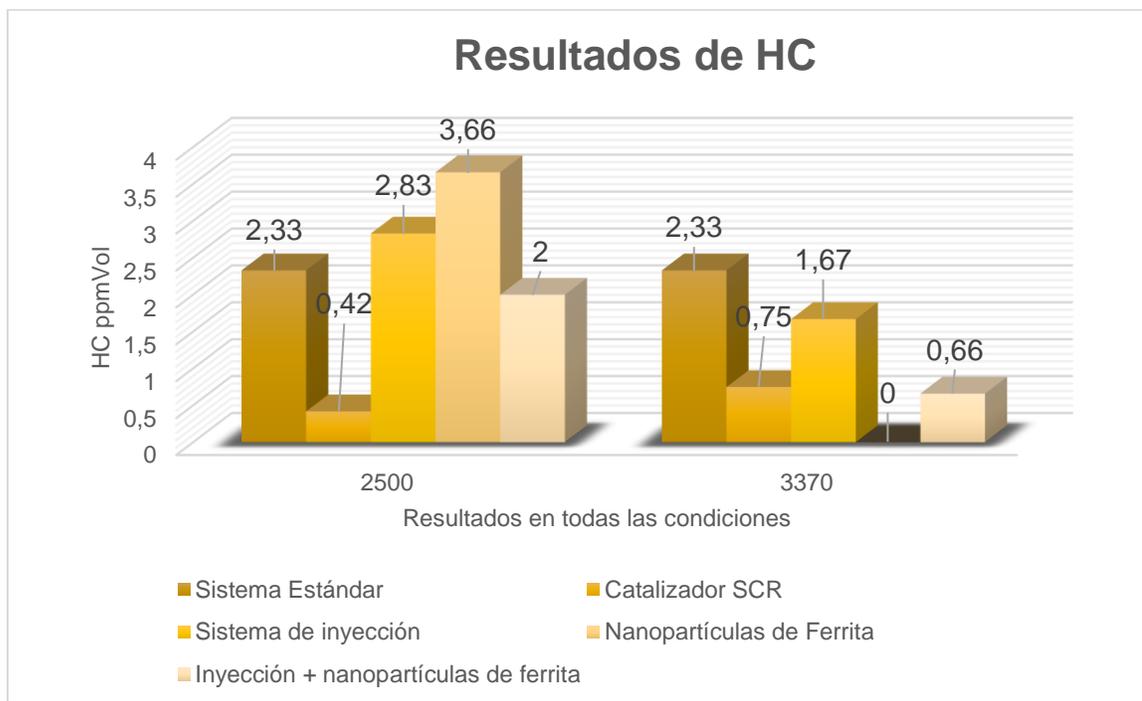
La Figura 86 las emisiones de hidrocarburos sin inyectar AdBlue medidas a 3370 rpm, se mantienen constantes en todos los casos con unas emisiones nulas (0 ppm Vol) y cuando se utiliza tanto las nanopartículas como el sistema de inyección de urea al 32,5%, se mantienen constantes con un valor de 1 ppm Vol en las dos primeras mediciones, pero al realizar la medición después del recorrido 2, las emisiones por HC se reducen a 0 ppm Vol.

4.3.17. Análisis de HC con todas las condiciones

Para observar la incidencia de la implementación de las nanopartículas de ferrita en el sistema de escape como agente reductor, comparándolo con todas las condiciones medidas. Se utilizaron los valores promedio alcanzados en las mediciones para el análisis.

Figura 87

Resultados de HC con S.I. y N.F.



Nota. Resultados de HC de todos los escenarios en los que se realizaron la medición.

Como se muestra en la Figura 87; las emisiones más bajas por HC se obtuvieron cuando se usó el catalizador SCR y también el sistema de inyección de AdBlue a 2500 RPM, ya que se reduce un 58,33% con respecto al estándar, y en un 65,84% con respecto al uso de nanopartículas de ferrita en el cual se presentan las emisiones más elevadas; vuelve a reducirse la contaminación al inyectar la AdBlue por lo que se puede decir que la inyección de esta solución ayuda a reducir las emisiones mas no las nanopartículas de ferrita.

Por otro lado, a 3370 RPM, las emisiones más bajas de HC se miden utilizando solamente las nanopartículas de ferrita, ya que en todos los casos arrojó un valor de 0 ppm Vol, mientras que al inyectar AdBlue con las nanopartículas las emisiones volvieron a subir un 0,66 ppm Vol.

4.3.18. Resultados de O2

Tabla 26

Porcentaje de O2

| O2 (% Vol) | | | | | | | | | | | | | |
|------------|----------|-----|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|--------------------|----------|------|
| | | M1 | | | M2 | | | T1 | | | N.F. ¹⁰ | | |
| | | rpm | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | | |
| KM 1 | Idle | | 18,40 | 18,60 | 18,50 | 18,40 | 18,50 | 18,50 | 18,40 | 18,50 | 18,60 | Idle | 18,4 |
| | S/A 2500 | | 17,20 | 17,10 | 17,10 | 17,00 | 17,30 | 17,20 | 17,20 | 17,30 | 17,20 | S/D 2500 | 16,9 |
| | 3370 | | 15,80 | 16,10 | 16,10 | 15,90 | 16,30 | 16,20 | 16,10 | 16,30 | 16,10 | S/R 3370 | 15,8 |
| | Idle | | 17,50 | 16,90 | 17,10 | 17,10 | 17,30 | 17,20 | 17,30 | 17,30 | 16,90 | Idle | 18,3 |
| | C/A 2500 | | 16,60 | 16,90 | 16,80 | 16,60 | 16,90 | 16,90 | 17,00 | 16,90 | 16,70 | S/A 2500 | 16,9 |
| | 3370 | | 17,10 | 15,90 | 15,70 | 15,50 | 15,90 | 16,00 | 15,90 | 15,90 | 15,70 | 3370 | 15,8 |
| KM 2 | Idle | | | 18,80 | 18,30 | | 18,30 | 18,40 | | 18,40 | 18,20 | Idle | 18,4 |
| | S/A 2500 | | | 17,20 | 16,90 | | 17,10 | 16,60 | | 17,10 | 16,80 | S/D 2500 | 17 |
| | 3370 | | | 16,30 | 15,80 | | 16,00 | 16,00 | | 16,20 | 15,80 | R 1 3370 | 15,8 |
| | Idle | | | 16,80 | 16,70 | | 17,10 | 17,00 | | 17,30 | 16,90 | Idle | 18,6 |
| | C/A 2500 | | | 17,00 | 16,50 | | 17,00 | 16,00 | | 17,00 | 16,00 | S/A 2500 | 16,9 |
| | 3370 | | | 15,90 | 15,50 | | 16,10 | 15,70 | | 15,80 | 15,40 | 3370 | 15,6 |
| KM 3 | Idle | | | 18,50 | 18,40 | | 18,60 | 12,90 | | 18,40 | 18,50 | Idle | 18,3 |
| | S/A 2500 | | | 17,20 | 17,00 | | 17,30 | 21,40 | | 17,30 | 17,00 | S/D 2500 | 16,9 |
| | 3370 | | | 16,10 | 15,80 | | 16,10 | 20,70 | | 16,00 | 16,10 | R 2 3370 | 15,7 |
| | Idle | | | 17,20 | 16,60 | | 17,20 | 21,80 | | 17,20 | 17,10 | Idle | 18,3 |
| | C/A 2500 | | | 16,80 | 11,70 | | 16,60 | 21,40 | | 16,70 | 16,70 | S/A 2500 | 16,8 |
| | 3370 | | | 15,80 | 11,10 | | 15,70 | 20,30 | | 15,40 | 15,70 | 3370 | 15,7 |
| KM 4 | S/A Idle | | | 18,50 | 18,50 | | 18,20 | 18,40 | | 18,50 | 18,40 | | |

| O2 (% Vol) | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------|----------------|---------------|-------------|----------------|---------------|-------------|----------------|---------------|-------------|--------------------------|
| | | M1 | | | M2 | | | T1 | | | |
| | rpm | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | N.F.¹⁰ |
| | 2500 | | 17,30 | 17,20 | | 17,00 | 17,10 | | 17,00 | 17,10 | |
| | 3370 | | 16,10 | 16,00 | | 15,90 | 16,20 | | 16,00 | 16,00 | |
| | Idle | | 17,10 | 16,90 | | 16,80 | 17,10 | | 16,70 | 16,90 | |
| C/A | 2500 | | 16,50 | 16,60 | | 16,50 | 16,90 | | 15,90 | 16,60 | PROMEDIO TOTAL |
| | 3370 | | 15,50 | 15,70 | | 15,30 | 16,00 | | 15,10 | 15,60 | C.SCR |
| | Idle | | 18,60 | 18,43 | | 18,40 | 17,05 | | 18,45 | 18,43 | 18,48 |
| | S/A 2500 | | 17,20 | 17,05 | | 17,18 | 18,08 | | 17,18 | 17,03 | 17,18 |
| | 3370 | | 16,15 | 15,93 | | 16,08 | 17,28 | | 16,13 | 16,00 | 16,12 |
| PROM | Idle | | 17,00 | 16,83 | | 17,10 | 18,28 | | 17,13 | 16,95 | 17,08 |
| | C/A 2500 | | 16,80 | 15,40 | | 16,75 | 23,05 | | 16,63 | 16,50 | 16,73 |
| | 3370 | | 15,78 | 14,50 | | 15,75 | 17,00 | | 15,55 | 15,60 | 15,69 |
| | | | | | | | | | | | 15,70 |

Nota. La tabla muestra los resultados de las mediciones de oxígeno en los escenarios expuestos.

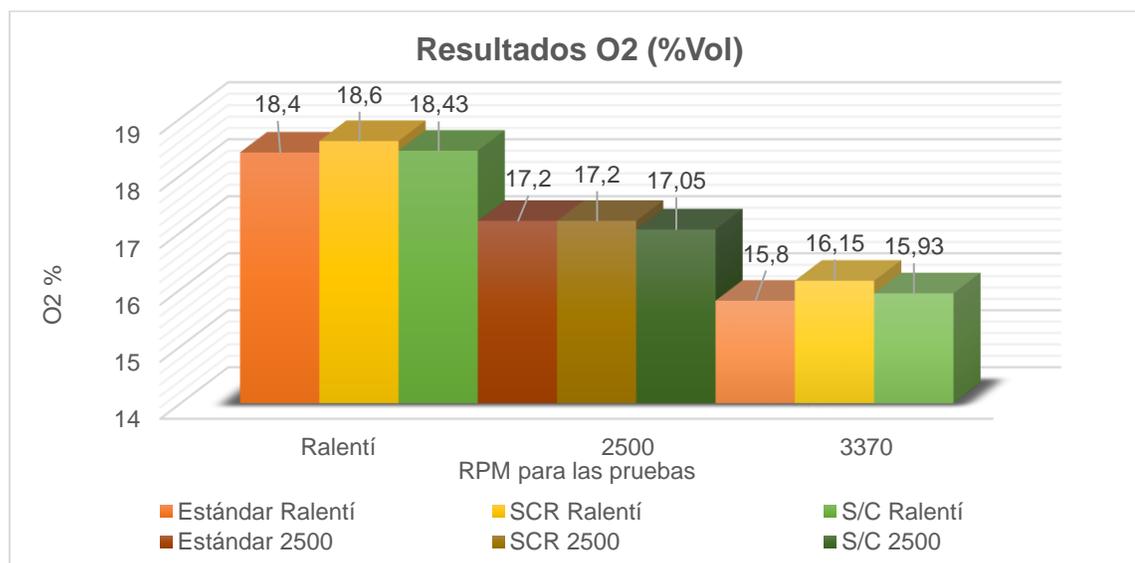
4.3.19. Análisis de O₂ por Horario

Se realiza una comparación de las diferentes condiciones del sistema de escape en cada uno de los horarios del día en que se realizaron las pruebas de O₂.

- “M1” sin Accesorios

Figura 88

Resultados de O₂ en la mañana sin accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones sin accesorios en la mañana de O₂ en las diferentes condiciones.

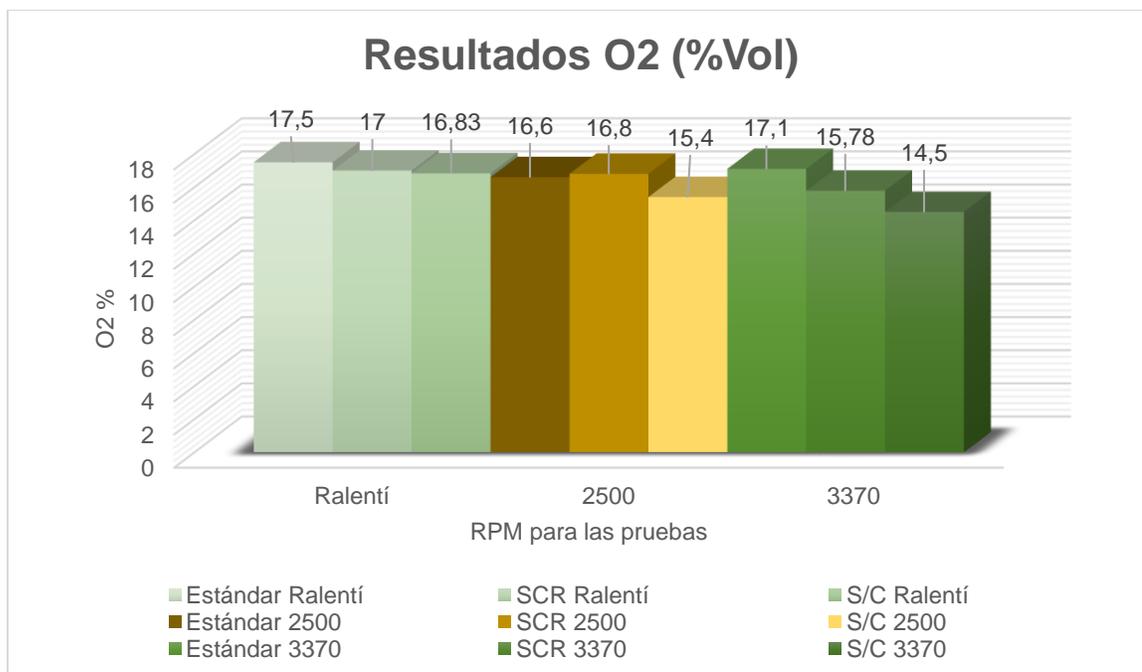
Como se observa en la Figura 88, las emisiones de O₂ a ralentí aumentan utilizando tanto el catalizador SCR como el sistema completo, con un 1,08% y 0,16% respectivamente.

En las mediciones a un régimen de 2500 RPM, el oxígeno se mantiene constante con un 17,2 %Vol en dos de los estados, pero cuando se utiliza el sistema de inyección completo, el %Vol de oxígeno disminuye a 17,05%, que representa un 0,87% de reducción de emisiones; a un régimen de 3370 rpm hay un aumento emisiones de O₂, se refleja aún más usando únicamente el catalizador SCR con un aumento del 2,21%, mientras que con el sistema completo las emisiones escalan un 0,82%.

- “M1” con Accesorios

Figura 89

Resultados de O₂ en la mañana con accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones con accesorios en la mañana de O₂ en las diferentes condiciones.

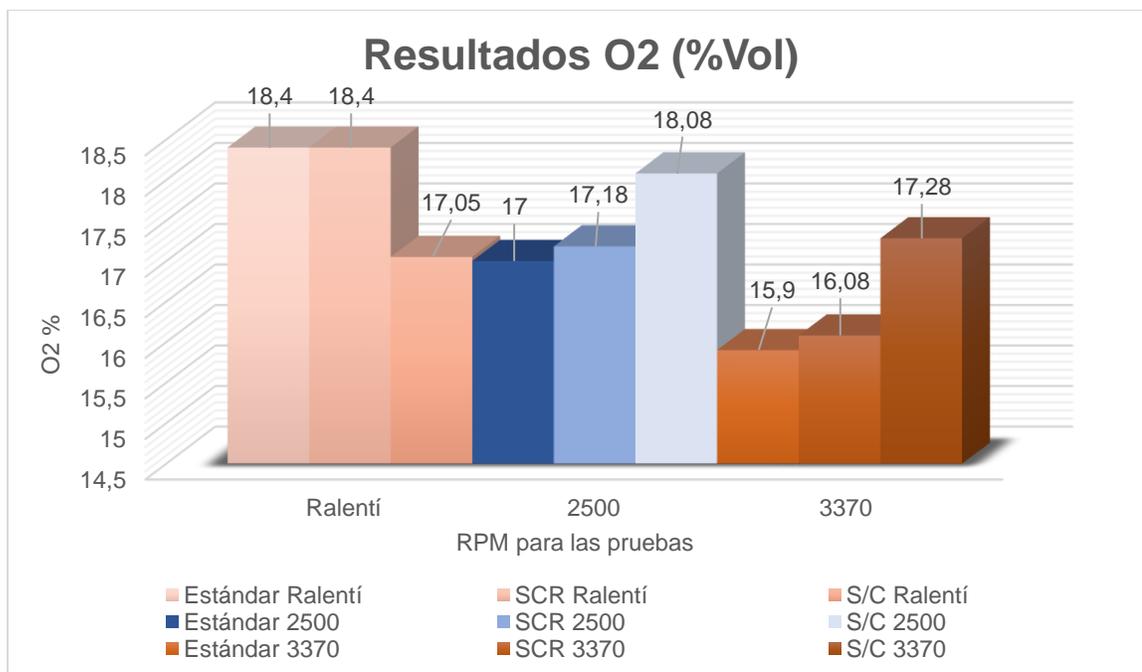
Al observar Figura 89, las pruebas de emisiones de O₂ en ralentí con accesorios activados, disminuye tanto con el catalizador SCR como con el sistema completo en un 2,85% y 3,83% respectivamente.

Los resultados con un régimen de 2500 RPM, el oxígeno aumenta ligeramente en 0,2 %Vol (1,20%) y con el sistema de inyección las emisiones de O₂ disminuyen con respecto al estándar en un 7,23%. A un régimen de 3370 rpm las emisiones de oxígeno disminuyen en un 7,72% solo con el uso del catalizador SCR y un 15,20% con el sistema de inyección.

- “M2” sin Accesorios

Figura 90

Resultados de O₂ en la media mañana sin accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones sin accesorios en la media mañana de O₂ en las diferentes condiciones.

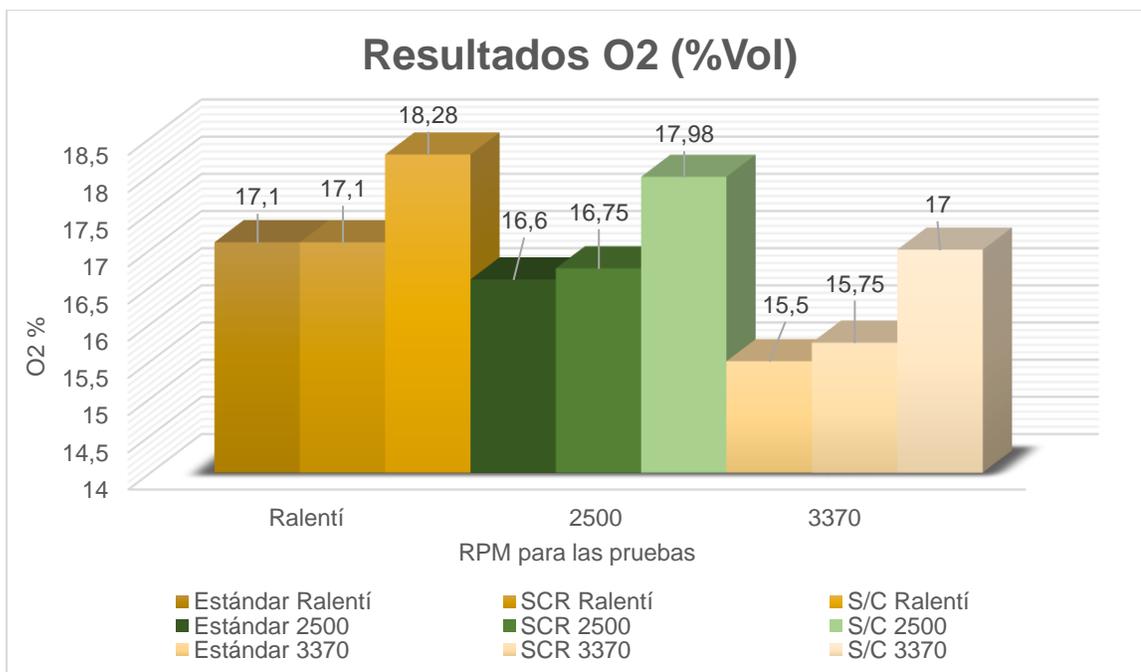
Como se observa en la Figura 90, los datos de las pruebas de emisiones de O₂ a ralentí en media mañana, se da una disminución con el sistema completo ya que tanto como con el sistema estándar como con el catalizador SCR el valor es el mismo de 18,4 %Vol, dándose así una disminución de emisiones de oxígeno del 7,34%.

A 2500 RPM, las emisiones aumentan con el catalizador SCR y con el sistema completo, de 1,05% y 6,35% respectivamente. Al analizar a 3370 rpm, sucede lo mismo, hay un aumento de 1,13% con el catalizador SCR y de 8,68% con el sistema completo de inyección.

- “M2” con Accesorios

Figura 91

Resultados de O₂ en la media mañana con accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones con accesorios en la media mañana de O₂ en las diferentes condiciones.

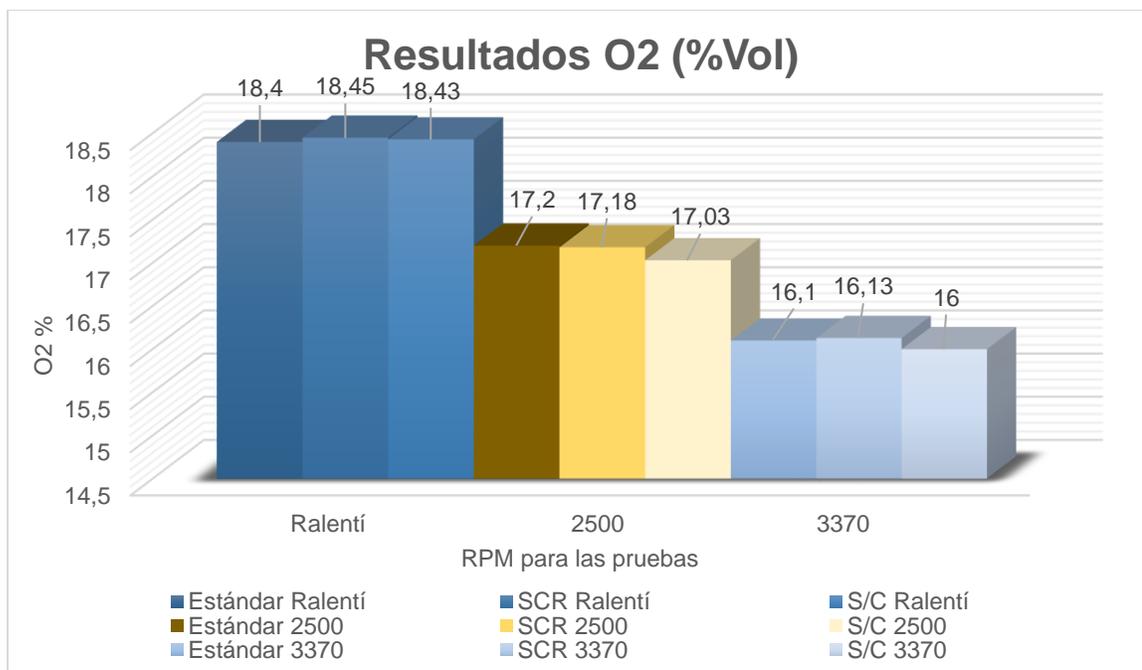
Los datos de la Figura 91 muestran las emisiones de O₂ en ralentí, durante las mediciones a la media mañana, se da un aumento con el sistema completo ya que tanto con el sistema estándar como con el catalizador SCR el valor es el mismo de 17,1 %Vol, dándose así un aumento de emisiones de oxígeno del 6,90%.

Las pruebas a 2500 RPM, las emisiones se ven en aumento utilizando el catalizador SCR y con el sistema completo también, de 0,90% y 8,13% respectivamente. Al analizar a máximo régimen de giro del motor, sucede lo mismo, hay un aumento de 1,61% con el catalizador SCR y de 9,67% con el sistema completo de inyección.

- “T1” sin Accesorios

Figura 92

Resultados de O₂ en la tarde sin accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones sin accesorios en la tarde de O₂ en las diferentes condiciones.

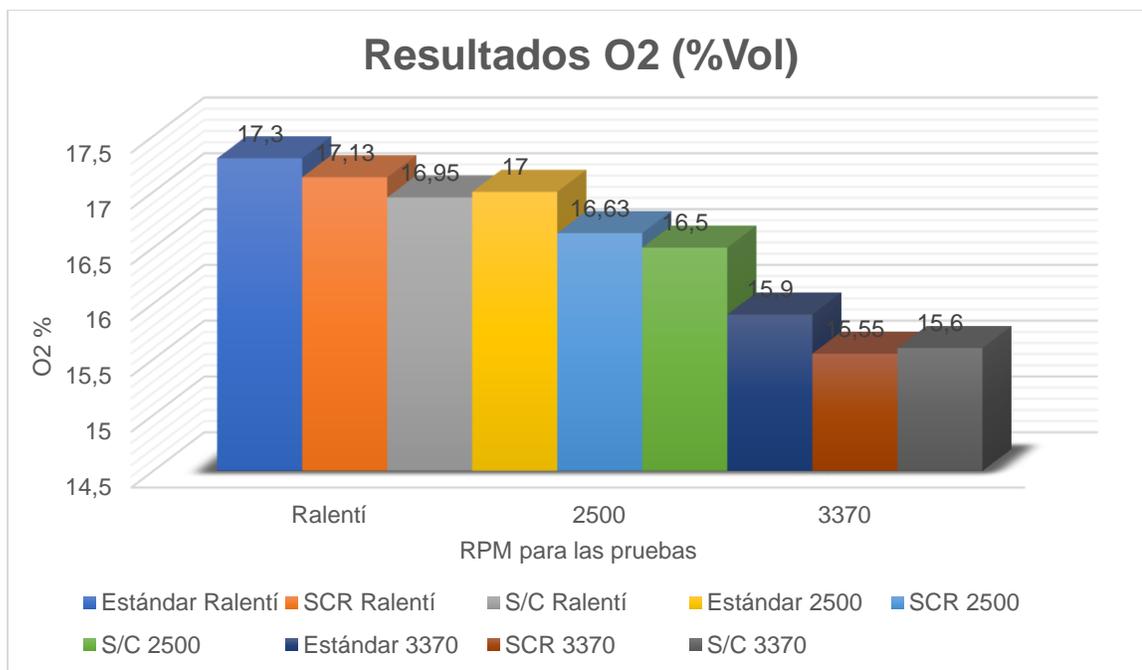
Como se observa en la Figura 92, las emisiones de O₂ en ralentí durante las mediciones a la tarde, se da un aumento con el sistema completo y con el catalizador SCR en un 0,16% y 0,27%, respectivamente en relación con el sistema estándar con un valor de 18,4 %Vol.

Los resultados con las mediciones a 2500 RPM ven en reducidas con el catalizador SCR y con el sistema completo en un 0,11% y 0,98% respectivamente y, los resultados a 3370 RPM hay un aumento de 0,18% con el catalizador SCR y una reducción del 0,63% con el sistema completo de inyección.

- “T1” con Accesorios

Figura 93

Resultados de O₂ en la tarde con accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones con accesorios en la tarde de O₂ en las diferentes condiciones.

Los datos obtenidos en Figura 93, muestran las emisiones de O₂ ralentí, durante las mediciones a la tarde, se da una disminución con el sistema completo y con el catalizador SCR de un del 2,02% y 0,98%, respectivamente en relación con el sistema estándar con un valor de 17,3 %Vol.

Las mediciones realizadas a 2500 RPM, los datos se reducen con el catalizador SCR y con el sistema completo en un 2,17% y 2,94% respectivamente. Al analizar a máximo régimen de giro del motor, hay una reducción de las emisiones con el uso del catalizador SCR de 2,20% y una reducción del 1,88% con el sistema completo de inyección.

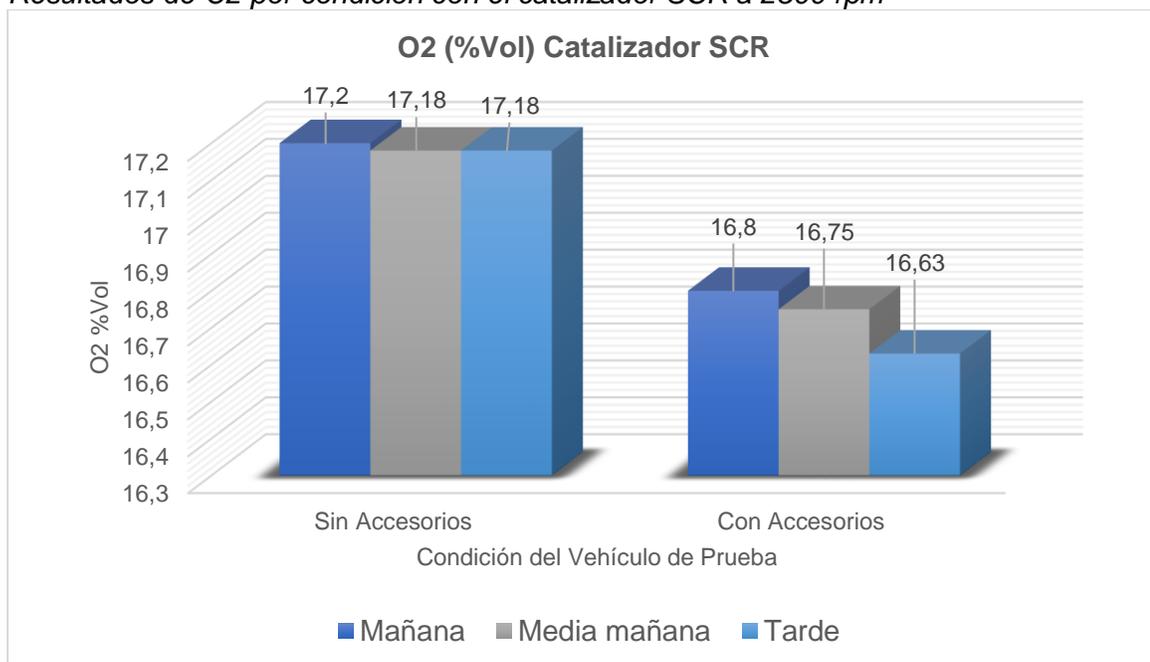
4.3.20. Análisis de O₂ por Condición

En este análisis se compara los valores de un mismo sistema de escape con diferentes estados del vehículo, es decir, con los accesorios activados y desactivados, para observar la incidencia de estos en la variación de oxígeno.

- **Catalizador SCR**

Figura 94

Resultados de O₂ por condición con el catalizador SCR a 2500 rpm

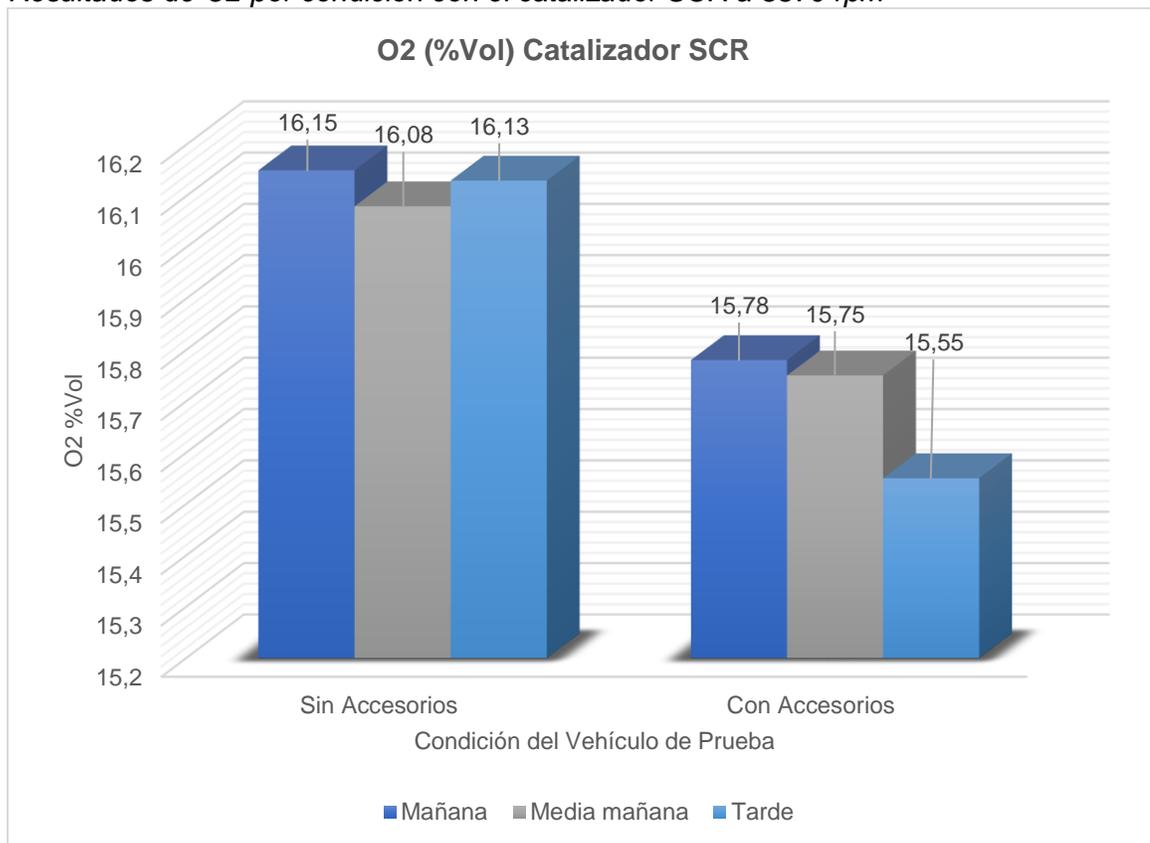


Nota. La figura muestra los resultados de O₂ sin y con accesorios a 2500 rpm con el catalizador SCR.

En la Figura 94, al realizar las mediciones sin accesorios los valores de oxígeno son casi iguales en todas las mediciones durante el día, hay una mínima reducción con respecto a la mañana de 0,11% en la media mañana y tarde, mientras que, al observar los datos con accesorios, se tiene que en la mañana se contamina más con O₂, y va reduciéndose progresivamente hasta llegar en la tarde a la contaminación mínima en este caso, de 16,63 %Vol.

Figura 95

Resultados de O₂ por condición con el catalizador SCR a 3370 rpm



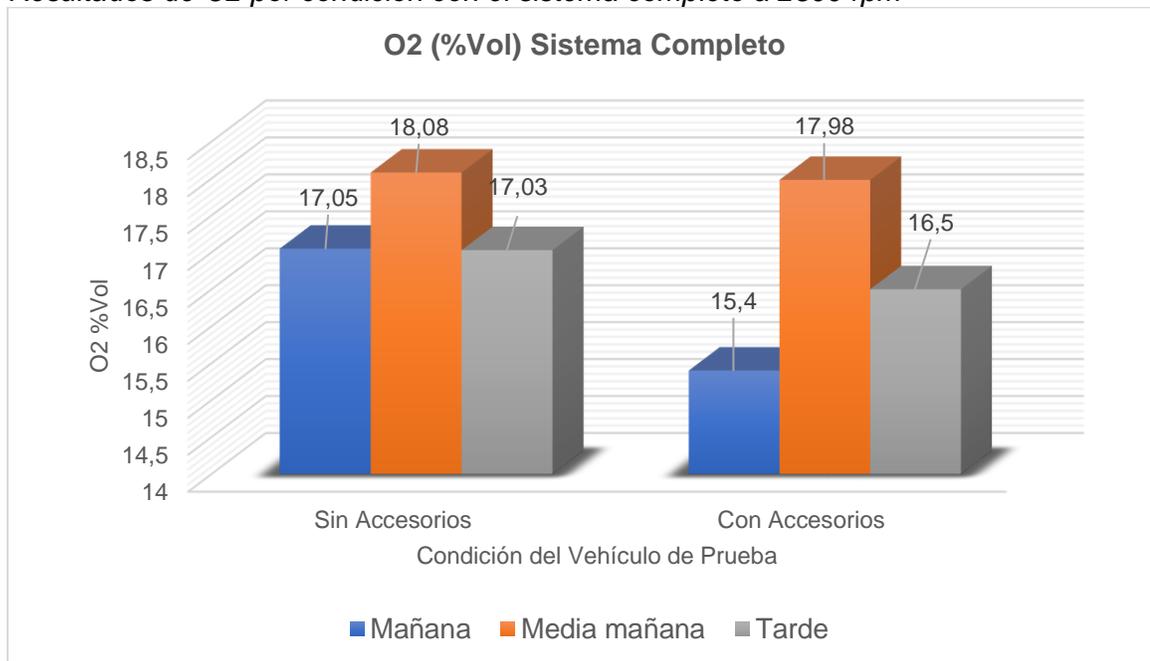
Nota. La figura muestra los resultados de O₂ sin y con accesorios a 3370 rpm con el catalizador SCR.

La Figura 95 muestra los datos de las mediciones sin accesorios, el oxígeno se reduce con respecto a la mañana en un 0,07 %Vol en la media mañana y un 0,02 %Vol en la tarde y al analizar los datos con accesorios, se tiene que en la mañana se contamina más con O₂, y va reduciéndose progresivamente hasta llegar en la tarde con un valor de 15,55 %Vol.

- **Sistema Completo**

Figura 96

Resultados de O₂ por condición con el sistema completo a 2500 rpm

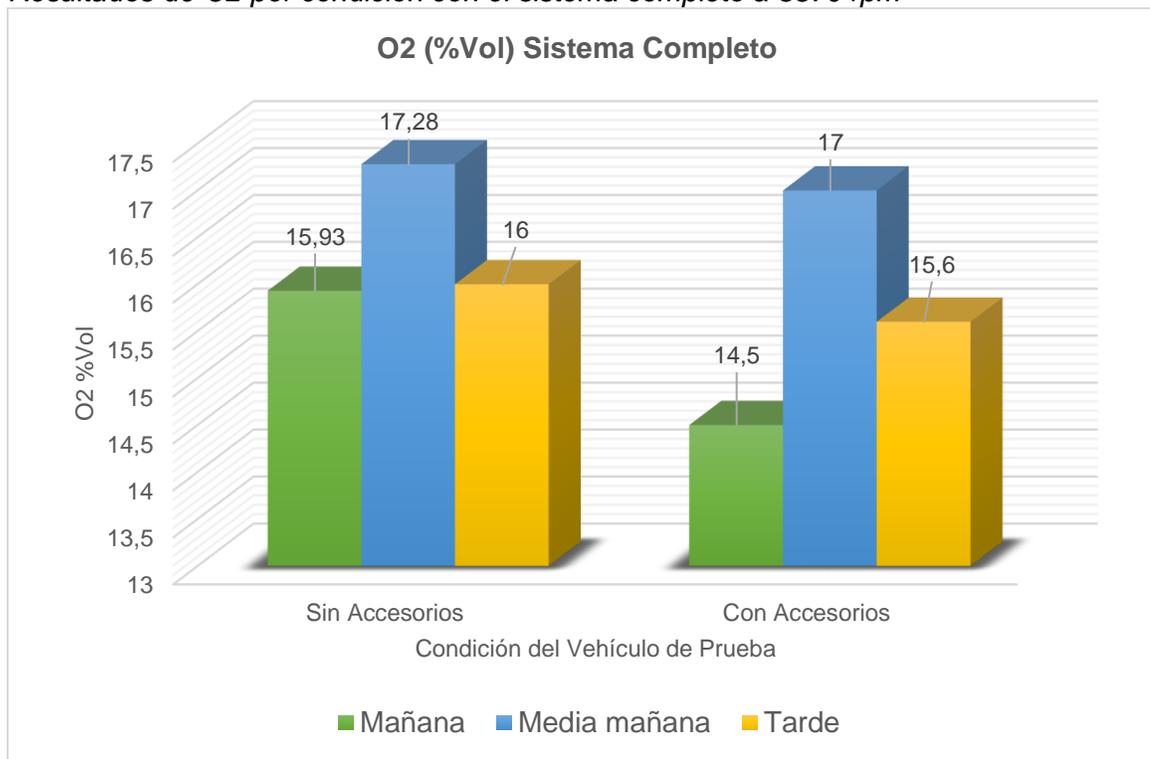


Nota. La figura muestra los resultados de O₂ sin y con accesorios a 2500 rpm con el sistema de inyección completo.

Como se observa en la Figura 96, al realizar las mediciones sin accesorios la contaminación por oxígeno es mayor que cuando se usan los accesorios del vehículo. En la tarde se da el índice de contaminación más bajo sin accesorios de 17,03 %Vol; pero en la media mañana las emisiones de oxígeno se elevan en un 5,81% y al observar los datos con accesorios, se tiene que en la mañana se contamina menos con O₂ (15,4 %Vol), y aumenta en la media mañana un 16,75% hasta llegar a los 17,98%Vol de O₂ emitidos por el vehículo de prueba.

Figura 97

Resultados de O₂ por condición con el sistema completo a 3370 rpm



Nota. La figura muestra los resultados de O₂ sin y con accesorios a 3370 rpm con el sistema de inyección completo.

Al observar la Figura 97 se muestra que las mediciones sin accesorios la contaminación en la mañana es el mínimo valor de 15,93 %Vol y la máxima en la media mañana de 17,28 %Vol y observando los datos con accesorios, se tiene que en la mañana se contamina menos con O₂ (14,5 %Vol), y aumenta en la media mañana un 16,75% hasta llegar a los 17,24%Vol de O₂.

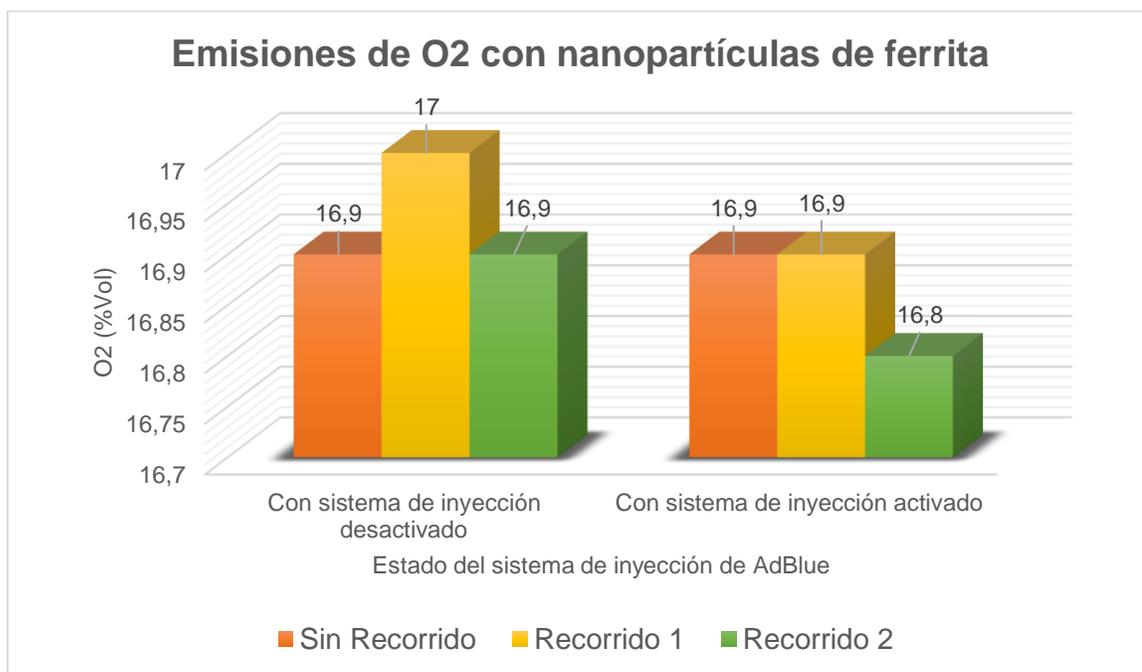
4.3.21. Análisis de O₂ con Nanopartículas de Ferrita

Para este análisis se implementó un filtro mallado el cual internamente se colocaron las nanopartículas de ferrita, las cuales actuarán como agente reductor de los gases de escape.

Se realizaron tres pruebas, una sin haber realizado recorrido alguno con las nanopartículas de ferrita, otra después de un recorrido de 80 km sin inyectar AdBlue, por último, se realizó otra prueba de ruta, esta vez inyectando AdBlue, las mediciones se realizaron con el sistema de inyección activado y desactivado.

Figura 98

Resultados de O₂ con N.F. como catalizador a 2500 rpm

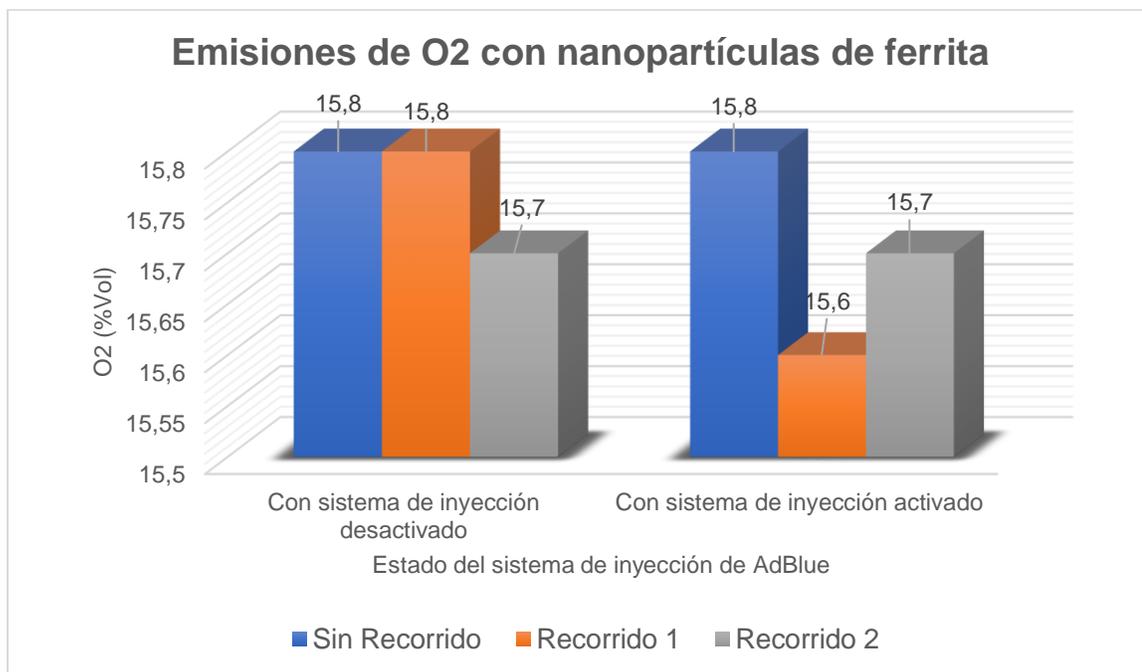


Nota. Resultados de O₂ de acuerdo con los recorridos y con la activación y desactivación del sistema a 2500 rpm.

Como se observa en la Figura 98, las emisiones de oxígeno sin inyectar AdBlue medidas a 2500 rpm, se mantiene casi constante en las mediciones después de cada recorrido realizado, aun así, se aumenta un 0,1 %Vol lo que representa un 0,59%, después del recorrido 1 que se realizó sin inyectar AdBlue y cuando se utiliza las nanopartículas y el sistema de inyección AdBlue simultáneamente, se reduce un 0,1 %Vol al término del segundo recorrido, representando una disminución del 0,59% de contaminación por O₂.

Figura 99

Resultados de O₂ con N.F. como catalizador a 3370 rpm



Nota. Resultados de O₂ de acuerdo con los recorridos y con la activación y desactivación del sistema a 3370 rpm.

Los datos de la Figura 99 muestran las emisiones de oxígeno sin inyectar AdBlue medidas a 3370 rpm, se reduce un 0,1 %Vol lo que representa un 0,63%, después del recorrido 2 que se realizó inyectando AdBlue y cuando se utiliza tanto las nanopartículas como el sistema de inyección, se reduce 1,26% en la segunda medición con respecto a la primera.

4.3.22. Análisis de O₂ con todas las condiciones

Para observar la incidencia de la implementación de las nanopartículas de ferrita en el sistema de escape como agente reductor, comparándolo con todas las condiciones medidas. Se utilizaron los valores mínimos alcanzados en las mediciones para el análisis.

Figura 100

Resultados de O₂ con S.I. y N.F.



Nota. Resultados de O₂ de todos los escenarios en los que se realizaron la medición.

En la Figura 100 se tomó en cuenta los valores promedio obtenidos en todos los escenarios y/o circunstancias para compararlos entre sí; por lo que se entiende que, las emisiones más bajas por O₂ se obtuvieron cuando se usa las nanopartículas de ferrita juntamente con la inyección de AdBlue, ya que a 2500 RPM se reduce un 1,17% con respecto al estándar, y en un 2,21% con respecto valor más alto obtenido cuando se utiliza solo el catalizador SCR. Por otro lado, a 3370 RPM, las emisiones más bajas también se miden combinando los dos agentes reductores, reduciéndose con respecto al estándar en un 1,26%, y en 2,98% con respecto a solamente el uso del catalizador SCR.

4.3.23. Resultados de NO

La Tabla 27 muestra los resultados de monóxidos de nitrógeno que se obtuvieron en todas las pruebas realizadas de todas las condiciones a las que se sometió el vehículo.

Tabla 27

PPM de monóxidos de nitrógeno

| NO (ppm Vol) | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----------|---------|--------|------|---------|--------|------|---------|--------|------|----------|-----|
| | | M1 | | | M2 | | | T1 | | | N.F. | |
| rpm | | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | | |
| KM 1 | Idle | 116 | 88 | 96 | 96 | 120 | 99 | 94 | 159 | 91 | Idle | 128 |
| | S/A 2500 | 146 | 131 | 122 | 135 | 135 | 139 | 130 | 144 | 157 | S/D 2500 | 130 |
| | 3370 | 171 | 164 | 165 | 184 | 179 | 170 | 177 | 199 | 188 | S/R 3370 | 179 |
| | Idle | 150 | 259 | 213 | 191 | 226 | 203 | 210 | 277 | 207 | Idle | 162 |
| | C/A 2500 | 219 | 164 | 177 | 139 | 193 | 175 | 181 | 222 | 192 | S/A 2500 | 125 |
| | 3370 | 195 | 210 | 194 | 255 | 219 | 178 | 220 | 246 | 194 | 3370 | 163 |
| KM 2 | Idle | | 87 | 125 | | 125 | 99 | | 143 | 104 | Idle | 94 |
| | S/A 2500 | | 129 | 129 | | 133 | 233 | | 135 | 159 | S/D 2500 | 131 |
| | 3370 | | 165 | 157 | | 181 | 207 | | 175 | 183 | R 1 3370 | 167 |
| | Idle | | 260 | 211 | | 220 | 183 | | 265 | 193 | Idle | 83 |
| | C/A 2500 | | 167 | 167 | | 195 | 200 | | 215 | 242 | S/A 2500 | 123 |
| | 3370 | | 207 | 188 | | 217 | 194 | | 235 | 207 | 3370 | 159 |
| KM 3 | Idle | | 108 | 85 | | 120 | 100 | | 130 | 63 | Idle | 65 |
| | S/A 2500 | | 97 | 128 | | 117 | 174 | | 128 | 163 | S/D 2500 | 120 |
| | 3370 | | 157 | 154 | | 181 | 169 | | 186 | 181 | R 2 3370 | 151 |
| | Idle | | 219 | 204 | | 226 | 186 | | 245 | 153 | Idle | 20 |
| | C/A 2500 | | 177 | 167 | | 213 | 187 | | 217 | 175 | S/A 2500 | 115 |
| | 3370 | | 203 | 172 | | 219 | 166 | | 278 | 176 | 3370 | 143 |
| KM 4 | Idle | | 110 | 73 | | 151 | 77 | | 160 | 82 | | |
| | S/A 2500 | | 142 | 109 | | 132 | 105 | | 199 | 132 | | |
| | 3370 | | 170 | 149 | | 186 | 139 | | 209 | 154 | | |

| NO (ppm Vol) | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|-----------------------|-------------|
| | | M1 | | | M2 | | | T1 | | | N.F. | |
| | rpm | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | E. STD. | C. SCR | S.C. | | |
| | <i>Idle</i> | | 251 | 206 | | 266 | 117 | | 327 | 106 | | |
| C/A | 2500 | | 239 | 159 | | 216 | 135 | | 344 | 145 | PROMEDIO TOTAL | |
| | 3370 | | 265 | 176 | | 342 | 154 | | 325 | 162 | C.SCR | S.C. |
| | | | | | | | | | | | | |
| PROM | <i>Idle</i> | | 98,25 | 94,75 | | 129,00 | 93,75 | | 148,00 | 85,00 | 125,08 | 91,17 |
| | S/A 2500 | | 124,75 | 122,00 | | 129,25 | 162,75 | | 151,50 | 152,75 | 135,17 | 147,17 |
| | 3370 | | 164,00 | 156,25 | | 181,75 | 171,25 | | 192,25 | 176,50 | 179,33 | 168,00 |
| | <i>Idle</i> | | 247,25 | 208,50 | | 234,50 | 172,25 | | 278,50 | 164,75 | 253,42 | 181,83 |
| | C/A 2500 | | 186,75 | 167,50 | | 204,25 | 174,25 | | 249,50 | 188,50 | 213,50 | 176,75 |
| | 3370 | | 221,25 | 182,50 | | 249,25 | 173,00 | | 271,00 | 184,75 | 247,17 | 180,08 |

Nota. La tabla muestra los resultados de las mediciones de monóxidos de nitrógeno en los escenarios medidos.

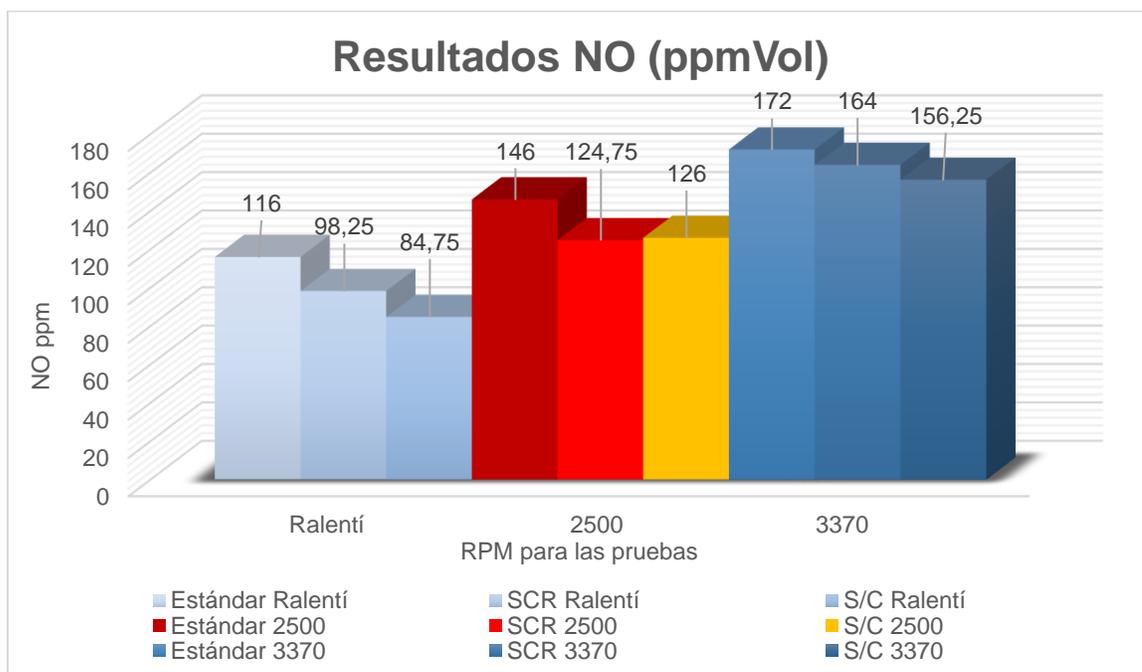
4.3.24. Análisis de NO por Horario

Se realiza una comparación de las diferentes condiciones del sistema de escape en cada uno de los horarios del día en que se realizaron las pruebas de NO.

- “M1” sin Accesorios

Figura 101

Resultados de NO en la mañana sin accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones sin accesorios en la mañana de NO en las diferentes condiciones.

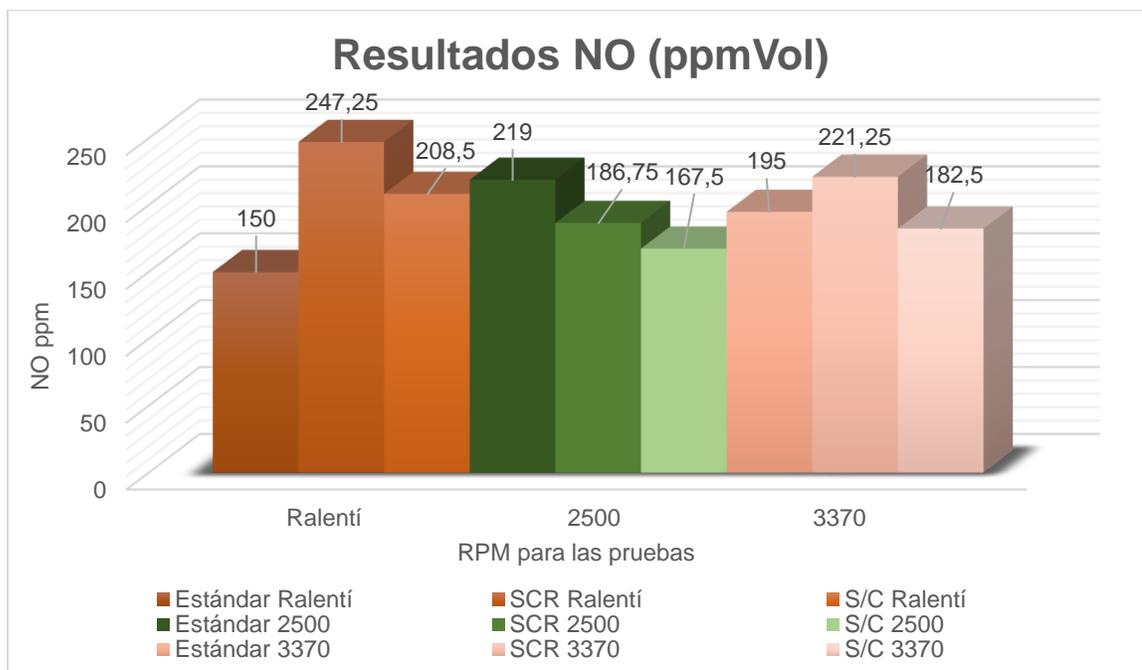
En la Figura 101 se observa que cuando se utiliza solo el catalizador SCR la reducción de ppm es de 17,75 representando un 15,30%, mientras que utilizando el sistema completo sin inyectar la reducción es aún mayor con un 26,94%.

Las pruebas a 2500 RPM con al estándar con catalizador SCR se reduce en un 16,83% y con el sistema completo reduce en un 16% respectivamente. A 3370 RPM la reducción por gases contaminantes NO es de 4,65% y 9,30% con el catalizador SCR y con el sistema completa respectivamente en relación con el estándar.

- “M1” con Accesorios

Figura 102

Resultados de NO en la mañana con accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones con accesorios en la mañana de NO en las diferentes condiciones.

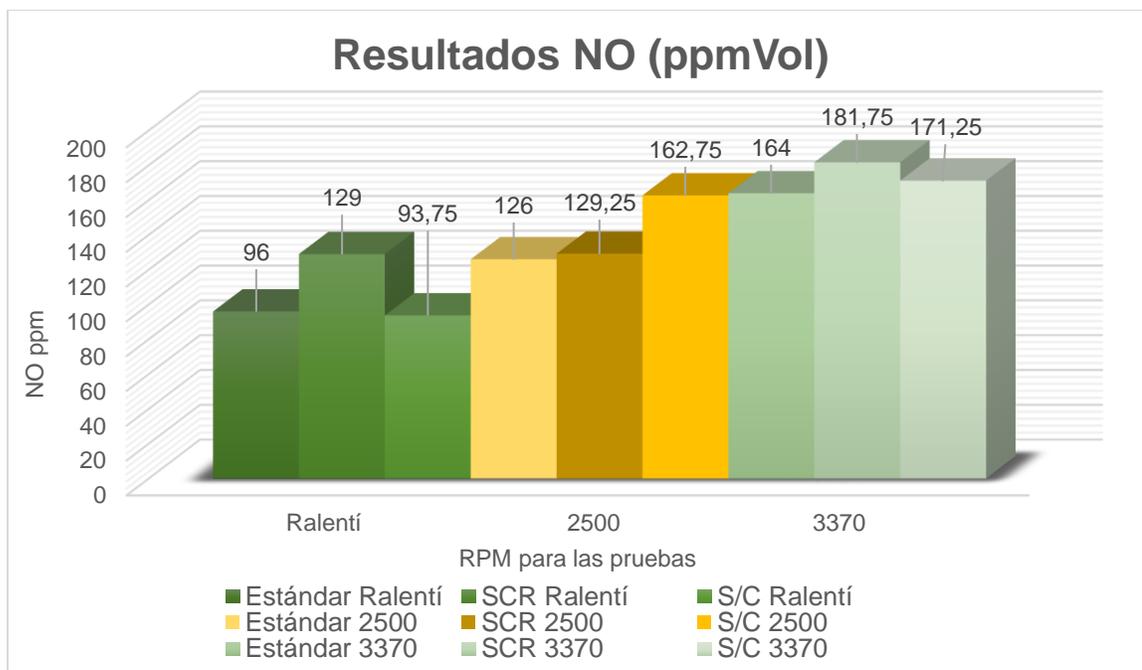
En los datos de la Figura 102 aumenta las partículas por millón en casi 100 solo usando el catalizador, y casi 60 ppm con el sistema de inyección representando un 64,83% y un 39% de aumento respectivamente.

Observando los resultados a 2500 RPM, la reducción sucede en esta condición misma que se da cuando se utiliza el catalizador SCR, con una disminución de 14,73%. Y con el sistema completo la reducción es aún mayor con un 23,52% de reducción de los gases contaminantes por NO. Las pruebas realizadas a 3370 esta vez solo con el sistema completo da una reducción de 6,4%, y aumenta con el catalizador SCR en un 13,46%.

- “M2” sin Accesorios

Figura 103

Resultados de NO en la media mañana sin accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones sin accesorios en la media mañana de NO en las diferentes condiciones.

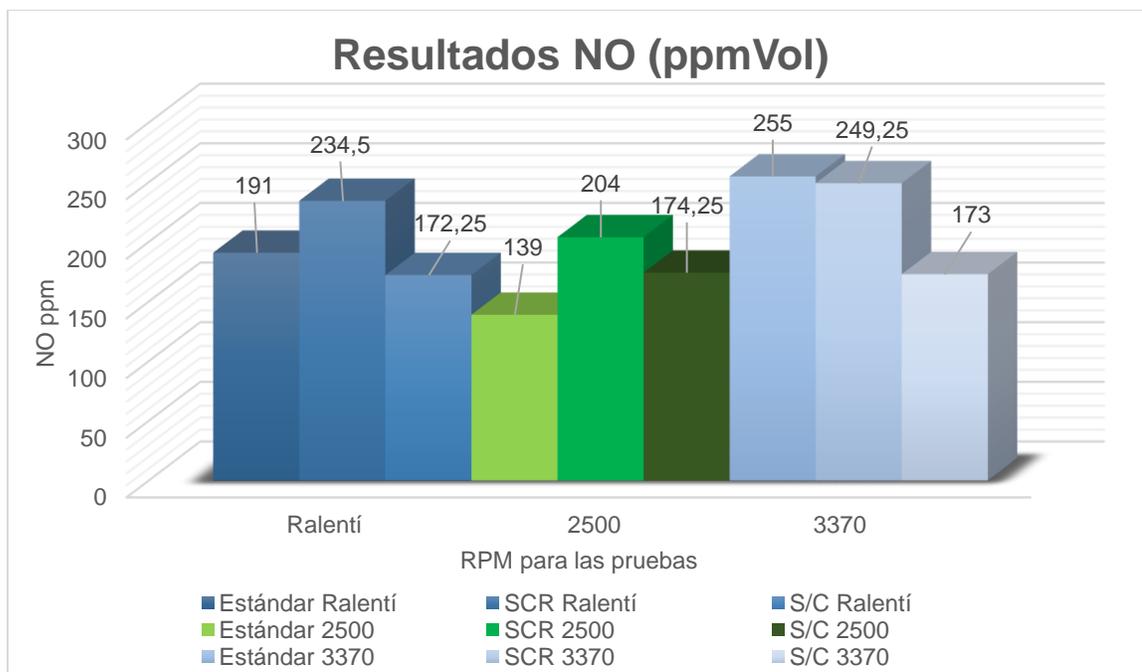
En la Figura 103, se analiza que la reducción de NO en ralentí no sucede en la condición solo con el catalizador SCR, ya que existe un aumento del 34,37% mientras que usando el sistema completo de inyección las emisiones de NO bajan un 2,34%.

Observando los resultados a 2500 RPM, hay aumento tanto usando el catalizador SCR y con el sistema completo, de 2,57% y 26,16% de la contaminación por monóxidos de nitrógeno, respectivamente; y las mediciones a 3370 RPM en este caso aumenta un 10,83% con el catalizador SCR y un 4,42% usando el sistema de inyección.

- “M2” con Accesorios

Figura 104

Resultados de NO en la media mañana con accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones con accesorios en la media mañana de NO en las diferentes condiciones.

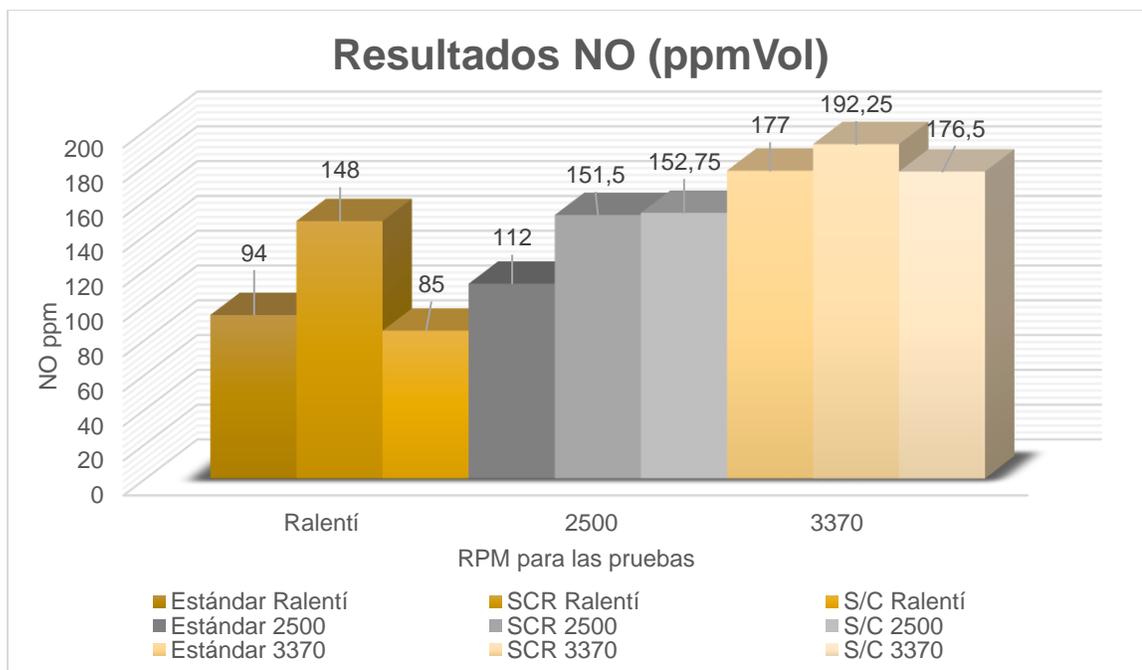
En los resultados mostrados en la Figura 104, se observa que la reducción de NO en ralentí no sucede cuando se utiliza el catalizador SCR, ya que existe un aumento del 22,77% mientras que usando el sistema completo de inyección las emisiones de NO bajan un 9,81% con respecto al estándar.

Observando los resultados a 2500 RPM, hay aumento tanto usando el catalizador SCR y con el sistema completo, de 46,76% y 25,35% de la contaminación por monóxidos de nitrógeno, respectivamente. En los resultados obtenidos a 3370 RPM hay una disminución de la contaminación con el catalizador SCR de 2,25, mientras que al inyectar AdBlue se da una reducción del 32,15%

- “T1” sin Accesorios

Figura 105

Resultados de NO en la tarde sin accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones sin accesorios en la tarde de NO en las diferentes condiciones.

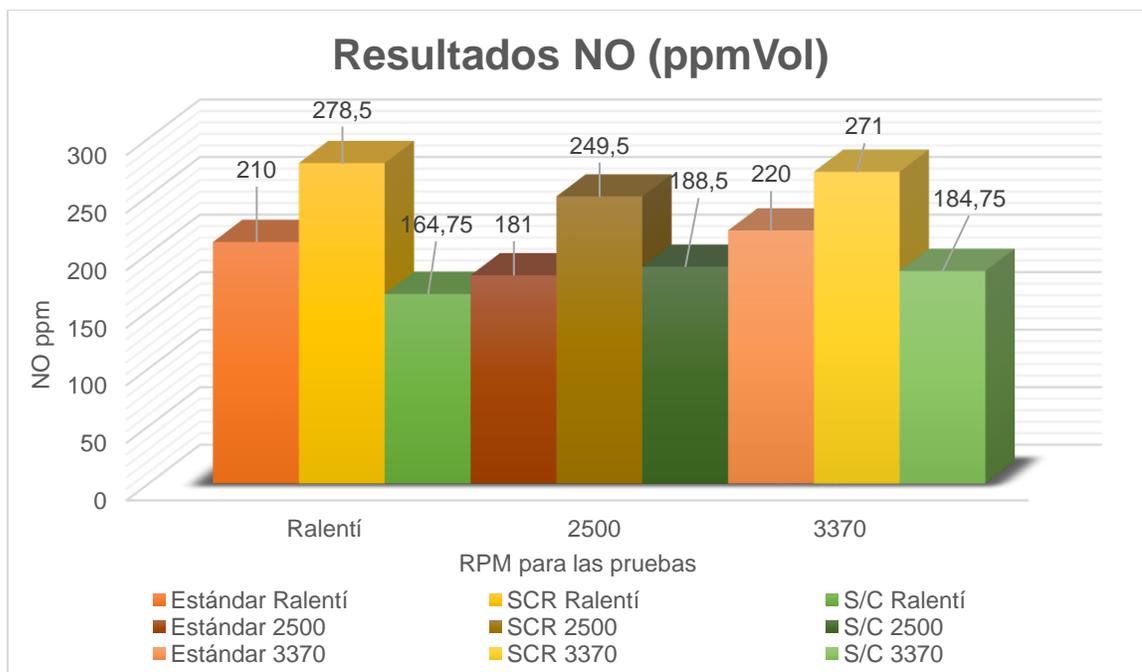
De acuerdo con la Figura 105, existe un aumento de NO en ralentí utilizando el catalizador SCR, del 57,44% mientras que usando el sistema completo de inyección las emisiones de NO bajan un 9,57% con respecto al estándar.

En las pruebas a 2500 RPM, hay aumento con el catalizador SCR y con el sistema completo, de 35,26% y 36,38% de la contaminación por monóxidos de nitrógeno, respectivamente. Por último, a máximas revoluciones hay una disminución de la contaminación con el sistema completo de 0,28%, mientras que con el catalizador SCR ocurre lo contrario ya que hay un aumento de las emisiones en un 8,62%.

- “T1” con Accesorios

Figura 106

Resultados de NO en la tarde con accesorios



Nota. La figura muestra los resultados de las mediciones con accesorios en la tarde de NO en las diferentes condiciones.

Como se observa en la Figura 106, la reducción de NO en ralentí no sucede en la condición solo con el catalizador SCR, ya que existe un aumento del 32,61% mientras que usando el sistema completo de inyección las emisiones de NO bajan un 21,54% con respecto al estándar.

En los resultados a un régimen de 2500 RPM, hay aumento tanto usando el catalizador SCR y con el sistema completo, de 37,84% y 4,14% de la contaminación por monóxidos de nitrógeno, respectivamente. Y en los resultados a un régimen de 3370 RPM hay una disminución de la contaminación con el sistema completo de 16,02%, mientras que con el catalizador SCR ocurre un aumento de las emisiones en un 23,18%.

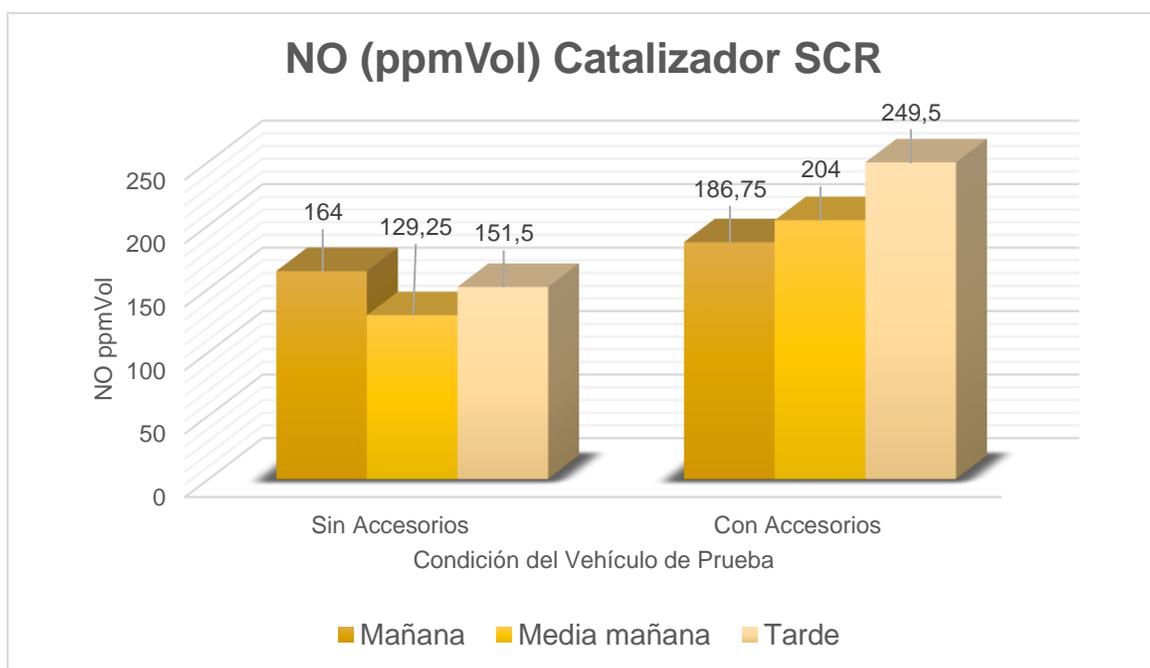
4.3.25. Análisis de NO por Condición

En este análisis se compara los valores de un mismo sistema de escape con diferentes estados del vehículo, es decir, con los accesorios activados y desactivados, para observar la incidencia de estos en la variación de monóxidos de nitrógeno.

- **Catalizador SCR**

Figura 107

Resultados de NO por condición con el catalizador SCR a 2500 rpm

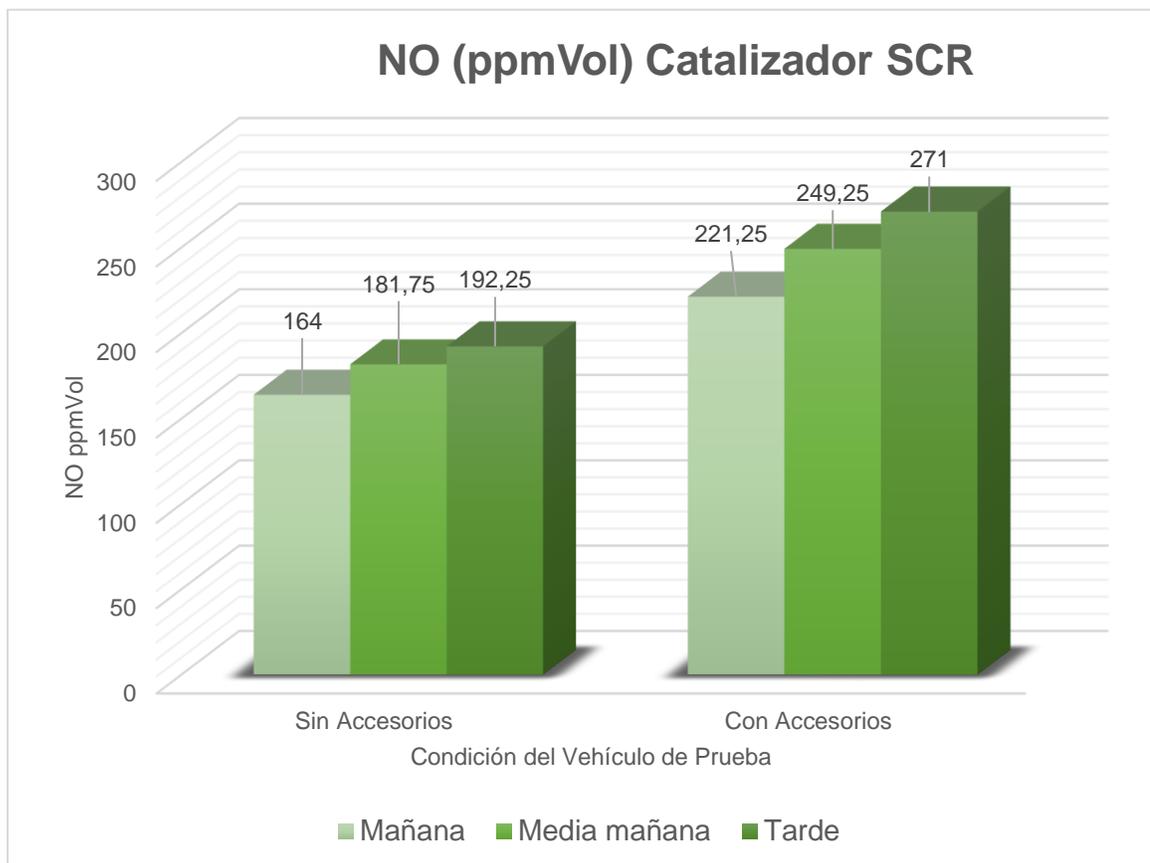


Nota. La figura muestra los resultados de NO sin y con accesorios a 2500 rpm con el catalizador SCR.

Tal y como se muestra en la Figura 107, al analizar sin accesorios activados la contaminación más baja por NO, se obtiene en la media mañana con un resultado de 129,25 ppm Vol, mientras que se eleva un 21,19% como máximo en la mañana y con accesorios encendidos, todos los valores se elevan, pero las emisiones más bajas se dan en la mañana con un valor de 186,75 ppm Vol, y la más alta en la tarde con 249,5 ppm Vol.

Figura 108

Resultados de NO por condición con el catalizador SCR a 3370 rpm



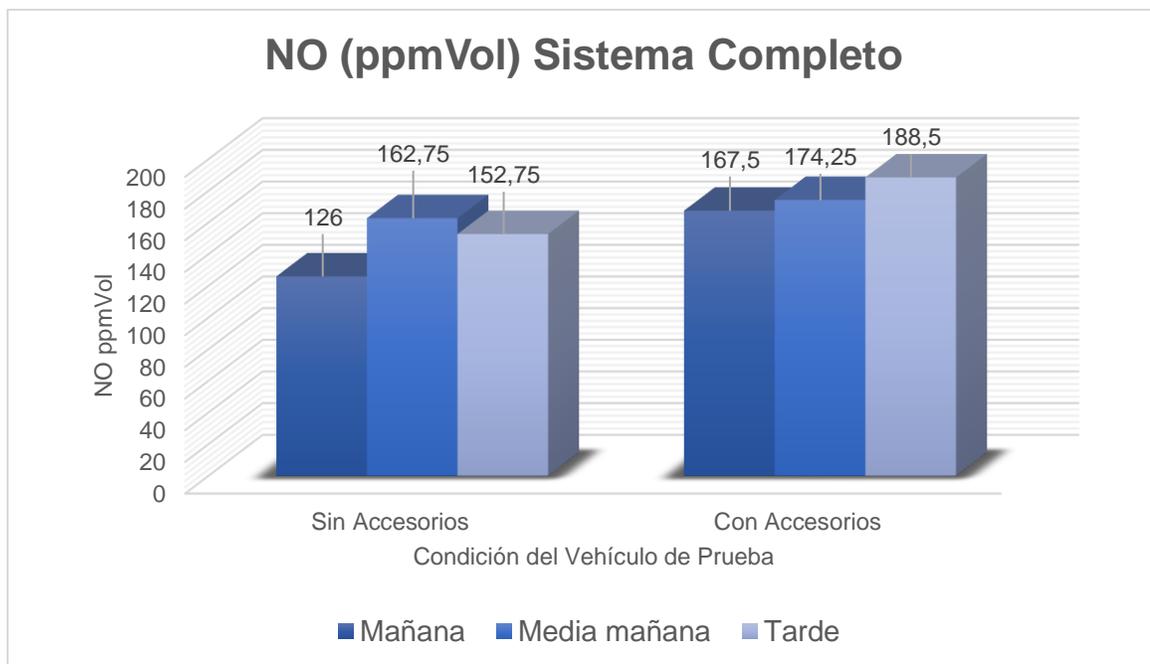
Nota. La figura muestra los resultados de NO sin y con accesorios a 3370 rpm con el catalizador SCR.

Al analizar la Figura 108, se obtiene el valor más bajo en la mañana con 164 ppm Vol de NO y se eleva progresivamente hasta en un 17,22% en la tarde. Mientras que, con los accesorios activados, ocurre la misma tendencia, empezando con las emisiones más bajas en la mañana con 221,25 ppm Vol y en la tarde de 271 ppm Vol.

- **Sistema Completo**

Figura 109

Resultados de NO por condición con el sistema completo a 2500 rpm

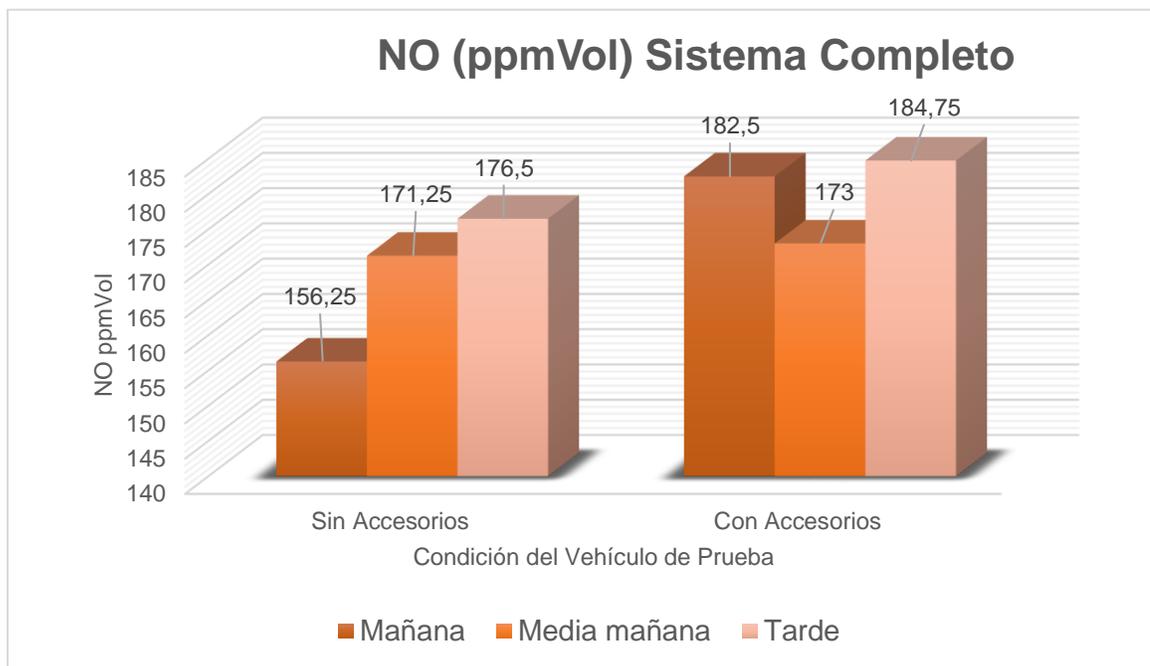


Nota. La figura muestra los resultados de NO sin y con accesorios a 2500 rpm con el sistema de inyección completo.

Como se muestra en Figura 109, al analizar sin accesorios activados la contaminación más baja por NO, se da en la mañana con un resultado de 126 ppm Vol, mientras que se eleva un 29,16% como máximo en la media mañana. Y con accesorios encendidos, todos los valores se elevan, pero las emisiones más bajas se dan en la mañana con un valor de 167,5 ppm Vol, y la más alta en la tarde con 188,5 ppm Vol.

Figura 110

Resultados de NO por condición con el sistema completo a 3370 rpm



Nota. La figura muestra los resultados de NO sin y con accesorios a 3370 rpm con el sistema de inyección completo.

En la Figura 110 se muestran los resultados sin la activación de accesorios dando el resultado más bajo en la mañana con 156,25 ppm Vol de NO y se eleva progresivamente hasta en un 12,96% en la tarde, así como con los accesorios activados, el valor más bajo de contaminación se entrega es en la media mañana de 173 ppm Vol y se eleva en la tarde hasta un máximo de 184,75 ppm Vol representando el 6,79% de incremento con respecto a la media mañana.

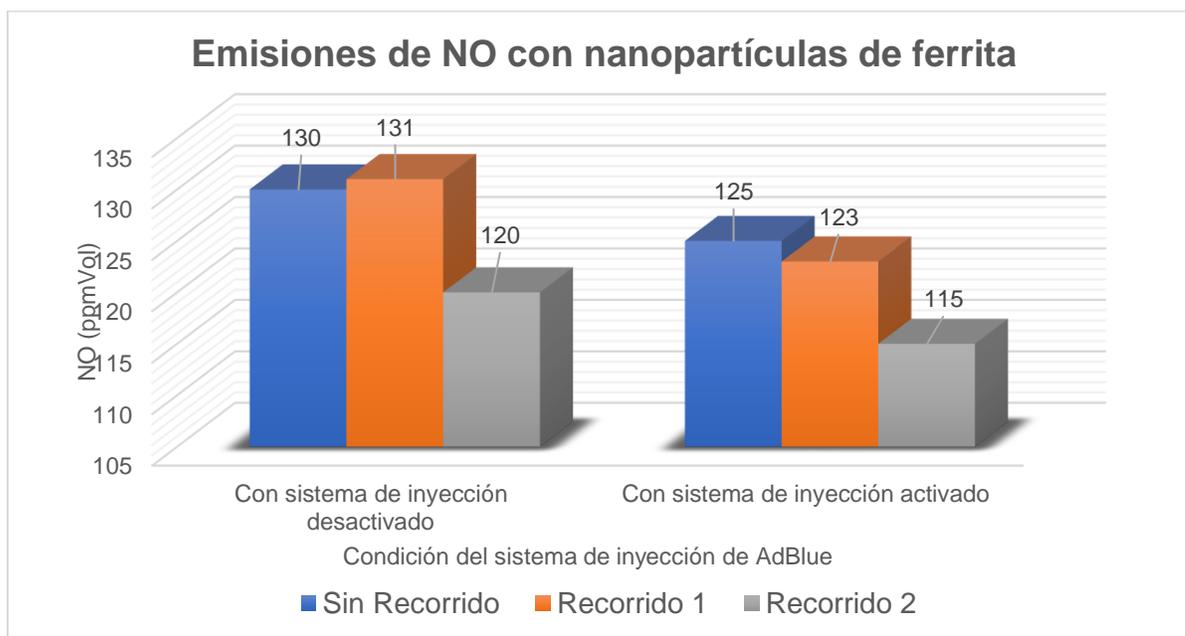
4.3.26. Análisis de NO con Nanopartículas de Ferrita

Para este análisis se implementó un filtro mallado el cual internamente se colocaron las nanopartículas de ferrita, las cuales actuarán como agente reductor de los gases de escape.

Se realizaron tres pruebas, una sin haber realizado recorrido alguno con las nanopartículas de ferrita, otra después de un recorrido de 80 km sin inyectar AdBlue, por último, se realizó otra prueba de ruta, esta vez inyectando AdBlue, las mediciones se realizaron con el sistema de inyección activado y desactivado.

Figura 111

Resultados de NO con N.F. como catalizador a 2500 rpm

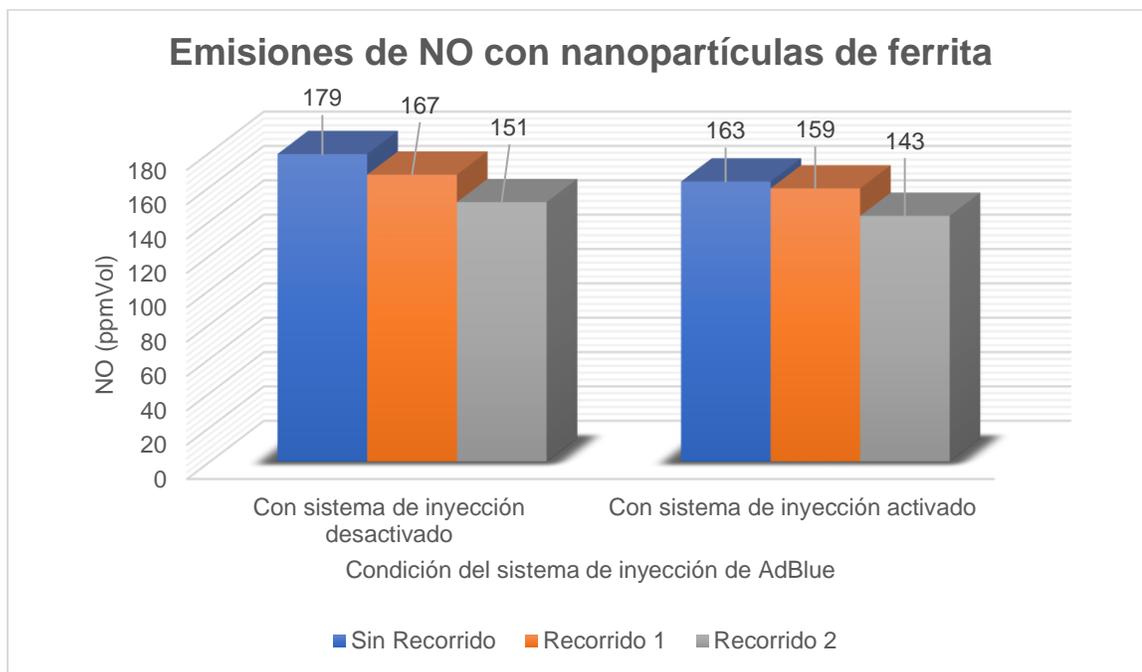


Nota. Resultados de NO de acuerdo con los recorridos y con la activación y desactivación del sistema a 2500 rpm.

Como se observa en la figura Figura 111, las emisiones de monóxidos de nitrógeno sin inyectar AdBlue medidas a 2500 rpm, se mantiene casi constante en las mediciones después de cada recorrido realizado, aun así, se reduce a 11 ppm Vol lo que representa un 8,40%, después del recorrido 2 que se realizó inyectando AdBlue con respecto a la segunda medición. La contaminación por NO cuando se utiliza tanto las nanopartículas como el sistema de inyección de AdBlue, se reduce al realizar las mediciones después del segundo recorrido en un 8% con respecto a la primera medición y en un 6,5% con respecto a los resultados después del primer recorrido.

Figura 112

PPM de NO con N.F. como catalizador a 3370 rpm



Nota. Resultados de NO de acuerdo con los recorridos y con la activación y desactivación del sistema a 3370 rpm.

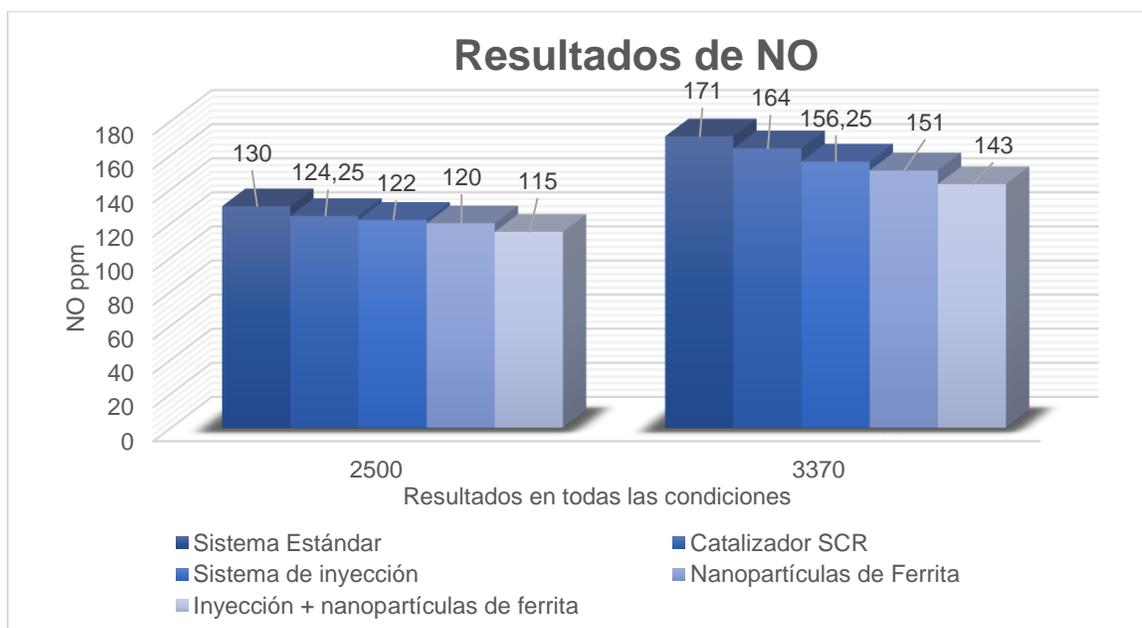
En la Figura 112 se observa los datos de las emisiones de monóxido de nitrógeno sin inyectar AdBlue medidas a 3370 rpm, se va reduciendo conforme se realizan las mediciones después de cada recorrido realizado, se reduce a 28 ppm Vol lo que representa un 15,64 %, después del recorrido 2 que se realizó sin inyectar AdBlue con respecto a la primera medición y un 9,59% con respecto a la segunda medición; cuando se utiliza tanto las nanopartículas como el sistema de inyección AdBlue, los valores se reducen después del segundo recorrido en un 12,27% con respecto a la primera medición y en un 10% de la medición después del primer recorrido.

4.3.27. Análisis de NO con todas las condiciones

Para observar la incidencia de la implementación de las nanopartículas de ferrita en el sistema de escape como agente reductor. Los resultados previamente analizados se los comparará con los datos obtenidos al momento de usar el sistema estándar, el catalizador SCR y el sistema de inyección de AdBlue.

Figura 113

PPM de NO con S.I. y N.F.



Nota. Resultados de NO de todos los escenarios en los que se realizaron la medición.

Como se muestra en la figura Figura 113, se tomó en cuenta los valores promedio obtenidos en todos los escenarios y/o circunstancias para compararlos entre sí; por lo que se entiende que, las emisiones más bajas por NO se obtuvieron cuando se usa las nanopartículas de ferrita juntamente con la inyección de AdBlue; ya que a 2500 RPM se reduce un 11,54% con respecto al estándar.

Por otro lado, a 3370 RPM, las emisiones más bajas también se miden combinando los dos agentes reductores, reduciéndose con respecto al estándar en un 16,37%.

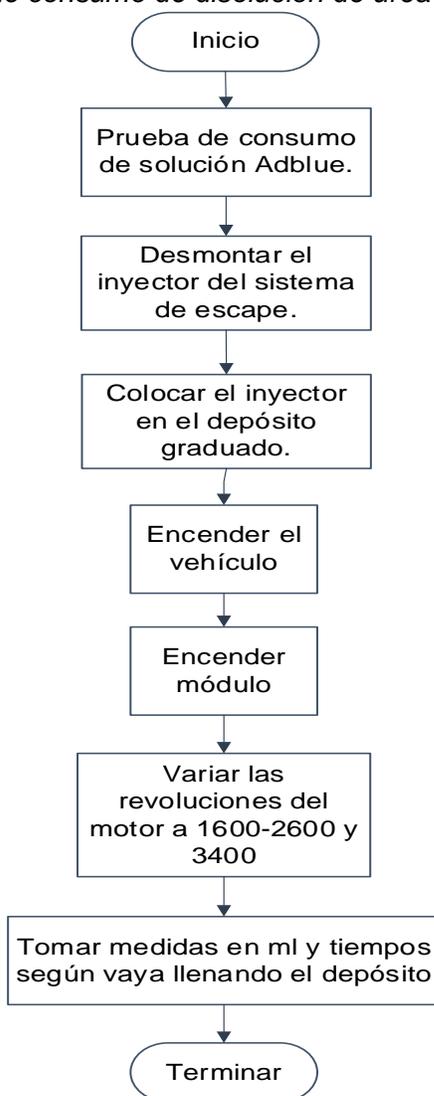
4.4. Consumo de AdBlue

Las pruebas de consumo volumétrico de la solución se hicieron con un depósito graduado igual que el instalado en el vehículo y con la activación del módulo que controla todo el funcionamiento del sistema.

La prueba se realizó tomando tiempos de consumo respecto a regímenes de giro del motor.

Figura 114

Diagrama de flujo prueba de consumo de disolución de urea



Nota. Procedimiento para determinar el consumo de AdBlue del sistema SCR mediante un ensayo volumétrico.

Tabla 28

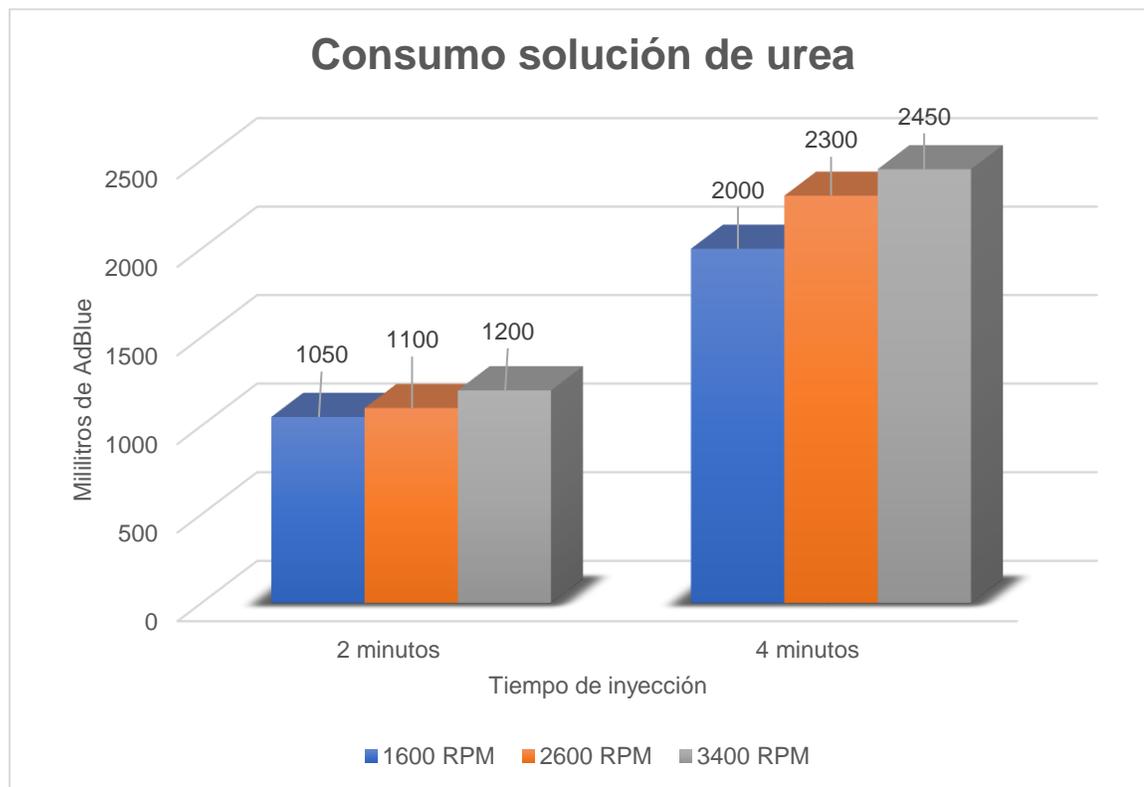
Tabla de consumo de solución a diferentes regímenes y tiempo de giro

| | 1600 RPM | 2600 RPM | 3370 RPM |
|--------------------|----------|----------|----------|
| A 2 minutos | 1050 ml | 1100 ml | 1200 ml |
| A 4 minutos | 2000 ml | 2300 ml | 2450 ml |

Nota. En la tabla se observa los datos obtenidos de consumo de la solución de urea a diferentes regímenes de giro y tiempo con una inyección totalmente abierta.

Figura 115

Gráfica de consumo de la solución de urea



Nota. Los consumos de disolución de urea por parte del sistema SCR, se muestran en la gráfica.

En la Figura 115 se puede observar un consumo de la solución según regímenes de giro y tiempos de funcionamientos siendo estos que en 2 minutos de funcionamiento a 1600, 2600 y 3370 revoluciones por minuto del motor se consumieron 1050, 1100 y 1200 mililitros respectivamente.

A los 4 minutos de funcionamiento se pudo evidenciar que el consumo de solución a 1600, 2600 y 3370 revoluciones por minuto fue de 2000, 2300 y 2450 mililitros respectivamente de lo cual se deduce que a mayor tiempo de funcionamiento y mayores revoluciones mayor será el consumo de la solución.

- **Consumo de urea respecto a consumo de combustible**

Al realizar la prueba de ruta de 80 km de distancia, se tomó en cuenta el nivel inicial tanto del depósito de solución de urea como del combustible del V.P.

Figura 116

Nivel de combustible inicial



Nota. La figura muestra el tablero de instrumentos con el nivel de combustible antes de realizar a prueba de ruta.

Como se observa en la figura Figura 116, el nivel de combustible se lo referencia por pequeñas líneas, estando al principio con un nivel de $\frac{11}{12}$ en proporción de lo que indica el tablero.

Para calcular el volumen en litros del combustible se recurrió al manual y muestra la capacidad máxima del tanque que es de 100 *lt*, por lo que en ese momento el tanque tenía 91,66 *lt* de combustible.

Figura 117

Nivel de combustible final



Nota. La figura muestra el tablero de instrumentos con el nivel de combustible después de realizar a prueba de ruta.

Tras 80 km recorridos como se observa en la figura Figura 117, el nivel de combustible bajo $\frac{2}{12}$ o $\frac{1}{6}$ de su capacidad, haciendo la conversión a litros da que en total se consumió aproximadamente 16,66 *lt* de combustible.

Al realizar la prueba se colocó en el depósito de AdBlue 3,5 lt de dicho aditivo, tras recorrer la distancia de la ruta de prueba, se observó que se consumió aproximadamente 2 litros de AdBlue. Por ende, se puede decir que, por cada 16,66 *litros* de combustible ($\frac{1}{6}$ o “2 líneas” del tablero) se consume 2 litros de AdBlue, esto se consume en 80 km y va a depender de la forma de conducción y carga del vehículo.

Capítulo V

5. Marco Administrativo

Se especifica todos los recursos utilizados en la elaboración de este proyecto de investigación y son: recursos económicos, humanos, materiales y logísticos que garantizaron la factibilidad y viabilidad de este; de igual manera se muestran las conclusiones y recomendaciones obtenidas como resultado del proyecto de investigación denominado: “Análisis del proceso de reducción catalítica selectiva como catalizadores para el control de emisiones en vehículos con ciclo diésel”.

5.1. Factibilidad

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se tomó en cuenta la optimización y disponibilidad los recursos a usarse como los tecnológicos, económicos y materiales para así poder cumplir con los objetivos planteados.

5.1.1. Recursos Materiales

Los recursos materiales los cuales fueron utilizados para la investigación se detallan en la Tabla 29:

Tabla 29

Recursos materiales

| Cantidad | Descripción |
|----------|-----------------------------|
| 1 | Catalizador SCR |
| 4 | Componentes electrónicos |
| 6 | Componentes eléctricos |
| 1 | Opacímetro 57-220 |
| 1 | Analizador de gases AGS 688 |
| 3 | Tubos Metálicos de 2 ½ in. |
| 20 | Materiales adicionales |

| Cantidad | Descripción |
|----------|----------------------------------|
| 1 | Bomba de inyección |
| 1 | Inyector de urea |
| 1 | Sensor de nivel de urea |
| 1 | Plancha de acrílico |
| 1 | Caneca de AdBlue |
| 1 | Diagrama eléctrico motor de V.P. |

Nota. En la tabla se observa los recursos materiales para la adaptación del sistema de inyección de AdBlue.

5.1.2. Recursos Humanos

En la Tabla 30 se detalla el talento humano que aportó conocimientos y experiencia para la elaboración del proyecto de investigación.

Tabla 30

Recursos humanos

| Orden | Nombre | Función |
|-------|----------------------|---|
| 1 | Steven Gallo | Investigador |
| 2 | Sebastián Zapata | Investigador |
| 3 | | Director del proyecto |
| 4 | | Investigador |
| 5 | Ing. Leonidas Quiroz | Analista y asesor en manejo de equipos de emisiones |
| 6 | | Investigador - Analista de emisiones vehiculares |

Nota. En la tabla se observa el talento humano que aportó para la realización del proyecto de investigación.

5.1.3. Recurso Financiero

El financiamiento usado por los investigadores para la realización del proyecto de investigación fue de \$2116,50 que se detalla en la Tabla 31 y Tabla 32.

Tabla 31

Costos recursos materiales

| Orden | Descripción | Costo Unitario | Cantidad | Total |
|--------------|--|----------------|----------|----------------|
| 1 | Catalizador SCR | 980,00 | 1 | 980,00 |
| 2 | Nanopartículas de ferrita | 0,85/gr | 100 gr | 85,00 |
| 3 | Kit inyección de urea al 32,5% (Depósito, bomba, inyector) | 600,00 | 1 | 600,00 |
| 4 | Solución de urea al 32,5% (10 lt.) | 32,00 | 1 | 32,00 |
| 5 | Tubo negro de 2 ½ in. | 5,00/m | 2 m | 10,00 |
| 6 | Pantalla LCD | 10,00 | 1 | 10,00 |
| 7 | Arduino UNO | 20,00 | 1 | 20,00 |
| 8 | Mangueras alta presión | 3,00/m | 5 m | 15,00 |
| 9 | Cable SWG 18 | 0,90/m | 5 m | 4,50 |
| 10 | Plancha de acrílico | 10,00 | 1 | 10,00 |
| Total | | | | 1766,50 |

Nota. En la tabla se observan a detalle los costos de todo el material usado para la realización del proyecto de investigación.

Durante el desarrollo de la investigación se presentaron imprevistos económicos que se sumaron a valor total del presupuesto como se muestran en la Tabla 32.

Tabla 32*Costos imprevistos*

| Orden | Descripción | Costo Unitario | Cantidad | Total |
|--------------|--|----------------|----------|--------|
| 1 | Mantenimiento preventivo de analizador de gases y opacímetro | 100,00 | 2 | 200 |
| 2 | Corte acrílico laser | 75,00 | 2 | 150,00 |
| Total | | | | 350,00 |

Nota. En la tabla se observa la inversión adicional que se adicionó al presupuesto del proyecto.

5.1.4. Recursos Tecnológicos

Los recursos tecnológicos son los que ayudaron a determinar los datos para poder analizar los resultados del proyecto realizado que se describen en la Tabla 33.

Tabla 33*Recursos tecnológicos*

| Software | Descripción |
|-------------------------------|---|
| Simulador de circuitos | Software para el desarrollo de circuitos en PCB |
| Simulador CAD | Software para la simulación de fluidos |
| Simulador de fluidos | Software para la simulación de circuitos hidráulicos |
| Software de análisis de gases | Software que trabaja en conjunto con el analizador de gases |
| Programa para opacímetro | Software que trabaja en conjunto con opacímetro |

| Software | Descripción |
|-------------------------|---|
| Paquete de Office | Programa para desarrollar documentos de escritura y cálculo |
| Equipos | Descripción |
| Osciloscopio DS203 | Equipo para la visualización de señal de sensores en tiempo real |
| Multímetro | Equipo para verificar continuidad en los circuitos y tensiones. |
| Analizador AGS-688 | Equipo que mide los gases expulsados del sistema de escape |
| Contador de RPM MGT-300 | Equipo para verificar las revoluciones y temperatura del motor en tiempo real |
| Opacímetro 57-220 | Equipo que mida la opacidad de los gases en el sistema de escape |
| Suelda MIG | Equipo utilizado para soldar el sistema de escape |

Nota. En la tabla se observa los recursos tecnológicos empleados para el desarrollo del proyecto.

Conclusiones

- Se fundamentó con información técnica-científica los métodos y sistemas de reducción catalítica selectiva en catalizadores para la reducción de NO_x, a fin de implementar el sistema de reducción catalítica selectiva, controlado electrónicamente por inyección de AdBlue en el sistema de escape del motor diesel del V.P.
- Se empleó un filtro para los gases de escape, conformado internamente por nanopartículas de ferrita, con la finalidad de reducir los óxidos nitrosos y opacidad.
- Los procesos de reducción catalítica selectiva son métodos eficientes para la reducción de emisiones en fuentes móviles – automotores con ciclo diesel de carga pesada hasta en un 25% en cuanto a opacidad y en un 16% en la reducción de gases NO_x.
- Se alcanzó una disminución de las emisiones de gases, hasta en aproximadamente 25% menos opacidad únicamente usando el catalizador SCR sin inyectar la AdBlue, y en casi 6% inyectando urea en el sistema de escape, mientras que la reducción de óxidos nitrosos se dio alrededor del 16% como máximo a 3370 rpm y hasta en 11,50% a 2500 rpm.
- Se realizaron pruebas de opacidad en el laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga; mediante el opacímetro CARTEK 57-220 se obtuvieron resultados con el sistema de escape estándar, con el uso únicamente del catalizador SCR, con el sistema de inyección de urea al 32,5% completo, con las nanopartículas de ferrita y finalmente con todo lo previamente mencionado en conjunto.

- El análisis de las emisiones de gases permitió determinar la fiabilidad tanto del sistema SCR como de las nanopartículas de ferrita, así como también de ambos en conjunto; es así como, se realizaron pruebas en el laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, mediante el analizador de gases BrainBee AGS-688.
- Al realizar las mediciones de opacidad se pudo determinar el horario y el estado del vehículo en el que se puede realizar las mediciones para tener los índices de contaminación más bajos; por lo que, el valor mínimo de opacidad sin accesorios se obtuvo de 0,5% usando solamente el catalizador SCR durante la media mañana, mientras que el más alto se da en la mañana con 0,58%. Por otro lado, al usar el sistema completo de inyección de AdBlue, la opacidad mínima es de 0,63% en la mañana y la máxima de 1% en la tarde. En cualquier caso, pasaría una revisión técnica vehicular.
- Los resultados de opacidad al usar accesorios aumentan significativamente con respecto a no usar los accesorios del V.P. Es así como se obtuvo un valor mínimo de opacidad de 0,52% usando únicamente el catalizador SCR en la media mañana, y un máximo en este uso de 0,75% en la tarde. Asimismo, al usar el sistema completo SCR, se registra un valor mínimo de 1,13% en la media mañana y el máximo 1,71% en la tarde. Aun así, en cualquier escenario con accesorios, los valores no superan los límites dictaminados por la norma NTE INEN 2207:2002.
- Al implementar las nanopartículas de ferrita como agente reductor, la opacidad resultante al momento de realizar las mediciones fue de 0,7% después de realizado el recorrido de 80 km sin inyectar AdBlue. Mientras que la mayor contaminación por opacidad resultó después del recorrido inyectando AdBlue, el

cual resultó de 1,12%. En cualquiera de los escenarios los valores están por debajo de los límites permisibles por la norma INEN.

- Cuando se trabajan en conjunto, tanto las nanopartículas de ferrita como la inyección de AdBlue, como agentes reductores, se obtuvo un valor elevado en la medición antes de realizar recorrido alguno, el cual fue de 4,01% de opacidad. Por otro lado, al realizar el recorrido de 80 km inyectando AdBlue, la opacidad disminuyó 73,31%, dando un valor de 1,07%. No obstante, el V.P. pasaría la revisión técnica vehicular.
- Las emisiones por opacidad del vehículo de prueba resultaron en que la reducción máxima se obtuvo utilizando solamente el catalizador SCR, en 25,37%, con respecto al sistema estándar. Mientras que al utilizar nanopartículas de ferrita juntamente con la inyección del aditivo, aumento en 59,7% la contaminación por opacidad con respecto al estándar. Por tanto, es eficiente usar solamente el catalizador SCR e incluso hasta el sistema de inyección en algunos escenarios, mas no las nanopartículas de ferrita para reducir la opacidad.
- El porcentaje volumétrico de CO tiende a disminuir con respecto al resultado estándar. A 2500 rpm, usando solamente el catalizador SCR, se obtiene un promedio de emisiones de CO de 0,245 % Vol en la tarde que es cuando arroja el valor más bajo, mientras que en la media mañana es de 0,27 % Vol siendo este último la contaminación más alta por CO, cuando no se utilizan los accesorios; a 3370 rpm se tiene un máximo de 0,17% Vol en la mañana y media mañana mientras que en la tarde disminuye hasta 0,16% Vol de CO. Por último, al utilizar el sistema de inyección de AdBlue, se tiene un valor mínimo de porcentaje de CO de 0,21% Vol en la media mañana y un máximo de 0,24% en

la mañana, estos últimos a 2500 rpm; por otro lado, a 3370 rpm, el mínimo es de 0,133% y el máximo de 0,145% en los mismos horarios antes mencionados.

- Las emisiones más bajas de CO resultantes del V.P. se dan en la media mañana, sin encender los accesorios e inyectando la solución de urea. Los valores más elevados obtenidos se proporcionaron a 2500 rpm y disminuye conforme las revoluciones del motor aumentaban.
- Al implementar las nanopartículas de ferrita como agente reductor, se produjo un aumento de las emisiones tanto a 2500 rpm como a 3370 en relación con el sistema de inyección en 9,52% y 5,26% respectivamente. Al combinar ambos agentes reductores se produce una reducción significativa de las emisiones por CO, en 33,33% a 2500 rpm y en 32,33% a 3370 rpm con respecto al valor más bajo utilizando el sistema de inyección de urea. En cualquier caso, las emisiones por CO se redujeron en relación con el sistema de escape estándar. Se puede afirmar que los sistemas de reducción catalítica ayudan a reducir los monóxidos de carbono.
- El porcentaje de CO₂ obtenido durante las mediciones con el catalizador SCR sin accesorios a 2500 rpm arroja el valor más bajo de 2,35% en la mañana, mientras que el más alto se registra en la tarde con 2,48% de emisiones de CO₂; a 3370 rpm el valor mínimo se da en la mañana con 3,34% y el máximo en la media mañana y tarde con 3,38%. Por otro lado, al usar el sistema de inyección de AdBlue, en la mañana se obtiene a 2500 rpm el valor más bajo de 2,5% y a 3500 rpm de 3,4 %.

- Con el uso de las nanopartículas de ferrita, las emisiones de CO₂ aumentan a 2500 y a 3370 rpm, en 10,17% y en 6,06% respectivamente, en base a las emisiones con el sistema estándar. Al utilizar tanto las nanopartículas como el sistema de inyección de urea, los valores se elevan en 15,67% a 2500 rpm y en 13,93% a 3370 con respecto al estándar. En ninguno de los casos la contaminación se reduce en relación con el estándar, salvo en 0,43% utilizando el catalizador SCR. Por lo que, los sistemas SCR, no ayudan a reducir las emisiones por dióxidos de carbono.
- Las partículas por millón de HC resultantes en las pruebas con el catalizador SCR, disminuyen con respecto al sistema estándar, el resultado mínimo a 2500 rpm da 0 ppm Vol tanto en la mañana y en la media mañana, mientras que en la tarde las emisiones alcanzan 1,25 ppm de HC. Al tiempo que, con el sistema de inyección de urea, la contaminación aumenta al obtenerse un valor mínimo de 1,25 ppm en la tarde, y un máximo en la media mañana de 4,5 ppm Vol. Analizando a 3370 rpm, ocurre el mismo caso, ya que existe reducción al usar el catalizador SCR y el sistema de inyección de AdBlue.
- Con el uso de las nanopartículas de ferrita, se presenta un aumento considerable a 2500 rpm con respecto al estándar, en 22%. Pero a 3370 rpm, se emitieron 0 ppm de hidrocarburos en todas las mediciones, por lo que a máxima carga del motor se puede decir que las nanopartículas son eficientes. Por otro lado, al combinar las nanopartículas con la inyección de aditivo, se reducen en 33,33% a 2500 rpm y en 68,57% a 3370 rpm en base al sistema estándar; pero aumentan con respecto al sistema de inyección, en 60% y 32% respectivamente.

- Se observa el porcentaje de O₂ resultando de las mediciones, con un valor mínimo de 17,18% en la media mañana y tarde a 2500 rpm y de 16,08% en la media mañana a 3370 rpm, estos últimos con el uso del catalizador SCR, mientras que, con el sistema completo de inyección de AdBlue, a 2500 rpm el mínimo valor es de 17,03% en la tarde y de 15,93% en la mañana a 3370 rpm.
- Por el contrario, al usar las nanopartículas de ferita hay una disminución a 2500 rpm de 0,6% y a 3370 rpm de 0,63%. Al combinar los dos agentes reductores, disminuye aún más las emisiones de oxígeno, tanto a 2500 como a 3370 rpm, en 1,2% y en 1,26% respectivamente. Al no ser mucha la diferencia de emisiones utilizando los sistemas de reducción catalítica, se puede decir que los sistemas no son eficientes en la reducción de emisiones por oxígeno.
- Los resultados de emisiones de NO arrojan que el valor mínimo resultante con el catalizador SCR a 2500 rpm es de 129,25 ppm en la media mañana y de 164 ppm en la mañana a 3370 rpm; por otro lado, con el sistema de inyección el valor mínimo a 2500 es de 126 ppm en la mañana y a 3370 rpm de 156,25 ppm, en el mismo horario.
- El sistema de inyección de AdBlue ayuda a reducir principalmente las emisiones por NO en la mañana, ya que al usar solo el catalizador SCR, se obtiene una reducción del 11,33%, y con el sistema completo de 13,70%, esto a 2500 rpm. Analizando a 3370 rpm se alcanza disminución del 4,65% y de 9,15%, respectivamente.
- Al utilizar las nanopartículas de ferrita a 2500 rpm se reduce en 7,7%, mientras que a 3370 rpm se reduce en 11,70%. En tanto que, al combinar ambos agentes reductores catalíticos, se tiene que a 2500 rpm se reducen un 11,54%, y a 3370 rpm 16,37%. Por lo que el sistema es eficiente para reducir los óxidos nitrosos.

- El ensayo de consumo de AdBlue, arroja que el valor mínimo de consumo se da en 1600 rpm de aproximadamente 1050 ml en 2 minutos y de 2000 ml en 3 minutos. Deduciendo así que el régimen óptimo de revoluciones del motor para el mínimo consumo de AdBlue es de 1600 rpm.
- El consumo de AdBlue que se obtuvo tras la prueba de ruta fue de 2 litros por cada 16,6 litros de combustible consumidos. Esto en alrededor de 80 km de recorrido, y puede variar según la forma de conducción o condiciones externas.

Recomendaciones

- Para futuras investigaciones, implementar un sistema de reducción catalítica selectiva de nueva generación, realizada por Hiroyuki Kojima y publicada por la sociedad de ingenieros automotrices (SAE), buscando resolver aspectos como la temperatura del sistema de escape para el correcto funcionamiento de la inyección de AdBlue.
- De tal manera de alcanzar mediciones de $\pm 0,1$ % de tolerancia de error, el uso del opacímetro OPA 300 LT-BT, puede llegar a valores más precisos de opacidad, para alcanzar análisis más detallados acerca de este parámetro de medición.
- Para tener un control sobre los pulsos de inyección, adquirir un inyector que se pueda intervenir electrónicamente, tal es el caso del inyector Dorman Injector 904-504, se presta para tener mejor precisión al momento de comandar desde el módulo, los tiempos de apertura de este.
- Al ser un sistema de inyección electrónicamente controlado, se recomienda tener la mayor cantidad de señales de entrada, mediante las cuales podrá determinar de mejor manera los anchos de pulso de inyección y el tiempo de inyección de la solución de urea; por lo que para futuros proyectos hacer uso de los sensores APP, TPS, EGTS, VSS, sensor NOx como señales de entrada para este sistema.
- Se realizó una búsqueda sobre otras gamas y modelos de analizadores de gases, y se concluyó que el analizador AGS-688 utilizado en las mediciones de este proyecto es uno de los más actuales y precisos del mercado, pero aun así lo que se recomienda en este caso es realizar los mantenimientos periódicos,

que el manual del equipo recomienda hacer antes de realizar una prueba de gases, y también un mantenimiento anual realizado por el personal autorizado.

- Durante el proceso de programación del módulo de control, las señales de los sensores se obtuvieron mediante pruebas controladas como es el aumento de la temperatura del motor en base a la variación de tensión del sensor y con un osciloscopio en base a la señal que se generaba dependiendo de las revoluciones del motor por lo que se recomienda para una mayor exactitud al extraer las señales, usar el scanner IDUTEX TS190 PRO, especial para vehículos pesados diesel, para así ahorrar tiempo y recursos en la programación del módulo.

Bibliografía

- AEADE. (2020). *Sector automotor en cifras*. <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2021/02/Sector-en-Cifras-Resumen.pdf>.
- AEADE. (2021). *Sector Automotriz en Cifras*. <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2021/02/Sector-en-Cifras-Resumen.pdf>
- Arduino. (2018). *¿Qué es Arduino?*. Arduino. Recuperado el 07 de mayo de 2021 de <https://arduino.cl/que-es-arduino/>.
- Baca, J. C. (2014). *Informe Final Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio, DMQ 2011*. <https://dokumen.tips/documents/informe-final-inventario-de-emisiones-de-contaminantes-secretara-de-ambiente.html>
- Blumberg, K. O., Walsh, M. P., & Pera, C. (2003). Gasolina y diesel de bajo azufre: la clave para disminuir las emisiones vehiculares. *Theicct.Org*, 1–78. https://www.theicct.org/sites/default/files/Bajo_Azufre_ICCT_2003.pdf
- Bosch. (2021). *Unidad de Control de Dosificación Denoxtronic*. Bosch. Recuperado el 12 de marzo de 2021 de <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/exhaust-gas-treatment/dosing-supply-unit/>.
- BOSCH. (2018). *New Bosch diesel technology provides solution to NOx problem - Bosch Media Service*. Bosch. Recypera el 15 de marzo de 2021 de <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/breakthrough-new-bosch-diesel-technology-provides-solution-to-nox-problem-155524.html>.
- Briceño, S., Sagredo, V., & Del Castillo, H. (2011). Síntesis y caracterización de nanopartículas de ferrita $\text{Cu}_{1-x}\text{Co}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ para la reducción catalítica (RCS) del NOx. *Revista Ciencia e Ingeniería* (Vol. 32, Número 1). 11-16.
- Cartek. (2007). *Manual de Operación del Opacimetro Cartek 57-220*. <https://es.scribd.com/document/497871635/Manual-de-operacion-de-Analizador-de-gases-y-opacidad>

Cefic. (2005). *AUS 32 Quality Assurance Guidance Document*.

<https://cupdf.com/document/cefic-aus32-def-quality-assurance-guidance.html>

Ciria, I., & Wearchek Iberica. (2013). *Estudio de la combustión en motores diesel*.

<https://www.yumpu.com/es/document/view/14378277/estudio-de-la-combustion-en-motores-diesel-wearchek-iberica>.

Consuegra, S. (2010). *Módulo Motores Diesel*. Instituto Tecnológico de Soledad

Atlántico. <http://www.itsa.edu.co/docs/17-S-Consuegra-Modulo-Motores-Diesel.pdf>

DatosMacro. (2015). *Vehículos en uso*. Datos Macro. Recuperado el 10 de julio de 2021

de <https://datosmacro.expansion.com/negocios/vehiculos-en-uso>.

Donaire, I. (2013). *Motores diésel: emisión de aerosoles de partículas y gases*.

[https://www.insst.es/documents/94886/175731/N%C3%BAmero+73+\(versi%C3%B3n+pdf\)](https://www.insst.es/documents/94886/175731/N%C3%BAmero+73+(versi%C3%B3n+pdf))

Droadio Villarejo, A. L. (2013). *NOx COV y CFC : química de formación y destrucción*

del ozono atmosférico (A. Droadio Villarejo (ed.)). Real Academia Nacional de Farmacia.

Fernández, P., & Bustos, C. (2020). *Tecnologías probadas para el control de Emisiones*

Atmosféricas en Grupos Electrónicos. <http://filtrosdiesel.cl/wp-content/uploads/2020/12/Blogpost2pdf.pdf>.

Fidalgo, R. (2018, agosto 13). *Qué es el Adblue, cómo funciona y para qué sirve*.

Autocasión. Recuperado el 18 de julio de 2021 de

<https://www.autocasion.com/diccionario/adblue>.

Fino, D., Russo, N., Saracco, G., & Specchia, V. (2006). Catalytic removal of NOx and

diesel soot over nanostructured spinel-type oxides. *Journal of Catalysis*, 242(1), 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2006.05.023>

- FleetGuard. (2010). *Fluido para Sistemas de Escape a Diesel (DEF) Preguntas y Respuestas*. https://www.cumminsfiltration.com/sites/default/files/MB10033-ES_0.pdf.
- Globaltech. (2019). *Analizador de Gases Brain Bee - Modelo AGS-688*. GlobalTech. Recuperado el 25 de septiembre de 2021 de <https://globaltech-car.com/producto/analizador-de-gases-brain-bee-modelo-ags-688/>.
- GreenFacts. (2020). *Óxidos de nitrógeno (NOx)*. Green Facts. Recuperado el 10 de septiembre de 2021 de <https://www.greenfacts.org/es/glosario/mno/oxidos-nitrogeno-nox-oxido-nitrico-no-dioxido-nitrogeno-no2.htm>.
- INEN. (2002). *NTE INEN 2 207:2002*.
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2207.pdf>
- INEN. (2003). *NTE INEN 2349:2003*.
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2349.pdf>
- INEN. (2013). *NTE INEN 2202:2013*.
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2202-1.pdf>
- López Rodríguez, V. (2013). *Teoría de Circuitos y Electrónica*. En *Universidad Nacional de Educación a Distancia*.
- MAHLE. (2018). *BRAIN BEE — AGS-688*. Mahle. Recuperado el 01 de octubre de 2021 de <https://www.brainbee.mahle.com/brainbee/es/product-lines/emission/ags-688/>.
- MAHLE. (2019). *BRAIN BEE — MGT-300 EVO*. Mahle. Recuperado el 01 de octubre de 2021 de <https://www.brainbee.mahle.com/brainbee/es/product-lines/emission/mgt-300-evo/>.
- Mott, R. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada* (Pearson (ed.); 4ta ed.). Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- Parlamento Europeo. (2007). *Emisiones Euro 5 y 6*.
<https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-3602-2007-REV-2/es/pdf>

- Parlamento Europeo y Consejo. (2007). Reglamento (CE) n o 715/2007. *Europa*, 2006(3), 16. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A32007R0715>
- Pérez Belló, M. Á. (2011). *Sistemas Auxiliares del Motor* (Paraninfo S.A (ed.); 1a ed., Vol. 1).
- Pozo, N., & Cabascango, R. (2017). *Estudio comparativo de la opacidad en vehículos livianos* [UIDE]. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2287/1/T-UIDE-1651.pdf>
- Ruiz Saráchaga, A. (2012). *Cálculo y diseño de un sistema de reducción de NOx para un motor de 4T* [Universidad de Cantabria]. <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1510/TFG-AlexandraRuizSarachaga.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SAE. (1996). (SAE) *J1667 Recommended Practice Snap Acceleration Smoke Test Procedure for Heavy-Duty Powered Vehicles*. <http://www.sae.org>
- Sánchez, E. (2016). *Sistemas auxiliares del motor, Formación Profesional* (Editex S.A. (ed.)).
- VDA. (2020). *AdBlue®*. Verban der Automobilindustrie. Recuperado el 18 de mayo de 2021 de <https://en.vda.de/en/topics/innovation-and-technology/ad-blue/AdBlue-brand-list-and-licensees-list.html>.
- Vistazo. (2017, febrero 23). *El parque automotor de carga pesada tiene 220 mil unidades*. Vistazo. Recuperado el 07 de septiembre de 2021 de <https://www.vistazo.com/actualidad/el-parque-automotor-de-carga-pesada-tiene-mil-unidades-AAV157736>.
- Wolfgang Schuch, F. E. (2005). *Manual de la técnica del automóvil BOSCH* (Reverté (ed.); 3a ed., Vol. 3, p. 85). <https://books.google.com/books?id=lvDitKKI1SAC&pgis=1>

Anexos