



# ING. AUTOMOTRIZ

**Proyecto previo a la Obtención del Título de Ingeniero en  
Mecánica Automotriz**

**Autores:** Francisco Javier Chávez Guillén  
Jorge Giovanni Yong Vásquez

**Tutor:** Ing. Fernando Gómez Berrezueta

**Influencia de la Implementación de un Catalizador en las  
Emisiones Generadas por un Equipo Atomizador Agrícola Cifarelli**

**M1200**



**Universidad Internacional del Ecuador**

**Escuela de Ingeniería Automotriz**

**Certificado**

**Ing. Fernando Gómez Berrezueta, MsC.**

CERTIFICA

Que el trabajo titulado “Influencia de la Implementación de un Catalizador en las Emisiones Generadas por un Equipo Atomizador Agrícola Cifarelli M1200”, realizado por los estudiantes: Francisco Javier Chávez Guillén y Jorge Giovanni Yong Vásquez, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple las normas estatutarias establecidas por La Universidad Internacional del Ecuador, en el Reglamento de Estudiantes. Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional. El mencionado trabajo consta de un empastado que contiene toda la información de este trabajo. Autorizo al señor Francisco Javier Chávez Guillén y al señor Jorge Giovanni Yong Vásquez, que lo entreguen a biblioteca de la ESCUELA, en su calidad de custodia de recursos y materiales bibliográficos.

Guayaquil, septiembre 2022

---

Ing. Fernando Gómez Berrezueta, MsC.

Director de Proyecto

**Universidad Internacional del Ecuador**  
**Escuela de Ingeniería Automotriz**  
**Certificado y Acuerdo de Confidencialidad**

Nosotros, Francisco Javier Chávez Guillén y Jorge Giovanni Yong Vásquez declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet; según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

---

Francisco Javier Chávez Guillén

C.I: 0931856868

---

Jorge Giovanni Yong Vásquez

C.I: 0915974356

## **Dedicatoria**

Dedico mi tesis de todo corazón a Dios por ser mi guía y mi refugio en todo momento, a mis padres por el apoyo emocional y económico brindado a lo largo de mi carrera, a mis hermanos por apoyarme en los buenos y malos momentos, a mis abuelitos por sus consejos y a mi papá Pepe por cuidarme desde el cielo.

Francisco Chávez

Dedico este trabajo a Dios por estar siempre a mi lado guiándome cada día con su inmenso amor, también a mi familia que siempre han estado a mi lado brindándome apoyo en toda mi vida. De una manera muy especial a mi esposa e hijas, que ellas son mi motivación, gracias a ellas siempre estoy enfocado en mis metas y para ellas es todo mi esfuerzo que con mucha pasión lo hago.

Jorge Yong

## **Agradecimiento**

En mi primer lugar, agradezco a Dios por darme la salud y la vida, por guiar mis pasos y no abandonarme nunca, con tú ayuda Señor todo es posible. Doy gracias a mis padres por haberme apoyado, aconsejado y guiado durante toda mi vida, muchos de mis logros son gracias a ustedes entre los que se incluye este. Agradezco a mis hermanos y abuelitos por su cariño y su amor incondicional que me transmiten y son la fuerza que me motiva para superarme. Estoy agradecido con la universidad y sus docentes por haberme formado como un buen profesional. Agradezco al Ing. Fernando Gómez por su apoyo durante el desarrollo de mi proyecto. No me puedo olvidar de una persona que es muy especial en mi vida y que sé que desde el cielo está muy alegre por este logro, mi papá Pepe, solo usted y yo sabemos lo mucho que me ayudó y me sacó de apuros en momentos difíciles, muchas gracias abuelito.

Francisco Chávez

Agradezco a Dios por darme vida y salud para poder emprender cualquier meta que me proponga. La universidad siempre será un lugar donde vamos adquirir conocimientos y fortalecemos nuestro carácter. Agradezco por su apoyo y guía a mi tutor el Ing. Fernando Gómez Berrezueta y a todos los profesores que me impartieron clases durante mi carrera universitaria.

Jorge Yong

## Resumen

En el Ecuador, el sector agrícola es una de las principales fuentes de empleo e ingresos económicos, pero no existe una ley que regule las emisiones producidas por los equipos que utilizan las personas que laboran en este sector, a diferencia de los países europeos, donde existen una serie de normativas que establecen el cuidado del medio ambiente y el de la salud del usuario para que pueda realizar sus actividades cotidianas con seguridad.

Por ello, la investigación acerca de la implementación del convertidor catalítico en un equipo atomizador agrícola, tuvo como objetivo reducir el índice de emisiones contaminantes producidas durante el proceso de combustión en el interior del motor de dos tiempos de este equipo, la cantidad de reducción de emisiones fue determinada por medio de fórmulas de balance químico.

Se analizó cada una de las normativas de control y análisis de emisiones nacionales e internacionales que actúan sobre esta temática, esto sirvió de guía para identificar el tipo de prueba de emisiones que debía ser realizada con ayuda de un equipo analizador de gases y para los cálculos de emisiones en base a las pruebas efectuadas en motores con características iguales o similares o incluso que pertenezcan a la misma categoría.

A partir de los resultados obtenidos por medio de los cálculos realizados, se procedió a realizar una comparación y un análisis de manera individual por cada gas emitido por el motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200, con el objetivo de identificar la cantidad de emisiones que fueron reducidas al utilizar el catalizador.

**Palabras clave:** Emisiones, combustión, catalizador, equipo atomizador, analizador de gases, motor.

### **Abstract**

In Ecuador, the agricultural sector is one of the main sources of employments and economic incomes, but there is no law to regulate the emissions produced by the equipment used by the people who work in this area, unlike European countries, where there are a series of regulations to establish the care of the environment and health of the users in order, they can carry out their daily activities safely.

For this reason, the research about the implementation of the catalytic converter in an agricultural atomizer equipment is aimed to reduce the rate of polluting emissions produced during the combustion process inside the two-stroke engine of this equipment, the amount of reduction of emissions was determined with the aid of chemical balance formulas.

Each of the national and international emission control and analysis regulations that act on this subject was analyzed, this served as a guide to identify the type of emission test that should be carried out with the help of a gas analyzer equipment and for the emission calculations based on tests carried out on engines with the same or similar characteristics or even belonging to the same category.

The results were obtained carrying out the necessary calculations, also a comparison and an analysis were carried out individually for each gas emitted by the two-stroke engine of the Cifarelli M1200 agricultural atomizer equipment, the aim of identifying the number of emissions were obtained and reduced by using the catalyst.

**Keywords:** Emissions, combustion, catalyst, spray equipment, gas analyzer, engine.



## Índice General

Certificado.....	iii
Certificado y Acuerdo de Confidencialidad.....	iv
Dedicatoria .....	v
Agradecimiento .....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
Índice General.....	ix
Índice de Tablas .....	xv
Índice de Figuras.....	xvi
Capítulo I.....	1
Antecedentes.....	1
1.1 Tema de Investigación.....	1
1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema.....	1
1.2.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2.2 Formulación del Problema.....	2
1.2.3 Sistematización del Problema .....	2
1.3 Objetivos de la Investigación .....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos .....	3

<b>1.4</b>	<b>Justificación y Delimitación de la Investigación.....</b>	<b>3</b>
<i>1.4.1</i>	<i>Justificación Teórica .....</i>	<i>3</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Justificación Metodológica.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.3</i>	<i>Justificación Práctica .....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.4</i>	<i>Delimitación Temporal.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.5</i>	<i>Delimitación Geográfica.....</i>	<i>5</i>
<i>1.4.6</i>	<i>Delimitación del Contenido .....</i>	<i>5</i>
<b>1.5</b>	<b>Hipótesis.....</b>	<b>6</b>
<b>1.6</b>	<b>Variables de Hipótesis.....</b>	<b>6</b>
<i>1.6.1</i>	<i>Variables Independientes .....</i>	<i>6</i>
<i>1.6.2</i>	<i>Variables Dependientes .....</i>	<i>6</i>
	<b>Capítulo II.....</b>	<b>7</b>
	<b>Marco Referencial.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1</b>	<b>Marco Teórico .....</b>	<b>7</b>
<i>2.1.1</i>	<i>Conceptos Preliminares .....</i>	<i>7</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Particularidades de los Equipos Atomizadores Agrícolas.....</i>	<i>8</i>
<i>2.1.3</i>	<i>Particularidades de los Motores de Dos Tiempos .....</i>	<i>9</i>
<i>2.1.4</i>	<i>Emisiones de los Motores de Dos Tiempos .....</i>	<i>11</i>
<i>2.1.5</i>	<i>Particularidades de los Convertidores Catalíticos .....</i>	<i>12</i>
<b>2.2</b>	<b>Marco Conceptual.....</b>	<b>14</b>

<b>2.2.1</b>	<b><i>Equipo Atomizador de Mochila</i></b> .....	<b>14</b>
<b>2.2.2</b>	<b><i>Motor de Dos Tiempos</i></b> .....	<b>14</b>
<b>2.2.3</b>	<b><i>Convertidor Catalítico</i></b> .....	<b>15</b>
<b>2.2.4</b>	<b><i>Emisiones Contaminantes</i></b> .....	<b>16</b>
<b>2.2.5</b>	<b><i>Equipo Analizador de Gases</i></b> .....	<b>17</b>
	<b>Capítulo III</b> .....	<b>18</b>
	<b>Análisis de la Influencia de la Implementación del Catalizador en Equipo Atomizador Agrícola</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Factores a Considerar para el Análisis de Emisiones</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Diseño Metodológico</b> .....	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>Análisis de Gases Producidos Durante la Combustión</b> .....	<b>20</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Oxígeno</i></b> .....	<b>20</b>
<b>3.3.2</b>	<b><i>Nitrógeno</i></b> .....	<b>21</b>
<b>3.3.3</b>	<b><i>Dióxido de Carbono</i></b> .....	<b>22</b>
<b>3.3.4</b>	<b><i>Hidrocarburos</i></b> .....	<b>22</b>
<b>3.3.5</b>	<b><i>Óxido de Nitrógeno</i></b> .....	<b>23</b>
<b>3.3.6</b>	<b><i>Monóxido de Carbono</i></b> .....	<b>24</b>
<b>3.3.7</b>	<b><i>Vapor de Agua</i></b> .....	<b>25</b>
<b>3.4</b>	<b>Importancia de las Normativas de Emisiones de la Unión Europea</b> .....	<b>26</b>
<b>3.4.1</b>	<b><i>Análisis de la Etapa V de las Normativas de Emisiones de la Unión Europea</i></b> .....	<b>26</b>

3.4.2	<i>Estándares para Motores Utilitarios de Encendido por Chispa</i> .....	27
3.4.3	<i>Clasificación de los Ciclos de Prueba para el Análisis de Emisiones</i> .....	27
3.5	<b>Influencia de la Normativa ISO 8178 en la Medición y Análisis de Emisiones</b> .	28
3.6	<b>Análisis de los Términos y Definiciones de la Normativa ISO 8178</b> .....	28
3.6.1	<i>Ciclo de Prueba</i> .....	28
3.6.2	<i>Acondicionamiento Previo del Motor</i> .....	28
3.6.3	<i>Modo</i> .....	29
3.6.4	<i>Longitud del Modo</i> .....	29
3.6.5	<i>Velocidad Nominal</i> .....	29
3.6.6	<i>Velocidad Intermedia</i> .....	29
3.6.7	<i>Velocidad Baja</i> .....	29
3.6.8	<i>Velocidad Alta</i> .....	29
3.6.9	<i>Familia del Motor</i> .....	30
3.6.10	<i>Torsión</i> .....	30
3.7	<b>Ciclos de Prueba Tipo G</b> .....	30
3.7.1	<i>Aplicaciones de los Ciclos de Prueba Tipo G para el Análisis de Emisiones</i> .....	30
3.7.2	<i>Modos de Prueba y Factores de Ponderación</i> .....	31
3.7.3	<i>Consideraciones para la Realización de las Pruebas</i> .....	31
3.7.4	<i>Elección de un Ciclo de Prueba Apropriado</i> .....	32
3.7.5	<i>Ejemplos de los Ciclos G1, G2 y G3</i> .....	32

<b>3.8</b>	<b>Influencia de la Mezcla Aceite y Gasolina en el Análisis de Emisiones según ISO 8178.....</b>	<b>33</b>
<b>3.9</b>	<b>Influencia de la Implementación del Catalizador en Equipo Atomizador Agrícola Cifarelli M1200 .....</b>	<b>33</b>
	<b>Capítulo IV .....</b>	<b>34</b>
	<b>Pruebas y Análisis de Emisiones Generadas por un Equipo Atomizador Agrícola con y sin Catalizador .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Pruebas de Emisiones en Motores NRSH según la Norma ISO 8178.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1.1</b>	<i>Condiciones para la Realización de la Prueba de Emisiones .....</i>	<b>35</b>
<b>4.1.2</b>	<i>Resultados de los Ciclos de Prueba G1 y G2 según la Norma ISO 8178 .....</i>	<b>35</b>
<b>4.1.3</b>	<i>Resultados Obtenidos según la Norma ISO 8178 .....</i>	<b>36</b>
<b>4.1.4</b>	<i>Valores Promedios de los Ciclos G1 y G2 para Motores Categoría d+e .....</i>	<b>37</b>
<b>4.1.5</b>	<i>Fórmulas para el Cálculo de Emisiones según ISO 8178 .....</i>	<b>42</b>
<b>4.2</b>	<b>Procedimiento para el Análisis de Emisiones en Equipo Atomizador Agrícola.....</b>	<b>43</b>
<b>4.3</b>	<b>Resultados de Pruebas con y sin Catalizador en Equipo Atomizador Agrícola</b>	<b>49</b>
<b>4.3.1</b>	<i>Resultados de Pruebas con y sin Catalizador a 3.005 rpm.....</i>	<b>50</b>
<b>4.3.2</b>	<i>Resultados de Pruebas con y sin Catalizador a 2.555 rpm.....</i>	<b>52</b>
<b>4.4</b>	<b>Cálculo de Emisiones con y sin Catalizador por Método de Balance Químico .</b>	<b>53</b>
<b>4.4.1</b>	<i>Cálculo de Emisiones con Catalizador a 3.005 rpm .....</i>	<b>53</b>
<b>4.4.2</b>	<i>Cálculo de Emisiones sin Catalizador a 3.005 rpm .....</i>	<b>54</b>

<b>4.4.3</b>	<b><i>Cálculo de Emisiones con Catalizador a 2.555 rpm</i></b> .....	<b>54</b>
<b>4.4.4</b>	<b><i>Cálculo de Emisiones sin Catalizador a 2.555 rpm</i></b> .....	<b>54</b>
<b>4.5</b>	<b>Análisis de los Cálculos por el Método de Balance Químico</b> .....	<b>55</b>
<b>4.5.1</b>	<b><i>Análisis de Resultados de los Cálculos con y sin Catalizador a 3.005 rpm</i></b> .....	<b>55</b>
<b>4.5.2</b>	<b><i>Análisis de Resultados de los Cálculos con y sin Catalizador a 2.555 rpm</i></b> .....	<b>59</b>
<b>4.6</b>	<b>Análisis de la Mezcla Aceite y Gasolina en la Medición de Emisiones en Equipo Atomizador Agrícola Cifarelli M1200</b> .....	<b>63</b>
	<b>Conclusiones</b> .....	<b>64</b>
	<b>Recomendaciones</b> .....	<b>66</b>
	<b>Bibliografía</b> .....	<b>67</b>
	<b>Anexos</b> .....	<b>69</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b>	<b><i>Motores Utilitarios de Encendido por Chispa .....</i></b>	<b>27</b>
<b>Tabla 2</b>	<b><i>Datos Técnicos del Motor Toro 48 TZ .....</i></b>	<b>34</b>
<b>Tabla 3</b>	<b><i>Factores para el Análisis de Emisiones en Motor Toro 48 TZ.....</i></b>	<b>35</b>
<b>Tabla 4</b>	<b><i>Ciclos de Prueba G1 y G2 .....</i></b>	<b>36</b>
<b>Tabla 5</b>	<b><i>Proceso de Encendido del Equipo Analizador de Gases .....</i></b>	<b>43</b>
<b>Tabla 6</b>	<b><i>Proceso de Funcionamiento del Equipo Analizador de Gases y del Equipo Atomizador .....</i></b>	<b>44</b>
<b>Tabla 7</b>	<b><i>Proceso de Toma de Datos para el Análisis de Emisiones del Equipo Atomizador Agrícola.....</i></b>	<b>47</b>
<b>Tabla 8</b>	<b><i>Factores para el Análisis de Emisiones en Equipo Atomizador Agrícola .....</i></b>	<b>49</b>
<b>Tabla 9</b>	<b><i>Factores para el Análisis de Emisiones en Equipo Atomizador Agrícola .....</i></b>	<b>50</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b>	<i>Equipo Atomizador Agrícola .....</i>	<b>8</b>
<b>Figura 2</b>	<i>Atomizadora Cifarelli M1200 .....</i>	<b>9</b>
<b>Figura 3</b>	<i>Motor de Dos Tiempos.....</i>	<b>10</b>
<b>Figura 4</b>	<i>Emisiones Producidas por Motores de Dos Tiempos .....</i>	<b>12</b>
<b>Figura 5</b>	<i>Convertidor Catalítico para Equipo Atomizador Agrícola Cifarelli M1200..</i>	<b>13</b>
<b>Figura 6</b>	<i>Equipo Atomizador Agrícola Cifarelli M1200.....</i>	<b>14</b>
<b>Figura 7</b>	<i>Ciclos de Funcionamiento del Motor de Dos Tiempos .....</i>	<b>15</b>
<b>Figura 8</b>	<i>Convertidor Catalítico para Motores de Dos Tiempos .....</i>	<b>16</b>
<b>Figura 9</b>	<i>Gases Contaminantes Emitidos por Motores de Dos Tiempos .....</i>	<b>17</b>
<b>Figura 10</b>	<i>Equipo Analizador de Gases.....</i>	<b>17</b>
<b>Figura 11</b>	<i>Composición del Aire .....</i>	<b>21</b>
<b>Figura 12</b>	<i>Atmósfera .....</i>	<b>21</b>
<b>Figura 13</b>	<i>Emisiones de CO<sub>2</sub> Provenientes del Sector Agrícola .....</i>	<b>22</b>
<b>Figura 14</b>	<i>Emisiones Contaminantes de Hidrocarburos .....</i>	<b>23</b>
<b>Figura 15</b>	<i>Fuentes de Óxido de Nitrógeno .....</i>	<b>24</b>
<b>Figura 16</b>	<i>Coefficiente de Aire <math>\lambda</math>.....</i>	<b>25</b>
<b>Figura 17</b>	<i>Humo en el Escape.....</i>	<b>25</b>
<b>Figura 18</b>	<i>Escalas de Torsión .....</i>	<b>30</b>
<b>Figura 19</b>	<i>Ciclos Tipo G Modos de Prueba y Factores de Ponderación.....</i>	<b>31</b>
<b>Figura 20</b>	<i>Análisis de Emisiones en Motor Toro 48 TZ según la Norma ISO 8178.....</i>	<b>36</b>
<b>Figura 21</b>	<i>Valores Promedios de Potencia de la Subcategoría 5 para Motores Categoría d+e.....</i>	<b>37</b>



<b>Figura 22</b> <i>Valores Promedios de CO de la Subcategoría 5 para Motores Categoría d+e</i> .....	38
<b>Figura 23</b> <i>Valores Promedios de HC de la Subcategoría 5 para Motores Categoría d+e</i> .....	39
<b>Figura 24</b> <i>Valores Promedios de NO<sub>x</sub> de la Subcategoría 5 para Motores Categoría d+e</i> .....	40
<b>Figura 25</b> <i>Valores Promedios de CO<sub>2</sub> de la Subcategoría 5 para Motores Categoría d+e</i> .....	41
<b>Figura 26</b> <i>Valores Promedios Referentes al Consumo de Combustible de la Subcategoría 5 para Motores Categoría d+e</i> .....	42
<b>Figura 27</b> <i>Encendido del Equipo Analizador de Gases</i> .....	43
<b>Figura 28</b> <i>Instalación de Tacómetro en Equipo Atomizador Agrícola</i> .....	45
<b>Figura 29</b> <i>Instalación de Convertidor Catalítico en Equipo Atomizador Agrícola</i> .....	45
<b>Figura 30</b> <i>Puesta en Marcha del Motor de Dos Tiempos del Equipo Atomizador Agrícola</i> .....	46
<b>Figura 31</b> <i>Sonda del Medidor de Emisiones en Tubo de Escape del Equipo Atomizador Agrícola</i> .....	46
<b>Figura 32</b> <i>Aceleración del Motor de Dos Tiempos del Equipo Atomizador Agrícola</i> ....	47
<b>Figura 33</b> <i>Operador del Equipo Analizador de Gases</i> .....	48
<b>Figura 34</b> <i>Datos del Equipo Analizador de Gases</i> .....	48
<b>Figura 35</b> <i>Pruebas con Catalizador a 3.005 rpm</i> .....	51
<b>Figura 36</b> <i>Pruebas sin Catalizador a 3.005 rpm</i> .....	51
<b>Figura 37</b> <i>Pruebas con Catalizador a 2.555 rpm</i> .....	52
<b>Figura 38</b> <i>Pruebas sin Catalizador a 2.555 rpm</i> .....	53

<b>Figura 39</b>	<b><i>Análisis de las Pruebas con y sin Catalizador a 3.005 rpm</i></b>	<b>56</b>
<b>Figura 40</b>	<b><i>Análisis de las Pruebas con y sin Catalizador a 3.005 rpm</i></b>	<b>57</b>
<b>Figura 41</b>	<b><i>Análisis de las Pruebas con y sin Catalizador a 3.005 rpm</i></b>	<b>58</b>
<b>Figura 42</b>	<b><i>Análisis de las Pruebas con y sin Catalizador a 3.005 rpm</i></b>	<b>59</b>
<b>Figura 43</b>	<b><i>Análisis de las Pruebas con y sin Catalizador a 2.555 rpm</i></b>	<b>60</b>
<b>Figura 44</b>	<b><i>Análisis de las Pruebas con y sin Catalizador a 2.555 rpm</i></b>	<b>61</b>
<b>Figura 45</b>	<b><i>Análisis de las Pruebas con y sin Catalizador a 2.555 rpm</i></b>	<b>62</b>
<b>Figura 46</b>	<b><i>Análisis de las Pruebas con y sin Catalizador a 2.555 rpm</i></b>	<b>63</b>

## **Capítulo I**

### **Antecedentes**

#### **1.1 Tema de Investigación**

Influencia de la implementación de un catalizador en las emisiones generadas por un equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200.

#### **1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema**

El sector agrícola en Ecuador presenta una gran cantidad de problemas que deben ser atendidos con urgencia. Uno de ellos es la contaminación generada por los motores de dos tiempos usados en los equipos atomizadores agrícolas, por ello, es importante analizar la problemática y buscar una solución, de tal manera que se puede reducir el índice de contaminación.

##### ***1.2.1 Planteamiento del Problema***

Los agricultores son tan importantes para la población como el agua o el sol. El sector agrícola suministra cada día productos de calidad para una alimentación saludable, también se cultivan productos que sirven para la exportación, por lo tanto, son la fuente esencial de ingreso de divisas para el sector económico del país (FAO, 2018).

En Ecuador, el sector agrícola proporciona el 8% a la producción total anual del país (Producto Interno Bruto). Por medio de este sector se generan varias fuentes de empleo, en el sector rural con lo que contribuyen a reducir la pobreza en el campo (FAO, 2018).

Actualmente en nuestro país no se realizan mediciones periódicas de análisis de emisiones contaminantes en los motores de dos tiempos de los equipos atomizadores agrícolas, es decir, no se conoce el porcentaje exacto de gases emitidos por estos equipos anualmente.

Es evidente que en países europeos las normativas medioambientales en el sector agrícola son estrictas, por ello, los equipos de fumigación vienen provistos con un catalizador, con el objetivo de reducir el impacto ambiental y afectaciones en la salud de las personas.

Por estos motivos, se va a implementar un convertidor catalítico en el equipo atomizador agrícola para que sea capaz de reducir el índice de contaminación, y luego se analizará el porcentaje de reducción de emisiones en comparación con un equipo atomizador agrícola sin catalizador.

### ***1.2.2 Formulación del Problema***

¿El proyecto acerca de la influencia de la implementación del catalizador en equipos atomizadores agrícolas permitirá determinar la variación de emisiones generadas por estos equipos con y sin catalizador?

### ***1.2.3 Sistematización del Problema***

- ¿Cómo funciona el motor de dos tiempos de un equipo atomizador agrícola?
- ¿Cuáles son las normativas medioambientales y factores técnicos a tener en cuenta para el desarrollo de este proyecto?
- ¿El costo de adquisición del convertidor catalítico constituye en una barrera fundamental en el uso de este elemento en los equipos atomizadores agrícolas?
- ¿Cómo se desarrollará el plan de análisis de emisiones contaminantes a realizar en los equipos atomizadores agrícolas?
- ¿Qué tan beneficioso resultaría la implementación del convertidor catalítico desde el punto de vista económico y medioambiental?

### **1.3 Objetivos de la Investigación**

#### ***1.3.1 Objetivo General***

Determinar la variación de emisiones generadas por los equipos atomizadores agrícolas Cifarelli M1200 con y sin catalizador en función de los parámetros de funcionamiento en ralentí, carga media y plena carga.

#### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Analizar los factores influyentes del funcionamiento del motor de dos tiempos en los equipos atomizadores agrícolas con relación a las emisiones producidas.
- Verificar las emisiones que se producen en un motor de dos tiempos para equipos atomizadores agrícolas con y sin catalizador en base a la mezcla de aceite/gasolina y las revoluciones del motor.
- Calcular la cantidad de emisiones de cada uno de los gases de combustión obtenidos a partir de las pruebas realizadas con y sin catalizador mediante el método de balance químico.

### **1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación**

Definidos los objetivos del proyecto de investigación se responderá la pregunta del porque se investiga esta interrogante. Se podrá responder desde diferentes perspectivas, tales como, la teórica, metodológica y práctica.

#### ***1.4.1 Justificación Teórica***

La fundamentación teórica del trabajo va de la mano con temas relacionados al control y análisis de emisiones provocadas por motores de combustión interna, apoyándose de investigaciones anteriores que puedan ser aplicadas en el transcurso del desarrollo del proyecto.

#### ***1.4.2 Justificación Metodológica***

El estudio de la influencia de la implementación del catalizador en equipos atomizadores agrícolas, dará a conocer a los usuarios las ventajas que pueden obtener al implementar el convertidor catalítico en este tipo de equipos, cuyo resultado será reflejado en la reducción de emisiones, prevención de problemas en la salud y en el cuidado del medio ambiente. Por consiguiente, este proyecto más allá de buscar alternativas para reducir la cantidad de emisiones contaminantes generadas por motores de dos tiempos en equipos atomizadores agrícolas, tratará de enfatizar el uso del catalizador en el sector agrícola.

#### ***1.4.3 Justificación Práctica***

A nivel mundial existen diversas acciones que son empleadas con el objetivo de reducir la contaminación ambiental, por ejemplo, la elaboración de sistemas que reducen el consumo de combustible o la implementación de normativas ambientales que están enfocadas hacia un sector determinado.

Esta investigación va a estimar la reducción de emisiones contaminantes producto de la implementación del catalizador en motores de dos tiempos en equipos atomizadores agrícolas.

#### ***1.4.4 Delimitación Temporal***

El proyecto se desarrollará desde el mes de septiembre del 2021, hasta julio del 2022, en ese periodo de tiempo se va a realizar la investigación y se van a obtener los resultados en base a los objetivos propuestos.

#### ***1.4.5 Delimitación Geográfica***

La investigación se desarrolla en el taller automotriz Tecni Motors que se dedica al mantenimiento y reparación de vehículos, se encuentra ubicado en el sector de La Garzota Av. Isidro Ayora Mz. 114 B, Sl 2.

#### ***1.4.6 Delimitación del Contenido***

El primer bloque tiene como objetivo analizar el funcionamiento del motor de dos tiempos en equipos atomizadores agrícolas, se debe analizar a cada uno de los componentes del motor de dos tiempos y los ciclos de funcionamiento del mismo.

El segundo bloque está enfocado en verificar las emisiones que se producen en un motor de dos tiempos para equipos atomizadores agrícolas con y sin catalizador en base a la mezcla de aceite/gasolina y las revoluciones del motor mediante un dispositivo analizador de gases.

El tercer bloque está orientado a estimar el impacto ambiental que generan los equipos atomizadores agrícolas en el cultivo de ciclo corto, se deben tomar en cuenta los requerimientos y los parámetros de funcionamiento para motores de dos tiempos de encendido por chispa, estipulados en la normativa ISO 8178-4.

El cuarto bloque aborda el proceso de pruebas realizadas con y sin catalizador con ayuda de un equipo analizador de gases, también se determinan las normativas medioambientales establecidas en el sector agrícola y los beneficios en la salud del operador de este tipo de equipo al implementar el convertidor catalítico.

Finalmente, se obtienen las respectivas conclusiones y recomendaciones en base a las pruebas realizadas con y sin catalizador y los factores a tener en cuenta al realizar algún tipo de actividad con ayuda de los equipos atomizadores agrícolas.

## **1.5 Hipótesis**

La Influencia de la Implementación del Catalizador en Equipo Atomizador Agrícola permitirá obtener excelentes resultados en cuanto a reducción de emisiones hacia el medio ambiente y riesgos en la salud del operador.

Este proyecto de implementación del convertidor catalítico consiste en colocar el catalizador en el tubo de escape del equipo atomizador agrícola, y mediante el dispositivo analizador de gases estimar la reducción de emisiones en base a las distintas condiciones de funcionamiento del equipo.

## **1.6 Variables de Hipótesis**

### ***1.6.1 Variables Independientes***

- Implementación del catalizador.

### ***1.6.2 Variables Dependientes***

- Funcionamiento del equipo atomizador agrícola.
- Emisiones de gases contaminantes.
- Afectaciones a la salud del operador.
- Políticas y normativas medioambientales.



## Capítulo II

### Marco Referencial

#### 2.1 Marco Teórico

##### 2.1.1 *Conceptos Preliminares*

Existen tres aspectos esenciales que adjudican al sector agrícola como pilar fundamental en la economía del Ecuador. Primero, dicho sector representa en promedio el 9,4% del PIB total del estado ecuatoriano. La actividad agrícola es la tercera fuente de ingresos del país, detrás del sector comercial y petrolero. Segundo, la base de la política de soberanía alimenticia donde el estado asegura a los ciudadanos la autosuficiencia de alimentos permanentemente. Tercero, este sector aporta con un superávit a la balanza comercial del país y una fuente primordial de ingresos y divisas por exportaciones.

El Ecuador posee un total de 26.079.000 hectáreas de terreno, donde 11.659.087 son utilizadas para la actividad agrícola. La tierra se encuentra dividida por el uso de suelo, de la siguiente manera:

- 30% Montes y Bosques.
- 29% Pasto Cultivado.
- 12% Cultivos Permanentes.
- 12% Pasto Natural.
- 8% Cultivos transitorios y barbecho.
- 5% Páramos.
- 2% Descanso.
- 2% otros usos.

Como se puede observar, el pasto cultivado comprende el 29% de la superficie, el 12% corresponde al cultivo permanente y el 8% al cultivo transitorio, dando un total del 49% de la superficie utilizada para cultivos (Figura 1).

La región costa está caracterizada por sus pastos cultivados y por la producción de arroz, cacao, banano y café. La región interandina utiliza la mayoría de su tierra en cultivos transitorios y pastos naturales, produciendo principalmente papa y maíz. A causa de las condiciones climáticas y geográficas en el oriente, esta región se enfoca en la crianza de ganado.

### **Figura 1**

*Equipo Atomizador Agrícola*



Fuente: Cifarelli, 2020.

#### **2.1.2 Particularidades de los Equipos Atomizadores Agrícolas**

El proceso de atomización va a depender del tipo de fluido, la velocidad de descarga, las condiciones de operación y del diámetro del orificio de descarga. Dentro de las

propiedades de los fluidos, únicamente tres de ellas van a tener influencia en el proceso de pulverizado, las cuales son, viscosidad, densidad y tensión superficial (Figura 2).

La densidad, al ser fluido que no van a estar sometidos a esfuerzos de compresión, no varía tanto con la presión. Para fluidos con densidades muy diferentes, se puede visualizar que el proceso de desintegración se produce de manera distinta. Para la viscosidad, cuando su módulo es reducido, la influencia es mínima, pero no sucede de igual manera cuando ese fluido posee un grado de viscosidad elevado. La tensión superficial va encargarse del proceso de desintegración del chorro en gotas (López, 2016).

## **Figura 2**

*Atomizadora Cifarelli M1200*



Fuente: Italimport, 2019.

### **2.1.3 Particularidades de los Motores de Dos Tiempos**

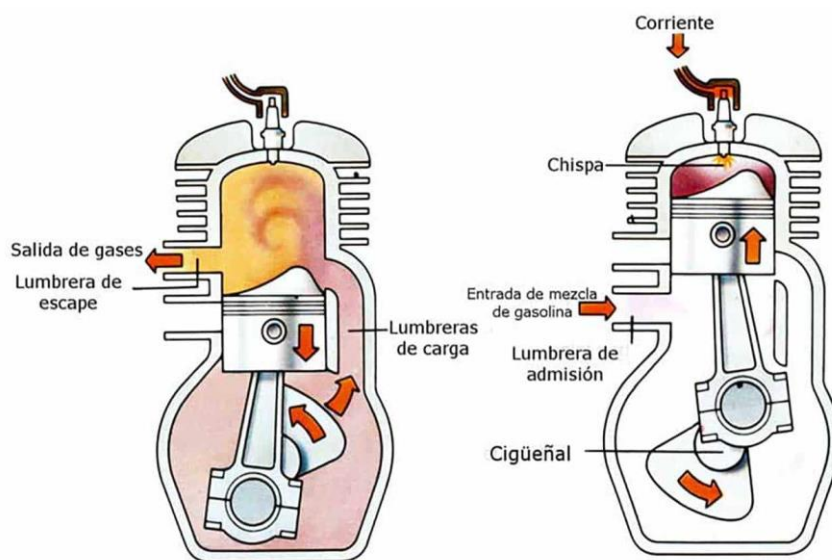
El ciclo de trabajo completo en estos motores es realizado en dos carreras del pistón, esto comprende a una vuelta del cigüeñal. Durante la carrera de ascenso desde el Punto Muerto Inferior (PMI) al Punto Muerto Superior (PMS) es introducida la mezcla de

aceite/gasolina y a su vez se comprime, la combustión es producida cuando el pistón llega al PMS y durante la carrera de descenso los gases generados en la combustión se descargan al momento que ingresa la nueva mezcla de aceite/gasolina por unos orificios conocidos como lumbreras de admisión (Figura 3). Las ventajas más importantes de estos motores son la obtención de una explosión por cada giro del cigüeñal y la simplicidad que supone la carencia de un sistema de distribución. Las principales desventajas en estos motores son, su elevado consumo y el exceso de emisiones contaminantes en comparación con los motores de cuatro tiempos (Andrés Hernández, 2014).

En los motores de dos tiempos, por normativa general, la refrigeración se obtiene por aire forzado o directo, por medio de unas aletas R, las cuales rodean al cilindro y cámara de combustión en su totalidad. Estos motores no poseen circuito de engrase, por lo tanto, la lubricación es realizada por medio de la mezcla del aceite con el combustible en una proporción del 5% aproximadamente (Santiago Granizo, 2003).

### Figura 3

#### *Motor de Dos Tiempos*



Fuente: Álvaro Prieto Amaya, 2018.

#### **2.1.4 Emisiones de los Motores de Dos Tiempos**

Los contaminantes gaseosos emitidos por los motores de combustión interna actúan como irritantes en las vías respiratorias, causando daño a los tejidos, incrementando su permeabilidad, haciéndolos más vulnerables a las infecciones bacterianas y virales (Figura 4). Varios estudios afirman que las enfermedades en las vías respiratorias están asociadas a la contaminación atmosférica, lo que permite la propagación con mayor frecuencia de síntomas de asma bronquial y alérgicos (Martins, 2005).

La energía mecánica utilizada para dar funcionamiento a diversas máquinas es obtenida mediante fuentes de energía solar, eólica, hidráulica y térmica, pero la más utilizada es aquella que proviene de los combustibles orgánicos. Las máquinas más utilizadas son propulsadas por medio del motor de combustión interna, a ellos se les adjudica aproximadamente un 80% de la totalidad de energía producida a nivel mundial (Pedro Vintimilla, 2015).

En los motores de combustión interna, el proceso de combustión se da al momento en que salta la chispa de la bujía y se enciende la mezcla. La combustión perfecta expulsa al medio ambiente dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), los cuales no son tóxicos, esta combustión es producida al obtener una mezcla ideal o estequiométrica (Halderman & Linder, 2011).

Durante la puesta en marcha del motor, no siempre se consigue la mezcla estequiométrica, debido a que este experimenta diferentes estados de funcionamiento, es decir, no se obtendrá una combustión completa, por lo que se liberan gases como hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y óxido de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). Estos a diferencia de los anteriores, si son tóxicos, la cantidad de gases expulsados hacia el ambiente va a depender de que tan incompleta sea la combustión (Pedro Vintimilla, 2015).

**Figura 4***Emisiones Producidas por Motores de Dos Tiempos*

Fuente: Cristian Cevallos, 2017.

**2.1.5 Particularidades de los Convertidores Catalíticos**

A pesar de que un catalizador acelere una reacción química, él no determina el punto final de la reacción, por lo tanto, estas reacciones químicas son influenciadas únicamente por las variables termodinámicas, como presión, temperatura y concentración de especies químicas involucradas. Una solución de metales preciosos, utilizada de forma combinada o individualmente, recubre la superficie de la estructura de material cerámico ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) formando el catalizador del motor (Martins, 2005).

El catalizador es cubierto en su totalidad por una manta expansiva, que actúa de sello, de aislante térmico, de protección mecánica; y en sus extremidades posee conos metálicos. Todo este conjunto da origen al catalizador, que es instalado en el tubo de escape del equipo atomizador agrícola (Figura 5).

La implementación de metales preciosos en el catalizador se debe a la necesidad de remover contaminantes rápidamente con respecto a la circulación de gases relativo al tamaño del convertidor catalítico, con menos tiempo de reacción, además de la resistencia a la desactivación térmica y al envenenamiento, cuando es expuesto a temperaturas elevadas (Martins, 2005).

El catalizador que utiliza el equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200 es de tres vías. Este dispositivo reductor de emisiones está elaborado con los siguientes elementos, paladio, platino y rodio, son los materiales catalíticos que cumplen con los requisitos, haciendo que inicialmente el paladio y el platino fueran utilizados en los convertidores catalíticos de oxidación, y el rodio era usado en el convertidor catalítico de tres vías por acelerar el proceso de reducción de  $\text{NO}_x$  en  $\text{N}_2$  (Martins, 2005).

#### **Figura 5**

*Convertidor Catalítico para Equipo Atomizador Agrícola Cifarelli M1200*



Fuente: Louis Akrapovic, 2017.

## 2.2 Marco Conceptual

### 2.2.1 Equipo Atomizador de Mochila

El atomizador es un equipo agrícola que forma parte del proceso de precosecha, es empleado para prevenir y combatir enfermedades y plagas en los cultivos (Figura 6). Este tipo de atomizador está equipado con un motor de mezcla aceite/gasolina, es adecuado para los cultivos que no se pueden alcanzar con atomizadores suspendidos o para cultivos pequeños. Dependiendo del modelo de atomizador de mochila a utilizar, se puede conseguir una velocidad de aire máxima en salida de 120 m/s o un volumen de aire máximo de 1.620 m<sup>3</sup>/h (Antonio Garcés, 2021).

#### Figura 6

*Equipo Atomizador Agrícola Cifarelli M1200*



Fuente: Cifarelli, 2020.

### 2.2.2 Motor de Dos Tiempos

En los motores de dos tiempos cada ciclo de trabajo es realizado en dos carreras del pistón, este motor de combustión interna cumple con las cuatro etapas de funcionamiento



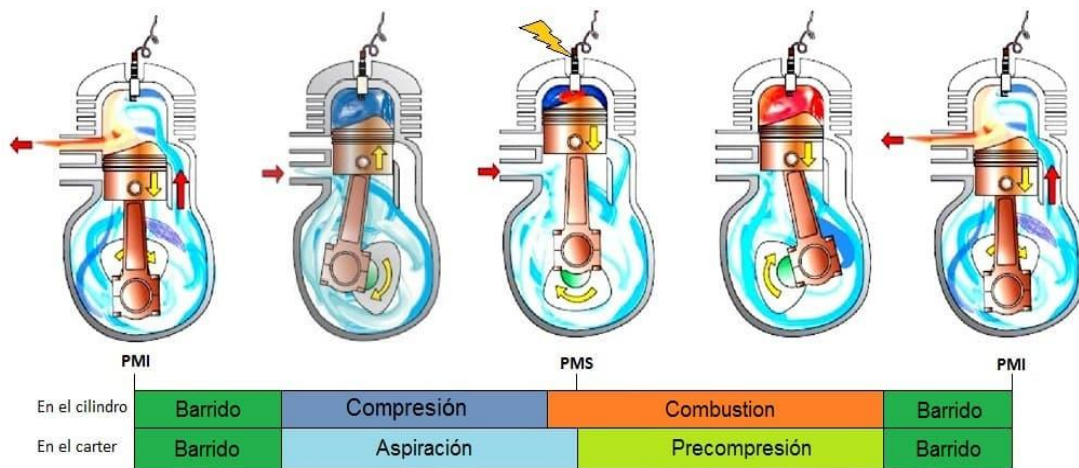
que son, admisión, compresión, expansión y escape. Por lo tanto, una carrera de trabajo es producida por cada giro del cigüeñal (Figura 7).

Los motores de dos tiempos pueden funcionar por medio del ciclo Otto o Diésel. En la actualidad, los motores de dos tiempos más utilizados son los de ciclo Otto, se emplean en motocicletas y equipos atomizadores de pequeña cilindrada, debido a, su reducido coste de fabricación y a su mecánica sencilla (Santiago Sanz, 2017).

Los motores de dos tiempos de ciclo Diésel, son motores de excesivas cilindradas cuyo funcionamiento es realizado con bajas revoluciones, son empleados en motores estacionarios y para propulsión marina (Santiago Sanz, 2017).

**Figura 7**

*Ciclos de Funcionamiento del Motor de Dos Tiempos*



Fuente: Álvaro Prieto, 2018.

### 2.2.3 *Convertidor Catalítico*

El convertidor catalítico cumple con la función de convertir químicamente los contaminantes HC, CO y NO<sub>x</sub> en emisiones menos nocivas como nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua (Figura 8). Estos sistemas de control de emisiones dependen de la

relación aire-combustible, la velocidad de los gases de escape y la temperatura del catalizador (Martins, 2005).

### Figura 8

*Convertidor Catalítico para Motores de Dos Tiempos*



Fuente: Carlos Montiel, 2019.

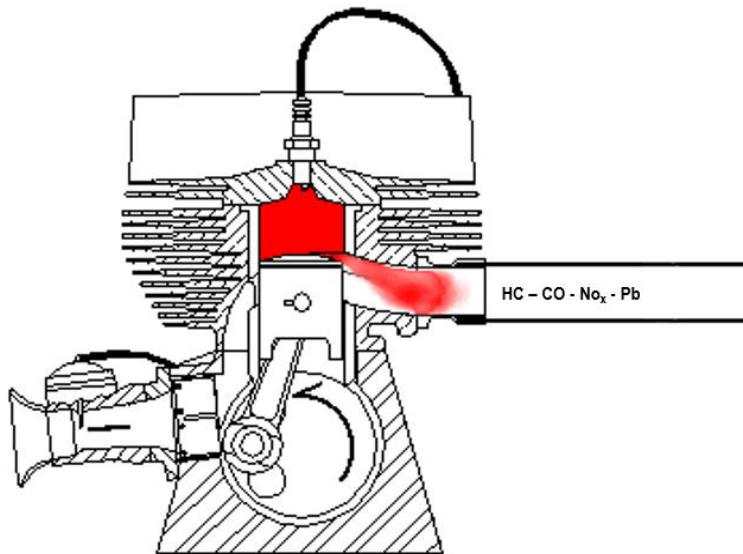
#### 2.2.4 Emisiones Contaminantes

Las emisiones que provienen de los motores de encendido por chispa son emitidas por el escape, sistema de combustible y cárter. El vapor de agua H<sub>2</sub>O y el CO<sub>2</sub> son los principales productos del proceso de combustión, son liberados por medio de los gases de escape. Los mayores gases contaminantes emitidos por los motores de dos tiempos son HC, CO, NO<sub>x</sub> y Pb (Figura 9).

Por lo tanto, la cantidad de emisiones generadas van a depender de las características del equipo, su tecnología, los mantenimientos realizados y de otros factores tales como, la velocidad, frecuencia e intensidad de las aceleraciones y del aceite y combustible utilizado (ACELA, 2020).

**Figura 9**

*Gases Contaminantes Emitidos por Motores de Dos Tiempos*



Fuente: Biodisol, 2018.

### **2.2.5 Equipo Analizador de Gases**

Este equipo es utilizado para el análisis de gases en motores de ciclo Otto: dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos y de celda electroquímica, para determinar la cantidad de oxígeno molecular, y opcionalmente el óxido de nitrógeno (Anexo 5).

**Figura 10**

*Equipo Analizador de Gases*



Fuente: Ferreira, 2019.

## **Capítulo III**

### **Análisis de la Influencia de la Implementación del Catalizador en Equipo Atomizador Agrícola**

#### **3.1 Factores a Considerar para el Análisis de Emisiones**

El análisis de las emisiones se realiza con el objetivo de determinar la importancia de implementar el convertidor catalítico en los equipos atomizadores agrícolas. En los países europeos es obligatorio el uso del catalizador en estos equipos, pero en Ecuador no lo es, por ello, las actividades cotidianas de fumigación son realizadas sin algún tipo de restricción, por lo tanto, los gases combustionados producto de esta actividad, son expulsados directamente hacia el medio ambiente y generan una gran afectación hacia la salud de los seres vivos y la contaminación directa hacia el medioambiente. Actualmente muchas personas padecen enfermedades y una variedad de factores adversos que son consecuencia de la inhalación de gases provenientes de los motores de combustión interna.

Hay que tener en cuenta que las personas que pertenecen al sector agrícola no invierten en un convertidor catalítico, debido a, la falta de restricciones, su costo y por la falta de conocimiento técnico acerca de la importancia de la utilización de este elemento, por ello, es muy importante concientizar a la población acerca del uso del catalizador y que los organismos gubernamentales pertinentes promuevan la creación de normativas acerca del uso obligatorio de este elemento en el sector agrícola.

#### **3.2 Diseño Metodológico**

En primer lugar, se efectúa una investigación de carácter descriptiva para poder definir a cada uno de los gases que son producto de la combustión producida en el interior del motor y que luego son expulsados hacia el medio ambiente, cada uno de ellos con

características diferentes, algunos de ellos pueden llegar a ser perjudiciales en la salud del ser humano y hacia el ecosistema, son los siguientes:

- Oxígeno.
- Nitrógeno.
- Dióxido de carbono.
- Hidrocarburos.
- Óxido de nitrógeno.
- Monóxido de carbono.
- Vapor de agua.

En segundo lugar, se realizará un análisis de las normativas de emisiones de la Unión Europea, por lo tanto, se identificarán las reglamentaciones y estándares de emisiones vigentes para el uso de motores de dos tiempos de encendido por chispa. También se van a detallar los ciclos de pruebas realizados de acuerdo a la categoría a la que pertenece cada motor.

En tercer lugar, se hará énfasis acerca de la importancia de la norma ISO 8178 en la medición y análisis de emisiones de escape provenientes de la combustión en motores de dos tiempos de encendido por chispa. Es importante analizar los términos y definiciones que se detallan en esta normativa, ya que es fundamental conocer la teoría para realizar con éxito el proceso de análisis de emisiones, son los siguientes:

- Ciclo de prueba.
- Acondicionamiento previo del motor.
- Modo.
- Longitud del modo.

- Velocidad nominal.
- Velocidad intermedia.
- Velocidad baja.
- Velocidad alta.
- Familia del motor.
- Torsión.

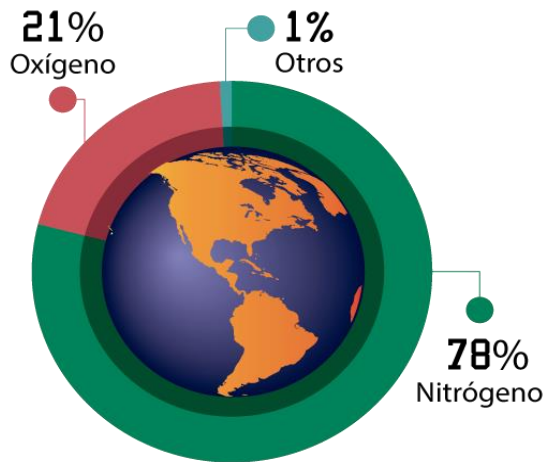
Finalmente, se deberá identificar las aplicaciones de los ciclos de prueba pertenecientes a la categoría G, también se colocarán ejemplos acerca de las máquinas que conforman cada ciclo. Lo indicado anteriormente, va de la mano con el análisis de los modos de prueba y factores de ponderación independientemente para cada ciclo en cuestión.

### **3.3 Análisis de Gases Producidos Durante la Combustión**

Mediante este análisis se puede determinar que los gases emitidos por el motor de combustión interna son de dos tipos: inofensivos y nocivos. Los compuestos inofensivos están formados por oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, hidrógeno y vapor de agua. Los compuestos nocivos lo conforman, los hidrocarburos, monóxido de carbono, plomo, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas de hollín (Gustavo Serrano, 2018).

#### **3.3.1 Oxígeno**

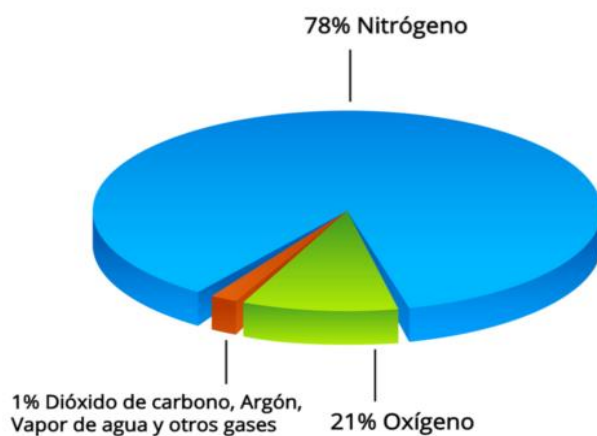
Es un gas insípido, incoloro e inodoro. Es el componente más importante que respiramos aproximadamente un 21%, es aspirado a través del filtro de aire y es imprescindible en el proceso de combustión del motor (Figura 11).

**Figura 11***Composición del Aire*

Fuente: Fausto Bolaños, 2000.

### 3.3.2 *Nitrógeno*

Es un gas inodoro, incoloro y no combustible, es un componente esencial del aire que respiramos, aproximadamente un 78%, este gas alimenta el proceso de la combustión en conjunto con el aire de admisión (Figura 12). La mayor cantidad del nitrógeno que es aspirado vuelve a salir en estado puro en los gases de escape (Pedro Vela, 2018).

**Figura 12***Atmósfera*

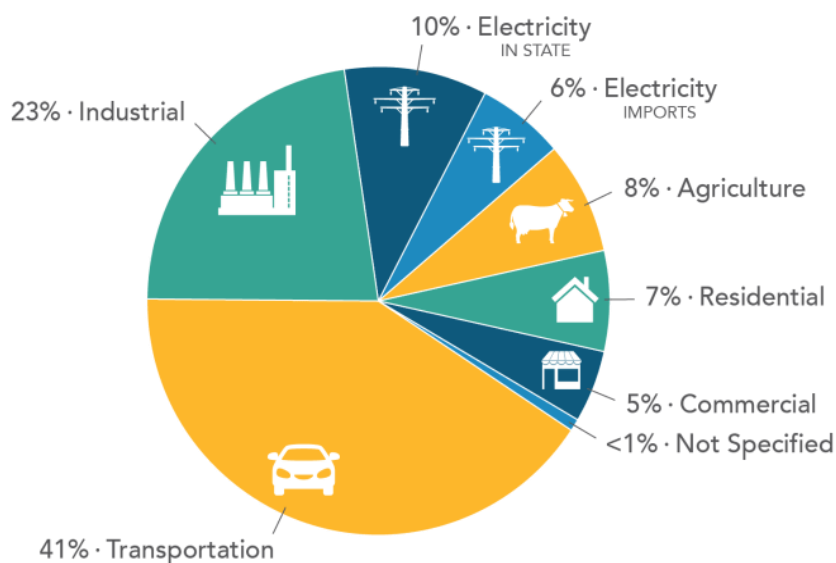
Fuente: Julia Máxima Uriarte, 2020.

### 3.3.3 Dióxido de Carbono

Es un gas no combustible e incoloro, es producido cuando los combustibles que contienen carbono son quemados, no es tóxico, pero minimiza el estrato de la atmósfera terrestre que sirve de defensa contra la penetración de los rayos UV (Pedro Vela, 2018). Durante la combustión este gas se combina con el oxígeno aspirado. Las emisiones de CO<sub>2</sub> se hallan de manera directa con el consumo de combustible del equipo atomizador (Figura 13).

**Figura 13**

*Emisiones de CO<sub>2</sub> Provenientes del Sector Agrícola*



Fuente: BioEconomía, 2018.

### 3.3.4 Hidrocarburos

Se presentan en los gases de escape, son resultado de que el combustible no fue quemado en su totalidad debido a la falta de oxígeno durante el proceso de la combustión (Figura 14). Es irritante, cancerígeno y nocivo. La exposición a este gas origina irritaciones en la piel, conductos respiratorios y ojos. Si el nivel de exposición es muy elevado o de

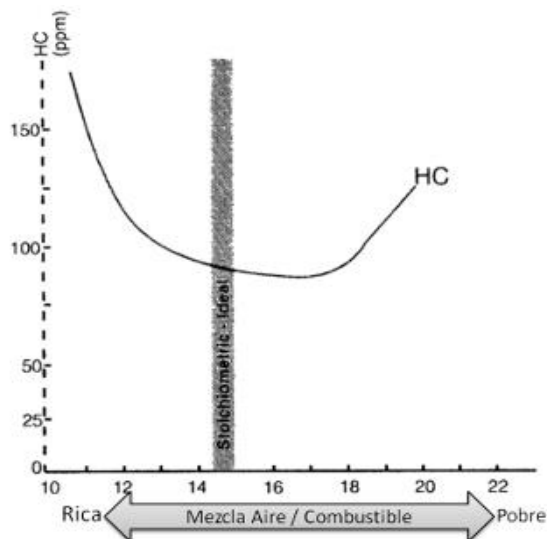


manera continua, esto provocará mareos, depresiones, náuseas, dolores de cabeza e inclusive cáncer (Pedro Vela, 2018).

Los gases de escape contienen más de 200 diferentes tipos de hidrocarburos que se dividen en alifáticos y aromáticos que contienen un solo anillo de benceno. Los hidrocarburos como el etano, metano, bencol, etileno, acetileno, propano y otros, son sustancias tóxicas (Analí Machado, 2000).

### Figura 14

#### *Emisiones Contaminantes de Hidrocarburos*



Fuente: Elvis Guevara, 2015.

### 3.3.5 Óxido de Nitrógeno

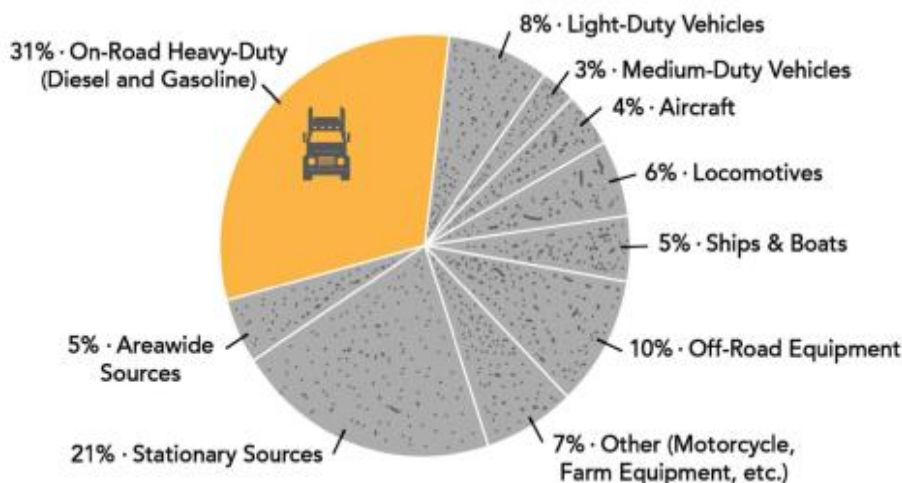
Este gas es producto de la combinación del nitrógeno con el oxígeno debido a las altas temperaturas y presiones que son alcanzadas dentro de la cámara de combustión (Figura 15). En la cámara de combustión se forma el NO (Pedro Vela, 2018).

Al abrirse la válvula de escape los gases circulan por el conducto de escape y se combinan con el oxígeno y de esta manera se forma el NO<sub>2</sub>, este proceso es negativo, ya que,

sustraer el oxígeno necesario para la reacción de combustión, de tal modo, que hace aumentar la cantidad de monóxido de carbono y de hidrocarburos sin quemar (Pedro Vela, 2018).

**Figura 15**

*Fuentes de Óxido de Nitrógeno*



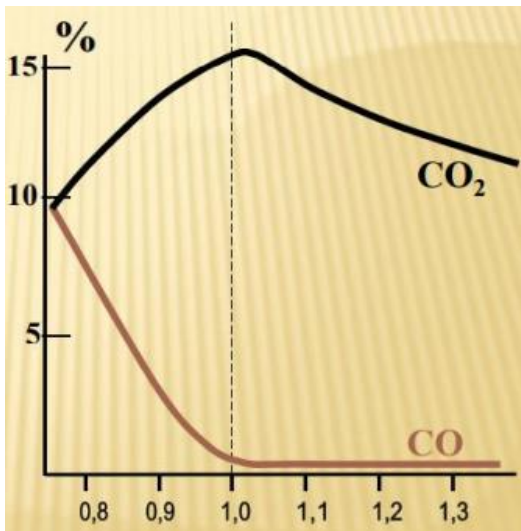
Fuente: Pedro Vela, 2018.

### 3.3.6 Monóxido de Carbono

Es un gas altamente tóxico, insípido, inodoro e incoloro, se difunde rápidamente y con concentraciones mayores más cerca del suelo debido a que es más pesado que el aire (Pedro Vela, 2018).

En la mezcla rica ( $\lambda < 1$ ), la falta de cantidad de oxígeno no completa la combustión, por lo que el contenido de monóxido de carbono es elevado. Mientras que en la mezcla pobre ( $\lambda > 1$ ), el exceso de oxígeno completa la combustión, debido a que es mínimo el contenido de CO (Figura 16).

Se forma debido a la poca presencia de oxígeno disponible para la combustión, por lo tanto, no es suficiente para quemar todo el carbono del combustible en su totalidad, sobrando un solo átomo de oxígeno y átomos de carbono unidos que dan forma al CO (Pedro Vela, 2018).

**Figura 16***Coeficiente de Aire  $\lambda$* 

Fuente: Pedro Vela, 2018.

### 3.3.7 Vapor de Agua

Es resultado de la humedad o de una combustión fría cuando el motor comienza a trabajar y expulsa humo blanco por el escape, o a su vez se condensa a lo largo del tubo de escape y se produce un goteo (Figura 17).

**Figura 17***Humo en el Escape*

Fuente: Luis Ortega, 2010.

### **3.4 Importancia de las Normativas de Emisiones de la Unión Europea**

Fueron implementadas en el año 2002 para los motores pequeños de encendido por chispa (SI), con el objetivo de reducir las emisiones generadas por estos tipos de motores. Estas normas eran aplicables a los motores de encendido por chispa pequeños de menos de 19 kW. Bajo las regulaciones de la Etapa V adoptadas en el año 2016, los estándares se hacen más estrictos y se amplían en más categorías de motores de encendido por chispa. Los principales pasos de la reglamentación incluyen las etapas I, II y V (Engine & Emission Technology, 2020).

#### ***3.4.1 Análisis de la Etapa V de las Normativas de Emisiones de la Unión Europea***

Mediante este análisis se logra determinar que las reglamentaciones acerca de emisiones de la Etapa V hacen más estrictas las normativas existentes e incluyen otros cambios importantes para los motores de encendido por chispa, el alcance se amplía mediante la introducción de normativas de emisiones para los motores de encendido por chispa de más de 19 kW y otras categorías de motores SI que antes no estaban reguladas (Engine & Emission Technology, 2020).

Los estándares de la etapa V abarcan las siguientes categorías de motores de encendido por chispa:

- Categoría NRSh para motores de encendido por chispa de menos de 19 kW únicamente para uso en maquinaria manual.
- Categoría NRS para motores de encendido por chispa de menos de 56 kW que no están dentro de la categoría NRSh.
- Categoría SMB para motores encendidos por chispa utilizados en motos de nieve.

- Categoría ATS para motores encendidos por chispa utilizados en vehículos side-by-side y todo terreno.

### 3.4.2 Estándares para Motores Utilitarios de Encendido por Chispa

En la tabla 1, se observan los estándares de emisiones de la etapa V para motores utilitarios portátiles de encendido por chispa de menos de 19 kW pertenecen a la categoría NRSh y se clasifican de la siguiente manera:

**Tabla 1**

*Motores Utilitarios de Encendido por Chispa*

<b>Categoría</b>	<b>Cilindrada (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Fecha</b>	<b>CO (g/kWh)</b>	<b>HC+NO<sub>x</sub></b>
NRSH-v-1a	V<50	2019	805	50
NRSH-v-1b	V≥ 50	2019	603	72

*Nota.* La tabla muestra las normas de emisiones de la etapa V para motores SI portátiles de menos de 19 kW (NRSH).

### 3.4.3 Clasificación de los Ciclos de Prueba para el Análisis de Emisiones

Las emisiones de las categorías de motores anteriores se realizan en varios ciclos fuera de carretera, NRSC (basados en la norma ISO 8178):

- Ciclo G3: categoría de motores NRSh (motores portátiles).
- Ciclo G1: motores categoría NRS con potencia inferior a 19 kW, aplicaciones de velocidad intermedia (NRS-vi-1a/1b).
- Ciclo G2: motores categoría NRS con potencia inferior a 19 kW, aplicaciones de velocidad nominal (NRS-vr-1a/1b).
- Ciclo G2: motores categoría NRS con potencia entre 19 kW y 30 kW, cilindrada inferior a 1 litro (NRS-v-2a).

- Ciclo C2: motores categoría NRS con Potencia superior a 19 kW, otros (NRS-v-2b y NRS-v-3).
- Ciclo H: motores de motos de nieve (SMB).
- Ciclo G1: motores todo terreno (ATS).

### **3.5 Influencia de la Normativa ISO 8178 en la Medición y Análisis de Emisiones**

La aplicación de esta normativa es fundamental para llevar a cabo el proceso de medición y análisis de emisiones de escape de una serie de aplicaciones de motores que no son de carretera. Se la utiliza para la certificación de emisiones y/o pruebas de aprobación para la utilización de estas máquinas y equipos en muchos países, incluidos los Estados Unidos, la Unión Europea y Japón. Dependiendo de la legislación de cada país, el ciclo se puede definir por referencia a la normativa ISO 8178, o bien especificando un ciclo de prueba equivalente a ISO 8178 en la legislación nacional como es el caso de las regulaciones de la EPA de EE. UU (Engine & Emission Technology, 2020).

### **3.6 Análisis de los Términos y Definiciones de la Normativa ISO 8178**

#### ***3.6.1 Ciclo de Prueba***

Es la secuencia de modos de prueba del motor, cada uno con torsión, velocidad y factor de ponderación establecidos, donde los factores de ponderación son aplicados únicamente si los resultados de prueba se expresan en gramos por kilovatio-hora (ISO 8178-4, 2012).

#### ***3.6.2 Acondicionamiento Previo del Motor***

Proceso de calentamiento del motor en condiciones de carga superiores al 80%, para estabilizar los parámetros de funcionamiento del motor en base a las recomendaciones del fabricante. Una fase de acondicionamiento previo también preserva la medición real contra

la influencia de depósitos en el sistema de escape de una prueba previa. También hay un período de estabilización en los modos de prueba que se incorporó con el objetivo de reducir las influencias punto a punto (ISO 8178-4, 2012).

### **3.6.3 *Modo***

Punto de funcionamiento del motor caracterizado por una torsión, velocidad y potencia determinada (ISO 8178-4, 2012).

### **3.6.4 *Longitud del Modo***

Tiempo entre el momento en que se sale de la torsión y/o velocidad del modo anterior o de la fase de acondicionamiento previo y el inicio del siguiente modo. Esto incluye el tiempo en el que se cambian la estabilización, la velocidad y/o la torsión al inicio de cada modo (ISO 8178-4, 2012).

### **3.6.5 *Velocidad Nominal***

Velocidad con la cual, se alcanza la potencia nominal de acuerdo con la declaración del fabricante del motor (ISO 8178-4, 2012).

### **3.6.6 *Velocidad Intermedia***

Velocidad declarada por el fabricante, teniendo en cuenta los requerimientos regidos por la de curva de torsión (ISO 8178-4, 2012).

### **3.6.7 *Velocidad Baja***

Velocidad más baja del motor con la que se alcanza el 50% de la potencia nominal o principal (ISO 8178-4, 2012).

### **3.6.8 *Velocidad Alta***

Velocidad más elevada del motor con la que se alcanza el 70% de la potencia principal o nominal (ISO 8178-4, 2012).

### 3.6.9 Familia del Motor

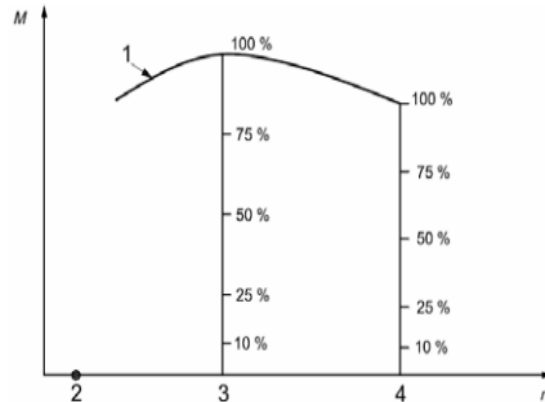
Agrupación de motores del fabricante que, por sus propiedades similares de diseño, se espera que las características de emisión de escape sean parecidas donde los miembros de la familia deben cumplir con los valores límite de emisión aplicables (ISO 8178-7, 1996).

### 3.6.10 Torsión

Según ISO 8178-4, las cifras de torsión indicadas en los ciclos de prueba son valores porcentuales, los cuales representan, para un modo de prueba determinado, la proporción de la torsión requerida con respecto a la torsión máxima posible (C1, C2, E1, E2, F, G1, G2, G3 y H) o de la torsión referente a la clasificación de la potencia continua o de la potencia principal establecida en la ISO 8528-1 (Figura 18).

**Figura 18**

*Escalas de Torsión*



#### Leyenda

- |                                     |                        |
|-------------------------------------|------------------------|
| 1 curva de torsión con carga máxima | 3 velocidad intermedia |
| 2 inactivo en baja                  | 4 velocidad nominal    |

Fuente: ISO 8178-4, 2012.

## 3.7 Ciclos de Prueba Tipo G

### 3.7.1 Aplicaciones de los Ciclos de Prueba Tipo G para el Análisis de Emisiones

Se describen tres ciclos de prueba:



- Ciclo G1: aplicaciones de velocidad intermedia no portátiles.
- Ciclo G2: aplicaciones de velocidad nominal no portátiles.
- Ciclo G3: aplicaciones de velocidad nominal portátiles.

### 3.7.2 Modos de Prueba y Factores de Ponderación

En la Figura 19, se observan los modos de prueba y factores de ponderación correspondientes a los ciclos tipo G.

**Figura 19**

*Ciclos Tipo G Modos de Prueba y Factores de Ponderación*

Número del modo (ciclo G1)						1	2	3	4	5	6
Velocidad <sup>a</sup>	Velocidad nominal					Velocidad intermedia					Velocidad en baja
Torsión <sup>a</sup> , %						100	75	50	25	10	0
Factor de ponderación						0,09	0,20	0,29	0,30	0,07	0,05
Número del modo (ciclo G2)	1	2	3	4	5						6
Velocidad <sup>a</sup>	Velocidad nominal					Velocidad intermedia					Velocidad en baja
Torsión <sup>a</sup> , %	100	75	50	25	10						0
Factor de ponderación	0,09	0,20	0,29	0,30	0,07						0,05
Número del modo (ciclo G3)	1										2
Velocidad <sup>a</sup>	Velocidad nominal					Velocidad intermedia					Velocidad en baja
Torsión <sup>a</sup> , %	100										0
Factor de ponderación	0,85										0,15

Fuente: ISO 8178-4, 2012.

### 3.7.3 Consideraciones para la Realización de las Pruebas

En los ciclos G1, G2 y G3 las pruebas deberán ser realizadas en orden ascendente del número del modo del ciclo en cuestión. En los motores de encendido por chispa cuando

únicamente se miden las emisiones gaseosas, el tiempo de cada modo tendrá una duración de 3 minutos. Se deberá calcular y registrar los valores obtenidos a partir del análisis de la concentración de emisión de gases de escape de los 2 últimos minutos del modo de prueba correspondiente. Para motores de encendido por chispa las emisiones de gases deberán ser medidas únicamente en cada uno de los ciclos determinados G1, G2 o G3. No está permitido realizar el cálculo de los resultados de emisión del ciclo de prueba tipo B (ISO 8178-4, 2012).

#### ***3.7.4 Elección de un Ciclo de Prueba Apropriado***

En el caso de conocer el uso final primario de un determinado modelo de motor, se podrá seleccionar el ciclo de prueba adecuado, en base a los ejemplos presentados en el epígrafe 3.7.5. Si se desconoce el uso final primario de un modelo de motor entonces el ciclo de prueba apropiado se debe escoger basándose en la especificación del motor. Tanto los motores de encendido por chispa, como los de encendido por compresión, pueden ser probados en cualquiera de los tres ciclos (ISO 8178-4, 2012).

#### ***3.7.5 Ejemplos de los Ciclos G1, G2 y G3***

- Ciclo G1: cortacéspedes giratorios o de cilindro controladas por peatones, cortacéspedes movidos por motor delanteros o traseros, repasadoras de aristas, timones giratorios, barredoras de césped, eliminadores de desechos, vaporizadores, equipos de retiro de nieve, carros de golf.
- Ciclo G2: generadores, bombas, soldadores, compresores de aire portátiles, también puede incluir equipos de césped y jardín que funcionan con la velocidad nominal del motor.
- Ciclo G3: Repasadores de aristas, repasadoras de cuerda, sopladores, equipos de vacío, aserraderos portátiles, sierras y equipos de cadena.

### **3.8 Influencia de la Mezcla Aceite y Gasolina en el Análisis de Emisiones según ISO 8178**

Según la norma ISO 8178, para realizar un correcto análisis de emisiones en motores de dos tiempos, es obligatorio que la relación de mezcla sea de 50:1, es decir, 50 partes de gasolina por cada parte de aceite, de esta manera, los resultados obtenidos serán válidos. El combustible y aceite empleados para realizar el análisis de emisiones deben ser los mismos que indica utilizar el fabricante del equipo en la ficha técnica del mismo.

### **3.9 Influencia de la Implementación del Catalizador en Equipo Atomizador Agrícola Cifarelli M1200**

La implementación del convertidor catalítico tiene una influencia positiva en la reducción de elementos contaminantes provenientes de los gases de escape producidos por el motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200, esta reducción de emisiones la consigue mediante un proceso denominado catálisis, que consiste en una reacción química que provoca la oxidación de los gases nocivos y su transformación en nitrógeno, agua y oxígeno, por lo tanto, la utilización de este elemento reductor de emisiones ayudará a reducir el índice de contaminación del medioambiente.

## Capítulo IV

### Pruebas y Análisis de Emisiones Generadas por un Equipo Atomizador Agrícola con y sin Catalizador

#### 4.1 Pruebas de Emisiones en Motores NRSH según la Norma ISO 8178

Para llevar a cabo las pruebas y análisis de emisiones es importante determinar un motor que se ajuste a las características técnicas y de funcionamiento del motor que será evaluado. Por ello, se escogió un motor Toro 48 TZ de categoría d+e5, cuyo análisis de emisiones realizado está basado en la normativa ISO 8178. Se deben tomar en cuenta las especificaciones mostradas en la tabla 2:

**Tabla 2**

*Datos Técnicos del Motor Toro 48 TZ*

Especificaciones	Datos
Fabricante	Toro
Categoría	48 TZ
Número de cilindros	1
Principio de funcionamiento	2 tiempos
Encendido	Encendido por chispa
Disposición de válvulas	No aplica
Cilindrada	121,6 cm <sup>3</sup>
Potencia nominal	2,6 kW
Velocidad nominal	3.000 rpm
Combustible	Gasolina
Sistema de alimentación de combustible	Carburador en disposición horizontal
Sistema de refrigeración	Refrigeración por aire con rueda de ventilador
Sistema de escape	Sistema de escape convencional
Eje de salida del motor	Vertical

*Nota.* La tabla muestra las especificaciones técnicas del motor Toro 48 TZ.

#### 4.1.1 Condiciones para la Realización de la Prueba de Emisiones

En la tabla 3, se muestran los factores que fueron tomados en cuenta al momento de realizar el análisis de emisiones en el motor Toro 48 TZ, según la normativa ISO 8178.

**Tabla 3**

*Factores para el Análisis de Emisiones en Motor Toro 48 TZ*

<b>Especificaciones</b>	<b>Datos</b>
Día de la prueba	17/04/1998
Presión atmosférica	101,3 kPa
Humedad del aire	37%
Temperatura del aire	23 °C
Temperatura de los gases de escape a máxima potencia	449 °C
Temperatura de la junta de bujía a máxima potencia	262 °C
Combustible de referencia	CEC RF-08-A-85, gasolina Premium sin plomo
Lubricante	Shell advance VSX 2 / API TC, JASO FC
Relación de mezcla	50:1

*Nota.* La tabla muestra los factores que influyeron de manera directa o indirecta en los resultados de las pruebas de análisis de emisiones según la norma ISO 8178.

#### 4.1.2 Resultados de los Ciclos de Prueba G1 y G2 según la Norma ISO 8178

Estos resultados fueron obtenidos a partir del análisis individual de cada uno de los elementos expulsados por el sistema de escape del motor Toro 48 TZ durante cada ciclo de prueba, ya sea, ciclo G1 o G2, tomando en cuenta el consumo de combustible independientemente para cada ciclo. En la tabla 4, se detallan los resultados de los ciclos de prueba G1 y G2:

**Tabla 4***Ciclos de Prueba G1 y G2*

<b>Ciclos de Prueba</b>	<b>CO</b> g/kWh	<b>HC</b> g/kWh	<b>NO<sub>x</sub></b> g/kWh	<b>CO<sub>2</sub></b> g/kWh	<b>Consumo de Combustible</b> g/kWh
Ciclo de prueba G1	431,7	136,9	0,6	1.140,7	710,1
Ciclo de prueba G2	658	165,4	0,7	1.059,4	825,2

*Nota.* Resultados de los ciclos de prueba G1 y G2 de acuerdo a la norma ISO 8178.

#### **4.1.3 Resultados Obtenidos según la Norma ISO 8178**

En la figura 20, se muestran los datos de las pruebas realizadas en el motor Toro 48 TZ, las cuales están basadas según los parámetros establecidos por la norma ISO 8178, se ejecutaron 11 pruebas, cada una de ellas a diferentes condiciones de funcionamiento del motor Toro 48 TZ.

**Figura 20**

*Análisis de Emisiones en Motor Toro 48 TZ según la Norma ISO 8178*

mode points		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
speed	r.p.m.	3005	3004	3005	3004	3004	2555	2554	2556	2556	2554	1084
torque	%	100	75	50	25	10	100	75	50	25	10	0
weighting factor	-	0,09	0,20	0,29	0,30	0,07	0,09	0,20	0,29	0,30	0,07	0,05
power	kW	2,45	1,79	1,24	0,63	0,21	2,12	1,61	1,10	0,51	0,18	0
CO-emission	g/h	824,8	960,3	867,0	624,6	539,2	772,0	607,9	385,0	327,8	308,9	157,6
HC-emission	g/h	376,0	248,6	188,3	123,3	123,6	313,7	211,6	111,5	79,6	69,5	98,8
NO <sub>x</sub> -emission	g/h	2,58	1,04	0,72	0,39	0,23	1,61	0,95	0,63	0,33	0,15	0,07
CO <sub>2</sub> -emission	g/h	2029,7	1430,5	1273,5	1007,0	784,8	1431,0	1451,5	1278,7	964,9	639,5	270,3
O <sub>2</sub> - content	g/h	1722,2	1078,6	743,9	468,3	466,3	1273,9	869,4	550,2	368,1	310,5	283,5
fuel consumption	g/h	1424	1175	1019	750	638	1147	970	705	546	424	262
exh. gas temp.	°C	471	453	450	414	352	410	388	383	347	301	166
lambda (Brettschneider)	-	0,97	0,87	0,83	0,83	0,82	0,90	0,91	0,95	0,92	0,89	0,81

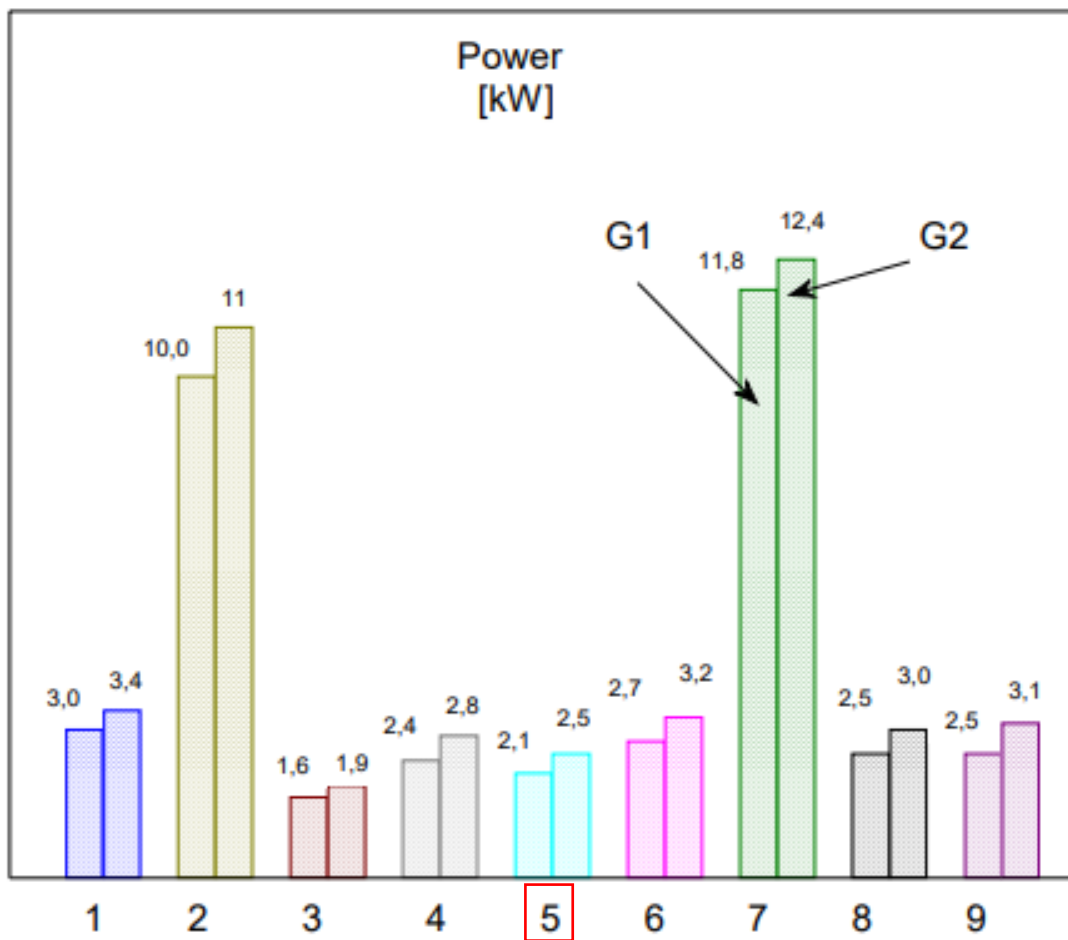
Fuente: Wolfgang Miersch, 1999.

#### 4.1.4 Valores Promedios de los Ciclos G1 y G2 para Motores Categoría d+e

Mediante gráficos estadísticos se muestran los promedios de los resultados de cada una de las 9 subcategorías obtenidas a partir de los ciclos de pruebas realizados a los motores de encendido por chispa de la categoría d+e, que poseen un rango de potencia de entre 1,6 – 12,4 kW y un rango de velocidad de entre 2.380 – 3.600 rpm. En la figura 21, se pueden observar los valores promedios referentes a la potencia alcanzada durante los ciclos de prueba G1 y G2, realizados en el motor Toro 48 TZ que pertenece a la subcategoría 5, para el ciclo G1 se obtuvo un promedio de 2,1 kW y para el ciclo G2 un promedio de 2,5 kW.

**Figura 21**

*Valores Promedios de Potencia de la Subcategoría 5 para Motores Categoría d+e*

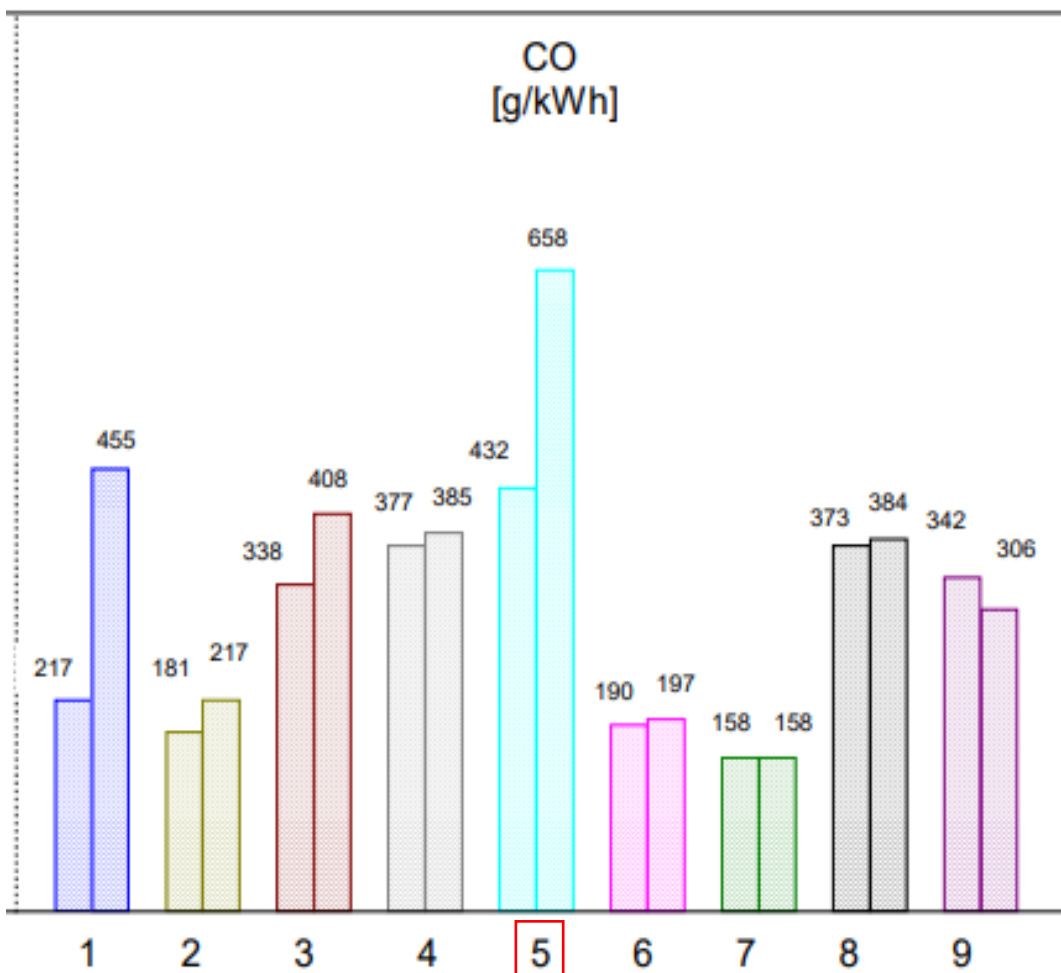


Fuente: Wolfgang Miersch, 1999.

En la figura 22, se pueden observar los valores promedios referentes a la cantidad de monóxido de carbono emitido durante los ciclos de prueba G1 y G2, en el caso del motor Toro 48 TZ que pertenece a la subcategoría 5, para el ciclo G1 se obtuvo un promedio de 432 g/kWh y para el ciclo G2 un promedio de 658 g/kWh, siendo este último el más elevado de entre todas las subcategorías.

**Figura 22**

*Valores Promedios de CO de la Subcategoría 5 para Motores Categoría d+e*



Fuente: Wolfgang Miersch, 1999.

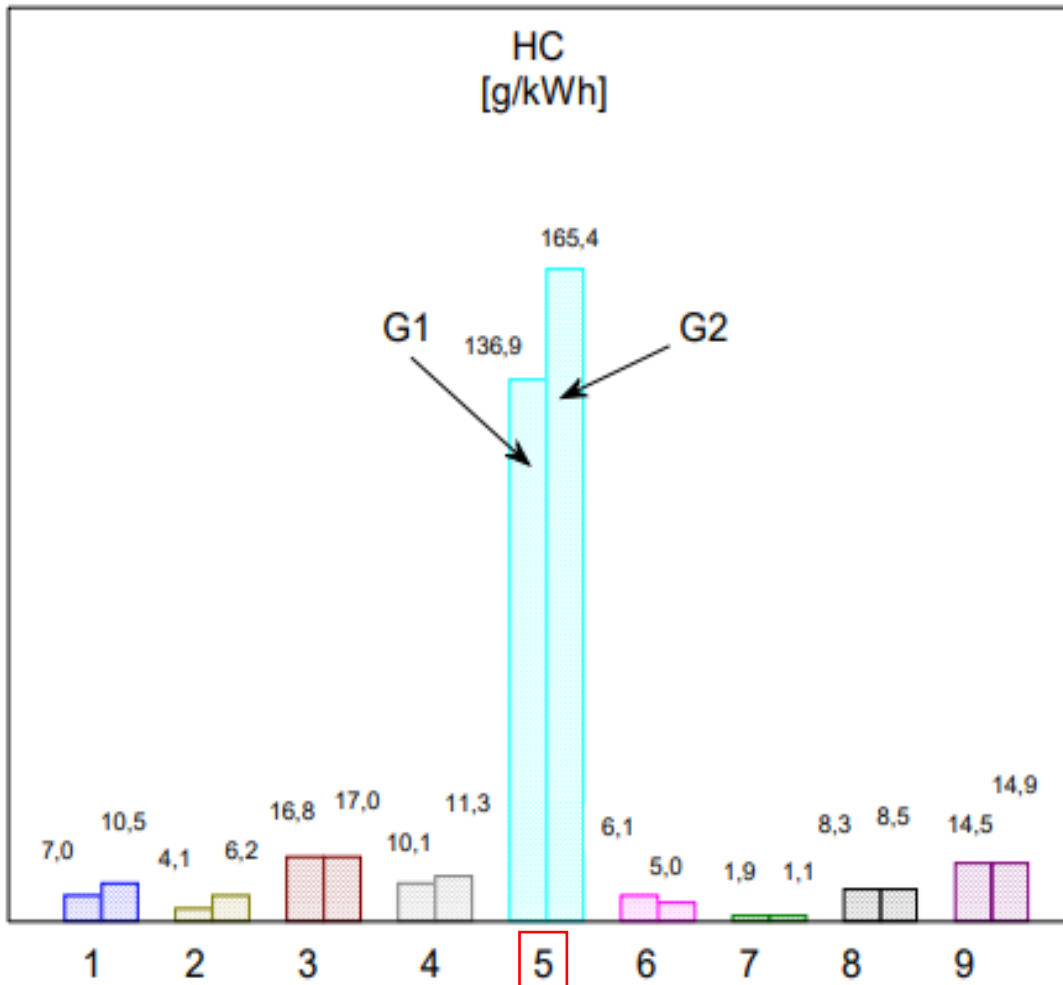
En la figura 23, se pueden observar los valores promedios referentes a la cantidad de hidrocarburos emitidos durante los ciclos de prueba G1 y G2, hay que tener en cuenta que el



promedio de hidrocarburos emitidos por el motor Toro 48 TZ que pertenece a la subcategoría 5, es el más elevado dentro de las demás subcategorías, para el ciclo G1 se obtuvo un valor promedio de 136,9 g/kWh y para el ciclo G2 un valor de 165,4 g/kWh.

**Figura 23**

*Valores Promedios de HC de la Subcategoría 5 para Motores Categoría d+e*



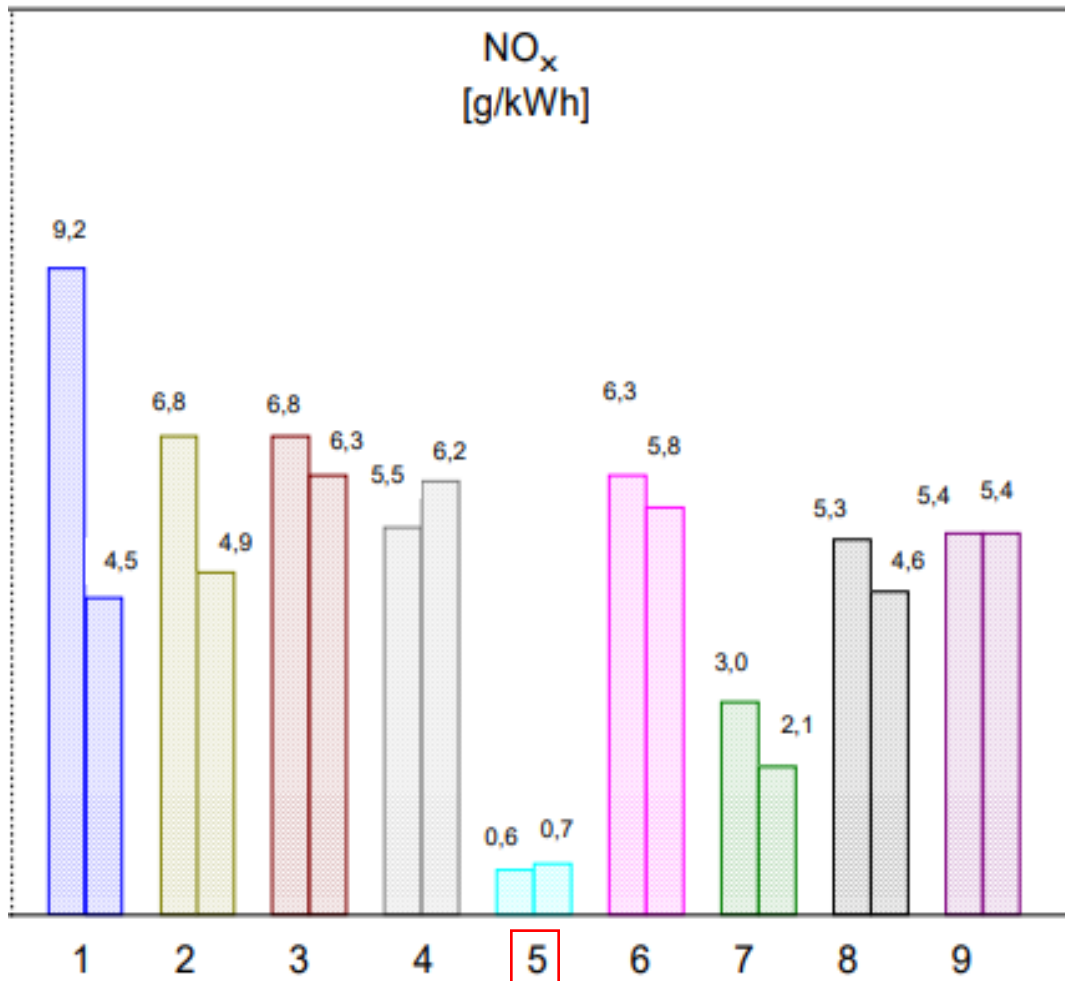
Fuente: Wolfgang Miersch, 1999.

En la figura 24, se pueden observar los valores promedios referentes a la cantidad de óxidos de nitrógeno emitidos durante los ciclos de prueba G1 y G2, hay que tener en cuenta que el promedio de óxidos de nitrógeno emitidos por el motor Toro 48 TZ que pertenece a la

subcategoría 5, con relación a las demás subcategorías, es el más bajo, para el ciclo G1 se obtuvo un valor promedio de 0,6 g/kWh y para el ciclo G2 un valor de 0,7 g/kWh.

**Figura 24**

*Valores Promedios de NO<sub>x</sub> de la Subcategoría 5 para Motores Categoría d+e*



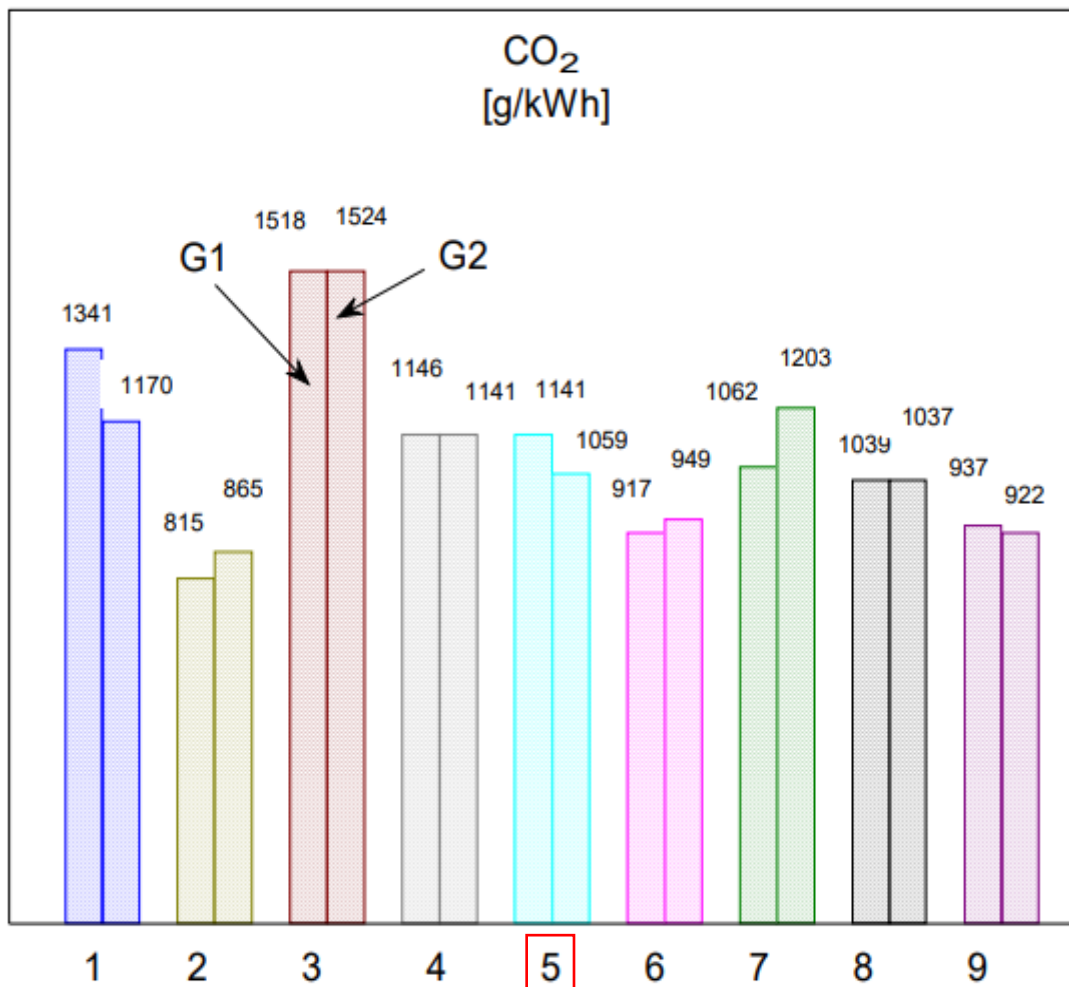
Fuente: Wolfgang Miersch, 1999.

En la figura 25, se pueden observar los valores promedios referentes a la cantidad de dióxido de carbono emitido durante los ciclos de prueba G1 y G2, hay que tener en cuenta que el promedio de dióxido de carbono emitido por el motor Toro 48 TZ que pertenece a la subcategoría 5, se encuentra en un rango promedio con respecto a las demás subcategorías,

para el ciclo G1 se obtuvo un valor promedio de 1.141 g/kWh y para el ciclo G2 un valor de 1.059 g/kWh.

**Figura 25**

*Valores Promedios de CO<sub>2</sub> de la Subcategoría 5 para Motores Categoría d+e*

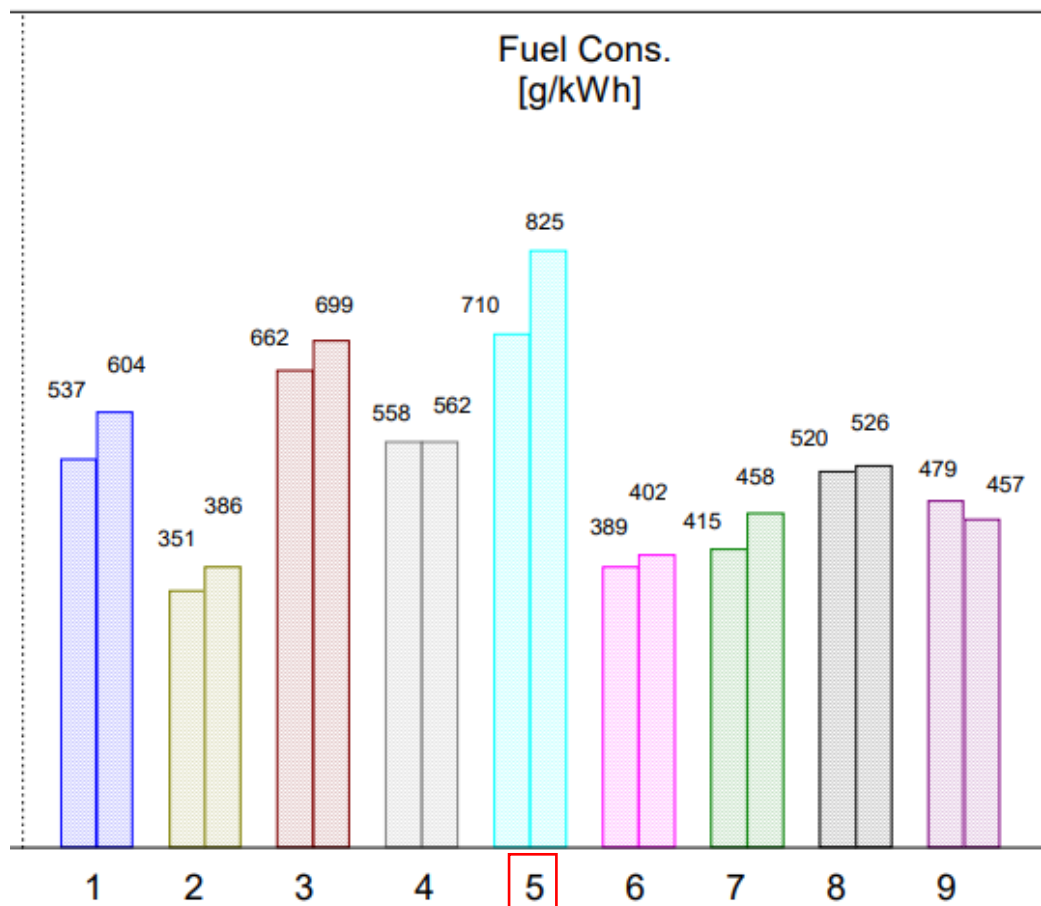


Fuente: Wolfgang Miersch, 1999.

En la figura 26, se pueden observar los valores promedios referentes al consumo de combustible durante los ciclos de prueba G1 y G2, hay que tener en cuenta que el promedio mayor de entre todas las subcategorías es el del motor Toro 48 TZ que pertenece a la subcategoría 5, para el ciclo G1 se obtuvo un valor promedio de 710 g/kWh y para el ciclo G2 un valor de 825 g/kWh.

**Figura 26**

Valores Promedios Referentes al Consumo de Combustible de la Subcategoría 5 para Motores Categoría d+e



Fuente: Wolfgang Miersch, 1999.

#### 4.1.5 Fórmulas para el Cálculo de Emisiones según ISO 8178

Para el cálculo de emisiones, la norma ISO 8178 establece la aplicación del método de balance químico, por ello, para cada compuesto se va a utilizar una fórmula determinada, para motores de dos tiempos el factor de corrección de humedad de óxidos de nitrógeno (KH) tiene un valor de 1, las fórmulas se las expresa en unidades de  $\left[\frac{g}{h}\right]$ , y son las siguientes:

- $CO = 2,02 \cdot CO [\% Vol] \cdot \frac{G_{Combustible} \left[\frac{g}{h}\right]}{TC [\% Vol]}$

- $HC = 1 \cdot 10^{-4} \cdot C_3H_8 \text{ [ppm]} \cdot 3 \frac{G_{\text{Combustible}} \left[ \frac{g}{h} \right]}{TC \text{ [% Vol]}}$
- $NO_x = 3,315 \cdot 10^{-4} \cdot NO_x \text{ [ppm]} \cdot KH \cdot \frac{G_{\text{Combustible}} \left[ \frac{g}{h} \right]}{TC \text{ [% Vol]}}$
- $CO_2 = 3,175 \cdot CO_2 \text{ [% Vol]} \cdot \frac{G_{\text{Combustible}} \left[ \frac{g}{h} \right]}{TC \text{ [% Vol]}}$
- **Total de Compuestos de Carbono (TC) =  $CO_2 + CO + C_3H_8 \cdot 3 \cdot 10^{-4}$**

#### 4.2 Procedimiento para el Análisis de Emisiones en Equipo Atomizador Agrícola

En la tabla 5, se indica el procedimiento que se debe seguir para la correcta operación del equipo analizador de gases durante la etapa de encendido.

**Tabla 5**

*Proceso de Encendido del Equipo Analizador de Gases*

Proceso	Actividad
Encendido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectar el equipo a una fuente de 110 voltios.</li> <li>• Verificar que la sonda esté conectada correctamente al equipo de medición (Figura 27).</li> </ul>

*Nota.* Procedimiento para la correcta operación del equipo analizador de gases.

**Figura 27**

*Encendido del Equipo Analizador de Gases*



En la tabla 6, se indica el procedimiento que se debe seguir para la correcta operación del equipo analizador de gases y del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200 durante la etapa de funcionamiento.

**Tabla 6**

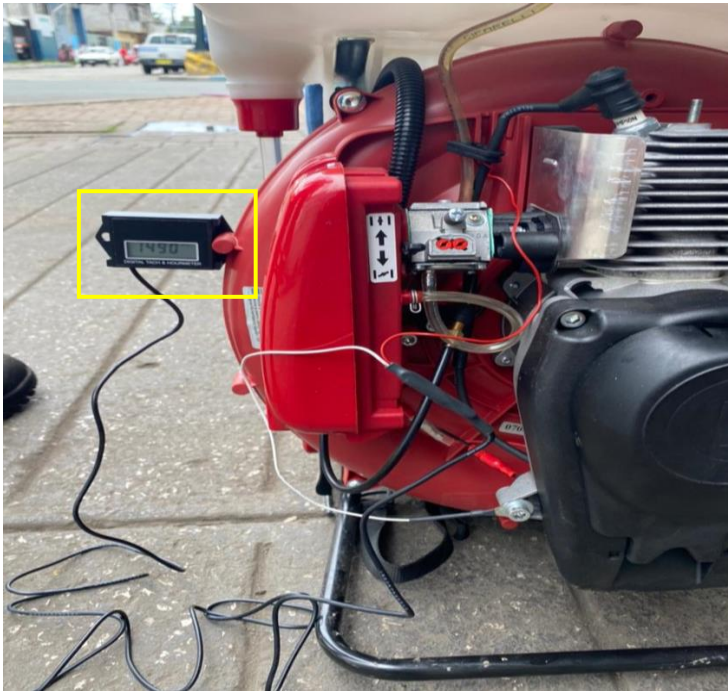
*Proceso de Funcionamiento del Equipo Analizador de Gases y del Equipo Atomizador*

Proceso	Actividad
Funcionamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calentar el equipo analizador de gases para alcanzar un régimen de funcionamiento adecuado, esto toma de 3 a 5 minutos.</li> <li>• Colocar el tacómetro en el equipo atomizador agrícola, el cable negro es tierra y el rojo es el positivo que se conecta a la bobina (Figura 28).</li> <li>• Cuando la prueba sea con catalizador, se procederá a colocarlo y cuando se la realice sin catalizador, no se debe desmontar nada (Figura 29).</li> <li>• Dejar el motor encendido al menos 10 minutos antes de realizar las mediciones (Figura 30).</li> <li>• Realizar de tres a cuatro aceleraciones antes de realizar la prueba para limpiar el tubo de escape.</li> <li>• Tapar el tubo de escape de 3 a 5 segundos para producir una leve presión y soltar, de esta manera, se eliminan posibles impurezas.</li> <li>• Colocar la sonda del medidor de emisiones a la salida del tubo de escape del equipo atomizador agrícola (Figura 31).</li> </ul>

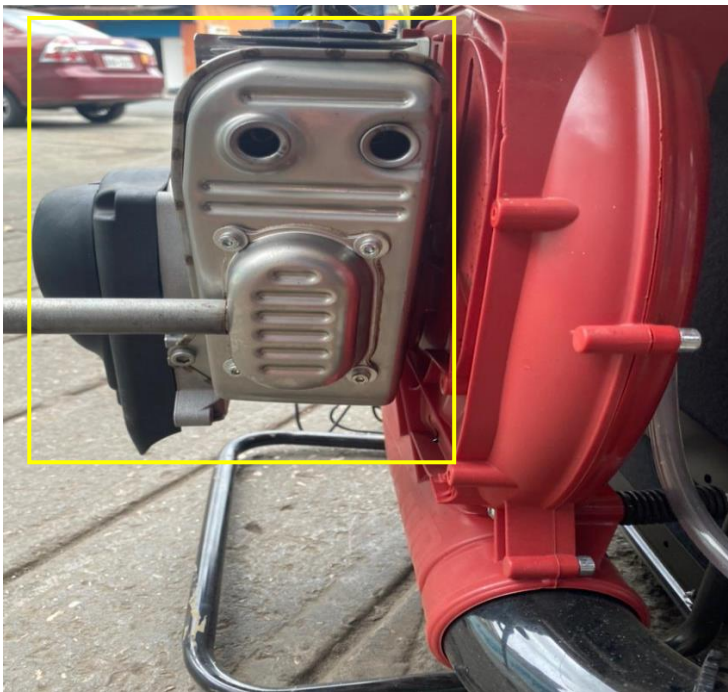
*Nota.* Procedimiento para llevar a cabo un correcto análisis de emisiones en el motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200 con ayuda del equipo analizador de gases.

**Figura 28**

*Instalación de Tacómetro en Equipo Atomizador Agrícola*

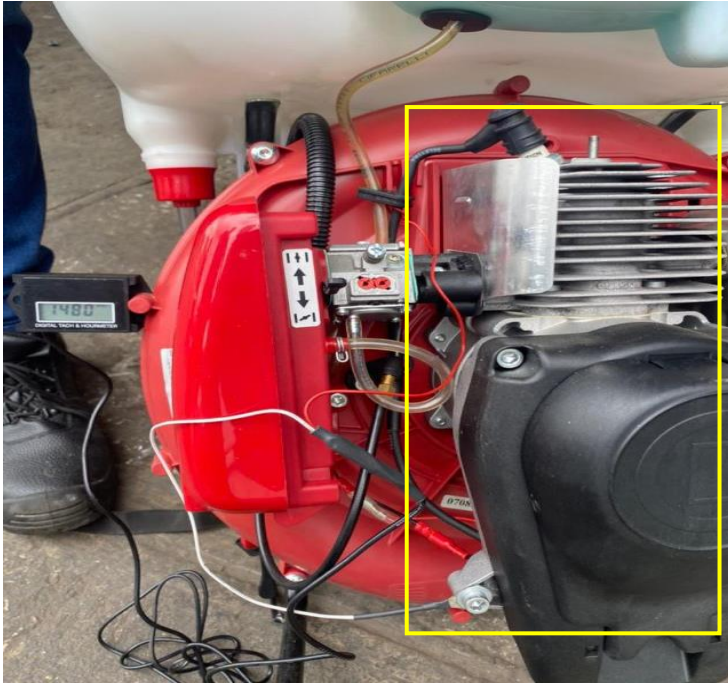
**Figura 29**

*Instalación de Convertidor Catalítico en Equipo Atomizador Agrícola*



**Figura 30**

*Puesta en Marcha del Motor de Dos Tiempos del Equipo Atomizador Agrícola*

**Figura 31**

*Sonda del Medidor de Emisiones en Tubo de Escape del Equipo Atomizador Agrícola*





En la tabla 7, se indica el procedimiento que se debe seguir para la correcta toma de datos para el análisis de emisiones del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200.

**Tabla 7**

*Proceso de Toma de Datos para el Análisis de Emisiones del Equipo Atomizador agrícola*

Proceso	Actividad
Toma de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dejar que el motor se estabilice.</li> <li>• Con el motor estabilizado, se procede a accionar el acelerador hasta que el motor alcance las revoluciones establecidas durante 30 segundos (Figura 32).</li> <li>• El operador del equipo, con la indicación del encargado del equipo de medición, aplica el procedimiento de aceleración libre hasta la velocidad de corte, es decir, el rango de velocidad de prueba para motores categoría d+e, establecido por la norma ISO 8178 (Figura 33).</li> <li>• Realizar la toma de datos (Figura 34).</li> </ul>

*Nota.* Procedimiento para el correcto análisis de emisiones del equipo atomizador agrícola.

**Figura 32**

*Aceleración del Motor de Dos Tiempos del Equipo Atomizador Agrícola*

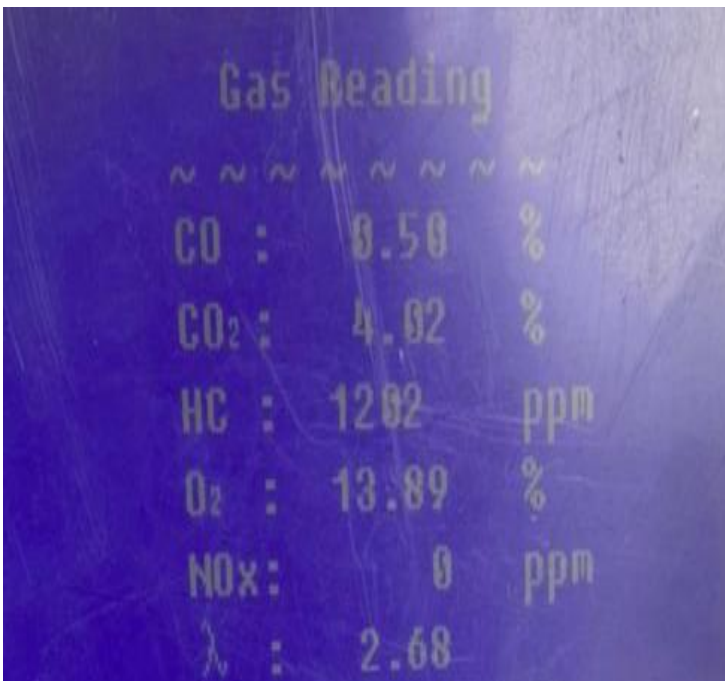


**Figura 33**

*Operador del Equipo Analizador de Gases*

**Figura 34**

*Datos del Equipo Analizador de Gases*



### 4.3 Resultados de Pruebas con y sin Catalizador en Equipo Atomizador Agrícola

Los resultados fueron obtenidos a partir del análisis de las emisiones producidas por el motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola con ayuda del equipo analizador de gases, se realizaron cuatro pruebas en total, es decir, dos pruebas con catalizador y dos pruebas sin catalizador, las dos primeras pruebas fueron realizadas a 3.005 rpm con y sin catalizador, tomando en cuenta los factores de incidencia directa o indirecta para el análisis de emisiones detallados en la tabla 8 y las dos últimas pruebas fueron realizadas a 2.555 rpm con y sin catalizador, tomando en cuenta los factores de la tabla 9.

Al realizar el análisis de emisiones en el motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

**Tabla 8**

*Factores para el Análisis de Emisiones en Equipo Atomizador Agrícola*

<b>Especificaciones</b>	<b>Datos con Catalizador / Datos sin Catalizador</b>
Día de la prueba	10/03/2022
Presión atmosférica	101,2 kPa
Humedad del aire	78% - 75%
Temperatura del aire	26 °C – 28 °C
Temperatura de los gases de escape a máxima potencia	449 °C
Temperatura de la junta de bujía a máxima potencia	261 °C
Combustible de referencia	Gasolina ECOPAÍS
Lubricante	Havoline 2-Cycle Engine Oil TC-W3
Relación de mezcla	50:1

*Nota.* La tabla muestra, los factores que influyeron de manera directa o indirecta en los resultados de las pruebas de análisis de emisiones realizado al equipo atomizador agrícola con y sin catalizador a 3.005 rpm con ayuda de un equipo analizador de gases.

**Tabla 9***Factores para el Análisis de Emisiones en Equipo Atomizador Agrícola*

<b>Especificaciones</b>	<b>Datos con Catalizador / Datos sin Catalizador</b>
Día de la prueba	12/03/2022
Presión atmosférica	101 kPa
Humedad del aire	54% - 58%
Temperatura del aire	28 °C – 27 °C
Temperatura de los gases de escape a máxima potencia	449 °C
Temperatura de la junta de bujía a máxima potencia	261 °C
Combustible de referencia	Gasolina ECOPAÍS
Lubricante	Havoline 2-Cycle Engine Oil TC-W3
Relación de mezcla	50:1

*Nota.* La tabla muestra, los factores que influyeron de manera directa o indirecta en los resultados de las pruebas de análisis de emisiones realizado al equipo atomizador agrícola con y sin catalizador a 2.555 rpm con ayuda de un equipo analizador de gases.

#### **4.3.1 Resultados de Pruebas con y sin Catalizador a 3.005 rpm**

Según los datos de la tabla 8, se observa que hay datos que se mantienen y otros que varían, por lo tanto, se puede determinar que al realizar la prueba con catalizador la humedad del aire es mayor en un 3% en comparación con la humedad del aire al realizar la prueba sin catalizador y la temperatura del aire es menor en un 2% en comparación con la temperatura del aire al realizar la prueba sin catalizador.

En la figura 35, se indican los valores obtenidos a partir del análisis de emisiones al motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola a 3.005 rpm con la utilización del convertidor catalítico con ayuda del equipo analizador de gases.

**Figura 35***Pruebas con Catalizador a 3.005 rpm*

<b>Lectura de Gases</b>	
<b>CO</b>	0,48 %
<b>CO<sub>2</sub></b>	1,56 %
<b>HC</b>	816 ppm
<b>NO<sub>x</sub></b>	0

En la figura 36, se indican los valores obtenidos a partir del análisis de emisiones al motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola a 3.005 rpm sin la utilización convertidor catalítico con ayuda del equipo analizador de gases.

**Figura 36***Pruebas sin Catalizador a 3.005 rpm*

<b>Lectura de Gases</b>	
<b>CO</b>	0,56 %
<b>CO<sub>2</sub></b>	1,30 %
<b>HC</b>	1.258 ppm
<b>NO<sub>x</sub></b>	0

#### 4.3.2 Resultados de Pruebas con y sin Catalizador a 2.555 rpm

Según los datos de la tabla 9, se observa que hay datos que se mantienen y otros que varían, por lo tanto, se puede determinar que al realizar la prueba con catalizador la humedad del aire es menor en un 4% en comparación con la humedad del aire al realizar la prueba sin catalizador y la temperatura del aire es mayor en un 1% en comparación con la temperatura del aire al realizar la prueba sin catalizador.

En la figura 37, se indican los valores obtenidos a partir del análisis de emisiones al motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola a 2.555 rpm con la utilización del convertidor catalítico con ayuda del equipo analizador de gases.

**Figura 37**

*Pruebas con Catalizador a 2.555 rpm*

Lectura de Gases	
<b>CO</b>	0,50 %
<b>CO<sub>2</sub></b>	4,02 %
<b>HC</b>	1.202 ppm
<b>NO<sub>x</sub></b>	0

En la figura 38, se indican los valores obtenidos a partir del análisis de emisiones al motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola a 2.555 rpm sin la utilización del convertidor catalítico con ayuda del equipo analizador de gases.

**Figura 38***Pruebas sin Catalizador a 2.555 rpm*

Lectura de Gases	
CO	0,56 %
CO <sub>2</sub>	2,72 %
HC	1.242 ppm
NO <sub>x</sub>	0

#### 4.4 Cálculo de Emisiones con y sin Catalizador por Método de Balance Químico

La norma ISO 8178 establece que, para el cálculo de emisiones en motores categoría d+e, se debe utilizar el método de balance químico. Por ello, el cálculo de los datos obtenidos a partir de las pruebas realizadas al motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200 con ayuda del equipo analizador de gases, será con la aplicación de este método.

##### 4.4.1 Cálculo de Emisiones con Catalizador a 3.005 rpm

- $$\text{CO} = 2,02 \cdot 0,48 \text{ [\% Vol]} \cdot \frac{1.470 \text{ [g/h]}}{2,2848 \text{ [\%Vol]}} = 623,82 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$
- $$\text{HC} = 1 \cdot 10^{-4} \cdot 816 \text{ [ppm]} \cdot 3 \frac{1.470 \text{ [g/h]}}{2,2848 \text{ [\% Vol]}} = 157,5 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$
- $$\text{NO}_x = 3,315 \cdot 10^{-4} \cdot 0 \text{ [ppm]} \cdot 1 \cdot \frac{1.470 \text{ [g/h]}}{2,2848 \text{ [\% Vol]}} = 0 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$
- $$\text{CO}_2 = 3,175 \cdot 1,56 \text{ [\% Vol]} \cdot \frac{1.470 \text{ [g/h]}}{2,2848 \text{ [\% Vol]}} = 3.186,67 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

- **Total de Compuestos de Carbono (TC)** =  $1,56 + 0,48 + 816 \cdot 3 \cdot 10^{-4} =$   
2,2848 [% Vol]

#### 4.4.2 Cálculo de Emisiones sin Catalizador a 3.005 rpm

- **CO** =  $2,02 \cdot 0,56$  [% Vol]  $\cdot \frac{1.470 \left[ \frac{g}{h} \right]}{2,2374$  [% Vol] =  $743,21 \frac{g}{h}$
- **HC** =  $1 \cdot 10^{-4} \cdot 1.258$  [ppm]  $\cdot 3 \frac{1.470 \left[ \frac{g}{h} \right]}{2,2374$  [% Vol] =  $247,96 \frac{g}{h}$
- **NO<sub>x</sub>** =  $3,315 \cdot 10^{-4} \cdot 0$  [ppm]  $\cdot 1 \cdot \frac{1.470 \left[ \frac{g}{h} \right]}{2,2374$  [% Vol] =  $0 \frac{g}{h}$
- **CO<sub>2</sub>** =  $3,175 \cdot 1,30$  [% Vol]  $\cdot \frac{1.470 \left[ \frac{g}{h} \right]}{2,2374$  [% Vol] =  $2.711,8 \frac{g}{h}$
- **Total de Compuestos de Carbono (TC)** =  $1,30 + 0,56 + 1.258 \cdot 3 \cdot 10^{-4} =$   
2,2374 [% Vol]

#### 4.4.3 Cálculo de Emisiones con Catalizador a 2.555 rpm

- **CO** =  $2,02 \cdot 0,50$  [% Vol]  $\cdot \frac{1.470 \left[ \frac{g}{h} \right]}{4,8806$  [% Vol] =  $304,20 \frac{g}{h}$
- **HC** =  $1 \cdot 10^{-4} \cdot 1.202$  [ppm]  $\cdot 3 \frac{1.470 \left[ \frac{g}{h} \right]}{4,8806$  [% Vol] =  $108,61 \frac{g}{h}$
- **NO<sub>x</sub>** =  $3,315 \cdot 10^{-4} \cdot 0$  [ppm]  $\cdot 1 \cdot \frac{1.470 \left[ \frac{g}{h} \right]}{4,8806$  [% Vol] =  $0 \frac{g}{h}$
- **CO<sub>2</sub>** =  $3,175 \cdot 4,02$  [% Vol]  $\cdot \frac{1.470 \left[ \frac{g}{h} \right]}{4,8806$  [% Vol] =  $3.844,27 \frac{g}{h}$
- **Total de Compuestos de Carbono (TC)** =  $4,02 + 0,50 + 1.202 \cdot 3 \cdot 10^{-4} =$   
4,8806 [% Vol]

#### 4.4.4 Cálculo de Emisiones sin Catalizador a 2.555 rpm

- **CO** =  $2,02 \cdot 0,56$  [% Vol]  $\cdot \frac{1.470 \left[ \frac{g}{h} \right]}{3,6526$  [% Vol] =  $455,25 \frac{g}{h}$



- $\text{HC} = 1 \cdot 10^{-4} \cdot 1.242 \text{ [ppm]} \cdot 3 \frac{1.470 \text{ [g/h]}}{3,6526 \text{ [% Vol]}} = 149,95 \frac{\text{g}}{\text{h}}$
- $\text{NO}_x = 3,315 \cdot 10^{-4} \cdot 0 \text{ [ppm]} \cdot 1 \cdot \frac{1.470 \text{ [g/h]}}{3,6526 \text{ [% Vol]}} = 0 \frac{\text{g}}{\text{h}}$
- $\text{CO}_2 = 3,175 \cdot 2,72 \text{ [% Vol]} \cdot \frac{1.470 \text{ [g/h]}}{3,6526 \text{ [% Vol]}} = 3.475,49 \frac{\text{g}}{\text{h}}$
- **Total de Compuestos de Carbono (TC)** =  $2,72 + 0,56 + 1.242 \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 3,6526 \text{ [% Vol]}$

#### 4.5 Análisis de los Cálculos por el Método de Balance Químico

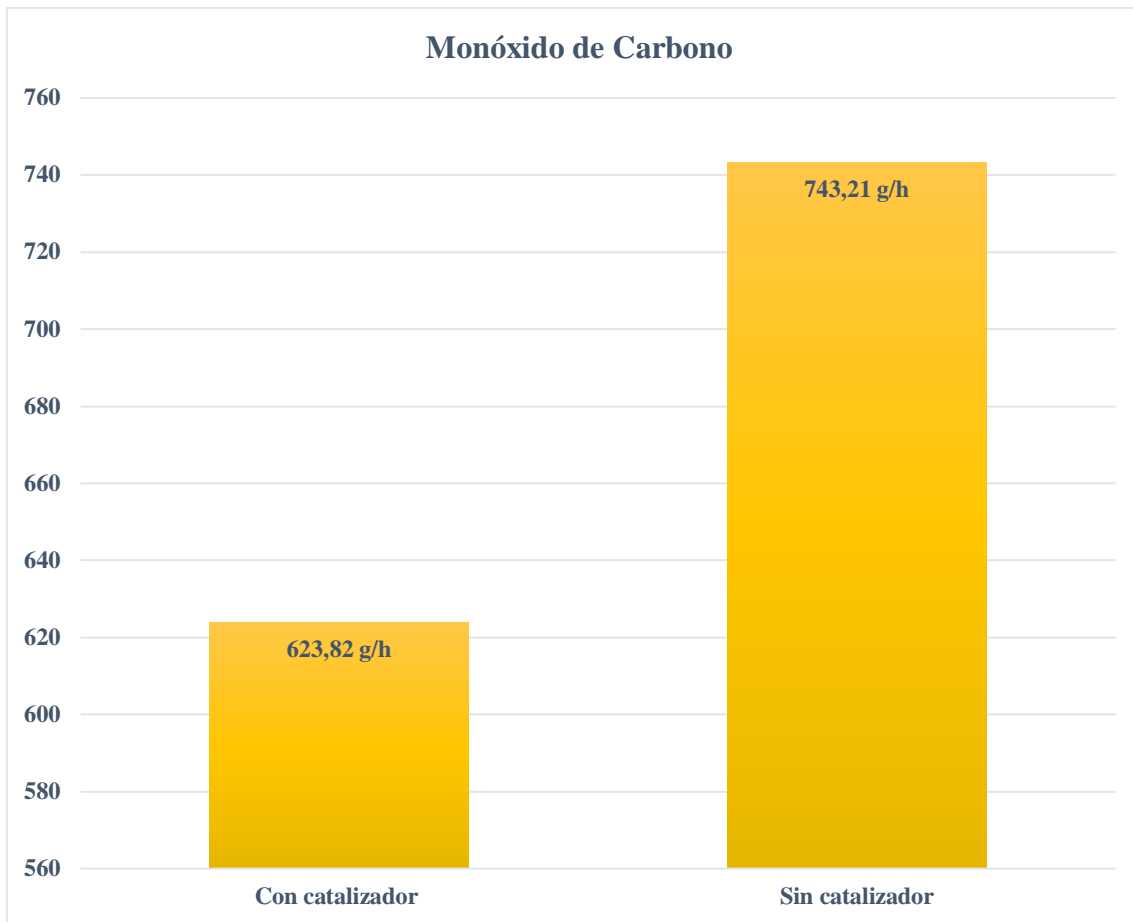
Una vez obtenidos los resultados de los cálculos por el método de balance químico de manera individual de cada gas emitido por el motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola durante cada prueba realizada, se realiza el análisis y la comparación de los mismos para determinar la cantidad de emisiones que es reducida al utilizar el catalizador en este equipo agrícola.

##### 4.5.1 Análisis de Resultados de los Cálculos con y sin Catalizador a 3.005 rpm

En la figura 39, se observan los resultados obtenidos con respecto a la cantidad de monóxido de carbono emitido por el motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200 al realizar las pruebas con y sin catalizador a 3.005 rpm, al utilizar el convertidor catalítico se obtuvo una cantidad de  $623,82 \frac{\text{g}}{\text{h}}$  de emisiones de CO, al realizar la prueba sin catalizador, se obtuvo una cantidad de  $743,21 \frac{\text{g}}{\text{h}}$  de emisiones de CO, por lo tanto, al utilizar el convertidor catalítico existe una reducción del 16,07% de la cantidad de monóxido de carbono emitido por el motor de dos tiempos.

**Figura 39**

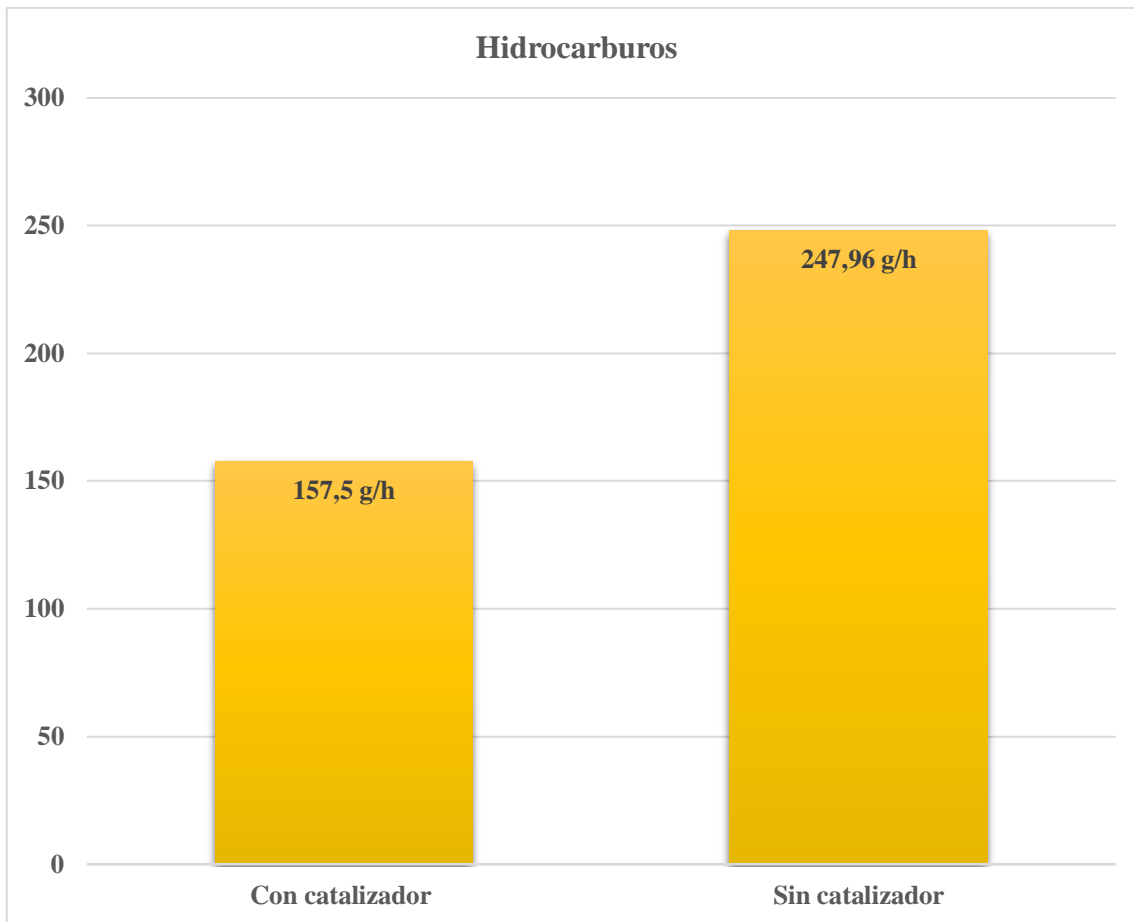
*Análisis de las Pruebas con y sin Catalizador a 3.005 rpm*



En la figura 40, se observan los resultados obtenidos con respecto a la cantidad de hidrocarburos emitidos por el motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200 al realizar las pruebas con y sin catalizador a 3.005 rpm, al utilizar el convertidor catalítico se obtuvo una cantidad de  $157,5 \frac{\text{g}}{\text{h}}$  de emisiones de HC, al realizar la prueba sin catalizador, se obtuvo una cantidad de  $247,96 \frac{\text{g}}{\text{h}}$  de emisiones de HC, por lo tanto, al utilizar el convertidor catalítico existe una reducción del 36,48% de la cantidad de hidrocarburos emitidos por el motor de dos tiempos.

**Figura 40**

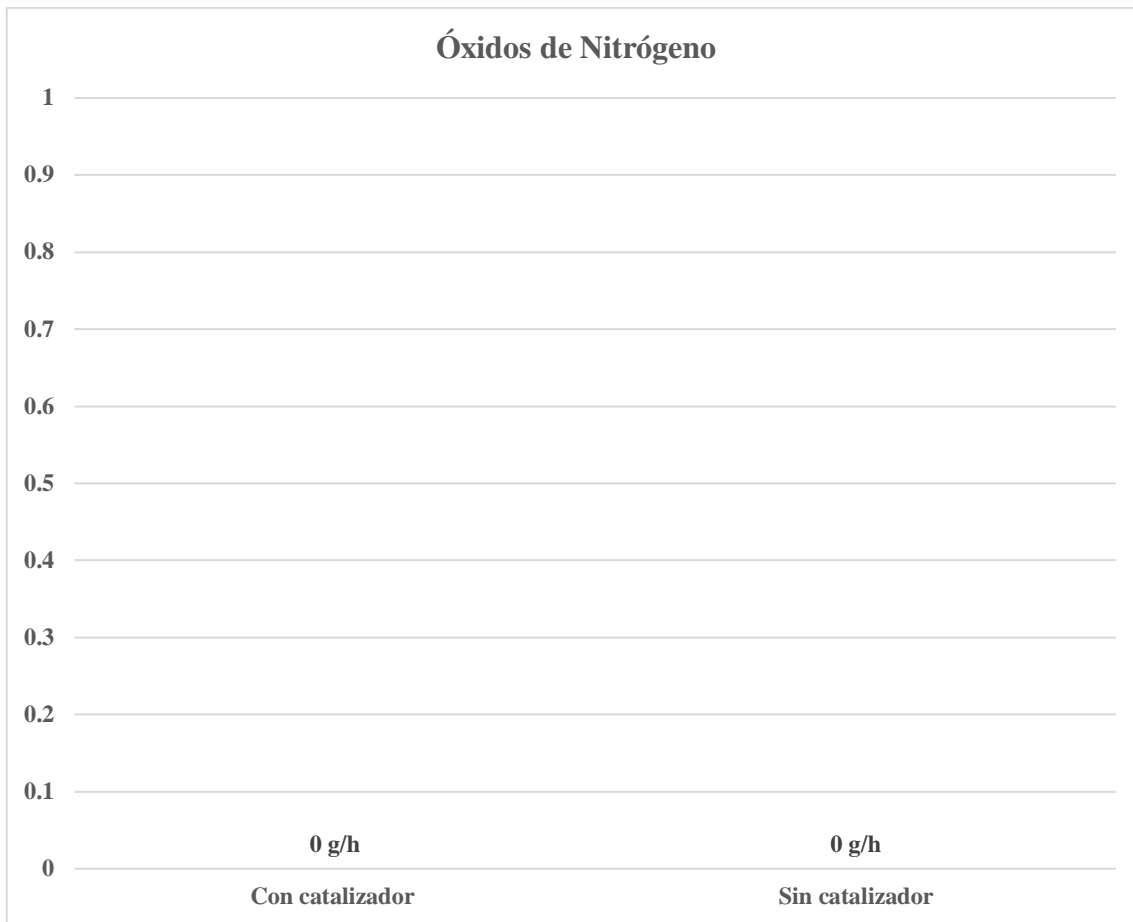
*Análisis de las Pruebas con y sin Catalizador 3.005 rpm*



En la figura 41, se observan los resultados obtenidos con respecto a la cantidad de óxidos de nitrógeno emitidos por el motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200 al realizar las pruebas con y sin catalizador a 3.005 rpm, al utilizar el convertidor catalítico se obtuvo una cantidad de  $0 \frac{\text{g}}{\text{h}}$  de emisiones de  $\text{NO}_x$ , al realizar la prueba sin catalizador, se obtuvo una cantidad de  $0 \frac{\text{g}}{\text{h}}$  de emisiones de  $\text{NO}_x$ , por lo tanto, la cantidad de óxidos de nitrógeno no fue detectada durante las pruebas realizadas con el equipo analizador de gases, debido a que, la cantidad de partículas expulsadas son mínimas y en menor cantidad en comparación con los otros gases.

**Figura 41**

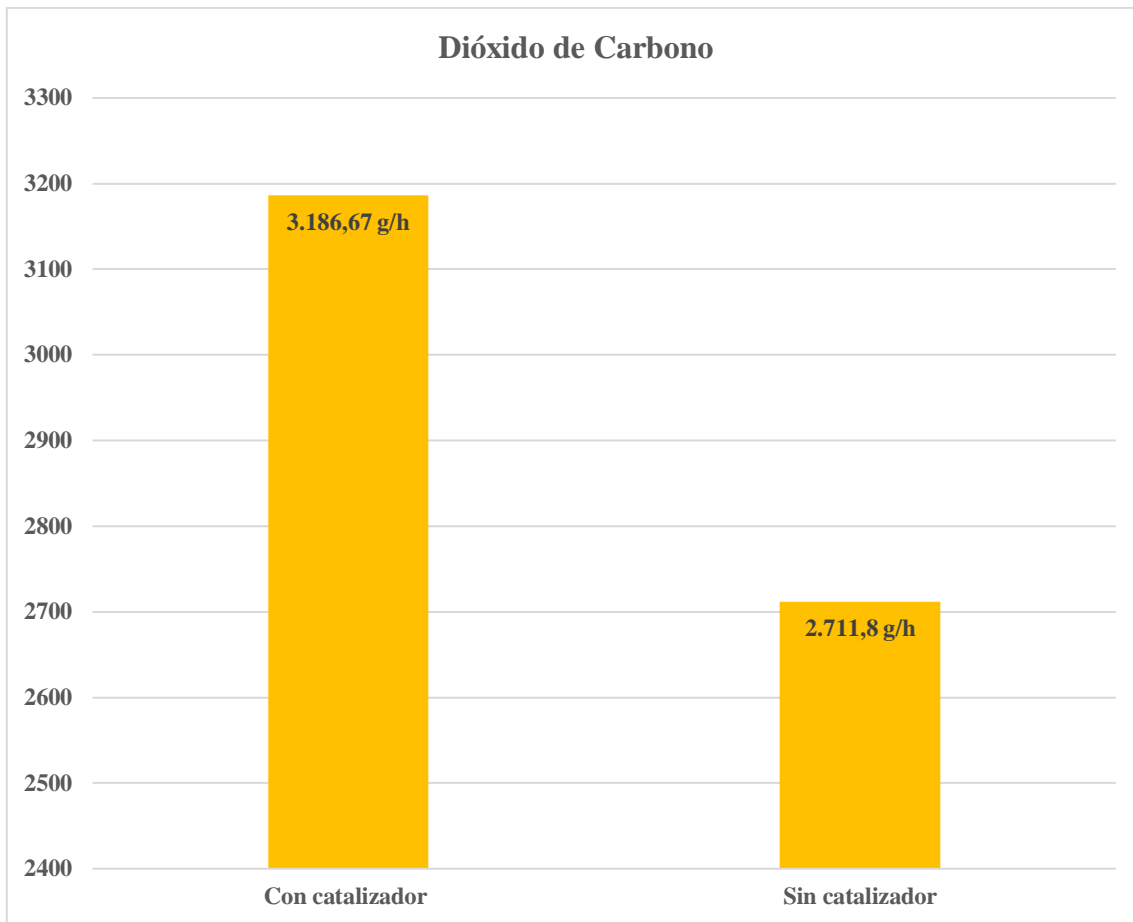
*Análisis de las Pruebas con y sin Catalizador 3.005 rpm*



En la figura 42, se observan los resultados obtenidos con respecto a la cantidad de dióxido de carbono emitido por el motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200 al realizar las pruebas con y sin catalizador a 3.005 rpm, al utilizar el convertidor catalítico se obtuvo una cantidad de  $3.186,67 \frac{\text{g}}{\text{h}}$  de emisiones de  $\text{CO}_2$ , al realizar la prueba sin catalizador, se obtuvo una cantidad de  $2.711,8 \frac{\text{g}}{\text{h}}$  de emisiones de  $\text{CO}_2$ , por lo tanto, al utilizar el convertidor catalítico existe un aumento del 14,91% de la cantidad de dióxido de carbono emitido hacia el medioambiente.

**Figura 42**

*Análisis de las Pruebas con y sin Catalizador 3.005 rpm*

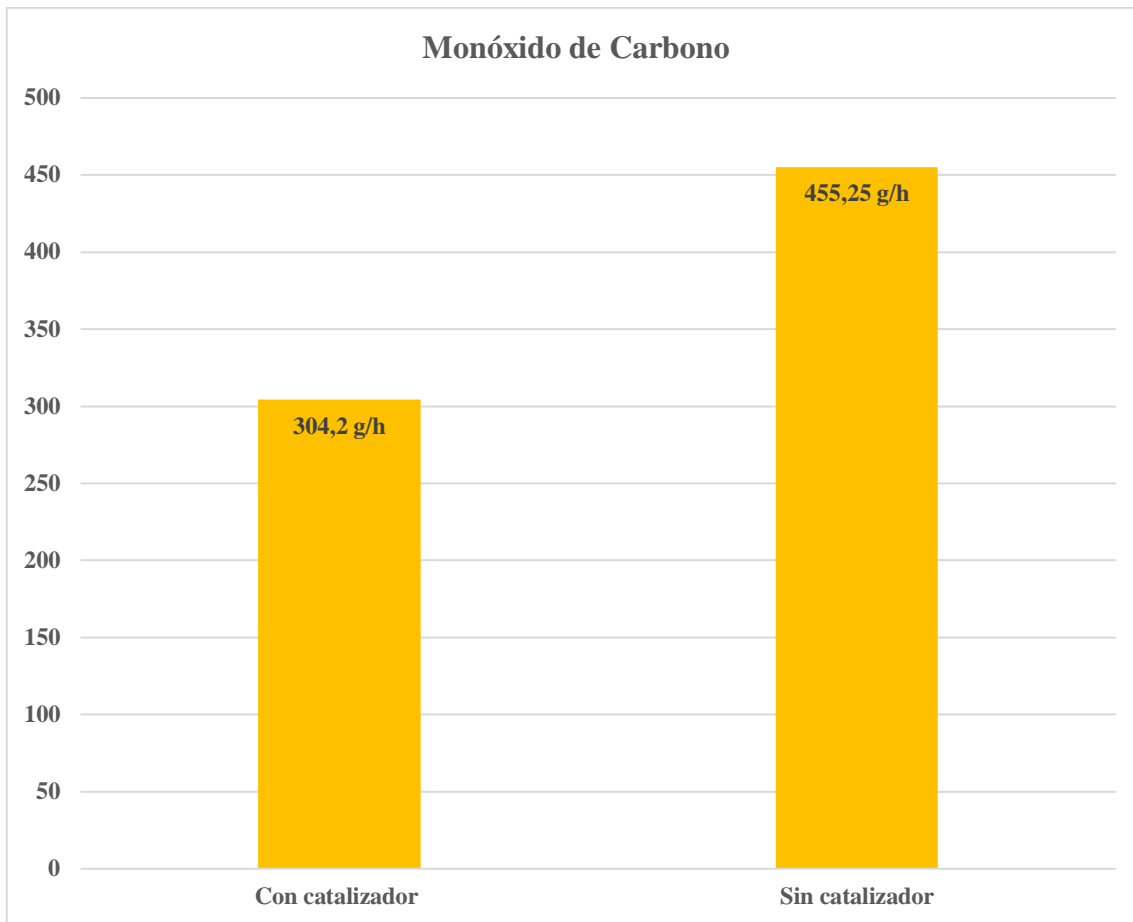


#### **4.5.2 Análisis de Resultados de los Cálculos con y sin Catalizador a 2.555 rpm**

En la figura 43, se observan los resultados obtenidos con respecto a la cantidad de monóxido de carbono emitido por el motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200 al realizar las pruebas con y sin catalizador a 2.555 rpm, al utilizar el convertidor catalítico se obtuvo una cantidad de  $304,20 \frac{\text{g}}{\text{h}}$  de emisiones de CO, al realizar la prueba sin catalizador, se obtuvo una cantidad de  $455,25 \frac{\text{g}}{\text{h}}$  de emisiones de CO, por lo tanto, al utilizar el convertidor catalítico existe una reducción del 33,18% de la cantidad de monóxido de carbono emitido por el motor de dos tiempos.

**Figura 43**

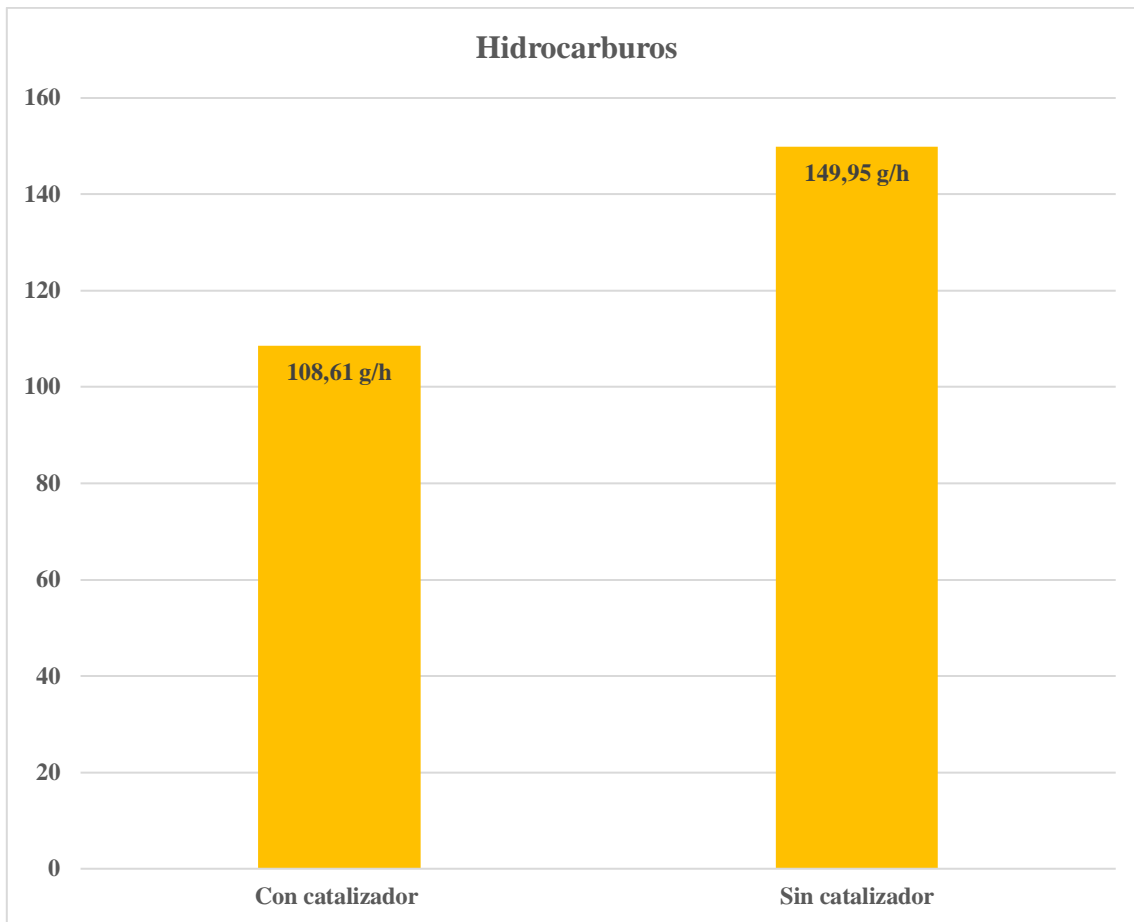
*Análisis de las Pruebas con y sin Catalizador 2.555 rpm*



En la figura 44, se observan los resultados obtenidos con respecto a la cantidad de hidrocarburos emitidos por el motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200 al realizar las pruebas con y sin catalizador a 2.555 rpm, al utilizar el convertidor catalítico se obtuvo una cantidad de  $108,61 \frac{\text{g}}{\text{h}}$  de emisiones de HC, al realizar la prueba sin catalizador, se obtuvo una cantidad de  $149,95 \frac{\text{g}}{\text{h}}$  de emisiones de HC, por lo tanto, al utilizar el convertidor catalítico existe una reducción del 27,57% de la cantidad de hidrocarburos emitidos por el motor de dos tiempos.

**Figura 44**

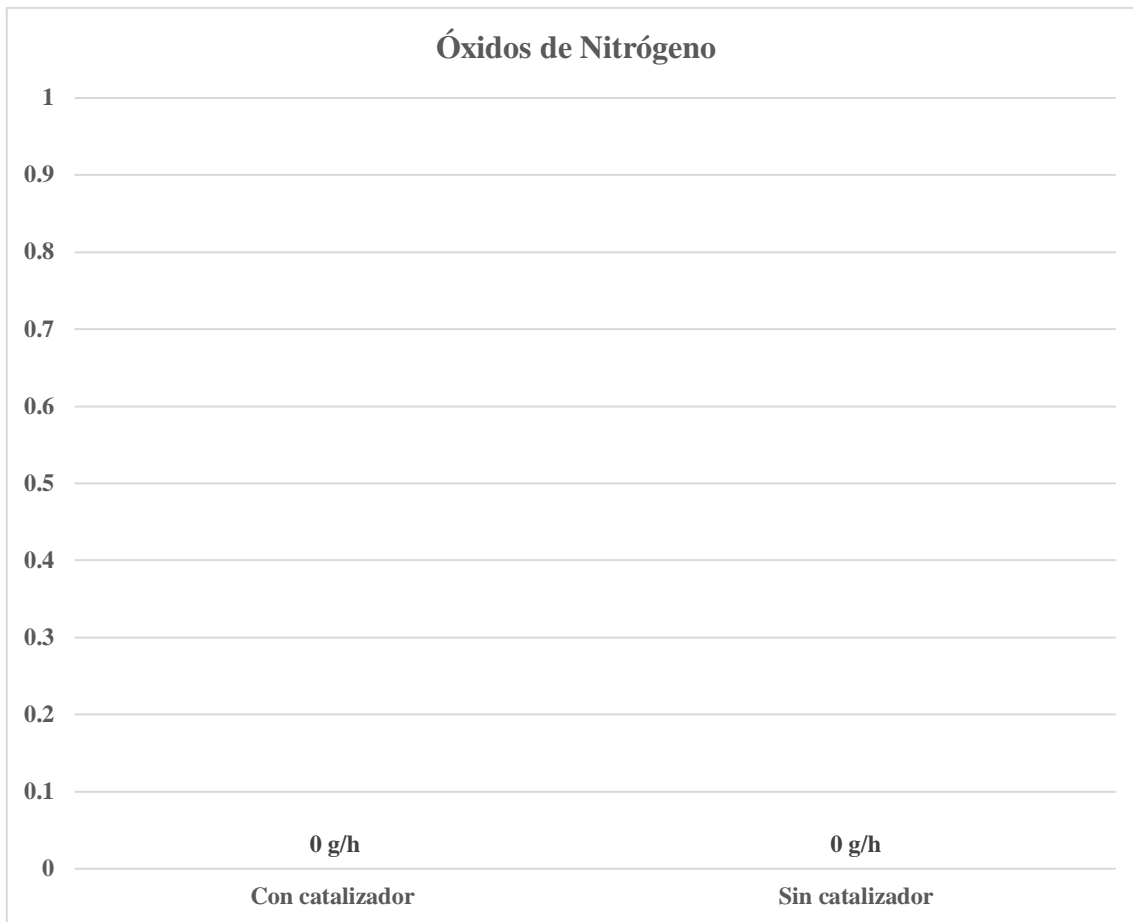
*Análisis de las Pruebas con y sin Catalizador 2.555 rpm*



En la figura 45, se observan los resultados obtenidos con respecto a la cantidad de óxidos de nitrógeno emitidos por el motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200 al realizar las pruebas con y sin catalizador a 2.555 rpm, al utilizar el convertidor catalítico se obtuvo una cantidad de  $0 \frac{\text{g}}{\text{h}}$  de emisiones de  $\text{NO}_x$ , al realizar la prueba sin catalizador, se obtuvo una cantidad de  $0 \frac{\text{g}}{\text{h}}$  de emisiones de  $\text{NO}_x$ , por lo tanto, la cantidad de óxidos de nitrógeno no fue detectada durante las pruebas realizadas con el equipo analizador de gases, debido a que, la cantidad de partículas expulsadas son mínimas y en menor cantidad en comparación con los otros gases.

**Figura 45**

*Análisis de las Pruebas con y sin Catalizador 2.555 rpm*

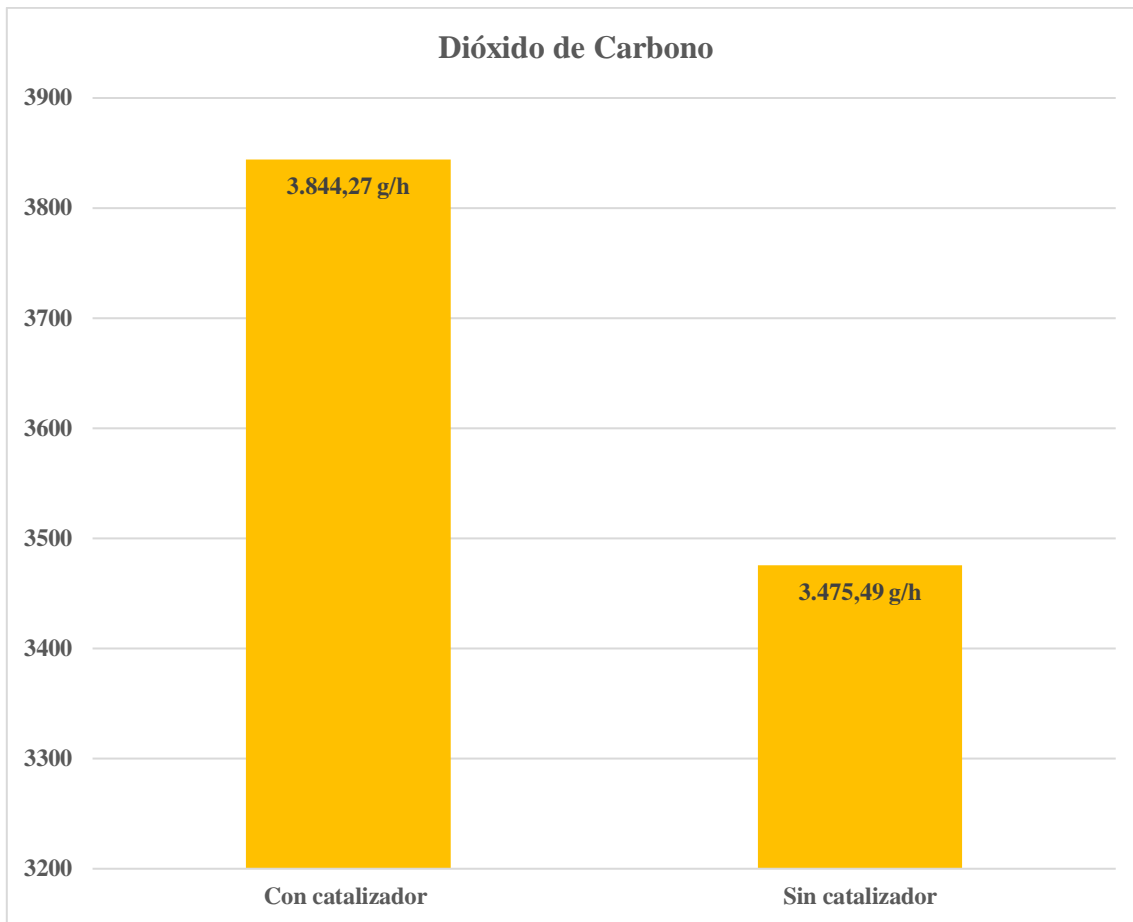


En la figura 46, se observan los resultados obtenidos con respecto a la cantidad de dióxido de carbono emitido por el motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200 al realizar las pruebas con y sin catalizador a 2.555 rpm, al utilizar el convertidor catalítico se obtuvo una cantidad de  $3.844,27 \frac{\text{g}}{\text{h}}$  de emisiones de  $\text{CO}_2$ , al realizar la prueba sin catalizador, se obtuvo una cantidad de  $3.475,49 \frac{\text{g}}{\text{h}}$  de emisiones de  $\text{CO}_2$ , por lo tanto, al utilizar el convertidor catalítico existe un aumento del 9,59% de la cantidad de dióxido de carbono emitido hacia el medioambiente.



**Figura 46**

*Análisis de las Pruebas con y sin Catalizador 2.555 rpm*



#### **4.6 Análisis de la Mezcla Aceite y Gasolina en la Medición de Emisiones en Equipo Atomizador Agrícola Cifarelli M1200**

La relación de la mezcla de aceite y gasolina fue de 50:1 para cada prueba con y sin catalizador, tal como lo indica la norma ISO 8178, por lo tanto, no fue necesario variar la relación de la misma. El tipo de gasolina que se utilizó para realizar el análisis de emisiones en el motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200 fue la ECOPAÍS y el tipo de aceite fue el Havoline 2-Cycle Engine Oil TC-W3, este tipo de combustible y lubricante son los indicados a utilizar por el fabricante del equipo.

## Conclusiones

Al realizar este proyecto se identificó que a nivel internacional existen normativas enfocadas directamente en el control de emisiones producidas por las máquinas o equipos que son utilizados en el sector agrícola, los cuales deben cumplir con los reglamentos establecidos en las normas para su utilización.

Se analizó cada uno de los factores establecidos por la norma ISO 8178 que influyen de manera directa o indirecta en el funcionamiento del motor de dos tiempos del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200, tales como, tipo de combustible, lubricante, presión atmosférica, humedad del aire y temperatura del aire, por lo tanto, si alguno de estos factores no es tomado en cuenta para realizar las pruebas de emisiones, el análisis no tiene validez, ya que, los resultados obtenidos serán erróneos y no se estaría cumpliendo con lo que está estipulado en la norma.

Se determinó por medio de las pruebas realizadas con el equipo analizador de gases que al utilizar el convertidor catalítico de tres vías existe una reducción en la cantidad de emisiones de monóxido de carbono y en la cantidad de emisiones de hidrocarburos, hay un aumento en la cantidad de dióxido de carbono, los óxidos de nitrógeno no fueron detectados, debido a que, sus partículas se expulsaron en mínimas cantidades.

Se comprobó por medio del método de balance químico que al realizar la prueba a 3.005 rpm con catalizador hay una reducción del 16,07% en la cantidad de monóxido de carbono, en los hidrocarburos hay una reducción del 36,48% y hay un aumento del 14,91% en la cantidad de dióxido de carbono. Cuando se realiza la prueba a 2.555 rpm con catalizador hay una reducción del 33,18% en la cantidad de monóxido de carbono, en los hidrocarburos hay una reducción del 27,57% y hay un aumento del 9,59% en la cantidad de dióxido de

carbono, estos porcentajes se obtienen por medio del análisis y comparación de los resultados obtenidos a partir de los cálculos realizados.

Con respecto a los óxidos de nitrógeno, su cantidad exacta no se detectó durante las pruebas realizadas con el equipo analizador de gases, debido a que, la cantidad de partículas expulsadas son mínimas y en menor cantidad en comparación con los otros gases.

De acuerdo a la norma ISO 8178 para el análisis de emisiones en motores de dos tiempos, la relación de la mezcla de combustible y aceite debe ser de 50:1, no puede variar.

Por lo tanto, se estableció que es de suma importancia que en nuestro país existan normativas que promuevan la utilización del convertidor catalítico en las máquinas o equipos dentro del sector agrícola, esto ayudaría al cuidado del medio ambiente y al de la salud del operador de la máquina o equipo.

## Recomendaciones

Al realizar las pruebas de análisis de emisiones se debe tratar que en lo posible las condiciones climáticas sean las mejores, ya que, son un factor que influye directamente en el resultado final.

Según la normativa ISO 8178, cada máquina o equipo debe utilizar el convertidor catalítico indicado por el fabricante del equipo, en el caso del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200 debe utilizar un convertidor catalítico de tres vías que sea elaborado con rodio, platino y paladio, las pruebas de análisis de emisiones deben ser realizadas únicamente con el catalizador que le pertenece a ese determinado tipo de equipo.

Cuando el motor está encendido se debe tapar el tubo de escape de 3 a 5 segundos, con el objetivo de generar una ligera presión y esta al liberarse elimine las impurezas existentes.

Una vez que el equipo analizador de gases haya alcanzado su régimen de funcionamiento adecuado y que el motor se encuentre estabilizado, se procede a realizar el análisis de emisiones, todo esto se hace con el objetivo de tener los datos lo más exactos posibles.

Después de cada medición se debe limpiar la sonda flexible con el objetivo de eliminar las partículas provenientes de los gases de escape que se adhieren a la superficie de la sonda.

Al realizar el análisis de emisiones se deben utilizar los siguientes implementos de seguridad, tales como, mascarilla, mandil, gafas de seguridad, tapones auditivos y botas.

Según la normativa ISO 8178, la relación de la mezcla para realizar el análisis de emisiones debe ser de 50:1, en caso de no cumplir con este requisito, los resultados obtenidos no serán válidos.

## Bibliografía

- Andrade Giraldo, W. (2008). *Estimación de la emisión de contaminantes en motocicletas*. Vecteezy. <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v75n156/a24v75n156.pdf>
- Artieda, S. D. (2014). *Optimización del rendimiento de un motor de dos tiempos y pequeña cilindrada mediante simulación numérica*.
- Bazante, W. A. (2020). *Proceso de implementación de la electromovilidad para una flota pequeña de vehículos M1 en la ciudad de Guayaquil*. [Tesis de pregrado, Universidad Internacional del Ecuador]. Repositorio de la Universidad Internacional del Ecuador. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/4390/1/T-UIDE-0104.pdf>
- Cárdenas, R. (2016). *Componentes del equipo atomizador agrícola Cifarelli M1200*. Slideshare. <https://es.slideshare.net/ingrismarlynbazancas/manual-cifarelli-modelo-m1200>
- Guaqueta, D. B. (2018). *Fumigadora de espalda con control electrónico de flujo*.
- Matins, K. S. (2005). *Estudio del empleo de un convertidor catalítico para las emisiones gaseosas en un motor de ignición por chispa usando etanol como combustible*. Revista de Ingeniería Mecánica.
- Mercedes Morales, A. H. (2014). *Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible*. Motoscoot.
- Muñoz, E. (2015). *Ingeniería básica de un sistema SNCR para una incineradora de RSU*.
- Núñez, C. (2018). *Estudio de emisiones de gases en vehículos a gasolina*. Editex.
- Prado Luna, J. M. (2014). *Medición y evaluación de los niveles de opacidad generados por los vehículos con motor de combustible diésel*. Editoriales Plantea.
- Sanz, S. (2017). *Motor de dos tiempos*. Reverté.
- Serrano, G. (2018). *Equipos atomizadores agrícolas de mochila*. Edictal S.A.

Tobar, K. (2017). *Emisiones de escape de motores pequeños en dispositivos portátiles*.

Vintimilla, P. F. (2015). *Análisis de resultados de la medición de emisiones de gases contaminantes de fuentes móviles a partir de la implementación de la revisión técnica vehicular en el Cantón Cuenca*. Edictal.

Vipond, L. (2012). *Medición de las emisiones de gases de escape*. Editoriales IDT.

Wolfgang, M. (1999). *Pruebas de emisiones en motores para ser instalados en maquinaria no vial*. Nórdica.

## Anexos

### Anexo 1 - Datos Técnicos del Equipo Atomizador Agrícola Cifarelli M1200



Progresivo STE M1200 SPA	Año 2015	Rev. 01
Fecha: 03/12/2015	Pág. 1	de 4

#### ESPECÍFICAS TÉCNICAS

#### ATOMIZADOR SERIE M1200



#### DATOS TÉCNICOS

Motor	CIFARELLI C7 monocilindrico de 2 tiempos refrigerado por aire
Cilindrada	77 cc
Calibre	52 mm
Recorrido	36 mm
Potencia máxima	KW 3,6 (5 HP)
Carburador	WALBRO de membrana
Sistema eléctrico	Encendido electrónico
Bujía	Champion RCJ6Y
Combustible	Mezcla de gasolina y aceite para 2 tiempos.
Capacidad depósito combustible	2,3 Litros
Peso en vacío	Kg. 11,35 sin tubos (modelo M1200)
Masa (lleno)	Kg 25 x mujeres, Kg 30 x hombres
Capacidad tanque líquidos	Litros 17
Caudal líquido	0 – 3,5 Litros/minuto
Caudal aire (sin dispositivo de soplado)	1630 M <sup>3</sup> / h
Alcance máximo horizontal	18 metros
Alcance máximo vertical	16 metros
Tamaño de las gotas	90
Ruido	(EN ISO 11201) Nivel presión acústica L <sub>pfa</sub> = dB 103 + 4 (Kpa) (EN ISO 3744) Nivel potencia acústica L <sub>wa</sub> = dB 115 (Kwa)
Vibraciones (EN ISO 20643)	Valor medio cuadrático ponderado en la empuñadura a <sub>wh</sub> < 2,5 m/s <sup>2</sup>
Compatibilidad electromagnética (EN ISO 14982)	Conforme relación CESI ENG

## Anexo 2 – Datos Técnicos del Aceite Havoline 2-Cycle Engine Oil TC-W3



# HAVOLINE<sup>®</sup> 2-CYCLE ENGINE OIL TC-W3<sup>®</sup>

### DESCRIPCIÓN DE PRODUCTO

El aceite Havoline<sup>®</sup> 2-Cycle Engine Oil TC-W3<sup>®</sup> es un aceite de propósito general para motores de dos tiempos enfriados con aire y agua.<sup>1</sup>

### BENEFICIOS PARA EL CLIENTE

El aceite Havoline 2-Cycle Engine Oil TC-W3 proporciona valor a través de:

- **Motores excepcionalmente limpios** con depósitos mínimos en la cámara de combustión, insignificante atascamiento de puertos, surcos de anillos limpios y anillos libres.
- **Excelente protección contra herrumbre**
- **Larga vida de las bujías**
- **Fácil mezclado y mezclas estables con gasolinas** aún en bajas temperaturas ambiente.

### CARACTERÍSTICAS

El aceite Havoline 2-Cycle Engine Oil TC-W3 es un lubricante de alta calidad para motores de dos tiempos que proporciona excelente desempeño en aplicaciones enfriadas con agua y enfriadas con aire. Está formulado para proporcionar excelente lubricación y control de depósitos en un amplio rango de aplicaciones.

El aceite Havoline 2-Cycle Engine Oil TC-W3 contiene un detergente especial sin ceniza diseñado para evitar que los anillos de pistón se peguen, promoviendo una operación de motor suave y eficiente. El aceite Havoline 2-Cycle Engine Oil TC-W3 mantendrá el motor libre de depósitos y además protegerá los pistones contra raspaduras y problemas de preignición.

Para aumentar la seguridad de almacenamiento y transporte, el aceite Havoline 2-Cycle Engine Oil TC-W3 contiene un solvente con alto punto de ignición. Este solvente también permite una buen mezclado con gasolina a temperaturas muy bajas.

Está teñido de azul para una fácil identificación de las mezclas combustible-aceite en aplicaciones pre-mezcladas.

### APLICACIONES

El aceite Havoline 2-Cycle Engine Oil TC-W3 se recomienda para uso en motores de dos tiempos en donde se recomiendan

lubricantes TC-W3 o lubricantes de propósito general anteriores. Estas aplicaciones incluyen motores fuera de borda, motocicletas, cortadoras de pasto, scooters, carros de golf, sierras de cadena y otros equipos de dos tiempos.

El aceite Havoline 2-Cycle Engine Oil TC-W3 es adecuado para motores que utilizan sistemas de inyección de aceite con rangos de mezclas combustible/aceite de hasta 150:1.

El aceite Havoline 2-Cycle Engine Oil TC-W3 tiene excelentes características de mezclado a baja temperatura que lo hacen adecuado para uso en condiciones de clima frío.

El aceite Havoline 2-Cycle Engine Oil TC-W3:

- está licenciado bajo el estándar de desempeño NMMA TC-W3. Registro #RL-99060T.
- se recomienda para satisfacer los requerimientos API TC para uso en aplicaciones de dos tiempos enfriadas por aire

**TC-W3<sup>®</sup>**



## Havoline® 2-Cycle Engine Oil TC-W3® – Continuación

La tabla de mezclas siguiente, es una guía para las proporciones correctas de mezcla de combustible, según es recomendado por los fabricantes de motores.

### Onzas de aceite a ser añadido:

Galones de Gasolina	1	2	3	4	5	6
Proporción 16:1	8	16	24	32	40	48
Proporción 24:1	5	11	16	21	27	32
Proporción 32:1	4	8	12	16	20	24
Proporción 50:1	3	5	8	11	13	16
Proporción 100:1	2	3	4	6	7	8

### INFORMACIÓN DE PRUEBAS TÍPICAS

Número de Producto	221896
Número SDS/MSDS	
USA	8629
Colombia	33698
El Salvador	33699
Densidad a 15°C, kg/L	0,87
Viscosidad, Cinemática cSt a 100°C	8,4
Viscosidad, Brookfield, cP a -25°C	7440
Punto de Inflamación PM, °C(°F)	107(225)
Ceniza Sulfatada, wt %	0
Número Base, ASTM D2896	5,0

Pueden esperarse variaciones menores en la información de pruebas típicas de producto en fabricación normal.

## Anexo 3 – Partes del Equipo Atomizador Agrícola Cifarelli M1200

## DOTACIÓN ESTÁNDAR

### DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES DEL ATOMIZADOR

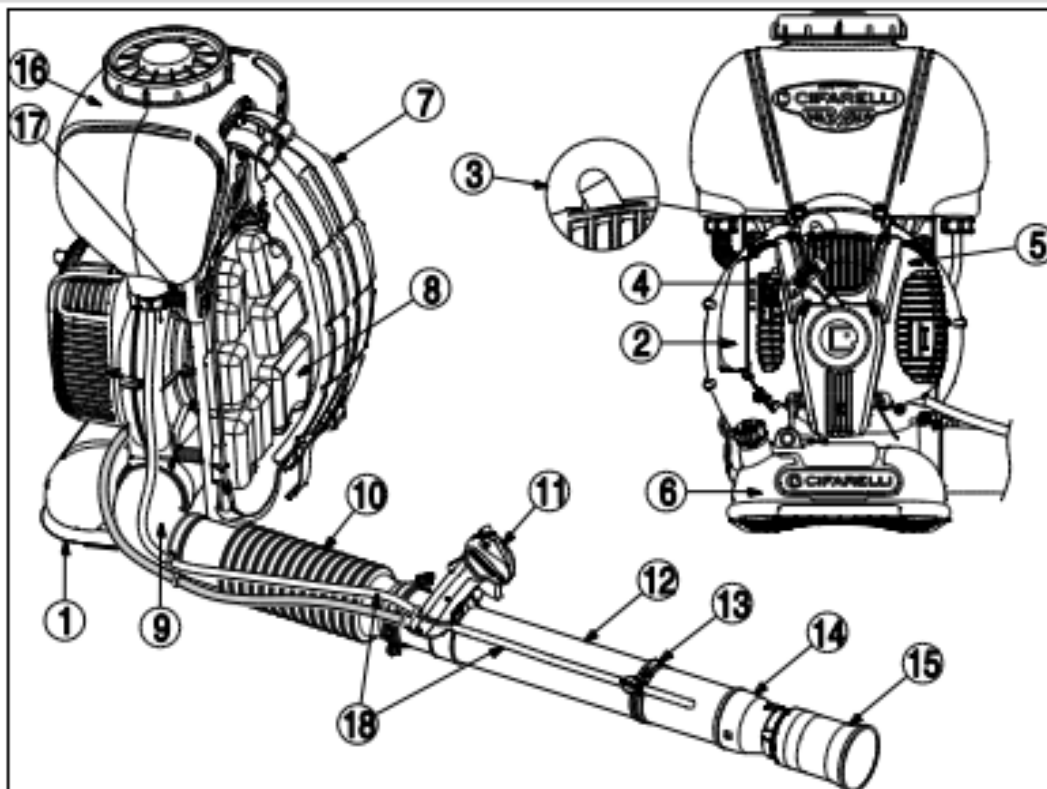


Figura 1 Partes del atomizador

1	Bastidor	7	Correas	13	Grifo salida líquido
2	Filtro aire	8	Cojinete	14	Difusor
3	Capuchón bujía	9	Codo	15	Boquilla ancha
4	Arranque	10	Tubo flexible	16	Depósito líquidos
5	Tapa motor	11	Empuñadura mandos	17	Amortiguadores
6	Depósito mezcla	12	Tubo de expulsión	18	Tubo de salida líquido
	Saquito llaves		Manual de instrucciones y de recambios		
	Nº.2 Tornillos TCEI M5x65 con tuercas M5 autoblocantes		Llave bujía con llave hexagonal		
	Botella preparación mezcla		Nº.2 Abrazaderas Ø 90		
	Código 24.141.00: Conector para excluir el paso de líquidos a través de la empuñadura				

## Anexo 4 – Controles y Mantenimientos del Equipo Atomizador Agrícola Cifarelli

### M1200

## CONTROLES Y MANTENIMIENTO

Esta máquina requiere pocos controles; si se efectúan, contribuirán a que siga siendo eficiente, sin darles problemas. Para eventuales reparaciones y para la compra de los recambios, les recomendamos que se dirijan a nuestros **centros de asistencia** que les atenderán con competencia y de la mejor de las maneras.

### TABLA DE LOS CONTROLES Y MANTENIMIENTO

Parte	Acción	Periodo de control y/o mantenimiento					
		Antes del uso	Después del uso	Cada 10 horas	Cada 25 horas	Cada 50 horas	En caso de problemas
Máquina completa	Inspección	✓					
Amortiguadores	Verificación	✓					
	Sustitución						✓
	<b>en el centro de asistencia</b>						
Tomillería y tornillos	Verificación	✓	✓				
	Apriete				✓		
Fugas eventuales de mezcla	Verificación	✓	✓				
Depósito líquidos	Verificación fugas	✓	✓				
	Limpieza		✓				
Grifo líquidos	Verificación fugas	✓	✓				
	Limpieza		✓				
Cordel arranque	Verificación				✓		
Bujía	Verificación				✓		
	Sustitución						✓
Filtro aire	Limpieza			✓			
	Sustitución						✓
Filtro mezcla	Verificación					✓	
	<b>en el centro de asistencia</b>						✓
Aletas cilindro y hendiduras en la tapa del ventilador (por enfriamiento del motor)	Verificación		✓				
	Limpieza					✓	
Tubo, cilindro pistón (Limpieza incrustaciones)	<b>Limpieza en el centro de asistencia</b>					✓	



**ATENCIÓN:** DESPUÉS DE LAS 10 PRIMERAS HORAS DE TRABAJO, ES NECESARIO PROCEDER AL APRIETE DE TODOS LOS TORNILLOS Y PERNOS CON UN CUIDADO ESPECIAL PARA AQUELLOS QUE SE ENCARGAN DE FIJAR EL CILINDRO, EL CARBURADOR Y EL TUBO DE ESCAPE. TODAS LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO DEBEN REALIZARSE CON EL MOTOR APAGADO, LA MÁQUINA BIEN FIJADA Y EL INTERRUPTOR (FIGURA 10 POSICIÓN 2) EN POSICIÓN "0".

### Anexo 5 - Datos Técnicos del Equipo Analizador de Gases

La temperatura	-5~40°C.
La humedad	≤95%
Presión atmosférica	67.0~106 kPa
Fuente de alimentación	AC220V ±10%; 50Hz ±1Hz
<b>Rango de medición</b>	
HC	0~10000 10-6(ppm)vol.
CO	0~10 10-2.0 (%), vol.
El CO2	0~20 10-2.0 (%), vol.
S2	0~25 10-2.0 (%), vol.
NOX	0~5000 10-6 (ppm), vol.
La velocidad	Rpm 0~9999
La temperatura del aceite	0~120°C.
<b>Tiempo de precalentamiento</b>	10 minutos

Descripción del producto	Descripción de la compañía	
Número de modelo: LONNSV-5Q	Personalización de soporte: OEM, Odm	lugar de origen: China
Garantía: 1 año	Fuente de alimentación: Ac220v ±10%; 50 Hz ± 1 Hz	Rango de detección de temperatura: -5 ~ 40 °C
Rango de detección de humedad: 95%	Gas: puede probar 5 tipos de gas	Presión atmosférica: 67,0~106 Kpa
Tiempo de precalentamiento: 10 minutos	Rango de HC: 0~10000 10-6(Ppm)vol	CO Rango: 0~10.0 10-2 (%)vol
Rango de CO2: 0~20,0 10-2 (%)vol	Embalaje: Cartón	Productividad: 500000/A
Nombre de la marca: Lonm	Lugar de origen: China	Capacidad de suministro: 500000/Y
Certificación: ISO 9001, CE ROHS		

