



**ESPE**  
**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

1

**Análisis termográfico de convertidores catalíticos recuperados, mediante reacción redox  
e inyección de gases inertes**

**Amán Cuadrado, Andrés Mauricio y Salguero Almachi, Edison Daniel**

**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Ingeniería Automotriz**

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

**Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc**

**01 de febrero del 2022**

**Latacunga**



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, "Análisis termográfico de convertidores catalíticos recuperados, mediante reacción redox e inyección de gases inertes" fue realizado por los señores Amán Cuadrado, Andrés Mauricio y Salguero Almachi, Edison Daniel, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 01 de febrero del 2022

Firma:

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc

C.C.: 0502509995

## Reporte de verificación de contenido



Identical Words	1236
Words with Minor Changes	314
Paraphrased Words	481
Omitted Words	0

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc  
C.C.: 0502509995



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Responsabilidad de autoría

Nosotros, Amán Cuadrado, Andrés Mauricio y Salguero Almachi, Edison Daniel, con cédulas de ciudadanía n° 1805081823 y 1725450751, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Análisis termográfico de convertidores catalíticos recuperados, mediante reacción redox e inyección de gases inertes**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 01 de febrero del 2022



Amán Cuadrado, Andrés Mauricio

C.C.: 1805081823



Salguero Almachi, Edison Daniel

C.C.: 1725450751



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autorización de publicación

Nosotros, Amán Cuadrado, Andrés Mauricio y Salguero Almachi, Edison Daniel, con cédulas de ciudadanía n°1805080823 y 1725450751, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Análisis termográfico de convertidores catalíticos recuperados, mediante reacción redox e inyección de gases inertes**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 01 de febrero del 2022

Amán Cuadrado, Andrés Mauricio

C.C.: 1805081823

Salguero Almachi, Edison Daniel

C.C.: 1725450751

## **Dedicatoria**

El presente proyecto lo dedico a mis padres por todo el apoyo que he recibido de parte de ellos, por animarme a siempre a seguir adelante y nunca dejarme caer; además quiero dedicar esto a cada una de las personas que creyeron y creen en mí, en lo que soy y en lo que puedo llegar a ser en el futuro, apoyándome siempre tanto en las buenas como en las malas, infinitas gracias porque sé que sin sus levantadas de ánimo todo esto no sería posible.

**Amán Cuadrado, Andrés Mauricio**

**Dedicatoria**

Dedico el trabajo de investigación a mis padres pues ellos son el pilar fundamental de lo que he logrado, ellos que con sus consejos y apoyo permitieron que cumpla uno de mis sueños, a ellos que siempre han estado en los momentos felices y difíciles.

A mi hermana, quien me brindo apoyo en el inicio, transcurso y final del estudio.

A ellos que me permitieron ser profesional.

**Salguero Almachi, Edison Daniel**

## **Agradecimientos**

Agradezco primeramente a Dios por la vida y a la Virgencita de Agua Santa por siempre bendecirme, protegerme y guiarme por buen camino en todo momento, por más difícil que haya sido, y que me ha permitido culminar de la mejor manera un paso más de mi vida académica, de igual manera quiero agradecer a mis padres y hermanas, ya que sin su apoyo incondicional tanto económico como moral, no podría haber culminado este gran logro.

Además, quiero agradecer también a cada uno de los ingenieros que me ayudaron en mi formación académica, los cuales me supieron apoyar y guiar en ciertos momentos difíciles de mi carrera universitaria.

**Amán Cuadrado, Andrés Mauricio**



## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por permitirme compartir junto a mis padres y hermana mis logros.

A mis padres y hermana por ser el soporte en el transcurso de mi vida estudiantil y profesional.

A cada una de esas personas que me supieron brindar sus palabras de apoyo y que depositaron su confianza en mí.

**Salguero Almachi, Edison Daniel**

**Tabla de contenidos**

<b>Carátula.....</b>	<b>1</b>
<b>Certificación.....</b>	<b>2</b>
<b>Reporte de verificación de contenido .....</b>	<b>3</b>
<b>Responsabilidad de autoría .....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de publicación .....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>6</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>7</b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>8</b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>9</b>
<b>Tabla de contenidos .....</b>	<b>10</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>17</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>20</b>
<b>Índice de ecuaciones.....</b>	<b>24</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>25</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>26</b>
<b>Capítulo I.....</b>	<b>27</b>
<b>Planteamiento del problema de investigación .....</b>	<b>27</b>
<b>Antecedentes investigativos.....</b>	<b>27</b>
<b>Planteamiento del problema .....</b>	<b>33</b>

	11
<b>Descripción resumida del proyecto .....</b>	<b>37</b>
<b>Justificación e importancia.....</b>	<b>39</b>
<b>Objetivos del proyecto .....</b>	<b>40</b>
<i>Objetivo general.....</i>	<i>40</i>
<i>Objetivos específicos .....</i>	<i>40</i>
<b>Metas.....</b>	<b>41</b>
<b>Hipótesis.....</b>	<b>42</b>
<b>Variables de la investigación.....</b>	<b>42</b>
<i>Variable dependiente.....</i>	<i>42</i>
<i>Variable independiente.....</i>	<i>43</i>
<b>Fundamento teórico .....</b>	<b>45</b>
<b>Catalizador.....</b>	<b>45</b>
<i>Estructura....</i>	<i>45</i>
<i>Principio de operación.....</i>	<i>48</i>
<b>Catalizadores por el número de vías.....</b>	<b>49</b>
<i>Catalizador de 2 vías.....</i>	<i>49</i>
<i>Catalizador de 3 vías.....</i>	<i>50</i>
<b>Reacciones redox .....</b>	<b>51</b>
<i>Reacciones de oxidación .....</i>	<i>51</i>
<i>Reacciones de reducción.....</i>	<i>51</i>
<b>Gases inertes.....</b>	<b>52</b>

	12
<b>Nitrógeno.....</b>	<b>52</b>
<b>Hidrógeno.....</b>	<b>52</b>
<b>Parámetros de control .....</b>	<b>52</b>
<b>Parámetros de control del nitrógeno .....</b>	<b>52</b>
<b>Parámetros de control del hidrógeno .....</b>	<b>53</b>
<b>Características físicas - químicas.....</b>	<b>54</b>
<b>Características físicas – químicas del nitrógeno .....</b>	<b>54</b>
<b>Características físicas – químicas del hidrógeno .....</b>	<b>54</b>
<b>Evaluación química .....</b>	<b>55</b>
<b>Cualitativa.....</b>	<b>56</b>
<b>Cuantitativa.....</b>	<b>56</b>
<b>Métodos de limpieza de un catalizador .....</b>	<b>56</b>
<b>Utilización de máquinas específicas .....</b>	<b>56</b>
<b>DPF REVIVAL C500.....</b>	<b>57</b>
<b>DPF 1800.....</b>	<b>57</b>
<b>DPF 1800 PRO .....</b>	<b>58</b>
<b>La sonocatálisis .....</b>	<b>59</b>
<b>Morfología de los catalizadores.....</b>	<b>59</b>
<b>Prueba microscopía electrónica de barrido .....</b>	<b>59</b>
<b>Prueba espectroscopia de dispersión de rayos x .....</b>	<b>59</b>
<b>Cámara termográfica.....</b>	<b>59</b>

	13
<i>Características</i> .....	<b>60</b>
<b>Análisis termográfico</b> .....	<b>61</b>
<i>ASTM E 1934 – 99a</i> .....	<b>61</b>
<i>ASTM E 1933 – 99a</i> .....	<b>61</b>
<i>ASTM E 1213 – 14</i> .....	<b>62</b>
<b>Diseño del equipo de recuperación y tratamiento</b> .....	<b>63</b>
<b>Parámetros de diseño del equipo</b> .....	<b>63</b>
<b>Diseño mecánico</b> .....	<b>63</b>
<i>Estructura</i> .....	<b>63</b>
<i>Reactor grande</i> .....	<b>67</b>
<i>Reactor pequeño</i> .....	<b>72</b>
<b>Diseño neumático</b> .....	<b>75</b>
<i>Selección de componentes</i> .....	<b>75</b>
<i>Distribución de cañerías de alta presión</i> .....	<b>77</b>
<i>Modelado 3D de la distribución de cañerías</i> .....	<b>79</b>
<i>Análisis de temperatura en la distribución de cañerías</i> .....	<b>79</b>
<i>Análisis de presión en la distribución de cañerías</i> .....	<b>80</b>
<i>Simulación termodinámica del tratamiento en el catalizador</i> .....	<b>81</b>
<i>Simulación termodinámica del tratamiento de muestras</i> .....	<b>82</b>
<b>Diseño eléctrico y electrónico</b> .....	<b>83</b>
<i>Selección de materiales</i> .....	<b>83</b>

	14
<i>Diseño de conexiones</i> .....	86
<i>Programación</i> .....	87
<i>Tablero de control</i> .....	89
<b>Análisis termográfico y caracterización morfológica</b> .....	92
<b>Análisis termográfico</b> .....	92
<i>Áreas de análisis termográfico</i> .....	92
<i>Proceso de recuperación del catalizador</i> .....	95
<i>Proceso de oxidación a temperatura programada del catalizador</i> .....	98
<i>Proceso de recuperación de muestras</i> .....	104
<i>Proceso de oxidación a temperatura programada de muestras</i> .....	106
<i>Condiciones de trabajo para la recuperación de catalizadores</i> .....	109
<b>Microscopía electrónica de barrido (SEM)</b> .....	112
<i>Muestra 1 - 4</i> .....	112
<i>Muestra 5 – 8</i> .....	114
<i>Muestra 9 - 12</i> .....	116
<i>Muestra 13</i> .....	118
<b>Espectroscopia de rayos X de energía dispersiva (EDS)</b> .....	119
<i>Muestra 1</i> .....	119
<i>Muestra 2</i> .....	121
<i>Muestra 3</i> .....	122
<i>Muestra 4</i> .....	124

	15
<b>Muestra 5.....</b>	<b>126</b>
<b>Muestra 6.....</b>	<b>128</b>
<b>Muestra 7.....</b>	<b>130</b>
<b>Muestra 8.....</b>	<b>132</b>
<b>Muestra 9.....</b>	<b>134</b>
<b>Muestra 10.....</b>	<b>136</b>
<b>Muestra 11.....</b>	<b>138</b>
<b>Muestra 12.....</b>	<b>140</b>
<b>Muestra 13.....</b>	<b>142</b>
<b>Análisis de resultados.....</b>	<b>145</b>
<b>Pruebas estáticas .....</b>	<b>145</b>
<b>Pruebas continuas a 900 rpm.....</b>	<b>145</b>
<b>Pruebas continuas a 1500 rpm.....</b>	<b>146</b>
<b>Pruebas continuas a 2000 rpm.....</b>	<b>148</b>
<b>Pruebas continuas a 2500 rpm.....</b>	<b>150</b>
<b>Pruebas continuas a 3000 rpm.....</b>	<b>151</b>
<b>Test oficial a 0 Km de recorrido.....</b>	<b>153</b>
<b>Test oficial a 1000 Km de recorrido .....</b>	<b>156</b>
<b>Test oficial a 2000 Km de recorrido .....</b>	<b>158</b>
<b>Test oficial a 3000 Km de recorrido .....</b>	<b>161</b>
<b>Test oficial a 4000 Km de recorrido .....</b>	<b>164</b>

	16
<i>Test oficial a 5000 Km de recorrido</i> .....	166
<b>Pruebas dinámicas</b> .....	168
<i>Prueba en zona urbana a 33.6 Km/h</i> .....	168
<i>Prueba en zona urbana a 46.5 Km/h</i> .....	171
<i>Prueba en zona urbana a 50 Km/h</i> .....	173
<i>Prueba en zona extra urbana a 100 Km/h</i> .....	175
<i>Prueba en zona extra urbana a 120 Km/h</i> .....	177
<i>Prueba en zona extra urbana a 130 Km/h</i> .....	179
<b>Marco administrativo</b> .....	181
<b>Recursos</b> .....	181
<i>Recursos humanos</i> .....	181
<i>Recursos tecnológicos</i> .....	181
<i>Recursos materiales</i> .....	182
<b>Presupuesto</b> ....	183
<i>Costo de calibración de equipos</i> .....	183
<i>Costo neto del proyecto</i> .....	184
<b>Financiamiento</b> .....	184
<b>Conclusiones</b> .....	186
<b>Recomendaciones</b> .....	190
<b>Bibliografía</b> .....	192
<b>Anexos</b> .....	199



## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Variable dependiente</i> .....	42
<b>Tabla 2</b> <i>Variable independiente</i> .....	44
<b>Tabla 3</b> <i>Propiedades físicas y químicas del nitrógeno</i> .....	54
<b>Tabla 4</b> <i>Propiedades físicas y químicas del hidrógeno</i> .....	55
<b>Tabla 5</b> <i>Características tubo estructural</i> .....	63
<b>Tabla 6</b> <i>Características de plancha laminada al frío</i> .....	64
<b>Tabla 7</b> <i>Propiedades del acero ASTM - A36</i> .....	64
<b>Tabla 8</b> <i>Características de la plancha de acero inoxidable</i> .....	68
<b>Tabla 9</b> <i>Propiedades del acero inoxidable AISI 304</i> .....	68
<b>Tabla 10</b> <i>Características de la resistencia</i> .....	69
<b>Tabla 11</b> <i>Características del material térmico</i> .....	69
<b>Tabla 12</b> <i>Características de las mangueras de teflón</i> .....	70
<b>Tabla 13</b> <i>Características de los acoples</i> .....	71
<b>Tabla 14</b> <i>Componentes del reactor grande</i> .....	72
<b>Tabla 15</b> <i>Características del tubo redondo AISI 304</i> .....	73
<b>Tabla 16</b> <i>Características de la resistencia tubular</i> .....	73
<b>Tabla 17</b> <i>Componentes del reactor pequeño</i> .....	75
<b>Tabla 18</b> <i>Cilindros de O<sub>2</sub> y N</i> .....	75
<b>Tabla 19</b> <i>Regulador de oxígeno</i> .....	76
<b>Tabla 20</b> <i>Regulador de nitrógeno</i> .....	76
<b>Tabla 21</b> <i>Manguera de alta presión</i> .....	76
<b>Tabla 22</b> <i>Flujómetros</i> .....	77
<b>Tabla 23</b> <i>Componentes de la distribución de mangueras de alta presión</i> .....	78
<b>Tabla 24</b> <i>Relé SSR</i> .....	83

	18
<b>Tabla 25</b> <i>Fusible CAMSCO RT14-20</i> .....	84
<b>Tabla 26</b> <i>Interruptor</i> .....	84
<b>Tabla 27</b> <i>Controlador de temperatura</i> .....	85
<b>Tabla 28</b> <i>Termopar</i> .....	85
<b>Tabla 29</b> <i>Componentes del regulador de temperatura CAMSCO REX C700</i> .....	87
<b>Tabla 30</b> <i>Componentes del sistema eléctrico - electrónico</i> .....	91
<b>Tabla 31</b> <i>Semejanza de nodos en áreas de trabajo</i> .....	93
<b>Tabla 32</b> <i>Valores implementados en ensayos a un tiempo total de 60 minutos</i> .....	110
<b>Tabla 33</b> <i>Valores utilizados en ensayos en un tiempo total de 45 minutos</i> .....	111
<b>Tabla 34</b> <i>Resultados EDS muestra 1</i> .....	119
<b>Tabla 35</b> <i>Resultados EDS muestra 2</i> .....	121
<b>Tabla 36</b> <i>Resultados EDS muestra3</i> .....	123
<b>Tabla 37</b> <i>Resultados EDS muestra 4</i> .....	125
<b>Tabla 38</b> <i>Resultados EDS muestra 5</i> .....	127
<b>Tabla 39</b> <i>Resultados EDS muestra 6</i> .....	129
<b>Tabla 40</b> <i>Resultados EDS muestra 7</i> .....	131
<b>Tabla 41</b> <i>Resultados EDS muestra 8</i> .....	133
<b>Tabla 42</b> <i>Resultados EDS muestra 9</i> .....	135
<b>Tabla 43</b> <i>Resultados EDS muestra 10</i> .....	137
<b>Tabla 44</b> <i>Resultados EDS muestra 11</i> .....	139
<b>Tabla 45</b> <i>Resultados EDS muestra 12</i> .....	141
<b>Tabla 46</b> <i>Resultados EDS muestra 13</i> .....	143
<b>Tabla 47</b> <i>Pruebas a 900 rpm</i> .....	145
<b>Tabla 48</b> <i>Pruebas a 1500 rpm</i> .....	147
<b>Tabla 49</b> <i>Pruebas a 2000 rpm</i> .....	148

	19
<b>Tabla 50</b> <i>Pruebas a 2500 rpm</i> .....	150
<b>Tabla 51</b> <i>Pruebas a 3000 rpm</i> .....	152
<b>Tabla 52</b> <i>Test a 0 Km con motor al mínimo y en aceleración</i> .....	154
<b>Tabla 53</b> <i>Test a 1000 Km con motor al mínimo y en aceleración</i> .....	156
<b>Tabla 54</b> <i>Test a 2000 Km con el motor al mínimo y en aceleración</i> .....	159
<b>Tabla 55</b> <i>Test oficial al mínimo y aceleración a los 3000 Km de recorrido</i> .....	161
<b>Tabla 56</b> <i>Test con motor al mínimo y en aceleración a los 4000 Km de recorrido</i> .....	164
<b>Tabla 57</b> <i>Test con motor al mínimo y en aceleración a los 5000 Km de recorrido</i> .....	166
<b>Tabla 58</b> <i>Promedios de la prueba en zona urbana a 33.6 Km/h</i> .....	169
<b>Tabla 59</b> <i>Promedios de la prueba en zona urbana a 46.5 Km/h</i> .....	171
<b>Tabla 60</b> <i>Promedios de la prueba en zona urbana a 50 Km/h</i> .....	173
<b>Tabla 61</b> <i>Promedios de la prueba en zona extra urbana a 100 Km/h</i> .....	175
<b>Tabla 62</b> <i>Promedios de la prueba en zona extra urbana a 120 Km/h</i> .....	177
<b>Tabla 63</b> <i>Promedios de la prueba en zona extra urbana a 130 Km/h</i> .....	179
<b>Tabla 64</b> <i>Recursos humanos</i> .....	181
<b>Tabla 65</b> <i>Recursos tecnológicos</i> .....	182
<b>Tabla 66</b> <i>Recursos materiales</i> .....	182
<b>Tabla 67</b> <i>Costo de calibración de equipos</i> .....	184
<b>Tabla 68</b> <i>Costo neto del proyecto</i> .....	184
<b>Tabla 69</b> <i>Financiamiento del proyecto</i> .....	185

<b>Índice de figuras</b>	20
<b>Figura 1</b> <i>Árbol de problemas</i> .....	35
<b>Figura 2</b> <i>Catalizador</i> .....	45
<b>Figura 3</b> <i>Componentes del catalizador</i> .....	46
<b>Figura 4</b> <i>Carcasa del convertidor catalítico</i> .....	47
<b>Figura 5</b> <i>Monolito cerámico</i> .....	48
<b>Figura 6</b> <i>Funcionamiento del catalizador</i> .....	49
<b>Figura 7</b> <i>Catalizador de dos vías</i> .....	50
<b>Figura 8</b> <i>Catalizador de tres vías</i> .....	51
<b>Figura 9</b> <i>DPF REVIVAL C500</i> .....	57
<b>Figura 10</b> <i>DPF 1800 PRO</i> .....	58
<b>Figura 11</b> <i>Cámara termográfica FLUKE</i> .....	60
<b>Figura 12</b> <i>Estructura del equipo</i> .....	65
<b>Figura 13</b> <i>Distribución de cargas</i> .....	66
<b>Figura 14</b> <i>Factor de seguridad</i> .....	66
<b>Figura 15</b> <i>Desplazamiento</i> .....	67
<b>Figura 16</b> <i>Conductividad térmica de la fibra cerámica</i> .....	70
<b>Figura 17</b> <i>Reactor grande 2D y 3D</i> .....	71
<b>Figura 18</b> <i>Componentes del reactor grande</i> .....	72
<b>Figura 19</b> <i>Reactor pequeño 2D y 3D</i> .....	74
<b>Figura 20</b> <i>Componentes del reactor pequeño</i> .....	74
<b>Figura 21</b> <i>Distribución de mangueras de alta presión</i> .....	78
<b>Figura 22</b> <i>Modelado 3D de la distribución de mangueras</i> .....	79
<b>Figura 23</b> <i>Análisis de temperatura en cañería</i> .....	80
<b>Figura 24</b> <i>Análisis de presión en cañerías</i> .....	81

	21
<b>Figura 25</b> <i>Análisis de temperatura del tratamiento en el catalizador</i> .....	82
<b>Figura 26</b> <i>Análisis de temperatura en el tratamiento de muestras</i> .....	82
<b>Figura 27</b> <i>Diseño de conexión</i> .....	86
<b>Figura 28</b> <i>Regulador de temperatura CAMSCO REX C700</i> .....	87
<b>Figura 29</b> <i>Parámetros ajustables del regulador CAMSCO REX C700</i> .....	88
<b>Figura 30</b> <i>Programación en el regulador CAMSCO REX C700</i> .....	89
<b>Figura 31</b> <i>Tablero de control 2D y 3D</i> .....	90
<b>Figura 32</b> <i>Componentes en el tablero de control</i> .....	90
<b>Figura 33</b> <i>Diseño final del equipo de tratamiento</i> .....	91
<b>Figura 34</b> <i>Áreas de estudio para el análisis termográfico</i> .....	92
<b>Figura 35</b> <i>Configuración de puntos de estudio</i> .....	93
<b>Figura 36</b> <i>Área de trabajo con nodos semejan</i> .....	94
<b>Figura 37</b> <i>Diagrama de flujo del proceso de recuperación del catalizador</i> .....	96
<b>Figura 38</b> <i>Diagrama de flujo A1</i> .....	97
<b>Figura 39</b> <i>Diagrama de flujo del proceso de oxidación del catalizador</i> .....	99
<b>Figura 40</b> <i>Diagrama de flujo B1</i> .....	100
<b>Figura 41</b> <i>Temperatura de entrada del catalizador</i> .....	101
<b>Figura 42</b> <i>Temperatura de salida a la que trabaja el reactor</i> .....	102
<b>Figura 43</b> <i>Valor de la resistencia registrada en el tablero y cámara termográfica</i> .....	103
<b>Figura 44</b> <i>Temperatura del monolito en el tablero de control y cámara termográfica</i> ..	103
<b>Figura 45</b> <i>Diagrama de flujo del proceso de recuperación de muestras</i> .....	105
<b>Figura 46</b> <i>Diagrama de flujo del proceso de oxidación de muestras</i> .....	106
<b>Figura 47</b> <i>Temperatura de entrada de la muestra</i> .....	107
<b>Figura 48</b> <i>Temperatura de salida del tablero de control y cámara termográfica</i> .....	108
<b>Figura 49</b> <i>Temperatura de la resistencia en el tablero y cámara termográfica</i> .....	108

	22
<b>Figura 50</b> <i>Temperatura del monolito tomada del tablero y cámara de termográfica ....</i>	109
<b>Figura 51</b> <i>Micrografía de las muestras 1 - 4 de monolito.....</i>	113
<b>Figura 52</b> <i>Micrografía de las muestras 5 – 8 de monolito.....</i>	115
<b>Figura 53</b> <i>Micrografía de las muestras 9 – 12 de monolito.....</i>	117
<b>Figura 54</b> <i>Micrografía de la muestra 13 de monolito .....</i>	118
<b>Figura 55</b> <i>Resultados EDS muestra 1.....</i>	120
<b>Figura 56</b> <i>Resultados EDS muestra 2.....</i>	122
<b>Figura 57</b> <i>Resultados EDS muestra 3.....</i>	124
<b>Figura 58</b> <i>Resultados EDS muestra 4.....</i>	126
<b>Figura 59</b> <i>Resultados EDS muestra 5.....</i>	128
<b>Figura 60</b> <i>Resultados EDS muestra 6.....</i>	130
<b>Figura 61</b> <i>Resultados EDS muestra 7.....</i>	132
<b>Figura 62</b> <i>Resultados EDS muestra 8.....</i>	134
<b>Figura 63</b> <i>Resultados EDS muestra 9.....</i>	136
<b>Figura 64</b> <i>Resultados EDS muestra 10.....</i>	138
<b>Figura 65</b> <i>Resultados EDS muestra 11.....</i>	140
<b>Figura 66</b> <i>Resultados EDS muestra 12.....</i>	142
<b>Figura 67</b> <i>Resultados EDS muestra 13.....</i>	144
<b>Figura 68</b> <i>Pruebas a 900 rpm .....</i>	146
<b>Figura 69</b> <i>Pruebas a 1500 rpm .....</i>	147
<b>Figura 70</b> <i>Pruebas a 2000 rpm .....</i>	149
<b>Figura 71</b> <i>Pruebas a 2500 rpm .....</i>	151
<b>Figura 72</b> <i>Pruebas a 3000 rpm .....</i>	153
<b>Figura 73</b> <i>Test a 0 Km.....</i>	155
<b>Figura 74</b> <i>Test a 1000 Km.....</i>	157

	23
<b>Figura 75</b> <i>Test a 2000 Km</i> .....	160
<b>Figura 76</b> <i>Test a 3000 Km</i> .....	162
<b>Figura 77</b> <i>Pruebas a 4000 Km</i> .....	165
<b>Figura 78</b> <i>Pruebas a 5000 Km</i> .....	167
<b>Figura 79</b> <i>Resultados promedios de la prueba en zona urbana a 33.6 Km/h</i> .....	170
<b>Figura 80</b> <i>Resultados promedios de la prueba en zona urbana a 46.5 Km/h</i> .....	172
<b>Figura 81</b> <i>Resultados promedios de la prueba en zona urbana a 50 Km/h</i> .....	174
<b>Figura 82</b> <i>Resultados promedios de la prueba en zona urbana a 100 Km/h</i> .....	176
<b>Figura 83</b> <i>Resultados de la prueba en zona extra urbana a 120 Km/h</i> .....	178
<b>Figura 84</b> <i>Resultados promedios de la prueba en zona extra urbana a 130 Km/h</i> .....	180

**Índice de ecuaciones**

<b>Ecuación 1.</b> <i>Oxidación del CO</i> .....	49
<b>Ecuación 2.</b> <i>Reducción de NO y NO<sub>2</sub></i> .....	49



## Resumen

El presente proyecto de titulación analizó termográficamente convertidores catalíticos recuperados, mediante reacción redox e inyección de gases inertes; partió en base al diseño del equipo de tratamiento a temperatura programada, la selección de materiales y su posterior construcción para el desarrollo adecuado del mismo; a su vez este proyecto contó con la utilización de protocolos de pruebas tanto para el tratamiento de muestras de monolito como del catalizador en sí, los cuales permiten tener la obtención de muestras de monolito y su posterior tratamiento, siendo estas sometidas a condiciones de recuperación como tiempo, caudal de gases vectores y temperatura programada; permitiendo caracterizar materiales mediante pruebas SEM y pruebas EDS. Las pruebas de emisiones de gases contaminantes están basadas en protocolos armonizados como WLTP y NEDC, tomando en cuenta la normativa INEN 2203 y el protocolo de pruebas del equipo AGS – 688 BRAIN BEE, mediante las cuales se pueden desarrollar de manera eficiente y respectiva cada una de las pruebas tanto estáticas o de laboratorio y las pruebas dinámicas o de ruta; con el fin de obtener resultados favorables de acuerdo al tratamiento a temperatura programada al que ha sido sometido el catalizador para su respectivo análisis, es decir, obtener disminuciones considerables en relación a las emisiones de dióxido de carbono, monóxido de carbono, oxígeno e hidrocarburos respectivos que el vehículo emana hacia el ambiente.

Palabras Clave:

- **TRATAMIENTO DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS**
- **TERMOGRAFÍA**
- **SEM, EDS**

## **Abstract**

The present titling project thermographically analyzed recovered catalytic converters, through redox reaction and injection of inert gases; It started based on the design of the programmed temperature treatment equipment, the selection of materials and its subsequent construction for its adequate development; In turn, this project relied on the use of test protocols for both the treatment of monolith samples and the catalyst itself, which allow obtaining monolith samples and their subsequent treatment, these being subjected to recovery conditions such as time, vector gas flow and programmed temperature; allowing to characterize materials through SEM tests and EDS tests. The polluting gas emissions tests are based on harmonized protocols such as WLTP and NEDC, taking into account the INEN 2203 standard and the AGS – 688 BRAIN BEE equipment testing protocol, through which each one can be developed efficiently and respectively. of both static or laboratory tests and dynamic or route tests; in order to obtain favorable results according to the programmed temperature treatment to which the catalyst has been subjected for its respective analysis, that is, to obtain considerable reductions in relation to emissions of carbon dioxide, carbon monoxide, oxygen and respective hydrocarbons that the vehicle emanates into the environment.

Key Words:

- **TREATMENT OF CATALYTIC CONVERTERS**
- **THERMOGRAPHY**
- **SEM, EDS**

## Capítulo I

### 1. Planteamiento del problema de investigación

#### 1.1 Antecedentes investigativos

“El boletín técnico N° 01-2020 –Transporte, del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) referente a los vehículos matriculados se tiene que en el año 2015 un total de 1 925 368 cumplieron con el proceso, para el año 2016 un total de 2 056 213, para el año 2017 fueron 2 237 264, mientras que para el año 2018 fueron 2 403 651 vehículos y para el año 2019 se finaliza con un total de 2 311 960 unidades” (INEC, 2020, p.7).

“Las estadísticas del INEC hace referencia que desde el año 2015 al año 2018 se ve un crecimiento del parque automotor de 478 283 unidades, sin embargo, respecto de los años 2018 a 2019 se ve un decrecimiento del 3.814%, equivalente a 91 691 unidades menos. Realizando un análisis se tiene entonces que del año 2015 al año 2016 el crecimiento es de un 6.363 % es decir 130 845 unidades. Del año 2016 al año 2017 el crecimiento del parque automotor es de 8.092% que corresponde a 181 051 vehículos adicionales. Finalmente, el incremento del parque automotor entre los años 2017 y 2018 es de 6.922% es decir 166 387 unidades” (INEC, 2020, p.7).

“De acuerdo al Anuario 2019 publicado por la AEADE, las provincias de mayor influencia son Pichincha y Guayas. Considerando esto se tiene que en Pichincha las ventas de vehículos en 2015 fueron de 32 566, para 2016 se dio una reducción en ventas a 24 556, en el 2017 las ventas fueron de 41 027, en el 2018 se dio un

incremento a 52 894, mientras que para el 2019 se dieron ventas por 49 718 unidades” (AEADE, 2019, p.90).

“Para la provincia de Guayas las ventas para el año 2015 fueron de 22 268, para el año 2016 se vendieron 18 657, mientras que para el año 2017 fueron 29 180 unidades, para el año 2018 se vendieron 38 016 unidades y finalmente en el año 2019 se vendieron 36 588 unidades. Por lo tanto, se puede notar un incremento en el parque automotor en los últimos 5 años, resaltando las provincias de mayor población, tal es el caso que Pichincha incremento en 200 761 unidades desde el año 2015 al año 2019. Mientras que Guayas en el mismo periodo incremento su parque automotor provincial en 144 709 unidades.” (AEADE, 2019, p.90).

“La gasolina extra los parámetros que se han considerado para el análisis del combustible, es el número de octano (RON) y la cantidad de azufre. La norma NTE INEN 935:2012 - Derivados del petróleo. Gasolina requisitos – Tabla 1: requisitos de la gasolina de 87 Octanos” (Secretaría del Ambiente, 2012, p.3).

“La gasolina súper se ha considerado para el análisis de combustible número de octano (RON) y la cantidad de azufre, misma que está basada en la norma NTE INEN 935:2012 - Derivados del petróleo. Gasolina requisitos – Tabla 2: requisitos de la gasolina de 92 Octanos (RON), indica que debe tener mínimo 92 RON y máximo 650 ppm de azufre. (RON), indica que debe tener mínimo 87 RON y máximo 650 ppm de azufre” (Secretaría del Ambiente, 2012, p.3).

“La mayor parte de las ventas de gasolina en Europa en 2016 se refería a combustibles con un octanaje RON de 95, que representaron el 86,3 % del total de las ventas de gasolina; el 7,6 % de las ventas correspondió a un octanaje RON superior a

95 e inferior a 98; y el 5,8 % tuvo un octanaje RON superior o igual a 98. Hay una proporción mínima de ventas de gasolina con un octanaje RON igual a 91. Casi todo el gasóleo vendido en la UE contiene biodiesel, mientras que el 85 % de la gasolina vendida contiene bioetanol” (Comisión del Parlamento Europeo, 2018, p.2).

“Estados Unidos comercializa tres grados principales de gasolina según el nivel de octanaje: regular (el combustible de menor octanaje, generalmente 87), grado medio (el combustible de octanaje de rango medio, generalmente 89-90), Premium (el combustible de mayor octanaje, generalmente 91-94)” (EIA, 2020).

“Los sensores ego y hego; si se presenta una falla se entregará una correcta información a la unidad de control electrónica resultando que la mezcla aire combustible no sea la correcta, resultando en una mezcla rica o pobre, si la mezcla es rica el convertidor catalítico podría fundirse dado que los gases de escape se queman en los paneles del mismo. Por el contrario, si la mezcla es pobre el convertidor catalítico ha de ser incapaz de realizar las reacciones redox” (Hidalgo, 2010, p.67).

“La presencia de aceite en el escape (sellos de válvulas desgastados, junta de culata soplada, anillos en mal estado) el catalizador a de sufrir daños, dado que este aceite produce hollín que obstruye los paneles del convertidor catalítico impidiendo que el mismo cumpla con su función, y provocando que el motor pierda potencia dado que los gases de escape no salen adecuadamente” (Hidalgo, 2010, p.67).

“Se estima que al tener la presencia de golpes en el catalizador se puede dar como resultado la destrucción del convertidor catalítico dado que su material de constitución es cerámico lo que conlleva a que no cumpla la función adecuadamente, además de verse interrumpido el paso normal del aire provocando un recalentamiento

del motor por la contrapresión que se provoca y disminuyendo la potencia” (Pullupaxi, 2013, p.21).

“La estructura del catalizador está dada por una carcasa superior, una carcasa inferior que unidas forman la estructura exterior del catalizador la cual ha de cumplir la función de proteger al monolito que se encuentra dentro de él, el monolito además cuenta con un revestimiento aislante es decir que este revestimiento se encuentra entre el monolito y la estructura” (Pullupaxi, 2013, p.21).

“El monolito que se encuentra en el interior del catalizador tiene impregnada una resina, misma que contiene metales nobles como son el Platino (Pt), Paladio (Pd) los cuales cumplen con la función de oxidación dentro del catalizador, y el Rodio (Rh) que cumple la función de reducción. Estos metales nobles son los elementos activos dentro del catalizador, iniciando y acelerando las reacciones químicas. Para obtener gases inocuos los gases de escape procedentes del motor han de entrar en contacto con la superficie activa del catalizador” (Pilco, 2009, p.5).

“Para la caracterización de materiales se han de emplear análisis químicos como; difracción de rayos X, ensayo mineralógico, absorción atómica y ensayo de fuego. Respecto al estudio desarrollado por Wendy Ruby en su tesis Recuperación del platino, paladio y rodio a partir de los convertidores catalíticos usados de los automóviles menciona que en la caracterización por AAS (Absorción Atómica) y DRX (Difracción por rayos X) el contenido de metales nobles en el catalizador es de 853.6 g Pt/ton, 635.6 Pd/ton y 256.55g Rh/ton” (Pilco, 2009, p.5).

“El propósito de un catalizador o convertidor en el vehículo es reducir la emisión de gases nocivos que se producen por la quema de combustibles fósiles, tales como

monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx)” (Bleiwas, 2013, p.5).

“A nivel mundial alrededor del 85% de vehículos están equipados con al menos un convertidor catalítico. Estos vehículos incluyen autobuses, automóviles, camiones ligeros, pesados y motocicletas. En Estados Unidos por ley federal los convertidores catalíticos están obligados a instalarse en casi todos los vehículos de carretera a gasolina y diésel” (Bleiwas, 2013, p.5).

Los sistemas de control de emisiones a nivel mundial, está relacionado con los carburantes, mismos que comienzan a generalizarse a partir del año de 1996, cuando se elimina el contenido de plomo en los mismos; seguidamente aparece la regulación de emisiones de los automóviles, misma que fue realizada en base a las normas INEN NTE: 2204 y 2007; con el fin de establecer los límites de emisiones para motores a gasolina y diésel según corresponda. (Vásquez, 2015, p.33).

“En los últimos años se ha presentado una recuperación de tierras raras (Y, Eu, La, Ce, Tb, In), que han despertado gran interés y muchos trabajos científicos se han centrado en esta labor. El lantano y el cerio pueden ser recuperados de varios desechos industriales, tales como catalizadores gastados de la industria automotriz y petroquímica, también de pilas usadas de Ni-MH (níquel-hidruro metálico)” (Innocenzi, 2015, p.2).

“El catalizador contiene en su composición metales preciados como el platino, razón por la que la pieza en sí es costosa. La vida útil de este componente varía entre los diferentes fabricantes, aunque suele estar entre 60.000 y 100.000 kilómetros. En los coches a gasóleo esto ocurre cuando se circula habitualmente a bajas revoluciones y en

trayectos cortos, ya que no da tiempo a que el proceso de carbonización de los gases suceda.” (García, 2015, p.59).

“El método pirometalúrgico es el más común en lo que a recuperación de PGMs se refiere. Se basa en generar una escoria líquida formada por la fusión del monolito del catalizador y recoger la fracción de metales preciosos con metales colectores como el cobre que es el más utilizado, pero también se puede utilizar plomo, hierro o níquel. La fusión del monolito requiere de altas temperaturas que oscilan entre 1500 – 1990 °C que pueden ser generadas por plasma, escoria eléctrica o calentamiento por arco eléctrico; además la adición de fundentes que disminuyen el punto de fusión de los metales” (Mena, 2020, p.36).

“La restauración y limpieza de catalizadores es posible gracias a la gran eficacia del uso de sistemas de ultrasonidos para efectuar este trabajo, tanto la parte superficial como las diferentes complejidades del diseño de un catalizador pueden ser limpiadas con gran eficacia gracias a este sistema” (Romero, 2004, p.42).

“Las lavadoras de filtros de partículas DPF1800 son unas máquinas especializadas en la limpieza de FAP y catalizadores de turismos, furgonetas y vehículos industriales. Su funcionamiento consiste en la inyección de agua caliente a presión con detergente en diferentes ciclos de lavado.” (Iberisa, 2018).

“En noviembre de 2017, el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se adhirió al compromiso “Declaración de C40 por unas Calles Libres de Combustibles Fósiles donde la ciudad se compromete a tomar acciones tendientes a reducir las emisiones vehiculares, y entre estas propuestas para alcanzar ese objetivo se menciona la



transición de reemplazo de vehículos que usan combustibles fósiles por tecnologías limpias” (Comisión de Movilidad DMQ, 2018, p.5).

“El tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito del año 2012, con respecto al control de emisiones vehiculares, se tiene que el tráfico vehicular llega a aportar un 97.3% de monóxido de carbono ( $CO$ ) al ambiente dentro del DMQ, un 52.3% pertenece al óxido de nitrógeno ( $NOx$ ), también se tiene que un 45.6% del material particulado con un diámetro aerodinámico menor de 2.5 micras, el 39.4% de COVNM (Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos), el 26.2% del material particulado con diámetro aerodinámico menor de 10 micras, y el 11.9% pertenecientes a dióxido de azufre ( $SO_2$ )” (Vega, 2015, p.2).

“Los vehículos a gasolina, que representan el 94.4% del parque vehicular del DMQ, son la principal fuente de monóxido de carbono ( $CO$ ) con un total del 86.3%, los Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos ( $COVNM$ ) alcanzaron un valor de 77% y de Dióxido de Azufre alcanzaron un porcentaje del 75.3%. En cambio, los vehículos diésel, mismos que conforman el 5.6% del parque vehicular, son los principales contribuyentes de Material Particulado ( $MP_{2.5}$ ) es del 82.5%, también un Material Particulado ( $MP_{10}$ ) es del 76.4% y un Óxido de Nitrógeno ( $NOx$ ) con un valor de 60.6%” (Vega, 2015, p.2)

## **1.2 Planteamiento del problema**

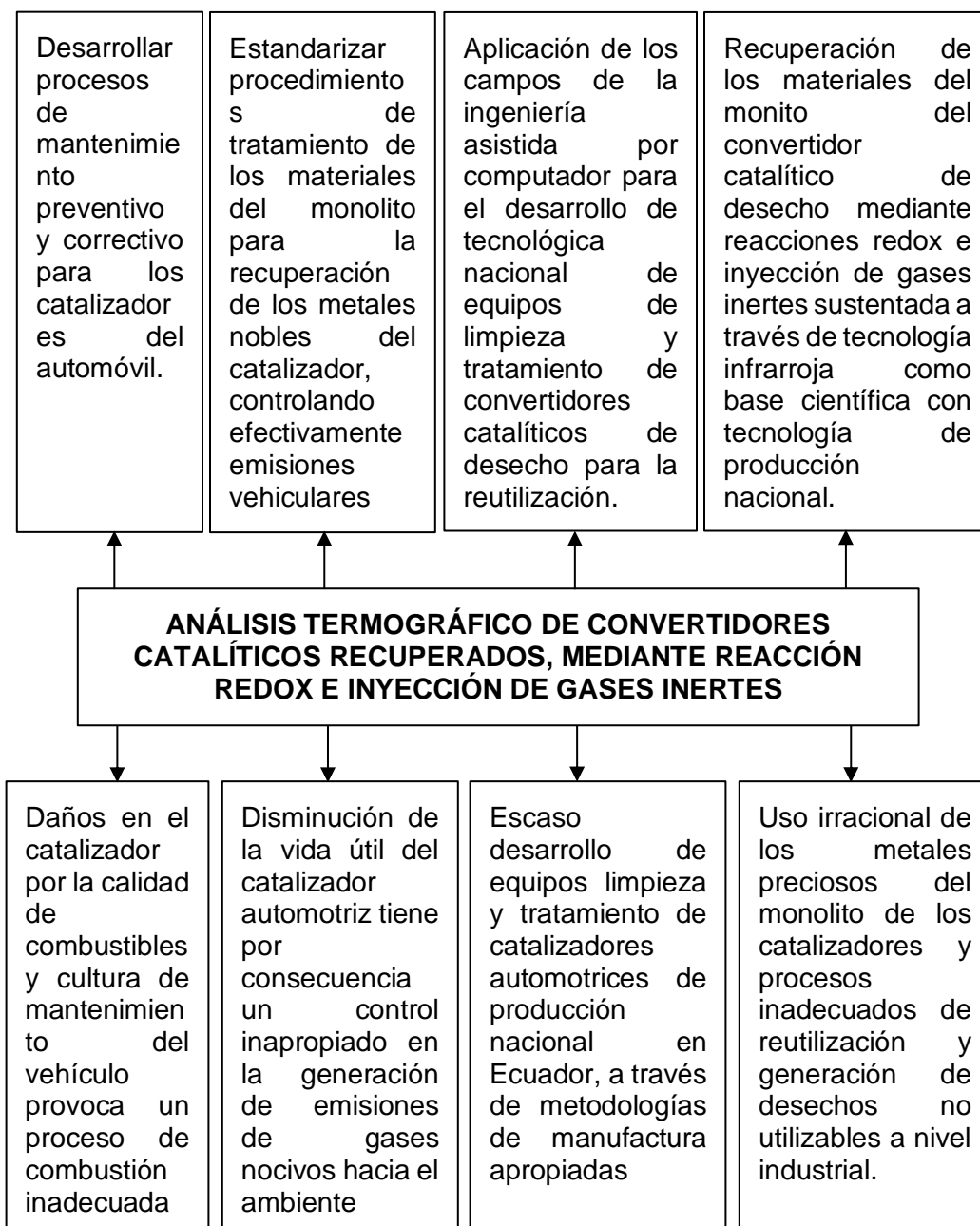
La baja calidad de los combustibles en Ecuador y la poca cultura de mantenimiento preventivo a tiempo de los sistemas automotrices, generan que varios componentes como el catalizador disminuyan su vida útil, ocasionando mal funcionamiento de sus vehículos e inversiones, sin dejar de lado que se genera un

gradiente de contaminación produciendo procesos de reciclaje y reutilización inapropiados y que no buscan un fin acorde a la manufactura de dichos repuestos.

El catalizador del automóvil se convierte en un desecho de uso automotriz que no se escapa a esta realidad, a medida del recorrido de un vehículo tiende a perder sus propiedades de conversión catalítica, lo que en gran medida haría pensar en cambiar dicho elemento para no tener dificultades como: pérdida de potencia del motor, aceleraciones incorrectas, disminución de la velocidad máxima, fallos de encendido, mal funcionamiento del sistema de gestión electrónica, consumo de combustible; en la actualidad debido a la implementación a nivel país de los Centros de Revisión Técnica Vehicular, no pasar las normativas de control de emisiones impuestas por los organismos de control, debido a los valores de emisiones de gases de escape fuera de los rangos permisibles.

Figura 1

Árbol de problemas



El catalizador del automóvil se ve afectado en su desempeño y vida útil por diferentes situaciones que inciden en el sistema de escape del automóvil, para el control de subproductos de la combustión como hidrocarburos no combustionados, monóxido

de carbono y óxidos nitrosos agentes que afectan considerablemente el funcionamiento del vehículo, ambiente y la calidad de vida; debido a la pérdida de las características de los materiales de su monolito por la excesiva formación de coque en la superficie disminuyendo su ratio de conversión.

Con la aplicación de un sistema de tratamiento mediante procedimientos de limpieza e inyección de gases inertes y un análisis termográfico se puede establecer la capacidad de transformación de los gases nocivos en gases inocuos mediante equipos destinados para el efecto, como procesos periódicos de mantenimiento preventivo y correctivo a este componente, fijados y establecidos a través de análisis de ingeniería en diferentes condiciones, que sustenten su aplicación con el fin de optimizar al máximo la vida útil del convertidor.

El uso irracional de los metales preciosos del monolito de los catalizadores y procesos inadecuados de reutilización y generación de desechos no utilizables a nivel industrial; dicha situación podría ser controlada de manera eficaz con el desarrollo de tecnología de producción nacional para la recuperación de los materiales mediante reacciones redox e inyección de gases inertes sustentada a través de tecnología infrarroja como base técnica y científica.

La libre circulación de automóviles en el Ecuador se ve limitada a los procesos de Revisión Técnica Vehicular que determinan el estado de automóviles a través de pruebas de los sistemas automotrices, lo que obliga a los propietarios de las unidades de transporte tanto público como privado a realizar inversiones en la compra de repuestos para obtener una revisión aprobada que permita circular libremente; uno de los componentes es el catalizador que por sus altos costos de adquisición se vuelve un elemento ideal para ser sometido a tratamientos que prolonguen su vida útil, por medio

de los procesos de oxidación y reducción (redox).

Actualmente en el país no se cuenta con centros de mantenimiento automotriz que realicen limpieza de catalizadores, pero el problema principal no es el costo de los metales, sino más bien la escasez que existe de estos metales en la naturaleza, lo que en años posteriores obligarán a las personas a poder realizar un reciclaje de estos metales o limpieza de catalizadores para que así se continúe ayudando al control de gases contaminantes de fuentes móviles vehiculares.

Entonces el problema a investigar es el “Análisis termográfico de convertidores catalíticos recuperados, mediante reacción redox e inyección de gases inertes”.

### **1.3 Descripción resumida del proyecto**

Se fundamentó teóricamente mediante fuentes bibliográficas confiables como bases de datos digitales, libros, manuales, normativas y artículos científicos referentes a tecnología infrarroja, caracterización de los metales nobles del catalizador, métodos de redox a temperatura programada y métodos de tratamiento y reutilización de los catalizadores automotrices con equipos de limpieza.

Se llevó a cabo el modelado 2D – 3D y simulación de los procesos térmicos para el diseño de los sistemas mecánicos, eléctricos y programación de equipos de tratamiento de catalizadores automotrices a través de herramientas computacionales CAD, fundamentados en un sistema de cómputo numérico en un entorno de desarrollo integrado con un lenguaje de programación y su relación con la matemática de ingeniería de sistemas dinámicos con programas gráficos.

Se efectuó simulaciones del comportamiento estructural acorde a los materiales monolíticos en los procesos redox desde la visión térmica con modelos simples de acuerdo a la geometría compleja desde el movimiento, flujo y distribución de temperatura y gases inertes para la recuperación de los metales como el rodio, paladio y platino como cargas que varían con el tiempo de tal manera de evaluar el comportamiento a temperaturas y tiempos programados detectando cambios de geometría a fin de garantizar el rendimiento y la durabilidad.

Se desarrolló una metodología de tratamiento sustentada en base a las simulaciones por computador, establecido así de esta manera procesos adecuados de recuperación de los metales del catalizador, misma que se aplicó en equipos de limpieza en función de variables y condiciones específicas para el mantenimiento y diagnóstico de este tipo de componentes del automóvil.

Se realizó pruebas de laboratorio (SEM) y (EDS) para la caracterización morfológica de la composición química de los metales nobles del monolito del convertidor catalítico para el análisis de forma – tamaño de poro promedio de manera; así como una evaluación cualitativa y cuantitativa de la presencia de elementos químicos en catalizadores antes y después del tratamiento aplicado, con base científica en el análisis de oxidación a Temperatura Programada, imágenes infrarrojas mediante la normativa ASTM E 1933-999, en lo referente a parámetros de emisividad y otros aspectos vinculados a la tecnología infrarroja y ASTM E 1213 - 14 (2018) para las estimaciones de los valores MRTD (diferencia de temperatura mínima perceptible) evaluando la actuación de las cámaras infrarrojas. ASTM E 1934-99a (2018) (comprobación de equipos electrónicos), describiendo el contenido específico requerido

para documentar exámenes infrarrojos cualitativos y cuantitativos de equipos eléctricos y mecánicos.

#### **1.4 Justificación e importancia**

En el control de emisiones de fuentes móviles, el catalizador automotriz cumple un rol fundamental, por lo que es necesario el óptimo rendimiento de este componente, esta actividad se lo consigue a través de un proceso denominado catálisis, que consiste en una reacción química que provoca la oxidación de los gases nocivos y su transformación en gases inocuos como oxígeno, nitrógeno y agua.

La contaminación del ambiente y su incidencia en el desarrollo de la actividad climática del planeta genera preocupación debido a la incidencia que automotores y otras fuentes contribuyen al calentamiento global, estos problemas son causados por la emisión de gases de efecto invernadero originado por el gran tamaño del parque automotor que circulan en el mundo, donde gran porcentaje de este trabaja con niveles de contaminación fuera de los rangos permisibles fijados por los organismos de control mundial y estatales fijadas a través de normativas.

Este tipo de componente requiere mantenimiento preventivo y correctivo como cualquier otro componente de los sistemas automotrices, es por eso que la recuperación de convertidores catalíticos mediante reacciones redox e inyección de gases inertes aplicando un análisis termográfico, permitirá prolongar y optimizar la vida útil, de tal manera de contribuir en la reducción de gases contaminantes que generan las fuentes móviles en este caso los vehículos, al mantener estas emisiones dentro de los valores permisibles que afecten de menor manera al ambiente.

La contaminación atmosférica es la principal preocupación ambiental de la población, problema que impone costos considerables para la economía, congestión vehicular y tiempos de recorrido vinculados con patrones de urbanización de las ciudades que inciden en la calidad del aire urbano, que genera afectación a la salud humana y a los ecosistemas.

La importancia de las regulaciones nacionales y mejor aún el cumplimiento de estas se puede lograr con la eficiencia energética de vehículos en todos sus procesos de operación y funcionamiento, así como también, el vigor de la aplicación de las normas de emisiones en nuestro y su actualización para el futuro es un paso importante en la dirección correcta.

## **1.5 Objetivos del proyecto**

### **1.5.1 Objetivo general**

- Analizar termográficamente convertidores catalíticos recuperados, mediante reacciones redox e inyección de gases inertes.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Fundamentar teóricamente mediante fuentes bibliográficas confiables la reutilización de los catalizadores automotrices mediante procesos de tratamiento con equipos de limpieza para la recuperación de sus materiales nobles.
- Realizar el modelado y simulación de los procesos térmicos para el diseño de los sistemas mecánicos, eléctricos y programación de equipos de tratamiento de catalizadores automotrices a través de herramientas computacionales CAD



- Efectuar simulaciones del comportamiento estructural del monolito en los procesos redox desde la visión térmica con modelos simples de acuerdo a la geometría compleja desde el movimiento, flujo y distribución de temperatura y gases inertes.
- Evaluar el comportamiento a temperaturas y tiempos programados detectando cambios de geometría del monolito a fin de garantizar el rendimiento y la durabilidad en el tiempo de un convertidor tratado.
- Desarrollar una metodología de tratamiento con procesos adecuados de recuperación de los metales del catalizador que se aplicará con equipos de limpieza en función de variables y condiciones específicas.
- Ejecutar pruebas de laboratorio (SEM) y (EDS) para la caracterización morfológica de la composición química de los metales nobles del monolito del convertidor catalítico
- Analizar forma – tamaño de poro promedio y evaluar cualitativa y cuantitativa la presencia de elementos químicos en catalizadores antes y después del tratamiento aplicado.

### **1.6 Metas**

- Se ha logrado la recuperación de los metales nobles del catalizador en un 90% validados a través del análisis termográfico.
- Se ha obtenido una morfología del 90% del monolito en su calidad estructural y estado químico.
- Se ha generado el diseño de equipos de limpieza de convertidores catalíticos a escala que permitan un 90% de efectividad en la recuperación, mediante el uso de la ingeniería asistida por computador.

## 1.7 Hipótesis

¿Mediante el análisis termográfico se podrá determinar la eficiencia de los convertidores catalíticos recuperados a través del proceso redox e inyección de gases inertes?

## 1.8 Variables de la investigación

### 1.8.1 Variable dependiente

Reacción redox e inyección de gases inertes

**Tabla 1**

*Variable dependiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Procesos de limpieza en convertidores catalíticos	Suministro de aire	Presión	$Psi$	Medición	Ensayo
			$kPa$	Cálculo	Prueba de laboratorio
				Simulación	Manómetro
	Temperatura	$^{\circ}C$	Medición	Ensayo	
		$^{\circ}F$	Cálculo	Prueba de laboratorio	
	$K$	Simulación	Cámara Termográfica		
	Flujo másico	$gal/h$ $L/min$ $cm^3/s$	Medición	Prueba de laboratorio	
	Tiempo	$s$ $min$ $h$	Cálculos	CAD estudiantil	
	Temperatura	$^{\circ}C$ $^{\circ}F$ $K$	Medición	Ensayo	
			Cálculo	CAD estudiantil	
	Oxidación programada		Oxidación a temperatura programada (TPO)	Ensayo CAD estudiantil	

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
		Tiempo	$\frac{seg}{min}$ $h$	Medición Cálculo	Ensayo Prueba de laboratorio Cronómetro
	Reducción programada	Temperatura	$^{\circ}C$ $^{\circ}F$ $K$	Reducción mediante temperatura programada (TPR)	Ensayo Prueba de laboratorio CAD estudiantil
		Tiempo	$\frac{s}{min}$ $h$	Medición Cálculo	Cronómetro Ensayo Prueba de laboratorio
	Control electrónico	Alimentación del circuito	$V$ $A$	Cálculo Ensayo Simulación	Prueba de laboratorio CAD estudiantil
		Tiempo de programación	$\frac{s}{min}$ $h$	Cálculo Ensayo	Prueba de laboratorio Cronómetro
		Ejecución del proceso	$\frac{s}{min}$ $h$	Cálculo Ensayo	Prueba de laboratorio
	Reportes de limpieza	Impresión	$\frac{V}{mm/s}$ $mm$	Ensayo	Impresora térmica

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

### 1.8.2 Variable independiente

Análisis Termográfico

**Tabla 2***Variable independiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Equipo de análisis termográfico, el cual permite obtener infrarrojos para relacionar con valores de temperatura de objetos en una distribución superficial	Medición de infrarrojos	Emisividad Térmica	–	Medición	Protocolos de prueba
		Sensibilidad Térmica	°C K	Medición	Protocolos de prueba ASTM E 1933-999 ASTM E 1213 - 14 (2018)
		Temperatura del objeto – ambiente	°C K	Medición	Protocolos de prueba ASTM E 1933-99a ASTM E 1213 - 14 (2018)
		Longitud de onda IR	μm	Medición	Protocolos de prueba ASTM E 1933-99a ASTM E 1213 - 14 (2018)
	Cámara termográfica	Temperatura	°C °F K	Medición Cálculo Simulación	Ensayo Software aplicado infrarrojos

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

## Capítulo II

### 2 Fundamento teórico

#### 2.1 Catalizador

“Se trata de un componente del motor de combustión interna que sirve para el control y reducción de los gases nocivos expulsados por este. En la actualidad, son una excelente manera de frenar las emisiones contaminantes en los automóviles” (Zayas, 2005, pp.4-30).

#### Figura 2

*Catalizador*



*Nota.* La figura muestra el catalizador, el cual es un componente del motor de combustión interna que controla y reduce gases nocivos de la combustión.

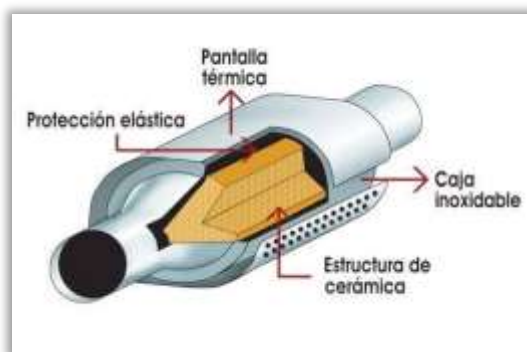
##### 2.1.1 Estructura

“El catalizador está recubierto con una pantalla antitérmica de metal que evita que el calor dañe el vehículo, a su vez alberga una matriz cerámica, misma que adopta una forma de panal aproximadamente de unas 70 celdas por centímetro cuadrado, esta a su vez que se encuentra impregnada de una resina

en la que se encuentra algunos elementos nobles metálicos, como Paladio (Pd), Platino (Pt) y Rodio (Rh)” (Zayas, 2005, pp.4-30).

### Figura 3

#### *Componentes del catalizador*



*Nota.* La figura muestra la pantalla térmica, la protección elástica, la caja inoxidable y la estructura de cerámica del catalizador.

El convertidor catalítico se encuentra conformado por los siguientes elementos:

#### **a. Carcasa Metálica**

Tiene la forma muy similar a la de un silenciador, está fabricada de acero inoxidable, sellada y aislada, es la encargada de proteger a los monolitos del convertidor catalítico del exterior, pues provee rigidez y fijación a los mismos, además de hermeticidad y amortiguación de las posibles vibraciones” (Martins, 2005, p.3).

**Figura 4***Carcasa del convertidor catalítico*

*Nota.* La figura muestra la fabricación de la carcasa del catalizador, esta se encuentra formada en base de acero inoxidable, sellada y aislada, y que a su vez protege al monolito.

**b. Revestimiento aislante**

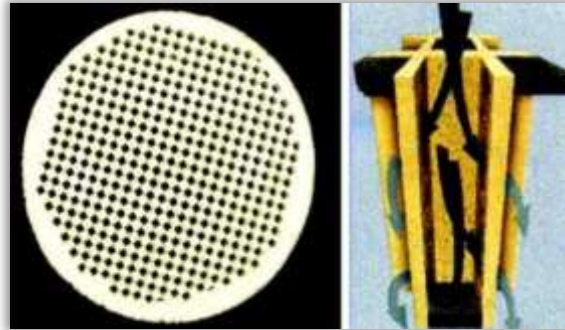
“Malla metálica que envuelve al monolito con el propósito de cerrar posibles espacios dejados entre la carcasa y los monolitos, entre sus funciones, sirve como colchón para amortiguar las vibraciones generadas, además, aísla de las altas temperaturas generadas en el convertidor catalítico (entre 400° y 800°C) al exterior de este, evitando que tengan contacto directo con el medio ambiente” (Solórzano, 2011, pp.12-14).

**c. Monolitos**

“Se encuentran en el interior de la carcasa y recubiertos por la malla protectora, son de forma ovalada o cilíndrica, en su fabricación se utiliza una gran variedad de materiales, dependiendo del tipo de requerimientos de los mismos, se precisa que éstos posean una alta resistencia al choque térmico” (Solórzano, 2011, pp.12-14).

**Figura 5**

*Monolito cerámico*



*Nota.* Se presenta el monolito cerámico en forma cilíndrica con agujeros presentes en su superficie y los cuales atraviesan toda su estructura.

### **2.1.2 Principio de operación**

“El funcionamiento de los catalizadores tiene como objetivo disminuir los elementos polucionantes contenidos en los gases de escape de un vehículo mediante la técnica de catálisis” (Robalino, 2018, p.2).

“Este proceso permite aumentar la velocidad de una reacción química gracias a la participación de una sustancia conocida como catalizador, convirtiendo con ello el 98% de los gases altamente contaminantes formados en el proceso combustión, como el monóxido de carbono ( $CO$ ), los hidrocarburos no quemados ( $HC$ ) o el óxido de nitrógeno ( $NO_x$ ), en otros menos lesivos como el agua ( $H_2O$ ) o el dióxido de carbono ( $CO_2$ )” (Robalino, 2018, p.2).

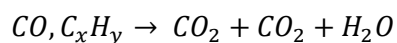


**Figura 6***Funcionamiento del catalizador*

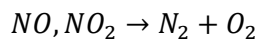
*Nota.* El catalizador permite el paso de monóxido de carbono, hidrocarburos y óxido nitroso por su interior, los mismos ingresan como gases altamente contaminantes y salen a la atmósfera como agua, dióxido de carbono y nitrógeno respectivamente.

El convertidor debe desempeñar dos funciones catalíticas distintas:

- 1) La oxidación del monóxido de carbono,  $CO$ , y de los restos de hidrocarburos sin quemar,  $C_xH_y$  a dióxido de carbono y agua

**Ecuación 1. Oxidación del CO**

- 2) La reducción de los óxidos de nitrógeno,  $NO$  y  $NO_2$ , a nitrógeno:

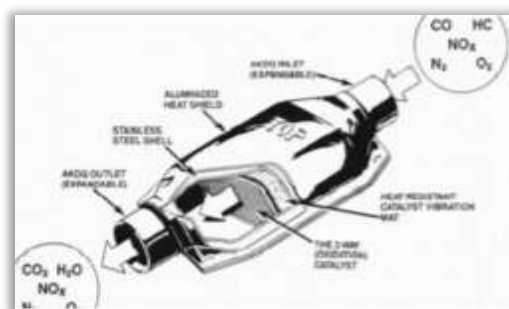
**Ecuación 2. Reducción de NO y NO2****2.2 Catalizadores por el número de vías****2.2.1 Catalizador de 2 vías**

“El catalizador de 2 vías trabaja de la misma forma que un catalizador

oxidante con la diferencia que tiene una cámara de aire intermedia entre los dos cuerpos del catalizador, el producto de la combustión que son  $CO$ ,  $HC$  y  $NOx$ ; ingresan al catalizador y este las transforma en  $CO_2$  y  $H_2O$ , pero él  $NOx$  no es atacado ya que este no cuenta con rodio” (Mafla, 2015, p.3).

### Figura 7

#### Catalizador de dos vías



*Nota.* En la figura se representa el catalizador de dos vías el cual cuenta con dos monolitos y una toma de aire intermedia.

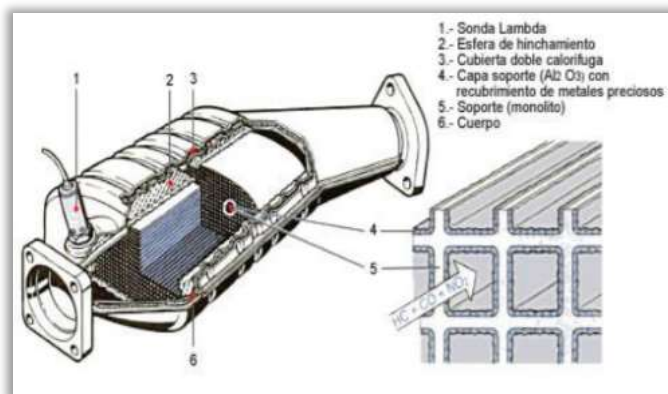
#### 2.2.2 Catalizador de 3 vías

“Los catalizadores de tres vías son más completos a diferencias del catalizador de una vía y dos vías este tiene impregnado un componente más que es el rodio, ya que son la evolución de los anteriores, siendo así el catalizador más eficiente, seguro y fiable, reducen los gases más nocivos como” (Mafla, 2015, p.3).

- Monóxido de carbono  $CO$
- Hidrocarburos  $HC$
- Óxidos de Nitrógeno

**Figura 8**

*Catalizador de tres vías*



*Nota.* Esquema interno de un catalizador de tres vías, en el que se refleja la sonda lambda, la esfera de hinchamiento, la cubierta doble, la capa soporte, el monolito y el cuerpo del mismo.

## 2.3 Reacciones redox

### 2.3.1 Reacciones de oxidación

“Mediante este ensayo se determina el consumo de oxígeno  $\frac{O_2}{\text{gramo}}$  de las especies metálicas presentes en la muestra de monolito, y las temperaturas a las que se forman esas mediante el proceso de oxidación representados por picos o señales representadas en la gráfica TCD vs Temperatura” (Yugcha, 2019, pp.76-77).

### 2.3.2 Reacciones de reducción

“Mediante este ensayo se pretende obtener el consumo total de hidrógeno ( $H_2$ ) y las temperaturas de los procesos de reducción de las especies metálicas presentes en la muestra de monolito, dichos procesos se encuentran representados por picos observables gráficamente” (Yugcha, 2019,

pp.76-77).

## **2.4 Gases inertes**

### **2.4.1 Nitrógeno**

“En la naturaleza existen dos fuentes principales de reserva de  $N$  para las plantas. La mayor es la atmósfera, en la cual el 78% del aire es  $N$ . Este  $N$  se encuentra en forma molecular ( $N_2$ ), aunque también existen otras formas gaseosas de  $N$  de mucha menor importancia cuantitativa: óxido nitroso ( $N_2O$ ), óxido nítrico ( $NO$ ), dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y amoníaco ( $NH_3$ ). Se estima que por encima de una hectárea de suelo hay aproximadamente 300.000 *ton.* de  $N$ ” (Perdomo, 2015, p.5).

### **2.4.2 Hidrógeno**

“El hidrógeno puede formar enlaces iónicos o covalentes; puede formar compuestos simples o complejos; puede participar en reacciones químicas, electroquímicas, organometálica, orgánicas, biológicas, ácido-base y un gran etcétera. En los compuestos químicos, el átomo de hidrógeno puede tender puentes (llamados de hidrógeno) entre las moléculas; esto las hace excepcionalmente estables, como el agua o el ADN. La riqueza en la química de este elemento radica en su posibilidad de formar tanto iones negativos ( $H^-$ ), cuando captura un electrón adicional) como iones positivos ( $H^+$ , al perder su electrón)” (Suárez, 2018, p.3).

### **2.4.3 Parámetros de control**

#### **2.4.3.1 Parámetros de control del nitrógeno**

“El nitrógeno es un elemento sumamente demandado que, junto con el fósforo, con frecuencia determina la cantidad de organismos que

se pueden desarrollar en un ambiente. Soltar nitrógeno en el ambiente en formas asimilables tiene un efecto similar a dejar caer una lluvia de billetes sobre una plaza pública: muy pronto habrá una multitud de seres ocupados en acaparar esa riqueza en formas igualmente caóticas, sólo que en el caso del nitrógeno se encuentran organismos tales como las algas y los lirios” (Residuales, 2020).

“Si los compuestos nitrogenados se cuelan a los acuíferos pueden contaminarlos y volverlos no potables ya que las diferentes formas de nitrógeno tienen límites por encima de los cuales son tóxicas para su consumo.

Por estos motivos la descarga de nitrógeno a los cuerpos receptores naturales está regulada por la norma NOM-001-SEMARNAT-1996” (Residuales, 2020).

#### **2.4.3.2 Parámetros de control del hidrógeno**

“El  $pH$  puede estar medido de manera aproximada empleando indicadores: ácidos o bases débiles, mismas que presentan diferente color según su  $pH$ . Generalmente se emplea un papel indicador, que consiste en papel impregnado con una mezcla de indicadores cualitativos para la determinación del  $pH$ .

La determinación del  $pH$  es un procedimiento analítico muy importante y utilizado en química y bioquímica. El  $pH$  determina muchas características notables de estructura y actividad de las moléculas, es decir del comportamiento de cada una de ellas” (Suárez, 2018, p.3).

## 2.4.4 Características físicas - químicas

### 2.4.4.1 Características físicas – químicas del nitrógeno

“El nitrógeno elemental tiene una reactividad baja hacia la mayor parte de las sustancias comunes, a temperaturas ordinarias. A altas temperaturas, reacciona con cromo, silicio, titanio, aluminio, boro, berilio, magnesio, bario, estroncio, calcio y litio para formar nitruros; con  $O_2$ , para formar  $NO$ , y en presencia de un catalizador, con hidrógeno a temperaturas y presión bastante altas, para formar amoníaco. El nitrógeno, carbono e hidrógeno se combinan arriba de los  $1800^{\circ}C$  ( $3270^{\circ}F$ ) para formar cianuro de hidrógeno” (Perdomo, 2015, p.5).

**Tabla 3**

*Propiedades físicas y químicas del nitrógeno*

<b>Propiedades físicas – químicas del nitrógeno</b>	
Fórmula química	28013 <i>g/mol</i>
Temperatura de ebullición (1 atm)	-195.8 °C
Temperatura crítica	-146.9 °C
Presión crítica	33.9 bar
Densidad del gas (20 °C, 1 atm)	1161 <i>g/l</i>
Densidad del líquido (p. e., 1 atm)	0.808 <i>g/l</i>
Peso específico (aire = 1)	0.967
Solubilidad en agua (0 °C, 1 atm)	2.33 $cm^3 N_2 / 100 cm^3 H_2O$
Calor latente de vaporización	47.44 <i>cal/g</i>

*Nota.* La tabla refleja aspectos importantes referentes a las propiedades físicas – químicas del nitrógeno.

### 2.4.4.2 Características físicas – químicas del hidrógeno

“El hidrógeno es una mezcla de orto-hidrógeno y para-hidrógeno

cuya diferencia establece la distinta rotación relativa de un spin atómico. Las moléculas con los spins en la misma dirección (paralelos) se denominan orto-hidrógeno; y aquellas con los spins en direcciones opuestas (antiparalelas) se denominan, para-hidrógeno” (Suárez, 2018, p.3).

“Es el elemento más ligero de la tabla periódica con una densidad de  $0.0899 \text{ kg/Nm}^3$ , además posee un alto contenido de energía por unidad de masa con un Poder Calorífico Superior de  $141 \text{ MJ/kg}$  e Inferior de  $119 \text{ MJ/kg}$ . Debido a su baja densidad en condiciones normales, tiene una baja densidad energética ‘por unidad de volumen con un poder calorífico inferior por unidad de volumen de  $10.79 \text{ MJ/m}^3$ ” (Badía, 2016, p.1-2).

**Tabla 4**

*Propiedades físicas y químicas del hidrógeno*

<b>Propiedades físicas – químicas del hidrógeno</b>	
Peso atómico	100974 <i>uma</i>
Estado de oxidación	+1, -1
Densidad específica	76 <i>Kg/m<sup>3</sup></i>
Densidad en estado de gas	273 <i>Kg/l</i>
Punto de fusión	14025 <i>K</i>
Punto de ebullición	20268 <i>K</i>
Número atómico	1
Valencia	1
Radio covalente	0.34
Radio iónico	2.08

*Nota.* La tabla demuestra las propiedades físicas – químicas del hidrógeno.

## 2.5 Evaluación química

### **2.5.1 Cualitativa**

“Son métodos empíricos que permiten hacer estimaciones de las exposiciones de los trabajadores a agentes químicos, por inhalación o vía dérmica, a partir de las propiedades del agente, de las condiciones de uso y de las medidas de control” (Ruiz, 2014, p.4).

### **2.5.2 Cuantitativa**

“Permite determinar la cantidad de una sustancia en particular que se encuentra presente en una muestra. Los resultados de un análisis cuantitativo típico se calculan a través de dos medidas, la primera es determinar el peso o volumen de la muestra a analizar y la segunda es la medida de una cantidad que es proporcional a la cantidad de analito que hay en la muestra” (Caballero, 2015, p.3).

## **2.6 Métodos de limpieza de un catalizador**

“La mayor parte de las obstrucciones tienen solución a través de la limpieza profesional del catalizador. Esta es una alternativa mucho más económica que la sustitución de la pieza. Para llevarla a cabo se pueden emplear distintos métodos” (Díaz, 2016, pp.29-30).

### **2.6.1 Utilización de máquinas específicas**

Los mecánicos harán pasar por el catalizador agua a presión con distintos productos químicos. El proceso se realizará en varios ciclos de lavado, según el tipo y nivel de obstrucción. En un último paso, se utilizará una bomba de secado para evitar que quede humedad y se oxiden los componentes.



### **2.6.2 DPF REVIVAL C500**

“Lavadora universal para filtros de partículas de turismos y vehículos comerciales ligeros. Permite regular la presión de entrada de aire y ajustar el tiempo de trabajo para posteriormente trabajar de forma automática durante el ciclo ajustado.

La plataforma de sujeción del filtro es regulable en inclinación además de giratoria lo que permite colocar cualquier tipo de filtro y fácilmente girarlo para trabajar en él” (Otón, 2017).

#### **Figura 9**

*DPF REVIVAL C500*



*Nota.* La máquina de limpieza universal DPF REVIVAL C500 presenta una eliminación total de las cenizas, hollín y aceite presentes en el catalizador, generando una limpieza eficiente y durabilidad del mismo.

### **2.6.3 DPF 1800**

“Las lavadoras de filtros de partículas DPF1800 son unas máquinas especializadas en la limpieza de FAP y catalizadores de turismos, furgonetas y vehículos industriales. Su funcionamiento consiste en la inyección de agua caliente a presión con detergente en diferentes ciclos de lavado. El detergente

se introduce en el depósito de agua en una proporción del 8 %.

A través de su cuadro de control con pantalla táctil, se pueden programar los ciclos de lavado dependiendo del filtro o catalizador del vehículo a tratar” (Iberisa, 2018).

#### **2.6.4 DPF 1800 PRO**

“Esta máquina realiza la limpieza y secado de filtros en tiempos de 25 minutos para coches y hasta 90 minutos para FAP y SCR de camiones., su funcionamiento es automático o manual programable a través del cuadro de control, dispone de un sistema de 5 filtros diseñados en acero inoxidable encargados de filtrar las impurezas en el circuito y trabajar siempre con agua limpia, construida en acero inoxidable, cuenta con un software desarrollado para optimizar las limpiezas distinguiendo entre filtro de partículas y catalizador” (Iberisa, 2018).

#### **Figura 10**

*DPF 1800 PRO*



*Nota.* La figura presenta la máquina DPF 1800 PRO encargada de realizar limpiezas eficientes de catalizadores de forma rápida sin generar ningún tipo de daño en el mismo.

### **2.6.5 La sonocatálisis**

“La Sonocatálisis constituye un excelente método, limpio y eficaz, para la preparación de catalizadores, además es un excelente proceso para la preparación de alternativas prácticas y sencillas de calentamiento térmico convencional” (Calvino, 2016, p.86).

## **2.7 Morfología de los catalizadores**

### **2.7.1 Prueba microscopía electrónica de barrido**

“El microscopio electrónico de barrido o SEM (Scanning Electron Microscopy), utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz para formar una imagen ampliada de la superficie de un objeto. Es un instrumento que permite la observación y caracterización superficial de sólidos inorgánicos y orgánicos. Tiene una gran profundidad de campo, la cual permite que se enfoque a la vez una gran parte de la muestra” (Acuña, 2006, p.5).

### **2.7.2 Prueba espectroscopia de dispersión de rayos x**

“Las técnicas de espectrometría de rayos X se utilizan para realizar el análisis elemental, químico, cristalográfico, estructural y dinámico de una amplia gama de materiales que cumplen una gran variedad de requisitos.

Aunque estas técnicas permiten alcanzar una resolución espacial excepcional (de algunas decenas de nanómetro), también se pueden usar para analizar y obtener imágenes de grandes superficies, de hasta varios metros cuadrados” (Santos, 2012, p.5).

## **2.8 Cámara termográfica**

### 2.8.1 Características

“La cámara termográfica es una herramienta única que sirve para determinar cuándo y dónde se necesita mantenimiento, puesto que las instalaciones eléctricas y mecánicas suelen calentarse antes de fallar. Al descubrir estos puntos calientes con una cámara termográfica, se puede llevar a cabo una medida preventiva” (FLIR, 2015, p.4).

- Mayor sensibilidad para visualizar diferencias.
- Capture las diferencias de temperatura más pequeñas gracias a la mayor sensibilidad térmica.
- Claridad de la pantalla anterior en comparación con la imagen más nítida de la nueva pantalla.
- Facilita la visualización y el diagnóstico de problemas.
- Imágenes en pantalla más nítidas con mayor diferenciación visual del color.

#### Figura 11

*Cámara termográfica FLUKE*



*Nota.* La figura muestra la cámara termográfica y las calibraciones respectivas de su

cámara, con el fin de obtener un buen análisis térmico del objeto a tratar.

## **2.9 Análisis termográfico**

### **2.9.1 ASTM E 1934 – 99a**

Guía estándar para examinar equipos eléctricos y mecánicos con termografía infrarroja. Esta guía puede ser utilizada por un usuario final para especificar exámenes infrarrojos de equipos eléctricos y mecánicos y un termógrafo infrarrojo para realizarlos y enumera las responsabilidades conjuntas del usuario final y el termógrafo infrarrojo cuando se utiliza termografía infrarroja.

“El propósito de un examen de infrarrojos es identificar y documentar las excepciones en los sistemas eléctricos o mecánicos del usuario final, o en ambos.

Esta guía describe el contenido específico requerido para documentar los exámenes infrarrojos cualitativos y cuantitativos de equipos eléctricos y mecánicos. Puede implicar el uso de equipos y materiales en presencia de equipos con calefacción, en movimiento o todos ellos o equipos energizados eléctricamente” (ASTM, 2014, p.3).

### **2.9.2 ASTM E 1933 – 99a**

“Métodos de prueba estándar para medir y compensar la emisividad utilizando radiómetros de imágenes infrarrojas. Estos métodos de prueba cubren los procedimientos para medir y comprimir la emisividad cuando se mide la temperatura de la superficie de una muestra con un radiómetro de imágenes infrarrojas. Estos métodos de prueba pueden implicar el uso de equipos y materiales en presencia de equipos calentados o energizados

eléctricamente, o ambos” (ASTM, 2017, p.1).

### **2.9.3 *ASTM E 1213 – 14***

Práctica estándar para la diferencia de temperatura mínima resoluble para sistemas de imágenes térmicas, esta práctica se relaciona con la efectividad de un sistema de imagen térmica para discernir detalles en una escena. “Esta práctica cubre la determinación de la capacidad de diferencia de temperatura mínima resoluble (MRTD) del sistema compuesto de imágenes térmicas del observador en función de la frecuencia espacial” (ASTM, 2018, p.2).

## Capítulo III

### 3 Diseño del equipo de recuperación y tratamiento

#### 3.1 Parámetros de diseño del equipo

En la presente investigación, el diseño del equipo se realizó considerando parámetros de temperatura, presiones y caudales volumétricos, mismos que permitieron recuperar catalizadores mediante el uso de gases vectores y temperatura programada.

#### 3.2 Diseño mecánico

##### 3.2.1 Estructura

Se consideró especificaciones generales y dimensiones referentes al tubo estructural cuadrado, mismo que tiene una mayor resistencia a la corrosión y una amplia firmeza a temperaturas extremas.

**Tabla 5**

*Características tubo estructural*

<b>Tubo Estructural Cuadrado</b>		
Especificaciones generales	Norma	NTE INEN 2415
	Calidad	SAE J 403 1008
	Acabado	Acero negro
Dimensiones	Sección transversal ( $mm^2$ )	30X30
	Espesor ( $mm$ )	1.2
	Peso $kg/m$	1.09

*Nota.* En esta tabla se puede observar las especificaciones generales y dimensiones del tubo estructural cuadrado.

A su vez, se estimó la utilización de una plancha laminada en frío, misma que brinda dureza, elasticidad, durabilidad y alta tenacidad.

**Tabla 6**

*Características de plancha laminada al frío*

<b>Plancha laminada al frío</b>		
Especificaciones generales	Norma	NTE INEN 115
	Calidad	JIS 3141 SPCC SD
	Acabado	Acero negro
Dimensiones	Planchas ( <i>ft</i> )	4X8
	Espesor ( <i>mm</i> )	0.9

*Nota.* La plancha laminada en frío denota sus características principales a tener en cuenta, así como su acabado y el espesor de 0.9 *mm* correspondiente.

Para las paredes laterales de la estructura, se tomó en cuenta las propiedades del acero ASTM – A36, ya que es uno de los aceros estructurales de carbono más utilizados.

**Tabla 7**

*Propiedades del acero ASTM - A36*

<b>Acero ASTM-A36</b>		
Propiedades Mecánicas	Esfuerzo a la fluencia mínimo	250 <i>MPa</i>
	Esfuerzo a la tensión	400 – 550 <i>MPa</i>
	Módulo de elasticidad	200 <i>GPa</i>
Propiedades Físicas	Densidad	7,850 <i>g/cm<sup>3</sup></i>
	Relación de Poisson	0.26

*Nota.* En la tabla el acero ASTM-A36 presenta sus propiedades tanto físicas como químicas, donde su principal característica es su densidad con 7,850 *g/cm<sup>3</sup>*.

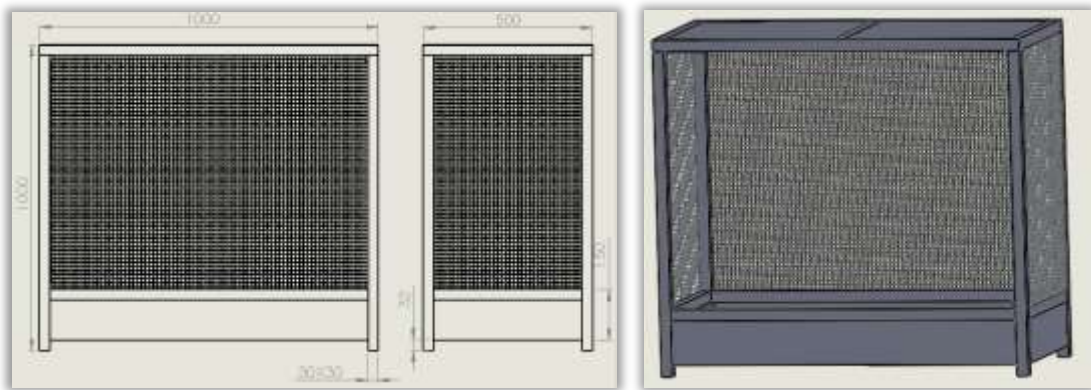
El modelado de la estructura fue realizada en un software de computador en el que se establece condiciones de una sección transversal de 30x30 *mm* y un espesor de 1.5 *mm*, la zona superior e inferior es recubierta con planchas de



acero laminadas en frío de un espesor de  $0.9\text{ mm}$ , así mismo las paredes laterales cuentan con el recubrimiento de planchas de acero laminadas en frío perforadas de  $0.9\text{ mm}$  de espesor.

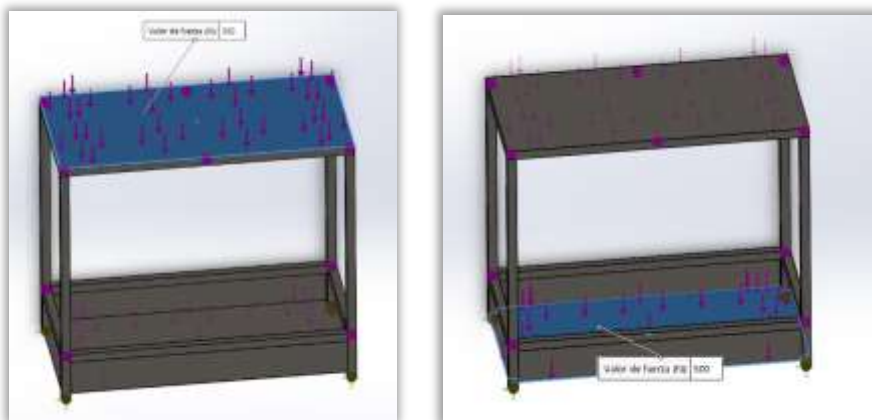
## Figura 12

### *Estructura del equipo*



*Nota.* En el lado izquierdo se muestra las dimensiones del diseño en  $2D$  correspondiente a la estructura del equipo de tratamiento, mientras que la vista isométrica  $3D$  se presenta en el lado derecho.

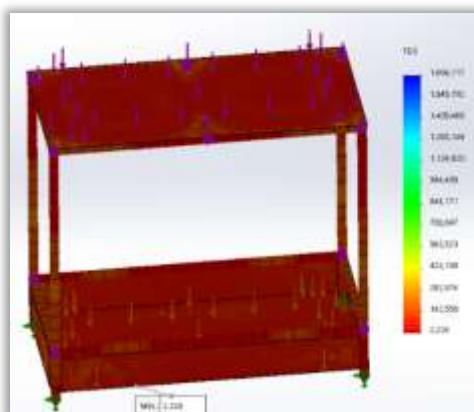
Para el análisis estático se utilizó un diseño de ingeniería computarizado, mismo que permitió determinar el factor de seguridad, tensiones y desplazamientos; la parte superior de la estructura presenta una carga de  $350N$  debido a la ubicación de los reactores, panel de control neumático y panel de control eléctrico - electrónico y la parte inferior presenta una carga de  $500N$  para el asiento de los cilindros de gases, acoples y manómetros.

**Figura 13***Distribución de cargas*

*Nota.* En la figura se observa la distribución de cargas en la parte superior e inferior de la estructura.

El factor de seguridad mínimo en el análisis estático demuestra un *valor*  $\geq 1$ , lo que significa que el material es seguro, a su vez se determina el buen funcionamiento de la estructura.

El FDS de la estructura muestra un valor mínimo de 2.2, por lo que asegura un buen funcionamiento del equipo, respecto a su diseño.

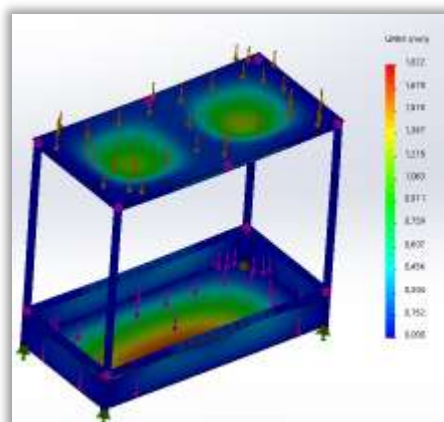
**Figura 14***Factor de seguridad*

*Nota.* En la figura se observa el valor del FDS mínimo, el cual corresponde a un valor de 2.2.

El desplazamiento máximo de la parte inferior es de 1.822 *mm*, esta zona se alojan los cilindros de oxígeno y nitrógeno, en la parte superior el desplazamiento máximo corresponde a 0.911 *mm* correspondiente a la zona se ubican los reactores, panel de control del sistema neumático, y panel de control del sistema eléctrico - electrónico.

### Figura 15

*Desplazamiento*



*Nota.* En la imagen se muestra los valores de desplazamiento de la estructura metálica.

### 3.2.2 Reactor grande

El reactor grande fue realizado tomando en consideración las dimensiones de los catalizadores; en el reactor convergen materiales como el acero ASTM A-36, acero inoxidable AISI 304, resistencias de tipo abrazadera, aislante térmico, acoples y cañerías.

**Tabla 8**

*Características de la plancha de acero inoxidable*

<b>Plancha acero inoxidable</b>		
Especificaciones generales	Norma	NTE INEN 115
	Calidad	AISI 304
	Acabado	Acero inoxidable
Dimensiones	Planchas ( <i>mm</i> )	1220X2440
	Espesores ( <i>mm</i> )	0.4 – 15

*Nota.* Las especificaciones generales y dimensiones de la plancha de acero inoxidable NTE INEN 115.

Se utilizó acero inoxidable AISI 304 para conseguir un cilindro de 300mm de altura, 200 mm de ancho y 3mm de espesor.

**Tabla 9**

*Propiedades del acero inoxidable AISI 304*

<b>Acero AISI 304</b>		
Propiedades Mecánicas	Resistencia a la tracción	515 MPa
	Límite de elasticidad	205 MPa
	Dureza Brinell	201 HBW
Propiedades Físicas	Densidad	7,930 g/cm <sup>3</sup>
	Difusividad térmica	3.84 mm <sup>2</sup> /s

*Nota.* La tabla demuestra las propiedades mecánicas y físicas del acero AISI 304.

Se adquirió resistencia de tipo abrazadera, la cual presenta una alta resistencia mecánica y soporta temperaturas de más de 500 °C.

**Tabla 10***Características de la resistencia*

<b>Resistencia tipo abrazadera</b>		
Material resistivo (alambre de forma plana)	Potencia	2000 W
	Resistencia por metro	3.43 $\Omega$
	Material	FeNi
	Sección transversal	4X0.1 mm <sup>2</sup>

*Nota.* En la tabla se aprecia características del material de la resistencia, sobre todo de la potencia, resistencia por metro la cual refleja un valor de 3.43  $\Omega$ .

Para evitar posibles fallos de la resistencia y tener un tiempo de duración de la misma, se requirió a la utilización de un fibra de cerámica la cual soporta temperatura de 800 a 1200 °C haciéndola un excelente aislante térmico.

**Tabla 11***Características del material térmico*

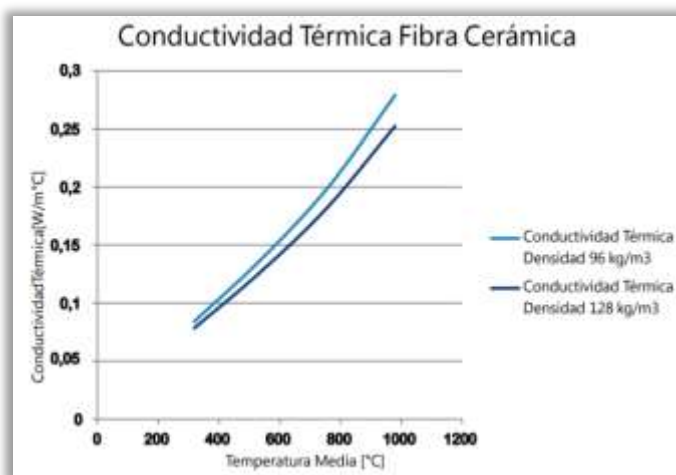
<b>Fibra cerámica</b>		
Características	Temperatura de servicio	800 – 1200 °C
	Conductividad térmica a 800°C (96 kg/m <sup>3</sup> )	0.24 W/m <sup>°K</sup>
	Conductividad térmica a 800°C (128 kg/m <sup>3</sup> )	0.19 W/m <sup>°K</sup>

*Nota.* La tabla demuestra características referentes a la fibra cerámica, recalcando que su conductividad térmica puede ser de 0.24 W/m<sup>°K</sup> y 0.19 W/m<sup>°K</sup> respectivamente.

Para que el uso de la resistencia sea más eficiente es necesario reflejar la conductividad térmica de la fibra de cerámica en función de la temperatura media.

**Figura 16**

*Conductividad térmica de la fibra cerámica*



*Nota.* En la imagen se presentan los valores de conductividad térmica para la fibra de cerámica con densidad de  $96 \text{ kg/m}^3$  y  $128 \text{ kg/m}^3$  respectivamente.

Se utilizó una manguera tipo teflón debido a que presenta una alta resistencia a la corrosión y una amplia calidad de presión y temperatura.

**Tabla 12**

*Características de las mangueras de teflón*

<b>Manguera de teflón</b>		
Características	Tubo interior	<i>Teflón PTF</i>
	Recubrimiento	<i>Malla inoxidable AISI304</i>
	Temperatura	<i>-73°C a + 232°C</i>
	Presión	<i>1000 - 3000 PSI</i>
	Diámetro	<i>3/16" - 1"</i>
	Aplicación	<i>Transporte de gases</i>

*Nota.* Las características de la manguera de teflón describen el material, dimensiones, presión y temperatura del mismo, misma que alcanza valores de  $-73^\circ\text{C}$  a  $+232^\circ\text{C}$  respectivamente.

Se requirió a la utilización de acoples debido a que proporcionan

conexiones fijas a altas presiones.

**Tabla 13**

*Características de los acoples*

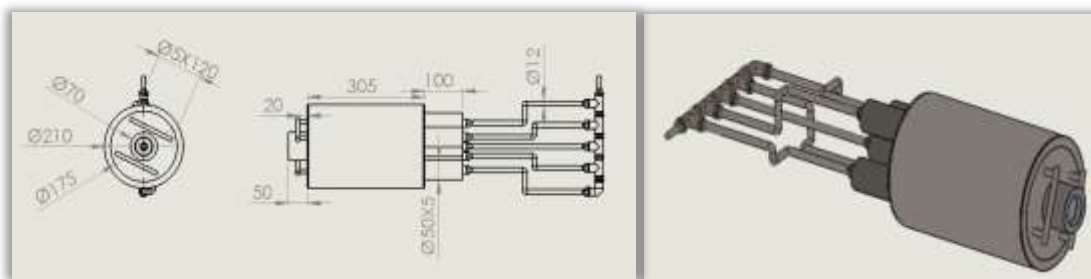
<b>Acoples</b>		
Características	Codo	1/4" en bronce
	Unión Te	1/4" en bronce
	Acople tipo espiga	1/4" en bronce
	Unión	1/4" en bronce

*Nota.* En la tabla presenta las características de acoples empleados en la construcción del reactor y tanto su codo, unión de T, acople tipo espiga y unión deben ser de 1/4" en bronce.

Se efectuó el modelado del reactor grande utilizando cada una de los elementos previamente descritos en las tablas.

**Figura 17**

*Reactor grande 2D y 3D*

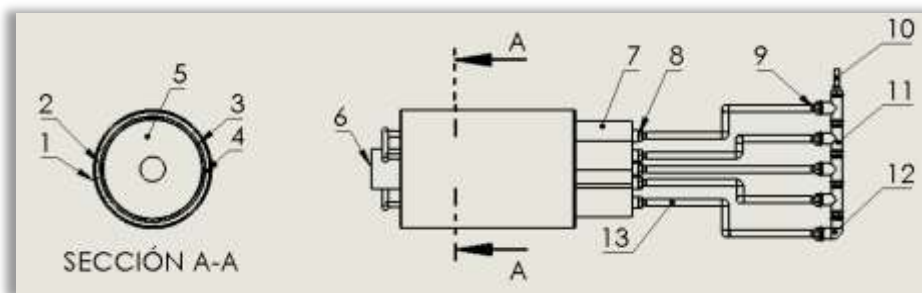


*Nota.* En el lado izquierdo se muestra las dimensiones del reactor en 2D, en el lado derecho se muestra el diseño del reactor en 3D.

Posteriormente se dan a conocer los componentes que forman parte del reactor grande, a su vez, se indican trece componentes que se describen en la tabla 14.

**Figura 18**

*Componentes del reactor grande*



*Nota.* En el lado izquierdo se muestra la sección A-A mostrando los diferentes componentes internos que forman parte del conjunto reactor, mientras que en el lado derecho se indican los componentes externos del mismo.

**Tabla 14**

*Componentes del reactor grande*

<b>Componentes</b>	
1	Cilindro externo
2	Fibra de cerámica
3	Resistencias tipo abrazadera
4	Cilindro interno
5	Tapa del reactor
6	Salida de gas vector
7	Entradas de gas vector
8	Unión roscada 1
9	Unión roscada 2
10	Acople tipo espiga
11	Unión Te
12	Codo
13	Mangueras de teflón

*Nota.* En la tabla se describen los nombres de los componentes principales que forman parte del reactor grande y su correspondiente numeración.

### **3.2.3 Reactor pequeño**

El reactor pequeño posibilita realizar el tratamiento de muestras de



monolito, su constitución se basa en un tubo interno de acero AISI 304 en el que se coloca la resistencia eléctrica encargada en generar temperatura; como recubrimiento se emplea la fibra de cerámica cuya función es de aislante térmico, y finalmente como protección se añade un cilindro de acero AISI 304, la constitución es semejante a la del reactor para tratamiento de catalizadores.

**Tabla 15**

*Características del tubo redondo AISI 304*

<b>Tubo Redondo</b>		
Especificaciones generales	Calidad	AISI 304
	Acabado	Acero inoxidable
Dimensiones	Diámetro exterior ( <i>in</i> )	1 1/4
	Sección transversal ( $cm^2$ )	1.43
	Espesor ( <i>mm</i> )	1.5
	Peso <i>kg/m</i>	7.08

*Nota.* En la tabla se demuestra las especificaciones generales y dimensiones del tubo redondo AISI 304, teniendo en cuenta el espesor del tubo con un valor de 1.5 *mm* y un peso aproximado de 7.08 *Kg/m*.

Se utilizó una resistencia tubular tipo espiral, la cual cuenta con un elemento calefactor de hilo de aleación níquel-cromo y una tensión de 240 *V*.

**Tabla 16**

*Características de la resistencia tubular*

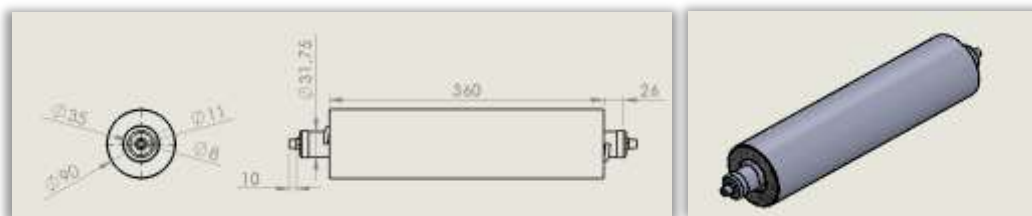
<b>Resistencia tubular</b>		
Características	Potencia	65 <i>W/in</i>
	Material	<i>Cu</i>
	Diámetro	0.260 <i>in</i>
	Tensión	240 <i>V</i>

*Nota.* En la tabla presenta las características de la resistencia tubular, siendo la más importante su potencia con un valor de 65 *W/in* y la tensión con un valor de 240 *V*.

En la figura se presentan las cotas del diseño del reactor para caracterizar muestras de monolito.

### Figura 19

#### Reactor pequeño 2D y 3D

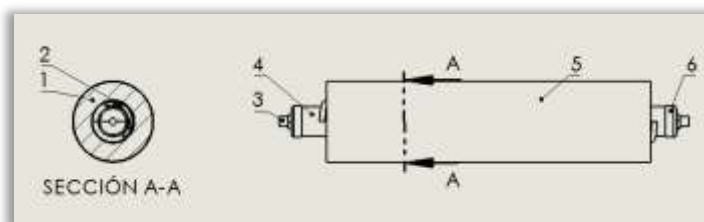


*Nota.* En el lado izquierdo de la figura demuestra las cotas del diseño del reactor para caracterizar muestras, mientras que en el lado derecho se presenta el diseño del mismo en 3D.

En la figura se encuentran presentes los componentes que forman parte del conjunto reactor mismos que se encuentran descritos en la tabla 17; el diseño muestra un tubo de acero AISI 304 de 1 ¼ in y espesor de 1.5mm, una resistencia tubular que permite llegar a los 600°C, un recubrimiento de fibra de cerámica empleado como aislante térmico, y un cilindro de protección de acero AISI 304 de 90mm de diámetro.

### Figura 20

#### Componentes del reactor pequeño



*Nota.* En el lado izquierdo se muestra la sección A-A indicando los diferentes

componentes internos que forman parte del conjunto reactor, mientras que en el lado derecho se indican los componentes externos del reactor pequeño.

**Tabla 17**

*Componentes del reactor pequeño*

<b>Componentes del reactor pequeño</b>	
1	Fibra de cerámica
2	Resistencia tubular
3	Tapón de salida de gases
4	Cilindro interno
5	Cilindro externo
6	Tapón de entrada de gases

*Nota.* En la tabla se describen los componentes que forman parte del reactor pequeño, mismo que sirvió para la caracterización respectiva de muestras de monolito.

### 3.3 Diseño neumático

#### 3.3.1 Selección de componentes

Se utilizó cilindros de oxígeno y nitrógeno mismos que cuentan con una presión aproximada de 2015 *PSI* y un peso de 25 *kg*.

**Tabla 18**

*Cilindros de O<sub>2</sub> y N*

<b>Cilindros de O<sub>2</sub> y N</b>		
	Presión de trabajo	2015 <i>PSI</i>
Características	Peso	25 <i>kg</i>
	Diámetro externo	18 <i>cm</i>
	Altura	84 <i>cm</i>

*Nota.* En la tabla se aprecian características pertenecientes a los cilindros de oxígeno y nitrógeno.

Se utilizó un regulador de oxígeno y de nitrógeno, mismos que previenen

el ingreso de cuerpos extraños al interior del regulador y a su vez la sobre presión de los mismos.

**Tabla 19**

*Regulador de oxígeno*

<b>Regulador de oxígeno</b>		
Características	Marca	<i>ELEKTRO</i>
	Modelo	<i>OR – 27</i>
	Presión máxima de entrada	<i>4500 PSI</i>

*Nota.* En la tabla se aprecia características del regulador de  $O_2$ .

**Tabla 20**

*Regulador de nitrógeno*

<b>Regulador de nitrógeno</b>		
Características	Marca	<i>GIOCWELD</i>
	Modelo	<i>9714</i>
	Presión máxima de entrada	<i>4000 PSI</i>

*Nota.* El regulador de nitrógeno presenta sus características correspondientes, en la que destaca su presión máxima de entrada con un valor aproximado de *4000 PSI*.

Se utilizaron mangueras de alta presión, ya que cuentan con una baja expansión volumétrica, permitiéndoles tener un tiempo de respuesta rápido y a su vez las hace indispensables para el equipo.

**Tabla 21**

*Manguera de alta presión*

<b>Manguera de alta presión</b>		
Características	Material	<i>Caucho con refuerzo de lona</i>
	Presión de trabajo	<i>300 PSI</i>
	Presión de ruptura	<i>900 PSI</i>
	Temperatura de trabajo	<i>-35°C / +90°C</i>

<b>Manguera de alta presión</b>	
Diámetro	1/4 in

*Nota.* En la tabla se presentan las características respectivas de la manguera de alta presión.

Se empleó flujómetros para cada uno de los tanques, mangueras de alta presión y así poder controlar el caudal de los gases que ingresan en el sistema del equipo.

**Tabla 22**

*Flujómetros*

<b>Flujómetros</b>		
	Marca	<i>MADA</i>
Características	Caudal volumétrico	<i>1 lt/min</i>
	Presión máxima	<i>50 PSI</i>
	Fluidos	<i>O<sub>2</sub>, N</i>
	Peso	<i>0.23 kg</i>

*Nota.* En la tabla se demuestran las características pertenecientes a los flujómetros, aunque su característica principal radica en la presión máxima que este soporta, el cual alcanza los 50 *PSI*.

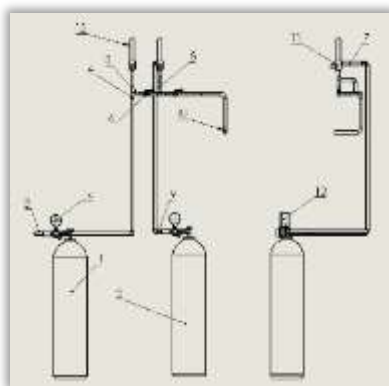
### **3.3.2 Distribución de cañerías de alta presión**

Al considerar las características de los componentes que se involucran en el diseño neumático, en la figura 21 se refleja la distribución de mangueras, partiendo de los cilindros que proveerán de oxígeno y nitrógeno, a su vez estos pasan por los reguladores de presión y los flujómetros correspondientes para finalmente llegar a los diferentes reactores, los cuales son parte del tratamiento de catalizadores y de muestras de monolito, mientras que en la tabla 23 se detalla los nombres de la distribución de mangueras.

El nitrógeno y el oxígeno son regulados por sus manómetros respectivos, estos controlan una presión máxima de 30 a 40 *PSI* dado que los flujómetros son capaces de soportar una presión de 50 *PSI*, estos a su vez atraviesan la manguera hasta llegar a la entrada del flujómetro, en el flujómetro se regula el caudal volumétrico en  $cm^3/min$  el cual direcciona a los gases vectores a los distintos reactores.

### Figura 21

*Distribución de mangueras de alta presión*



*Nota.* En el lado izquierdo de la figura se muestra la vista frontal de la distribución de mangueras de alta presión, mientras que en el lado derecho se indica una vista lateral de la misma.

### Tabla 23

*Componentes de la distribución de mangueras de alta presión*

Distribución de mangueras de alta presión	
1	Cilindro de oxígeno
2	Cilindro de nitrógeno
3	Salida de oxígeno desde el manómetro
4	Entrada de oxígeno hacia el flujómetro
5	Salida de oxígeno desde el flujómetro
6	Llave de paso de oxígeno
7	Entrada de nitrógeno hacia el flujómetro
8	Salida de nitrógeno desde el flujómetro
9	Salida de nitrógeno desde el manómetro

<b>Distribución de mangueras de alta presión</b>	
10	Salida de oxígeno y nitrógeno hacia el reactor
11	Flujómetro de nitrógeno
12	Flujómetro de oxígeno
13	Manómetro de nitrógeno
14	Manómetro de oxígeno

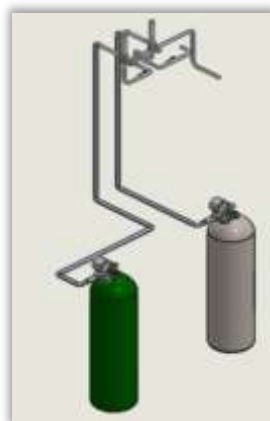
*Nota.* En la tabla se describen los componentes que se involucran en la distribución de mangueras de alta presión con su respectiva numeración.

### **3.3.3 Modelado 3D de la distribución de cañerías**

El modelado del sistema neumático se lo realizó mediante diseño asistido por computador a partir de parámetros característicos de los componentes, tales como los cilindros, manómetros, flujómetros, llave de paso y mangueras.

## **Figura 22**

*Modelado 3D de la distribución de mangueras*



*Nota.* En la imagen se indica la vista isométrica 3D del sistema neumático del equipo de recuperación de convertidores catalíticos a temperatura programada.

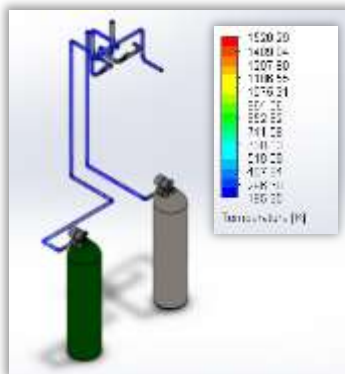
### **3.3.4 Análisis de temperatura en la distribución de cañerías**

El análisis de temperatura en la distribución de cañerías se realizó mediante diseño asistido por computador, el cual presenta un flujo en las

cañerías de nitrógeno y de oxígeno a una temperatura de  $296.6\text{ K}$  ( $23.45\text{ °C}$ ).

### Figura 23

*Análisis de temperatura en cañería*



*Nota.* En la imagen se muestra la vista isométrica 3D del análisis de temperatura en la distribución de cañerías.

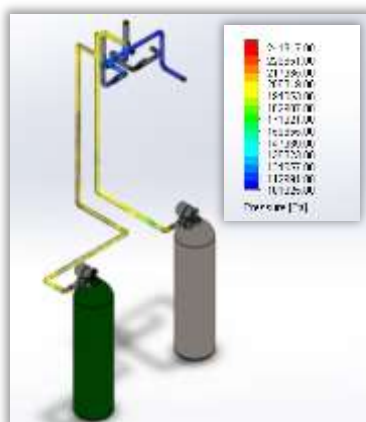
#### **3.3.5 Análisis de presión en la distribución de cañerías**

El análisis de presión en la distribución de cañerías se lo realizó mediante diseño asistido por computador, este presenta el flujo de los gases vectores de nitrógeno y oxígeno en línea de alta presión, alcanzando una presión de  $206\,319\text{ Pa}$  ( $29.93\text{ PSI}$ ) y en línea de baja alcanzan una presión de  $112\,991\text{ Pa}$  ( $16.39\text{ PSI}$ ).



**Figura 24**

*Análisis de presión en cañerías*



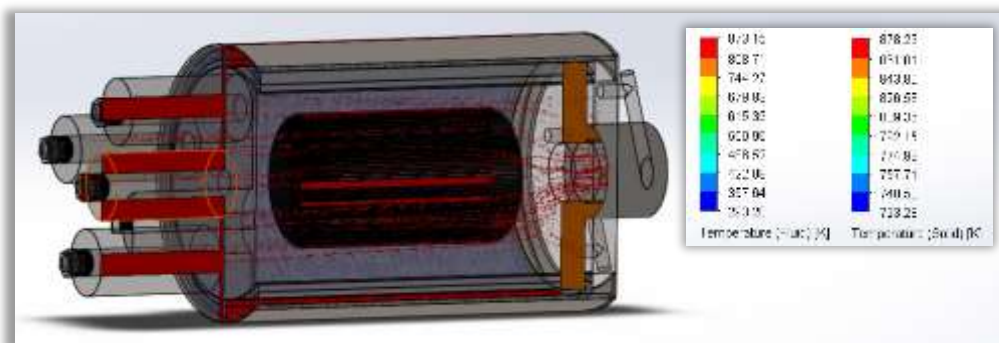
*Nota.* En la figura se muestra la vista isométrica 3D del análisis de alta presión en la distribución de cañerías del equipo.

### **3.3.6 Simulación termodinámica del tratamiento en el catalizador**

En la simulación del proceso de tratamiento de catalizador mediante temperatura programada e inyección de gases inertes, identifica que el gas vector ingresa hacia el monolito desde las cañerías de entrada repartiéndose de manera uniforme y dirigiéndose al conducto de salida, la temperatura del gas alcanza los  $873.15K$  ( $600^{\circ}C$ ) y la temperatura del catalizador alcanza un valor de  $878.23K$  ( $605.08^{\circ}C$ ).

**Figura 25**

*Análisis de temperatura del tratamiento en el catalizador*



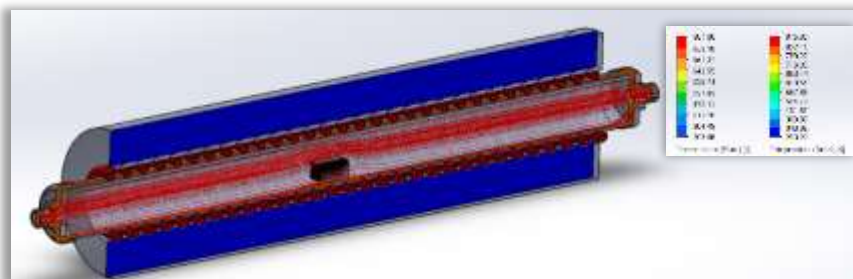
*Nota.* En la figura se aprecia la vista isométrica 3D del análisis de temperatura en el tratamiento de catalizadores.

### 3.3.7 Simulación termodinámica del tratamiento de muestras

La simulación del proceso de tratamiento de muestras de monolito mediante temperatura programada e inyección de gases inertes, identifica el gas vector que ingresa hacia la muestra, este a su vez refleja el valor de temperatura más alto de la muestra en el centro del reactor que es de  $860K$  ( $586.85^{\circ}C$ ). El gas vector en el interior del cilindro se encuentra a una temperatura de  $867K$  ( $593.85^{\circ}C$ ).

**Figura 26**

*Análisis de temperatura en el tratamiento de muestras*



*Nota.* En la figura se refleja la temperatura del gas vector en el interior del reactor pequeño sobre la muestra de monolito y la temperatura de la muestra en el tratamiento.

### 3.4 Diseño eléctrico y electrónico

#### 3.4.1 Selección de materiales

El sistema eléctrico y electrónico está alimentado por un voltaje de 240VAC, consta adicionalmente de materiales como: fusibles, relés, controladores de temperatura, interruptor, termocuplas y resistencias de tipo abrazadera y tubular.

**Tabla 24**

*Relé SSR*

<b>Relé SSR</b>		
Características	Capacidad	40 A
	Rango de voltaje	240VAC 50/60Hz
	Control	110 VAC
	Número de conexiones	4
	Indicador Led	rojo
	Cantidad	1

*Nota.* En la tabla se indican las características en función de la capacidad, rango de voltaje, número de conexiones, indicadores led, cantidad y control de 110 VAC referenciados al relé SSR.

Se empleó fusibles que tengan un rango de voltaje de 500V y un amperaje de 6VA, mismo que interrumpe la corriente y protege la integridad del equipo.

**Tabla 25***Fusible CAMSCO RT14-20*

<b>Fusible CAMSCO RT14-20</b>		
Características	Voltaje nominal	500 V
	Corriente nominal	25 A
	Capacidad de ruptura	100 KA
	Clase de servicio	<i>gG</i>
	Montaje en base	<i>RT18 – 32</i>
	Cantidad	2

*Nota.* Las características del fusible CAMSCO RT14-20 se describen en esta tabla, donde las características más importantes corresponden a su voltaje nominal con 500 V y su corriente nominal con 25 A.

Se utilizó un interruptor ON/OFF el cual permitió el paso o no de la corriente hacia el circuito del equipo.

**Tabla 26***Interruptor*

<b>Interruptor</b>		
Características	Voltaje	240 VAC – 120 VAC
	Modo de operación	<i>ON – OFF</i>
	Numero de contactos	4
	Expectativa de vida mecánica	10000 <i>ciclos</i>
	Cantidad	1

*Nota.* En la tabla se indican las características del interruptor implementado en el equipo de tratamiento y el cual maneja un voltaje de 240 VAC – 120 VAC y cuatro números de contacto.

Se empleó controladores de temperatura marca CAMSCO, los cuales permitieron tener un control adecuado de la temperatura en el tratamiento de los

catalizadores en el equipo.

**Tabla 27**

*Controlador de temperatura*

<b>Controlador de temperatura</b>		
Características	Marca	<i>CAMSCO</i>
	Modelo	<i>REX – C700</i>
	Numero de contactos	14
	Cantidad	4
Conexiones	1-2	<i>110 VAC</i>
	2-3	<i>220 VAC</i>
	4-11	<i>Alarma 2</i>
	5-6-7	<i>Contacto de rele</i>
	8-9-10	<i>Alarma 2</i>
	13-14	<i>Entrada de la termocupla</i>

*Nota.* En la tabla se indican las características como marca, modelo, número de contactos, cantidad; y las conexiones del controlador de temperatura CAMSCO REX – C700, además se debe tener en cuenta que presenta conexiones 1-2 de 110 VAC y conexiones 2-3 de 220 VAC.

Se empleó termopar tipo k, debido a que son ideales para la utilización en atmósferas oxidantes o de gases inertes, y alcanzan temperaturas de hasta 1200 °C.

**Tabla 28**

*Termopar*

<b>Termopar</b>		
Características	Tipo	<i>K</i>
	Código	03
	Alcance	0 – 600 °C
	Conductor +	<i>Níquel – Cromo</i>
	Conductor -	<i>Níquel – Aluminio</i>
	Tipo de bulbo	<i>Tornillo</i>
	Cantidad	4

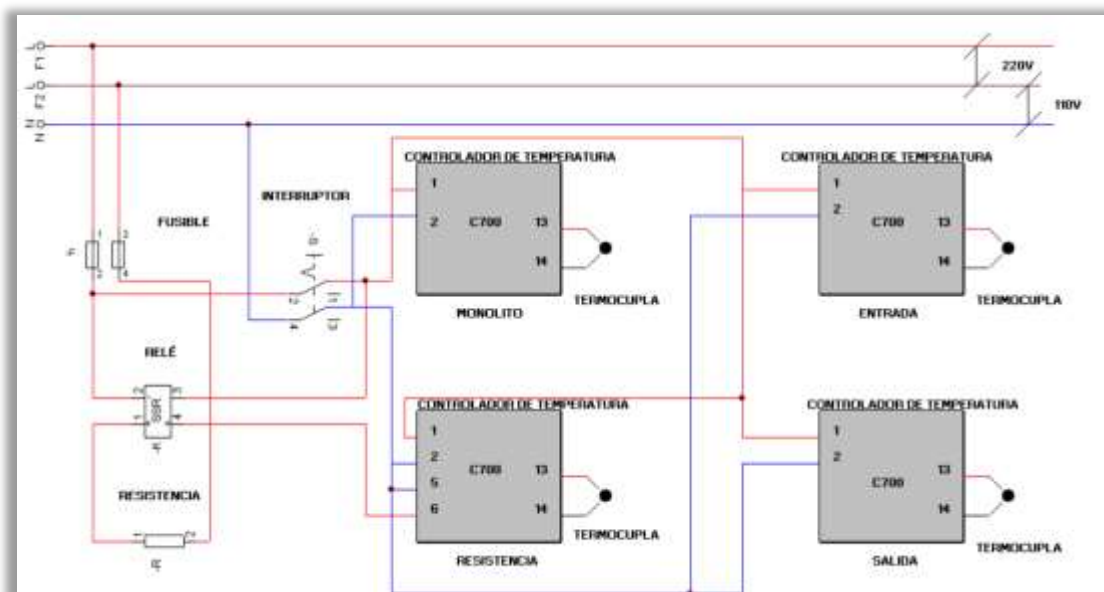
*Nota.* En la tabla se presentan las características del termopar, cabe recalcar que los más importantes son el tipo de termopar y el alcance que puede darse de 0 – 600 °C.

### 3.4.2 Diseño de conexiones

Para el diseño de conexiones del equipo, se implementó un software de computador que considera la alimentación en 2 fases y un neutro; la fase uno se conecta al fusible uno para alimentar al relé de estado sólido y al pin dos del interruptor, la fase dos tiene su conexión al segundo fusible y su conexión va a un polo de la resistencia térmica, el otro polo de la resistencia es alimentado desde el pin uno del relé, el pin tres del relé se conecta al pin uno del interruptor y el pin cuatro del relé se empalma con la conexión seis del controlador de temperatura de resistencia.

**Figura 27**

*Diseño de conexión*



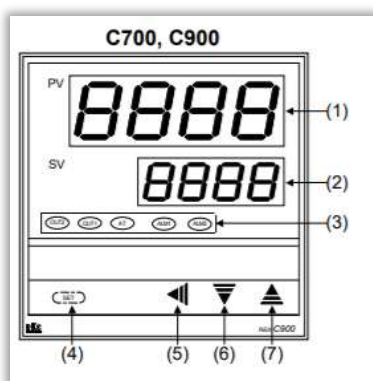
*Nota.* En la figura se señala el diseño de conexiones de los componentes eléctricos y electrónicos realizados en el software CAdE SIMU.

### 3.4.3 Programación

La programación de los controladores de temperatura CAMSCO REX C700 se realizó a través de los botones y pantallas presentes en los mismos. Además, cada uno de los componentes que describen al controlador de temperatura se encuentran descritos en la tabla 29.

**Figura 28**

*Regulador de temperatura CAMSCO REX C700*



*Nota.* En la figura se indica la distribución de pantallas, teclas y testigos del regulador de temperatura CAMSCO REX C700.

**Tabla 29**

*Componentes del regulador de temperatura CAMSCO REX C700*

Valores	Nombre	Características
(1)	Visualización de valor medido (PV) (Rojo)	Muestra PV o varios símbolos de parámetros
(2)	Visualización del valor de ajuste (SV) (Verde)	Muestra SV o varios valores de conjunto de parámetros (o valor de entrada CT)
(3)	A. Lámparas de salida de alarma (ALM1, ALM2) (Rojo) B. Lámpara de autoajuste (AT) (verde) C. Lámpara de salida de control (OUT1-amarillo), (OUT2-verde)	a. ALM1: Se ilumina cuando se activa la salida de alarma 1. ALM2: Se enciende cuando se activa la salida de alarma 2. b. Parpadea cuando el autoajuste está activado. (Una vez completado el autoajuste: la lámpara AT se apagará) c. OUT1: Se ilumina cuando la salida de control está encendida.

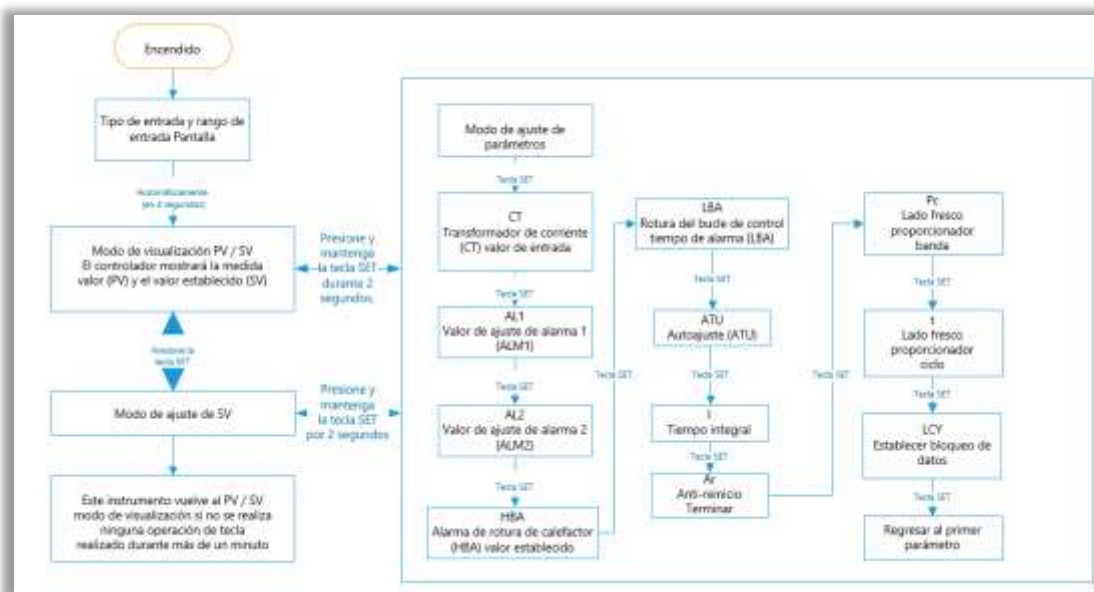
Valores	Nombre	Características
		OUT2: Se enciende cuando el control del lado frío de la salida está encendida.
(4)	SET	Se utiliza para la llamada de parámetros y el registro de valores establecidos
(5)	Tecla Shift	Cambia los dígitos cuando se cambien los ajustes
(6)	Tecla ABAJO	Disminuye los números
(7)	Tecla ARRIBA	Aumenta los números

*Nota.* En la tabla se describen características, valores y nombres de los componentes pertenecientes al regulador de temperatura CAMSCO REX C700.

Los controladores de temperatura disponen de varios parámetros como los son las teclas y pantallas que se encuentran en el mismo y los cuales son ajustados fácilmente.

**Figura 29**

*Parámetros ajustables del regulador CAMSCO REX C700*



*Nota.* La figura presenta los parámetros ajustables del regulador de temperatura CAMSCO REX C700 por medio de un diagrama de flujo.

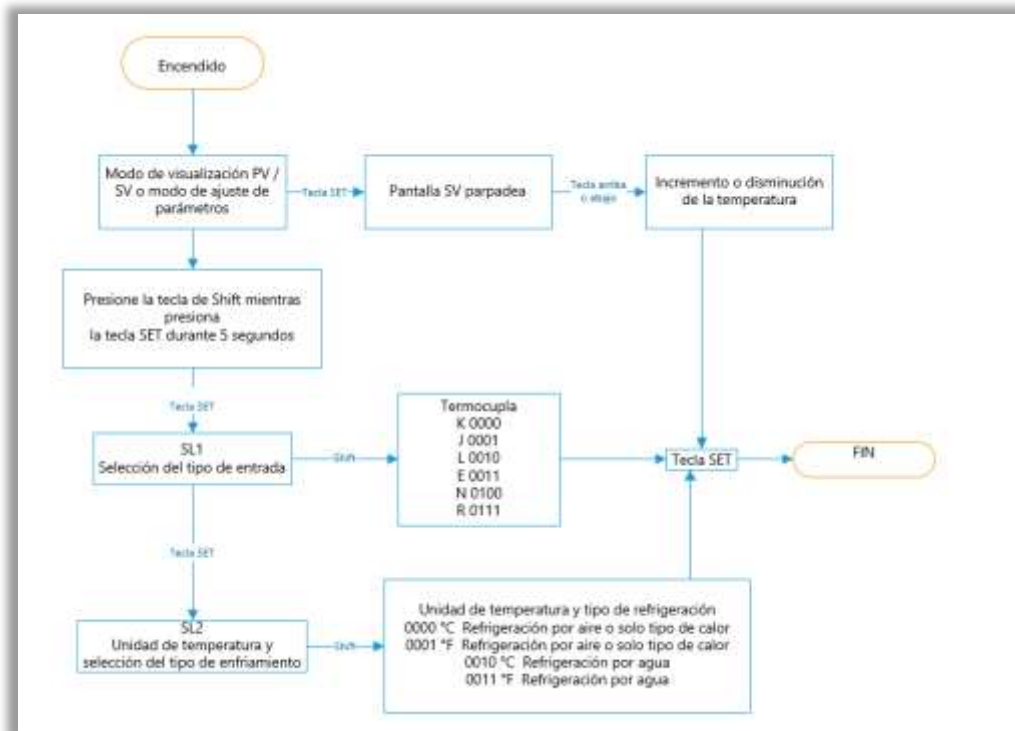
Para definir el tipo de termocupla, para incrementar y disminuir la



temperatura se procedió con la programación respectiva del mismo.

**Figura 30**

*Programación en el regulador CAMSCO REX C700*



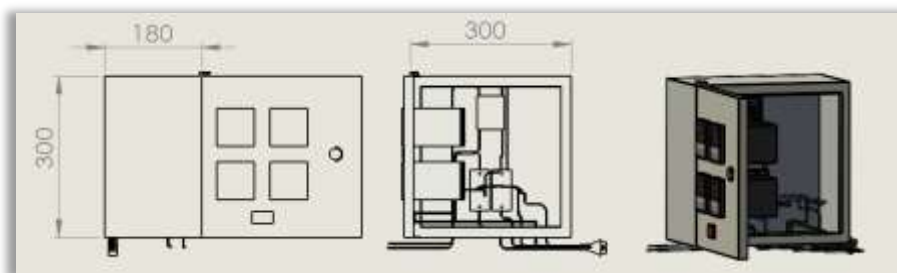
*Nota.* La figura presenta los parámetros para la programación del tipo de termocupla y temperatura del regulador CAMSCO REX C700.

#### **3.4.4 Tablero de control**

En lo que concierne a la parte eléctrica y electrónica del equipo, se lo llevó a cabo en un tablero de control, el cual presenta dimensiones de 300mm de alto, 300mm de ancho y una profundidad de 180mm, su material es de planchas de acero ASTM A36 laminado en frío.

### Figura 31

*Tablero de control 2D y 3D*

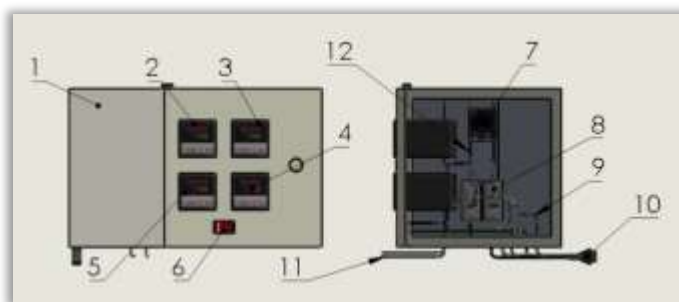


*Nota.* En el lado izquierdo de la figura se muestran las dimensiones del tablero metálico, mientras que en el lado derecho se presenta el diseño finalizado en presentación 3D.

Los componentes que forman parte del tablero de control se encuentran reflejados en la figura 32, y a su vez, los nombres respectivos de los mismos se los permite observar en la tabla 30 respectivamente.

### Figura 32

*Componentes en el tablero de control*



*Nota.* En la figura se indica la distribución de los componentes que forman parte del sistema eléctrico y electrónico del equipo de recuperación y tratamiento de convertidores catalíticos.

En la tabla siguiente se indican cada uno de los componentes del sistema eléctrico que forman parte del tablero de control del equipo.

**Tabla 30**

*Componentes del sistema eléctrico - electrónico*

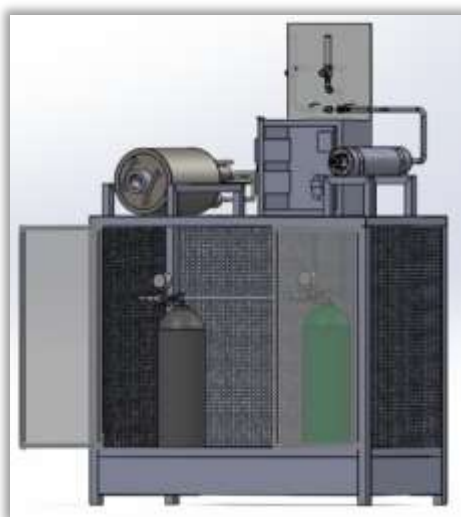
<b>Componentes del sistema eléctrico - electrónico</b>	
1	Tablero metálico
2	Controlador de temperatura de entrada
3	Controlador de temperatura de monolito
4	Controlador de temperatura de resistencia
5	Controlador de temperatura de salida
6	Interruptor
7	Relé SSR
8	Portafusibles y fusibles
9	Termopar
10	Cable de alimentación
11	Cables a resistencia
12	Conexiones internas

*Nota.* En la tabla se describen los componentes que forman parte del sistema eléctrico-electrónico del equipo con su numeración respectiva.

En la figura se presenta el equipo de tratamiento finalizado con ayuda del diseño asistido por computador.

**Figura 33**

*Diseño final del equipo de tratamiento*



*Nota.* En la figura se aprecia el diseño del equipo de tratamiento finalizado y ensamblado.

## Capítulo IV

### 4 Análisis termográfico y caracterización morfológica

#### 4.1 Análisis termográfico

El análisis termográfico permite medir y obtener resultados de las temperaturas que se toman en una superficie en tiempo real, identificando tanto puntos calientes como fríos, o los aumentos de temperatura variada que se puede dar.

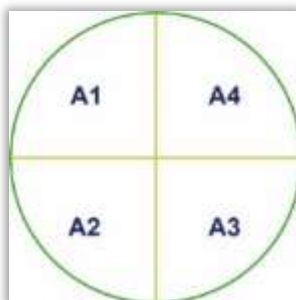
En este capítulo se verán detallados cada uno de los datos obtenidos en referencia a la termografía de las muestras y el catalizador correspondiente, debido a que esto es de gran ayuda para determinar si la muestra de monolito y catalizador alcanzan las temperaturas necesarias para el desarrollo de las pruebas.

##### 4.1.1 Áreas de análisis termográfico

A través del análisis de las áreas termográficas, se pudo garantizar los ensayos a realizar en el equipo y obtener valores bajos las mismas condiciones de medición de temperatura, para ello se establecieron cuatro áreas de estudio previo, las cuales ayudaron a obtener un mejor resultado en el desarrollo de los respectivos ensayos.

#### Figura 34

*Áreas de estudio para el análisis termográfico*

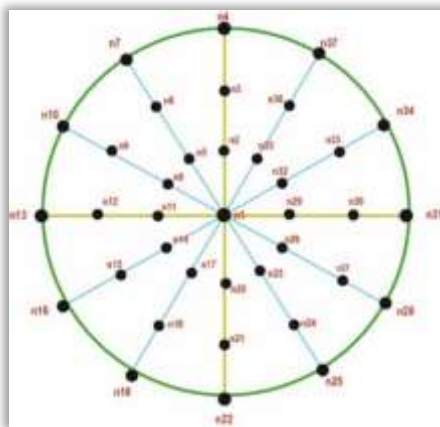


*Nota.* En la figura se observan cada uno de los cuadrantes referentes al estudio del análisis termográfico.

Se procedió a dividir en 13 nodos cada uno de los cuadrantes, sumando un total de 37 nodos como puntos de estudio, considerando que existen 13 puntos comunes.

**Figura 35**

*Configuración de puntos de estudio*



*Nota.* En la figura se pueden apreciar la división de nodos por cada cuadrante de trabajo respectivo.

La distribución de nodos semejantes se encuentra reflejados en la tabla siguiente, los cuales dependen de la localización de estudio en referencia a las temperaturas de medición en sus cuatro cuadrantes.

**Tabla 31**

*Semejanza de nodos en áreas de trabajo*

<b>Nodos</b>	
<b>n1</b>	
<b>n2</b>	n20
<b>n3</b>	n21

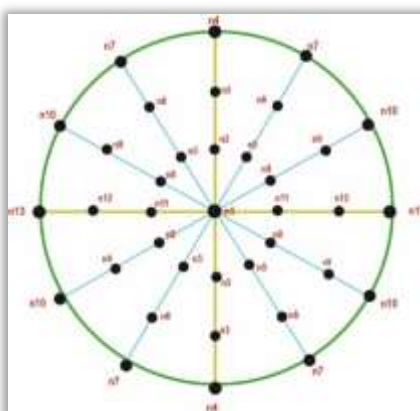
Nodos			
<b>n4</b>	n22		
<b>n5</b>	n17	n23	n35
<b>n6</b>	n18	n24	n36
<b>n7</b>	n19	n25	n37
<b>n8</b>	n14	n26	n32
<b>n9</b>	n15	n27	n33
<b>n10</b>	n16	n28	n34
<b>n11</b>	n29		
<b>n12</b>	n30		
<b>n13</b>	n31		

*Nota.* En la tabla se señalan cada una de las subdivisiones de nodos y la distribución respectiva de nodos semejantes en cada cuadrante.

Los 13 nodos semejantes entre cuadrantes indican el total de nodos, y a su vez, la configuración permitió detallar el estudio de cada punto térmico, los cuales son analizados en cada imagen termográfica.

### Figura 36

*Área de trabajo con nodos semejan*



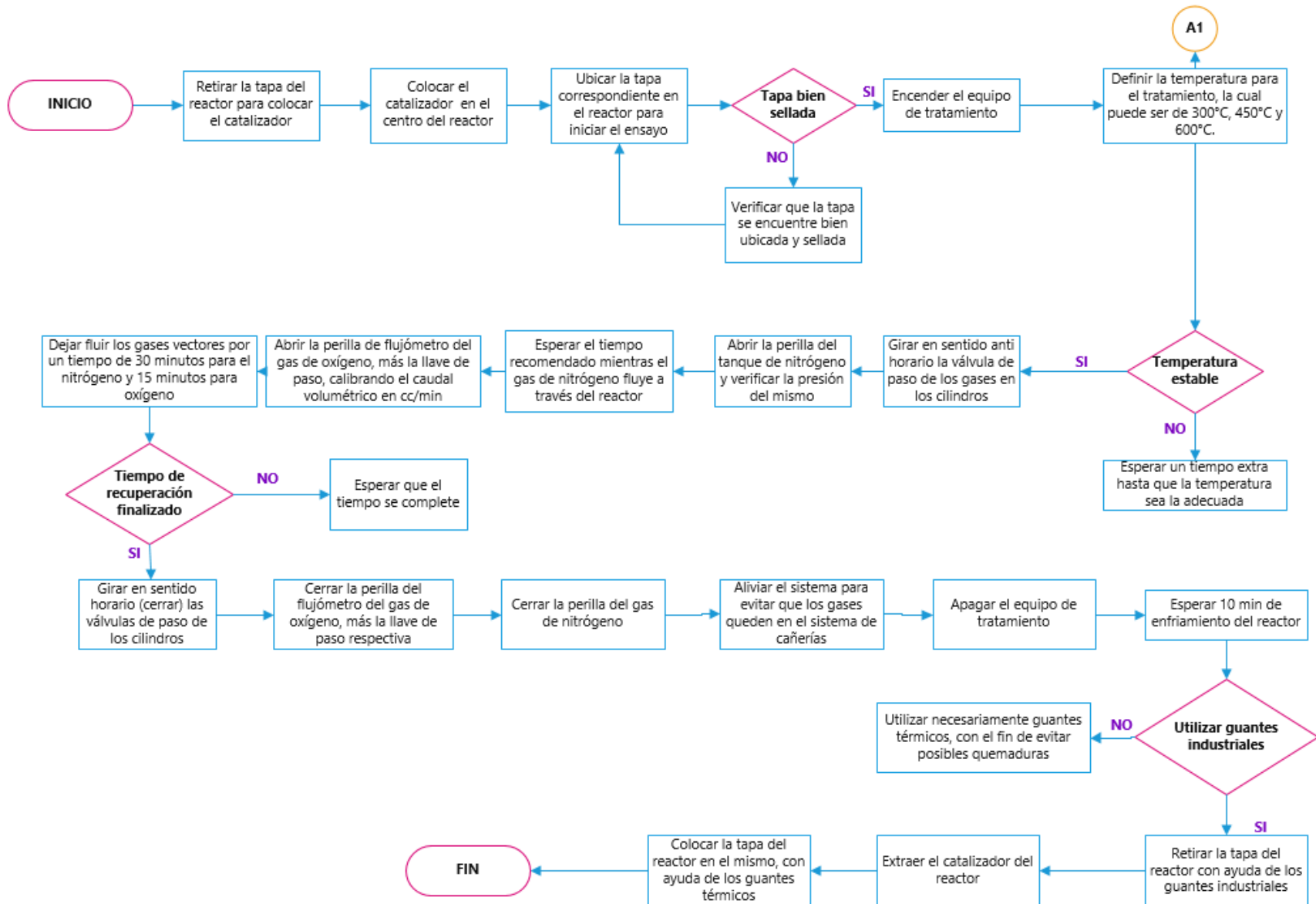
*Nota.* En la figura se aprecian las áreas de trabajo con cada uno de los nodos semejantes en referencia a los cuatro cuadrantes antes mencionados.

#### **4.1.2 *Proceso de recuperación del catalizador***

En la figura 37 se detalla el procedimiento del proceso de recuperación del catalizador, con el fin de desarrollar el ensayo respectivo de manera correcta.

Figura 37

Diagrama de flujo del proceso de recuperación del catalizador



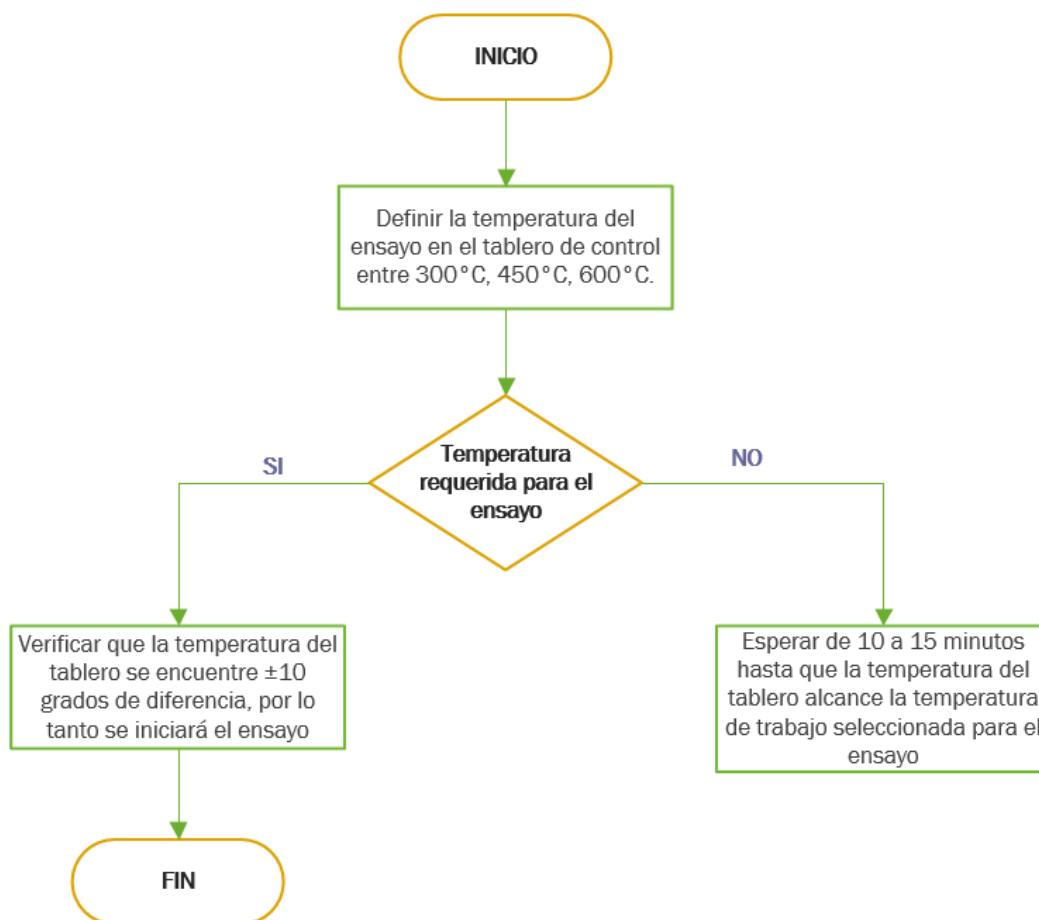


*Nota.* La figura muestra el diagrama de flujo del proceso de recuperación del catalizador a temperatura programada.

Para comprender de mejor manera el proceso de recuperación del catalizador, se definió un proceso adecuado para obtener la temperatura ideal para cada ensayo, mismo que se encuentra descrito a continuación.

### Figura 38

*Diagrama de flujo A1*



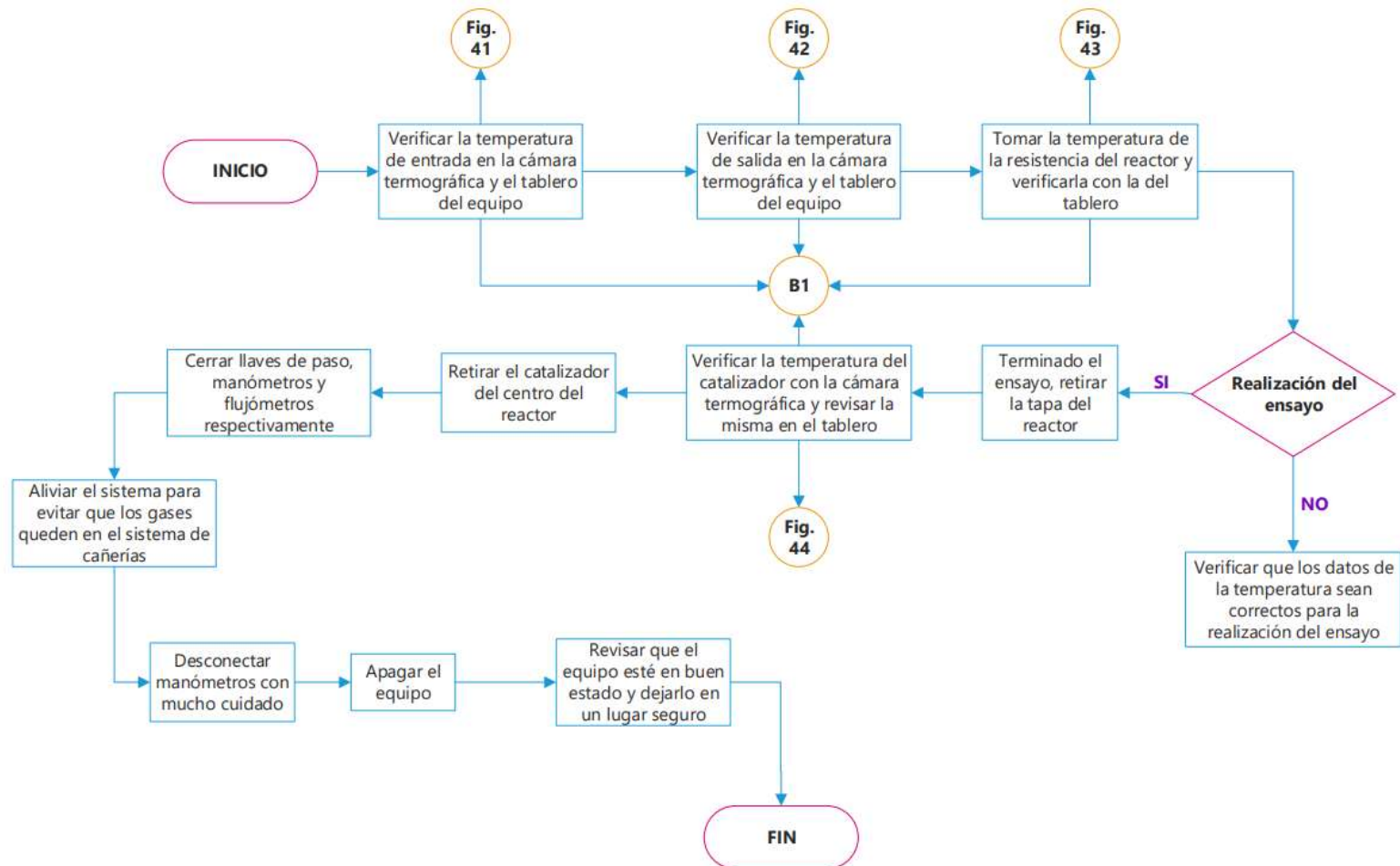
*Nota.* La figura muestra el diagrama de flujo de A1, correspondiente a la definición de la temperatura dentro del proceso de recuperación del catalizador.

#### **4.1.3 *Proceso de oxidación a temperatura programada del catalizador***

En la figura 39 se detalla el proceso de oxidación a temperatura programada del catalizador en el equipo de tratamiento.

Figura 39

Diagrama de flujo del proceso de oxidación del catalizador

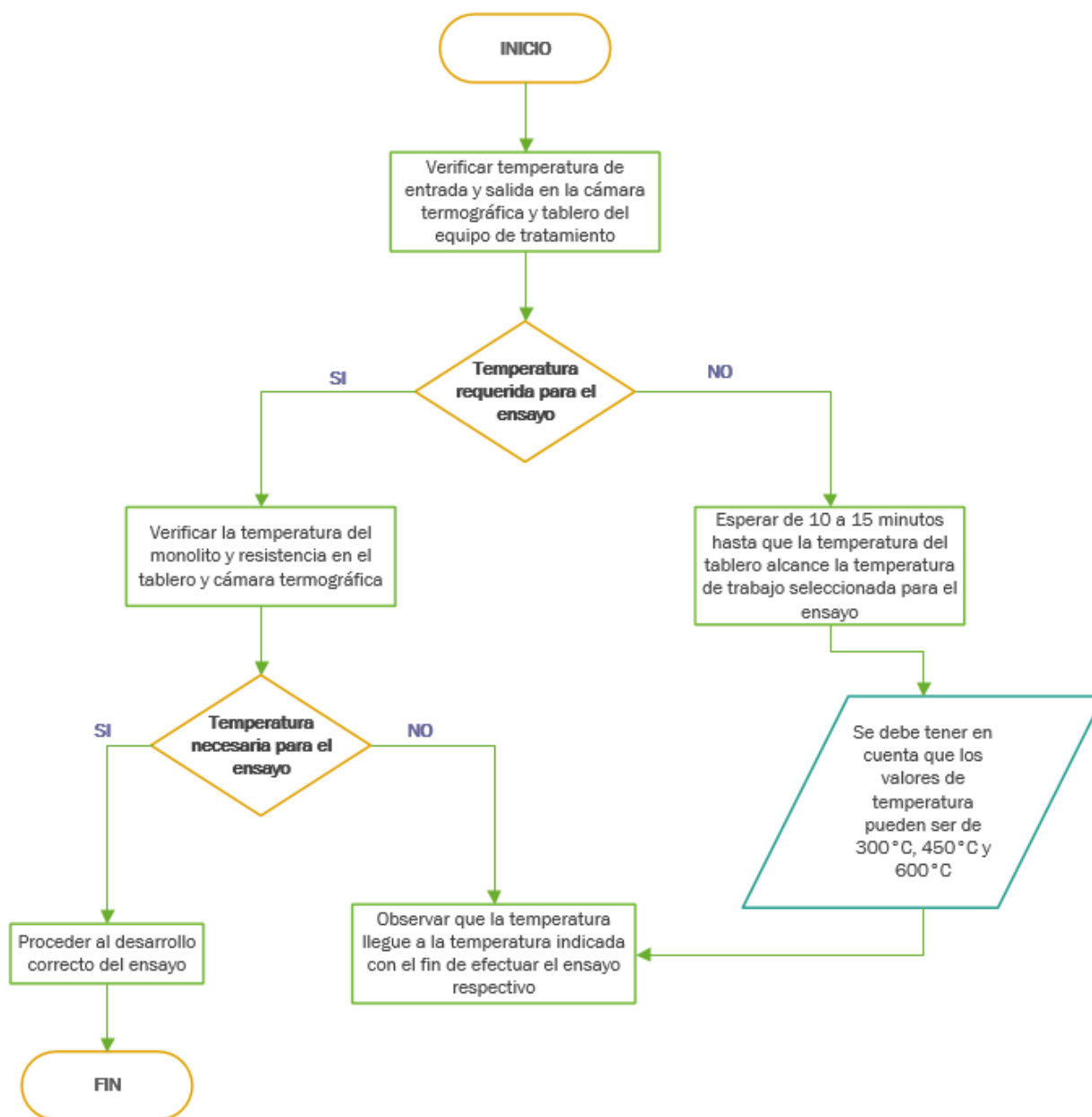


Nota. En la figura se demuestra el proceso de oxidación del catalizador a temperatura programada en el equipo de tratamiento.

Se implementó un diagrama de flujo que demuestre el tiempo que se debe esperar hasta que la temperatura en el equipo alcance su punto ideal y el tratamiento del catalizador sea llevado a cabo.

**Figura 40**

*Diagrama de flujo B1*

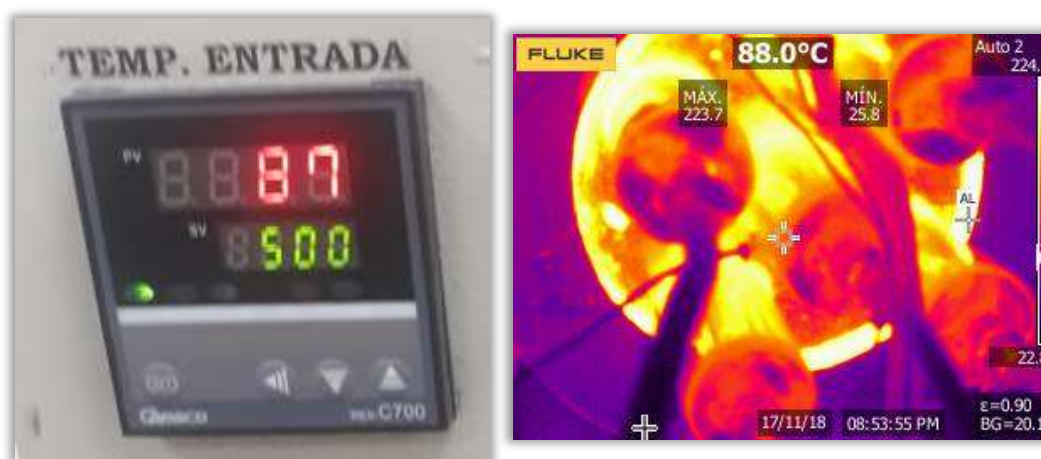


**Nota.** En la figura se observa el alcance de la temperatura en el equipo para la resistencia, monolito, temperatura de entrada y salida para el tratamiento del catalizador respectivo.

La temperatura de entrada reflejada en el proceso de oxidación del convertidor catalítico presenta una variación de un  $1^{\circ}\text{C}$  entre la temperatura reflejada en el tablero control y la obtenida por medio de la cámara termográfica; esto significa que dicha temperatura se encuentra dentro de los parámetros adecuados para que el tratamiento se lo realice satisfactoriamente.

#### Figura 41

*Temperatura de entrada del catalizador*



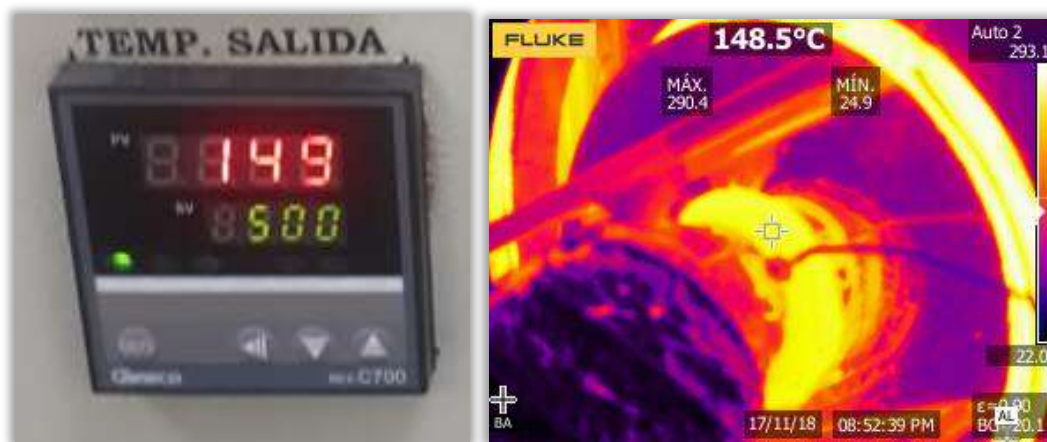
**Nota.** En la figura se muestra la temperatura de entrada del reactor la cual presenta una variación de 1 grado centígrado.

La temperatura de salida presente en el tratamiento del catalizador presenta un valor de  $149^{\circ}\text{C}$ , este es reflejado en el controlador de temperatura del tablero, además gracias al uso de la cámara termográfica se puede respaldar el valor de dicha temperatura, debido a que en la cámara se refleja un valor de

148.5 °C.

**Figura 42**

*Temperatura de salida a la que trabaja el reactor*



*Nota.* En la figura se argumenta la temperatura de salida del reactor en el tablero de control y la obtenida con la cámara termográfica.

La temperatura de resistencia obtenida en el tablero de control es de 310 °C, a diferencia de la temperatura obtenida con la cámara termográfica la cual refleja un valor de 311.5 °C, teniendo en cuenta que la resistencia utilizada en este equipo es de tipo abrazadera, la misma presenta una uniformidad del calentamiento en el interior y consta de una excelente durabilidad al ser utilizada correctamente.

**Figura 43**

*Valor de la resistencia registrada en el tablero y cámara termográfica*



*Nota.* En la figura se aprecia el valor de la resistencia en el tablero de control y en la cámara termográfica.

Se obtuvo una temperatura de  $293\text{ }^{\circ}\text{C}$  en el catalizador al momento del tratamiento, a su vez, se refleja un valor de temperatura de  $293.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  obtenidos con la cámara termográfica; por esta razón, los valores obtenidos para esta prueba son correctos, ya que se presentan variaciones de  $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre ambas temperaturas respectivamente.

**Figura 44**

*Temperatura del monolito en el tablero de control y cámara termográfica*



*Nota.* La figura presenta la temperatura del monolito reflejada en el controlador de temperatura CAMSCO y cámara termográfica.

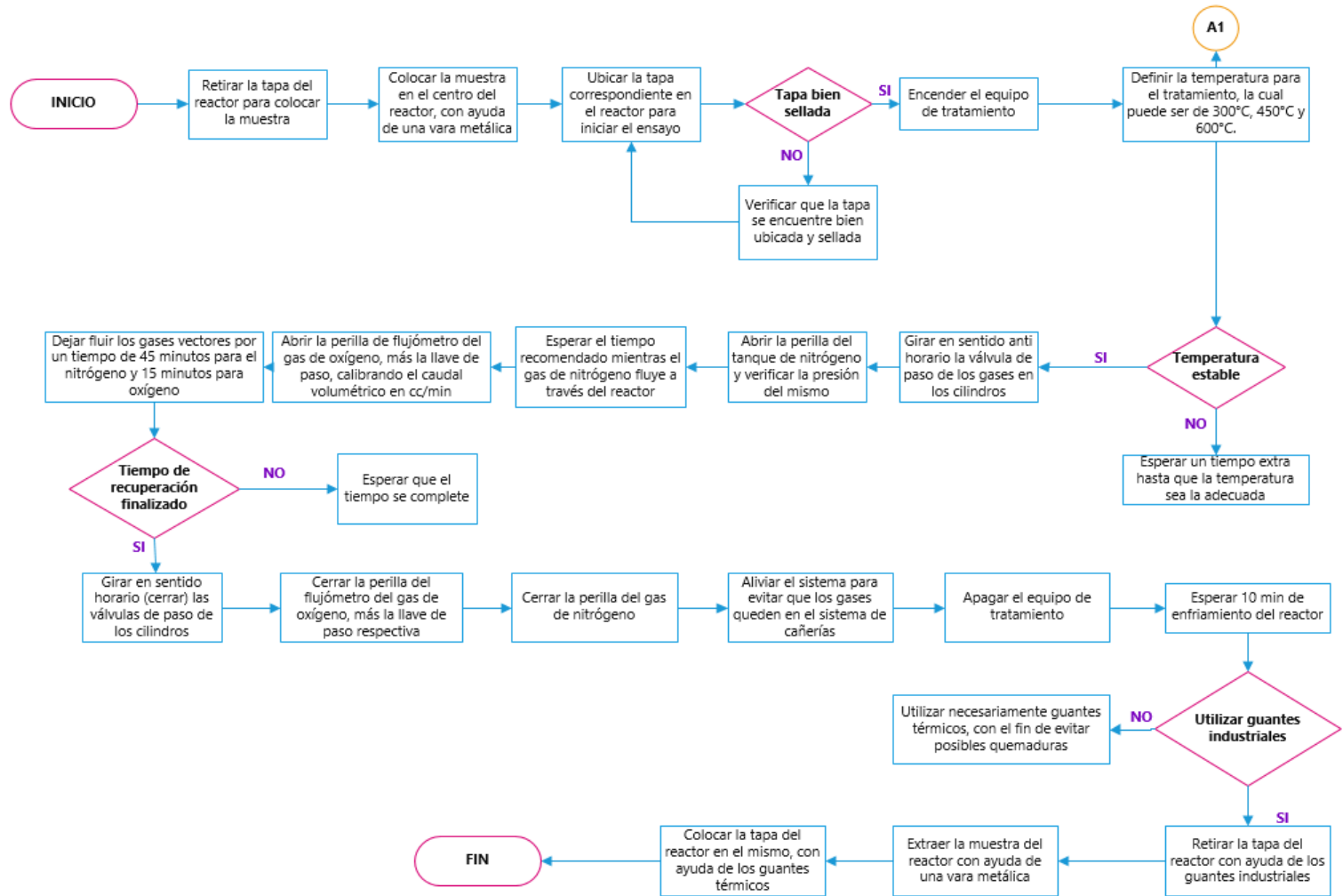
#### **4.1.4 *Proceso de recuperación de muestras***

En la figura se establece el diagrama de flujo de recuperación de muestras en el reactor, especificando el procedimiento adecuado del mismo para llevarlo a cabo.



**Figura 45**

*Diagrama de flujo del proceso de recuperación de muestras*



Nota. En la figura se demuestra el proceso para la recuperación respectiva de muestras en el equipo de tratamiento.

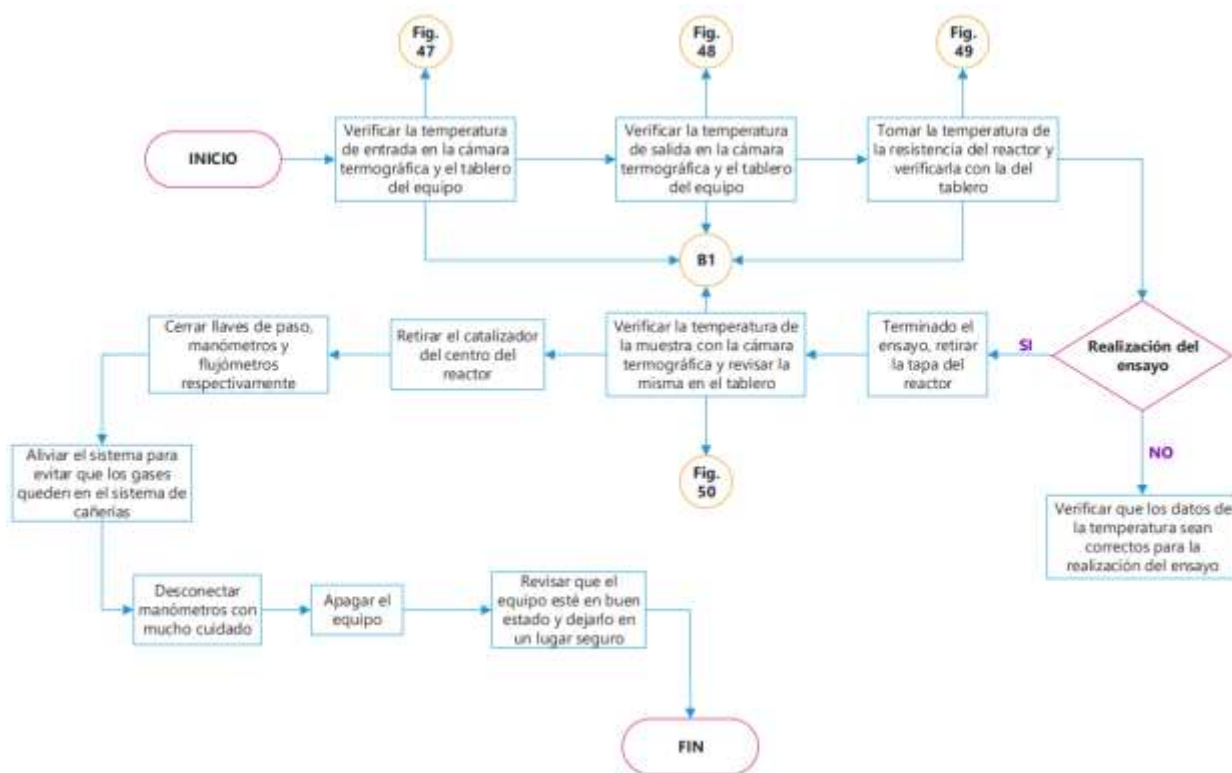
Además, en la figura 38 se evidencia el diagrama de flujo de A1 y su explicación detallada con respecto a la selección de temperaturas en el equipo de tratamiento correspondiente.

#### 4.1.5 Proceso de oxidación a temperatura programada de muestras

El proceso de oxidación a temperatura programada de muestras se encuentra especificado en la figura siguiente.

**Figura 46**

*Diagrama de flujo del proceso de oxidación de muestras*



*Nota.* En la figura se demuestra el proceso de oxidación a temperatura programada de muestras.

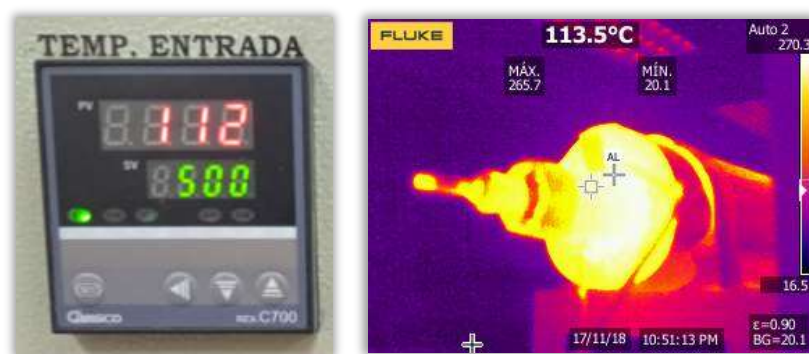
El diagrama de flujo correspondiente a B1, se encuentra detallado en la

figura 40.

La temperatura de entrada en el desarrollo del ensayo se encuentra reflejada tanto en el controlador de temperatura del tablero como en la pantalla de la cámara termográfica, a su vez verifica si la temperatura es la adecuada para el proceso de recuperación de la muestra de monolito.

### Figura 47

*Temperatura de entrada de la muestra*

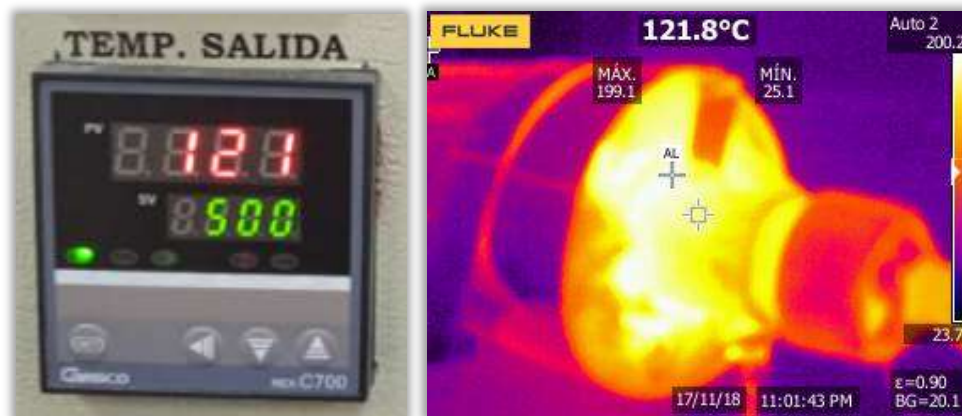


*Nota.* En la figura se aprecia la temperatura de entrada en el tablero de control como en la cámara termográfica.

En el caso de la temperatura de salida del reactor, se refleja en el controlador un valor de 121 °C y la temperatura obtenida en la cámara termográfica es de 121.8 °C, por tal razón estas temperaturas se encuentran dentro de los estándares oficiales para que el tratamiento de recuperación de la muestra de monolito sea realizada con éxito.

**Figura 48**

*Temperatura de salida del tablero de control y cámara termográfica*

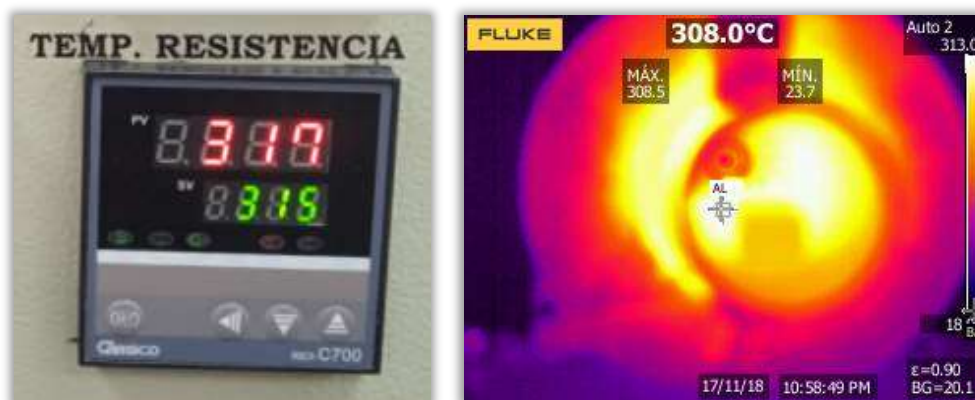


*Nota.* En la figura se aprecia la temperatura tablero de control en relación a la reflejada en la cámara termográfica.

La temperatura de resistencia de tipo espiral del reactor pequeño, presenta un valor de  $317\text{ }^{\circ}\text{C}$  en el controlador y la registrada en la cámara termográfica un valor de  $308.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , registrándose así una variación de la temperatura de  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

**Figura 49**

*Temperatura de la resistencia en el tablero y cámara termográfica*



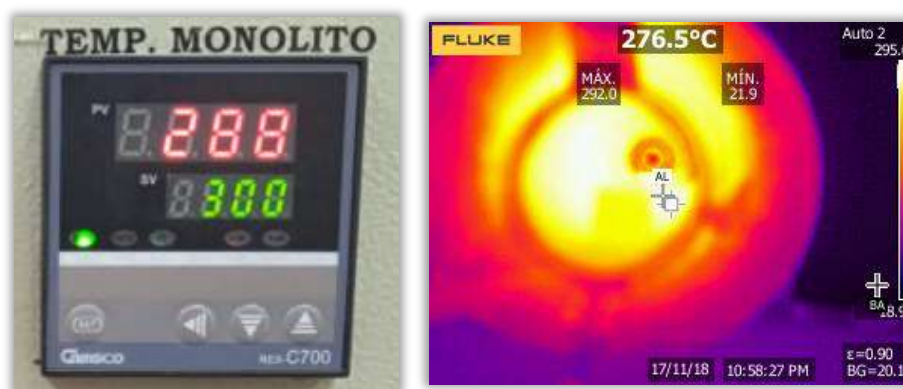
*Nota.* La figura revela la temperatura de la resistencia en espiral del reactor pequeño

mostrada en el tablero de control y a su vez la temperatura obtenida con ayuda de la cámara termográfica.

La temperatura del monolito registrada en el tablero de control es de 288 °C y la obtenida en la cámara termográfica es de 276.5 °C, presentándose una variación de temperatura de 12.5 °C.

### Figura 50

*Temperatura del monolito tomada del tablero y cámara de termográfica*



*Nota.* El valor del monolito medido con la cámara termográfica y el valor reflejado en el tablero de control es presentado en la imagen, cuyo fin es dar conocer las variaciones de temperatura presentes en el tratamiento, pero que son adecuadas para que el proceso de oxidación sea llevado a cabo satisfactoriamente.

#### 4.1.6 Condiciones de trabajo para la recuperación de catalizadores

- **Valores implementados en ensayos a un tiempo de duración de 60 minutos**

En la tabla se indican los valores utilizados en el tratamiento de muestras de monolito a temperatura programada.

**Tabla 32**

Valores implementados en ensayos a un tiempo total de 60 minutos

N°	°C	Tiempo Total "min"	Tiempo de O <sub>2</sub> (min)	Tiempo de N (min)	Caudal O <sub>2</sub> cm <sup>3</sup> /min	Caudal N cm <sup>3</sup> /min	%O <sub>2</sub>	%N
1	300	60	30	60	100	150	25,0	75,0
2		60	22	60	100	150	19,6	80,4
3		60	36	60	100	60	50,0	50,0
4	450	60	30	60	100	150	25,0	75,0
5		60	22	60	100	150	19,6	80,4
6		60	36	60	100	60	50,0	50,0
7	600	60	30	60	100	150	25,0	75,0
8		60	22	60	100	150	19,6	80,4
9		60	36	60	100	60	50,0	50,0

*Nota.* En la tabla se aprecian las pruebas realizadas a las muestras, según la temperatura de monolito implementada, el caudal, tiempo de acuerdo al ensayo respectivo.

Se realizaron nueve ensayos, los cuales fueron practicados a una temperatura de 300°C, 450°C y 600°C respectivamente por un tiempo de inyección de caudal de nitrógeno de 60 minutos. Para cada temperatura implementada se desarrollaron dos pruebas en las que el caudal de inyección de nitrógeno fue de 150 cm<sup>3</sup>/min con un porcentaje de inyección de nitrógeno del 75% y 80.4% respectivamente; en cambio, para el gas de oxígeno se utilizó un caudal de inyección de 100 cm<sup>3</sup>/min, la inyección de oxígeno se realizó en 30 minutos para la primera prueba, de 22 minutos para la segunda prueba. Para la tercera prueba realizada a cada tipo de temperatura se utilizó un caudal de nitrógeno de 60 cm<sup>3</sup>/min y un caudal de oxígeno de 100 cm<sup>3</sup>/min; de igual forma el tiempo de

inyección del gas nitrógeno es de 60 *minutos* y el tiempo de inyección en la prueba del gas de oxígeno es de 36 *minutos*. Con ello, se puede determinar que la primera prueba se utilizó una inyección de nitrógeno de 75% y de oxígeno del 25%, para la segunda prueba se utilizó una inyección de nitrógeno del 80.4% y de oxígeno de 19.6%, finalmente para la tercera prueba se utilizó una inyección de nitrógeno del 50% y de oxígeno del 50%.

– **Valores implementados en ensayos a un tiempo de duración de 45 minutos**

En la tabla se exponen los valores utilizados en el tratamiento de muestras a temperatura programada.

**Tabla 33**

*Valores utilizados en ensayos en un tiempo total de 45 minutos*

N°	°C	Tiempo Total "min"	Tiempo de O <sub>2</sub> (min)	Tiempo de N (min)	Caudal O <sub>2</sub> cm <sup>3</sup> /min	Caudal N cm <sup>3</sup> /min	%O <sub>2</sub>	%N
10	300	45	15	45	100	150	18,2	81,8
11	450	45	15	45	100	150	18,2	81,8
12	600	45	15	45	100	150	18,2	81,8

*Nota.* En la tabla se reflejan el número de muestras tratadas en un tiempo de prueba de 45 minutos.

Se llevaron a cabo ensayos en un tiempo de prueba de 45 *minutos*, este tipo de pruebas utilizó temperaturas reflejadas a los 300 °C, 450 °C y 600 °C respectivamente. Para cada ensayo se manejó un caudal suministrado de nitrógeno de 150 cm<sup>3</sup>/min por un

tiempo de 45 *minutos* y un caudal suministrado de oxígeno de 100  $cm^3/min$  por un tiempo de 15 *minutos*, es decir, para el gas nitrógeno existió una inyección del 81.8% y para el oxígeno una inyección del 18.2%.

#### **4.2 Microscopía electrónica de barrido (SEM)**

Por medio de esta técnica se permitió obtener un análisis microscópico de las muestras de monolito, en las que se puede observar el comportamiento de las especies metálicas del catalizador.

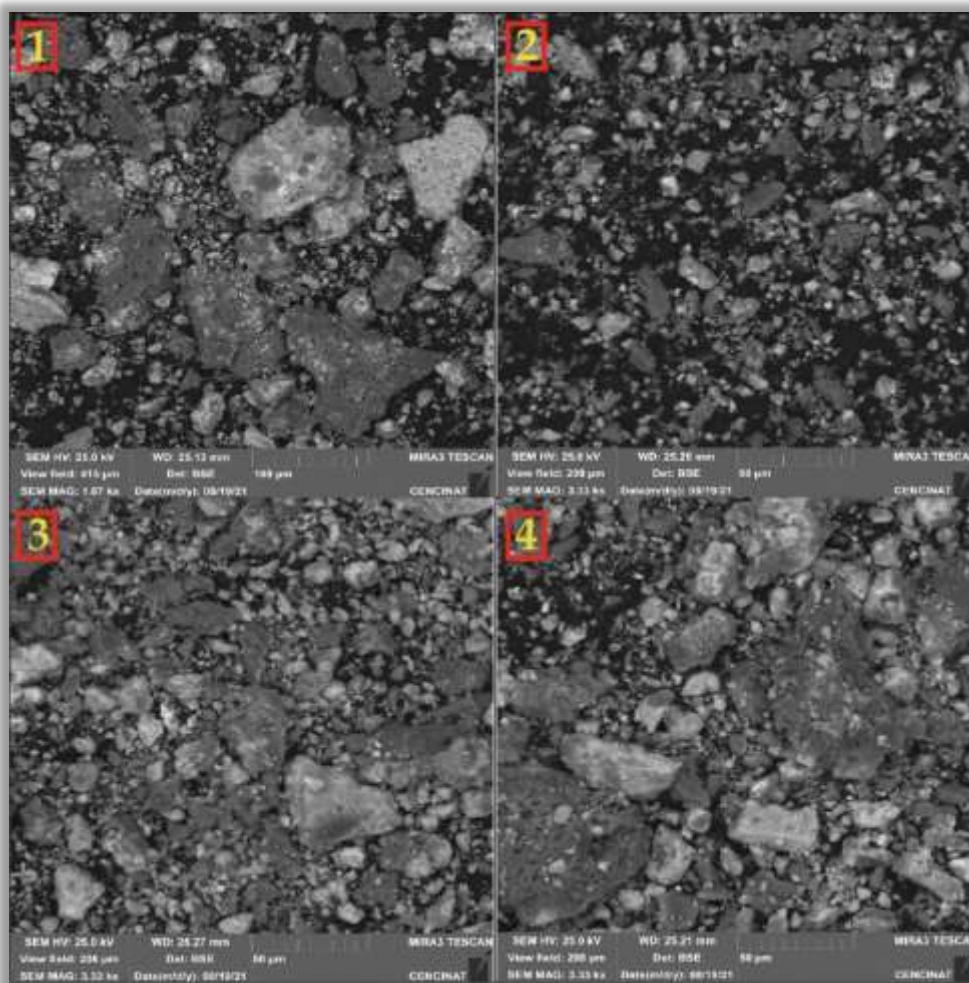
##### **4.2.1 Muestra 1 - 4**

En la figura 51 se observa la micrografía resultante de las cuatro primeras muestras de monolito, las tres primeras muestras fueron sometidas a una temperatura de 300 °C por un tiempo de inyección de oxígeno de 30 *minutos*, 22 *minutos*, 36 *minutos* respectivamente; así mismo la cuarta muestra fue sometida a un tratamiento con temperatura de 450 °C y un tiempo de inyección respectivo de oxígeno de 30 *minutos* con un tiempo de 60 *minutos* para la inyección de nitrógeno, además, se empleó un caudal regulado de oxígeno de 100  $cm^3/min$  para todas las muestras y un caudal regulado de nitrógeno de 150  $cm^3/min$  para la muestra 1, 2 y 4; pero para la muestra 3 se utilizó un caudal regulado de 60  $cm^3/min$  de nitrógeno.



Figura 51

Micrografía de las muestras 1 - 4 de monolito



*Nota.* En la figura se observa la micrografía específica de las primeras cuatro muestras de monolito a una temperatura de 300 °C y 450 °C.

La micrografía de las muestras 1 - 4 de monolito presentan una resolución de 100  $\mu\text{m}$  y 50  $\mu\text{m}$  respectivamente, a su vez exteriorizan partículas esféricas menores a 0,1  $\mu\text{m}$ . Este estudio refleja un alto vacío (HV) de 25.0 kV y un estudio SEM MAG de 1.67 kx y 3.33 kx, debido a que estos valores ofrecen un barrido de la superficie de la muestra utilizando un haz de electrones

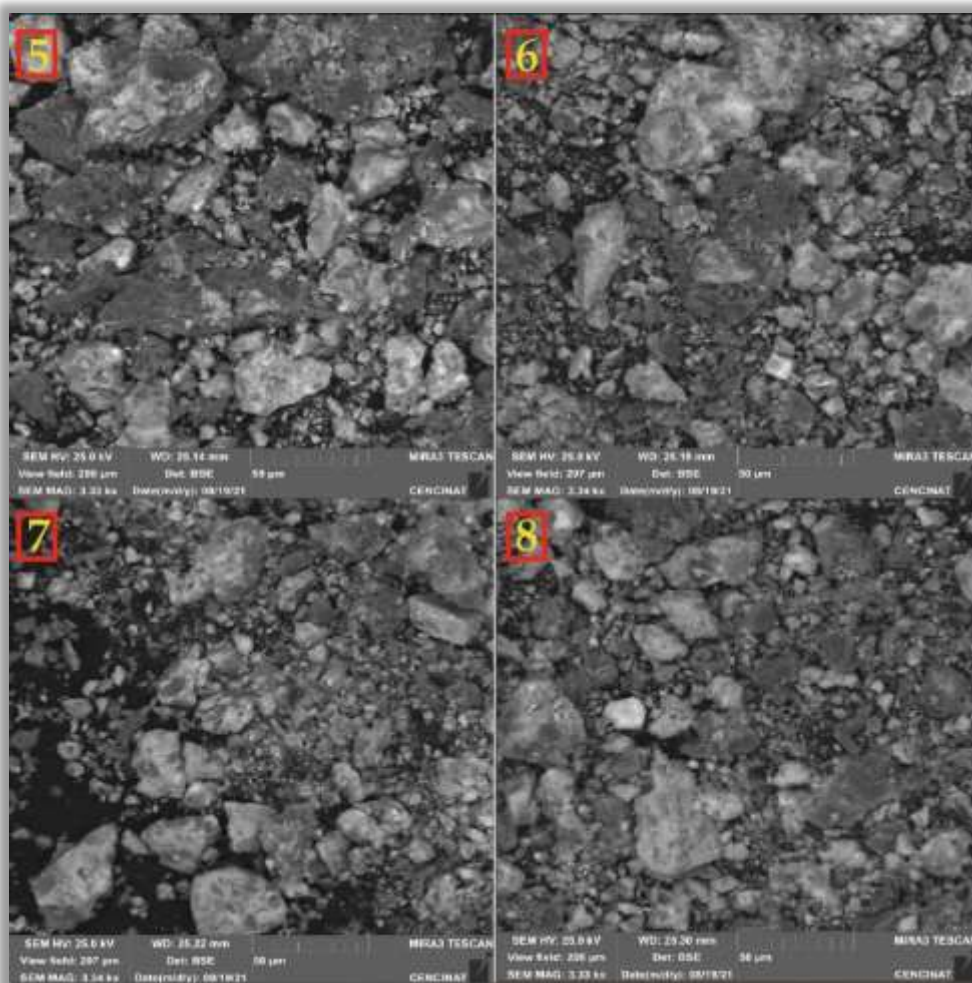
respectivos, además existen aglomeraciones de partículas en forma de cúmulos de  $4,5 \mu\text{m}$  a  $5 \mu\text{m}$ .

#### **4.2.2 Muestra 5 - 8**

La micrografía resultante indica que las muestras 5 y 6 fueron sometidas a temperaturas de  $450 \text{ }^{\circ}\text{C}$  y las muestras 7 y 8 a temperaturas de  $600 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , así mismo, el tiempo de inyección de oxígeno de la muestra 5 es de *22 minutos* y *36 minutos* para la muestra 6, en la muestra 7 existió un tiempo de inyección de oxígeno de *30 minutos* y un tiempo de *22 minutos* para la muestra 8; finalmente se mantuvo un tiempo de *60 minutos* para la inyección respectiva de nitrógeno en cada una de las muestras antes mencionadas; además, se usó un caudal regulado de oxígeno de  $100 \text{ cm}^3/\text{min}$  para todas las muestras y un caudal regulado de nitrógeno de  $150 \text{ cm}^3/\text{min}$  para la muestra 5, 6 y 8, pero para la muestra 7, se trató con un caudal regulado de  $60 \text{ cm}^3/\text{min}$ .

Figura 52

Micrografía de las muestras 5 – 8 de monolito



*Nota.* En la figura se observa la micrografía específica de las muestras 5 - 8 de monolito a una temperatura de 450°C y 600 °C.

La micrografía de las muestras 5 – 8 de monolito presentan una resolución de 50  $\mu m$  con partículas esféricas menores a 0,1  $\mu m$ . Este estudio refleja un alto vacío (HV) de 25.0 kV y un estudio SEM MAG de 3.34 kx y 3.33 kx respectivamente, debido a que estos valores ofrecen un barrido de la superficie de la muestra utilizando un haz de electrones respectivos. Además, se puede

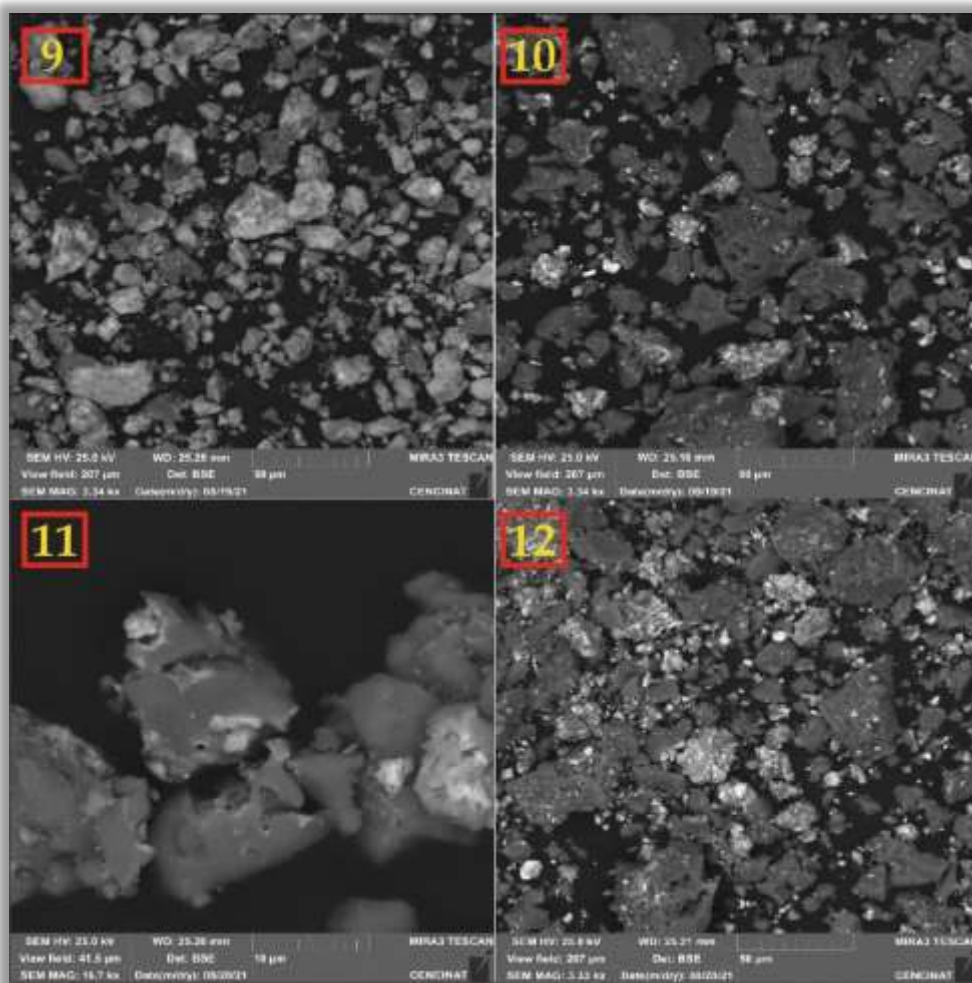
estimar formas de piedras pequeñas y medianas en referencia a la muestra, en ella interactúan considerablemente metales como rodio (Rh), platino (Pt) y paladio (Pd). Existen también aglomeraciones de partículas en forma de cúmulos de  $5,5 \mu m$  a  $6 \mu m$ .

#### **4.2.3 Muestra 9 - 12**

La muestra 9 y la muestra 12 fueron sometidas a un tratamiento de temperatura de  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ , para la muestra 9 existió un tiempo de inyección de oxígeno de *36 minutos* y un caudal regulado de oxígeno de  $100 \text{ cm}^3/\text{min}$ ; a su vez, existió un tiempo de inyección de *60 minutos* de nitrógeno con un caudal regulado del mismo de  $60 \text{ cm}^3/\text{min}$ . La muestra 10 fue sometida a un tratamiento de temperatura de  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ , la muestra 11 a  $450 \text{ }^\circ\text{C}$  y la muestra 12 a  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  respectivamente; cabe recalcar que tanto para las muestras 10, 11 y 12 se utilizó un tiempo de inyección de oxígeno de *15 minutos* con un tiempo de inyección respectivo de nitrógeno de *45 minutos*; así mismo, el caudal regulado de oxígeno suministrado en las muestras antes mencionadas fue de  $100 \text{ cm}^3/\text{min}$  y el caudal regulado de nitrógeno de  $150 \text{ cm}^3/\text{min}$ .

Figura 53

Micrografía de las muestras 9 – 12 de monolito



*Nota.* En la figura se observa la micrografía específica de la muestra 9 y la muestra 12 tratadas a 600 °C, la muestra 10 tratada a 300 °C y la muestra 11 tratada a 450 °C.

La micrografía de las muestras 9 - 12 de monolito presentan una resolución de 10 y 50  $\mu\text{m}$ , además muestran partículas esféricas menores a 0,3  $\mu\text{m}$ . Se puede observar que existe un (HV) de 25.0 kV y un estudio SEM MAG de 3.34 kx, 3.33 kx y 16.7 kx, esto ocurre debido al barrido de la superficie de la muestra, el cual utiliza un haz de electrones respectivos. Existen también

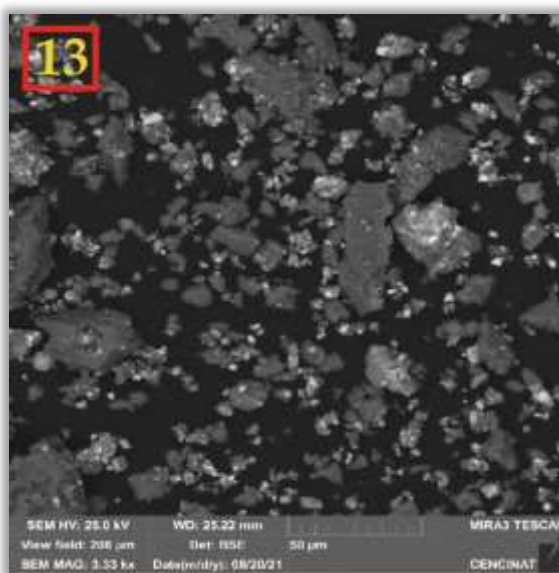
aglomeraciones de partículas en forma de cúmulos de  $3,1 \mu m$  a  $5 \mu m$ .

#### 4.2.4 Muestra 13

En la figura se observa la micrografía resultante de la muestra de monolito sin tratar, debido a que esta muestra pertenece al convertidor catalítico base.

#### Figura 54

*Micrografía de la muestra 13 de monolito*



*Nota.* En la figura se observa la micrografía específica de la muestra de monolito sin recibir ningún tipo de tratamiento.

La micrografía de la muestra 13 de monolito ubicada en la gráfica presenta una resolución de  $50 \mu m$ , a su vez esta refleja partículas esféricas menores a  $0,7 \mu m$ . El estudio de alto vacío (*HV*) señala una medición de  $25.0 kV$  y un estudio SEM MAG de  $3.33 kx$ , debido al barrido de la superficie de la muestra en el que se utiliza un haz de electrones respectivos. Por la resolución

se puede observar un campo de visualización de 208  $\mu\text{m}$ .

### 4.3 Espectroscopia de rayos X de energía dispersiva (EDS)

Los resultados EDS presentan porcentajes de masa de materiales encontrados en diferentes puntos de la muestra, los materiales representados en porcentajes son *Al, Si, Cr, Fe, Ni, Cu, Rh, Pd, Pt*. Se indica la imagen de la muestra en micras lo que permite identificar el espectro.

#### 4.3.1 Muestra 1

La muestra 1 fue sometida a 300°C de temperatura, con un caudal regulado de nitrógeno de 150  $\text{cm}^3/\text{min}$  en un tiempo de 60 *min* y un caudal regulado de oxígeno de 100  $\text{cm}^3/\text{min}$  en un tiempo de 30 *min*.

**Tabla 34**

*Resultados EDS muestra 1*

Espectro	Al	Si	Cr	Fe	Ni	Cu	Rh	Pd	Pt
1 18.spx	49,57	40,96	5,59	1,46	0,93	0,50	0,44	0,57	0,00
1 19.spx	45,00	52,23	0,15	1,99	0,20	0,00	0,00	0,23	0,20
1 20.spx	78,73	7,13	4,26	0,60	1,33	0,00	0,48	7,26	0,21
1 15.spx	61,32	7,76	2,45	0,57	23,30	0,00	0,33	4,28	0,00
1 16.spx	77,00	14,02	5,17	1,23	0,74	0,04	0,90	0,56	0,35
1 17.spx	78,16	12,69	5,10	0,76	0,84	0,25	1,60	0,61	0,00
1 9.spx	72,76	17,61	2,34	0,29	3,48	0,00	0,52	3,01	0,00
1 12.spx	69,11	13,50	6,66	1,34	2,53	0,00	0,14	6,49	0,23
1 13.spx	58,15	38,92	0,03	1,86	0,59	0,00	0,08	0,27	0,11
1 14.spx	42,02	55,43	0,46	1,35	0,35	0,00	0,01	0,16	0,22
1 6.spx	43,52	54,26	0,00	2,00	0,12	0,00	0,02	0,08	0,00
1 7.spx	39,71	57,67	0,00	1,60	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00
1 8.spx	55,50	34,90	2,44	2,37	3,43	0,23	0,21	0,91	0,00
1 10.spx	54,56	37,46	2,12	1,69	3,26	0,00	0,10	0,71	0,11
1 11.spx	72,14	18,19	2,86	1,24	2,85	0,00	0,01	2,71	0,00
1 4.spx	77,59	9,43	7,06	1,13	3,47	0,39	0,59	0,33	0,00
1 5.spx	43,53	52,75	0,47	1,20	0,90	0,00	0,01	0,56	0,59
1 1.spx	61,76	17,82	8,04	1,54	1,08	0,15	0,52	9,11	0,00
1 3.spx	75,65	12,90	4,39	0,58	1,96	0,15	1,64	2,39	0,34

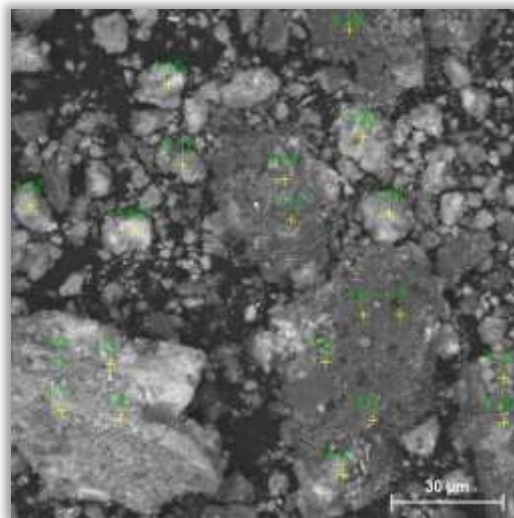
<b>Espectro</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Rh</b>	<b>Pd</b>	<b>Pt</b>
<b>Promedio</b>	60,83	29,24	3,14	1,30	2,76	0,09	0,40	2,12	0,12

*Nota.* En la tabla se aprecian los resultados EDS de la muestra tratada 1, en porcentaje de masa (%), la muestra presenta un análisis de 19 espectros.

Las visualizaciones de los espectros presentes en la muestra son reflejadas en la figura, misma que detalla la cantidad de espectros y el tamaño respectivo de los mismos.

### Figura 55

*Resultados EDS muestra 1*



*Nota.* Muestra tratada 1 a 30 micras.

El porcentaje de masa de *Rh* máximo se indica en el espectro 1 3 presentando un valor de 1.638; el valor mínimo de *Rh* se encuentra en el espectro 1 19 cuyo valor es 0; respecto al *Pd* el porcentaje de masa máximo se encuentra en el espectro 1 1 con un valor de 9.111 y el valor mínimo está



presente en el espectro 17 cuyo valor es 0, finalmente el mayor porcentaje de masa de *Pt* está presente en el espectro 15 con un valor de 0.585, mientras el menor valor correspondiente a 0 se muestra en 10 espectros.

#### 4.3.2 Muestra 2

Esta muestra fue tratada a 300°C de temperatura, con un caudal regulado de nitrógeno de 150 cm<sup>3</sup>/min en un tiempo de 60 min y un caudal regulado de oxígeno de 100 cm<sup>3</sup>/min en un tiempo de 22 min.

**Tabla 35**

*Resultados EDS muestra 2*

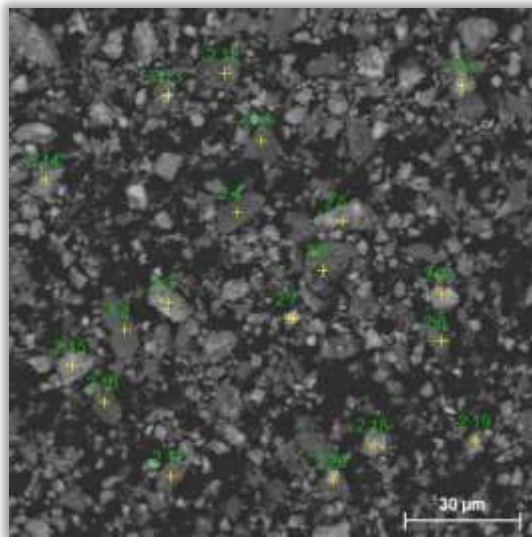
<b>Espectro</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Rh</b>	<b>Pd</b>	<b>Pt</b>
<b>2 17.spx</b>	41,03	52,85	0,93	1,75	2,84	0,00	0,00	0,60	0,00
<b>2 18.spx</b>	74,00	16,33	6,97	1,72	0,36	0,00	0,00	0,46	0,17
<b>2 19.spx</b>	67,46	18,91	4,58	0,56	1,71	0,00	0,71	5,08	0,99
<b>2 2.spx</b>	39,34	58,35	0,00	1,93	0,31	0,06	0,00	0,00	0,00
<b>2 20.spx</b>	44,03	48,13	1,45	3,25	2,76	0,00	0,00	0,17	0,21
<b>2 13.spx</b>	53,68	24,65	13,87	1,63	1,31	0,00	1,41	3,46	0,00
<b>2 14.spx</b>	73,27	16,66	3,77	0,80	2,80	0,00	1,04	0,99	0,69
<b>2 15.spx</b>	70,94	15,29	5,39	0,87	4,13	0,00	0,34	2,83	0,22
<b>2 16.spx</b>	41,50	54,82	0,03	2,37	0,75	0,00	0,23	0,30	0,00
<b>2 6.spx</b>	41,25	54,38	0,20	2,03	0,63	0,15	0,02	0,46	0,88
<b>2 7.spx</b>	64,60	24,63	6,25	1,92	0,55	0,50	0,68	0,26	0,62
<b>2 8.spx</b>	44,23	49,12	0,31	0,88	1,84	0,19	1,03	2,41	0,00
<b>2 9.spx</b>	69,37	18,74	3,76	0,58	0,68	0,00	0,52	6,08	0,27
<b>2 12.spx</b>	85,25	8,68	1,26	0,27	3,02	0,00	0,00	1,52	0,00
<b>2 5.spx</b>	63,04	22,47	2,80	2,48	5,16	0,00	0,00	0,86	3,20
<b>2 11.spx</b>	39,92	55,78	0,01	2,54	0,37	0,04	0,11	1,20	0,04
<b>2 4.spx</b>	42,22	55,30	0,24	1,57	0,56	0,01	0,00	0,10	0,02
<b>2 10.spx</b>	66,80	13,91	4,18	0,85	7,33	0,00	0,29	5,06	1,58
<b>2 3.spx</b>	62,21	13,56	5,99	1,27	14,16	0,00	0,00	1,77	1,05
<b>Promedio</b>	57,06	32,77	3,26	1,54	2,70	0,05	0,34	1,77	0,52

*Nota.* Resultados EDS de la muestra tratada 2, en porcentaje de masa (%).

En la muestra se detallan cada uno de los espectros identificados y adicional el tamaño en el que se encuentra cada uno de ellos.

**Figura 56**

Resultados EDS muestra 2



*Nota.* Visualización de la imagen de 30 micras de la muestra tratada 2.

Respecto al *Pd* el porcentaje de masa máximo se encuentra en el espectro 2 9 con un valor de 6.078, el valor mínimo está presente en el espectro 2 2 cuyo valor es 0.003, el porcentaje de masa de *Rh* máximo se indica en el espectro 2 13 con un valor de 1.408, el valor mínimo de *Rh* se encuentra en 8 espectros; finalmente el mayor porcentaje de masa de *Pt* está ubicado en el espectro 2 5 cuyo valor es de 3.195, mientras el menor valor correspondiente a 0 se halla en 6 espectros.

#### **4.3.3 Muestra 3**

La muestra fue sometida a 300°C de temperatura con un caudal regulado de nitrógeno de 60  $cm^3/min$  en un tiempo de 60 *min* y un caudal regulado de oxígeno de 100  $cm^3/min$  por un tiempo de 36 *min*.

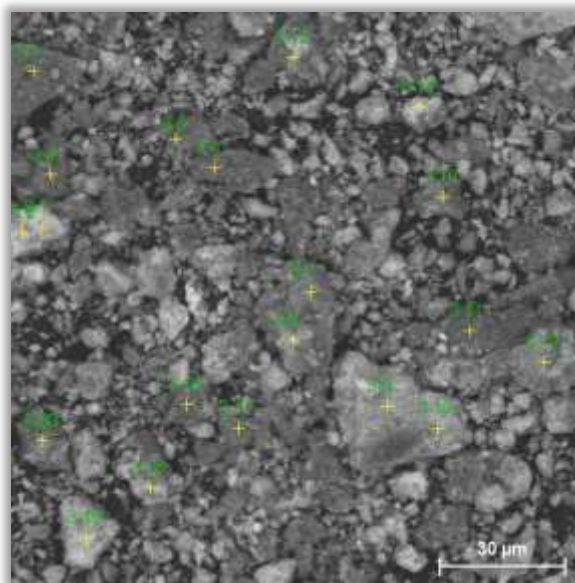
Tabla 36

Resultados EDS muestra3

<b>Espectro</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Rh</b>	<b>Pd</b>	<b>Pt</b>
<b>3 2.spx</b>	64,59	23,04	4,08z	0,94	2,35	0,00	0,26	4,49	0,25
<b>3 17.spx</b>	41,73	56,24	0,23	1,35	0,38	0,00	0,00	0,03	0,04
<b>3 18.spx</b>	60,99	29,56	5,37	1,42	1,64	0,00	0,21	0,82	0,00
<b>3 19.spx</b>	66,92	21,85	6,45	0,80	0,79	0,00	0,71	2,27	0,21
<b>3 14.spx</b>	74,87	11,45	5,26	1,05	4,80	0,00	0,36	2,09	0,13
<b>3 15.spx</b>	60,94	33,10	2,78	0,83	0,65	0,31	0,64	0,75	0,00
<b>3 16.spx</b>	43,69	52,37	0,69	1,86	0,92	0,02	0,29	0,17	0,00
<b>3 7.spx</b>	54,55	35,79	2,61	1,94	2,57	0,00	0,00	2,36	0,18
<b>3 8.spx</b>	62,87	23,96	6,08	0,88	2,19	0,00	0,60	3,09	0,34
<b>3 9.spx</b>	75,21	5,95	4,75	0,99	10,42	0,00	0,67	1,93	0,07
<b>3 11.spx</b>	52,51	44,54	0,37	2,11	0,31	0,00	0,00	0,03	0,13
<b>3 12.spx</b>	52,17	40,18	1,02	1,46	4,66	0,02	0,00	0,49	0,00
<b>3 13.spx</b>	53,38	41,22	1,93	1,35	1,76	0,00	0,00	0,37	0,01
<b>3 4.spx</b>	45,96	51,09	0,76	1,59	0,57	0,05	0,00	0,00	0,00
<b>3 5.spx</b>	45,55	51,28	0,79	1,18	0,65	0,14	0,17	0,06	0,19
<b>3 6.spx</b>	38,58	58,30	0,02	2,38	0,34	0,08	0,00	0,05	0,26
<b>3 10.spx</b>	36,03	1,76	0,96	0,29	59,28	0,27	0,13	1,23	0,06
<b>3 3.spx</b>	46,18	51,71	0,00	1,78	0,25	0,01	0,00	0,02	0,05
<b>3 1.spx</b>	72,23	16,36	3,68	0,37	0,83	0,00	0,70	4,94	0,89
<b>3 20.spx</b>	51,42	42,40	1,76	1,19	2,53	0,22	0,00	0,49	0,00
<b>Promedio</b>	64,59	23,04	4,08	0,94	2,35	0,00	0,26	4,49	0,25

Nota. Se indican los resultados EDS de la muestra tratada 3 en porcentaje de masa (%), y un total de análisis de 20 espectros.

Los espectros presentes en la muestra son reflejados en la figura, la cual detalla el tamaño y cantidad de los espectros que se obtienen de la misma.

**Figura 57***Resultados EDS muestra 3*

*Nota.* Imagen a 30 micras de la muestra tratada 3.

El porcentaje de masa de *Rh* máximo se presenta en el espectro 3 19, ya que este muestra un valor de 0.709, el valor mínimo de *Rh* se encuentra en 8 espectros, respecto al *Pd* el porcentaje de masa máximo se halla en el espectro 3 1 con un valor de 4.935, el valor mínimo se señala en el espectro 3 4 cuyo valor es 0.000, finalmente el mayor porcentaje de masa de *Pt* está presente en el espectro 3 1 cuyo valor es de 0.891 y el menor valor correspondiente a 0.00 se indica en 6 espectros.

**4.3.4 Muestra 4**

La muestra fue sometida a un tratamiento de temperatura de  $450^{\circ}\text{C}$ , caudal regulado de nitrógeno de  $150\text{ cm}^3/\text{min}$  por un tiempo de  $60\text{ min}$  y un caudal regulado de oxígeno de  $100\text{ cm}^3/\text{min}$  por un tiempo de  $30\text{ min}$ .

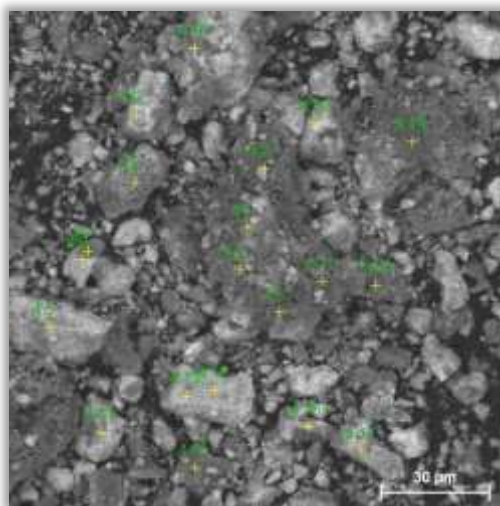
Tabla 37

Resultados EDS muestra 4

<b>Espectro</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Rh</b>	<b>Pd</b>	<b>Pt</b>
<b>4 1.spx</b>	61,78	33,02	1,48	0,59	2,11	0,00	0,37	0,48	0,17
<b>4 10.spx</b>	86,04	8,33	2,40	0,42	1,94	0,00	0,25	0,49	0,13
<b>4 11.spx</b>	50,32	46,51	0,21	1,87	0,39	0,00	0,11	0,13	0,46
<b>4 12.spx</b>	79,84	10,18	5,06	1,00	1,59	0,44	1,62	0,26	0,01
<b>4 13.spx</b>	79,88	9,85	5,16	1,17	2,40	0,00	0,94	0,34	0,26
<b>4 14.spx</b>	86,76	8,07	2,88	0,48	0,20	0,00	0,80	0,47	0,35
<b>4 15.spx</b>	44,04	53,89	0,17	1,58	0,19	0,00	0,00	0,12	0,00
<b>4 16.spx</b>	66,86	15,93	4,10	0,84	10,44	0,00	0,46	1,37	0,00
<b>4 17.spx</b>	81,98	11,65	3,69	0,65	1,65	0,00	0,34	0,00	0,05
<b>4 18.spx</b>	44,68	53,44	0,19	1,32	0,18	0,05	0,11	0,03	0,00
<b>4 19.spx</b>	53,47	42,79	0,80	1,51	0,94	0,05	0,11	0,26	0,08
<b>4 2.spx</b>	43,04	54,57	0,00	1,96	0,18	0,20	0,00	0,06	0,00
<b>4 20.spx</b>	67,92	10,27	4,03	0,69	10,29	0,00	0,06	6,66	0,08
<b>4 3.spx</b>	61,14	31,33	3,96	0,97	0,43	0,07	1,30	0,60	0,21
<b>4 4.spx</b>	48,19	48,50	1,02	1,05	0,44	0,13	0,35	0,20	0,12
<b>4 5.spx</b>	74,71	14,81	4,76	0,73	3,50	0,00	0,73	0,42	0,34
<b>4 6.spx</b>	86,96	6,96	2,27	0,27	1,74	0,00	0,47	1,26	0,07
<b>4 7.spx</b>	88,80	7,33	0,00	0,19	2,37	0,11	0,41	0,53	0,27
<b>4 8.spx</b>	46,15	49,24	1,47	1,89	1,14	0,00	0,00	0,00	0,11
<b>4 9.spx</b>	65,72	10,71	3,79	0,70	11,17	0,00	0,13	7,61	0,17
<b>Promedio</b>	61,78	33,02	1,48	0,59	2,11	0,00	0,37	0,48	0,17

*Nota.* Resultados EDS con 20 puntos de análisis en la muestra tratada 4, en porcentaje de masa (%).

Los espectros presentes en la muestra se presentan en la figura, en ella se refleja tanto el tamaño de los espectros como la cantidad de los mismos expuestos en dicha muestra.

**Figura 58***Resultados EDS muestra 4*

*Nota.* Imagen a 30 micras de la muestra tratada número 4.

El *Pd* muestra un porcentaje de masa máximo en el espectro 4 9 con un valor de 7.610, su valor mínimo está en el espectro 4 8 y 4 17 cuyo valor es 0.000, el porcentaje de masa de *Rh* máximo está en el espectro 4 12 con un valor de 1.622, el valor mínimo de *Rh* se encuentra en 3 espectros, finalmente el mayor porcentaje de masa de *Pt* está presente en el espectro 4 11 cuyo valor es de 0.460, mientras el menor valor correspondiente a 0.00 se halla en 4 espectros.

**4.3.5 Muestra 5**

La muestra tuvo un tratamiento de 450°C, un caudal regulado de nitrógeno de 150  $cm^3/min$  por un tiempo de 60 *min* y un caudal regulado de oxígeno de 100  $cm^3/min$  por un tiempo de 22 *min*.

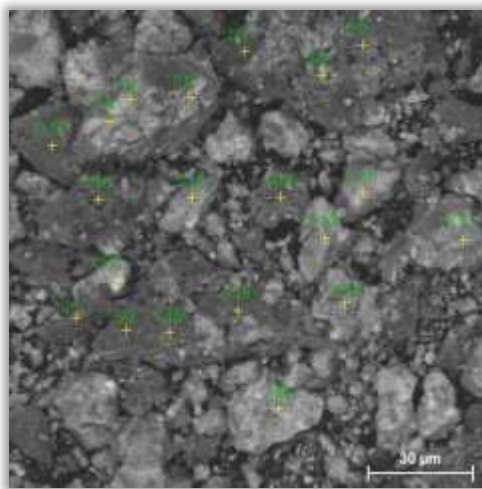
Tabla 38

Resultados EDS muestra 5

<b>Espectro</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Rh</b>	<b>Pd</b>	<b>Pt</b>
<b>5 1.spx</b>	46,39	50,93	0,40	1,29	0,71	0,00	0,12	0,10	0,06
<b>5 10.spx</b>	68,11	8,90	10,33	1,93	8,60	0,33	0,37	1,43	0,00
<b>5 11.spx</b>	81,99	7,01	6,98	0,80	2,06	0,00	0,00	1,17	0,00
<b>5 12.spx</b>	70,04	9,45	5,84	1,26	9,64	0,00	0,20	3,57	0,00
<b>5 13.spx</b>	86,40	6,94	3,85	0,67	1,11	0,00	0,00	1,04	0,00
<b>5 14.spx</b>	40,54	55,98	0,35	1,39	1,18	0,15	0,08	0,21	0,13
<b>5 15.spx</b>	84,78	8,80	4,16	0,41	1,57	0,05	0,00	0,23	0,00
<b>5 16.spx</b>	49,62	47,26	1,20	1,38	0,25	0,01	0,00	0,06	0,22
<b>5 17.spx</b>	44,46	53,33	0,00	1,43	0,44	0,00	0,05	0,13	0,17
<b>5 18.spx</b>	51,90	44,51	0,66	1,04	1,52	0,10	0,01	0,17	0,09
<b>5 19.spx</b>	47,04	48,48	0,82	1,06	1,67	0,00	0,33	0,27	0,34
<b>5 2.spx</b>	40,37	57,52	0,00	1,80	0,26	0,00	0,00	0,05	0,00
<b>5 20.spx</b>	68,15	22,65	5,29	1,07	2,10	0,00	0,09	0,30	0,35
<b>5 3.spx</b>	64,69	11,72	13,01	2,00	6,17	0,13	0,00	2,29	0,00
<b>5 4.spx</b>	80,57	10,39	6,40	1,32	0,60	0,35	0,13	0,00	0,24
<b>5 5.spx</b>	71,85	19,07	5,97	1,06	1,08	0,17	0,55	0,14	0,12
<b>5 6.spx</b>	84,63	8,88	4,16	0,71	1,29	0,24	0,05	0,00	0,04
<b>5 7.spx</b>	41,02	55,50	0,40	1,96	0,70	0,03	0,38	0,01	0,00
<b>5 8.spx</b>	54,31	42,05	1,91	0,73	0,61	0,04	0,27	0,08	0,00
<b>5 9.spx</b>	49,92	46,31	0,00	1,62	1,45	0,11	0,12	0,15	0,31
<b>Promedio</b>	46,39	50,93	0,40	1,29	0,71	0,00	0,12	0,10	0,06

*Nota.* Resultados EDS de la muestra tratada 5, en porcentaje de masa (%).

Las visualizaciones de los espectros en la muestra son reflejadas en la figura, a su vez esta detalla el tamaño y cantidad de espectros obtenidos en dicha muestra

**Figura 59***Resultados EDS muestra 5*

*Nota.* Muestra tratada 5 a una visualización de 30 micras.

El *Pt* está presente en el espectro 5 20 con un valor de 0.348 siendo este el valor máximo y el valor mínimo presente corresponde a 0.00, mismo que se encuentra ubicado en 9 espectros, el porcentaje máximo de masa de *Rh* se ubica en el espectro 5 5 con un valor de 0.547, el valor mínimo de *Rh* está exhibido en 6 espectros, respecto al *Pd* el porcentaje de masa máximo se indica en el espectro 5 12 con un valor de 3.573, el valor mínimo está presente en el espectro 5 4 y 5 6 cuyo valor es 0.000.

**4.3.6 Muestra 6**

La muestra fue sometida a un tratamiento de temperatura de 450°C, caudal regulado de nitrógeno de 60  $cm^3/min$  con un tiempo de 60 *min* y caudal regulado de oxígeno de 100  $cm^3/min$  por un tiempo de 36 *min*.



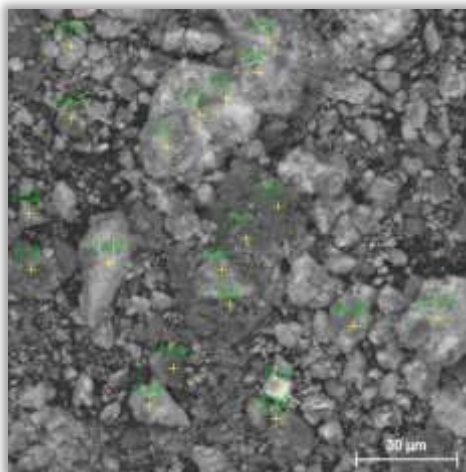
Tabla 39

Resultados EDS muestra 6

Espectro	Al	Si	Cr	Fe	Ni	Cu	Rh	Pd	Pt
6 1.spx	86,50	3,60	3,90	0,65	3,07	0,00	0,46	1,75	0,08
6 10.spx	75,56	11,39	9,13	1,81	0,94	0,77	0,00	0,12	0,29
6 11.spx	46,53	49,46	1,05	1,36	1,38	0,02	0,00	0,21	0,00
6 12.spx	80,00	9,73	4,79	0,90	2,47	0,00	0,42	1,69	0,00
6 13.spx	87,76	6,53	1,28	0,27	1,97	0,00	1,16	1,05	0,00
6 14.spx	80,90	8,44	5,26	1,04	2,65	0,00	0,31	1,41	0,00
6 15.spx	77,78	3,46	4,03	0,86	9,10	0,00	0,58	3,75	0,44
6 16.spx	88,87	4,56	3,13	0,41	1,39	0,07	0,32	1,25	0,01
6 17.spx	53,23	11,45	25,34	3,73	2,31	0,44	0,00	3,07	0,43
6 18.spx	72,87	14,79	4,73	0,91	3,87	0,00	0,71	1,79	0,34
6 19.spx	39,15	58,48	0,05	1,61	0,42	0,12	0,07	0,08	0,03
6 2.spx	84,46	5,93	4,17	0,67	1,53	0,00	1,17	1,64	0,43
6 20.spx	68,13	21,96	2,97	0,73	5,53	0,00	0,00	0,67	0,00
6 3.spx	83,09	7,40	4,78	0,72	1,77	0,00	0,61	1,61	0,04
6 4.spx	70,37	14,82	7,07	1,18	4,96	0,00	0,31	1,29	0,00
6 5.spx	62,62	7,95	4,91	0,67	18,43	0,00	0,57	4,76	0,10
6 6.spx	42,02	55,18	0,00	1,91	0,57	0,00	0,18	0,14	0,00
6 7.spx	45,38	49,55	1,48	1,38	1,50	0,00	0,21	0,34	0,17
6 8.spx	67,71	24,26	2,69	0,68	2,89	0,00	0,58	1,03	0,16
6 9.spx	64,31	22,10	3,81	0,96	7,34	0,00	0,58	0,61	0,29
<b>Promedio</b>	<b>86,50</b>	<b>3,60</b>	<b>3,90</b>	<b>0,65</b>	<b>3,07</b>	<b>0,00</b>	<b>0,46</b>	<b>1,75</b>	<b>0,08</b>

Nota. Muestra tratada 6 en porcentaje de masa (%), como análisis de 20 espectros.

Los espectros presentes en la muestra son reflejados en la figura, esta detalla la cantidad de espectros localizados en la misma y a su vez refleja el tamaño que tienen cada uno de los espectros respectivos.

**Figura 60***Resultados EDS muestra 6*

*Nota.* Imagen de la muestra tratada 6 a una resolución de 30 micras.

Respecto al *Pd* el porcentaje de masa máximo se encuentra en el espectro 6 5 con un valor de 4.761, el valor mínimo en el espectro 6 19 es de 0.081, el porcentaje máximo de masa de *Rh* se presenta en el espectro 6 2 con un valor de 1.169, el valor mínimo de *Rh* está mostrado en 4 espectros, finalmente el mayor porcentaje de masa de *Pt* se ubica en el espectro 6 15 cuyo valor es de 0.436, mientras que el menor valor correspondiente a 0.00 se halla en 7 espectros.

**4.3.7 Muestra 7**

En el proceso de tratamiento la muestra 7 fue sometida a una temperatura de  $600^{\circ}\text{C}$  con un caudal regulado de nitrógeno de  $150\text{ cm}^3/\text{min}$  en un tiempo de  $60\text{ min}$  y un caudal regulado de oxígeno de  $100\text{ cm}^3/\text{min}$  en un tiempo de  $30\text{ min}$ .

**Tabla 40**

Resultados EDS muestra 7

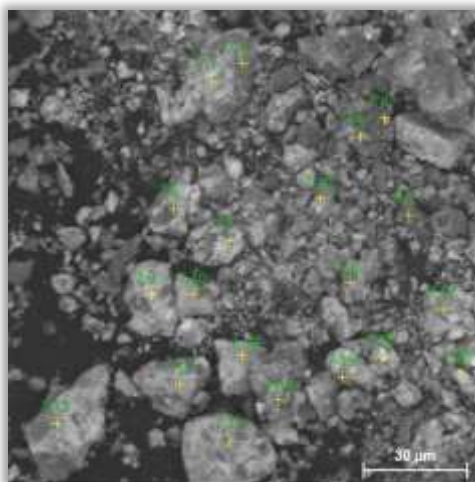
<b>Espectro</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Rh</b>	<b>Pd</b>	<b>Pt</b>
<b>7 1.spx</b>	82,38	9,87	5,42	1,13	0,19	0,00	0,88	0,07	0,07
<b>7 10.spx</b>	84,99	6,95	5,23	0,83	0,75	0,66	0,30	0,08	0,22
<b>7 11.spx</b>	84,62	8,10	4,78	0,87	0,36	0,00	0,00	0,35	0,92
<b>7 12.spx</b>	80,82	11,79	5,74	0,82	0,29	0,01	0,00	0,34	0,20
<b>7 13.spx</b>	72,27	6,48	5,55	0,86	11,64	0,36	0,51	2,15	0,17
<b>7 14.spx</b>	79,69	11,92	4,93	0,65	0,50	0,00	1,13	0,36	0,81
<b>7 15.spx</b>	69,60	14,06	5,68	1,24	8,03	0,00	0,37	0,93	0,08
<b>7 16.spx</b>	83,67	4,12	3,04	0,26	6,91	0,00	0,26	1,64	0,10
<b>7 17.spx</b>	79,28	11,68	3,97	0,44	2,89	0,00	0,65	0,50	0,59
<b>7 18.spx</b>	75,63	13,32	7,87	1,89	1,11	0,07	0,00	0,10	0,00
<b>7 19.spx</b>	83,53	8,19	6,34	0,98	0,71	0,00	0,11	0,15	0,00
<b>7 2.spx</b>	76,12	16,25	3,48	0,78	2,04	0,00	0,56	0,78	0,00
<b>7 20.spx</b>	79,83	10,73	6,73	0,95	1,00	0,01	0,41	0,00	0,36
<b>7 3.spx</b>	49,06	46,11	1,82	1,25	1,62	0,00	0,00	0,15	0,00
<b>7 4.spx</b>	54,07	31,81	3,35	1,26	3,18	0,00	0,00	5,86	0,47
<b>7 5.spx</b>	45,38	50,94	0,63	0,90	1,07	0,64	0,01	0,21	0,23
<b>7 6.spx</b>	82,60	8,08	5,04	0,85	1,42	0,11	0,93	0,16	0,80
<b>7 7.spx</b>	85,96	8,58	3,33	0,39	0,56	0,07	0,43	0,59	0,08
<b>7 8.spx</b>	89,21	6,06	1,98	0,34	1,55	0,05	0,43	0,39	0,00
<b>7 9.spx</b>	81,69	9,98	5,92	1,22	0,33	0,40	0,44	0,02	0,00
<b>Promedio</b>	82,38	9,87	5,42	1,13	0,19	0,00	0,88	0,07	0,07

*Nota.* Resultados EDS de la muestra tratada 7, en porcentaje de masa (%).

Los espectros referentes a la muestra 7 se encuentran presentes en la figura, esta a su vez detalla la cantidad y el tamaño respectivo de los espectros encontrados en dicha muestra.

**Figura 61**

Resultados EDS muestra 7



*Nota.* Monolito tratado 7 y visualización a 30 micras.

El porcentaje máximo de masa de *Rh* se presenta en el espectro 7 14 con un valor de 1.134 y el valor mínimo está ubicado en 5 espectros, el porcentaje máximo *Pd* se halla en el espectro 7 4 con un valor de 5.861 y el valor mínimo está demostrado en el espectro 7 20 cuyo valor es 0.000, finalmente el mayor porcentaje de masa de *Pt* se encuentra en el espectro 7 11 cuyo valor es de 0.921 y el menor valor correspondiente a 0.00 se detecta en 5 espectros.

**4.3.8 Muestra 8**

Esta muestra fue sometida a 600°C de temperatura, presenta un caudal regulado de nitrógeno de 150  $cm^3/min$  con un tiempo de 60 *min* y un caudal regulado de oxígeno de 100  $cm^3/min$  por un tiempo de 22 *min*.

Tabla 41

Resultados EDS muestra 8

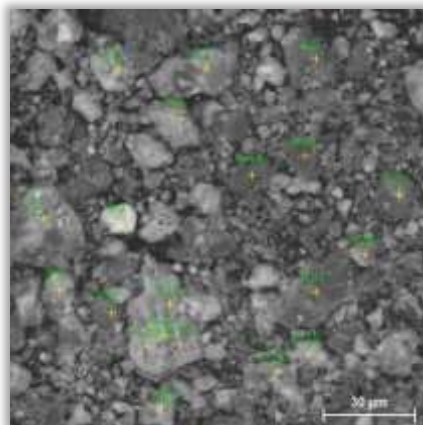
<b>Espectro</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Rh</b>	<b>Pd</b>	<b>Pt</b>
<b>8 1.spx</b>	50,14	4,36	1,84	0,40	41,64	0,00	0,09	1,35	0,18
<b>8 10.spx</b>	42,28	55,41	0,00	1,51	0,22	0,02	0,00	0,25	0,30
<b>8 11.spx</b>	47,67	48,85	0,86	1,51	0,57	0,00	0,23	0,23	0,10
<b>8 12.spx</b>	49,47	46,39	0,61	1,80	0,82	0,01	0,27	0,00	0,64
<b>8 13.spx</b>	61,21	29,35	3,60	1,62	3,13	0,00	0,14	0,78	0,18
<b>8 14.spx</b>	61,27	30,81	3,23	0,77	2,47	0,00	0,56	0,90	0,00
<b>8 15.spx</b>	76,48	12,82	8,46	1,48	0,48	0,18	0,10	0,00	0,00
<b>8 16.spx</b>	80,25	11,74	3,95	0,47	2,81	0,00	0,07	0,62	0,09
<b>8 17.spx</b>	77,25	11,93	5,42	0,96	2,70	0,00	0,54	0,78	0,42
<b>8 18.spx</b>	78,34	12,95	4,94	0,92	2,85	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>8 19.spx</b>	74,68	13,37	5,33	1,17	0,91	0,00	0,21	2,89	1,45
<b>8 2.spx</b>	49,38	13,19	25,78	3,41	1,61	0,20	0,29	6,14	0,00
<b>8 20.spx</b>	81,85	9,65	3,42	0,66	3,52	0,28	0,05	0,46	0,11
<b>8 3.spx</b>	76,97	7,30	3,80	0,11	7,52	0,00	0,00	4,31	0,00
<b>8 4.spx</b>	52,56	43,53	0,90	1,48	0,99	0,00	0,34	0,19	0,01
<b>8 5.spx</b>	81,44	5,67	5,61	0,75	3,05	0,00	0,38	3,03	0,08
<b>8 6.spx</b>	78,19	13,71	5,06	0,58	0,40	0,00	0,77	0,00	1,30
<b>8 7.spx</b>	79,69	12,82	3,85	0,54	1,21	0,00	0,09	1,81	0,00
<b>8 8.spx</b>	82,51	9,52	5,37	1,15	0,09	0,09	0,71	0,58	0,00
<b>8 9.spx</b>	52,05	44,72	0,44	1,23	1,54	0,00	0,04	0,00	0,00
<b>Promedio</b>	50,14	4,36	1,84	0,40	41,64	0,00	0,09	1,35	0,18

*Nota.* Resultados EDS de la muestra tratada 8, análisis de 20 espectros en porcentaje de masa (%).

Las visualizaciones de los espectros presentes en la muestra son reflejadas en la figura, la cual detalla la cantidad de espectros y el tamaño respectivo de los mismos.

**Figura 62**

Resultados EDS muestra 8



*Nota.* Muestra 8 con resolución de 30 micras.

El mayor porcentaje de masa de *Pt* está presente en el espectro 8 19 con un valor de 1.445 y el menor valor correspondiente a 0.00 se encuentra en 6 espectros, el porcentaje máximo de masa de *Rh* está en el espectro 8 6 con un valor de 0.766 y su valor mínimo se ubica en 2 espectros, respecto al *Pd* el porcentaje de masa máximo se muestra en el espectro 8 2 con un valor de 6.142, el valor mínimo se indica en 4 espectros con un valor de 0.000.

**4.3.9 Muestra 9**

La muestra fue sometida a un tratamiento de 600°C de temperatura, con un caudal regulado de nitrógeno de 60  $cm^3/min$  por un tiempo de 60 *min* y un caudal regulado de oxígeno de 100  $cm^3/min$  por un tiempo de 36 *min*.

Tabla 42

Resultados EDS muestra 9

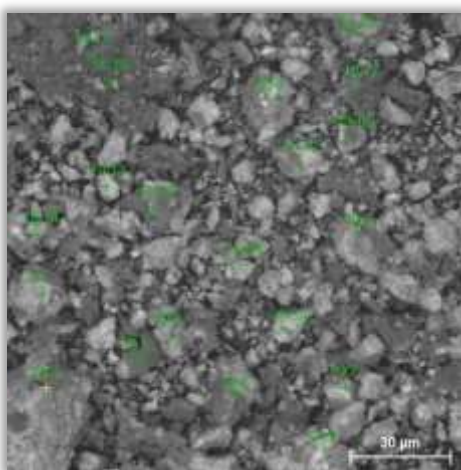
<b>Espectro</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Rh</b>	<b>Pd</b>	<b>Pt</b>
<b>9 1.spx</b>	76,67	13,01	4,63	0,85	3,08	0,00	0,47	1,28	0,00
<b>9 10.spx</b>	52,50	44,27	0,30	2,39	0,30	0,00	0,00	0,24	0,00
<b>9 11.spx</b>	43,79	53,73	0,00	1,52	0,36	0,00	0,00	0,14	0,47
<b>9 12.spx</b>	80,28	8,03	5,80	0,42	5,27	0,00	0,01	0,00	0,19
<b>9 13.spx</b>	78,65	10,91	7,63	1,07	0,73	0,46	0,12	0,43	0,00
<b>9 14.spx</b>	62,61	6,12	2,13	0,41	27,56	0,00	0,48	0,69	0,00
<b>9 15.spx</b>	84,58	6,03	3,25	0,35	4,92	0,10	0,00	0,76	0,00
<b>9 16.spx</b>	47,83	45,63	0,37	0,91	4,30	0,08	0,27	0,61	0,00
<b>9 17.spx</b>	71,36	23,02	0,00	2,77	1,84	0,00	0,24	0,78	0,00
<b>9 18.spx</b>	70,44	22,21	4,38	0,95	1,50	0,00	0,07	0,37	0,08
<b>9 19.spx</b>	84,69	9,27	4,14	0,71	0,39	0,00	0,08	0,00	0,72
<b>9 2.spx</b>	69,41	23,02	4,89	1,34	0,85	0,36	0,00	0,12	0,02
<b>9 20.spx</b>	74,95	19,16	2,52	0,96	1,53	0,10	0,03	0,75	0,00
<b>9 3.spx</b>	42,80	54,06	0,54	1,40	0,34	0,06	0,13	0,00	0,67
<b>9 4.spx</b>	79,34	14,28	4,21	1,08	0,36	0,00	0,00	0,35	0,39
<b>9 5.spx</b>	85,19	7,87	3,22	0,96	1,85	0,00	0,53	0,24	0,14
<b>9 6.spx</b>	73,40	14,30	6,39	1,17	2,90	0,00	0,41	0,75	0,69
<b>9 7.spx</b>	81,09	10,56	3,86	0,72	2,45	0,00	0,83	0,44	0,05
<b>9 8.spx</b>	80,25	8,41	5,09	0,99	1,38	0,00	0,78	2,68	0,42
<b>9 9.spx</b>	78,15	11,67	6,05	0,96	2,20	0,14	0,39	0,00	0,46
<b>Promedio</b>	76,67	13,01	4,63	0,85	3,08	0,00	0,47	1,28	0,00

*Nota.* Resultados EDS de la muestra tratada 9, en porcentaje de masa (%).

En la muestra se reflejan cada uno de los espectros presentes en la misma, en ella se detalla el número de espectros visibles y el tamaño de cada uno de ellos.

**Figura 63**

Resultados EDS muestra 9



*Nota.* Imagen con resolución de 30 micras pertenecientes a la muestra tratada 9.

Respecto al *Pd* su porcentaje de masa máximo se encuentra en el espectro 9 8 con un valor de 2.684, el valor mínimo está presente en 3 espectros cuyo valor es 0.000, el porcentaje máximo de masa de *Rh* se indica en el espectro 9 7 con un valor de 0.828, el valor mínimo de *Rh* se ubica en 4 espectros, finalmente el mayor porcentaje de masa de *Pt* se halla en el espectro 9 19 cuyo valor es de 0.720, mientras que el menor valor corresponde a 0.00 y se exhibe en 8 espectros.

**4.3.10 Muestra 10**

Se realizó un tratamiento a 300°C de temperatura con un caudal regulado de nitrógeno de 150  $cm^3/min$  por un tiempo de 45 *min* y un caudal regulado de oxígeno de 100  $cm^3/min$  por un tiempo de 15 *min*.



Tabla 43

Resultados EDS muestra 10

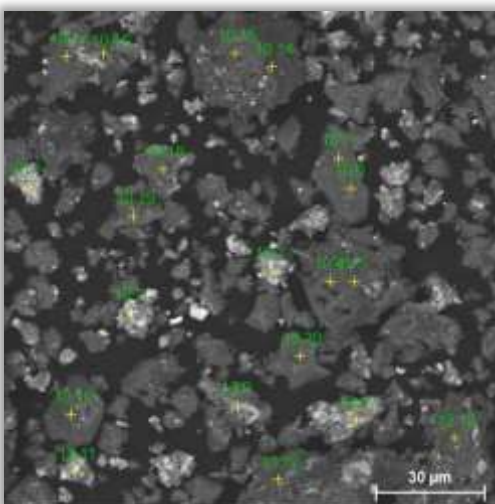
<b>Espectro</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Rh</b>	<b>Pd</b>	<b>Pt</b>
<b>10 1.spx</b>	61,48	20,89	11,60	4,10	0,57	0,00	0,39	0,19	0,79
<b>10 10.spx</b>	40,24	57,18	0,21	1,74	0,25	0,00	0,38	0,00	0,00
<b>10 11.spx</b>	51,28	31,50	12,97	2,42	0,86	0,56	0,26	0,14	0,00
<b>10 12.spx</b>	42,30	55,37	0,12	1,53	0,09	0,00	0,21	0,04	0,35
<b>10 13.spx</b>	39,59	58,41	0,21	1,20	0,13	0,00	0,00	0,37	0,10
<b>10 14.spx</b>	39,45	58,64	0,06	1,55	0,20	0,00	0,05	0,02	0,03
<b>10 15.spx</b>	40,13	58,16	0,41	0,93	0,23	0,10	0,00	0,00	0,05
<b>10 16.spx</b>	52,53	27,98	10,36	7,24	0,53	0,50	0,00	0,26	0,60
<b>10 17.spx</b>	39,54	58,93	0,00	1,05	0,29	0,00	0,19	0,00	0,00
<b>10 18.spx</b>	40,62	57,55	0,04	1,35	0,27	0,02	0,00	0,00	0,15
<b>10 19.spx</b>	40,52	56,70	0,00	2,38	0,29	0,07	0,00	0,00	0,05
<b>10 2.spx</b>	41,94	23,05	27,12	4,15	0,99	0,04	0,00	0,00	2,71
<b>10 20.spx</b>	43,09	54,65	0,25	1,53	0,18	0,00	0,00	0,31	0,00
<b>10 3.spx</b>	73,45	17,26	7,30	1,81	0,00	0,07	0,00	0,11	0,00
<b>10 4.spx</b>	46,72	50,99	0,21	1,83	0,23	0,00	0,00	0,01	0,00
<b>10 5.spx</b>	49,55	46,59	0,29	2,69	0,30	0,21	0,02	0,00	0,36
<b>10 6.spx</b>	41,83	56,08	0,00	1,50	0,41	0,16	0,02	0,00	0,00
<b>10 7.spx</b>	40,25	56,85	0,00	2,56	0,29	0,00	0,00	0,06	0,00
<b>10 8.spx</b>	65,22	22,26	9,64	1,31	0,24	0,00	0,00	0,46	0,87
<b>10 9.spx</b>	65,65	16,22	5,96	4,21	0,86	0,00	0,00	0,19	6,90
<b>Promedio</b>	61,48	20,89	11,60	4,10	0,57	0,00	0,39	0,19	0,79

*Nota.* Resultados de la muestra tratada 10, en porcentaje de masa (%).

Las visualizaciones de los espectros de la muestra se encuentran en la figura, misma que presenta los espectros resultantes después del tratamiento y el tamaño respectivo de los mismos.

**Figura 64**

Resultados EDS muestra 10



*Nota.* La figura presenta una resolución de 30 micras en referencia a la muestra tratada número 10.

El *Pt* está presente en el espectro 10 9 con un valor máximo de 6.901, y un valor mínimo de 0.00 hallados en 8 espectros, el porcentaje máximo de masa de *Rh* está en el espectro 10 1 con un valor de 0.385 y el valor mínimo de *Rh* se ubica en 11 espectros, respecto al *Pd* el porcentaje de masa máximo se halla en el espectro 10 8 con un valor de 0.456 y una cantidad mínima verificada en 8 espectros con un valor de 0.000.

**4.3.11 Muestra 11**

La muestra fue sometida a un tratamiento de 450°C con un caudal regulado de nitrógeno de 150  $cm^3/min$  por un tiempo de 45 *min* y un caudal regulado de oxígeno de 100  $cm^3/min$  por un tiempo de 15 *min*.

Tabla 44

Resultados EDS muestra 11

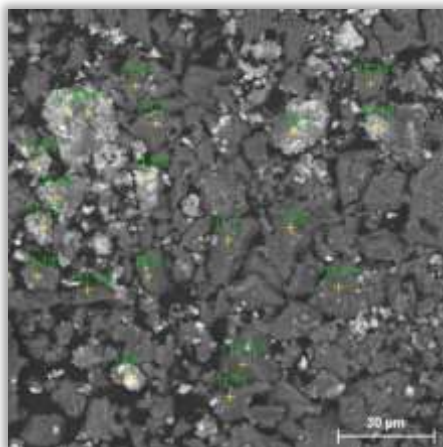
<b>Espectro</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Rh</b>	<b>Pd</b>	<b>Pt</b>
<b>11 1.spx</b>	55,75	27,41	12,26	2,08	0,59	0,00	0,00	0,99	0,92
<b>11 10.spx</b>	43,89	54,25	0,00	1,31	0,31	0,01	0,00	0,13	0,10
<b>11 11.spx</b>	42,17	54,15	0,29	2,35	0,35	0,00	0,13	0,13	0,44
<b>11 12.spx</b>	40,62	58,03	0,07	0,91	0,27	0,00	0,00	0,10	0,00
<b>11 13.spx</b>	52,72	32,33	11,08	3,17	0,14	0,00	0,00	0,00	0,57
<b>11 14.spx</b>	38,70	57,24	0,54	2,67	0,44	0,10	0,00	0,06	0,25
<b>11 15.spx</b>	48,72	34,10	7,79	4,78	0,38	0,00	0,00	0,48	3,76
<b>11 16.spx</b>	59,04	28,34	9,29	2,80	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>11 17.spx</b>	71,51	14,70	8,76	1,84	0,08	0,32	0,47	0,04	2,28
<b>11 18.spx</b>	32,55	51,14	5,36	8,62	0,35	0,42	0,00	0,00	1,56
<b>11 19.spx</b>	38,28	59,51	0,04	1,84	0,12	0,10	0,09	0,03	0,00
<b>11 2.spx</b>	55,23	36,59	6,51	1,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
<b>11 20.spx</b>	49,39	29,75	14,39	2,42	1,00	0,00	0,00	0,00	3,05
<b>11 3.spx</b>	38,28	58,73	0,39	2,23	0,27	0,00	0,00	0,07	0,03
<b>11 4.spx</b>	38,96	58,86	0,00	1,63	0,01	0,01	0,13	0,21	0,20
<b>11 5.spx</b>	56,87	25,80	12,57	1,90	0,72	0,35	0,03	0,67	1,10
<b>11 6.spx</b>	40,55	56,34	0,39	1,58	0,31	0,32	0,01	0,03	0,47
<b>11 7.spx</b>	42,09	53,71	0,43	2,48	0,53	0,00	0,00	0,00	0,75
<b>11 8.spx</b>	39,35	58,31	0,27	1,77	0,19	0,00	0,08	0,03	0,00
<b>11 9.spx</b>	54,12	21,56	18,74	3,93	0,71	0,01	0,94	0,00	0,00
<b>Promedio</b>	55,75	27,41	12,26	2,08	0,59	0,00	0,00	0,99	0,92

*Nota.* Resultados EDS de la muestra tratada 11, en porcentaje de masa (%).

Los espectros presentes en la muestra son reflejados en la figura siguiente, esta presenta los espectros obtenidos en la muestra después del tratamiento y el tamaño de cada uno de ellos.

**Figura 65**

Resultados EDS muestra 11



*Nota.* Imagen de la muestra 11 y una visualización de 30 micras.

El porcentaje máximo de masa de *Rh* se presenta en el espectro 11 9 con un valor de 0.385 y su valor mínimo se encuentra en 12 espectros, respecto al *Pd* el porcentaje de masa máximo se indica en el espectro 11 1 con un valor de 0.994 y el valor mínimo está ubicado en 7 espectros cuyo valor es 0.000, finalmente el mayor porcentaje de masa de *Pt* está mostrado en el espectro 11 15 cuyo valor es de 3.759, mientras el menor valor correspondiente a 0.00 se halla en 5 espectros.

**4.3.12 Muestra 12**

La muestra 12 fue sometida a un tratamiento de 600°C con un caudal regulado de nitrógeno de 150  $cm^3/min$  por un tiempo de 45 *min* y un caudal regulado de oxígeno de 100  $cm^3/min$  por un tiempo de 15 *min*.

Tabla 45

Resultados EDS muestra 12

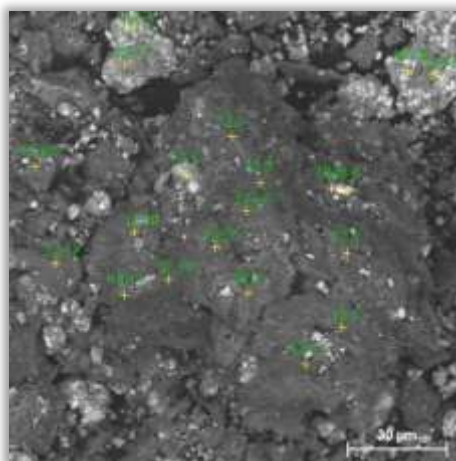
<b>Espectro</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Rh</b>	<b>Pd</b>	<b>Pt</b>
<b>12 1.spx</b>	59,16	27,26	10,12	2,32	0,43	0,00	0,33	0,03	0,35
<b>12 10.spx</b>	39,38	58,58	0,00	1,60	0,24	0,04	0,00	0,16	0,00
<b>12 11.spx</b>	40,94	57,20	0,34	1,09	0,23	0,04	0,00	0,00	0,17
<b>12 12.spx</b>	55,81	24,96	13,93	3,57	0,93	0,52	0,00	0,00	0,29
<b>12 13.spx</b>	66,47	19,04	8,72	4,90	0,41	0,11	0,10	0,13	0,12
<b>12 14.spx</b>	75,77	18,01	4,91	1,16	0,12	0,02	0,00	0,00	0,00
<b>12 15.spx</b>	77,59	14,67	6,24	0,98	0,30	0,00	0,00	0,00	0,23
<b>12 16.spx</b>	40,13	58,18	0,35	1,21	0,10	0,00	0,03	0,00	0,00
<b>12 17.spx</b>	39,76	58,02	0,10	1,45	0,23	0,14	0,00	0,04	0,27
<b>12 18.spx</b>	42,43	54,50	1,00	1,76	0,27	0,00	0,04	0,00	0,00
<b>12 19.spx</b>	41,88	54,97	0,75	1,96	0,26	0,00	0,00	0,00	0,18
<b>12 2.spx</b>	39,22	58,68	0,00	1,60	0,29	0,00	0,00	0,00	0,20
<b>12 20.spx</b>	39,93	57,48	0,16	1,94	0,00	0,00	0,19	0,02	0,29
<b>12 3.spx</b>	38,99	58,10	0,06	2,08	0,33	0,00	0,08	0,15	0,22
<b>12 4.spx</b>	52,70	39,30	3,80	2,99	0,49	0,23	0,17	0,27	0,06
<b>12 5.spx</b>	54,78	32,36	9,90	2,43	0,47	0,00	0,07	0,00	0,00
<b>12 6.spx</b>	39,98	57,33	0,32	1,78	0,33	0,26	0,00	0,00	0,00
<b>12 7.spx</b>	35,67	62,42	0,00	1,49	0,33	0,01	0,00	0,07	0,01
<b>12 8.spx</b>	39,90	57,63	0,39	1,47	0,24	0,01	0,05	0,00	0,32
<b>12 9.spx</b>	39,82	58,34	0,04	1,46	0,24	0,00	0,00	0,12	0,00
<b>Promedio</b>	59,16	27,26	10,12	2,32	0,43	0,00	0,33	0,03	0,35

*Nota.* En porcentaje de masa (%) se presentan los resultados de la muestra tratada 12.

La muestra presenta la cantidad y tamaño de los espectros obtenidos en la misma después del tratamiento respectivo.

**Figura 66**

Resultados EDS muestra 12



*Nota.* Muestra tratado número 12 con una resolución de 30 micras.

El porcentaje de masa máximo de *Pd* se encuentra en el espectro 12 4 con un valor de 0.266 y su valor mínimo está presente en 11 espectros con un valor de 0.000; el porcentaje máximo de masa de *Rh* se muestra en el espectro 12 1 con un valor de 0.327 y su valor mínimo se indica en 9 espectros, finalmente el mayor porcentaje de masa de *Pt* está hallado en el espectro 12 1 con un valor de 0.349, mientras que menor valor es 0.00 y se detecta en 7 espectros.

**4.3.13 Muestra 13**

La muestra no fue sometida a condiciones de tratamiento, ya que fue extraída directamente del convertidor catalítico usado.

**Tabla 46**

Resultados EDS muestra 13

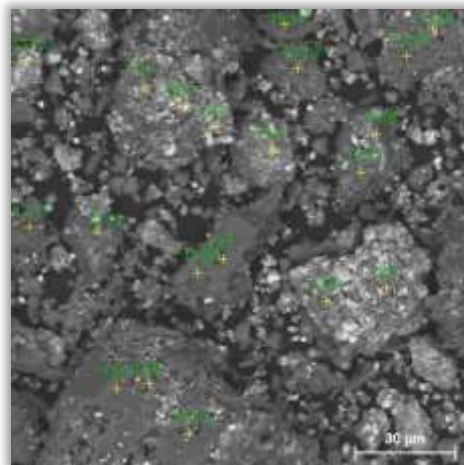
<b>Espectro</b>	<b>C</b>	<b>Na</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>
<b>13 1.spx</b>	11,82	0,56	0,74	24,11	1,71	3,57	0,07	0,01	0,05
<b>13 10.spx</b>	4,74	0,02	6,98	15,46	15,32	0,33	0,04	0,03	0,06
<b>13 11.spx</b>	7,45	0,62	6,70	14,23	11,07	0,48	0,05	0,02	0,01
<b>13 12.spx</b>	5,32	0,44	7,56	18,47	13,65	0,86	0,04	0,01	0,00
<b>13 13.spx</b>	15,77	0,00	2,13	21,91	4,68	3,29	0,12	0,01	0,01
<b>13 14.spx</b>	15,07	0,50	6,00	13,21	8,48	0,30	0,03	0,03	0,02
<b>13 15.spx</b>	5,65	0,53	7,00	17,57	12,56	0,57	0,03	0,00	0,02
<b>13 16.spx</b>	7,01	0,37	5,94	17,14	12,81	1,90	0,03	0,02	0,16
<b>13 17.spx</b>	5,73	0,31	7,24	18,62	14,20	0,52	0,05	0,04	0,03
<b>13 18.spx</b>	16,48	0,02	4,20	21,52	9,05	2,06	0,01	0,04	0,00
<b>13 19.spx</b>	5,72	0,37	7,70	17,43	13,80	0,42	0,01	0,03	0,06
<b>13 2.spx</b>	7,42	0,53	0,69	12,30	2,02	15,82	0,16	0,00	0,50
<b>13 20.spx</b>	3,47	0,28	8,52	18,65	16,34	0,11	0,03	0,02	0,01
<b>13 3.spx</b>	7,89	0,22	0,93	15,50	1,89	14,93	0,13	0,06	0,58
<b>13 4.spx</b>	9,50	0,71	0,89	13,85	3,00	11,50	0,10	0,02	0,23
<b>13 5.spx</b>	6,00	0,45	3,16	22,60	6,03	3,87	0,02	0,00	0,12
<b>13 6.spx</b>	6,17	0,34	0,53	33,74	0,96	2,43	0,00	0,03	0,11
<b>13 7.spx</b>	6,21	0,26	8,12	18,66	15,19	0,22	0,03	0,05	0,00
<b>13 8.spx</b>	10,85	0,59	5,23	14,22	9,21	3,20	0,02	0,00	0,01
<b>13 9.spx</b>	2,50	0,02	8,19	19,69	19,03	0,03	0,00	0,05	0,14
<b>Promedio</b>	11,82	0,56	0,74	24,11	1,71	3,57	0,07	0,01	0,05

*Nota.* Resultados EDS de la muestra tratada 13, en porcentaje de masa (%).

Las visualizaciones de los espectros presentes en la muestra son reflejadas en la figura, estos espectros fueron obtenidos sin que la muestra haya sido sometida a cualquiera de los tratamientos de temperatura antes mencionados.

**Figura 67**

Resultados EDS muestra 13



*Nota.* Figura a una resolución de 30 micras de la muestra tratada 13.

Analizando la imagen y tabla correspondiente a la muestra 13, no existe la presencia de *Rh, Pd, Pt* elementos importantes en el convertidor catalítico, la presencia del porcentaje promedio de masa de *Al*, muestra un valor de 18.443, otro de los elementos con mayor presencia en porcentaje de masa es el *Si* con un valor promedio de 9.548, *el C* es el tercer elemento con mayor porcentaje de masa promedio cuyo valor es 8.038, finalmente el elemento con menor porcentaje de masa es el *K* representando un valor de 0.023.



## Capítulo V

### 5 Análisis de resultados

#### 5.1 Pruebas estáticas

##### 5.1.1 Pruebas continuas a 900 rpm

Las pruebas continuas de emisiones en condiciones estáticas fueron sometidas a un régimen de 900 rpm, mismas que se realizaron con ayuda tanto del catalizador usado como del catalizador tratado, de tal manera se pueda establecer el comportamiento del catalizador antes y después del tratamiento respectivo.

**Tabla 47**

*Pruebas a 900 rpm*

	<i>CO (%)</i>	<i>CO<sub>2</sub> (%)</i>	<i>O<sub>2</sub> (%)</i>	<i>HC (ppm)</i>	<i>Lambda</i>
<b>Catalizador Usado</b>	0,44	14,70	0,90	152,71	1,02
<b>Catalizador Tratado</b>	0,00	14,94	0,57	7,40	1,03

*Nota.* Resultados de las pruebas continuas a un régimen de 900 rpm entre el catalizador usado y el catalizador tratado.

La figura 68 perteneciente a los resultados de las pruebas de emisiones a 900 rpm presenta los datos del catalizador usado con un valor muy elevado a diferencia del catalizador tratado, el cual cumple con la función principal de reducir las emisiones de gases contaminantes emitidos por el vehículo.

**Figura 68***Pruebas a 900 rpm*

*Nota.* Comparación de pruebas continuas a un régimen de 900 rpm entre el catalizador usado y tratado.

Al comparar los valores de  $CO$  (%) se observa que de 0.44 en el catalizador usado desciende a 0 en el catalizador tratado lo que representa un disminución del 100%, el  $CO_2$  (%) incrementa un valor de 0.24 es decir que pasa de 14.7 a 14.94 del convertidor catalítico usado al tratado respectivamente, el  $O_2$  (%) disminuye un valor de 0.33 es decir transcurre de 0.90 en el catalizador usado a 0.57 en el catalizador tratado, el valor de  $HC$  (ppm) presenta una disminución del 95.15% trasladándose de 152.71ppm en el catalizador usado a 7.40 ppm en el catalizador tratado, finalmente lambda presenta un incremento de 1.02 en el convertidor catalítico usado a 1.03 en el convertidor catalítico tratado.

### **5.1.2 Pruebas continuas a 1500 rpm**

Las pruebas continuas de emisiones en condiciones estáticas fueron sometidas a un régimen de 1500 rpm, las cuales fueron realizadas tanto con catalizador usado como con catalizador tratado, de tal manera se pueda verificar

el comportamiento del catalizador antes y después del tratamiento respectivo.

**Tabla 48**

*Pruebas a 1500 rpm*

	<i>CO (%)</i>	<i>CO<sub>2</sub> (%)</i>	<i>O<sub>2</sub> (%)</i>	<i>HC (ppm)</i>	<i>Lambda</i>
<b>Catalizador Usado</b>	0,57	13,86	1,46	317,57	1,03
<b>Catalizador Tratado</b>	0,16	14,82	0,53	53,60	1,02

*Nota.* Resultados entre el catalizador usado y el catalizador tratado de pruebas continuas a 1500 rpm.

La figura 69 presenta los resultados de las pruebas de emisiones a 1500 rpm del catalizador usado con valores muy elevados para los hidrocarburos a diferencia del catalizador tratado que indica valores bastante reducidos, evidenciando la función principal de reducir las emisiones de gases contaminantes emitidos por el vehículo.

**Figura 69**

*Pruebas a 1500 rpm*



*Nota.* Pruebas continuas a un régimen de 1500 rpm, diferencias entre el catalizador

usado y tratado.

Los valores de  $O_2$  (%) presentan una diferencia de 0.93% es decir cambia de 1.46 en el catalizador usado a 0.53 en el catalizador tratado, los  $HC$  (ppm) indican una disminución del 83.12% transcurriendo de 317.57ppm en el catalizador usado a 53.60 ppm en el catalizador tratado, lambda muestra una disminución de 1.03 en el convertidor catalítico usado a 1.02 en el convertidor catalítico tratado, respecto al  $CO$  (%) se observa que de 0.57 en el catalizador usado desciende a 0.16 en el catalizador tratado lo que representa un disminución del 71.93%, el  $CO_2$  (%) incrementa un valor de 0.96 es decir que pasa de 13.86 a 14.82 del convertidor catalítico usado al tratado respectivamente.

### 5.1.3 Pruebas continuas a 2000 rpm

Las pruebas continuas de emisiones en condiciones estáticas fueron sometidas a un régimen de 2000 rpm, estas se realizaron con ayuda tanto del catalizador usado como del catalizador tratado y así poder establecer el comportamiento del catalizador antes y después del tratamiento respectivo.

**Tabla 49**

*Pruebas a 2000 rpm*

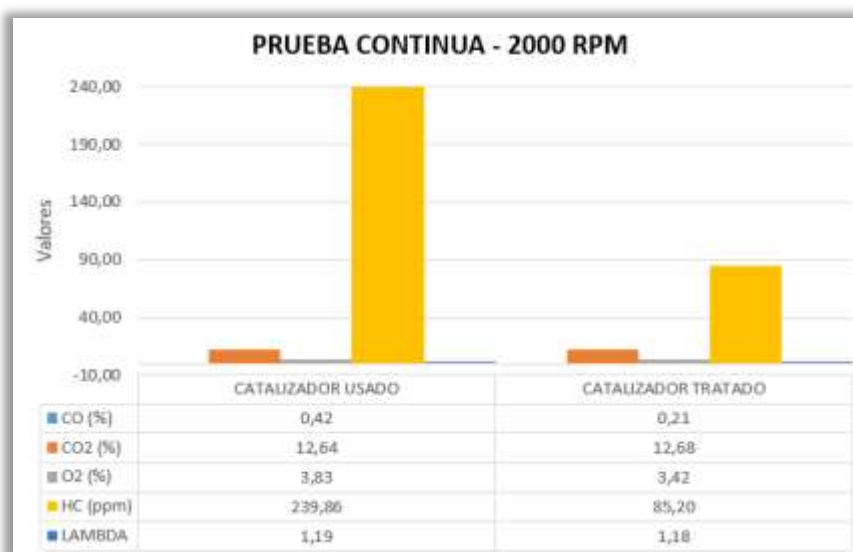
	$CO$ (%)	$CO_2$ (%)	$O_2$ (%)	$HC$ (ppm)	Lambda
<b>Catalizador Usado</b>	0,42	12,64	3,83	239,86	1,19
<b>Catalizador Tratado</b>	0,21	12,68	3,42	85,20	1,18

*Nota.* Resultados de las pruebas continuas a 2000 rpm entre el catalizador usado y el catalizador tratado.

La figura 70 presenta los resultados respectivos de las pruebas de emisiones a 2000 rpm, misma que refleja valores elevados del catalizador usado en referencia al catalizador tratado, cumpliendo así la función principal de reducir las emisiones de gases contaminantes emitidos por el vehículo.

**Figura 70**

*Pruebas a 2000 rpm*



*Nota.* Diagrama de barras comparando pruebas continuas a un régimen de 2000 rpm entre el catalizador usado y tratado.

Al comparar los valores de emisiones de  $CO$  (%) se observa que de 0.42 en el catalizador usado desciende a 0.21 en el catalizador tratado lo que representa un disminución del 50%, el  $CO_2$  (%) incrementa un valor de 0.04 es decir que pasa de 12.64 a 12.68 del convertidor catalítico usado al tratado respectivamente, el  $O_2$  (%) disminuye un valor de 0.41 es decir cambia de 3.83 en el catalizador usado a 3.42 en el catalizador tratado, el valor de  $HC$  (ppm) presenta una disminución del 64.48% acaeciendo de 239.86ppm en el

catalizador usado a 85.20 *ppm* en el catalizador tratado, finalmente lambda presenta una disminución de 1.19 en el convertidor catalítico usado a 1.18 en el convertidor catalítico tratado.

#### 5.1.4 Pruebas continuas a 2500 rpm

Las pruebas continuas a 2500 *rpm* fueron realizadas tanto con el catalizador usado como del catalizador tratado, con el fin de observar el comportamiento de dichos catalizadores antes y después de su tratamiento respectivo.

**Tabla 50**

*Pruebas a 2500 rpm*

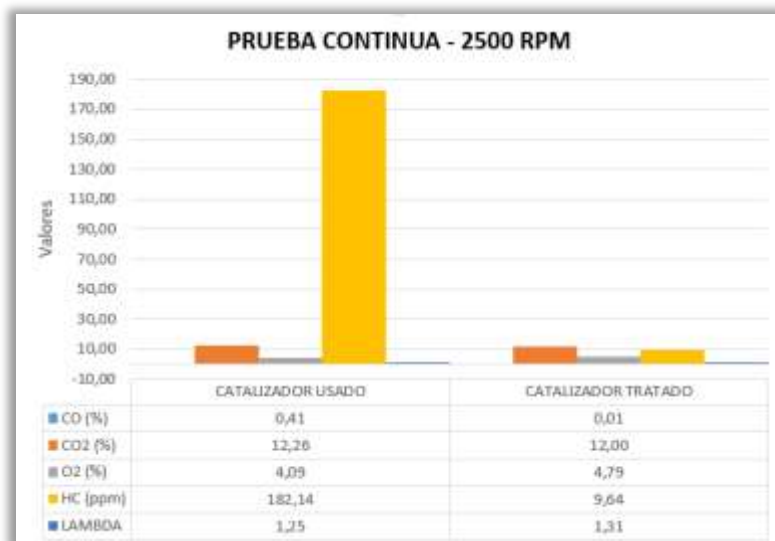
	<i>CO</i> (%)	<i>CO</i> <sub>2</sub> (%)	<i>O</i> <sub>2</sub> (%)	<i>HC</i> ( <i>ppm</i> )	<i>Lambda</i>
<b>Catalizador Usado</b>	0,41	12,26	4,09	182,14	1,25
<b>Catalizador Tratado</b>	0,01	12,00	4,76	9,64	1,31

*Nota.* Pruebas continuas a 2500 revoluciones por minuto entre el catalizador usado y el catalizador tratado.

La figura 71 refleja los resultados obtenidos en las pruebas de emisiones realizadas a 2500 *rpm*, en el cual el objetivo principal de la prueba es explicar la disminución de gases contaminantes en un catalizador previamente tratado con respecto de uno sin tratamiento.

**Figura 71**

Pruebas a 2500 rpm



*Nota.* Comparación de pruebas continuas entre el catalizador usado y tratado a 2500 revoluciones por minuto.

El valor de *HC* (*ppm*) presenta una disminución del 94.71% cambiando de 182.14*ppm* en el catalizador usado a 9.64 *ppm* en el catalizador tratado, *lambda* presenta un incremento de 1.25 en el catalizador usado a 1.31 en el catalizador tratado, en *CO* (%) se observa que de 0.41 en el catalizador usado desciende a 0.01 en el catalizador tratado lo que representa un disminución del 97.56%, el *CO<sub>2</sub>* (%) presenta una diferencia de emisiones de 0.26 es decir que pasa de 12.26 a 12.00 del convertidor catalítico usado al tratado respectivamente, el *O<sub>2</sub>* (%) aumenta un valor de 0.70 es decir varia de 4.09 en el catalizador usado a 4.79 en el catalizador tratado.

### 5.1.5 Pruebas continuas a 3000 rpm

Las pruebas continuas de emisiones en condiciones estáticas fueron

sometidas a un régimen de 3000 *rpm*, mismas que se realizaron con ayuda tanto del catalizador usado como del catalizador tratado, de tal manera se pueda establecer el comportamiento del catalizador antes y después del tratamiento respectivo.

**Tabla 51**

*Pruebas a 3000 rpm*

	<i>CO</i> (%)	<i>CO<sub>2</sub></i> (%)	<i>O<sub>2</sub></i> (%)	<i>HC</i> (ppm)	<i>Lambda</i>
<b>Catalizador Usado</b>	0,59	9,84	5,43	185,43	1,37
<b>Catalizador Tratado</b>	0,17	11,20	3,90	17,20	1,28

*Nota.* Resultados de las pruebas continuas a 3000 rpm entre el catalizador usado y el catalizador tratado.

La figura 72 perteneciente a los resultados de las pruebas de emisiones a 3000 rpm presenta los datos del catalizador usado con un valor muy elevado a diferencia del catalizador tratado, el cual cumple con la función principal de reducir las emisiones de gases contaminantes emitidos por el vehículo.



Figura 72

Pruebas a 3000 rpm



*Nota.* Pruebas continuas a un régimen de 3000 rpm, comparando entre el catalizador usado y tratado.

Al comparar los valores de  $CO$  (%) se observa que de 0.59 en el catalizador usado desciende a 0.17 en el catalizador tratado lo que representa una disminución del 71.19%, el  $CO_2$  (%) incrementa un valor de 1.36 es decir que pasa de 9.84 a 11.20 del convertidor catalítico usado al tratado respectivamente, el  $O_2$  (%) disminuye un valor de 1.53 es decir cambia de 5.43 en el catalizador usado a 3.90 en el catalizador tratado, el valor de  $HC$  (ppm) presenta una disminución del 90.72% permutando de 185.43ppm en el catalizador usado a 17.20ppm en el catalizador tratado, finalmente lambda presenta una disminución en su valor es decir varia de 1.37 en el convertidor catalítico usado a 1.28 en el convertidor catalítico tratado.

#### 5.1.6 Test oficial a 0 Km de recorrido

Los test oficiales de emisiones en condiciones estáticas fueron sometidas a pruebas realizadas dependiendo del kilometraje recorrido por el vehículo, estas

pruebas estuvieron perpetradas con el motor en ralentí y con el motor en aceleración, así como se indica en la tabla 52 de modo que se pruebe el comportamiento del catalizador antes y después del tratamiento respectivo.

**Tabla 52**

*Test a 0 Km con motor al mínimo y en aceleración*

<b>Pruebas a 0 Km al mínimo</b>						
	<i>CO (%)</i>	<i>CO<sub>2</sub> (%)</i>	<i>O<sub>2</sub> (%)</i>	<i>HC (ppm)</i>	<i>Lambda</i>	<b>Resultado</b>
<b>Catalizador Usado</b>	0,45	13,90	1,43	124,00	1,05	Aprobado sin falta
<b>Catalizador Tratado</b>	0,12	14,60	1,40	63,33	1,06	
<b>Pruebas a 0 Km en aceleración</b>						
	<i>CO (%)</i>	<i>CO<sub>2</sub> (%)</i>	<i>O<sub>2</sub> (%)</i>	<i>HC (ppm)</i>	<i>Lambda</i>	<b>Resultado</b>
<b>Catalizador Usado</b>	0,67	14,10	0,87	71,00	1,02	Aprobado sin falta
<b>Catalizador Tratado</b>	0,50	14,80	0,73	43,67	1,02	

*Nota.* Resultados de las pruebas al mínimo (500 – 1200 rpm) y en aceleración (2400 – 2600 rpm) en el rango de los 0 Km.

La figura 73 presenta los resultados de las pruebas de emisiones con el motor en ralentí y aceleración en el rango de los 0 Km, utilizando un catalizador usado y un catalizador tratado, el cual cumple con la función principal de reducir las emisiones de gases contaminantes emitidos por el vehículo.

Figura 73

Test a 0 Km



*Nota.* Comparación de pruebas al mínimo y en aceleración en el rango de los 0 Km de recorrido entre el catalizador usado y tratado.

La parte izquierda de la imagen describe las pruebas al mínimo a las que fue sometido el vehículo utilizando el convertidor catalítico usado y tratado en el rango de los 0 Km de recorrido, se muestran los valores de CO (%) mismos que presentan una disminución del 73.33%, es decir desciende de 0.45 en el catalizador usado a 0.12 en el catalizador tratado, el CO<sub>2</sub> (%) incrementa un valor de 0.7 este cambia de 13.9 a 14.60 del convertidor catalítico usado al tratado respectivamente, el O<sub>2</sub> (%) disminuye de 1.43 en el catalizador usado a 1.40 en el catalizador tratado, el valor de HC (ppm) muestra una disminución del 48.93% variando de 124.00ppm en el catalizador usado a 63.33ppm en el catalizador tratado, finalmente lambda presenta un incremento en su valor, por lo cual pasa de 1.05 en el convertidor catalítico usado a 1.06 en el convertidor catalítico tratado. Como resultado del test el vehículo es aprobado sin presentar ningún tipo de falta a su causa.

En la zona derecha de la imagen se comparan las pruebas en aceleración en el cual los valores de CO (%) presentan una disminución del

25.37%, es decir desciende de 0.67 en el catalizador usado a 0.50 en el catalizador tratado, el  $CO_2$  (%) incrementa un valor de 0.7, de modo que cambia de 14.1 a 14.80 del convertidor catalítico usado al tratado respectivamente, el  $O_2$  (%) disminuye un valor de 0.14 puesto que permuta de 0.87 en el catalizador usado a 0.73 en el catalizador tratado, el valor de  $HC$  (ppm) presenta una disminución del 38.49% variando de 71.00ppm en el catalizador usado a 43.67ppm en el catalizador tratado, finalmente lambda presenta una igualdad en su valor de 1.02 en el convertidor catalítico usado y 1.02 en el convertidor catalítico tratado. Como resultado del test el vehículo es aprobado sin presentar ningún tipo de falta a su causa.

#### **5.1.7 Test oficial a 1000 Km de recorrido**

Los test oficiales de emisiones en condiciones estáticas fueron sometidas a pruebas realizadas a los 1000 kilómetros de recorrido del vehículo, estas pruebas estuvieron perpetradas con el motor en ralentí y con el motor en aceleración, así como se indica en la tabla 53, con objeto de patentizar el comportamiento del catalizador antes y después del tratamiento respectivo.

**Tabla 53**

*Test a 1000 Km con motor al mínimo y en aceleración*

<b>Pruebas a 1000 Km al mínimo</b>						
	<b><math>CO</math> (%)</b>	<b><math>CO_2</math> (%)</b>	<b><math>O_2</math> (%)</b>	<b><math>HC</math> (ppm)</b>	<b><math>\Lambda</math></b>	<b>Resultado</b>
<b>Catalizador Usado</b>	0,45	13,90	1,43	124,00	1,05	Aprobado sin falta
<b>Catalizador Tratado</b>	0,10	13,93	2,16	44,67	1,10	

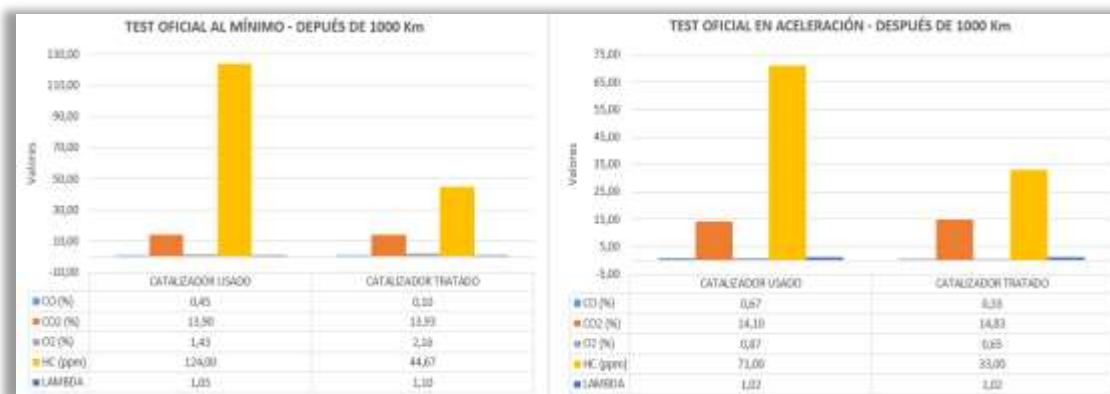
Pruebas a 1000 Km en aceleración						
	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	Lambda	Resultado
<b>Catalizador Usado</b>	0,67	14,10	0,87	71,00	1,02	Aprobado sin falta
<b>Catalizador Tratado</b>	0,33	14,83	0,65	33,00	1,02	

*Nota.* Resultados de las pruebas con el motor al mínimo y en aceleración entre el catalizador usado y tratado en el rango de los 1000 Km.

La figura 74 presenta los resultados de las pruebas de emisiones con el motor en ralentí y aceleración en el rango de los 1000 Km, utilizando un catalizador usado y un catalizador tratado, reduciendo así las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

**Figura 74**

*Test a 1000 Km*



*Nota.* Pruebas al mínimo y en aceleración en el rango de los 1000 Km, en comparación.

Las pruebas al mínimo entre el convertidor catalítico usado y tratado en el rango de los 1000 Km de recorrido, presentan un valor de HC (ppm) con una disminución del 36.02% pasando de 124.00ppm en el catalizador usado a

44.67ppm en el catalizador tratado, lambda presenta un incremento en sus emisiones, es decir cambia de 1.05 en el convertidor catalítico usado a 1.10 en el convertidor catalítico tratado, los valores de  $CO$  (%) presentan una disminución del 77.78% debido a que descienden de 0.45 en el catalizador usado a 0.10 en el catalizador tratado, el  $CO_2$  (%) incrementa un valor de 0.03 debido a que varía de 13.90 a 13.93 del convertidor catalítico usado al tratado respectivamente, el  $O_2$  (%) incrementa un valor de 0.73 es decir aumenta un valor de 1.43 en el catalizador usado a 2.16 en el catalizador tratado. Como resultado del test el vehículo es aprobado sin presentar ningún tipo de falta a su causa.

Las pruebas en aceleración entre el convertidor catalítico usado y tratado en el rango de los 1000 Km de recorrido, presentan un valor de  $HC$  (ppm) con una disminución del 53.52% variando de 71.00ppm en el catalizador usado a 33.00ppm en el catalizador tratado, lambda presenta una igualdad en su valor es decir 1.02 en el convertidor catalítico usado y 1.02 en el convertidor catalítico tratado, los valores de  $CO$  (%) presentan una disminución del 50.75% es decir desciende de 0.67 en el catalizador usado a 0.33 en el catalizador tratado, el  $CO_2$  (%) incrementa un valor de 0.73, puesto que aumenta de 14.1 a 14.83 del convertidor catalítico usado al tratado respectivamente, el  $O_2$  (%) disminuye considerablemente un valor de 0.22, con miras a pasar de 0.87 en el catalizador usado a 0.65 en el catalizador tratado. Como resultado del test el vehículo es aprobado sin presentar ningún tipo de falta a su causa.

### **5.1.8 Test oficial a 2000 Km de recorrido**

Los test oficiales de emisiones en condiciones estáticas fueron sometidas a pruebas realizadas dependiendo del kilometraje recorrido por el vehículo, estas

pruebas fueron llevada a cabo con el motor del vehículo en ralentí y con el motor en aceleración, así como se indica en la tabla 54 manifestando el comportamiento del catalizador antes y después del tratamiento respectivo.

**Tabla 54**

*Test a 2000 Km con el motor al mínimo y en aceleración*

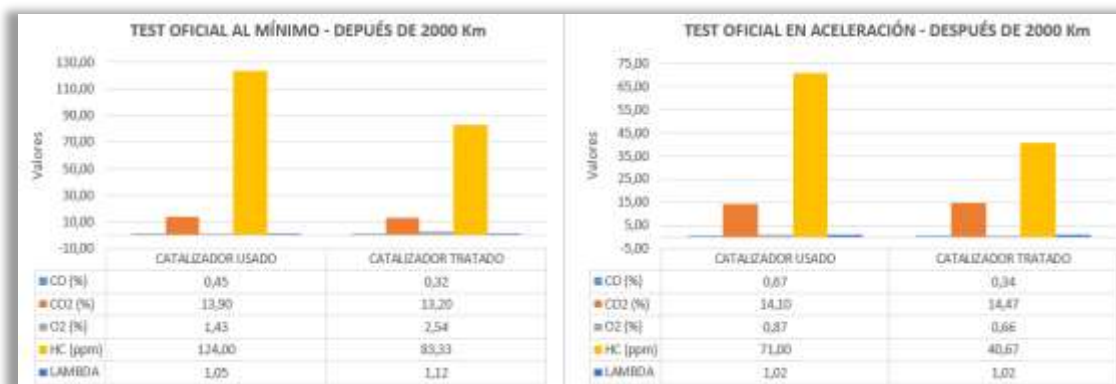
<b>Pruebas a 2000 Km al mínimo</b>						
	<i>CO (%)</i>	<i>CO<sub>2</sub> (%)</i>	<i>O<sub>2</sub> (%)</i>	<i>HC (ppm)</i>	<i>Lambda</i>	<b>Resultado</b>
<b>Catalizador Usado</b>	0,45	13,90	1,43	124,00	1,05	Aprobado sin falta
<b>Catalizador Tratado</b>	0,32	13,20	2,54	83,33	1,12	
<b>Pruebas a 2000 Km en aceleración</b>						
	<i>CO (%)</i>	<i>CO<sub>2</sub> (%)</i>	<i>O<sub>2</sub> (%)</i>	<i>HC (ppm)</i>	<i>Lambda</i>	<b>Resultado</b>
<b>Catalizador Usado</b>	0,67	14,10	0,87	71,00	1,02	Aprobado sin falta
<b>Catalizador Tratado</b>	0,34	14,47	0,66	40,67	1,02	

*Nota.* Resultados de los test al mínimo y aceleración a los 2000 Km de recorrido del vehículo entre el catalizador usado y el catalizador tratado.

La figura 75 demuestra los resultados de los test de emisiones realizados con el motor en ralentí y aceleración en el rango de los 2000 Km de recorrido, utilizando un catalizador usado y un catalizador tratado respectivamente.

## Figura 75

### Test a 2000 Km



*Nota.* Comparación de pruebas al mínimo y en aceleración en el rango de los 2000 Km de recorrido entre el catalizador usado y tratado.

Los resultados de los test oficiales al mínimo a los 2000 Km de recorrido, muestran valores de *CO* (%) con una disminución del 28.89%, es decir desciende de 0.45 en el catalizador usado a 0.32 en el catalizador tratado, el *CO<sub>2</sub>* (%) disminuye considerablemente un valor de 0.70, por lo que cambia de 13.90 a 13.20 del convertidor catalítico usado al tratado, el *O<sub>2</sub>* (%) incrementa un valor de 1.11, el cual varía de 1.43 en el catalizador usado a 2.54 en el catalizador tratado, el valor de *HC* (ppm) presenta una disminución del 32.80% cambiando de 124.00ppm en el catalizador usado a 83.33ppm en el catalizador tratado, finalmente lambda presenta un incremento en su valor es decir conmuta de 1.05 en el convertidor catalítico usado a 1.12 en el convertidor catalítico tratado. Como resultado del test el vehículo es aprobado sin presentar ningún tipo de falta a su causa.

Los test oficiales en aceleración a los 2000 Km de recorrido del vehículo, presentan una disminución en los valores de *CO* (%) ya que se observa una



disminución del 49.25%, es decir desciende de 0.67 en el catalizador usado a 0.34 en el catalizador tratado, el  $CO_2$  (%) incrementa un valor de 0.37 ya que cambia de 14.1 a 14.47 del convertidor catalítico usado al tratado respectivamente, el  $O_2$  (%) disminuye un valor de 0.21 variando de 0.87 en el catalizador usado a 0.66 en el catalizador tratado, el valor de  $HC$  (ppm) presenta una disminución del 42.72% conmutando de 71.00ppm en el catalizador usado a 40.67ppm en el catalizador tratado, finalmente lambda presenta una igualdad en su valor es decir 1.02 en el convertidor catalítico usado y 1.02 en el convertidor catalítico tratado. Como resultado del test el vehículo es aprobado sin presentar ningún tipo de falta a su causa.

#### 5.1.9 Test oficial a 3000 Km de recorrido

Los test oficiales de emisiones en condiciones estáticas fueron sometidas a pruebas realizadas dependiendo del kilometraje recorrido por el vehículo, en este caso se realizaron pruebas a los 3000 Km de recorrido del vehículo tanto con el motor en ralentí como en aceleración, con el fin de mostrar el comportamiento del catalizador antes y después del tratamiento.

**Tabla 55**

*Test oficial al mínimo y aceleración a los 3000 Km de recorrido*

<b>Pruebas a 3000 Km al mínimo</b>						
	<b><math>CO</math> (%)</b>	<b><math>CO_2</math> (%)</b>	<b><math>O_2</math> (%)</b>	<b><math>HC</math> (ppm)</b>	<b><math>Lambda</math></b>	<b>Resultado</b>
<b>Catalizador Usado</b>	0,45	13,90	1,43	124,00	1,05	Aprobado sin falta
<b>Catalizador Tratado</b>	0,25	13,37	2,31	79,67	1,11	

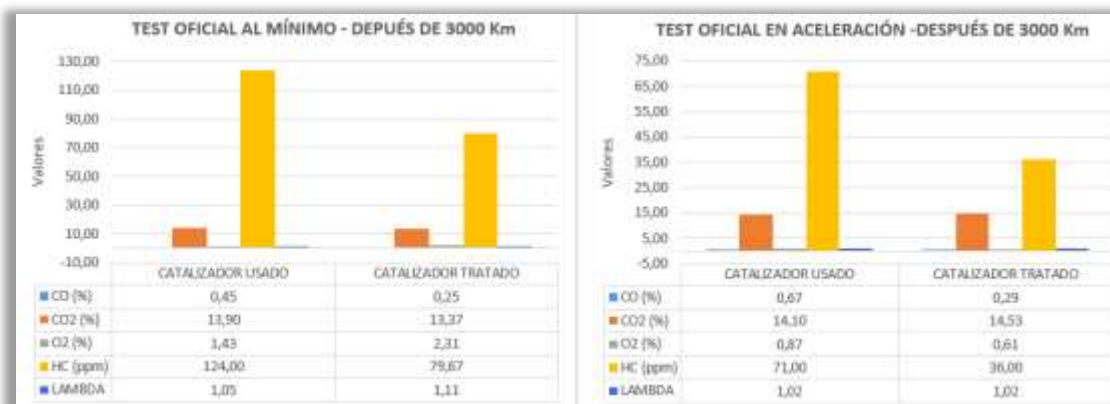
Pruebas a 3000 Km en aceleración						
	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	Lambda	Resultado
<b>Catalizador Usado</b>	0,67	14,10	0,87	71,00	1,02	Aprobado sin falta
<b>Catalizador Tratado</b>	0,29	14,53	0,61	36,00	1,02	

Nota. Test al mínimo (500 – 1200 rpm) y en aceleración (2400 – 2600 rpm) en el rango de los 3000 Km de recorrido.

La figura 76 indica los resultados de los test oficiales realizados en el vehículo con el motor en ralentí y en aceleración respectivamente, utilizando el catalizador usado y el catalizador tratado con el único fin de evidenciar el comportamiento de los mismos y verificar la reducción de los gases contaminantes emitidos por el vehículo.

## Figura 76

### Test a 3000 Km



Nota. Comparación de los test al mínimo y en aceleración en el rango de los 3000 Km de recorrido.

La zona izquierda de la figura presenta los resultados del test al mínimo realizado en el vehículo con la utilización del catalizador usado y del catalizador

tratado, luego de que el mismo haya recorrido 3000 Km, en la cual las emisiones de  $O_2$  (%) incrementan 0.88 es decir aumentan de 1.43 en el catalizador usado a 2.31 en el catalizador tratado, los valores de  $CO$  (%) muestran una disminución del 44.44%, es decir desciende de 0.45 en el catalizador usado a 0.25 en el catalizador tratado, el  $CO_2$  (%) disminuye un valor de 0.53, dicho de otra manera pasa de 13.90 a 13.37 del convertidor catalítico usado al tratado respectivamente, el valor de  $HC$  (ppm) presenta una disminución del 35.75% cambiando de 124.00ppm en el catalizador usado a 79.67ppm en el catalizador tratado, finalmente lambda presenta un incremento en su valor de emisiones, de otro modo aumenta de 1.05 en el convertidor catalítico usado a 1.11 en el convertidor catalítico tratado. Como resultado del test el vehículo es aprobado sin presentar ningún tipo de falta a su causa.

En la zona derecha presenta los resultados del test en aceleración en donde la emisiones de  $O_2$  (%) disminuyen considerablemente un valor de 0.26, puesto que pasa de 0.87 en el catalizador usado a 0.61 en el catalizador tratado, los valores de  $CO$  (%) presentan una disminución del 56.72% descendiendo de 0.67 en el catalizador usado a 0.29 en el catalizador tratado, el  $CO_2$  (%) incrementa un valor de 0.43 pasando de 14.1 a 14.53 del convertidor catalítico usado al tratado respectivamente, el valor de  $HC$  (ppm) presenta una disminución del 49.30%, en otras palabras pasa de 71.00ppm en el catalizador usado a 36.00ppm en el catalizador tratado, finalmente lambda presenta una igualdad en su valor de 1.02 en el convertidor catalítico usado y 1.02 en el convertidor catalítico tratado. Como resultado del test el vehículo es aprobado sin presentar ningún tipo de falta a su causa.

### 5.1.10 Test oficial a 4000 Km de recorrido

Los test oficiales de emisiones en condiciones estáticas fueron sometidas a pruebas realizadas dependiendo del kilometraje recorrido por el vehículo, en este caso el vehículo fue sometido a dicho test a los 4000 Km de recorrido, estos test fueron realizadas con el motor en ralentí y con el motor en aceleración, así como se indica en la tabla 56 con el objeto de patentizar el comportamiento del catalizador antes y después del tratamiento respectivo.

**Tabla 56**

*Test con motor al mínimo y en aceleración a los 4000 Km de recorrido*

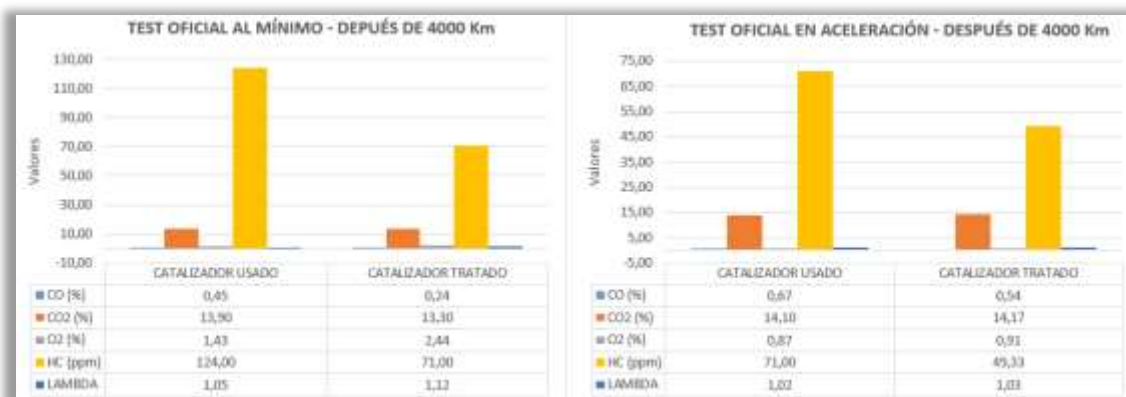
<b>Pruebas a 4000 Km al mínimo</b>						
	<i>CO (%)</i>	<i>CO<sub>2</sub> (%)</i>	<i>O<sub>2</sub> (%)</i>	<i>HC (ppm)</i>	<i>Lambda</i>	<b>Resultado</b>
<b>Catalizador Usado</b>	0,45	13,90	1,43	124,00	1,05	Aprobado sin falta
<b>Catalizador Tratado</b>	0,24	13,30	2,44	71,00	1,12	
<b>Pruebas a 4000 Km en aceleración</b>						
	<i>CO (%)</i>	<i>CO<sub>2</sub> (%)</i>	<i>O<sub>2</sub> (%)</i>	<i>HC (ppm)</i>	<i>Lambda</i>	<b>Resultado</b>
<b>Catalizador Usado</b>	0,67	14,10	0,87	71,00	1,02	Aprobado sin falta
<b>Catalizador Tratado</b>	0,54	14,17	0,91	49,33	1,03	

*Nota.* Resultados de los test al mínimo y aceleración entre el convertidor catalítico usado y el convertidor catalítico tratado, en el rango de los 4000 Km de recorrido.

La figura 77 presenta los resultados de los test de emisiones con el motor en ralentí y aceleración en el rango de los 4000 Km, utilizando un catalizador usado y un catalizador tratado, el cual cumple con la función principal de reducir las emisiones de gases contaminantes emitidos por el vehículo.

## Figura 77

### Pruebas a 4000 Km



Nota. Pruebas al mínimo y en aceleración a los 4000 Km de recorrido entre el convertidor catalítico usado y tratado.

El test al mínimo y aceleración realizado en el vehículo con el catalizador usado y tratado en el rango de los 4000 Km de recorrido presenta valores de emisiones CO (%) con una disminución del 46.67%, es decir desciende de 0.45 en el catalizador usado a 0.24 en el catalizador tratado, el CO<sub>2</sub> (%) disminuye un valor de 0.60 en sus emisiones, en otras palabras pasa de 13.90 a 13.30 del convertidor catalítico usado al tratado respectivamente, el O<sub>2</sub> (%) incrementa un valor de 1.01, de otro modo cambia de 1.43 en el catalizador usado a 2.44 en el catalizador tratado, el valor de HC (ppm) presenta una disminución del 42.74% cambiando sus emisiones de 124.00ppm en el catalizador usado a 71.00ppm en el catalizador tratado, finalmente lambda presenta un incremento en sus emisiones debido a que aumenta de un valor de 1.05 en el convertidor catalítico usado a 1.12 en el convertidor catalítico tratado. Como resultado del test el vehículo es aprobado sin presentar ningún tipo de falta a su causa.

El test en aceleración entre el convertidor catalítico usado y tratado

realizado en el vehículo a los 4000 *Km* de recorrido presenta los valores de *CO* (%) con una disminución del 19.40%, en otras palabras desciende de 0.67 en el catalizador usado a 0.54 en el catalizador tratado, el *CO*<sub>2</sub> (%) incrementa su valor de 0.07, más bien pasa de 14.1 a 14.17 del convertidor catalítico usado al tratado respectivamente, el *O*<sub>2</sub> (%) incrementa un valor de 0.04, en otras palabras pasa de 0.87 en el catalizador usado a 0.91 en el catalizador tratado, el valor de *HC* (*ppm*) presenta una disminución del 30.52% cambiando de 71.00*ppm* en el catalizador usado a 49.33*ppm* en el catalizador tratado, finalmente *lambda* incrementa su valor pasando de 1.02 en el convertidor catalítico usado a 1.03 en el convertidor catalítico tratado. Como resultado del test el vehículo es aprobado sin presentar ningún tipo de falta a su causa.

#### **5.1.11 Test oficial a 5000 Km de recorrido**

Los test oficiales de emisiones en condiciones estáticas fueron sometidas a pruebas realizadas a los 5000 *Km* de recorrido del vehículo, estas pruebas estuvieron realizadas con el motor en ralentí y con el motor en aceleración, así como se indica en la tabla 57 de manera que se verifique el comportamiento del catalizador antes y después del tratamiento respectivo.

**Tabla 57**

*Test con motor al mínimo y en aceleración a los 5000 Km de recorrido*

<b>Pruebas a 5000 Km al mínimo</b>						
	<i>CO</i> (%)	<i>CO</i> <sub>2</sub> (%)	<i>O</i> <sub>2</sub> (%)	<i>HC</i> ( <i>ppm</i> )	<i>Lambda</i>	<b>Resultado</b>
<b>Catalizador Usado</b>	0,45	13,90	1,43	124,00	1,05	Aprobado sin falta
<b>Catalizador Tratado</b>	0,18	13,47	2,25	67,33	1,07	

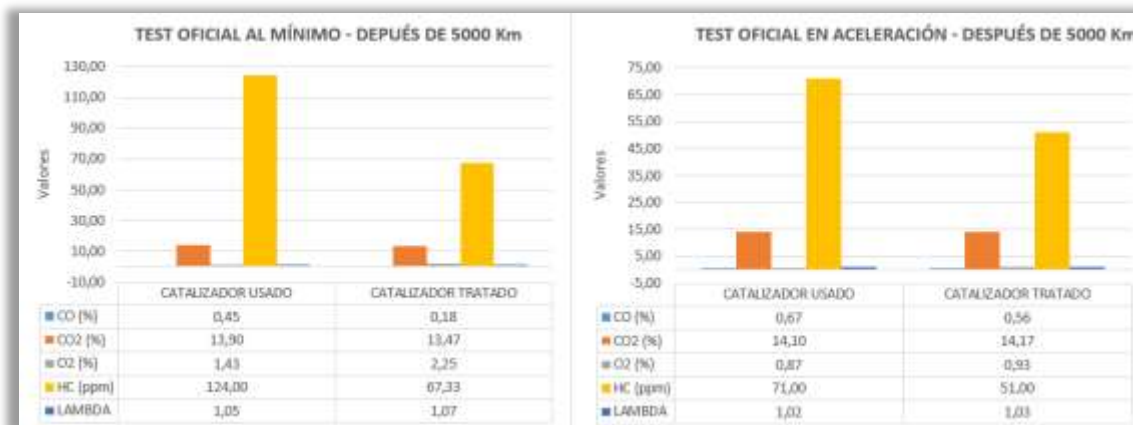
Pruebas a 5000 Km en aceleración						
	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	Lambda	Resultado
<b>Catalizador Usado</b>	0,67	14,10	0,87	71,00	1,02	Aprobado sin falta
<b>Catalizador Tratado</b>	0,56	14,17	0,93	51,00	1,03	

Nota. Test al mínimo (500 – 1200 rpm) y en aceleración (2400 – 2600 rpm) a los 5000 Km de recorrido.

La figura 78 presenta los resultados de los test de emisiones con el motor en ralentí y aceleración a los 5000 Km de recorrido, utilizando un catalizador usado y un catalizador tratado, el cual cumple con la función principal de reducir las emisiones de gases contaminantes emitidos por el vehículo.

## Figura 78

### Pruebas a 5000 Km



Nota. Comparación de pruebas al mínimo y en aceleración a los 5000 Km de recorrido entre el catalizador usado y tratado.

Los resultados del test al mínimo realizado entre el convertidor catalítico usado y tratado en el rango a los 5000 Km de recorrido, muestra los valores de CO (%) presentar una disminución del 60.00%, es decir desciende de 0.45 en el

catalizador usado a 0.18 en el catalizador tratado, el  $CO_2$  (%) disminuye un valor de 0.43, en otras palabras pasa de 13.90 a 13.47 del convertidor catalítico usado al tratado respectivamente, el  $O_2$  (%) incrementa un valor de 0.82, de tal modo cambia de 1.43 en el catalizador usado a 2.25 en el catalizador tratado, el valor de  $HC$  (ppm) indica una disminución del 45.70% cambiando de 124.00ppm en el catalizador usado a 67.33ppm en el catalizador tratado, finalmente lambda presenta un incremento en su valor, de tal modo varía de 1.05 en el convertidor catalítico usado a 1.07 en el convertidor catalítico tratado. Como resultado del test el vehículo es aprobado sin presentar ningún tipo de falta a su causa.

Los resultados del test en aceleración entre el convertidor catalítico usado y tratado a los 5000 Km de recorrido, presentan valores de  $CO$  (%) con una disminución del 16.42%, es decir desciende de 0.67 en el catalizador usado a 0.56 en el catalizador tratado, el  $CO_2$  (%) incrementa un valor de 0.07, de tal modo cambia de 14.1 a 14.17 del catalizador usado al tratado respectivamente, el  $O_2$  (%) incrementa un valor de 0.06, por otro lado conmuta un valor de 0.87 en el catalizador usado a 0.93 en el catalizador tratado, el valor de  $HC$  (ppm) presenta una disminución del 28.17% pasando de 71.00ppm en el catalizador usado a 51.00ppm en el catalizador tratado, finalmente lambda incrementa su valor cambiando de 1.02 en el convertidor catalítico usado a 1.03 en el convertidor catalítico tratado. Como resultado del test el vehículo es aprobado sin presentar ningún tipo de falta a su causa.

## 5.2 Pruebas dinámicas

### 5.2.1 Prueba en zona urbana a 33.6 Km/h

En la tabla se observa los promedios respectivos en base a las pruebas



realizadas en zona urbana a una velocidad de 33.6 Km/h con ayuda del catalizador usado como del catalizador tratado.

**Tabla 58**

*Promedios de la prueba en zona urbana a 33.6 Km/h*

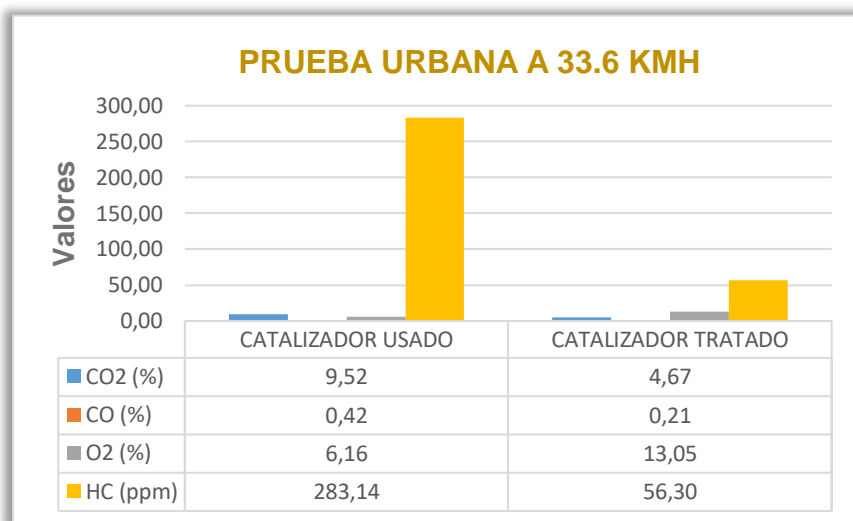
	<i>CO<sub>2</sub> (%)</i>	<i>CO (%)</i>	<i>O<sub>2</sub> (%)</i>	<i>HC (ppm)</i>
<b>Catalizador Usado</b>	9,52	0,42	6,16	283,14
<b>Catalizador Tratado</b>	4,67	0,21	13,05	56,30

*Nota.* En la tabla se aprecian los resultados promedios de la prueba correspondiente a zona urbana a una velocidad de 33.6 Km/h entre el catalizador usado y el catalizador tratado.

La figura 79 presenta los resultados de la prueba realizada en zona urbana a una velocidad de 33.6 Km/h, utilizando un catalizador usado y un catalizador tratado, determinando si el mismo cumple con la función principal de reducir las emisiones de gases contaminantes emitidos por el vehículo.

**Figura 79**

Resultados promedios de la prueba en zona urbana a 33.6 Km/h



*Nota.* Resultados de la prueba en zona urbana con una velocidad de 33.6 Km/h entre el catalizador usado y el catalizador tratado expresado en barras.

En base al protocolo de pruebas NEDC, la figura perteneciente a la prueba de emisiones de zona urbana a 33.6 Km/h refleja las emisiones tanto del uso del catalizador usado y el catalizador tratado, en este caso, se presenta una disminución de emisiones de ( $CO_2$ ) entre las dos pruebas del 4,85%, en las que se observa una emisión de ( $CO_2$ ) de 9,52% en el catalizador usado y un valor de 4,67% en el catalizador tratado, así mismo sucede con el monóxido de carbono ( $CO$ ) el cual muestra un valor de 0,42% en relación al catalizador usado y un valor de emisión de 0,21% para el catalizador tratado, en otras palabras se indica una disminución de emisiones del 0,21%; el ( $O_2$ ) refleja una medición del 6,16% del catalizador usado y un valor de 13,05% del catalizador tratado, es decir, existe un aumento de emisiones de  $O_2$  de 6,89%; finalmente, se tiene una disminución de las emisiones de 226,84 ppm de hidrocarburos ( $HC$ ) entre el catalizador usado y el catalizador tratado.

### 5.2.2 Prueba en zona urbana a 46.5 Km/h

En la tabla se observa los promedios respectivos en base a las pruebas realizadas en zona urbana a una velocidad de 46.5 Km/h con ayuda del catalizador usado como del catalizador tratado.

**Tabla 59**

*Promedios de la prueba en zona urbana a 46.5 Km/h*

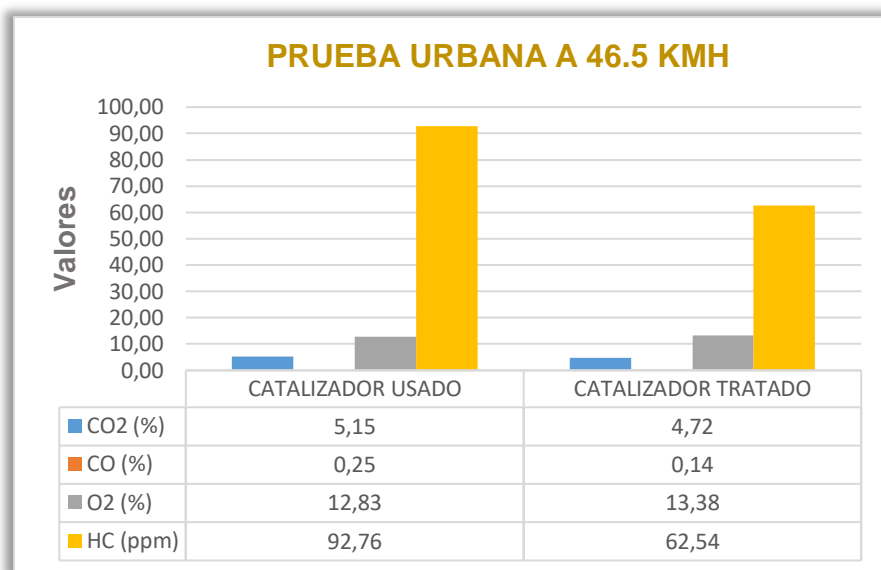
	<i>CO<sub>2</sub> (%)</i>	<i>CO (%)</i>	<i>O<sub>2</sub> (%)</i>	<i>HC (ppm)</i>
<b>Catalizador Usado</b>	5,15	0,25	12,83	92,76
<b>Catalizador Tratado</b>	4,72	0,14	13,38	62,54

*Nota.* En la tabla se aprecian los resultados promedios de la prueba correspondiente a zona urbana a una velocidad de 46.5 Km/h entre el catalizador usado y el catalizador tratado.

La figura 80 presenta los resultados de la prueba realizada en zona urbana a una velocidad de 46.5 Km/h, utilizando un catalizador usado y un catalizador tratado, determinando si el mismo cumple con la función principal de reducir las emisiones de gases contaminantes emitidos por el vehículo.

**Figura 80**

Resultados promedios de la prueba en zona urbana a 46.5 Km/h



*Nota.* En la imagen se observa la tabla comparativa en referencia a la prueba en zona urbana con una velocidad de 46.5 Km/h entre el catalizador usado y el catalizador tratado.

En base al protocolo de pruebas WLTP y siguiendo cada una de las indicaciones respectivas de la prueba, en la figura se aprecian las emisiones tanto del catalizador usado y el catalizador tratado, en este caso, se observa una emisión de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) de 5,15% para el catalizador usado y un valor de 4,72% del catalizador tratado, presentando una disminución del 0,43% de emisiones; así mismo sucede con el monóxido de carbono ( $CO$ ) con emisiones de 0,25% para el catalizador usado y un valor de 0,14% para el catalizador tratado, en otras palabras se refleja una disminución del 0,11%; en cambio para el  $O_2$  indica una medición del 12,83% del catalizador usado y un valor de 13,38% del catalizador tratado, con lo que se observa un aumento de emisiones de  $O_2$  del 0,55% en valores de emisiones; finalmente, se refleja una

disminución de emisiones de 30,22 *ppm* de hidrocarburos (*HC*) entre el catalizador usado y el catalizador tratado.

### 5.2.3 Prueba en zona urbana a 50 Km/h

En la tabla se observa los promedios respectivos en base a las pruebas realizadas en zona urbana a una velocidad de 50 *Km/h* con ayuda tanto del catalizador usado como del catalizador tratado.

**Tabla 60**

*Promedios de la prueba en zona urbana a 50 Km/h*

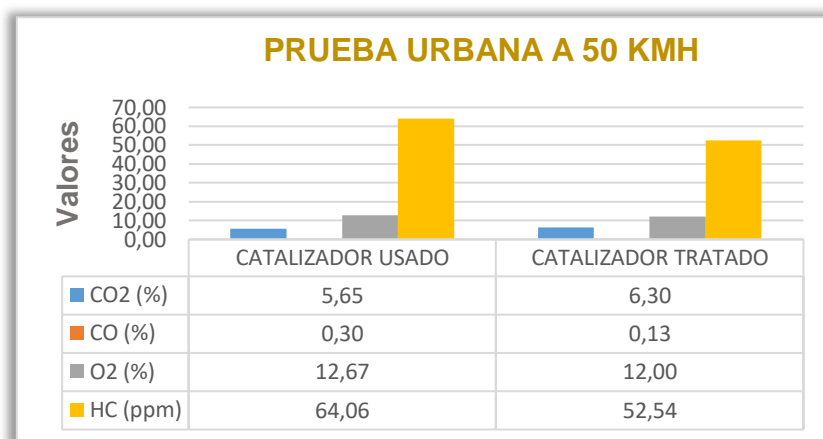
	<i>CO<sub>2</sub></i> (%)	<i>CO</i> (%)	<i>O<sub>2</sub></i> (%)	<i>HC</i> ( <i>ppm</i> )
<b>Catalizador Usado</b>	5,65	0,30	12,67	64,06
<b>Catalizador Tratado</b>	6,30	0,13	12,00	52,54

*Nota.* En la tabla se aprecian los resultados promedios de la prueba correspondiente a zona urbana a una velocidad de 50 *Km/h*.

La figura 81 refleja los resultados de la prueba realizada en zona urbana a una velocidad de 50 *Km/h*, con catalizador usado y catalizador tratado, determinando si se cumple con la función principal de reducir las emisiones de gases contaminantes emitidos por el vehículo.

Figura 81

Resultados promedios de la prueba en zona urbana a 50 Km/h



*Nota.* En la imagen se observa la tabla comparativa en referencia a la prueba en zona urbana con una velocidad de 50 Km/h utilizando un catalizador usado y un catalizador tratado.

En referencia al protocolo IMPLEMENTADO utilizado en la prueba realizada en zona urbana a 50 Km/h, las emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) presentan un valor de 5,65% en el catalizador usado y un valor de 6,30% en el catalizador tratado, mostrando un aumento del 0,65%, por otro lado el monóxido de carbono ( $CO$ ) se ubica con un valor de 0,30% con el catalizador usado y con el catalizador tratado se observa un valor de 0,13%, produciéndose una disminución de las emisiones de 0,17%, para el  $O_2$  se muestra una medición del 12,67% del catalizador usado y un valor de 12,00% del catalizador tratado, reflejando una disminución de emisiones de  $O_2$  del 0,67% en valores de emisiones; finalmente, se evidencian emisiones de 11,52 ppm de hidrocarburos ( $HC$ ) entre el catalizador usado y el catalizador tratado.

#### 5.2.4 Prueba en zona extra urbana a 100 Km/h

En la tabla 61 se observan los promedios respectivos en base a las pruebas realizadas en zona extra urbana a una velocidad de 100 Km/h con ayuda del catalizador usado como del catalizador tratado.

**Tabla 61**

*Promedios de la prueba en zona extra urbana a 100 Km/h*

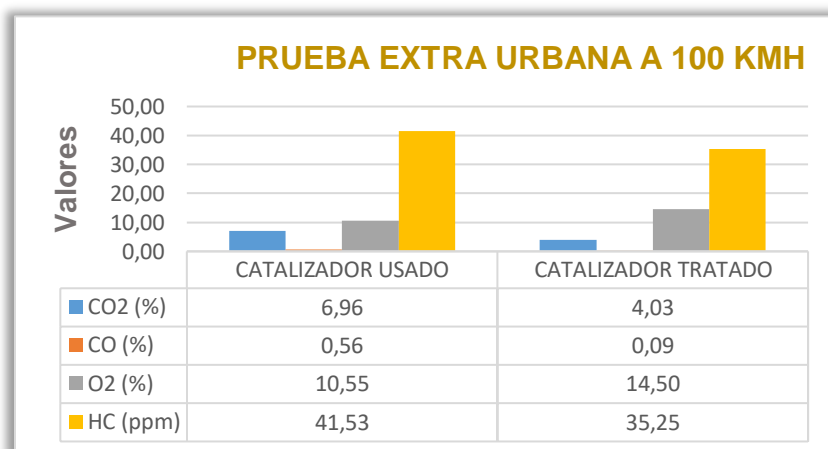
	<i>CO<sub>2</sub> (%)</i>	<i>CO (%)</i>	<i>O<sub>2</sub> (%)</i>	<i>HC (ppm)</i>
<b>Catalizador Usado</b>	6,96	0,56	10,55	41,53
<b>Catalizador Tratado</b>	4,03	0,09	14,50	35,25

*Nota.* Los resultados promedios de la prueba correspondiente a zona extra urbana a una velocidad de 100 Km/h entre el catalizador usado y el catalizador tratado.

La figura 82 refleja los resultados de la prueba realizada en zona extra urbana a una velocidad de 100 Km/h, con catalizador usado y catalizador tratado, reflejando la disminución de gases contaminantes después de ser sometido el catalizador a tratamiento.

Figura 82

Resultados promedios de la prueba en zona urbana a 100 Km/h



*Nota.* En la imagen se observa la tabla comparativa en referencia a la prueba en zona extra urbana con una velocidad de 100 Km/h.

En referencia al protocolo de pruebas IMPLEMENTADO, las emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) reflejan un valor de 6,96% en el catalizador usado y un valor de 4,03% en el catalizador tratado, obteniendo una disminución del 3,15%, a su vez el monóxido de carbono ( $CO$ ) se presenta con un valor de 0,56% con el catalizador usado y con el catalizador tratado se observa un valor de 0,09%, verificando una disminución de las emisiones luego del tratamiento del 0,47%, para el  $O_2$  se indica una medición del 10,55% del catalizador usado y un valor de 14,50% del catalizador tratado, patentizando un aumento de emisiones de  $O_2$  del 3,95% en valores de emisiones; de igual forma en los hidrocarburos ( $HC$ ) se aprecia una disminución en las emisiones, cambiando de un valor de 41,53 ppm en el catalizador usado a un valor de medición de 35,25 ppm en el catalizador tratado, por lo tanto, se halla una disminución en las emisiones de hidrocarburos de 6,28 ppm.



### 5.2.5 Prueba en zona extra urbana a 120 Km/h

En la tabla se observa los promedios respectivos en base a las pruebas realizadas en zona extra urbana a una velocidad de 120 Km/h con ayuda tanto del catalizador usado como del catalizador tratado.

**Tabla 62**

*Promedios de la prueba en zona extra urbana a 120 Km/h*

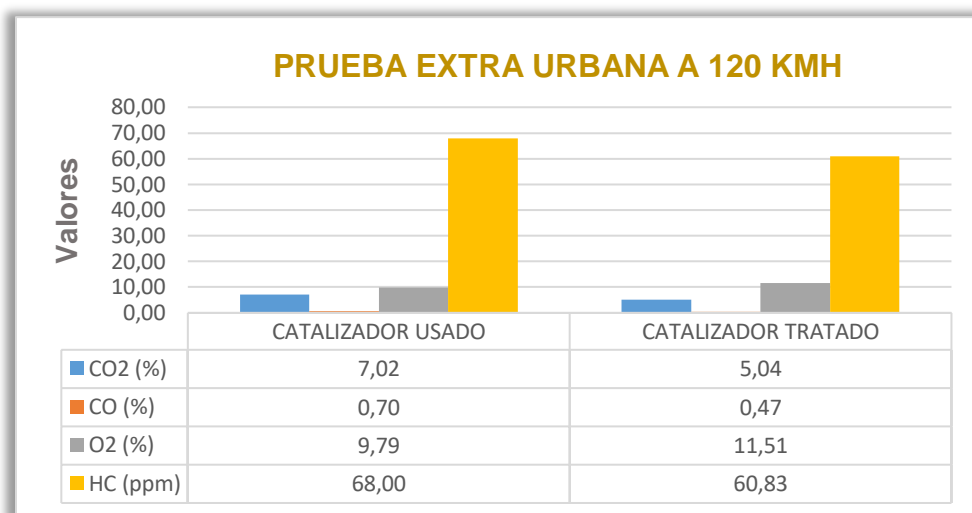
	<i>CO<sub>2</sub> (%)</i>	<i>CO (%)</i>	<i>O<sub>2</sub> (%)</i>	<i>HC (ppm)</i>
<b>Catalizador Usado</b>	7,02	0,70	9,79	68,00
<b>Catalizador Tratado</b>	5,04	0,47	11,51	60,83

Nota. En la tabla se aprecian los resultados promedios de la prueba correspondiente a zona extra urbana a una velocidad de 120 Km/h entre el catalizador usado y el catalizador tratado.

La figura 83 refleja los resultados de la prueba realizada en zona extra urbana a una velocidad de 120 Km/h, con catalizador usado y catalizador tratado, verificando la función principal del catalizador tratado la cual consiste en disminuir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

Figura 83

Resultados de la prueba en zona extra urbana a 120 Km/h



*Nota.* En la imagen se observa la tabla comparativa en referencia a la prueba en zona extra urbana con una velocidad de 120 Km/h utilizando un catalizador usado y un catalizador tratado.

En base al protocolo de pruebas NEDC las emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) reflejan un valor de emisiones de 7,02% en el catalizador usado y un valor de 5,04% en el catalizador tratado, presentando una disminución de emisiones del 1,98%, a su vez el monóxido de carbono ( $CO$ ) se halla con un valor de 0,70% con el catalizador usado y con el catalizador tratado se observa un valor de 0,47%, mostrando una disminución de las emisiones luego del tratamiento del 0,23%, para el  $O_2$  se evidencia una medición del 9,79% del catalizador usado y un valor de 11,51% del catalizador tratado, en otras palabras se indica un aumento en las emisiones de  $O_2$  del 1,72%; de igual forma en los hidrocarburos ( $HC$ ) se encuentran con una disminución en las emisiones, variando de un valor de 68,00 ppm en el catalizador usado a un valor de

medición de 60,83 *ppm* en el catalizador tratado, por lo tanto, se presenta una disminución en las emisiones de hidrocarburos de 7,17 *ppm*.

### 5.2.6 Prueba en zona extra urbana a 130 Km/h

Los promedios respectivos en base a las pruebas realizadas en zona extra urbana a una velocidad de 130 *Km/h* con ayuda tanto del catalizador usado como del catalizador tratado, se pueden observar en la tabla siguiente.

**Tabla 63**

*Promedios de la prueba en zona extra urbana a 130 Km/h*

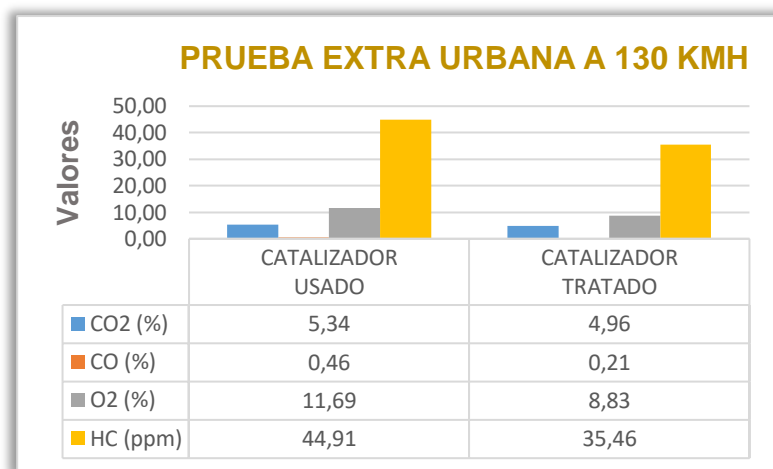
	<i>CO<sub>2</sub></i> (%)	<i>CO</i> (%)	<i>O<sub>2</sub></i> (%)	<i>HC</i> ( <i>ppm</i> )
<b>Catalizador Usado</b>	5,34	0,46	11,69	44,91
<b>Catalizador Tratado</b>	4,96	0,21	8,83	35,46

*Nota.* En la tabla se presentan los resultados promedios de la prueba correspondiente a zona extra urbana a una velocidad de 130 *Km/h*.

La figura 84 presenta los resultados de la prueba realizada en zona extra urbana a una velocidad de 130 *Km/h*, utilizando un catalizador usado y un catalizador tratado, determinando si el mismo cumple con la función principal de reducir las emisiones de gases contaminantes emitidos por el vehículo.

**Figura 84**

Resultados promedios de la prueba en zona extra urbana a 130 Km/h



*Nota.* En la imagen se observa la tabla comparativa en referencia a la prueba a 130 Km/h entre un catalizador usado y un catalizador tratado en barras.

En base al protocolo de pruebas WLTP las emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), reflejan un valor de 5,35% en el catalizador usado y un valor de 4,96% en el catalizador tratado, mostrando una disminución de emisiones del 0,38%, el monóxido de carbono ( $CO$ ) comparece un valor de emisiones de 0,46% con el catalizador usado y con el catalizador tratado se observa un valor de 0,21%, exhibiendo una disminución de las emisiones luego del tratamiento del 0,25%, para el  $O_2$  se observa una medición del 11,69% del catalizador usado y un valor de 8,83% del catalizador tratado, apareciendo una disminución de emisiones de  $O_2$  del 2,86% en valores de emisiones; finalmente en los hidrocarburos ( $HC$ ) se verifica una disminución en las emisiones, variando de un valor de 44,91 ppm en el catalizador usado a un valor de medición de 35,46 ppm en el catalizador tratado, por lo tanto, se halla una disminución en las emisiones de hidrocarburos de 9,45 ppm.

## Capítulo VI

### 6 Marco administrativo

#### 6.1 Recursos

La investigación “ANÁLISIS TERMOGRÁFICO DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS RECUPERADOS, MEDIANTE REACCIÓN REDOX E INYECCIÓN DE GASES INERTES” utilizó los recursos humanos, materiales y tecnológicos.

##### 6.1.1 Recursos humanos

En la tabla se indican los recursos humanos que formaron parte en la ejecución del trabajo de investigación.

**Tabla 64**

*Recursos humanos*

Orden	Detalle	Cantidad	Función
1	Sr. Edison Daniel Salguero Almachi	1	Investigador
2	Sr. Andres Mauricio Amán Cuadrado	1	Investigador
3	Ing. Leonidas Antonio Quiroz Erazo	1	Director del trabajo de titulación

*Nota.* La tabla muestra los recursos humanos que formaron parte del trabajo de investigación.

##### 6.1.2 Recursos tecnológicos

Los recursos tecnológicos que fueron necesarios para la investigación se detallan en la tabla en la que se indica el detalle, cantidad y costo.

**Tabla 65***Recursos tecnológicos*

<b>Orden</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
1	Software de emisiones y laptop	1	\$ 284.00
2	Analizador AGS 688	1	\$ 0.00
3	Medidor MGT 300	1	\$ 0.00
4	Analizador KANE PLUS	1	\$ 0.00
5	Cámara termográfica FLUKE	1	\$ 0.00
6	Equipo de tratamiento a temperatura programada de convertidores catalíticos	1	\$ 0.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 284.00</b>

*Nota.* Se reflejan los recursos tecnológicos que formaron parte del proyecto de investigación.

**6.1.3 Recursos materiales**

Los recursos materiales que intervinieron en el trabajo de investigación se detallan en la tabla.

**Tabla 66***Recursos materiales*

<b>Orden</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
1	Sensor O2 del equipo AGS 688	1	\$ 85.00	\$ 85.00
2	Trampa de agua del equipo AGS 688	1	\$ 23.00	\$ 23.00
3	Trampa de agua del equipo Kane Plus	1	\$ 23.00	\$ 23.00
4	Sonda del equipo Kane Plus	1	\$ 125.00	\$ 125.00
5	Tanque de oxígeno	1	\$ 170.00	\$ 170.00
6	Tanque de nitrógeno	1	\$ 170.00	\$ 170.00
7	Recarga de oxígeno en $m^3$	2	\$ 25.00	\$ 50.00
8	Recarga de nitrógeno en $m^3$	2	\$ 25.00	\$ 50.00
9	Manómetro de oxígeno	1	\$ 90.00	\$ 90.00
10	Manómetro de nitrógeno	1	\$ 100.00	\$ 100.00

Orden	Detalle	Cantidad	Costo unitario	Costo total
11	Catalizadores	2	\$ 200.00	\$ 400.00
12	Adaptación de catalizadores en el vehículo de prueba	1	\$ 50.00	\$ 50.00
13	Filtros Mahle KL13	16	\$ 11.00	\$ 176.00
14	Kit de filtros Kane Plus	1	\$ 16.00	\$ 16.00
15	Estructura para el equipo de tratamiento de catalizadores	1	\$ 80.00	\$ 80.00
15	Cableado de los reactores	1	\$ 25.00	\$ 25.00
16	Resistencias tipo abrazadera	2	\$ 37.00	\$ 74.00
17	Repuestos para el ABC de motor del vehículo de prueba	1	\$ 70.00	\$ 70.00
18	Combustible en galones para pruebas estáticas, dinámicas y recorridos.	50	\$ 2.50	\$ 125.00
19	Protectores para los equipos de emisiones	2	\$ 10.00	\$ 20.00
20	Probetas	13	\$ 1.00	\$ 13.00
21	Porta probetas	1	\$ 8.00	\$ 8.00
22	Placas	8	\$ 2.00	\$ 16.00
23	Adhesivos	4	\$ 7.00	\$ 28.00
TOTAL				\$ 1987.00

*Nota.* En la tabla se refleja los detalles, cantidad y costo de los recursos materiales que fueron utilizados en el trabajo de investigación.

## 6.2 Presupuesto

### 6.2.1 Costo de calibración de equipos

Para realizar las pruebas de emisiones es necesario calibrar los equipos tanto el analizador AGS 688 el cual se emplea en pruebas estáticas como el Kane Plus empleado en pruebas dinámicas, en la tabla se indica el costo de calibración.

**Tabla 67***Costo de calibración de equipos*

<b>Orden</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
1	Calibración de equipos AGS 688 y Kane Plus	1	\$ 340.00	\$ 340.00
TOTAL				\$ 340.00

*Nota.* En la tabla se indican el costo de la calibración de los equipos para medir emisiones.

### **6.2.2 Costo neto del proyecto**

El costo neto del proyecto: “ANÁLISIS TERMOGRÁFICO DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS RECUPERADOS, MEDIANTE REACCIÓN REDOX E INYECCIÓN DE GASES INERTES”, se detallan a continuación.

**Tabla 68***Costo neto del proyecto*

<b>Orden</b>	<b>Detalle</b>	<b>Costo</b>
1	Recursos tecnológicos	\$ 284.00
2	Recursos materiales	\$ 1987.00
3	Costo de calibración de equipos	\$ 340.00
TOTAL		\$ 2611.00

*Nota.* La tabla muestra el costo total del proyecto de investigación, siendo este costo la suma de los recursos tecnológicos, materiales y el costo de calibración de equipos.

### **6.3 Financiamiento**

El financiamiento del proyecto de investigación se estructura de la colaboración



de los estudiantes investigadores, y del Centro de Nanociencia y Nanotecnología de la ESPE, en la tabla se muestran los detalles de las partes involucradas en el financiamiento.

**Tabla 69**

*Financiamiento del proyecto*

<b>Orden</b>	<b>Detalle</b>	<b>Costo</b>
1	Financiamiento de los investigadores	\$ 2611.00
2	Pruebas SEM (CENCINAT)	\$ 0.00
3	Pruebas EDS (CENCINAT)	\$ 0.00
	TOTAL	\$ 2611.00

*Nota.* La tabla muestra el financiamiento del proyecto de investigación.

## Conclusiones

- Se fundamentó teóricamente la reutilización de los convertidores catalíticos automotrices a través de fuentes bibliográficas confiables, mismos que pueden ser sometidos a tratamientos con equipos de limpieza y así poder recuperar la mayor parte de los metales nobles que conforman al monolito del convertidor catalítico.
- El diseño del equipo de tratamiento y recuperación de convertidores catalíticos se sustentó a través de herramientas CAD y sus simulaciones de las partes involucradas, siendo estas la parte mecánica, neumática, eléctrica y electrónica, permitiendo obtener resultados como factor de seguridad, desplazamientos, temperatura, presión; de la misma forma se realizó la simulación del comportamiento de los gases vectores que convergen en el interior de los reactores con los catalizadores y muestras en el proceso de recuperación.
- Se patentizó la reutilización de convertidores catalíticos a través de procesos de oxidación – reducción de los metales presentes en el monolito, por medio de la inserción de un flujo de gases vectores en condiciones de tiempo y temperatura programada, verificando su eficacia a través de pruebas de emisiones estáticas y dinámicas, con objeto de evidenciar que el tratamiento efectuado en los convertidores catalíticos haya sido el correcto.
- El análisis termográfico ha permitido realizar un control de la eficiencia de los convertidores catalíticos recuperados a través del proceso redox e inyección de gases inertes.
- El análisis de presión desarrollado en la distribución de cañerías con ayuda del diseño asistido por computador, permitió establecer el flujo de los gases

vectores de nitrógeno y oxígeno a los cuales están sometidos los mismos, evidenciando una presión de  $206\,319\text{ Pa}$  ( $29.93\text{ PSI}$ ) en línea de alta presión y en línea de baja una presión de  $112\,991\text{ Pa}$  ( $16.39\text{ PSI}$ ), puesto que la participación de los gases vectores en el tratamiento son indispensables debido a que mejoran la eficiencia de la redistribución de cada uno de los metales presentes en el monolito del catalizador.

- Se estableció un proceso de recuperación de convertidores catalíticos, el cual se encuentra expresado en diagramas de flujo, considerando parámetros importantes a la hora del tratamiento, mismos que se encuentran descritos en el trabajo de investigación, entre los parámetros se encuentran; temperatura de tratamiento establecida a  $300^{\circ}\text{C}$ ,  $450^{\circ}\text{C}$  y  $600^{\circ}\text{C}$ , entre el caudal regulado de los gases vectores de oxígeno y nitrógeno se define valores de  $100\text{ cm}^3/\text{min}$ ,  $150\text{ cm}^3/\text{min}$ ,  $60\text{ cm}^3/\text{min}$ , finalmente los tiempos de recuperación están definidos en valores de  $60\text{ min}$ ,  $45\text{ min}$ ,  $36\text{ min}$ ,  $30\text{ min}$  y  $22\text{ min}$ ., disminuye el porcentaje de emisión del Oxígeno alcanzando un  $0.93\%$ .
- Se empleó la termografía en el proceso de tratamiento y recuperación de convertidores catalíticos, el equipo termográfico permito realizar un control del comportamiento del equipo de recuperación a la hora del proceso, ayudando a controlar las temperaturas presentes al recuperar un convertidor catalítico, las temperaturas involucradas fueron; temperatura de entrada, temperatura de salida, temperatura del monolito y temperatura de la resistencia las cuales son comparadas a través de las imágenes térmicas y los paneles de programación y control de temperaturas, con el fin de obtener un seguimiento adecuado del proceso de recuperación de los convertidores catalíticos.
- Se obtuvieron trece muestras de monolito de las cuales doce fueron sometidas a

las condiciones de tratamiento, posteriormente fueron enviadas al laboratorio para obtener resultados SEM (Microscopía electrónica de barrido) Y EDS (Espectroscopia de rayos X) cuyos resultados están descritos en el trabajo de investigación, en SEM se obtuvo en micras un mejor campo de visualización de los elementos que se encuentran en el monolito como son Pt, Pd, Rh, respecto a EDS se analiza el espectro de la muestra en porcentaje de masa, comparando elementos como; Al, Si, Cr, Fe, Ni, Cu, Rh, Pd y Pt.

- Con el fin de validar el proceso de recuperación los catalizadores tratados fueron sometidos a pruebas estáticas empleando equipos de análisis de emisiones, en ralentí en el modo de pruebas continuas el catalizador usado presenta 0.44% de CO, mientras que el catalizador tratado presenta un valor de 0% de CO, lo que equivale a una disminución del 100% del monóxido de carbono, respecto a los hidrocarburos se presenta una disminución del 95.15% pasando de 152.71ppm en el catalizador usado a 7.40 ppm en el catalizador tratado, finalmente lambda presente un incremento de 1.02 en el convertidor catalítico usado a 1.03 en el convertidor catalítico tratado.
- En pruebas estáticas en el modo de pruebas continuas a 1500 rpm, comparando los valores de monóxido de carbono se alcanzó una disminución del 71.93% dado que en el catalizador usado se presenta un valor de 0.57 % de CO descendiendo a 0.16% de CO en el catalizador tratado, respecto a los hidrocarburos se obtuvo una disminución del 83.12% pasando de 317.57ppm en el catalizador usado a 53.60 ppm en el catalizador tratado, finalmente lambda presente una disminución de 1.03 en el convertidor catalítico usado a 1.02 en el convertidor catalítico tratado.
- En pruebas dinámicas, en la prueba realizada en zona urbana y siguiendo el

protocolo de pruebas NEDC de emisiones de gases vehiculares, al realizar la prueba a una velocidad de 33.6 Km/h y comparando los resultados obtenidos de la prueba con la utilización del catalizador usado con el catalizador tratado; se obtuvo una disminución del 9,52% de emisiones de CO<sub>2</sub> entre ambos catalizadores, de igual forma con las emisiones de CO se obtuvo una disminución de las emisiones del 4,67%, respecto a las emisiones de oxígeno en el catalizador usado se obtuvo un valor de 6,16% y en el catalizador tratado un valor de emisión de 13,05% presentando un aumento de las emisiones entre ambos catalizadores de 6,89% y finalmente para los hidrocarburos se obtuvo una reducción considerable de las emisiones de 226,84 ppm entre los dos catalizadores utilizados en el desarrollo de la prueba.

- En pruebas dinámicas en el modo de pruebas en zona extra urbana, se realizó la prueba a una velocidad de 120 Km/h, se obtuvo mediciones de 7,02% de CO<sub>2</sub> para el catalizador usado y valores de 5,04% para el catalizador tratado, por lo cual, se presenta una disminución en emisiones de 1,98% para el CO<sub>2</sub>; en las emisiones de CO se obtuvo una diferencia positiva de las emisiones de 0,23%, respecto a las emisiones de oxígeno en el catalizador usado se obtuvo un valor de 9,79% y en el catalizador tratado un valor de emisión de 11,51% presentando un aumento de las emisiones entre ambos catalizadores de 1,72% y finalmente para los hidrocarburos se obtuvo una reducción considerable de las emisiones de 7,17 ppm entre los dos catalizadores, debido a que el catalizador usado presentó emisiones de 68 ppm y el catalizador tratado emisiones de 60,83 ppm.

## Recomendaciones

- Se sugiere continuar con el estudio de la recuperación de convertidores catalíticos, empleando nuevos avances tecnológicos, manejando otros gases vectores que permitan obtener una mejor eficiencia en el proceso de tratamiento, y corroborando la recuperación con ayuda de equipos que permiten medir emisiones.
- Se aconseja emplear herramientas CAD adecuadas para el diseño del equipo de recuperación de convertidores catalíticos, adicionalmente tomar en consideración los parámetros respectivos que se involucran con el diseño y simulaciones de la parte mecánica, neumática, eléctrica y electrónica.
- Para establecer el inicio de las pruebas en condiciones estáticas y dinámicas, se sugiere la calibración respectiva de cada uno de los analizadores de emisiones de gases como lo son el AGS-688 y el Kane AUTOPLUS 4-2, mismos que permitan obtener datos precisos en cada una de las pruebas antes mencionadas y que a su vez se resguarda el tiempo de vida útil de cada uno de estos equipos.
- Se incita a realizar el tratamiento de los convertidores catalíticos tomando en consideración los parámetros mencionados en el trabajo de investigación los cuales son; tiempo de tratamiento, temperatura, y caudal regulado, verificando el buen funcionamiento del equipo previo a iniciar el proceso de tratamiento.
- Cuando se pretende caracterizar materiales del monolito, es importante que las muestras tratadas en el equipo sean almacenadas inmediatamente

en frascos de vidrio o tubos de ensayo al finalizar el tratamiento, con el fin de evitar contaminación.

- Validar el proceso de tratamiento de los convertidores catalíticos empleando equipos para el análisis de emisiones como el AGS 688, lo cual permitirá determinar el nivel de recuperación de los catalizadores en función de las condiciones iniciales de los mismos.
- Promover el uso respectivo del equipo de tratamiento de convertidores catalíticos, realizando una revisión previa del equipo con objeto de verificar si el mismo se encuentra en un estado adecuado de trabajo.
- Cuando se realizan las pruebas estáticas es indispensable realizar un chequeo previo al equipo, realizar una prueba de estanqueidad con el fin de evitar inconvenientes en el proceso de prueba o resultados erróneos.
- Avivar a cada uno de los estudiantes a realizar investigaciones futuras, mismas que impulsen al cuidado del medio ambiente, con el fin de reducir la contaminación ambiental emitidas por los gases vehiculares.

## Bibliografía

- ACEROS, I. (15 de Mayo de 2019). *IMPORT ACEROS*. Recuperado el 30 de Marzo de 2021, de <https://www.importaceros.com/ecuador-quito/tuberia-redonda-acero-inoxidable-304/>
- Acuña, R. (2006, p.5). Síntesis y caracterización de catalizadores no soportados de sulfuros de Ni, Mo y W para la HDS de DBT. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 9. Recuperado el 30 de Marzo de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/620/62050315.pdf>
- AEADE. (2019, p.90). *AEADE-Anuario-2019*. Quito: AEADE. Recuperado el 27 de Marzo de 2021, de [http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2020/07/AEADE-ANUARIO-2019-OK\\_1.pdf](http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2020/07/AEADE-ANUARIO-2019-OK_1.pdf)
- ASTM. (2014, p.3). *Guía estándar para examinar equipos eléctricos y mecánicos con termografía infrarroja*. Madrid. Recuperado el 28 de Marzo de 2021, de <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/E1934-99A.htm>
- ASTM. (2017, p.1). *Métodos de prueba estándar para medir y compensar la emisividad utilizando radiómetros de imágenes infrarrojas*. Madrid. Recuperado el 29 de Marzo de 2021, de <https://impic.es/wp-content/uploads/2017/03/ASTM-E1933-99.pdf>
- ASTM. (2018, p.2). *Práctica estándar para la diferencia de temperatura mínima resoluble para sistemas de imágenes térmicas*. Madrid. Recuperado el 28 de Marzo de 2021, de <http://materialstandard.com/wp-content/uploads/2019/10/E1213-14.pdf>
- Badía, C. F.-B. (2016, p.1-2). *Energética del hidrógeno*. Madrid: Estado Actualy Perspectivas del Futuro. doi:10.1000/182
- Bleiwas, D. I. (2013, p.5). *Potential for Recovery of Cerium Contained in Automotive*



- Catalytic Converters*. Virginia: USGS. Recuperado el 29 de Marzo de 2021, de <https://pubs.usgs.gov/of/2013/1037/OFR2013-1037.pdf>
- Caballero, M. S. (2015, p.3). *Introducción a la Química Analítica*. Argentina. Recuperado el 31 de Marzo de 2021, de <https://aulavirtual4.unl.edu.ar>
- Caisalitín, C. (2021). *Investigación de la regeneración de convertidores catalíticos de vehículos mediante el sistema de tratamiento de metales de monolitos*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Latacunga: ESPEL. doi:10.1000/182
- Calvino, V. (2016, p.86). *Intensificación de Procesos para la Síntesis de Heterociclos Nitrogenados: Carbones Activados y Activación Ultrasónica*. Madrid. Recuperado el 05 de Abril de 2021, de [http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:Ciencias-Sferrera/FERRERA\\_ESCUDERO\\_Santiago\\_Tesis.pdf](http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:Ciencias-Sferrera/FERRERA_ESCUDERO_Santiago_Tesis.pdf)
- Chamorro, H. (2020). *Estudio de los Métodos de Limpieza de Catalizadores Automotrices y Propuesta de Diseño y Construcción de un Equipo de Tratamiento para la Reutilización de los Convertidores Catalíticos Desgastados*. Latacunga: ESPEL. doi:10.1000/182
- Comisión de Movilidad DMQ. (2018, p.5). *Comisión de Movilidad - EJE TERRITORIAL*. Quito. Recuperado el 29 de Marzo de 2021, de [http://www7.quito.gob.ec/mdmq\\_ordenanzas/Proyectos%20Ordenanzas/475/IC-O-2018-394.pdf](http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Proyectos%20Ordenanzas/475/IC-O-2018-394.pdf)
- Comisión del Parlamento Europeo. (2018, p.2). *Calidad de la gasolina y el gasóleo utilizados en el transporte por carretera en la Unión Europea*. Bruselas. Recuperado el 28 de Marzo de 2021, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0056&from=EN>
- Díaz, J. C. (2016, pp.29-30). *Recuperación Electroquímica de Platino y Paladio a partir*

*de los Convertidores Catalíticos Agotados que Forman parte del Sistema de Combustión de los Automóviles.* Quito: UCE. Recuperado el 05 de Abril de 2021, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15017/1/T-UCE-0008-Q015-2018.pdf>

EIA. (18 de Noviembre de 2020). *EIA*. Recuperado el 27 de Marzo de 2021, de <https://www.eia.gov/energyexplained/gasoline/octane-in-depth.php#:~:text=Retail%20gasoline%20stations%20in%20the,fuel%E2%80%933generally%2091%E2%80%93394>)

FLIR. (2015, p.4). *Guía informativa del uso de cámaras termográficas en aplicaciones industriales.* México. Recuperado el 30 de Marzo de 2021, de [https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264\\_ES.pdf](https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_ES.pdf)

FLUKE. (2017, p.7). *Instrumentos de infrarrojos de Fluke.* Madrid. Recuperado el 29 de Marzo de 2021, de [https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/5159/6004503c-es-Ti-full-line-brochure-w--1-.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/5159/6004503c-es-Ti-full-line-brochure-w--1-.pdf)

García, A. S. (2015, p.59). *Análisis Teórico Práctico y Comparación en el Tiempo para Determinar el Rendimiento de un Convertidor Catalítico de Tres Vías Implementao en un Vehículo Público que Utiliza Gasolina Extra en el DMQ.* Quito: UTE. Recuperado el 29 de Marzo de 2021, de [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14025/1/63033\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14025/1/63033_1.pdf)

Hidalgo, M. G. (2010, p.67). *Metodología de Pruebas para la Evaluación de Convertidores Catalíticos en Motores a Gasolina.* Quito: EPN. Recuperado el 28 de Marzo de 2021, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2255/1/CD-2998.pdf>

Iberisa. (25 de Enero de 2018). *Iberisa*. Recuperado el 28 de Marzo de 2021, de

<https://iberisasl.com/maquina-de-limpieza-de-filtros-de-particulas-y-catalizadores-dpf1800/>

INEC. (2020, p.7). *Anuario de Estadísticas de Transporte 2019*. Quito: INEC.

Recuperado el 26 de Marzo de 2021, de

<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web->

[inec/Estadisticas\\_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/2019/2019\\_AN ET\\_PPT.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/2019/2019_AN ET_PPT.pdf)

Innocenzi, V. (2015, p.2). Tratamiento de catalizadores usados de craqueo catalítico

fluido para recuperar lantano y cerio: Comparación entre precipitación electiva y extracción con solvente. *Revista de Química Industrial e Ingeniería*, 6.

Recuperado el 29 de Marzo de 2021, de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1226086X14004572?via%3Dihub>

Mafla, C. (2015, p.3). Estudio del Ciclo de Vida de los Catalizadores en Motores Diésel.

Recuperado el 30 de Marzo de 2021, de

<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8090/2/ART%C3%8DCULO.pdf>

Martínez, N. I. (2015, p.17). *Análisis Térmico y Modal de un Convertidor Catalítico*

*Mediante el Método de Elemento Finito*. México. Recuperado el 31 de Marzo de 2021, de <http://eprints.uanl.mx/9562/1/1080214956.pdf>

Martins, C. (1 de Abril de 2005, p.3). 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*, 9. Recuperado el 29 de

Marzo de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/2251/225118180004.pdf>

Mena, J. B. (2020, p.36). *Estudio de la Recuperación de Metales de Convertidores*

- Catalíticos usados de Vehículos Mediante Procesos Hidrometalúrgicos*. Quito: EPN. Recuperado el 29 de Marzo de 2021, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21106/1/CD%2010623.pdf>
- Ordoñez, P. (2021). *Investigación de los métodos de limpieza por oxidación y redistribución de metales del monolito de convertidores catalíticos de vehículos mediante protocolos armonizados*. Latacunga: ESPEL. doi:10.1000/182
- Otón. (18 de Junio de 2017). *Otón*. Recuperado el 30 de Marzo de 2021, de <http://suministrosoton.com/dpfrevivalc500>
- Perdomo(PhD), C. (2015). *NITRÓGENO*. Montevideo: Facultad de Agronomía Univesidad de la República. Recuperado el 24 de Junio de 2021, de <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>
- Perdomo, C. (2015, p.5). *Nitrógeno*. Montevideo. Recuperado el 29 de Marzo de 2021, de <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>
- Pilco, W. R. (2009, p.5). *Recuperación del platino, paldio y rodio a partir de los convertidores catalíticos usados de los automóviles*. Quito: EPN. Recuperado el 29 de Marzo de 2021, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1701>
- Pullupaxi, J. C. (2013, p.21). *Dieño e Implementación de un Banco de Pruebas Automatizado para Convertidores Catalíticos*. Latacunga: ESPE. Recuperado el 28 de Marzo de 2021, de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6773/1/T-ESPEL-MAI-0421.pdf>
- Residuales, A. (27 de Julio de 2020). *AGUASRESIDUALES*. Recuperado el 30 de Marzo de 2021, de <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/las-formas-multiples-del-nitrogeno>
- RKCINST. (17 de Abril de 2019). *RKCINST*. Recuperado el 29 de Marzo de 2021, de <https://www.rkcinst.co.jp/english/downlaods/8933/imnzc22e1/>

- Robalino, S. (2018, p.2). *Eficiencia Térmica de los Catalizadores*. Quito: UIDE.  
Recuperado el 28 de Marzo de 2021, de <https://repositorio.uide.edu.ec>
- Romero, A. (2004, p.42). *Catalizadores y Procesos Catalíticos*. Madrid. Recuperado el 29 de Marzo de 2021, de  
[https://rac.es/ficheros/ficheros/Discursos/DR\\_20080825\\_148.pdf](https://rac.es/ficheros/ficheros/Discursos/DR_20080825_148.pdf)
- Ruiz, J. (2014, p.4). *Metodologías para la evaluación de la exposición a agentes químicos por vía inhalatoria*. Madrid. Recuperado el 31 de Marzo de 2021, de  
[https://issga.xunta.es/export/sites/default/recursos/descargas/documentacion/material-formativo/relatorios/2014\\_10\\_Avaliacixn\\_Rande\\_Javier\\_ruiz\\_FREMAP.pdf](https://issga.xunta.es/export/sites/default/recursos/descargas/documentacion/material-formativo/relatorios/2014_10_Avaliacixn_Rande_Javier_ruiz_FREMAP.pdf)
- Santos, E. d. (Junio de 2012, p.5). Síntesis y caracterización de catalizadores Ni/MCM-22, Pt/MCM-22 y Pt-Ni/MCM-22. *Avances en Ciencias e Ingeniería - ISSN, 13*.  
Recuperado el 29 de Marzo de 2021, de  
<https://www.redalyc.org/pdf/3236/323627686004.pdf>
- Secretaría del Ambiente. (2012, p.3). *Análisis de Combustibles del Distrito Metropolitano de Quito: Campaña Septiembre 2012*. Quito. Recuperado el 27 de Marzo de 2021, de <https://www.aneta.org.ec/wp-content/uploads/2018/06/OCTANAJE-SECRETARIA-AMBIENTE.pdf>
- Solórzano, F. G. (2011, pp.12-14). *Estudio de Factibilidad para la Construcción de Carcasas y Ensamblaje de Convertidores Catalíticos para el Parque Automotor de las Ciudades de Quito y Cuenca*. Quito: EPN. Recuperado el 30 de Marzo de 2021, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3832/1/CD-3603.pdf>
- Suárez, K. (2018, p.3). *Un poco de todo sobre el Hidrógeno*. México. Recuperado el 30 de Marzo de 2021, de  
[https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/70\\_1/PDF/Hidrogeno.pdf](https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/70_1/PDF/Hidrogeno.pdf)
- Vásquez, D. D. (2015, p.33). *Análisis del Sistema de Control de Emisiones del Chevrolet*

- SAIL 1.4L 2012. Guayaquil: UIDE. Recuperado el 29 de Marzo de 2021, de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/462/1/T-UIDE-0440.pdf>
- Vega, D. (30 de Diciembre de 2015, p.2). Inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito. *AVANCES EN CIENCIAS E INGENIERÍAS*, 9. Recuperado el 29 de Marzo de 2021, de <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/270/271>
- Yugcha, C. (2019, pp.76-77). *Estudio de la redistribución de metales del monolito en convertidores catalíticos de automóviles mediante técnicas de oxidación y reducción a temperatura programada para la eliminación del coque*. Latacunga. Recuperado el 31 de Marzo de 2021, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/21250/1/T-ESPEL-MAI-0675.pdf>
- Yunes A Cengel, M. A. (2012). *Termodinámica* (Vol. VII). (P. E. Vázquez, Ed.) México: Mc Graw Hill. doi:10.1000/182
- Zayas, M. (2005, pp.4-30). *Síntesis por SOL-GEL y Caracterización de Catalizadores Ag/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CeO<sub>2</sub> para la Eliminación del Óxido Nítrico*. Puebla. Recuperado el 30 de Marzo de 2021, de [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/37/022/37022041.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/022/37022041.pdf)

**Anexos**