



# **ESPE**

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

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA**

**ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL**

**TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: “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”**

**AUTORES: CHAMORRO YAGUAL, JHON ANDRÉS**

**HEREDIA ROCHA, GLADYS ESTEFANÍA**

**DIRECTOR: ING: QUIROZ ERAZO, LEONIDAS ANTONIO**

**LATACUNGA**

**2020**



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

#### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“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”*** fue realizado por el señor, ***Chamorro Yagual, Jhon Andrés*** y la señorita, ***Heredia Rocha, Gladys Estefanía*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 23 de Enero del 2020

Firma:



Ing. QUIROZ ERAZO, LEONIDAS ANTONIO MSc.

C. C.: 0502509995



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

#### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, *Chamorro Yagual, Jhon Andrés* y *Heredia Rocha, Gladys Estefanía*, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***“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”*** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 23 de Enero del 2020

Firma:

Chamorro Yagual, Jhon Andrés

C. C.: 1718602582

Firma:

Heredia Rocha, Gladys Estefanía

C. C.: 0503317992



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

#### AUTORIZACIÓN

Nosotros, *Chamorro Yagual, Jhon Andrés* y *Heredia Rocha, Gladys Estefanía*, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**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**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 23 de Enero del 2020

Firma:

Chamorro Yagual, Jhon Andrés

C. C.: 1718602582

Firma:

Heredia Rocha, Gladys Estefanía

C. C.: 0503317992

## DEDICATORIA

*Todo el esfuerzo en este trabajo se lo dedico a mi familia quienes fueron y aún son los guías principales de mi vida, por darme su amor y fuerzas para seguir adelante.*

*Mi mami Esperanza, quien me brindo consejos, cariño y sobre todo su apoyo incondicional a lo lejos que estaba de ella, quiero dedicarle todo mi el esfuerzo hecho por mi hasta este momento tan grande de mi vida.*

*A mi papa Jhon, que me apoyaba y me hacía pensar en que para todo hay tiempo, quiero dedicarle todos mis logros hechos hasta ahora y quiero que sepan que todo lo que he logrado y lograré siempre les dedicare a mis padres.*

*A mis hermanos menores Pamela y Adonis quiero dedicarles los ejemplos y experiencias que he tenido a lo largo de este trayecto, porque como su hermano mayor quiero darles el ejemplo que sean mejores que yo con sus locuras y enojos, y quiero que sepan los dos que siempre estaré con ellos en las malas y buenas.*

*Por último, quiero dedicarle a mi novia Jeniffer que siempre estuvo allí apoyándome en todo lo que podía incluso en los estudios y aprendí que pasar en Latacunga es una de mis mejores alegrías que he tenido.*

**CHAMORRO YAGUAL, JHON ANDRÉS**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mi madre, América Rocha quién han sido la guía fundamental en mi vida y me ha permitido culminar esta etapa Universitaria, por esas palabras de aliento, el esfuerzo y sacrificio que ha sido indispensable para seguir adelante por un cumplir esta meta.

A mi familia por estar siempre presente acompañándome y dándome las fuerzas para seguir siempre adelante.

A mi esposo por ser ese amigo incondicional, que siempre estuvo ahí apoyándome, en las buenas y en las malas y por ser una persona muy humilde que me enseñó el verdadero valor de lo que es el sacrificio, que hace mi madre para que yo pueda cumplir este sueño tan anhelado.

**HEREDIA ROCHA, GLADYS ESTEFANIA**

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a mis padres Jhon Chamorro y Esperanza Yagual por apoyarme siempre durante mi carrera y no dejarme decaer en ningún momento.*

*A mis hermanos menores Pamela y Adonis que me daban las fuerzas para culminar otro paso trascendental en mi vida.*

*A mi querida novia Jeniffer por todo ese amor y experiencias únicas que me otorgó a lo largo de esta etapa.*

*A los docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz, especialmente al Ingeniero Leonidas Quiroz por sus conocimientos, experiencias y sobre todo la amistad que me han brindado durante mi estancia en la universidad.*

*A todos mis compañeros de la universidad, por todo su apoyo, experiencias compartidas y hacer amena la vida estudiantil.*

*Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas, por darme la oportunidad de haber podido estudiar en la Carrera de Ingeniería Automotriz, pese a estar lejos el tiempo lo recompensa.*

CHAMORRO YAGUAL, JHON ANDRES

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por sus bendiciones derramadas durante el transcurso de mi vida

Universitaria y por permitirme cumplir una de mis metas deseadas.

A mi madre América Rocha, mi orgullo de mujer y mi motivación más grande para seguir en busca de nuevas metas y oportunidades en mi vida, por su trabajo y esfuerzo de cada día, por su apoyo incondicional y su amor sincero.

A mi familia por sus palabras, su motivación y consejos que me inculcaban día a día, por su confianza que depositaron en mi ciegamente.

A mis amigos de la Universidad en especial forma a Panchin, Daniel, Ñañin, y Andresiño quien fue mi compañero de tesis, un gran amigo que me tuvo paciencia y me supo brindar su amistad sincera donde se compartió gratos momentos.

A mis queridos profesores Mauricio y Stalin que más que profesores fueron unos grandes amigos, que desde el inicio de carrera hasta hoy en día me brindaron su amistad, sus consejos de vida, y me enseñaron a seguir en busca por hacer realidad un sueño.

**HEREDIA ROCHA, GLADYS ESTEFANÍA**



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CARÁTULA

CERTIFICACIÓN .....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xxi
RESUMEN .....	xxii
ABSTRACT .....	xxiii

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes investigativos .....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	3
1.3. Descripción resumida del proyecto .....	4
1.4. Justificación e importancia .....	6
1.5. Objetivos del proyecto .....	7
1.5.1. Objetivo General .....	7
1.5.2. Objetivos específicos. ....	7
1.6. Metas .....	8
1.7. Hipótesis .....	9
1.8. Variables de la investigación .....	9
1.8.1. Variable dependiente .....	9
1.8.2. Variable independiente .....	9

1.9.	Metodología de la investigación .....	10
1.9.1.	Método Inductivo .....	10
1.9.2.	Método Deductivo.....	10
1.9.3.	Método Analítico .....	11
1.9.4.	Método Experimental.....	11
1.9.5.	Método de Medición .....	11

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1.	Convertidor Catalítico.....	12
2.2.	Productos de la combustión .....	13
2.3.	Tipos de convertidores catalíticos.....	13
2.3.1.	Convertidor Catalítico de Dos Vías .....	13
2.3.2.	Convertidor Catalítico de Tres Vías.....	14
2.4.	Procesos catalíticos .....	14
2.4.1.	Proceso de Oxidación.....	14
2.4.2.	Proceso de Reducción .....	15
2.5.	Tipos de combustión .....	16
2.5.1.	Combustión completa.....	16
2.5.2.	Combustión incompleta .....	16
2.5.3.	Combustión estequiométrico.....	17
2.6.	Normativas .....	17
2.6.1.	Norma INEN NTE 2203:2002 .....	17
2.6.2.	Norma INEN NTE 2204:2002 .....	17
2.7.	Métodos de limpieza .....	18
2.7.1.	Circulación de agua caliente a presión.....	18
2.7.2.	Sonocatálisis.....	18
2.7.3.	Productos especiales.....	19
2.8.	Principios mecánicos y eléctricos .....	19
2.8.1.	Carga puntal .....	19
2.8.2.	Soportes.....	20
2.8.3.	Volumen.....	21

2.8.4.	Momento de Inercia .....	22
2.8.5.	Tensión de Von Mises.....	23
2.8.6.	Conducción de calor.....	24
2.8.7.	Ley de Ohm.....	24
2.8.8.	Potencia.....	25
2.8.9.	Tiempo de carga de un capacitor .....	26
2.8.10.	Número de pulsos que envía el Arduino .....	26
2.9.	Lenguaje C++.....	27
2.10.	Equipo utilizado .....	27
2.10.1.	Pistola de aire caliente DEWALT .....	27
2.10.2.	Impresora térmica.....	28
2.10.3.	Arduino Mega .....	28
2.10.4.	Analizador de gases AGS-688 .....	28
2.10.5.	Analizador de gases KANE 4-2 Plus .....	29
2.10.6.	Medidor de revoluciones EVO MGT 300.....	29
2.10.7.	Conductores eléctricos .....	29
2.10.8.	Interruptores .....	29

### **CAPÍTULO III**

#### **DISEÑO DEL EQUIPO DE LIMPIEZA Y METODOLOGÍA DE TRATAMIENTO DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS AUTOMOTRICES**

3.1.	Diseño mecánico .....	30
3.1.1.	Estructura .....	30
a.	Selección de materiales .....	31
b.	Carga puntual .....	32
3.1.2.	Sistema de regulación .....	34
a.	Cargas puntual.....	34
b.	Esfuerzos en los puntos críticos .....	35
c.	Simulación.....	38
3.1.3.	Sistema de adaptación y fijación.....	40
3.2.	Diseño del Sistema neumático .....	41
3.2.1.	Selección de mangueras .....	42

3.2.2.	Velocidades .....	42
a.	Velocidad de entrada.....	42
b.	Velocidad de salida .....	44
3.2.3.	Concentrador de calor .....	44
a.	Trasferencia de temperatura.....	44
b.	Entrada y salida de temperatura del monolito.....	44
c.	Simulación.....	45
3.3.	Diseño eléctrico.....	47
3.3.1.	Pistola DeWalt .....	47
3.3.2.	Pantalla TFT .....	48
3.3.3.	Impresora térmica.....	49
3.3.4.	Arduino MEGA.....	49
3.4.	Diseño electrónico.....	50
3.4.1.	Control de temperatura.....	50
3.4.2.	Control de las Interfaces.....	52
3.4.3.	Módulo sensor de temperatura .....	53
3.4.4.	Conexión de la Impresora térmica .....	54
3.4.5.	Conexión de las Luces piloto .....	55
3.5.	Programación .....	57
3.5.1.	Lenguaje C .....	58
3.5.2.	Lenguaje de programación orientada a objetos.....	58
3.6.	Metodología de tratamiento de convertidores catalíticos automotrices .....	61
3.6.1.	Método manual.....	63
3.6.2.	Método automático.....	64

## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS DE TRATAMIENTO DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS Y EMISIONES EN CONDICIÓN ESTÁTICA Y DINÁMICA**

4.1.	Caracterización del convertidor catalítico.....	66
4.2.	Pruebas de tratamiento de limpieza de los convertidores catalíticos .....	68
4.2.1.	Método Manual .....	69
4.2.2.	Método automático.....	69

4.3.	Pruebas de emisiones .....	71
4.3.1.	Test oficial.....	71
a.	CC3 .....	73
b.	CC4 .....	73
4.3.2.	Estáticas.....	74
a.	CC1 .....	75
b.	CC2 .....	83
c.	CC3 .....	90
d.	CC4 .....	97
4.3.3.	Eficiencia catalítica .....	104
a.	CC3 .....	106
b.	CC4 .....	108
4.3.4.	Dinámicas.....	110
a.	CC1 .....	111
b.	CC2 .....	115
4.4.	Análisis de emisiones .....	119
4.4.1.	Comparación de emisiones estáticas .....	120
4.4.2.	Comparación de emisiones dinámicas .....	128
4.4.3.	Comparación de métodos de limpieza .....	131
a.	Evaluación estática.....	131
b.	Evaluación dinámica .....	134
c.	Resultados de método de limpieza.....	136
4.4.4.	Estadística – descripción de emisiones estáticas antes, después y con recorrido después del tratamiento del CC1 .....	136
4.4.5.	Estadística – descripción de emisiones estáticas antes, después y con recorrido después del tratamiento del CC2.....	140
4.4.6.	Estadística – descripción de emisiones estáticas antes, después y con recorrido después del tratamiento del CC3.....	144
4.4.7.	Estadística – descripción de emisiones estáticas antes, después y con recorrido después del tratamiento del CC4.....	148
4.4.8.	Estadística – descripción de emisiones dinámicas antes y después del tratamiento CC1 .....	152

4.4.9. Estadística – descripción de emisiones dinámicas antes y después del tratamiento CC2 .....	155
--	-----

## **CAPÍTULO V**

### **MARCO ADMINISTRATIVO**

5.1. Factibilidad.....	159
5.2. Recursos .....	159
5.2.1. Recursos humanos.....	159
5.2.2. Recursos materiales.....	160
5.2.3. Recursos tecnológicos.....	160
5.2.4. Recurso financiero .....	161
5.3. Título de la propuesta.....	161
5.3.1. Estructura de la propuesta .....	162
5.3.2. Desarrollo de la propuesta.....	162

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>163</b>
--------------------------	------------

<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>166</b>
------------------------------	------------

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>167</b>
---	------------

<b>ANEXOS .....</b>	<b>171</b>
---------------------	------------

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	<i>Operaciones de las variables dependientes</i> .....	9
<b>Tabla 2.</b>	<i>Operaciones de variables independientes</i> .....	10
<b>Tabla 3.</b>	<i>Reacción del Convertidor Catalítico de dos Vías</i> .....	14
<b>Tabla 4.</b>	<i>Reacción del Convertidor Catalítico de tres Vías</i> .....	14
<b>Tabla 5.</b>	<i>Especificaciones de la pistola DeWalt</i> .....	27
<b>Tabla 6.</b>	<i>Características Técnicas de Impresora Térmica</i> .....	28
<b>Tabla 7.</b>	<i>Propiedades del Acero Galvanizado</i> .....	31
<b>Tabla 8.</b>	<i>Peso y esfuerzo de la fuente térmica</i> .....	32
<b>Tabla 9.</b>	<i>Reacciones de la viga respecto a los ejes x-y</i> .....	33
<b>Tabla 10.</b>	<i>Cargas que Afectan el Sistema de Regulación</i> .....	35
<b>Tabla 11.</b>	<i>Momentos de inercia en ejes x, y, z</i> .....	36
<b>Tabla 12.</b>	<i>Fuerzas y pares de reacción en restricciones</i> .....	36
<b>Tabla 13.</b>	<i>Peso Real y Teórico Máximo</i> .....	37
<b>Tabla 14.</b>	<i>Dimensiones de las mangueras utilizadas</i> .....	42
<b>Tabla 15.</b>	<i>Área, Volumen y Velocidad Respecto a la Tubería</i> .....	43
<b>Tabla 16.</b>	<i>Parámetros de la transferencia</i> .....	44
<b>Tabla 17.</b>	<i>Temperatura de salida</i> .....	45
<b>Tabla 18.</b>	<i>Inicio de parámetros eléctricos</i> .....	47
<b>Tabla 19.</b>	<i>Intensidad para las resistencias</i> .....	51
<b>Tabla 20.</b>	<i>Características de convertidores catalíticos</i> .....	62
<b>Tabla 21.</b>	<i>Características de convertidores catalíticos</i> .....	63
<b>Tabla 22.</b>	<i>Metodología de limpieza automática</i> .....	65
<b>Tabla 23.</b>	<i>Metales Nobles del Convertidor Catalítico</i> .....	67
<b>Tabla 24.</b>	<i>Constitución del Monolito</i> .....	67
<b>Tabla 25.</b>	<i>Peso de los Convertidores Catalíticos Antes y Después del Tratamiento</i> .....	70
<b>Tabla 26.</b>	<i>Datos de emisiones T. Oficial CC3 – 3 vías y CC4 – 2 vías</i> .....	72
<b>Tabla 27.</b>	<i>Datos de emisiones T. Continuo - CC1 - 3 vías</i> .....	76
<b>Tabla 28.</b>	<i>Relación lambda CC1</i> .....	82
<b>Tabla 29.</b>	<i>Datos de emisiones T. Continuo - CC2 - 2 vías</i> .....	84

<b>Tabla 30.</b>	<i>Relación Lambda CC2</i> .....	89
<b>Tabla 31.</b>	<i>Datos de emisiones T. Continuo- CC3-3vías</i> .....	91
<b>Tabla 32.</b>	<i>Relación Lambda CC3</i> .....	96
<b>Tabla 33.</b>	<i>Datos de emisiones T. Continuo - CC4-2 vías</i> .....	98
<b>Tabla 34.</b>	<i>Relación Lambda CC4</i> .....	103
<b>Tabla 35.</b>	<i>Emisiones de acuerdo al código de colores</i> .....	105
<b>Tabla 36.</b>	<i>Datos de emisiones Dinámicas CC1 - 3 Vías</i> .....	112
<b>Tabla 37.</b>	<i>Datos de emisiones Dinámicas CC2 - 2 Vías</i> .....	116
<b>Tabla 38.</b>	<i>Eficiencia catalítica por métodos - 3 vías</i> .....	132
<b>Tabla 39.</b>	<i>Eficiencia catalítica por métodos - 3 vías</i> .....	133
<b>Tabla 40.</b>	<i>Eficiencia catalítica dinámicas de 3 y 2 vías</i> .....	135
<b>Tabla 41.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de HC – CC1 – 3 vías Prueba estática</i> .....	136
<b>Tabla 42.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO – CC1 – 3 vías Prueba estática</i> .....	138
<b>Tabla 43.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de O2 – CC1 – 3 vías Prueba estática</i> .....	139
<b>Tabla 44.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de HC – CC2 – 2 vías Prueba estática</i> .....	141
<b>Tabla 45.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO – CC2 – 2 vías Prueba estática</i> .....	142
<b>Tabla 46.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de O2 – CC2 – 2 vías Prueba estática</i> .....	143
<b>Tabla 47.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de HC – CC3 – 3 vías Prueba estática</i> .....	144
<b>Tabla 48.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO – CC3 – 3 vías Prueba estática</i> .....	146
<b>Tabla 49.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de O2 – CC3 – 3 vías Prueba estática</i> .....	147
<b>Tabla 50.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de HC – CC4 – 2 vías Prueba estática</i> .....	148
<b>Tabla 51.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO – CC4 – 2 vías Prueba</i>	



	<i>estática</i> .....	150
<b>Tabla 52.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de O<sub>2</sub> – CC<sub>4</sub> – 2 vías Prueba estática</i> .....	151
<b>Tabla 53.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de HC – CC<sub>1</sub> – 3 vías Prueba dinámica</i> .....	152
<b>Tabla 54.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO – CC<sub>1</sub> – 3 vías Prueba dinámica</i> .....	153
<b>Tabla 55.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de O<sub>2</sub> – CC<sub>1</sub> – 3 vías Prueba dinámica</i> .....	154
<b>Tabla 56.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de HC – CC<sub>2</sub> – 2 vías Prueba dinámica</i> .....	156
<b>Tabla 57.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO – CC<sub>2</sub> – 2 vías Prueba dinámica</i> .....	157
<b>Tabla 58.</b>	<i>Comparación estadística de las emisiones de O<sub>2</sub> – CC<sub>2</sub> – 2 vías Prueba dinámica</i> .....	158
<b>Tabla 59.</b>	<i>Recursos humanos utilizados en el proyecto de investigación</i> .....	160
<b>Tabla 60.</b>	<i>Recursos materiales utilizados en el proyecto de investigación</i> .....	160
<b>Tabla 61.</b>	<i>Recursos tecnológicos utilizados en el proyecto de investigación</i> .....	161
<b>Tabla 62.</b>	<i>Presupuesto utilizado en el proyecto de investigación</i> .....	161

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Árbol de problemas .....	4
<b>Figura 2.</b>	Estructura del catalizador .....	12
<b>Figura 3.</b>	Proceso de oxidación y reducción .....	15
<b>Figura 4.</b>	Carga Puntual en la estructura .....	33
<b>Figura 5.</b>	Simulación de estructura .....	33
<b>Figura 6.</b>	Tensiones en la placa base. ....	35
<b>Figura 7.</b>	Corte para método de aplastamiento .....	37
<b>Figura 8.</b>	Asignación de cargas y sujeciones fijas .....	38
<b>Figura 9.</b>	Tensión de Von Mises en la base y perno .....	39
<b>Figura 10.</b>	Distribución del coeficiente de seguridad en la base .....	40
<b>Figura 11.</b>	Convertidor catalítico para medir .....	41
<b>Figura 12.</b>	Acoples de los convertidores catalíticos .....	41
<b>Figura 13.</b>	Tubería y manguera de la pistola térmica .....	43
<b>Figura 14.</b>	Tubería de pistola térmica con la tubería del acople del catalizador .....	43
<b>Figura 15.</b>	Simulación del sistema neumático .....	46
<b>Figura 16.</b>	Simulación de temperatura del monolito .....	46
<b>Figura 17.</b>	Esquema de pistola térmica.....	48
<b>Figura 18.</b>	Esquema de pistola térmica.....	48
<b>Figura 19.</b>	Esquema de pistola térmica.....	49
<b>Figura 20.</b>	Esquema de pistola térmica.....	50
<b>Figura 21.</b>	Esquema de pistola térmica.....	51
<b>Figura 22.</b>	Diagrama de control de temperatura .....	52
<b>Figura 23.</b>	Conexión de Interfaces.....	53
<b>Figura 24.</b>	Esquema de conexión de la Termocupla.....	54
<b>Figura 25.</b>	Esquema de conexión de la Impresora Térmica .....	55
<b>Figura 26.</b>	Esquema eléctrico de la conexión de las lámparas piloto .....	56
<b>Figura 27.</b>	Esquema eléctrico del circuito en general.....	57
<b>Figura 28.</b>	Proceso de programación orientada al circuito .....	59
<b>Figura 29.</b>	Procedimiento de la programación .....	60

<b>Figura 30.</b>	Procedimiento de métodos de tratamiento .....	61
<b>Figura 31.</b>	Pantalla inicial.....	63
<b>Figura 32.</b>	Pantalla de Panel - Control Manual .....	63
<b>Figura 33.</b>	Proceso de Método Manual.....	64
<b>Figura 34.</b>	Pantalla del Panel - Control Automático.....	65
<b>Figura 35.</b>	Proceso de Método Automático.....	65
<b>Figura 36.</b>	Peso Base del CC .....	68
<b>Figura 37.</b>	Tipo de limpieza – Método Automático .....	69
<b>Figura 38.</b>	Coque eliminado del CC .....	70
<b>Figura 39.</b>	Proceso de Test Oficial .....	71
<b>Figura 40.</b>	Proceso de emisiones estáticas.....	74
<b>Figura 41.</b>	HC vs Temperatura del motor CC1 – 3 vías .....	78
<b>Figura 42.</b>	CO vs Temperatura del motor CC1 – 3 vías.....	79
<b>Figura 43.</b>	O2 vs Temperatura del motor CC1 – 3 vías.....	81
<b>Figura 44.</b>	Relación Lambda del CC1- 3 vías .....	83
<b>Figura 45.</b>	HC vs Temperatura del motor CC2 – 2 vías.....	86
<b>Figura 46.</b>	CO vs Temperatura del motor CC2 – 2 vías.....	87
<b>Figura 47.</b>	O2 vs Temperatura del motor CC2 – 2 vías.....	89
<b>Figura 48.</b>	Relación Lambda del CC2-2vías .....	90
<b>Figura 49.</b>	HC vs Temperatura del motor CC3 – 3 vías.....	93
<b>Figura 50.</b>	CO vs Temperatura del motor CC3 – 3 vías.....	94
<b>Figura 51.</b>	O2 vs Temperatura del motor CC3 – 3 vías.....	96
<b>Figura 52.</b>	Factor Lambda - CC3.....	97
<b>Figura 53.</b>	HC vs Temperatura del motor CC4 – 2 vías.....	100
<b>Figura 54.</b>	CO vs Temperatura del motor CC4 - 2 vías.....	101
<b>Figura 55.</b>	O2 vs Temperatura del motor CC4 - 2 vías .....	103
<b>Figura 56.</b>	Factor Lambda - CC4.....	104
<b>Figura 57.</b>	Proceso de Eficiencia catalítica.....	105
<b>Figura 58.</b>	Eficiencia antes del tratamiento - CC3 .....	106
<b>Figura 59.</b>	Eficiencia después del tratamiento - CC3 .....	107
<b>Figura 60.</b>	Eficiencia con recorrido - CC3 .....	108
<b>Figura 61.</b>	Eficiencia antes del tratamiento - CC4 .....	109

<b>Figura 62.</b>	Eficiencia después del tratamiento - CC4 .....	109
<b>Figura 63.</b>	Eficiencia con recorrido - CC4 .....	110
<b>Figura 64.</b>	Proceso de emisiones dinámicas .....	111
<b>Figura 65.</b>	HC vs número de pruebas – CC1 Dinámicas.....	113
<b>Figura 66.</b>	CO vs Número de pruebas – CC1 Dinámicas.....	114
<b>Figura 67.</b>	O2 vs Número de pruebas – CC1 Dinámicas .....	115
<b>Figura 68.</b>	HC vs Número de pruebas – CC2 Dinámicas.....	117
<b>Figura 69.</b>	CO vs Número de pruebas – CC2 Dinámicas.....	118
<b>Figura 70.</b>	O2 vs número de pruebas – CC2 Dinámicas .....	119
<b>Figura 71.</b>	Emisiones de gases CC1-3 vías .....	120
<b>Figura 72.</b>	Emisiones de gases CC2-2 vías .....	122
<b>Figura 73.</b>	Emisiones de gases CC3-3 vías .....	124
<b>Figura 74.</b>	Emisiones de gases CC4-2 vías .....	126
<b>Figura 75.</b>	Emisión de gases – prueba estática a diferentes regímenes de giro.....	128
<b>Figura 76.</b>	Emisión de gases – prueba estática a diferentes regímenes de giro.....	130
<b>Figura 77.</b>	Eficiencia Catalítica CC - 3 vías .....	132
<b>Figura 78.</b>	Eficiencia Catalítica CC - 3 vías .....	134
<b>Figura 79.</b>	Eficiencia catalítica dinámica de 2 y 3 vías .....	135
<b>Figura 80.</b>	HC - CC1 - tres vías.....	137
<b>Figura 81.</b>	CO – CC1 – tres vías.....	139
<b>Figura 82.</b>	O2 – CC1 – tres vías .....	140
<b>Figura 83.</b>	HC- CC2 - dos vías .....	141
<b>Figura 84.</b>	CO- CC2 - dos vías .....	143
<b>Figura 85.</b>	O2- CC2 - dos vías.....	144
<b>Figura 86.</b>	HC- CC3 - tres vías.....	145
<b>Figura 87.</b>	CO - CC3 - tres vías.....	146
<b>Figura 88.</b>	O2 - CC3 - tres vías.....	148
<b>Figura 89.</b>	HC - CC3 - dos vías .....	149
<b>Figura 90.</b>	CO – CC4 - dos vías .....	150
<b>Figura 91.</b>	O2 – CC4 - dos vías .....	152
<b>Figura 92.</b>	HC – CC2 - dos vías .....	153
<b>Figura 93.</b>	CO – CC2 - dos vías .....	154

<b>Figura 94.</b>	O2 – CC2 - dos vías .....	155
<b>Figura 95.</b>	HC – CC2 - dos vías .....	156
<b>Figura 96.</b>	CO – CC2 - dos vías .....	157
<b>Figura 97.</b>	O2 – CC2 - dos vías .....	158

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1.</i>	Combustión completa.....	16
<i>Ecuación 2.</i>	Combustión incompleta.....	16
<i>Ecuación 3.</i>	Relación estequiométrica .....	17
<i>Ecuación 4.</i>	Peso de una masa.....	20
<i>Ecuación 5.</i>	Ecuaciones escalares .....	20
<i>Ecuación 6.</i>	Reacciones en equilibrio .....	21
<i>Ecuación 7.</i>	Peso de Anclajes.....	21
<i>Ecuación 8.</i>	Volumen de la placa .....	22
<i>Ecuación 9.</i>	Inercia en los Ejes x, y, z.....	22
<i>Ecuación 10.</i>	Esfuerzo sobre un Área .....	23
<i>Ecuación 11.</i>	Tensión de Von Mises.....	23
<i>Ecuación 12.</i>	Conducción de Calor.....	24
<i>Ecuación 13.</i>	Ley de Ohm.....	25
<i>Ecuación 14.</i>	Potencia .....	25
<i>Ecuación 15.</i>	Tiempo de carga de un condensador .....	26
<i>Ecuación 16.</i>	Número de pulsos que envía el Arduino .....	26

## **RESUMEN**

En la actualidad la contaminación ambiental ha sido uno de los principales problemas que ha tenido la industria automotriz, es así que surge la propuesta de diseñar y construir un equipo de limpieza para los convertidores catalíticos de dos y tres vías a través del método manual y automático, con el fin de reutilizar al catalizador. Se realizó un diseño mecánico, con análisis de cargas, sujeciones, resultados de esfuerzo y coeficiente de seguridad por medio de un software CAD. El diseño electrónico se dispuso a controlar la fuente térmica mediante un panel de control por medio de programación orientada al circuito y a objetos. Para las pruebas de emisiones estáticas se utilizó un analizador de gases AGS – 688, con pruebas de test oficial, test continuo y eficiencia catalítica, mientras que para las dinámicas se utilizó un analizador portátil KANE AUTO PLUS 4-2. Las pruebas estáticas y dinámicas se realizaron bajo la norma NTE INEN 2203:2002 y con los límites permitidos respecto al régimen de giro y al año de fabricación detallado en la norma NTE INEN 2204:2002. Finalmente, por medio de un análisis comparativo, estadístico y descriptivo se evidencio la reducción de gases contaminantes según los métodos de limpieza en los convertidores catalíticos de dos y tres vías.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **CONVERTIDOR CATALÍTICO**
- **MÉTODO DE LIMPIEZA**
- **EFICIENCIA CATALÍTICA**
- **DISEÑO**

## **ABSTRACT**

In the present investigation the different cleaning methods for catalytic converters were studied and analyzed by means of comparative analysis of execution and determined time, a design and construction of a cleaning equipment for two- and three-way converters was also proposed. The study of cleaning methods was found according to the different types that existed which were already in operation, the factors of the study were the type of cleaning, time, cost, advantages, disadvantages and the temperature used. Which would allow a design and construction proposal using thermal air to recover the catalytic converter; For the structural design, loads and fasteners analysis with stress results and safety coefficient were performed by means of CAD software, while the electronic design will allow to control the temperature and time settings in which the converter will be sent to clean Catalytic, this allows easy operation of the equipment thanks to its manual control and automatic control. What gives rise to a new method of cleaning through hot air, with the help of the AGS 688 BRAIN BE Gas Analyzer and through comparative analysis and statistical analysis is reused to the catalytic converter and determine the time at which it could work.

### **KEYWORDS:**

- **CATALYTIC CONVERTER**
- **CLEANING METHOD**
- **HYDROCARBONS**
- **REGENERATION**



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Antecedentes investigativos

En el Ecuador, en la ciudad de Quito el número de vehículos automotores según la (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2016) son 1039.836, la siguiente cifra está dada entre automóviles y camionetas; los cuáles son considerados actualmente una fuente móvil de contaminación atmosférica por las características de los gases contaminantes que los emiten.

Según (Espinoza, 2013) los vehículos en Ecuador recorren alrededor de 16.000 millas por año. Esto significa que un auto importado de USA modelo 2013, para el año 2015, debería haber recorrido alrededor de 48000 millas (281.600 kilómetros). Entonces se puede decir que este vehículo ya necesita un cambio o una limpieza del catalizador.

Los sistemas de control de emisión de gases relacionado a los combustibles comienzan a generalizarse a partir de 1996, cuando se elimina el contenido de plomo en los mismos; posteriormente aparece la regulación de emisiones de los automotores, normas INEN NTE 2204 Y 2207; en las que se establecen los límites de emisiones para motores a gasolina y diésel, respectivamente.

Los catalizadores de tres vías se introdujeron a principios de los años 80 en los vehículos a gasolina por ser considerados una técnica eficiente para cumplir con los estrictos límites de

emisión impuestos (Birgersson, y otros, 2006).

El catalizador de tres vías es un compartimiento que se coloca en medio del tubo de escape y que consta esencialmente de un soporte de silicato de aluminio y magnesio sobre el cual se apoya una capa de alúmina altamente porosa. Está impregnado por metales nobles, como platino, rodio o paladio, cuya función es proporcionar los sitios activos para eliminar los gases contaminantes. Estos metales reducen simultáneamente tres tipos de contaminantes: CO<sub>2</sub>, CO y NO<sub>x</sub>, y por ello se les conoce con el nombre de “catalizadores de tres vías”. (Birgersson, Ericksson, & Boutonnet, Applied Catalysis B, 2004).

Según (Inter Taller, 2017) dice: “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.”

Después una vez sustituidos, los catalizadores desgastados son tratados como una fuente potencial de metales nobles y se someten a procedimientos hidrometalúrgicos. La mayoría de las empresas dedicadas a ello se ocupan de la recuperación de platino, paladio y rodio. Sin embargo, estos tratamientos utilizan agentes altamente agresivos y corrosivos, además de producir grandes cantidades de residuos sólidos y líquidos (Cristhou & Birgeron, 2007).

Es por ello que en los últimos años han aparecido técnicas nuevas cuyo fin es limpiar este

tipo de catalizadores como son: máquinas como la Flash Cleaner Machine, que limpia el catalizador y el filtro de partículas a través de la circulación de agua caliente a presión por los conductos; también se emplea cada vez más la sonocatálisis limpieza de catalizadores por ultrasonidos. Dando así a conocer la verdadera identidad del residuo como peligroso y se pretende evitar el coste de catalizadores nuevos mediante el reciclaje de los usados (Henkel Ibérica, S.A., 2019).

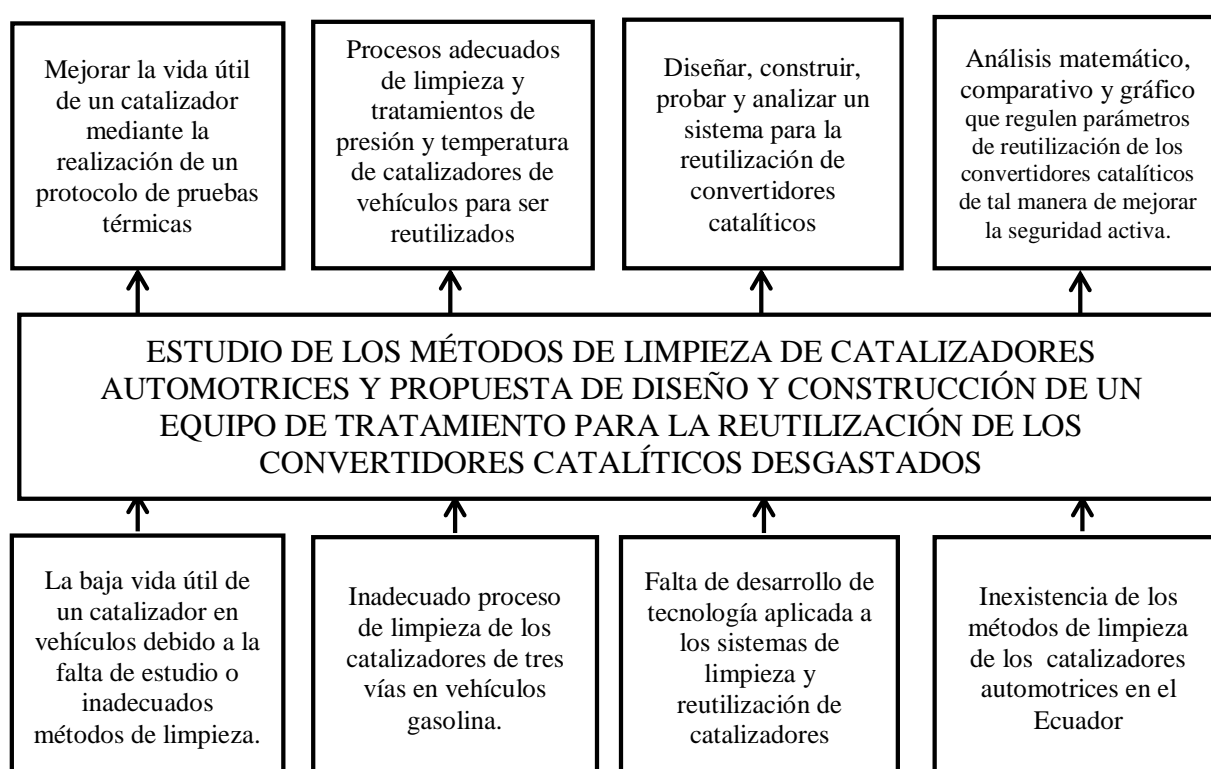
La temperatura de operación del catalizador esta alrededor de los 315°C y la temperatura óptima de operación está oscilando entre 650°C y 760°C, en teoría el catalizador puede eliminar el 99% de los gases tóxicos de un motor (Paredes Echeverría, 2011).

Como manifiesta (Lambrou, Christou, Fotopoulus, & Foti, 2005) los motores de los automóviles actuales controlan la cantidad de combustible que queman y, para garantizar el buen funcionamiento del catalizador, la combustión dentro del motor tiene que hacerse sin exceso ni defecto de oxígeno; es decir, intentando mantener la relación aire: combustible muy cerca del punto estequiométrico. Es por ello que los modernos catalizadores de tres vías suelen incorporar también algún material con capacidad para acumular oxígeno, normalmente compuestos de Ce y Zr, que le permiten almacenar oxígeno cuando no hace falta.

## **1.2. Planteamiento del problema**

Los catalizadores desgastados son tratados como una fuente potencial de metales nobles que se someten a procedimientos hidrometalúrgicos. La mayoría de las empresas dedicadas a ello se ocupan de la recuperación de platino, paladio y rodio. Sin embargo, estos tratamientos

utilizan agentes altamente agresivos y corrosivos dañinos para el medio ambiente y debido a la falta de desarrollo de tecnología aplicada a los sistemas de limpieza y reutilización; se pretende utilizar procesos de tratamiento térmico para la limpieza del convertidor catalítico del automóvil idóneos y adecuados con el fin de poder ser reutilizados incrementando la vida útil de los mismos.



*Figura 1.* Árbol de problemas

### 1.3. Descripción resumida del proyecto

La presente investigación, propuso un estudio de los métodos de limpieza de catalizadores automotrices, con la propuesta de diseño e implementación de un equipo de tratamiento para reutilización de los catalizadores.

Mediante la búsqueda de fuentes bibliográficas confiables se recopiló información relacionada a los sistemas de limpieza, tratamiento y reutilización de convertidores catalíticos dentro de la industria automotriz

Se diseñó y construyó un equipo de limpieza de catalizadores automotrices con la ayuda del diseño asistido por computador para la estructura de la fijación de los componentes y sistemas como distribución de aire caliente, térmico, instalaciones eléctricas – electrónicas, panel de control y fijación.

El equipo constó de una pistola de aire caliente a la entrada del catalizador para la entrada del caudal de flujo de aire a presión atmosférica con rangos de temperatura de 50°C hasta 600°C óptimos para la limpieza; que van a ser regulados mediante un potenciómetro durante un tiempo determinado.

El equipo constató diferentes acoples de acuerdo al catalizador a limpiar; un panel de control programado por software libre con su sistema de visualización de datos del proceso de limpieza.

Para la validación de resultados se realizó mediante una prueba en condiciones iniciales del catalizador desgastado y otra luego de ser sometido el catalizador al proceso de limpieza; para luego realizar un análisis de la eficiencia catalítica con el analizador de gases AGS 688 BRAIN BE.

Se estableció un manual de uso y mantenimiento preventivo del equipo de limpieza a partir

del registro en bitácoras de horas de trabajo, donde cada cierto tiempo se deba realizar la limpieza a la unidad.

Finalmente para la comprobación de la eficiencia catalítica se realizó mediante la toma de datos obtenidos a través del analizador de gases mediante pruebas con ensayos estáticos, los cuáles serán graficados mediante una tabla de datos; de tal manera de determinar la factibilidad del método de limpieza térmica para la reutilización de los convertidores catalíticos desgastados en vehículos.

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

La baja vida útil de un catalizador en vehículos debido a la falta de estudio o inadecuados métodos de limpieza se convierten en un problema debido a que no llega a cumplir una óptima utilización de los convertidores catalíticos para el vehículo, es por esto que la investigación sobre la limpieza y reutilización de catalizadores de los vehículos es muy importante ya que permitirá establecer parámetros de funcionamiento, los mismos que serán utilizados para realizar comparaciones que demuestren el estabilidad en los tratamientos térmicos y cumplan con los parámetros adecuados del catalizador. Con el uso del equipo de tratamiento y limpieza el cuál se propone diseñar y construir para que permita analizar, justificar y determinar la mejor opción para la realización del proyecto

El proyecto se enfoca en el estudio y tratamiento de limpieza el cuál permita establecer como punto principal el funcionamiento y operación del catalizador dentro de los vehículos convencionales. También se pretende diseñar y construir el equipo el cuál ayude a determinar

los diferentes parámetros de reutilización de los catalizadores, como es el punto térmico a cierto tiempo establecido y comprobar si los datos obtenidos son los adecuados para la utilización

Mediante esta investigación se pretende demostrar la reutilización de los catalizadores de los vehículos que se pueden obtener mediante el equipo de limpieza, los mismos que contribuirán a verificar la vida útil del catalizador.

## **1.5. Objetivos del proyecto**

### **1.5.1. Objetivo General**

Estudiar los sistemas de limpieza para los catalizadores automotrices y propuesta de diseño y construcción de un sistema de tratamiento para la reutilización de convertidores catalíticos desgastados.

### **1.5.2. Objetivos específicos.**

- Levantar información de fuentes bibliográficas confiables en temas inherentes a lo que es sistemas de limpieza, tratamiento y reutilización de convertidores catalíticos.
- Estudiar las condiciones de operación óptimas de: flujo de aire, temperatura y presión, para la eliminación completa del coque de la superficie efectiva del monolito catalítico.
- Diseñar un equipo limpieza de convertidores catalíticos desgastados, mediante un tiempo y la temperatura del aire a través de la construcción de un reservorio de aire caliente; para la eliminación de coque depositada en el monolito.

- Construir un equipo de limpieza para el tratamiento de los catalizadores desgastados; y así poder alargar la vida útil del mismo.
- Realizar las pruebas con el convertidor catalítico sometido al tratamiento e instalado en el vehículo y por medio del analizador de gases se verificará su reducción de gases contaminantes como son: CO, NOx y los hidrocarburos no quemados.
- Analizar los datos obtenidos a través del analizador de gases, mediante el método estadístico llegando a una comparación de cuál de los tres catalizadores sometidos a pruebas experimentales se pudo obtener una mayor eficiencia relativa respecto al convertidor catalítico regenerado

## **1.6. Metas**

- Obtener un equipo de limpieza de catalizadores utilizados en vehículos que sea compacto de fácil uso y manipulación
- Desarrollar un proceso de limpieza general para los catalizadores de dos y tres vías estandarizado para reutilizarlos maximizando su eficiencia y vida útil.



## 1.7. Hipótesis

¿El sistema de limpieza de convertidores catalíticos permitirá la reutilización de catalizadores de dos y tres vías desgastados en vehículos y esperando obtener una eficiencia catalítica a un 70% y una disminución de carbonilla de la superficie efectiva del monolito catalítico a un 70% para la transformación de HC?

## 1.8. Variables de la investigación

Para el proyecto de investigación se aplicará las variables como son: variables dependientes y variables independientes.

### 1.8.1. Variable dependiente

Datos de conversión catalítica desde el punto de vista de medición, cálculo y análisis.

**Tabla 1.**

*Operaciones de las variables dependientes*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Análisis de los niveles de contaminación y consumo de combustible	Gráficas del consumo de combustible	Consumo de combustible	Kg/KW.h	Medición y cálculos	Analizador de gases AGS 688 BRAIN BEE
	Emisiones contaminantes	CO, CO <sub>2</sub> , NOX	Ppm, %	Medición	

### 1.8.2. Variable independiente

Equipo de limpieza y tratamiento de catalizadores para su reutilización

**Tabla 2.***Operaciones de variables independientes*

<b>Concepto</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítem</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Fabricación del equipo de limpieza y tratamiento	Diseño para aplicaciones no tradicionales	Materiales, Procesos de fabricación	Aceptación de utilización en S.I	Información electrónica
Utilización del Analizador de Gases	Conocimiento en gestión electrónica	Vehículos de prueba	Comprobación	Instrumentos Automotrices

## **1.9. Metodología de la investigación**

En la presente investigación del tratamiento y limpieza de catalizadores con su propuesta de diseño y construcción, se pretende establecer los parámetros adecuados de funcionamiento, los mismos que contribuirán al análisis del catalizador, para lo cual se utilizó métodos de investigación científica que se disponen a continuación.

### **1.9.1. Método Inductivo**

Este método permitió realizar las pruebas de los Hidrocarburos no quemados; mediante el catalizador tratado e instalado en el vehículo, para posteriormente alargar la vida útil del mismo.

### **1.9.2. Método Deductivo**

Por medio de este método se determinó el comportamiento del convertidor catalítico en base a su tratamiento sometido y a las pruebas obtenidas por medio del analizador de gases y eficiencia del consumo de combustible debido al proceso de limpieza generado.

### **1.9.3. Método Analítico**

Por medio de este método se obtuvieron los datos de las pruebas realizadas y, mediante estos se realizó el estudio de cada uno de los Hidrocarburos no quemados; para determinar la influencia en el consumo del combustible del motor de combustión interna.

### **1.9.4. Método Experimental**

Por medio de este método se recopiló y modificó los datos de los Hidrocarburos no quemados por el motor; para realizar la comparación del performance del convertidor catalítico en relación al estándar.

### **1.9.5. Método de Medición**

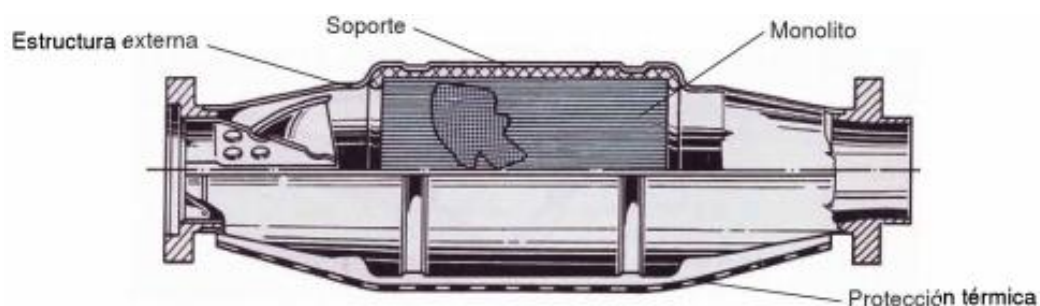
Este método permitió obtener los valores en tiempo real de potencia, análisis de gases, y consumo de combustible del motor con el convertidor catalítico tratado e instalado.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Convertidor Catalítico

El convertidor catalítico es un dispositivo instalado cerca del motor después del colector de escape. Tiene como función principal reducir las emisiones nocivas tales como los Hidrocarburos (HC), Monóxido de Carbono (CO) y los Óxidos Nítricos (NOx), causando las reacciones químicas a temperaturas proporcionadas mediante el Monolito que contiene elementos nobles metálicos, tales como el Platino (Pt) y Paladio (Pd), que intervienen en la oxidación, y el Rodio (Rh), cuya función es la reducción, transformando en sustancias inocuas estables como el Nitrógeno (N<sub>2</sub>), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) y vapor de agua (H<sub>2</sub>O), efectuando la técnica de catálisis (Pérez Belló, 2011).



**Figura 2.** Estructura del catalizador

Fuente: (Pérez Belló, 2011)

## 2.2. Productos de la combustión

- **Hidrocarburos (HC):** forma CO y H<sub>2</sub>O por medio de la oxidación gracias a la presencia del Paladio (Pd) en el monolito. Entre más pobre es la mezcla, menos HC emiten (Pérez Belló, 2011).
- **Monóxido de carbono (CO):** forma CO<sub>2</sub> por medio del proceso de la oxidación al momento de la presencia del Platino (Pt) del monolito. Su valor es proporcional a la riqueza de la mezcla, es decir, cuando más pobre sea la mezcla, menos CO se produce (Pérez Belló, 2011).
- **Oxígeno (O<sub>2</sub>):** es uno de los gases no tóxicos para el ser humano e indispensable para el proceso de combustión del vehículo, sobre todo en el tratamiento de gases del sistema de escape con catalizador necesario para el proceso de oxidación, debido a que se presenta en el aire en un porcentaje de 21% que ingresan al cilindro del motor y brota por el escape entre un 0.5 y el 3% (Pérez Belló, 2011).

## 2.3. Tipos de convertidores catalíticos

### 2.3.1. Convertidor Catalítico de Dos Vías

El convertidor catalítico de dos vías está compuesto por dos metales preciosos como el Platino (Pt) y Paladio (Pd), el cual permite la oxidación, contiene dentro del mismo una cámara intermedia entre los dos cuerpos del catalizador, usado frecuentemente en MCI (Guevara Hidalgo, 2010).

**Tabla 3.***Reacción del Convertidor Catalítico de dos Vías*

CO	Oxidación	CO <sub>2</sub>
HC	→	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O

Fuente: (Guevara Hidalgo, 2010)

### 2.3.2. Convertidor Catalítico de Tres Vías

El convertidor catalítico es más completo y usado mayormente en vehículos a gasolina, debido a que tiene impregnado un componente más, el Rodio (Rh). Reduce los gases más nocivos que son: Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos (HC) y Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>). En este tipo de convertidor catalítico se realizan la reacción de oxidación por la mezcla pobre y la reducción por la mezcla rica (Guevara Hidalgo, 2010).

**Tabla 4.***Reacción del Convertidor Catalítico de tres Vías*

CO	Oxidación	CO <sub>2</sub>
HC	→	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O
NO <sub>x</sub>	Reducción	N <sub>2</sub>

Fuente: (Guevara Hidalgo, 2010)

## 2.4. Procesos catalíticos

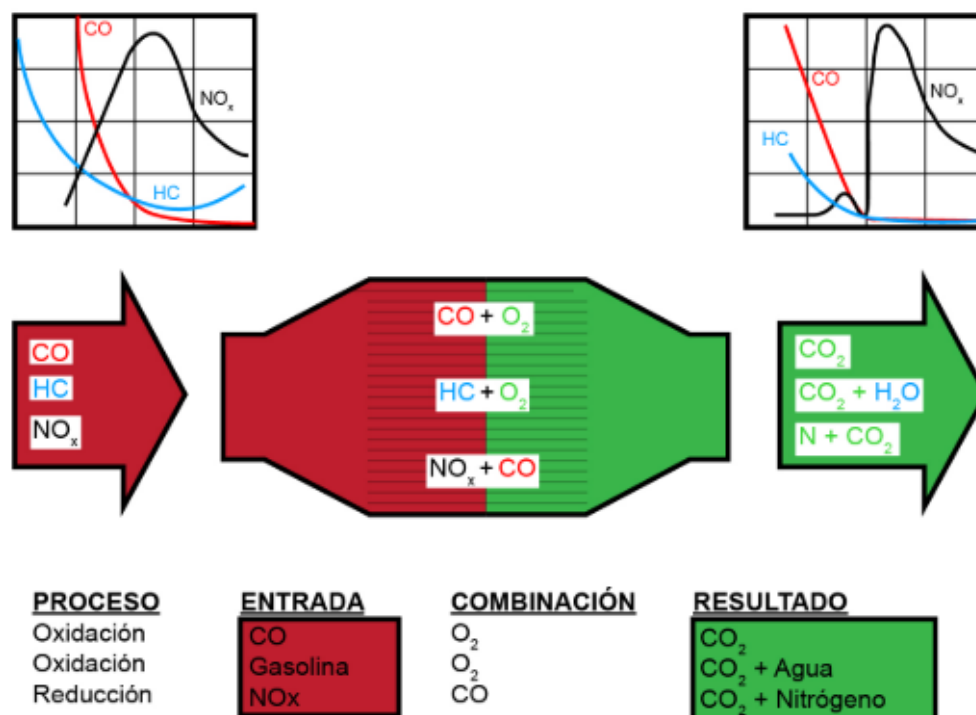
### 2.4.1. Proceso de Oxidación

En todo proceso de oxidación el oxígeno tendrá aportación. Este proceso es adecuado para todos los convertidores catalíticos. El cual se neutralizan los hidrocarburos (HC) y el monóxido de carbono (CO). Ambos gases residuales se emiten en proporción directa con la riqueza de la mezcla. Es decir, que cuando más pobre sea la mezcla ( $\lambda > 1$ ), menor será la emisión de

los mismos, entonces, es preciso que la mezcla sea pobre en el proceso de oxidación (Pérez Belló, 2011).

### 2.4.2. Proceso de Reducción

En el proceso de reducción únicamente efectúa en los convertidores catalíticos de tres vías, por lo que solo se produce sobre los motores de gasolina. Mediante este proceso se neutralizan los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), de tal forma que al entrar en contacto con el Rodio, el oxígeno se separa, combinándose con el CO, para así formar CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>, ambos inocuos (Pérez Belló, 2011).



**Figura 3.** Proceso de oxidación y reducción

Fuente: (Pérez Cazorla, 2015)

## 2.5. Tipos de combustión

### 2.5.1. Combustión completa

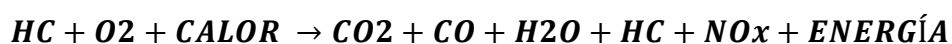
La combustión completa consiste en aprovechar la energía de la gasolina la cual aumenta el rendimiento de los motores de combustión interna debido al exceso de oxígeno por la mezcla que produce la oxidación del combustible. En este caso el combustible HC y el Oxígeno con el calor produce la oxidación convirtiéndolo en monóxido de carbono y agua líquida aprovechando la energía (Rodríguez Melchor , 2012).



*Ecuación 1.* Combustión completa

### 2.5.2. Combustión incompleta

La combustión incompleta se produce cuando el combustible no reacciona completamente con el oxígeno del aire por lo cual no se quema completamente disminuyendo el rendimiento del motor de combustión interna. En este caso el combustible HC y la falta de oxígeno producirán el CO HC y los más nocivos el NOx (Rodríguez Melchor , 2012).



*Ecuación 2.* Combustión incompleta



### 2.5.3. Combustión estequiométrica

Es la mezcla perfecta del oxígeno con el combustible produciendo la oxidación total sin que se produzcan quemados. Lo que resulta que en los humos no haya O<sub>2</sub> debido a que el O<sub>2</sub> se absorbió totalmente durante la combustión. La relación estequiométrica ideal es de 14.7 por cada kg de aire/gasolina (Rodríguez Melchor , 2012)

$$14,7 = \frac{kgAire}{KgGasolina}$$

*Ecuación 3.* Relación estequiométrica

## 2.6. Normativas

### 2.6.1. Norma INEN NTE 2203:2002

La norma INEN NTE 2 203 establece en formar un método de ensayo para comprobar las emisiones del sistema de escape en vehículos de combustión interna propios de gasolina en situaciones de marcha en ralentí o mínima (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2000).

### 2.6.2. Norma INEN NTE 2204:2002

La norma INEN NTE 2204:2002 establece los límites estáticos y dinámicos permitidos de las emisiones del sistema de escape, tanto en porcentaje y antigüedad de vehículos a gasolina (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2002).

## **2.7. Métodos de limpieza**

### **2.7.1. Circulación de agua caliente a presión**

El primer método de limpieza es el más eficiente entre el 95 al 100% de eliminación de residuos, 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 mando de control, se pueden programar los diferentes ciclos de lavado dependiendo del filtro o catalizador del vehículo a tratar. Finalmente se imprime un ticket con los datos del filtro o catalizador antes y después del tratamiento de limpieza. Su plataforma regulable permite ajustar filtros de vehículos industriales y pesados para realizar una limpieza profunda (Flash Cleaner Machine, 2019).

### **2.7.2. Sonocatálisis**

La limpieza por medio de Sonocatálisis es el estudio más conocido de los ultrasonidos. Debido a los diferentes impactos los cuales pueden llegar a 104 atm de chorros líquidos de cavitaciones y ondas de choque los cuales sirve de corte localizado para la erosión y el picado de la superficie. Estas colisiones extremadamente fuertes causan temperaturas de impacto transitorios de aproximadamente 3000°K.

(Suslick & Skrabalak, 2008) Demostró, que este método de limpieza de ultrasonicación es

eficazmente porque quita recubrimientos de óxido superficiales y la eliminación de tales recubrimientos de pasivación mejora de una manera drástica las velocidades de reacción para una amplia variedad de reacciones. Finalmente la aplicación de ultrasonidos ayuda a reducir el problema de envenenamiento de un convertidor catalítico sólido disperso durante la catálisis y contribuye a la limpieza para la reutilización del mismo.

### **2.7.3. Productos especiales**

El método por medio de productos especiales es muy común, debido a que este método ayuda a la eliminación de partículas de hollín que se encuentran dentro del convertidor catalítico y evitan así, su acumulación mejorando la circulación de gases pero solo temporalmente. Uno de los descarbonizantes más común y eficaz debido a su mezcla de productos químicos es el Cataclean el cual es empleado en todos los modelos con convertidor catalítico y sistema de inyección Common Rail, así como en los motores diesels con filtros y motores a carburador o inyección monopunto y multipunto. La limpieza por descarbonizantes es eficaz en motores náuticos de gasolina tanto de 2T como de 4T debido al tamaño y facilidad por la cual se pueden limpiar.

## **2.8. Principios mecánicos y eléctricos**

### **2.8.1. Carga puntal**

Es una carga hipotética contenido en un punto específico de la dimensión. La carga se lo representa por medio del peso.

$$W = m * g$$

***Ecuación 4.*** Peso de una masa

Donde:

W : Carga respecto a la gravedad [N]

m : Masa [kg]

g : Gravedad [ $\frac{m}{s^2}$ ]

### 2.8.2. Soportes

Se denomina reacción a las fuerzas ejercidas sobre un cuerpo por sus soportes, lo que formula el hecho de que los soportes “reaccionan” a las fuerzas, o cargas, que actúan sobre el cuerpo. Se encuentran relacionadas por ecuaciones escalares (Bedford & Fowler, 2000).

$$\sum Fx = 0$$

$$\sum Fy = 0$$

***Ecuación 5.*** Ecuaciones escalares

Donde:

$\sum Fx$ : Sumatoria de fuerzas en el eje x [N]

$\sum Fy$ : Sumatoria de fuerzas en el eje y [N]

El Sistema está, en total equilibrio cuando la fuerza está en el punto medio del cuerpo, por

lo cual sus fuerzas son iguales.

$$\sum Fy = R_{Y1} + R_{Y2} = 2Ry$$

$$\frac{\sum Fy}{2} = R_{Y1} = R_{Y2}$$

**Ecuación 6.** Reacciones en equilibrio

Donde:

$R_{Y1}$  : Peso de reacción en el eje y por cada soporte [N]

Otro tipo de soporte son los anclajes los cuales se dividen la carga de acuerdo al número que este pudiese tener.

$$\frac{W}{N} = Anclaje$$

**Ecuación 7.** Peso de Anclajes

Donde:

W : Carga [N]

N : Número de anclajes

### 2.8.3. Volumen

El volumen sirve para poder calcular la masa de la placa por medio del largo, el ancho y el espesor (Budynas & Keith, 2012).

$$V_p = L * A * E$$

**Ecuación 8.** Volumen de la placa

Donde:

$V_p$  : Volumen de la placa [ $\text{mm}^3$ ]

$L$  : Largo [m]

$A$  : Ancho [m]

$E$  : Espesor [m]

#### 2.8.4. Momento de Inercia

El momento de inercia en la placa se hace respecto al eje con el que se va a trabajar sabido que la inercia consta de la masa, largo y ancho de la misma respecto al eje x, y, z (Budynas & Keith, 2012).

$$I_x = \frac{1}{12} m * L^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} m * A^2$$

$$I_z = \frac{1}{12} m * (A + L)^2$$

**Ecuación 9.** Inercia en los Ejes x, y, z

Donde:

$I_x$  : Inercia respecto al eje x [ $\text{kg m}^2$ ]

$I_y$  : Inercia respecto al eje y [ $\text{kg m}^2$ ]

$I_z$  : Inercia respecto al eje z [ $\text{kg m}^2$ ]

$m$  : Masa [kg]

$\frac{1}{12}$  : Constante respecto a una placa

### 2.8.5. Tensión de Von Mises

La tensión de Von Mises se calcula a partir de las tensiones principales que se encuentran distribuidas conjuntamente con los esfuerzos internos, dentro de un área que se aplican una fuerza o peso, generalmente en una placa, una de las tensiones principales es 0 debido al efecto tensor (Budynas & Keith, 2012).

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

*Ecuación 10.* Esfuerzo sobre un Área

Donde:

$\sigma$  : Esfuerzo [MPa]

F : Fuerza aplicada [N]

A : Área aplicada la fuerza [mm<sup>2</sup>]

La relación del esfuerzo con Von Mises tiene que ver respecto a los ejes de la placa x, y, z debido al peso que se va a ejercer en cada uno de estos para lo cual tendrá un área.

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

*Ecuación 11.* Tensión de Von Mises

Donde:

$\sigma_{VM}$  : Tensión de Von Mises [MPa]

$\sigma_1$  : Tensión respecto a eje en acción [MPa]

$\sigma_2$  : Efecto tensor [0] [MPa]

$\sigma_3$  : Tensión respecto a eje en reacción [MPa]

### 2.8.6. Conducción de calor

Es un proceso de pérdida de calor al entrar al contacto con otro tipo de material. En el caso del flujo de calor constante en una dirección, el calor es conveniente al área del flujo, conductividad térmica y la diferencia de temperaturas, siendo inversamente proporcional al espesor del material (Kreith, Manglik, & Bohn, 2012).

$$\frac{Q}{\Delta T} = \frac{KA}{x} * (T1 - T2)$$

*Ecuación 12.* Conducción de Calor

Donde:

$\frac{Q}{\Delta T}$  : Caudal del aire [ $\frac{l}{min}$ ]

K : Conductividad térmica [ $\frac{W}{m \cdot K}$ ]

A : Área de contacto [m<sup>2</sup>]

X : Grosor

T1-T2: Diferencia de temperatura [°K]

### 2.8.7. Ley de Ohm

Es la intensidad de corriente que atraviesa un circuito y esta es directamente proporcional



al voltaje e inversamente proporcional a la resistencia que presenta (Floyd, 2008).

$$I = \frac{V}{R}$$

*Ecuación 13.* Ley de Ohm

Donde:

I : Intensidad de corriente [A]

V : Tensión eléctrica [V]

R : Resistencia Eléctrica [ $\Omega$ ]

### 2.8.8. Potencia

Es la energía consumida en una unidad de tiempo. Se mide en vatios (W). Cuanta más potencia tenga un componente eléctrico más energía eléctrica consume en la unidad de tiempo y menos tardará en consumir una cierta cantidad de energía (Floyd, 2008).

$$P = V * I$$

*Ecuación 14.* Potencia

Donde:

P : Potencia [W]

I : Intensidad de corriente [A]

V : Tensión eléctrica [V]

### 2.8.9. Tiempo de carga de un capacitor

Es el tiempo (T) que se tarda el voltaje en el condensador (Vc) en pasar de 0 voltios hasta el 63.2 % del voltaje de la fuente (Floyd, 2008).

$$t = 5 * R * C$$

*Ecuación 15.* Tiempo de carga de un condensador

Donde:

t : Tiempo de carga [min]

R : Resistencia Eléctrica [ $\Omega$ ]

C : Capacitancia [F]

5 : Constante de un capacitor.

### 2.8.10. Número de pulsos que envía el Arduino

Número total de acuerdo a la temperatura que se le da como parámetro inicial.

$$pulsos = \frac{T}{10} - 5$$

*Ecuación 16.* Número de pulsos que envía el Arduino

Donde:

Pulsos : Pulsos generados por el Arduino

T : Temperatura ingresada [ $^{\circ}$ C] (Floyd, 2008).

5 : constante restante

## 2.9. Lenguaje C++

Se realizó mediante un lenguaje de agrupación de programación C++, que trata con objetos básicos como caracteres, números, también con bits y direcciones de memoria, construcción de intérpretes, compiladores, editores de texto y condicionales que van a cumplir ciertas funciones, adicional mente esta conformadas de bucles o lazos repetitivos para que se cumplan las condiciones dichas, cuentan con contadores y botones que van estar entrelazados con la programación orientada a objetos y están direccionadas en una fila y columna.

## 2.10. Equipo utilizado

### 2.10.1. Pistola de aire caliente DEWALT

La pistola DeWalt es un dispositivo el cual genera aire caliente y se aprecia mediante una pantalla LCD el cual indica la temperatura.

**Tabla 5.**

*Especificaciones de la pistola DeWalt*

<b>Especificaciones de la pistola de aire caliente</b>	
<b>Potencia</b>	1800 W
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	50-400/ 50-600°C
<b>Caudal de aire</b>	250/450/ l/min
<b>Masa</b>	0.80 kg
<b>Longitud</b>	253 mm
<b>Alto</b>	10mm

Fuente: (DeWalt, 2019)

### 2.10.2. Impresora térmica

Su función es imprimir en una hoja especial adecuada para la impresora llamada hoja térmica los diferentes parámetros como datos del vehículo, cliente, los datos de limpieza del convertidor, lugar, hora y fecha de la realización de la prueba (Alcalde San Miguel, 2010).

**Tabla 6.**  
*Características Técnicas de Impresora Térmica*

CARACTERÍSTICAS	TÉCNICAS
Voltaje de Alimentación	5-9 V DC
Velocidad	50-80mm/s
Área imprimible	48 mm
Papel	Papel térmico
Dimensiones del papel	57.5 ±0.5 mm
Diámetro máximo del papel	39 mm

Fuente: (Alcalde San Miguel, 2010)

### 2.10.3. Arduino Mega

El Arduino Mega posee 54 pines digitales, estos funcionan como entrada y salida; 16 entradas son análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reset y una entrada para la alimentación de la placa.

### 2.10.4. Analizador de gases AGS-688

El analizador de gases AGS-688 es un equipo de análisis de emisiones de motores de combustión interna que mide de manera estática los: HC, NO, CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> y lambda. (Mafla Alvear & Ortiz Guachamin, 2007).

### **2.10.5. Analizador de gases KANE 4-2 Plus**

Es un equipo portátil de análisis de emisiones de motores a gasolina y diesels que mide de manera estática y dinámica los gases como: HC, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y lambda.

### **2.10.6. Medidor de revoluciones EVO MGT 300**

Es un equipo con detección de revoluciones por minuto en función de señales de vibración, captador de temperatura y batería.

### **2.10.7. Conductores eléctricos**

La función de los conductores es transportar energía eléctrica en forma segura desde la fuente de potencia a las diferentes cargas. Para la selección de un conductor se debe tener en cuenta las consideraciones eléctricas, térmicas, mecánicas y químicas (Electricidad, 2017).

### **2.10.8. Interruptores**

Para seleccionar el mejor interruptor de circuito para su aplicación se debe conocer el voltaje, corriente y número de polos. Para refinar su selección, se debe tener en cuenta los factores mecánicos y ambientales, los asuntos reglamentarios y de seguridad, las limitaciones de tamaño y costo (Aplicada, 2017).

## **CAPÍTULO III**

# **DISEÑO DEL EQUIPO DE LIMPIEZA Y METODOLOGÍA DE TRATAMIENTO DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS AUTOMOTRICES.**

El presente capítulo describe el diseño mecánico, neumático, eléctrico – electrónico y programación, para la construcción de un equipo de limpieza mediante una metodología manual y automática para el tratamiento para los convertidores catalíticos.

### **3.1. Diseño mecánico**

Considera aspectos como la estructura del equipo, el revestimiento, el sistema de fijación y adaptación de los convertidores catalíticos.

#### **3.1.1. Estructura**

La estructura del equipo de limpieza con su revestimiento, considera aspectos inherentes a las dimensiones máximas y mínimas en función a los tipos de catalizadores en base a la clasificación de automóviles dentro de los cuales se considera sedan, SUV y camionetas.

### a. Selección de materiales

Para el material de la estructura y el revestimiento se consideró: propiedades térmicas, mecánicas, resistencia y dimensionamiento.

Se determinó el material de acero galvanizado ASTM A 36 y ASTM A 653 – CS, debido a que su límite elástico, es mayor de 200 MPa y con una resistencia de tracción de 345 MPa, garantizando una mejor elongación respecto a pesos puntuales y con índices elevados de funcionamiento sin deformaciones.

**Tabla 7.**  
*Propiedades del Acero Galvanizado*

MATERIAL		ACERO GALVANIZADO		
NORMA		Tubería cuadrada ASTM A36	Revestimiento ASTM A 653 – CS	Tubería redonda NTE INEN 2415
<b>PROPIEDADES TÉRMICAS</b>	Conductividad térmica	5,300E+01 Con (m · k)	5,300E+01 Con (m · k)	5,300E+01 Con (m · k)
	Módulo de Young	200 GPa	200 GPa	200 GPa
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>	Coefficiente de Poisson	0,3	0,3	0,3
	Densidad	7,850 g/cm <sup>3</sup>	7,850 g/cm <sup>3</sup>	7,850 g/cm <sup>3</sup>
<b>PROPIEDADES DE RESISTENCIA</b>	Límite de elasticidad	200 MPa	207 MPa	230 MPa
	Resistencia de tracción	345 MPa	350 MPa	290 MPa
<b>DIMENSIONES</b>	Medida	3/4 in	plancha	2 y 1 ¾ in
	Espesor	1,5 mm	1,2	2 mm

Se seleccionó una soldadura tipo arco con el electrodo 6011 debido a la conductividad térmica del material la cual es de  $5.3 \times 10^1 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$ , esto ayuda para la rápida solidificación del acero galvanizado y el cual tiene un revestimiento tipo celulósico. El arco puede ser dirigido fácilmente en cualquier posición, permitiendo altas velocidades.

La representación gráfica y dimensiones de la estructura en vista superior y lateral, con su respectiva soldadura están constituidas de tal manera para que se adapte a las necesidades de trabajo, Anexo 3.

### b. Carga puntual

La carga puntual se consideró la fuente térmica que está compuesta, del tubo estructural con dos puntos fijos.

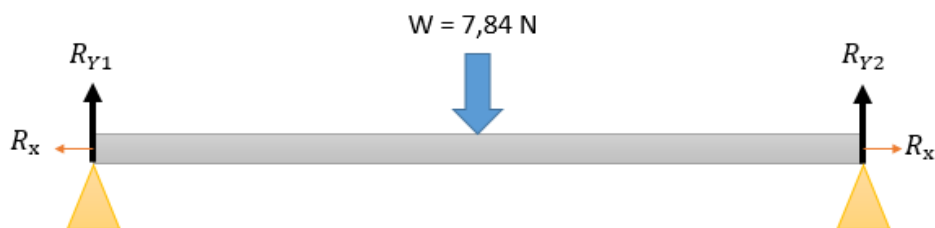
**Tabla 8.**

*Peso y esfuerzo de la fuente térmica*

Parámetro	Fuente térmica	Unidades
Numero de ecuación	4 y 10	S/N
Ecuación	$W=m*g$ $\sigma = \frac{F}{A}$	S/N
Masa	0.80	kg
Gravedad	9.8	m/s <sup>2</sup>
Peso	7.84	N
Área del tubo cuadrado	550*2	mm <sup>2</sup>
Esfuerzo	<b>7,12x10<sup>-3</sup></b>	MPa

El peso de la fuente térmica que soportara la tubería cuadrada es de **7,84 N** con un esfuerzo de  $7,12 \times 10^{-3}$  MPa, respecto a la resistencia del tubo con 345 MPa, por lo cual no se romperá ni se deformara el tubo.





**Figura 4.** Carga Puntual en la estructura

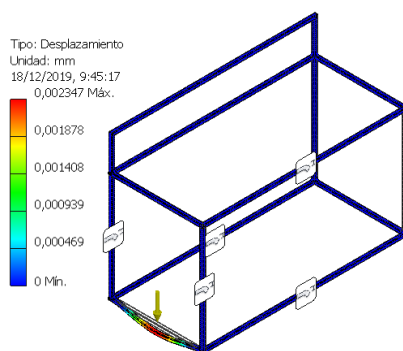
De acuerdo a la figura 4, se determina las reacciones en los ejes exteriores del tubo, las reacciones respecto a los ejes x son cero debido a que no ejerce fuerza, mientras que en el eje y existe reacción de acuerdo a los soportes.

**Tabla 9.**

*Reacciones de la viga respecto a los ejes x-y*

Parámetro	Ecuación 5	Carga puntual [N]	Ecuación 6	Carga de soporte 1 [N]	Carga de soporte 2 [N]
Reacción eje x	$\sum F_x = 0$	0	-	-	-
Reacción eje y	$\sum F_y = 0$	7,84	$\frac{\sum F_y}{2} = R_{Y1} = R_{Y2}$	3,92	3,92

La carga está en su punto medio, llegado a una fuerza en equilibrio por lo cual la carga fija se subdivide en dos con 3,92 N para cada lado, comprobando así que no existe reacciones fuera de lo normal respecto a la resistencia de la tubería.



**Figura 5.** Simulación de estructura

En la figura 5, se visualiza el desplazamiento nulo con un máximo de  $2.347 \times 10^{-3}$  mm,

debido a que el mismo no sobrepasa la fuerza elástica y por ende cumple con la función requerida.

### **3.1.2. Sistema de regulación**

Para el sistema de regulación es necesario considerar la altura del convertidor catalítico, para poder ajustar la base, respecto al eje vertical mediante un sistema de correderas por medio de los soportes laterales y regular de acuerdo a la entrada – salida de los diferentes tipos de catalizadores.

La geometría del sistema de regulación se encuentra en el Anexo 3 por partes que son la base, el soporte y los laterales del sistema en un plano de vista superior y lateral.

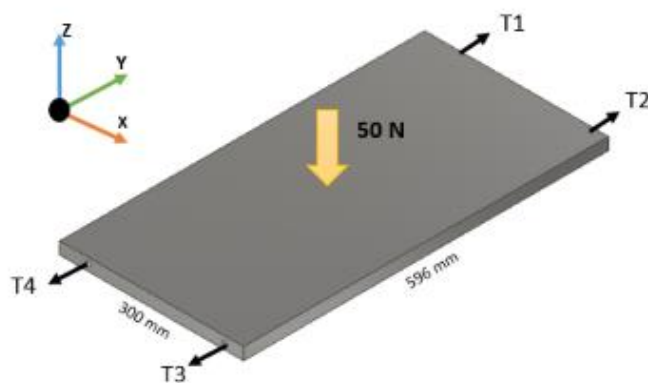
#### **a. Cargas puntual**

Para las cargas fijas se consideró el peso promedio de los catalizadores, para lo cual se debe saber la masa de la placa de regulación por medio del volumen, debido a que el mayor esfuerzo va estar en los pernos que lo sostienen. La densidad del material de  $7.854 \text{ g/cm}^3$ .

**Tabla 10.**  
*Cargas que Afectan el Sistema de Regulación*

	Catalizador	Placa de regulación	Anclaje	Unidades
<b>Ecuación</b>	4	8	7	S/U
<b>Formula</b>	$W = m * g$	$V = L * A * E$	W/N	S/U
<b>Largo</b>	-	596	-	mm
<b>Ancho</b>	-	300	-	mm
<b>Espesor</b>	-	1.2	-	mm
<b>Volumen</b>	-	214.56	-	mm <sup>3</sup>
<b>Masa</b>	5	1.684	-	Kg
<b>Gravedad</b>	9.8	9.8	-	m/s <sup>2</sup>
<b>Peso</b>	50	16.52	-	N
<b>Peso total</b>	66.52	-	66.52	N
<b>Numero de anclaje</b>	4	4	4	S/U
<b>Peso por anclaje</b>	-	-	16.63	N

De la tabla 10 se observa, el peso total sobre el sistema de regulación es de **66.52 N**, y este peso al dividir por el número de anclajes da un resultado de **16.63 N** por cada anclaje.



**Figura 6.** Tensiones en la placa base.

### b. Esfuerzos en los puntos críticos

A través de las medidas de la placa y su masa se obtiene de los ejes principales de inercia y los vectores de tensión con su deformación o módulo de Young.

**Tabla 11.***Momentos de inercia en ejes x, y, z*

Parámetros	Inercias	Unidades
<b>Ecuación 9</b>	$I_x = \frac{1}{12} m * L^2 ,$ $I_y = \frac{1}{12} m * A^2 ,$ $I_z = \frac{1}{12} m * (A + L)^2$	S/N
<b>Largo</b>	0.596	m
<b>Ancho</b>	0.300	m
<b>Masa de la placa</b>	1.684	Kg
<b>Inercia en el eje x</b>	0.049	Kgm <sup>2</sup>
<b>Inercia en el eje y</b>	0.012	Kgm <sup>2</sup>
<b>Inercia en el eje z</b>	0.062	Kgm <sup>2</sup>

En la tabla 11, se visualiza los momentos de inercia en los diferentes ejes, el cual el eje z tiene mayor inercia con 0.062 kg m<sup>2</sup> a comparación de los demás ejes.

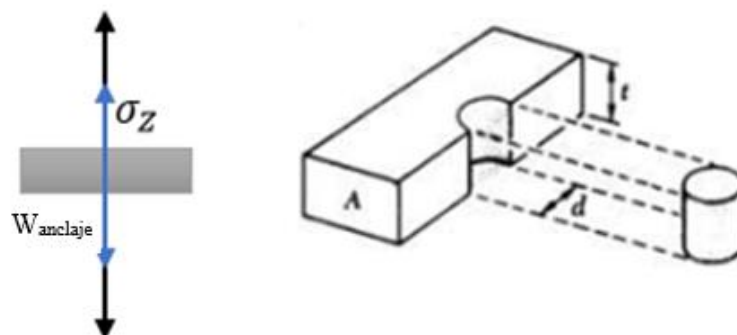
Los vectores principales para el cálculo son los esfuerzos en  $\sigma_x, \sigma_y$  y  $\sigma_z$ . El módulo de Young según el material es de 200 GPa con su coeficiente de Poisson de 0.3, respecto a las fuerzas y los momentos, los puntos críticos para el análisis fueron en la placa donde se va a asentar el convertidor catalítico y los pernos que van a aguantar el peso.

Las fuerzas y pares de reacción en las restricciones se obtienen usando las áreas respecto a los ejes y las inercias, el cual los resultados se muestran a continuación.

**Tabla 12.***Fuerzas y pares de reacción en restricciones*

Fuerza de reacción [N]		Pares de reacción [Nm]	
Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
<b>19,0987 N</b>	-0,31515	0,24909	-0,102971
	0,88759		0,181005
	19,0755		-0,136675
<b>30,8969 N</b>	0	0,334587	0,301144
	-0,835406		0,0795634
	30,8856		0,122191

Una vez obtenido el peso de cada uno, se calcula el esfuerzo de aplastamiento en el perno, lo más recomendable es obtener el eje z, debido a que está en el mismo eje que la carga calculada.



**Figura 7.** Corte para método de aplastamiento

El esfuerzo máximo que debe alcanzar es de **207 MPa**, debido a que es el límite de elasticidad del material o la tensión máxima que puede alcanzar sin sufrir deformaciones permanentes.

**Tabla 13.**

*Peso Real y Teórico Máximo*

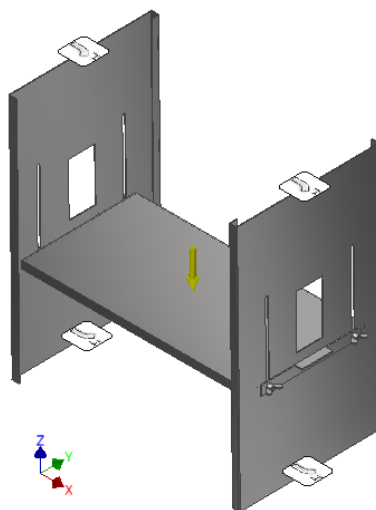
Parámetros	Perno	Unidades
<b>Formula de aplastamiento</b>	$t * d$	
<b>Ancho de placa (t)</b>	1.2	mm
<b>Diámetro de perno(d)</b>	8	mm
<b>Área de aplastamiento</b>	9.6	mm <sup>2</sup>
<b>Peso de anclajes</b>	16.63	N
<b>Área de la placa</b>	16	mm <sup>2</sup>
<b>Esfuerzo real</b>	1.73	MPa
<b>Peso real</b>	50	N
<b>Esfuerzo teórico de aplastamiento</b>	207	MPa
<b>Peso teórico</b>	3312	N

Según la tabla 13 el esfuerzo con el catalizador de 50 N en el eje Z es de 1.73 MPa; mientras

que el peso teórico máximo según el material que puede resistir es de 3312 N.

### c. Simulación

Una vez ensamblado el sistema de regulación con sus pernos y restricciones, se emplea la carga de 50 N en la placa base y se coloca las sujeciones fijas en las partes superiores e inferiores del sistema de regulación.



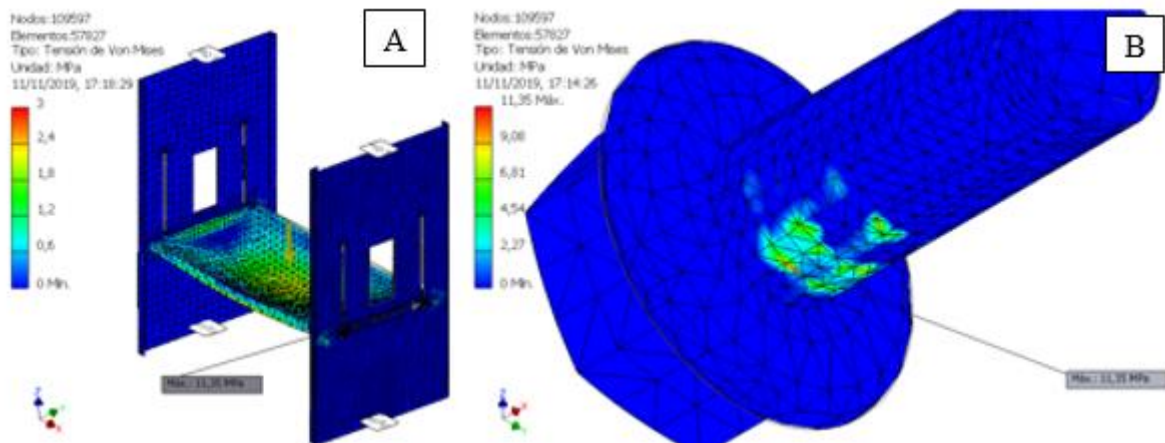
*Figura 8.* Asignación de cargas y sujeciones fijas

Una vez asignado la carga y las respectivas sujeciones se procede a mallar el modelo de la estructura para luego realizar su estudio de diseño. Se ejecuta su análisis del sistema de esfuerzos, obteniéndose los siguientes resultados:

#### c1. Esfuerzo de Von mises

La máxima tensión de Von Mises se detalla a continuación con el sistema completo y la

visualización de la tensión máxima

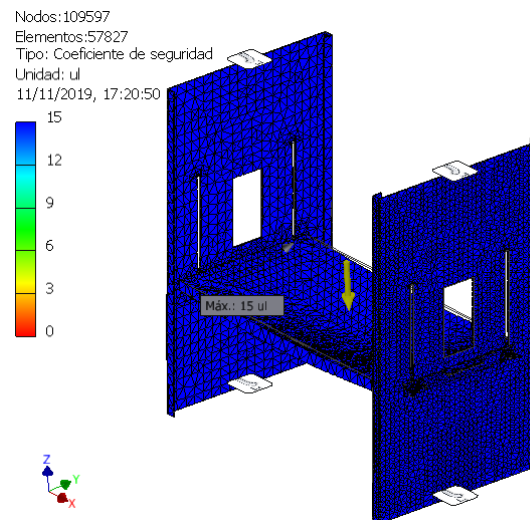


**Figura 9.** Tensión de Von Mises en la base y perno

En la figura 9, se observa todo el sistema de regulación (A) obteniéndose un valor de 1.8MPa en la base del sistema, tiene una tensión máxima de 11.35 MPa que se produce entre la unión de la base y los lados columna – perno (B), sin embargo, esta tensión es menor que el límite elástico de 207 MPa del acero estructural, por lo tanto, la base puede resistir todos los componentes sin falla de elasticidad.

## c2. Coeficiente de seguridad

Se detalla acerca de la distribución y resistencia que puede soportar la carga debido a que es un factor de seguridad es mayor de 1.



**Figura 10.** Distribución del coeficiente de seguridad en la base

En la figura 10 se muestra, el factor de seguridad con un máximo de 15, es decir, el sistema de regulación es viable para construir y soportar la carga de 50 N.

El diseño mecánico, el cual se encuentra en el Anexo 3 detallado con sus medidas como el modelado completo de la estructura, el sistema de regulación, sistema de adaptación y fijación.

### 3.1.3. Sistema de adaptación y fijación

Se utilizó las dimensiones del catalizador en cuanto al diámetro de entrada y salida, la forma, la longitud y la posición de los pernos de fijación, en busca de hermeticidad del sistema.





*Figura 11.* Convertidor catalítico para medir

El dimensionamiento del sistema de adaptación y fijación se encuentra considerado en el Anexo 3 en vistas laterales y superiores.



*Figura 12.* Acoples de los convertidores catalíticos

### **3.2. Diseño del Sistema neumático**

El diseño del sistema neumático considera aspectos para un flujo constante de aire a través de un sistema de conservación de energía para almacenar la temperatura en el interior del mismo.

### 3.2.1. Selección de mangueras

Se utilizó dos tipos de manguera, la T18216 y una manguera flexible los cuales dependieron de aspectos como la temperatura y presión. La manguera es de tipo industrial debido a que garantiza la resistencia a altas temperaturas aproximados a los 300°C y presiones mayores de 100 psi, los cuales tiene dos refuerzos cubiertos químicamente de nitrilo y neopreno.

El diámetro y la longitud de la manguera se basaron de acuerdo al sistema de adaptación y fijación del catalizador seleccionado.

**Tabla 14.**

*Dimensiones de las mangueras utilizadas*

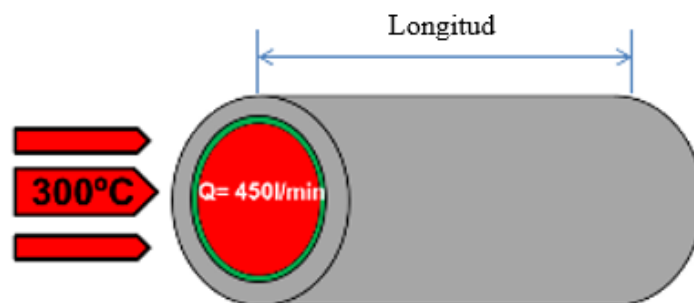
DIÁMETRO	LARGO	USO	TIPO DE MANGUERA
2 pulgadas	100 mm	Acoples de convertidores catalíticos grandes	T18216
1 ¾ pulgadas	100 mm	Acoples de pistola y acoples pequeños	T18216
1 ¾ pulgadas	700 mm	Salida hacia el analizador de gases	Manguera flexible

Como se mencionan en la tabla 14, las mangueras a utilizar son para el ajuste de la fuente térmica, el sistema de adaptación – fijación, para la ubicación de la sonda del analizador de gases.

### 3.2.2. Velocidades

#### a. Velocidad de entrada

Para la velocidad de entrada se consideró el flujo de temperatura de 450 L/min con una longitud de 100 mm en la manguera de 1 ¾ in.



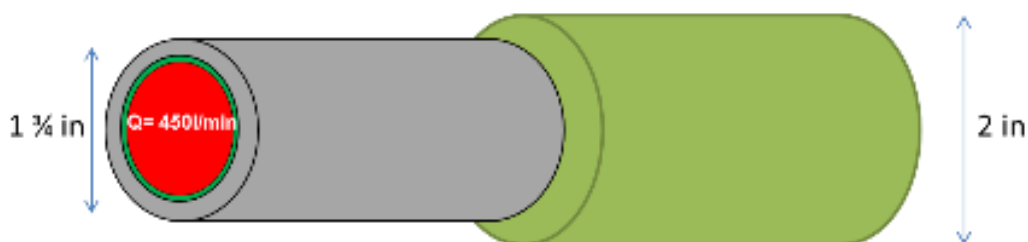
**Figura 13.** Tubería y manguera de la pistola térmica

**Tabla 15.**

*Área, Volumen y Velocidad Respecto a la Tubería*

Diámetro de tubo (in)	Diámetro de tubo [m]	Área [m <sup>2</sup> ]	Volumen[m <sup>3</sup> ]	Velocidad de flujo[m/s]
1 ¾ in	0.044	$6,91 \times 10^{-3}$	$1,52 \times 10^{-4}$	1,09
2 in	0.0508	$7,98 \times 10^{-3}$	$2,03 \times 10^{-4}$	0.94

Según la tabla 15, el área, volumen y la velocidad con la que fluye el aire térmico, el cual está distribuido de acuerdo al diámetro de la tubería insertada. El caudal de la tubería de entrada de 1 ¾ in se transforma a m<sup>3</sup>/s, debido a que  $1 \text{ m}^3/\text{s} = 60\,000 \text{ L}/\text{min}$ .



**Figura 14.** Tubería de pistola térmica con la tubería del acople del catalizador

La velocidad de flujo es de  $7,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  y tiempo con la que entra y sale la temperatura en el tubo de 1 ¾ con diámetro de 100 mm es de **0.02 s**

## b. Velocidad de salida

Teniendo en cuenta el área y velocidad de entrada de la fuente térmica, la velocidad de salida desde la pistola hacia el catalizador, entra con una velocidad de 0.94 m/s a 300 °C a un flujo de 450 l/min

### 3.2.3. Concentrador de calor

El concentrador de calor está dentro del sistema neumático los cuales considera aspectos de conservación de energía para almacenar la temperatura en el interior del mismo.

#### a. Traslferencia de temperatura

Se va tomar en cuenta los parámetros que se indican en la tabla 16, los cuales son características de la fuente térmica y de la conductividad del material a utilizar.

**Tabla 16.**

*Parámetros de la transferencia*

Parámetros	Datos
Potencia de la pistola	1800 W
Temperatura	300 °C
Caudal del aire	450 l/min
Conductividad térmica de acero	53 W/m °K
Conductividad térmica de cerámica	1.75 W/m °K

#### b. Entrada y salida de temperatura del monolito

La entrada de temperatura desde la fuente térmica hacia el monolito del convertidor

catalítico se trasfiere sabiendo que su espesor es de 200 mm y la conductividad térmica de la cerámica es de 1,75 W/m °K, con una temperatura de entrada de 300°C.

**Tabla 17.**  
*Temperatura de salida*

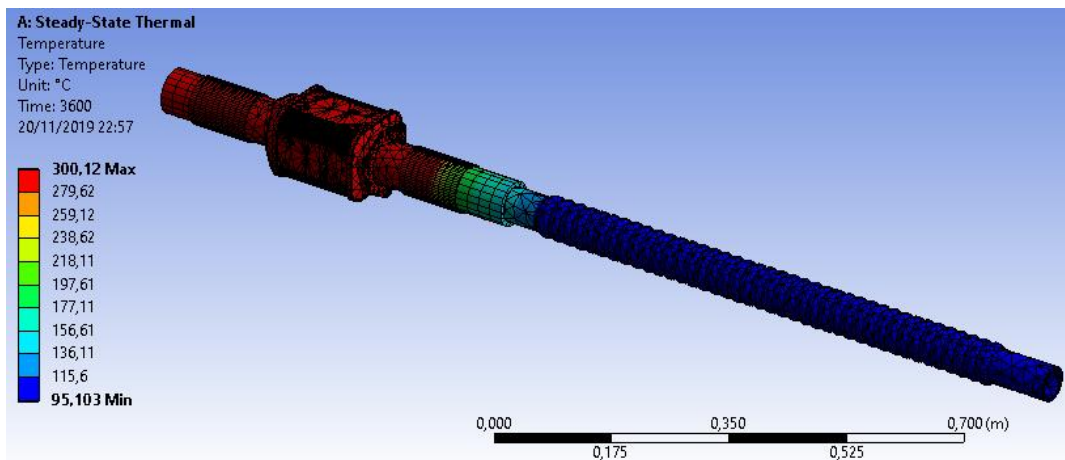
Parámetros	Monolito	Unidades
Ecuación	$\frac{Q}{\Delta T} = \frac{KA}{x} * (T1 - T2)$	
Caudal de aire	450	L/min
	$7.5 \times 10^{-3}$	m <sup>3</sup> /s
Conductividad térmica	1.75	W/m°K
Área	0.04	m <sup>2</sup>
Grosor	0.2	m
Temperatura de entrada	300	°C
	573.15	°K
Temperatura de salida	282.24	°C
	555.39	°K

Siendo **282.24°C**, la temperatura de salida del aire introducido en el monolito, pero mientras la conducción a través de la cerámica es alta, también se pierde temperatura debido al acero del convertidor catalítico y el caucho de las mangueras que componen el sistema neumático

### c. Simulación

Los parámetros de entrada del concentrador de calor, es una temperatura de 300 grados en el inicio del sistema donde se encuentra la pistola de calor a un tiempo de 60min.

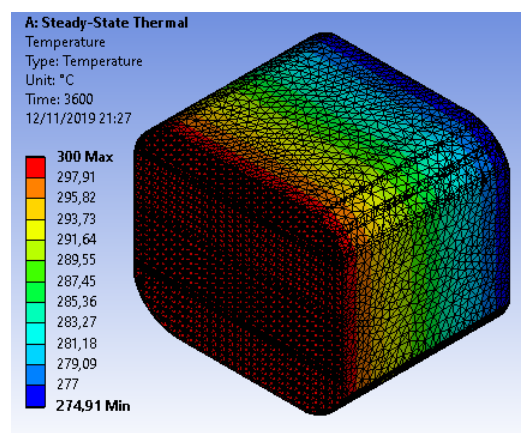
Una vez asignado la temperatura con su flujo se procede a mallar el modelo para luego realizar ejecución e iniciar su estudio de trasferencia de calor.



**Figura 15.** Simulación del sistema neumático

La figura 15, indica como el sistema neumático se enfría, teniendo en cuenta la longitud adecuada del mismo, entra con una temperatura de 300 grados enviados desde la pistola y sale a la manguera del analizador de gases a una temperatura de 95 grados y así el sistema funcionara a altos rangos de temperatura.

El calor se concentra en el convertidor catalítico debido a que el interior del mismo, se encuentra el monolito el cual tiene cientos de celdas que retienen el calor.



**Figura 16.** Simulación de temperatura del monolito

El estudio de transferencia de calor se realizó en el monolito como se muestra en la figura 16, con su respectivo material, siendo la temperatura de entrada de 300 °C, mientras que en la salida de este es de 274.91°C, la cual pierde una temperatura de 25 grados, debido al material cerámico del monolito.

Una vez simulado, en general, el sistema neumático posee una fijación, un sistema de adaptación y las mangueras de diferentes diámetros por donde fluye la temperatura mediante la fuente térmica pasando por el convertidor catalítico y que va hacia la manguera flexible que está ubicado la sonda del analizador de gases

### 3.3. Diseño eléctrico

El diseño eléctrico está configurado a partir del manejo de la fuente térmica, ya que este consume un voltaje de 110 V parámetro con el que se va a trabajar.

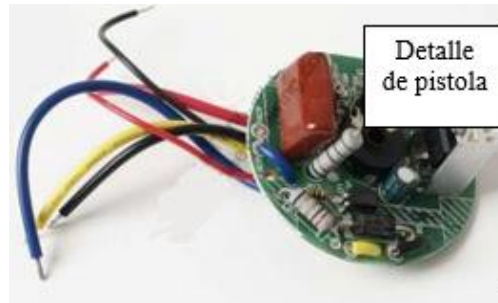
#### 3.3.1. Pistola DeWalt

**Tabla 18.**  
*Inicio de parámetros eléctricos*

Parámetros	Valores	Unidades
Ecuación	$I = \frac{P}{V}$	
Intensidad de corriente	110	V
Potencia	1800	W
Tensión eléctrica	16.36	A

En la figura 17. Se observa el control de la pistola, donde posee cuatro cables: el primer cable de color negro que va conectado a tierra, el segundo de color azul disminuye la

Temperatura y el de color amarillo el de incremento de temperatura, y el cable de color rojo es el control del lcd de la propia pistola termica.



*Figura 17.* Esquema de pistola térmica

### 3.3.2. Pantalla TFT

La pantalla táctil posee cuatro salidas las mismas que van a ser conectadas a la placa del Arduino Mega.



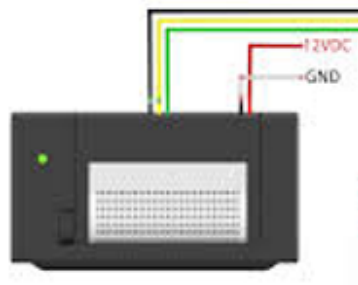
*Figura 18.* Esquema de pistola térmica

En la figura 17, se aprecia el conductor de color rojo: va conectado a la fuente de alimentación; el conductor de color azul: va conectado a la salida 16 del Arduino RX2; el conductor de color amarillo: va conectado a la salida 17 del Arduino TX2; el conductor de color negro: conectado directo a masa.



### 3.3.3. Impresora térmica

La impresora térmica tiene cuatro salidas que están distribuidas de la siguiente manera:

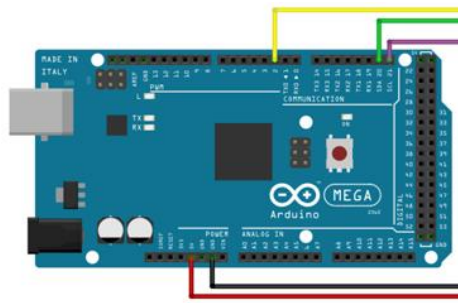


*Figura 19.* Esquema de pistola térmica

Según el esquema de la impresora térmica el conductor amarillo (SCL) va conectado hacia la pantalla TFT; El conductor negro (GND) va conectado directo a tierra; El conductor verde (VCC) es el que va a la fuente de alimentación; El conductor rojo (SDA) conectado a la pantalla TFT.

### 3.3.4. Arduino MEGA

El Arduino Mega trabaja con un voltaje operativo de 5V, posee un voltaje de entrada de 7 a 12V. Tiene 54 pines digitales de entrada/ salida siendo 15 de salida PWM y 16 pines análogos de entrada.



*Figura 20.* Esquema de pistola térmica

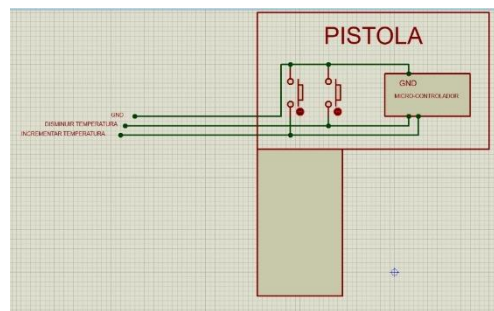
El esquema del Arduino se visualiza que el conductor de color rojo es fuente de alimentación; El conductor de color negro va conectado directo a masa; El conductor de color verde es aquel conectado a pines entrada como salida; El conductor de color amarillo es para conexiones a salidas PWM; el conductor de color morado va conectado a las entradas TX.

### 3.4. Diseño electrónico

Para el diseño electrónico se tomaron en cuenta ciertas características acerca de lo que es la pistola DeWalt, impresora térmica, pantalla TFT, Arduino

#### 3.4.1. Control de temperatura

En la siguiente figura 21, se encuentra el diagrama de conexión de la fuente térmica, se procedió a realizar dos circuitos uno para encender donde va a estar conectada a un relé automotriz que va ser alimentado por una fuente de 12V, el mismo que va estar conectado por un transistor mediante una resistencia al pin que va a la salida 7 de la parte PWM (Modulación por ancho de pulso).



**Figura 21.** Esquema de pistola térmica

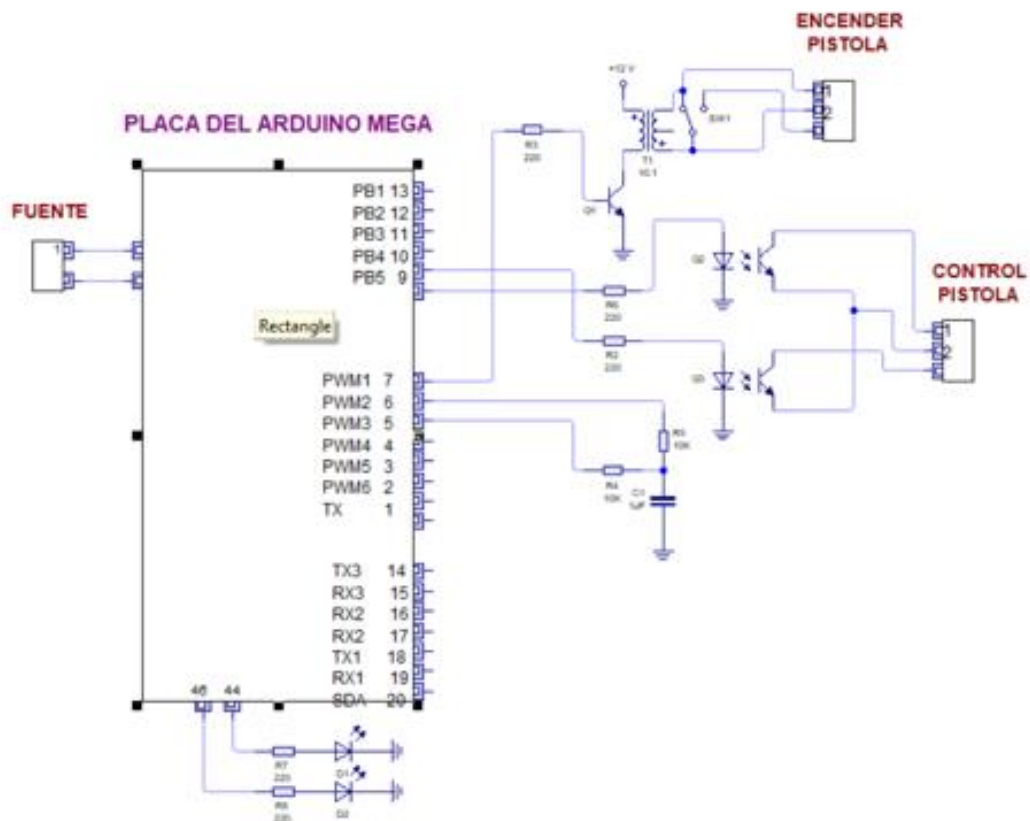
Para el funcionamiento correcto la pistola se tomó en cuenta parámetros como la tensión eléctrica de la pistola para ver qué tipo de intensidad recorrerá en el circuito.

**Tabla 19.**

*Intensidad para las resistencias*

Parámetros	Valores	Unidades
Ecuación	$I = \frac{P}{V}$	
Intensidad de corriente	5	V
Resistencia	220	W
Tensión eléctrica	22.72	mA

Por mayor seguridad se aplicó una resistencia de 220 ohmios debido a que es una resistencia comercial y la intensidad no afecta mucho ya que se utilizaran 2 optoacopladores los mismos que van a separar la parte del sistema de control de la de potencia, el voltaje a alimentar sale del transformador de 5V y su intensidad teórica máxima es de 80 mA, también llamados aisladores acoplados ópticamente, que son dispositivos de emisión y recepción que funcionan como un interruptor activado mediante la luz emitida por un diodo led que satura un componente optoelectrónica.

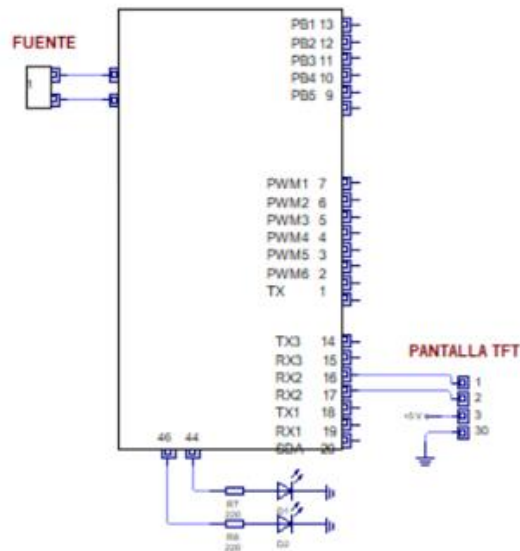


**Figura 22.** Diagrama de control de temperatura

Donde la entrada 1 del optoacoplador va conectado por medio de una resistencia de  $220\Omega$  a la salida PH5 de la sección de PWM del Arduino Mega, la entrada 1 del optoacoplador 2 de la misma forma conectado a la salida PE3 de la sección PWM del Arduino Mega y las entradas 2 de los optoacopladores van directo a tierra.

### 3.4.2. Control de las Interfaces

La función de esta pantalla es mostrar, tanto los datos que se ingresan mediante la programación como los datos resultantes. La pantalla TFT se alimenta con un voltaje operativo de 5V en función nominal, y un voltaje de entrada de 7-12 V.



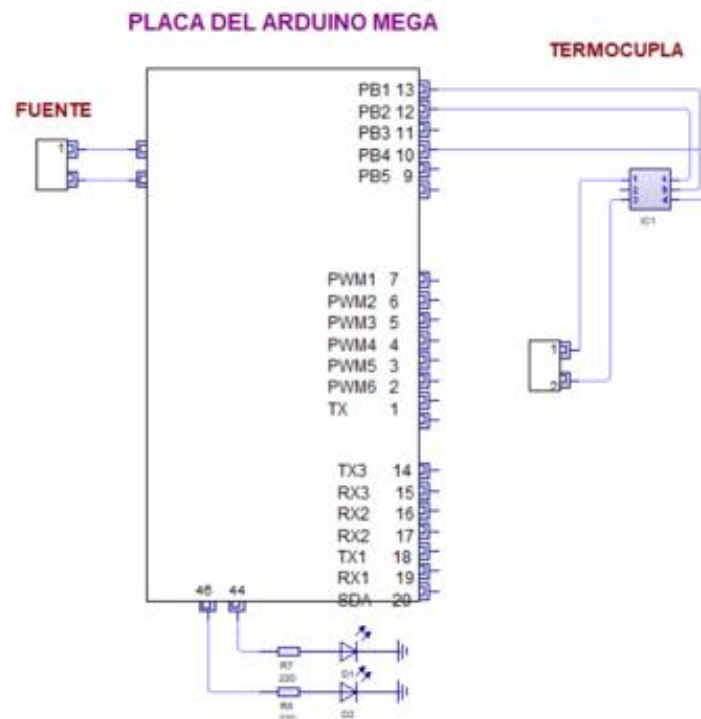
**Figura 23.** Conexión de Interfaces

Posee cuatro salidas, donde el pin (3) es alimentado a la fuente y el (4) va conectado a tierra, el pin (1) y (2) van contactadas a la entrada (18) y (19) del Arduino Mega.

### 3.4.3. Módulo sensor de temperatura

La función del módulo sensor de temperatura tipo K es medir la temperatura que se está generando a la salida del equipo de limpieza, para de esa manera poder colocar la sonda del equipo analizador de gases y así poder obtener resultados adecuados.

La entrada de la termocupla va estar conectada en la manguera de la salida del convertidor catalítico, de esa manera va estar midiendo la temperatura real que se está ejerciendo en ese tramo.

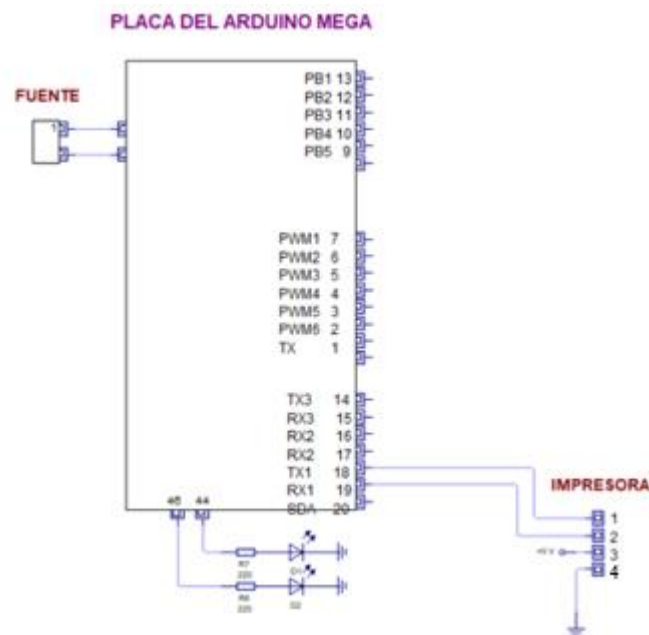


**Figura 24.** Esquema de conexión de la Termocupla

El módulo de la termocupla tiene tres entrada la (5) que va conectada a la salida (13) del Arduino Mega, la (6) PB7 que va conectada a la salida (10) PB4 y la salida (7) que va conectada a la salida (12) PB6; todas estas van estar conectadas a la sección PWM.

#### 3.4.4. Conexión de la Impresora térmica

Imprime todos los datos que fueron ingresados por el investigador como los datos del cliente, vehículo y también se imprimirá los datos que se generaron durante el proceso de limpieza.



*Figura 25.* Esquema de conexión de la Impresora Térmica

La impresora térmica tiene cuatro salidas de las cuales la salida (4) va conectada directo a tierra, la salida (3) va estar alimentada a la fuente con un voltaje de 3.3 a 5 V. Mientras que las salidas (1) y (2) van estar conectas en la sección de Comunicación del Arduino Mega que son (16) TX2 Y (17) RX2 respectivamente.

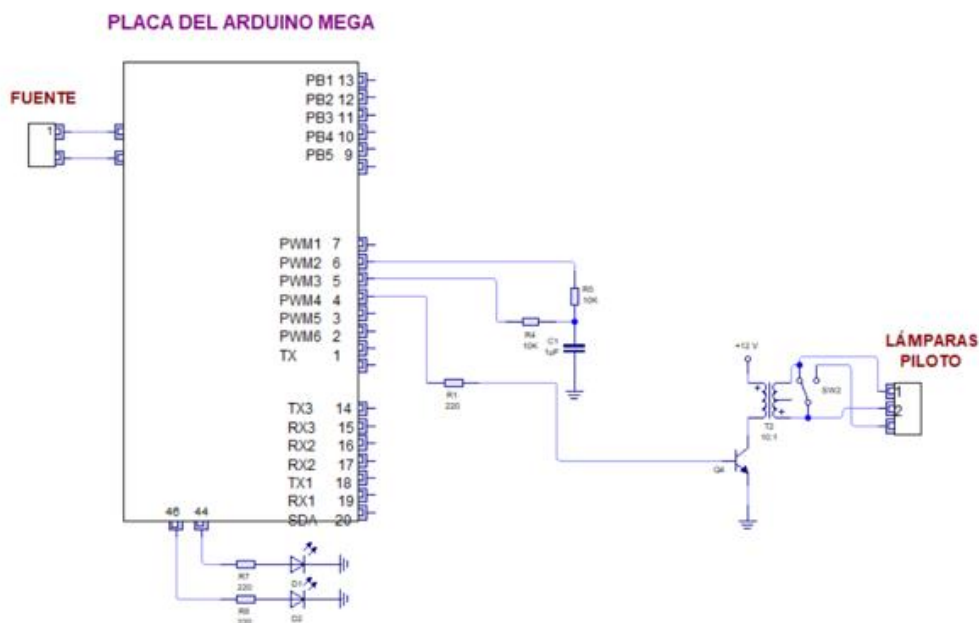
### 3.4.5. Conexión de las Luces piloto

Existen cuatro luces piloto que van a estar alimentadas a una fuente de 12V, cada una cumple una función específica que se va a describir a continuación:

- **Luz verde** esta se va encender todo el tiempo que la máquina se encuentre en funcionamiento.
- **Luz roja** se va encender cuando hay un paro de emergencia dentro del tiempo de

limpieza.

- **Luz naranja** indica que su proceso de limpieza del catalizador está por terminarse satisfactoriamente.
- **Luz azul** se encenderá el botón ese mientras la temperatura llega a su temperatura ideal para ponerse en funcionamiento.

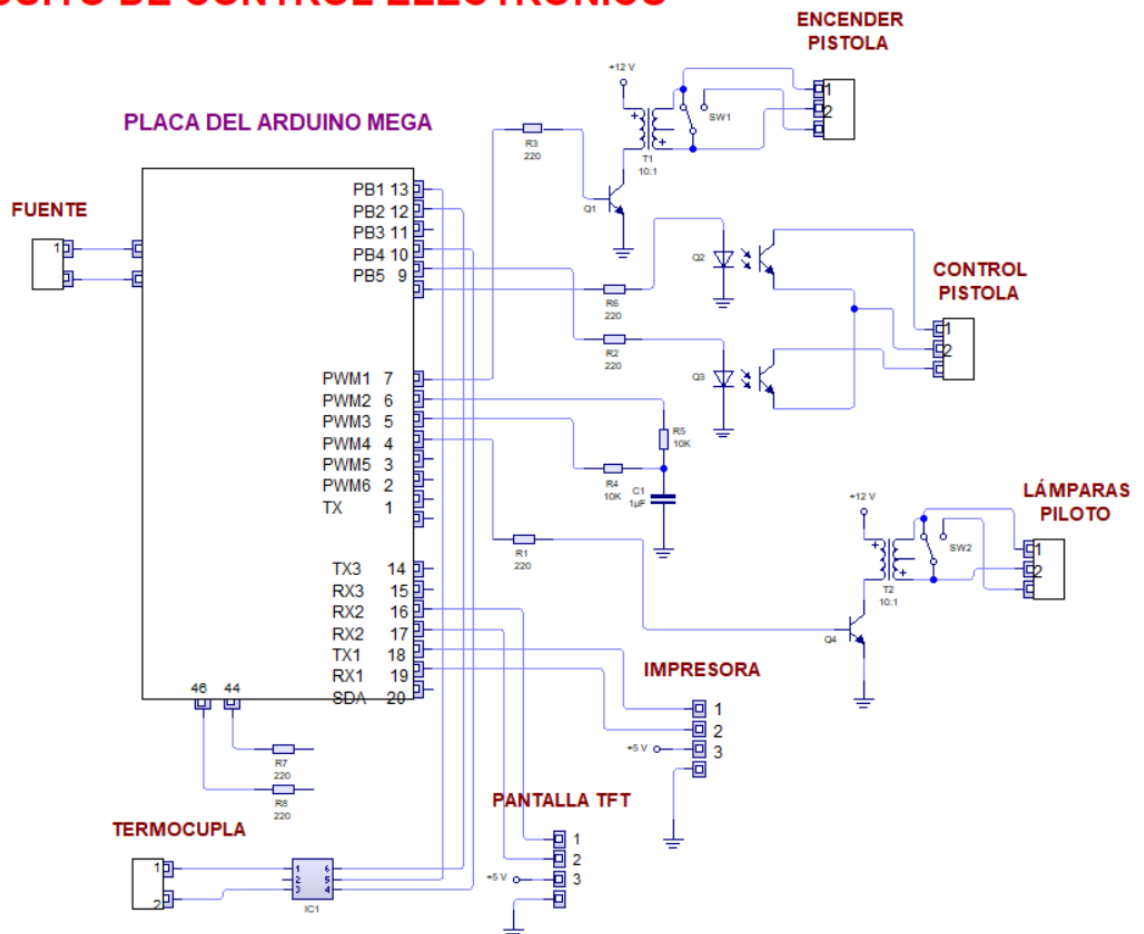


**Figura 26.** Esquema eléctrico de la conexión de las lámparas piloto

Todas estas lámparas van a estar conectadas al relé automotriz que el pin (1) se va alimentar de 12V de la fuente externa y el otro pin del relé va estar conectado a un transistor, donde el transistor la una salida va ir directo a tierra, mientras la otra va ir a una resistencia que va ir conectado a la salida (4) PG5 de la sección PWM.



## CIRCUITO DE CONTROL ELECTRÓNICO



*Figura 27.* Esquema eléctrico del circuito en general

En la figura 27, se observa un esquema total de todas las conexiones con cada uno de los bordes de las mismas.

### 3.5. Programación

La programación considera aspectos como los componentes del diseño eléctrico y electrónico.

### **3.5.1. Lenguaje C**

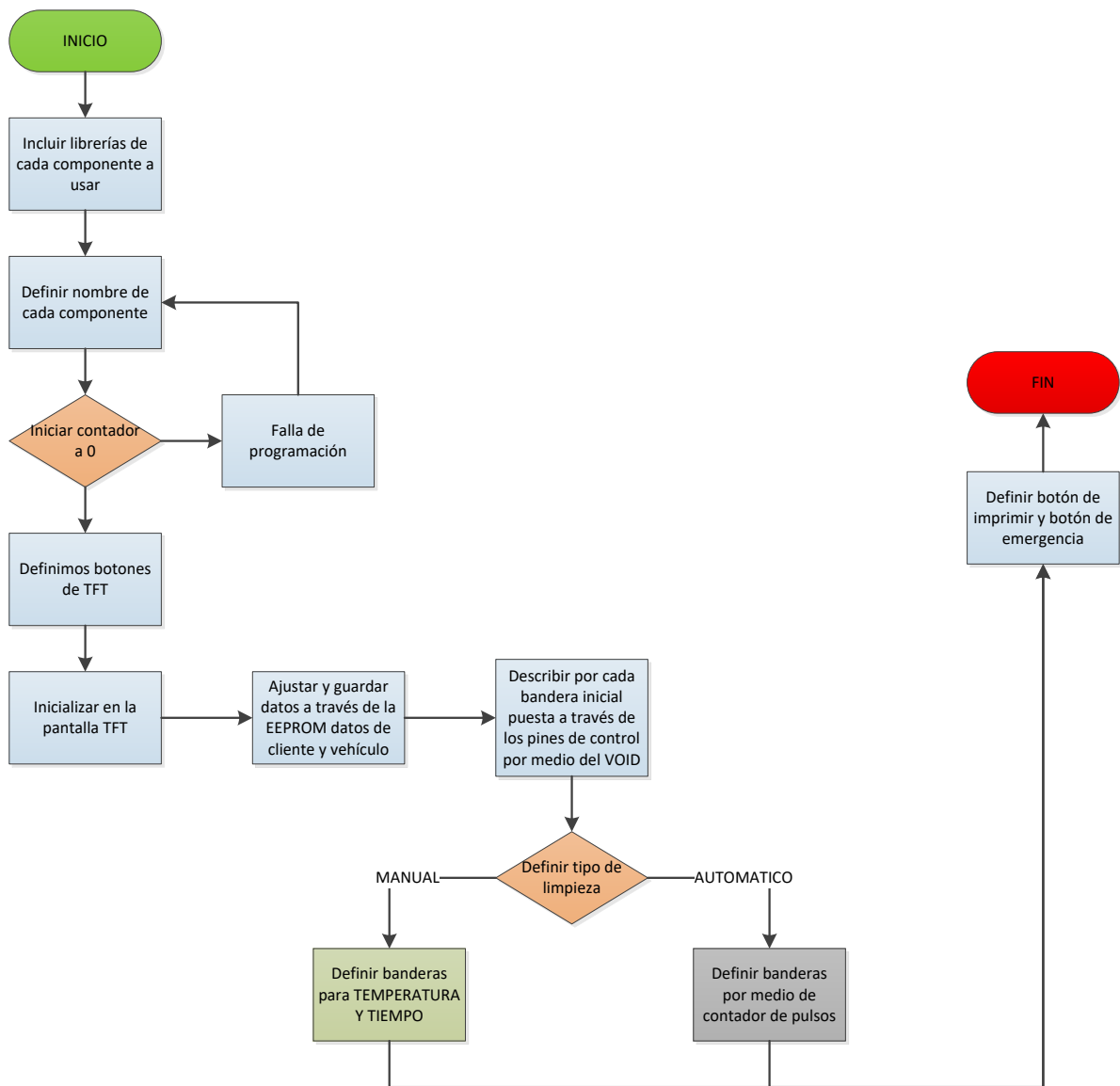
La pistola poseía dos velocidades, de la cual se procedió a eliminar la primera velocidad dada que su rango era de 50°C a 300°C, lo que indica que este rango esta fuera de las condiciones necesarias para poner en funcionamiento el equipo.

Este lenguaje controla los circuitos de programación como: temperatura, velocidad y tiempo los mismos que poseen caracteres, números, bits y direcciones de memoria, construcción de intérpretes, compiladores, editores de texto y condicionales que van a cumplir ciertas funciones, adicional mente esta conformadas de bucles o lazos repetitivos para que se cumplan las condiciones dichas, cuentan con contadores y botones que van estar entrelazados con la programación orientada a objetos y están direccionadas en una fila y columna. Se controla la temperatura por medio de pulsadores internos.

### **3.5.2. Lenguaje de programación orientada a objetos**

Esta programación se realizó mediante un lenguaje de programación orientada a objetos como: pistola térmica, impresora, Pantalla TFT.

Se realizó la programación por medio de interfaces humano-máquinas HMI, manejo de herramientas computacionales para el diseño gráfico de interfaces HMI y programación de pantallas táctiles Nextion e integración con micro controladores Arduino que van comunicadas por medio de banderas y filas de acuerdo a la disposición de la pantalla TFT.



**Figura 28.** Proceso de programación orientada al circuito

La programación de cada uno de los componentes y la programación orientada a los objetos se muestran a través del Anexo 11.

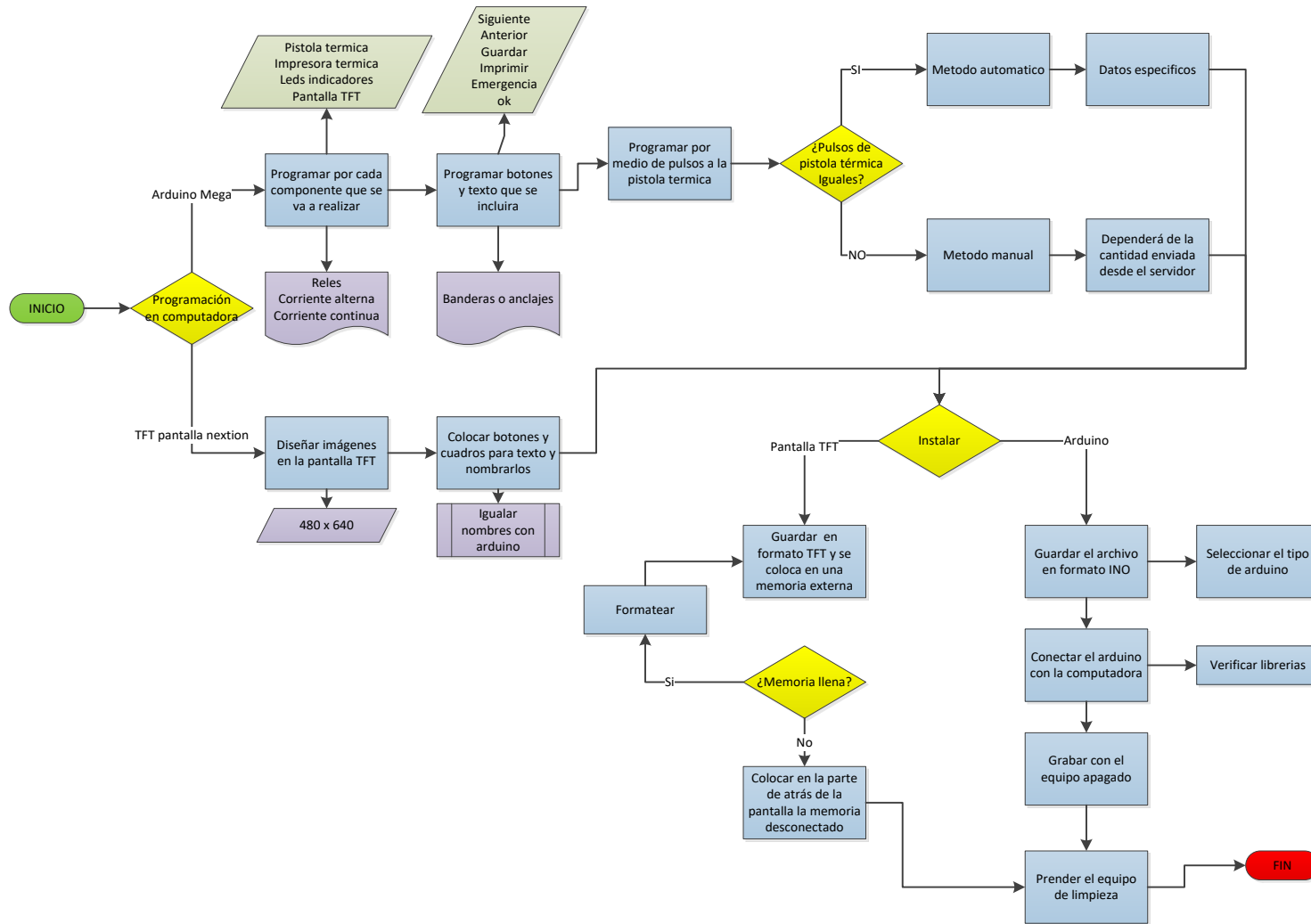


Figura 29. Procedimiento de la programación



Para el procedimiento se verifica que el convertidor catalítico este usado, constatando el peso antes y después de la limpieza con ayuda de una balanza; su control es por medio de la programación de interfaces hacia la pantalla TFT y la placa Arduino Mega, los cuales permiten regular la temperatura y el tiempo con el fin de imprimir un Boucher de la limpieza realizada y los datos inscritos en ella, posteriormente se le inserto dentro del equipo un sistema de regulación el cual se encarga de subir y bajar al convertidor catalítico para mayor comodidad.

La limpieza interna se encuentra unido por un sistema neumático compuesto de mangueras de alta presión, tubos y abrazaderas para el ajuste, la función del sistema neumático es permitir la fluidez del aire térmico y con ayuda de un concentrador de calor que no pueda escapar el aire térmico fuera del catalizador, obteniendo como resultado un equipo de limpieza por medio de una fuente térmica a través de tres etapas que se muestran a continuación.

**Tabla 20.**

*Características de convertidores catalíticos*

<b>Etapas para pruebas</b>	<b>Nomenclatura</b>
<b>Sin limpieza</b>	SL
<b>Con limpieza</b>	CL
<b>Recorrido con limpieza</b>	RCL

Para el uso y funcionamiento correcto del equipo de limpieza es necesario tomar en cuenta la guía del equipo que se encuentra en el Anexo 17. Las pruebas fueron realizadas en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – L en el laboratorio de Autotrónica. Se tomó de muestra los catalizadores evidenciados en la tabla 22

**Tabla 21.***Características de convertidores catalíticos*

Convertidor Catalítico (CC)	Numero de vías	Nomenclatura	Unión	Observación
Convertidor Catalítico 1	3 vías	CC1	No permanente	Empernados
Convertidor Catalítico 2	3 vías	CC2		
Convertidor Catalítico 3	2 vías	CC3	Permanente	Soldados
Convertidor Catalítico 4	2 vías	CC4		

El método de limpieza que se propuso es manual y automático de acuerdo a los convertidores catalíticos usados

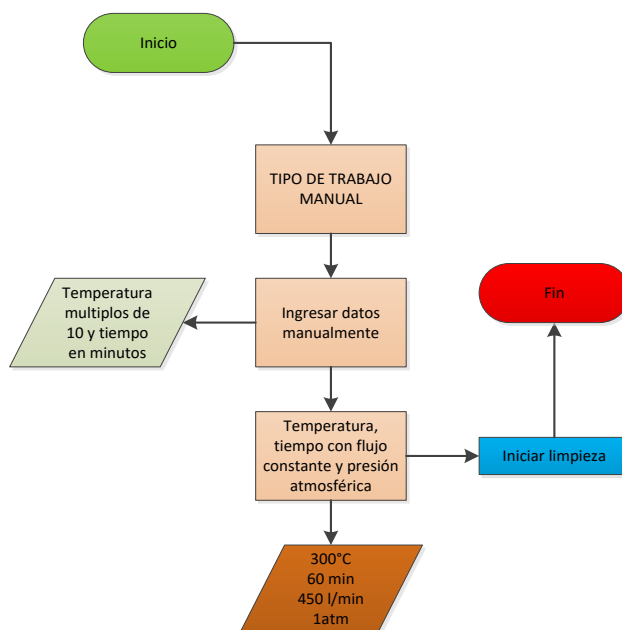
*Figura 31.* Pantalla inicial

### 3.6.1. Método manual

El método manual consiste en una limpieza a cualquier parámetro que se desee.

*Figura 32.* Pantalla de Panel - Control Manual

Como se muestra en la figura 26, controla datos como la temperatura el cual tiene un intervalo de 50°C a 600°C (números múltiplos de 10), mientras que el tiempo se puede ingresar cualquier parámetro en minutos según sea la condición física del catalizador.



**Figura 33.** Proceso de Método Manual

### 3.6.2. Método automático

El método automático consiste en una limpieza fija de tres tipos los cuales fueron estudiados para un mejor tratamiento.





Figura 34. Pantalla del Panel - Control Automático

Como se aprecia en la figura 34, el método manual se puede seleccionar en tres condiciones predictivo, preventivo y correctivo.

Tabla 22.

Metodología de limpieza automática

CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE TRABAJO
Predictivo	Convertidor catalítico a medio uso	250 °C x 30 min
Preventivo	Convertidor catalítico a uso completo	400 °C x 45 min
Correctivo	Convertidor catalítico obstruido	530 °C x 60 min

El proceso del método automático es muy parecido al método manual en cuanto a temperaturas y tiempo debido a que se trabajó a esas temperaturas para el tratamiento de limpieza.

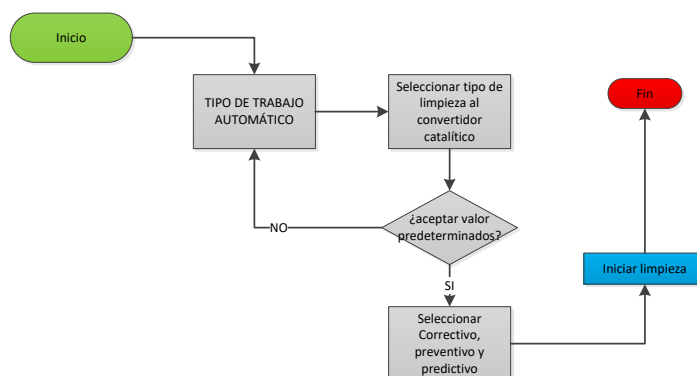


Figura 35. Proceso de Método Automático

## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS DE TRATAMIENTO DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS Y EMISIONES EN CONDICIÓN ESTÁTICA Y DINÁMICA**

En el presente capítulo muestra las pruebas de tratamiento de limpieza de los convertidores catalíticos por medio del método manual y automático, se analiza los datos de emisiones, antes y después del tratamiento obtenido de las pruebas estáticas, dinámicas y eficiencia catalítica bajo las normas técnicas ecuatorianas INEN 2 203, 2 204 y el instructivo RTV – 2014; se realizó un análisis comparativo y estadístico – descriptivo de las emisiones mostradas como el HC, CO, CO<sub>2</sub>, NO, O<sub>2</sub> y lambda.

Según la tabla 20 y 21 se observa la nomenclatura, para cada tipo de catalizador de dos – tres vías y las etapas de prueba para las pruebas de emisiones respectivamente.

#### **4.1. Caracterización del convertidor catalítico**

Para el estudio del catalizador se aplicó la técnica de la espectrometría – energía de rayos X (EDS), la composición de los metales nobles del CC está considerado en tres especies, Platino, Paladio y Rodio los cuales van caracterizando en función de los porcentajes que tiene cada uno en la estructura.

Los datos que se obtuvo fueron a través de los ensayos de reducción con prueba EDS, los

cuales estuvieron tratados a temperaturas de 850 °C mediante muestras del monolito.

**Tabla 23.**

*Metales Nobles del Convertidor Catalítico*

	<b>Convertidor catalítico (ppm)</b>
<b>Platino (Pt)</b>	1497
<b>Paladio (Pd)</b>	183
<b>Rodio (Rh)</b>	102

Como se muestra en la tabla 23, el Platino (Pt), Paladio (Pd) y Rodio (Rh) representados por ppm son los principales elementos que compone el convertidor catalítico en la superficie del monolito, siendo el Platino el mayor componente con 1497 ppm, el cual beneficia a la catálisis hasta el 90% de los gases nocivos (HC, NOx, NO) en sustancias menos tóxicas convertidos en Nitrógeno, Dióxido de Carbono y Vapor de agua.

**Tabla 24.**

*Constitución del Monolito*

	<b>Convertidor catalítico nuevo (microgramos)</b>
<b>Carbón (C)</b>	0,67
<b>Oxígeno (O)</b>	40,51
<b>Magnesio (Mg)</b>	0,31
<b>Aluminio (Al)</b>	29,74
<b>Silicio (Si)</b>	0,37
<b>Zirconio (Zr)</b>	16,51
<b>Cerio (Ce)</b>	0,14
<b>Bario (Ba)</b>	5,39
<b>Manganeso (Mn)</b>	4,57

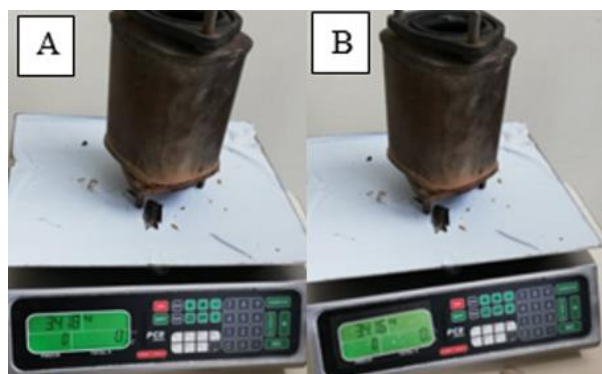
Se obtienen los valores en porcentaje de masa como se muestra en la tabla 24, siendo el Aluminio (Al) y el Oxígeno (O), los elementos con mayor presencia, por lo tanto la estructura del monolito está formado de alúmina los cuales son los complementos necesarios para la catálisis de los gases nocivos.

La estructura está formada de carbón (C) cuya función es de mejorar y absorber micro

impurezas, la mezcla del magnesio (Mg) y el oxígeno (O), mejora las reacciones respecto a los metales nobles, mientras que el zirconio (Zr) y el bario (Ba) mejoran el proceso catalítico a bajas temperaturas y previene la decadencia en altas temperaturas. El manganeso (Mn) y el Cerio (Ce) actúan para el equilibrio de la alúmina, los cuales el cerio tiende a reducir el área superficial para que los metales nobles se acumulen y no se disperse el platino, paladio y rodio.

#### 4.2. Pruebas de tratamiento de limpieza de los convertidores catalíticos

Para el tratamiento de limpieza de los convertidores automotrices se utilizó un peso base antes y después del tratamiento, determinando si en el proceso de oxidación produjo la separación del coque de las paredes del CC de tal manera que disminuya la masa del catalizador, para así realizar las pruebas de emisiones antes y después del proceso de tratamiento, en el vehículo.



*Figura 36.* Peso Base del CC

En la figura 36, muestra al CC antes de ser sometido al tratamiento (A) con una masa de 3.1418 kg, mientras que en la limpieza el catalizador (B) se observa una disminución de 3.1416 kg, lo cual indica que hubo una variación de masa de  $2 \times 10^{-4}$  kg es decir.

#### 4.2.1. Método Manual

Se ejecutó la prueba de tratamiento en el CC1 – 3 vías, a una temperatura de 400°C durante un tiempo establecido de 45 min con un intervalo de enfriamiento de 15 min; mientras que para el CC2 – 2 vías, el proceso de limpieza se lo realizo a una temperatura de 300°C con un tiempo de 30 min y un enfriamiento de 15 min, para realizar el proceso de medición de peso base y verificar su masa antes y después de ser sometido al proceso de limpieza.

#### 4.2.2. Método automático

Para el tratamiento del CC3 – 3 vías se seleccionó el ítem de correctivo y predictivo con una temperatura de 530°C – 60 min y 250°C – 30 min respectivamente, ya que su condición física se encontraba obstruido y taponado; mientras que el CC4 – 2 vías, se utilizó una limpieza predictiva y preventiva con su temperatura y tiempo del proceso 250°C – 30 min y 450°C – 45 min respectivamente. El tiempo para la etapa de enfriamiento es de 20 min para los dos CC.



Figura 37. Tipo de limpieza – Método Automático

En la tabla 25, se observan los pesos bases de los cuatro CC antes y después del tratamiento,

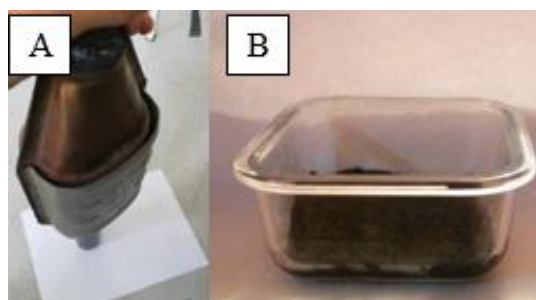
siendo el CC4 el máximo porcentaje del desprendimiento del Coque de las paredes del catalizador con 1.8%, este proceso se trató por el método automático debido a que el CC permanecía obstruido.

**Tabla 25.**

*Peso de los Convertidores Catalíticos Antes y Después del Tratamiento*

Catalizadores	Antes	Después	Desprendimiento del Coque
CC1 – 3 vías	3.418 kg	3.416 kg	0.06%
CC2 – 2 vías	3.242 kg	3.204 kg	1.17%
CC3 – 3 vías	3.124 kg	3.088 kg	1.15%
CC4 – 2 vías	2.228 kg	2.188 kg	1.80%

Los porcentajes de peso base, disminuyeron de su peso real debido a que los mismos fueron sometidos al tratamiento de limpieza llevándolos a temperaturas elevadas a 400°C, en el cual se tuvo mayor porcentaje es en el CC4 de 2 vías, obteniéndose así un tratamiento eficiente de la maquina



**Figura 38.** Coque eliminado del CC

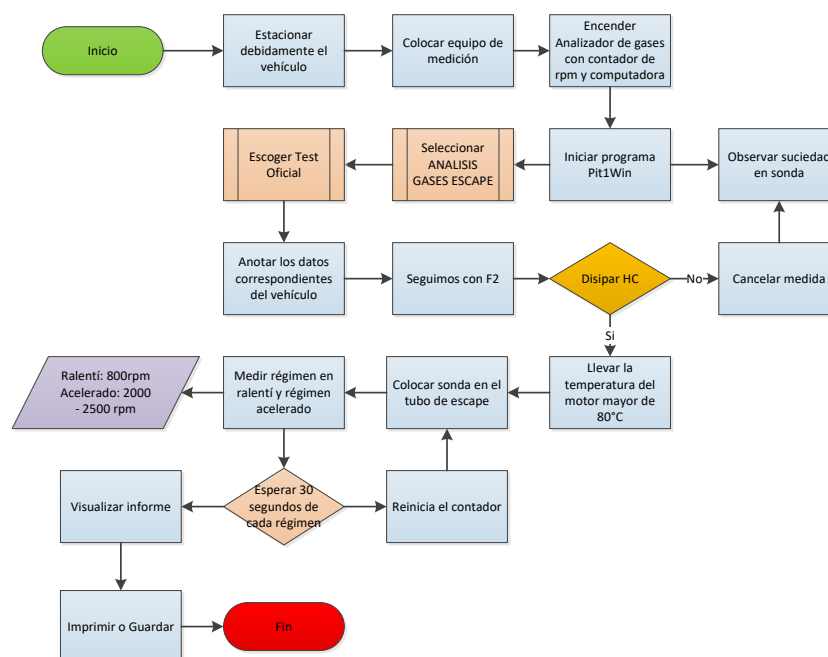
En la figura 38, se observa al catalizador dado la vuelta (A) para verificar la caída de carbonilla y ponerlo en un recipiente (B), que se desprendió de las paredes del convertidor catalítico

### 4.3. Pruebas de emisiones

Las emisiones del CC se realizaron por medio del test oficial, pruebas estáticas, dinámicas y especiales – prueba de la eficiencia catalítica. El proceso se realizó en tres etapas: Sin limpieza, con limpieza y recorrido con limpieza.

#### 4.3.1. Test oficial

Se muestra los datos de las emisiones respecto a los límites RTV – 2014 (Anexo 20) en ralentí y a 2400 – 2600 rpm por un tiempo de 20 segundos a una temperatura ideal del vehículo.



**Figura 39.** Proceso de Test Oficial

Los datos de las emisiones en la tabla 26, se obtuvieron valores de los gases contaminantes en las tres etapas del CC las cuáles van a ser evaluadas a la norma NTE INEN 2 204.

**Tabla 26.***Datos de emisiones T. Oficial CC3 – 3 vías y CC4 – 2 vías*

Recorrido			TEMP MOTOR [°C]	RPM [1/min]	CO [%Vol]	CO2 [%Vol]	O2 [%Vol]	HC [ppm/Vol]	LAMBDA [-]	RESULTADO
<b>CC3 - 3 vías</b>										
<b>SIN LIMPIEZA</b>	SL	SR	80	820	0,01	12,2	4,53	0	1,26	Aprobado con falta tipo 2
			80	2470	0,08	14,9	0,15	30	1,003	
<b>CON LIMPIEZA</b>	CL	0 km	97	820	0,08	12,6	5,72	15	1,313	Rechazado
			97	2420	0,21	14,9	0,46	42	1,014	
<b>CON RECORRIDO</b>	R CL	700 km	91	780	0,01	13	2,25	10	1,121	Aprobado sin faltas
			91	2470	0	14,9	0,51	1	1,024	
	R CL	740 km	97	790	0,15	12,5	2,97	58	1,157	Aprobado sin faltas
			97	2510	0,12	14,9	1,86	35	1,082	
<b>CC4 – 2 vías</b>										
<b>SIN LIMPIEZA</b>	SL	SR	95	780	0,81	10,2	7,48	2210	1,29	Rechazado
			95	2530	0,63	12,5	3,33	775	1,118	
<b>CON LIMPIEZA</b>	CL	0 km	98	930	1,08	9,8	7,41	2410	1,266	Rechazado
			98	2450	0,86	12,1	3,98	971	1,135	
<b>CON RECORRIDO</b>	R CL	40 km	103	830	0,89	11,4	4,59	1757	1,133	Rechazado
			103	2450	0,64	13,2	2,62	564	1,086	
	R CL	80 km	103	790	0,93	10,9	5,05	1354	1,184	Rechazado
			103	2430	0,54	13	3,01	528	1,113	



**a. CC3**

El dato relevante de SL en altas y bajas revoluciones fue que el oxígeno, debido a que marco un valor de 4.53% que estaba dentro de los límites con un 0.57% de alcance para que llegue a su rechazo de la norma pero para la RTV – 2014 tenía una aprobación con falla tipo 2 por su rango de 4 a 5 %.

La segunda etapa consta del CC3 CL, donde el O2 se encuentra fuera de los límites de la norma 2 204 con un 5.72% en los rangos altos del motor, por ese motivo el resultado fue de Rechazado porque tiene 0.72% más de la norma.

La tercera etapa consta del RCL establecido de 700 km y 740 km, donde los niveles de O2 es de 2.25 % y 2.97%, los cuales están dentro de los límites, con un 2% por debajo de la norma establecidos en la norma NTE IEN 2 204.

**b. CC4**

Los datos obtenidos en el CC4 SL muestra los resultados del Oxígeno valores máximos de 7.48 % y de HC de 2210 ppm, los cuales no están dentro de los límites de la norma con un 2.48 % y un 1010 ppm por encima de la norma respectivamente, para por lo tanto el resultado obtenido dio Rechazado.

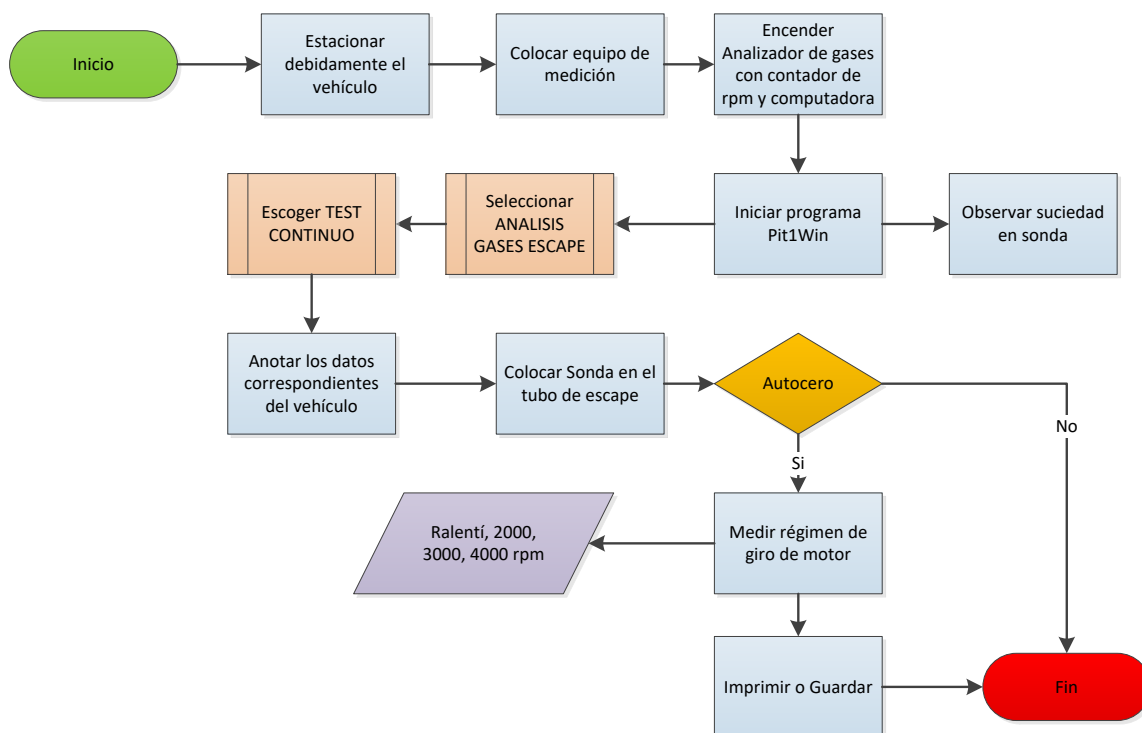
La segunda etapa del CC4 CL, representa al O2 con de 7.41%, HC de 2410 y el CO de 1.08 % valores que están fuera de los límites respecto a la norma 2 204 y la RTV – 2014 con

un dando como resultado Rechazado.

La tercera etapa consta de un recorrido establecido de 40 km y 80 km, donde los niveles de HC es de 1757 y 1354 ppm respectivamente, los cuales bajaron respecto a la etapa anterior pero no lo suficiente para el límite de la máximo de la norma, mientras el CO y O2 están dentro de los límites establecidos con 2.62% y 3.02%, por lo tanto este CC requiere de un nuevo tratamiento debido a que el procedimiento disminuye progresivamente los HC y O2.

#### 4.3.2. Estáticas

Se visualiza las emisiones obtenidas de acuerdo al régimen del giro del motor fijado para cada prueba.



**Figura 40.** Proceso de emisiones estáticas

**a. CC1**

Los datos de las emisiones se muestran a continuación en la tabla 28, donde se obtuvieron valores en las tres etapas a diferente régimen de motor siendo la prueba de test continuo, las cuáles van a ser evaluadas de acuerdo a la norma NTE INEN 2 204.

**Tabla 27.***Datos de emisiones T. Continuo - CC1 - 3 vías*

CC1 - 3 vías		Recorrido	TEMP MOTOR [°C]	RPM [1/min]	COcorr [%Vol]	LAMBDA [-]	CO [%Vol]	CO2 [%Vol]	HC [ppm]	O2 [%Vol]	NO [ppm]	Observación
<b>SIN LIMPIEZA</b>	<b>SL</b>	<b>SR</b>	95	470	0,05	1,069	0,05	14,6	70	1,54	44	Dentro del límite
			97	2130	0,09	1,052	0,09	15	41	1,22	198	
			98	2030	0,01	1,004	0,01	15,3	8	0,11	149	
			99	3010	0,07	1,037	0,07	14,9	22	0,86	45	
			102	3620	0,12	1,002	0,12	14,8	14	0,13	101	
<b>CON LIMPIEZA</b>	<b>CL</b>	<b>0 km</b>	95	470	0	1,077	0	13,9	59	1,57	59	Dentro del límite
			96	2260	0,11	1,073	0,11	14,3	59	1,61	150	
			97	2150	0,01	1,019	0,01	14,8	3	0,4	174	
			97	3080	0,01	1,017	0,01	14,9	7	0,38	212	
			101	3030	0,01	1,004	0,01	15	0	0,1	274	
<b>CON RECORRIDO</b>	<b>R CL</b>	<b>46 km</b>	94	800	0,01	1,859	0,01	12,2	25	1,9	39	Dentro del límite
			96	2340	0,02	1,026	0,02	15	17	0,58	61	
			97	2240	0	1,015	0	15	14	0,34	58	
			97	3290	0	1,015	0	15,1	13	0,34	62	
			100	3190	0	1,004	0	15,3	10	0,1	112	

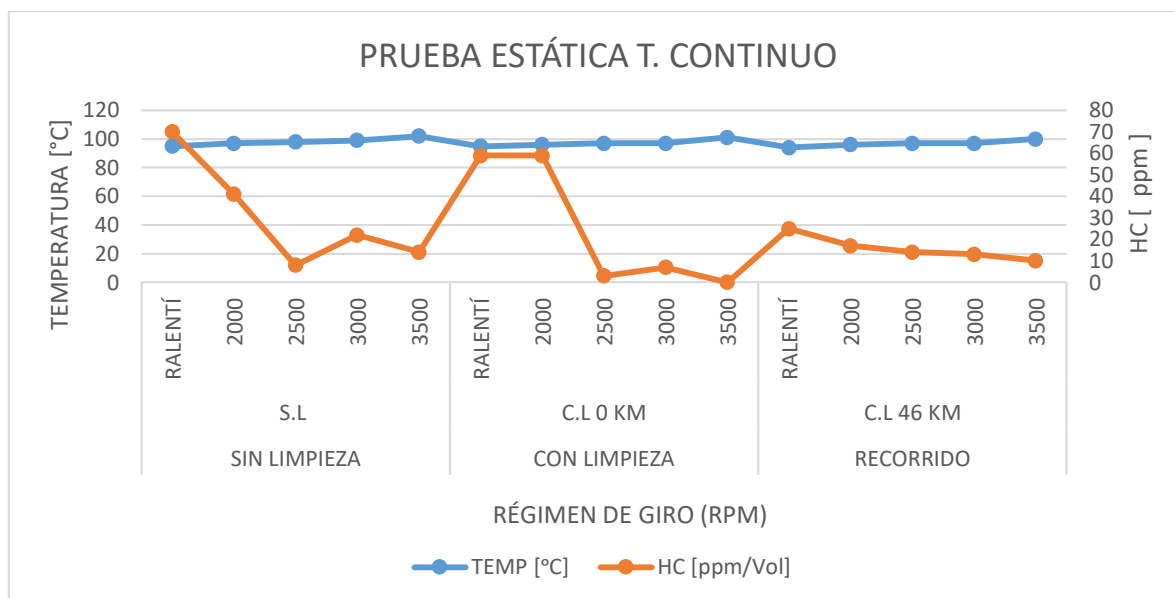
En la figura 41, se visualiza los resultados obtenidos de las pruebas estáticas en sus tres etapas. La primera etapa de la prueba, que se realizó en su condición normal, es decir sin limpieza, se observa como los Hidrocarburos tienen un valor de 78 ppm y mientras se le va aumentando el régimen de giro del motor estos tienden a disminuir, llegando alcanzar su punto mínimo de 10 ppm a las 3500 rpm; mientras la temperatura del motor va aumentando. Con estos datos se dice que los niveles de Hidrocarburos están dentro del límite de 200 ppm establecidos en la norma NTE INEN 2 204.

La segunda etapa, manifiesta el convertidor tratado a 0 km, donde se puede observar que los niveles de Hidrocarburos van aumentando y se estabiliza en el tramo de ralentí a 2000 rpm obteniendo un valor de 58 ppm, de ahí tiene una pendiente hacia abajo llegando a obtener 1 ppm y las demás medidas mientras se va aumentando el régimen de giro del motor las variaciones van 2 ppm hasta llegar a obtener 8 ppm, la temperatura del motor se mantiene constante. Las medidas tomadas de los niveles de Hidrocarburos están dentro del límite de 200 ppm.

La tercera etapa, fue realizada con el CC instalado en el vehículo y con un recorrido de 46 km, donde su punto máximo de fue de 20 ppm en ralentí y de ahí en adelante estos niveles ya fueron obteniendo una tendencia que van desde 15 hasta 8 ppm al igual manera la temperatura del motor se mantiene constante.

Una vez cumplido el tratamiento de limpieza y recorrido, se puede decir que los niveles de los hidrocarburos están dentro de las normas NTE INEN, para comprobar la eficiencia del convertidor y obteniendo un porcentaje de 11.42 % de reducción en cuanto a los niveles de

HC; dando a conocer que el proceso de limpieza que se planteó es de mucha ayuda para la economía del CC y así reduciendo la contaminación.



**Figura 41.** HC vs Temperatura del motor CC1 – 3 vías

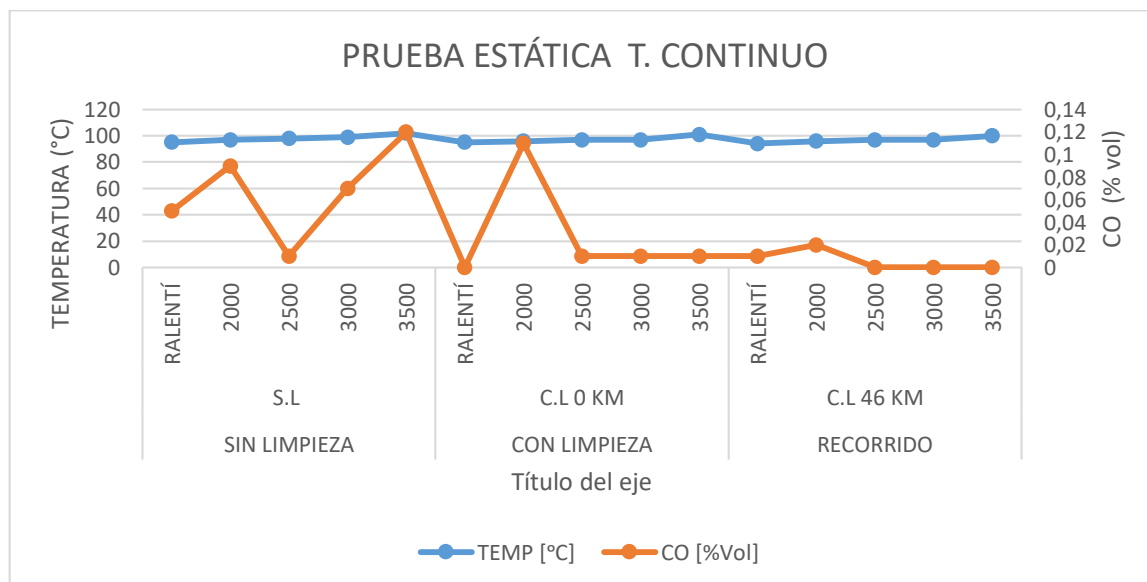
En la gráfica 42, se aprecia la variación del CO con la temperatura del motor, en la primera etapa con el CC en su condición física inicial, sin ser tratado se observa que el CO empiezan en un porcentaje bajo de 0.04 % y llegando a obtener su pico más alto de 0.12 % a las 3500 rpm; mientras su régimen de giro va aumentando progresivamente. Con estos datos se dice que los niveles de CO están fuera del límite establecidos en la norma NTE INEN 2 204.

La segunda etapa, indica el convertidor tratado a 0 km, donde se puede visualizar que los niveles de CO van aumentando llegando a tener un valor de 0.11% a las 2000 rpm y se estabiliza en el tramo de 2500 rpm hasta ralentí de la siguiente etapa llegando a tener su punto más alto a las 2000 rpm con un valor de 0.02 %, mientras se va aumentando el régimen de giro del motor y la temperatura del mismo va variando constantemente. Las medidas tomadas de

los niveles de CO están dentro de las normas establecidas en la NTE INEN 2204.

La tercera etapa, fue elaborada con el CC1 tres – vías situado en el vehículo y con un recorrido de 46 km, donde su punto máximo fue de 0.02% a un régimen de giro de 2000 rpm, de ahí en adelante esta se logró estabilizar llegando a obtener una valor de 0% durante las 2500 a 3500 rpm; mientras la temperatura del motor se logró estabilizar también.

Una vez realizado el tratamiento de limpieza y recorrido, se puede decir que los niveles obtenidos del CO con el CC instalado cumplen con los límites que están establecidos en la norma NTE INEN 2 204, para que se pueda demostrar la eficiencia del convertidor y se redujo en un 12% los niveles de CO; dando a conocer que el proceso de limpieza que se planteó ayuda a reducir la contaminación del medio ambiente.



**Figura 42.** CO vs Temperatura del motor CC1 – 3 vías

Se muestra la variación del O<sub>2</sub>, en la gráfica 43 con la temperatura del motor, la primera

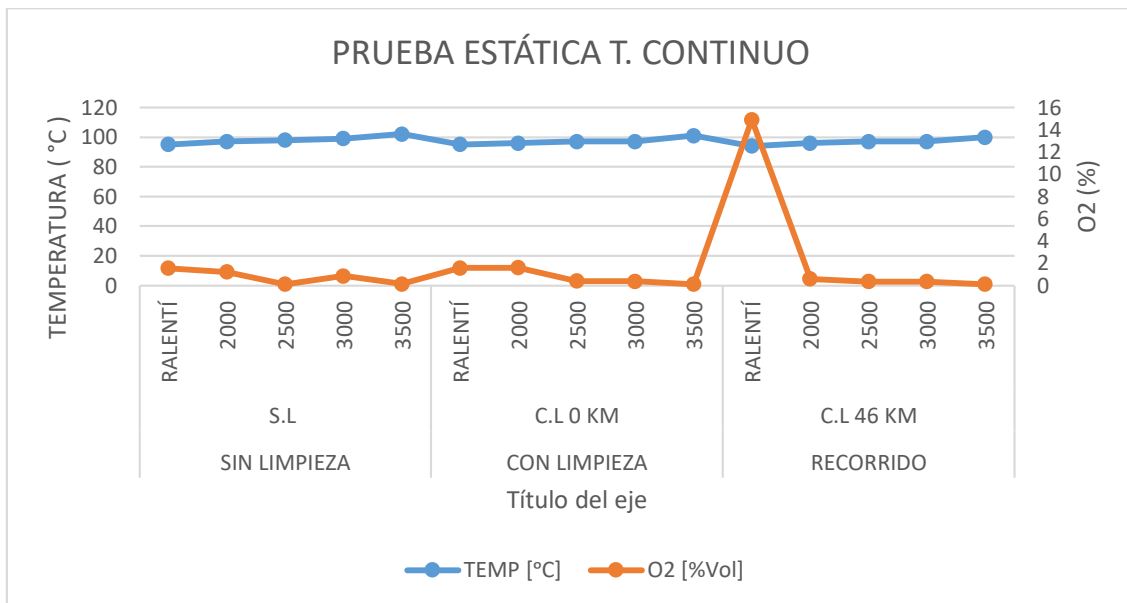
etapa con el CC1 en su condición física inicial, sin ser tratado se observa que el O<sub>2</sub> empiezan en un porcentaje bajo con un 1.8% en ralentí; mientras se va aumentando el régimen de giro del motor estos valores van disminuyendo llegando a tener su valor de 0% a las 2500 y 3500 rpm.

La segunda etapa, está el convertidor tratado a 0 km, donde se puede observar que los niveles de O<sub>2</sub> van aumentando y se estabiliza en el tramo de ralentí hasta 2000 rpm alcanzando una valor de 3%, luego se vuelve a estabilizar en el tramo de 2500 a 3000 rpm obteniendo una valor de 1%.

La tercera etapa, fue elaborada con el CC1 tres – vías colocado en el vehículo y con un recorrido de 46 km, donde su punto máximo fue de 15% a un régimen de giro de ralentí, de ahí en adelante esta curva se estabiliza llegando a obtener una valor de 0% durante las 2000 a 3500 rpm; mientras la temperatura del motor se logró estabilizar también.

Una vez adaptado el CC se puede decir que los niveles obtenidos del O<sub>2</sub> con el CC instalado y después de haber realizado la limpieza correctamente y haber establecido una ruta para que se pueda comprobar la eficiencia del convertidor y los niveles de O<sub>2</sub> siempre se mantuvieron bajos dando a conocer su único punto alto de 15%.





**Figura 43.** O2 vs Temperatura del motor CC1 – 3 vías

### a.1. Relación lambda

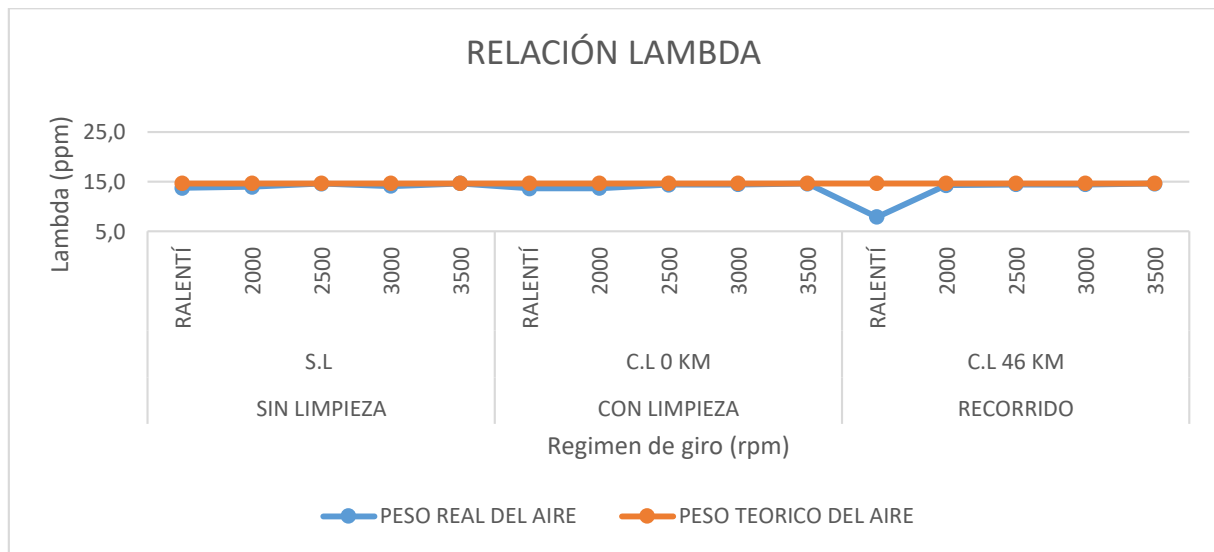
El peso real establece el valor estequiométrico 14,7 cuyo valor es constante para una mezcla ideal teóricamente, sobre lambda establecida y visualizar si la mezcla es rica o pobre.

Como se muestra en la tabla 29, el peso real del lambda respecto a SL se observa fluctuaciones con un promedio de 14.25 ppm, que son mezclas pobres, mientras CL sus promedio baja a 14.1 ppm siendo lejana al valor estequiométrico de 14.7 ppm y el RCL tiene valores aproximados con 14.45 ppm siendo un proceso viable.

**Tabla 28.**  
*Relación lambda CCI*

Tratamiento	Lambda [ $\lambda$ ]	Peso real [14,9/ $\lambda$ ][ppm]	Peso teórico
<b>SL</b>	1,069	13,8	14,7
	1,052	14,0	14,7
	1,004	14,6	14,7
	1,037	14,2	14,7
	1,002	14,7	14,7
<b>CL 0 KM</b>	1,077	13,6	14,7
	1,073	13,7	14,7
	1,019	14,4	14,7
	1,017	14,5	14,7
	1,004	14,6	14,7
<b>RCL 46 KM</b>	1,859	7,9	14,7
	1,026	14,3	14,7
	1,015	14,5	14,7
	1,015	14,5	14,7
	1,004	14,6	14,7

Se observa, el comportamiento de las curvas del peso teórico y real del aire, en la figura 44. En la primera curva se observa las fluctuaciones llegando a tener un pico más bajo de 7.9 a una temperatura de 94° C, registrándose en la condición de recorrido a un régimen de giro establecido y su pico más alto de 14.7 a una temperatura de 117°C; La curva 2 establece el límite estequiométrico que es de 14.7. Durante el número de pruebas se observa la existencia de mezclas ricas respecto al valor estequiométrico con 10 aproximaciones.



**Figura 44.** Relación Lambda del CC1- 3 vías

## b. CC2

Los datos de las emisiones en la tabla 30, se obtuvieron valores de gases contaminantes en las tres etapas del CC las cuáles van a ser evaluadas de acuerdo a la norma NTE INEN 2 204.

**Tabla 29.***Datos de emisiones T. Continuo - CC2 - 2 vías*

CC2 - 2 vías			Recorrido	TEMP MOTOR [°C]	RPM [1/min]	COcorr [%Vol]	LAMBDA [-]	CO [%Vol]	CO2 [%Vol]	HC [ppm/Vol]	O2 [%Vol]	NO [ppm/Vol]	Observación
<b>SIN LIMPIEZA</b>	<b>SL</b>	<b>SR</b>		90	650	0,6	1,066	0,6	11,9	155	1,67	35	Dentro del límite establecidos con fallas tipo 1
				90	1560	0,62	1,033	0,62	12	138	1,02	135	
				91	2150	0,63	1,035	0,63	12,1	121	1,1	150	
				91	3200	0,54	1,03	0,54	12,3	153	0,86	64	
				92	4500	0,36	1,015	0,36	12,5	95	0,57	99	
<b>CON LIMPIEZA</b>	<b>CL</b>	<b>0 km</b>		90	670	0,63	1,032	0,63	11,6	208	1,04	69	Fuera del límite
				91	1680	0,75	1,014	0,75	11,7	152	0,82	130	Dentro del límite
				91	2200	0,46	1,007	0,46	11,8	102	0,56	142	
				91	3330	0,04	1,001	0,04	12,3	56	0,01	202	
				90	4250	0,03	0,998	0,03	12,5	39	0,01	356	
<b>RECORRIDO</b>	<b>R CL</b>	<b>46 km</b>		92	650	0,42	1,033	0,42	11,7	158	1,12	59	Dentro del límite
				92	1530	0,52	1,012	0,52	11,9	138	0,89	150	
				93	2100	0,36	1,009	0,36	11,9	109	0,66	162	
				93	3400	0,03	0,998	0,03	12,3	36	0,02	200	
				93	4350	0,05	0,994	0,05	12,4	33	0,03	330	

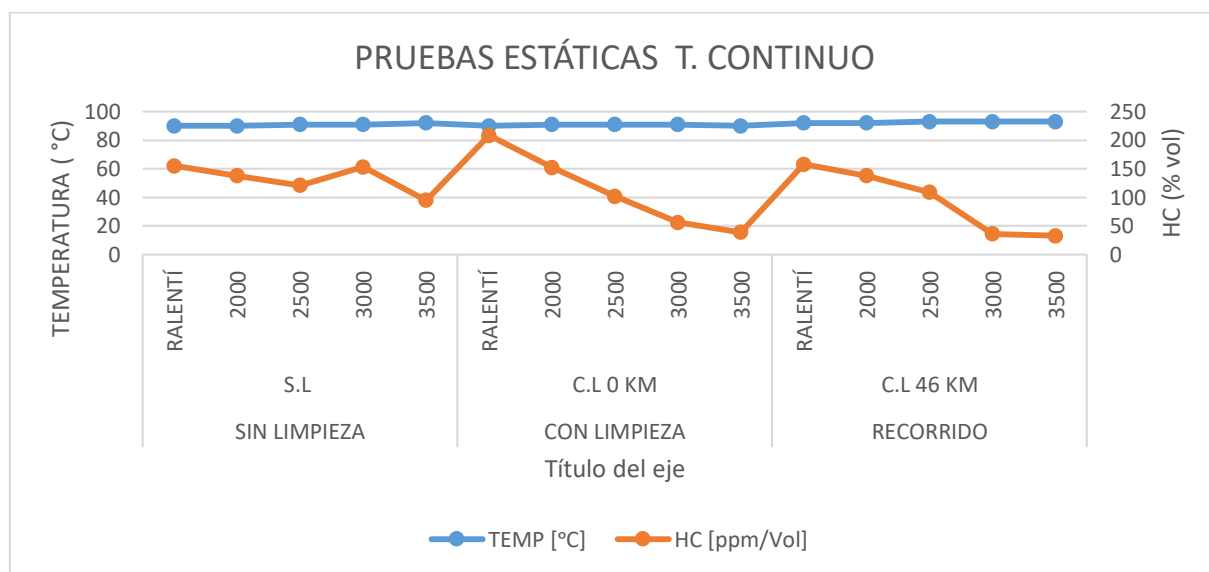
En la figura 45, se muestra los resultados obtenidos de las pruebas estáticas en sus tres etapas. La primera etapa de la prueba se realizó en condición normal, es decir sin limpieza, se observa como los Hidrocarburos tienen un valor de máximo de 150 ppm, mientras se le va aumentando el régimen de giro del motor estos tienden a disminuir progresivamente, llegando a alcanzar su punto mínimo de 100 ppm a las 3000 rpm; mientras la temperatura del motor se mantiene estable. Con estos datos se dice que los niveles de Hidrocarburos están dentro del límite de 200 ppm con 50 ppm por llegar al rango establecidos en la norma NTE INEN 2 204.

La segunda etapa, esta con el convertidor tratado a 0 km, donde se puede visualizar que los niveles de Hidrocarburos van aumentando llegando a tener su punto más alto de 208 ppm en ralentí, con 8 ppm fuera del límite establecido de 200 ppm que significa el rechazo, a continuación tiene una pendiente hacia abajo llegando a obtener 50 ppm a las 3500 rpm; mientras la temperatura del motor se mantiene constante. Las medidas tomadas de los niveles de Hidrocarburos fuera del ralentí, están dentro de las normas establecidas en la NTE INEN 2 204 con 150ppm por debajo de la misma.

La tercera etapa, fue realizada con el CC instalado en el vehículo y con un recorrido de 46 km, donde su punto máximo de fue de 158 ppm en ralentí y de ahí en adelante estos valores fueron decayendo hasta tener una estabilización en el tramo de 3000 a 3500 rpm obteniendo un valor de 48 ppm los cuales todos los datos cumplen con los límites establecidos en la norma NTE INEN 2 204.

Una vez hecho el proceso de limpieza, se puede decir que los niveles de los hidrocarburos están ya dentro del límite de 200 ppm las normas NTE INEN, después de haber realizado la

limpieza correctamente y haber establecido una ruta para que se pueda comprobar la eficiencia del convertidor y obtener un porcentaje de 24 % que se redujo en los niveles de HC; dando a conocer que el proceso de limpieza que se planteó ayuda a reducir la contaminación del medio ambiente.



**Figura 45.** HC vs Temperatura del motor CC2 – 2 vías

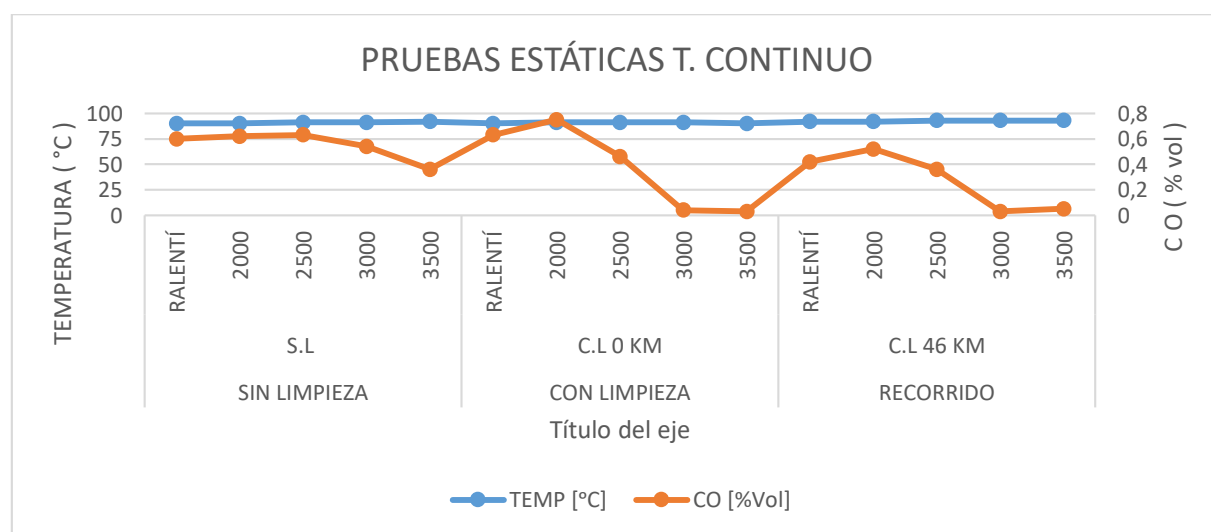
En la gráfica 46, se observa la variación del CO con la temperatura del motor, en la primera etapa el CC2 – 2vías sin ser tratado se observa que el CO empiezan en un porcentaje alto fuera de los límites establecidos pero con fallas según el RTV, la cual se estabiliza durante el tramo de ralentí a 2500 rpm, de ahí tiene una tendencia de caída obteniendo un valor de 0.4 % a las 3500 Con estos datos se dice que los niveles de CO están dentro del límite de la norma pero con fallas según la RTV de acuerdo a los rangos establecidos.

La segunda etapa, con el convertidor tratado a 0 km, se puede visualizar que los niveles de CO van aumentando llegando a tener su punto más alto de 0.7 % que está dentro del límite

establecido por la norma del 1% y después empieza con una pendiente hacia abajo logrando estabilizarse en el tramo de 3000 a 3500 rpm con un 0.01%; mientras se va aumentando el régimen de giro del motor, la temperatura del mismo se mantiene constante.

La tercera etapa, fue ejecutada con el CC2 2- vías ya instalado en el vehículo y con un recorrido de 46 km, donde su punto máximo fue de 0.5% quedando un 0.5% para el alcance del límite de la norma a un régimen de giro de 2000 rpm, de ahí en adelante esta se logró estabilizar llegando a obtener una valor por debajo del límite de 0.1% durante las 3000 a 3500 rpm.

Una vez realizado el proceso de limpieza, se puede decir que los niveles obtenidos del CO con el CC ya instalado y cumplen con los límites del 1% máximo establecidos en la norma NTE INEN 2 204, después de haber realizado la limpieza correctamente y haber establecido una ruta para que se pueda comprobar la eficiencia del convertidor y se redujo en un 33.33 % los niveles de CO; dando a conocer que el proceso de limpieza que se planteó ayuda a reducir la contaminación del medio ambiente.



**Figura 46.** CO vs Temperatura del motor CC2 – 2 vías

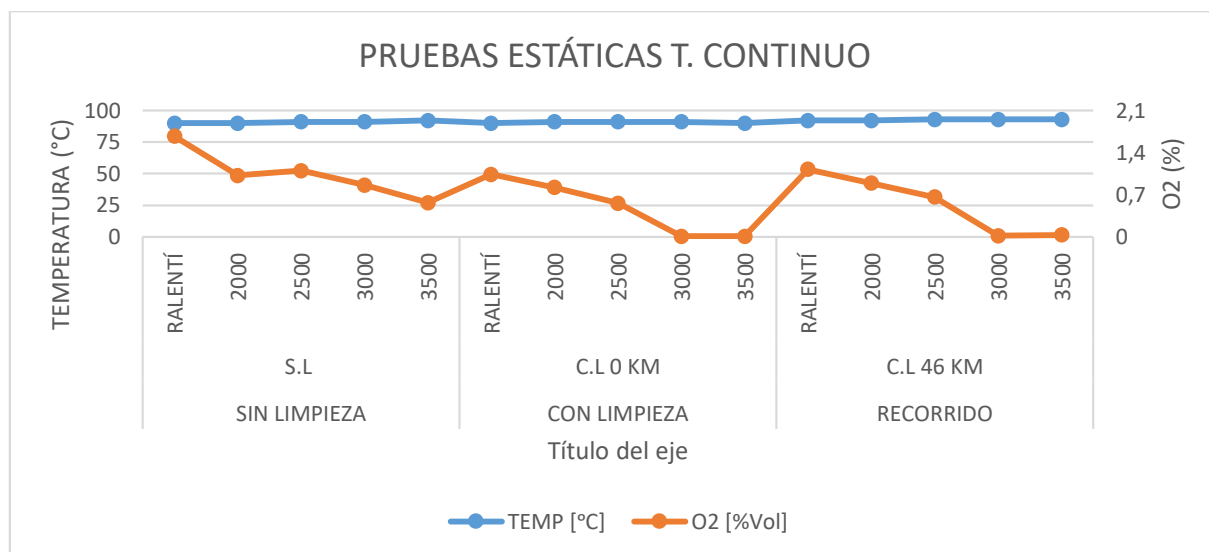
Se indica la variación del O<sub>2</sub>, en la figura 47 con la temperatura del motor fluctuando de manera baja, la primera etapa con el CC2, sin ser tratado se observa que el O<sub>2</sub> empiezan en un porcentaje alto con un 1.4 % en ralentí pero dentro del límite establecido que es de 5%; mientras se va aumentando el régimen de giro del motor estos valores van disminuyendo llegando a tener su valor de 0.7 % estableciendo un 4.3% por debajo de la norma a las 3500 rpm.

La segunda etapa, compuesta con el convertidor tratado a 0 km, donde se puede determinar que los niveles de O<sub>2</sub> van disminuyendo y se estabiliza en el tramo de 3000 a 3500 rpm alcanzando una valor máximo de 1.4 %, luego se vuelve a estabilizar en el tramo de 2500 a 3000 rpm obteniendo una valor de 0%, es decir, 5% por debajo de la norma, estableciendo que el tratamiento funciona correctamente.

La tercera etapa, fue hecha con el CC2 2- vías instalado en el vehículo y con un recorrido de 46 km, donde su punto máximo fue de 1.4 % a un régimen de giro de ralentí, de ahí en adelante esta curva se estabiliza llegando a obtener una valor de 0% durante las 3000 a 3500 rpm; mientras la temperatura del motor se mantiene constante

Una vez alcanzado el proceso, se puede decir que los niveles obtenidos del O<sub>2</sub> con el CC ya instalado y después de haber realizado la limpieza correctamente y haber establecido una ruta para que se pueda comprobar la eficiencia del convertidor y los niveles de O<sub>2</sub> siempre se mantuvieron bajos dando a conocer su único punto alto de 1.4 %.





**Figura 47.** O2 vs Temperatura del motor CC2 – 2 vías

### b.1. Relación Lambda

En la tabla 31 se visualiza que el peso real del lambda respecto a SL tiene fluctuaciones con un promedio de 14.13 ppm, que son mezclas pobres, mientras CL sus promedio subió a 14.48 ppm siendo lejana al valor estequiométrico de 14.7 ppm pero en el rango de normal y el RCL tiene un valor de 14.51 ppm siendo un valor normal y con una mezcla mejor que la antigua.

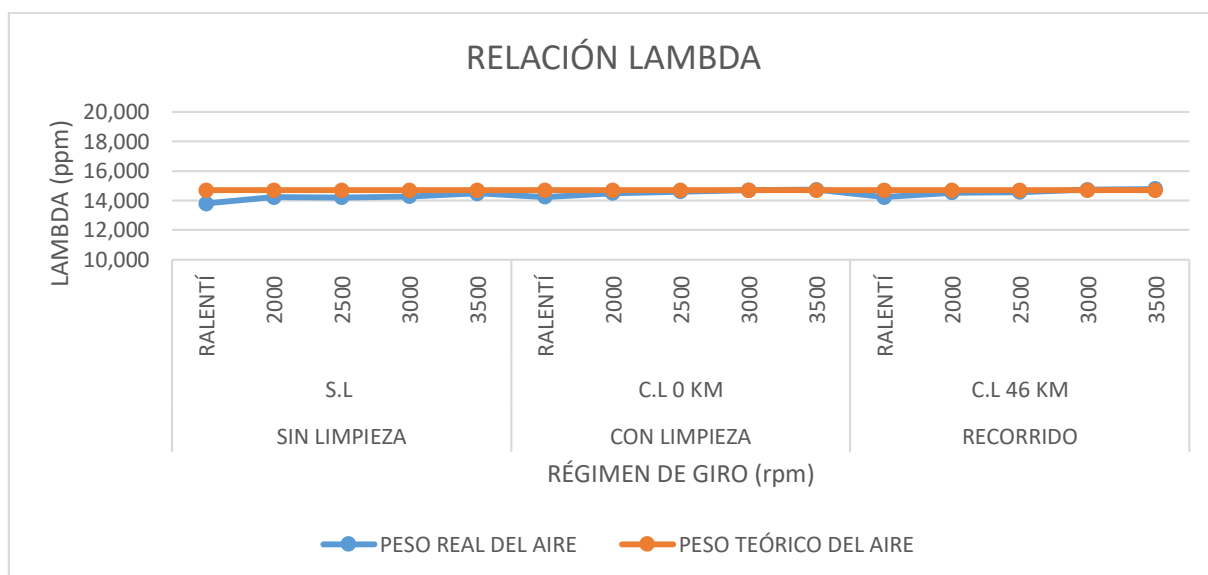
**Tabla 30.**  
*Relación Lambda CC2*

Tratamiento	Lambda [ $\lambda$ ]	Peso real [14,9/ $\lambda$ ][ppm]	Peso teórico
S.L	1,066	13,79	14,700
	1,033	14,23	14,700
	1,035	14,20	14,700
	1,03	14,27	14,700
	1,015	14,48	14,700
C.L 0 KM	1,032	14,24	14,700
	1,014	14,50	14,700
	1,007	14,60	14,700
	1,001	14,69	14,700

**CONTINUA** →

	0,998	14,73	14,700
	1,033	14,23	14,700
	1,012	14,53	14,700
<b>C.L 46 KM</b>	1,009	14,57	14,700
	0,998	14,73	14,700
	0,994	14,79	14,700

Se representa el comportamiento de las curvas del peso teórico y real del aire, en la figura 48. En la primera curva se observa las fluctuaciones llegando a tener un pico más bajo de 13.79 a una temperatura de 90° C, registrándose en la condición de convertidor catalítico sin limpieza a ralentí y su pico más alto de 14.78 a una temperatura de 63°C; La curva 2 establece el límite estequiométrico que es de 14.7. Durante el número de pruebas se observa la existencia de mezclas ricas respecto al valor estequiométrico con 9 aproximaciones.



**Figura 48.** Relación Lambda del CC2-2vías

### c. CC3

**Tabla 31.***Datos de emisiones T. Continuo- CC3-3vias*

CC3 - 3 vías		Recorrido	TEMP MOTOR [°C]	RPM [1/min]	COcorr [%Vol]	LAMBDA [-]	CO [%Vol]	CO2 [%Vol]	HC [ppm/Vol]	O2 [%Vol]	NO [ppm/Vol]	Observación
<b>SIN LIMPIEZA</b>	SL	SR	97	810	0,15	1,082	0,15	10,6	38	1,25	0	Dentro de límites
			90	2250	0,33	1,093	0,31	14,3	47	2,01	0	
			92	3030	0,2	1,048	0,2	12,9	56	0,9	0	
			95	3930	0,31	1,044	0,31	14,9	75	0,93	45	
<b>CON LIMPIEZA</b>	CL	0 km	97	800	0,22	1,919	0,17	11,5	33	3,4	0	Dentro de límites
			96	2050	0,45	1,041	0,45	14,5	55	1,29	150	
			97	2950	0,27	1,008	0,27	14,9	54	0,39	306	
			98	4000	0,36	0,997	0,36	14,9	73	0,22	318	
<b>CON RECORRIDO</b>	R CL	700 km	93	800	0	1,215	0	12,4	0	3,79	0	Dentro de límites
			93	2220	0,01	1,216	0,01	12,5	1	3,86	0	
			93	3010	0	1,101	0	11	2	1,59	10	
			94	4250	0	1,046	0	12,4	1	0,95	0	
	R CL	740 km	96	800	0,1	1,224	0,08	12,3	27	4,02	0	Dentro del límite
			96	1700	0,16	1,216	0,14	12,6	28	4,03	0	
			95	3030	0,23	1,154	0,28	12,3	24	3,01	10	
			95	4070	0,06	1,093	0,05	12,6	33	1,73	0	

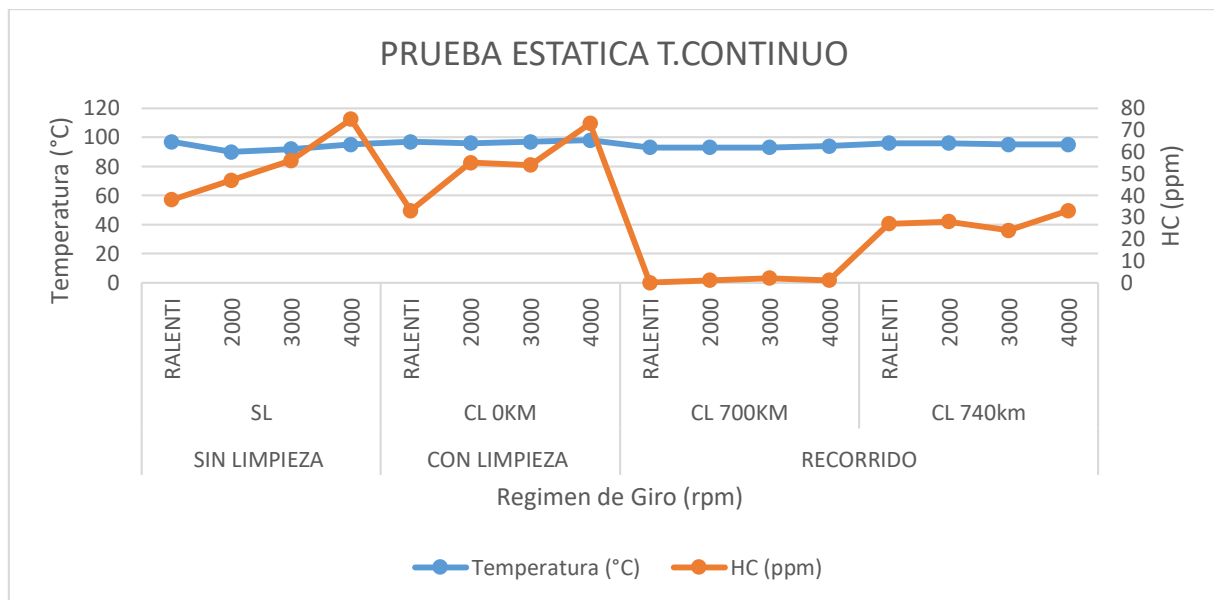
En la figura 49, se aprecian los resultados obtenidos de las pruebas estáticas en sus tres etapas. En la primera etapa se observa, como los Hidrocarburos tienen un valor de 40 ppm y mientras se le va aumentando el régimen de giro del motor estos tienden a disminuir progresivamente, llegando a alcanzar su punto mínimo de 35 ppm en ralentí; mientras la temperatura del motor se mantiene estable. Con estos datos a altas y bajas rpm, se dice que los niveles de Hidrocarburos están dentro del límite con 150ppm por debajo de la norma NTE INEN 2 204.

La segunda etapa, indica el convertidor tratado a 0 km, donde se puede observar que los niveles de Hidrocarburos van aumentando y se estabilizan en el tramo de 2000 a 3000 rpm marcando 50 ppm y llegando a tener su punto más alto de 75 ppm a 4000 rpm, de ahí tiene una pendiente hacia abajo y obtiene 0 ppm a ralentí; mientras la temperatura del motor se mantiene constante. Las medidas tomadas suben 25 ppm respecto a la primera etapa pero las medidas están dentro del límite de 200 ppm de las normas establecidas.

La tercera etapa, el CC3 – 3vías instalado en el vehículo y con un recorrido de 46 km, donde se estabilizó en el tramo de ralentí a 4000 rpm con un valor de 2 ppm y su punto más alto de 35 ppm a un régimen de motor de 4000 rpm. Los niveles obtenidos del HC cumplen y están por debajo de los 200 ppm con un 75% aproximado a los límites de la norma.

Una vez realizado el proceso de tratamiento, se puede decir que los niveles de los hidrocarburos están ya dentro de las normas NTE INEN, después de haber realizado la limpieza correctamente y haber establecido una ruta para que se pueda comprobar la eficiencia del convertidor y obtener un porcentaje de 42.85 % que se redujo en los niveles de HC; dando a

conocer que el proceso de limpieza que se planteó ayuda a reducir la contaminación del medio ambiente.



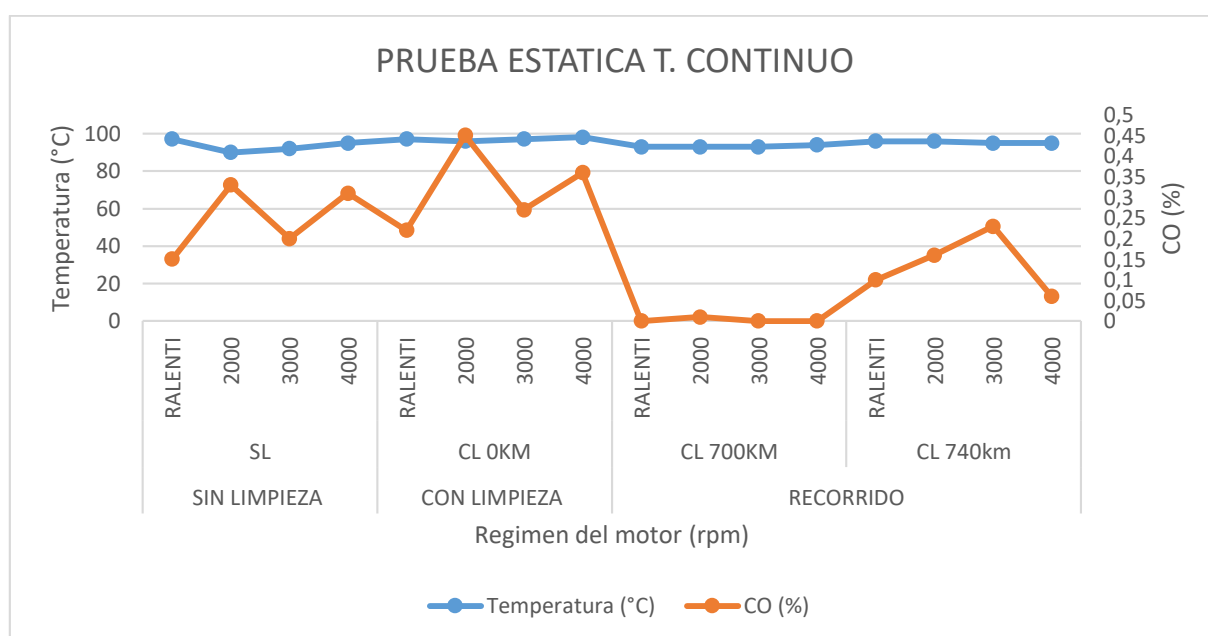
**Figura 49.** HC vs Temperatura del motor CC3 – 3 vías

En la gráfica 50, se muestra la variación del CO con la temperatura del motor, en la primera etapa con el CC3 – 3vías en su condición física inicial, sin ser tratado se observa que el CO empiezan con un 0.15 % de ahí empieza subir hasta 0.35 % en ralentí, tiene una pendiente hacia abajo con un valor de 0.2 % a las 3000 rpm. Con estos datos se dice que los niveles de CO están fuera del límite establecidos en la norma NTE INEN 2 204.

La segunda etapa, el convertidor tratado a 0 km, se observa que los niveles de CO van aumentando llegando a tener su punto más alto de 0.45 % y después empieza con una pendiente hacia abajo obteniendo un valor de 0.30 % a las 3000 rpm; mientras se va aumentando el régimen de giro del motor, la temperatura del mismo se mantiene constante. Las medidas tomadas de los niveles de CO están fuera de las normas establecidas en la NTE INEN 2 204.

La tercera etapa, fue realizada con el CC2 2- vías instalado en el vehículo y con un recorrido de 46 km, donde se estabiliza desde el ralentí hasta las 4000 rpm con un valor de 0.05 y alcanzando su valor máximo de 0.28% durante las 3000 rpm dentro del régimen de giro, mientras la temperatura del motor se mantiene constante.

Una vez hecho el proceso de tratamiento, se puede decir que los niveles obtenidos del CO con el CC ya instalado, cumplen con los límites que están establecidos en la norma NTE INEN 2 204, después de haber realizado la limpieza correctamente y haber establecido una ruta para que se pueda comprobar la eficiencia del convertidor y se redujo en un 10% los niveles de CO; dando a conocer que el proceso de limpieza que se planteó ayuda a reducir la contaminación del medio ambiente.



**Figura 50.** CO vs Temperatura del motor CC3 – 3 vías

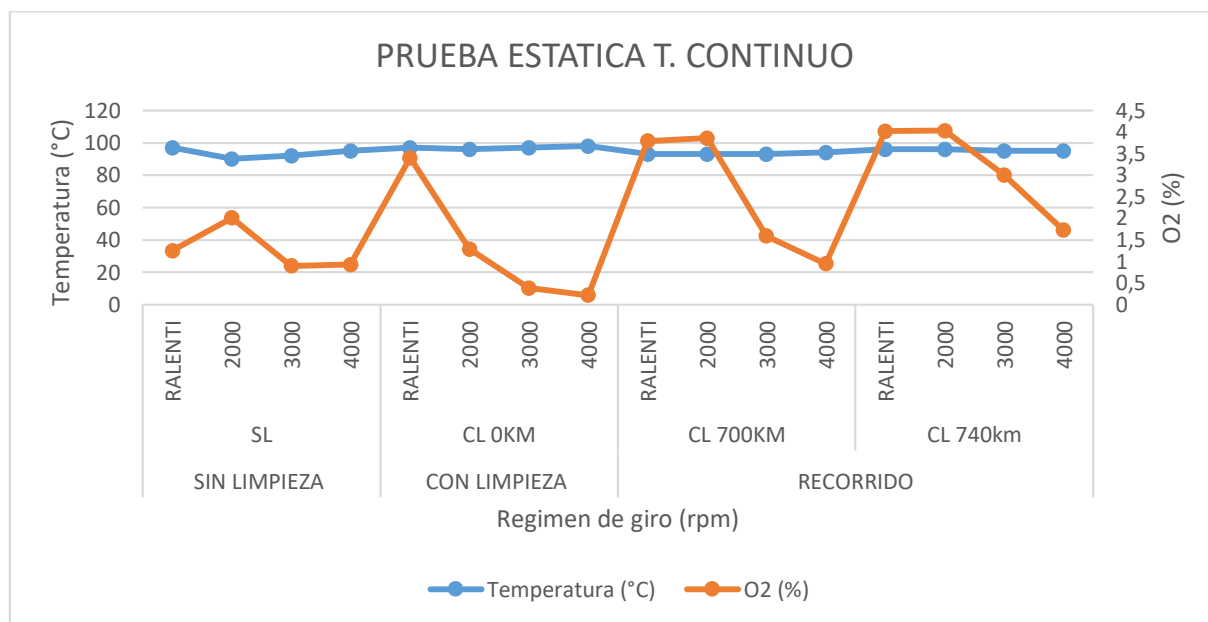
Se visualiza la variación del O<sub>2</sub>, en la figura 51 con la temperatura del motor, la primera

etapa con el CC2 en su condición física inicial, sin ser tratado se observa que el O<sub>2</sub> empiezan en un porcentaje alto con un 1.4 % en ralentí; mientras se va aumentando el régimen de giro del motor estos valores van disminuyendo llegando a tener su valor de 1 % a las 3500 rpm.

La segunda etapa, el convertidor tratado a 0 km, donde se puede observar que los niveles de O<sub>2</sub> van aumentando y llegando alcanzar su punto máximo de 3.4 % a ralentí y de ahí tiene una tendencia hacia abajo llegando alcanzar un valor de 0.04% a las 4000 rpm.

La tercera etapa, fue realizada con el CC3 3- vías instalado en el vehículo y con un recorrido de 46 km, donde obtuvo dos estabilizaciones de 3.5 % entre ralentí y 2000 rpm y la otra de 4.3 % entre ralentí y 2000 %, después tuvo una pendiente hacia abajo alcanzando un valor de 1.7 % a 4000 rpm; mientras la temperatura del motor se mantiene constante.

Una vez realizado el tratamiento de limpieza, se puede decir que los niveles obtenidos del O<sub>2</sub> siempre se mantuvieron fluctuantes con el CC ya instalado y después de haber realizado la limpieza correctamente y haber establecido una ruta para que se pueda comprobar la eficiencia del convertidor. Los niveles de O<sub>2</sub> obtuvieron tres picos altos durante todo el proceso de pruebas, teniendo una reducción de 6.66 % en todo el proceso de limpieza.



**Figura 51.** O2 vs Temperatura del motor CC3 – 3 vías

### c.1. Relación lambda

En la tabla 33 se observa, el peso real del lambda respecto a SL tiene fluctuaciones con un promedio de 13.76 ppm, que son mezclas pobres, mientras CL sus promedio subió a 14.43 ppm estando cercana al valor estequiométrico de 14.7 ppm con una mezcla normal – rica y el RCL tiene un valor de 13.1 ppm siendo un valor bajo con una mezcla pobre, relacionando que entre mayor recorrido la mezcla es pobre.

**Tabla 32.**  
*Relación Lambda CC3*

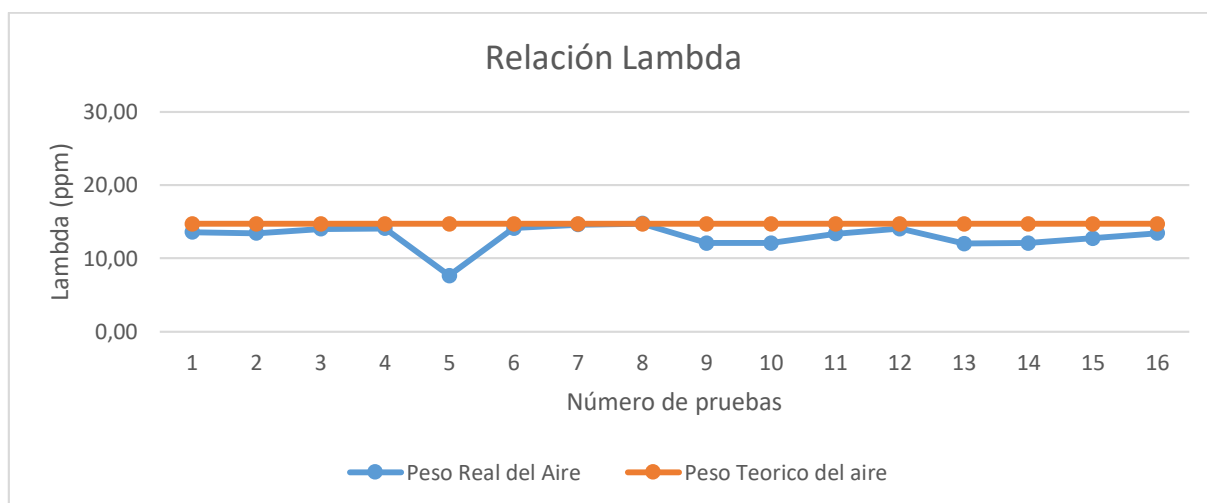
Tratamiento	Lambda [λ]	Peso real [14,9/λ]	Peso teórico
SL	1,082	13,59	14,7
	1,093	13,45	14,7
	1,048	14,03	14,7
	1,044	14,08	14,7
CL	1,919	7,66	14,7
	1,041	14,12	14,7
	1,008	14,58	14,7

**CONTINUA** ➔



	0,997	14,74	14,7
<b>CL 700KM</b>	1,215	12,10	14,7
	1,216	12,09	14,7
	1,101	13,35	14,7
	1,046	14,05	14,7
	1,224	12,01	14,7
<b>CL 740km</b>	1,216	12,09	14,7
	1,154	12,74	14,7
	1,093	13,45	14,7

Según la figura 52, se visualiza el comportamiento de las curvas del peso teórico y real del aire. En la primera curva se observa las fluctuaciones durante las pruebas realizadas con un único pico bajo de 7.66 y picos altos de 14.74; mientras la curva 2 establece el límite estequiométrico que es de 14.7. Durante el número de pruebas se observa la existencia de mezclas ricas respecto al valor estequiométrico con 8 aproximaciones.



**Figura 52.** Factor Lambda - CC3

#### d. CC4

Los datos de las emisiones en la tabla 34, se obtuvieron valores de los gases en las tres etapas.

**Tabla 33.***Datos de emisiones T. Continuo - CC4-2 vías*

CC4 – 2 vías	Recorrido	TEMP MOTOR [°C]	RPM [1/min]	COcorr [%Vol]	LAMBDA [-]	CO [%Vol]	CO2 [%Vol]	HC [ppm/Vol]	O2 [%Vol]	NO [ppm/Vol]	Observación	
<b>SIN LIMPIEZA</b>	SL	SR	99	760	1,27	1,119	0,98	10,6	2810	5,27	150	Fuera de límite
			100	2050	1,13	1,137	0,93	11,4	1596	4,54	244	
			102	3030	2,14	1,073	1,78	10,7	1306	3,36	414	
			104	3550	1,12	1,082	0,99	12,3	901	3,01	456	
<b>CON LIMPIEZA</b>	CL	0 km	98	810	1,4	1,062	1	9,7	2270	5,3	85	Fuera de límite
			98	2000	1,43	1,035	0,97	9,2	1635	5,4	101	
			101	3090	1,38	1,355	1,03	10,2	1925	4,5	276	
			107	4120	0,62	1,082	0,53	12,2	617	5,3	243	
<b>CON RECORRIDO</b>	R CL	40 km	104	820	1,06	1,121	0,86	11,3	1550	4,69	95	Fuera de límite
			104	1920	0,98	1,144	0,87	12,4	1105	4,34	140	Dentro del límite
			104	3030	0,86	1,101	0,77	12,7	800	3,17	149	
	R CL	80 km	105	4270	0,76	1,096	0,69	13	694	2,95	314	Dentro del límite
			103	790	0,65	1,229	0,4	8,8	1025	5,2	39	
			103	2040	0,71	1,214	0,55	11	959	5,58	87	
			103	3050	1,05	1,175	0,79	10,5	753	4,46	177	
			104	3940	1,04	1,134	0,8	10,7	625	3,68	141	

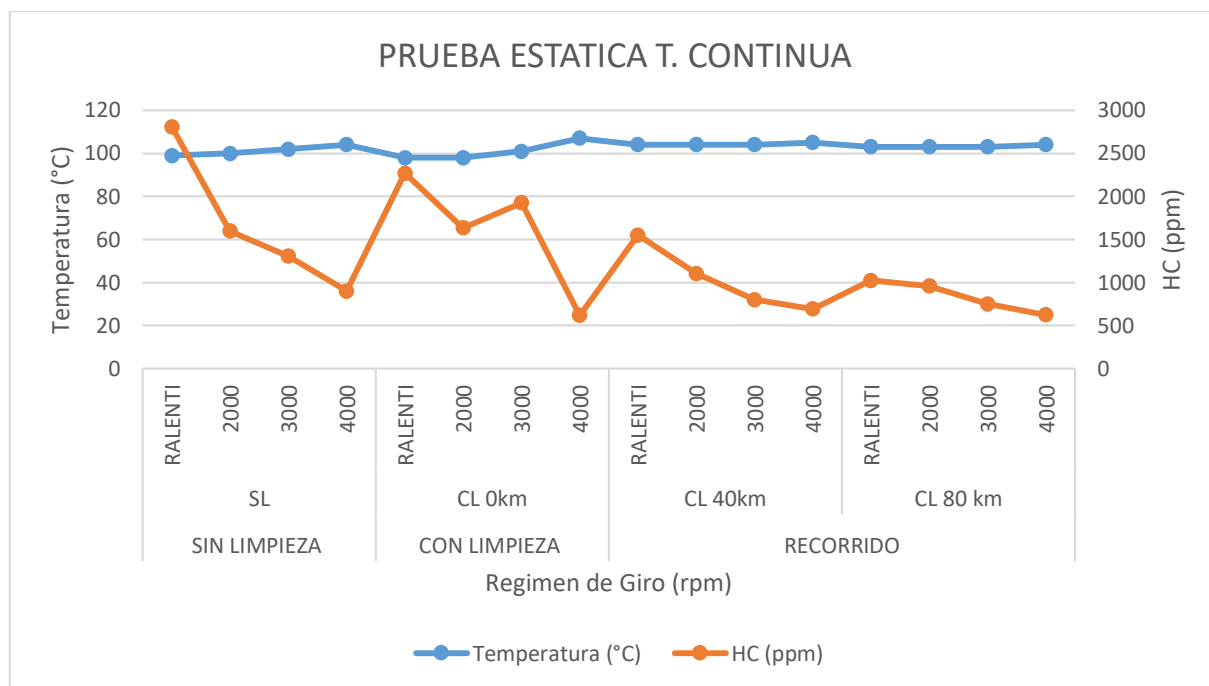
En la figura 53, se indica los resultados obtenidos de las pruebas estáticas en sus tres etapas. La primera etapa de la prueba, sin limpieza, se visualiza como los Hidrocarburos tienen un valor de 2600 ppm en ralentí y mientras se le va aumentando el régimen de giro del motor estos tienden a disminuir progresivamente, llegando a alcanzar 901 ppm a las 4000 rpm; mientras la temperatura del motor se mantiene constante. El vehículo de prueba pertenece a un modelo de año de 1994 con un límite de 1200 ppm los cuales indican que está fuera del límite establecidos en la norma NTE INEN 2 204.

La segunda etapa, indica el convertidor tratado a 0 km, donde se puede observar que los niveles de Hidrocarburos van aumentando llegando a alcanzar su punto máximo de 2300 ppm a ralentí, de ahí empieza a disminuir a 1600 ppm, la temperatura del motor se mantiene constante. Las medidas tomadas de los niveles de Hidrocarburos están dentro de las normas establecidas en la NTE INEN 2 204.

La tercera etapa, fue realizada con el CC ya instalado en el vehículo y con un recorrido de 46 km, donde su punto máximo fue de 1000 ppm en ralentí y de ahí en adelante estos valores fueron disminuyendo hasta alcanzar un valor de 550 ppm a 4000 rpm, al igual manera la temperatura del motor se mantuvo constante. Los niveles obtenidos del HC cumplen con los límites que están establecidos en la norma NTE INEN 2 204.

Una vez hecho el proceso de tratamiento, se puede decir que los niveles de los hidrocarburos están ya dentro de las normas NTE INEN, después de haber realizado la limpieza correctamente y haber establecido una ruta para que se pueda comprobar la eficiencia del convertidor y obtener un porcentaje de 20.37% que se redujo en los niveles de HC; dando a

conocer que el proceso de limpieza que se planteó es de mucha ayuda para la economía del CC y así reduciendo la contaminación.



**Figura 53.** HC vs Temperatura del motor CC4 – 2 vías

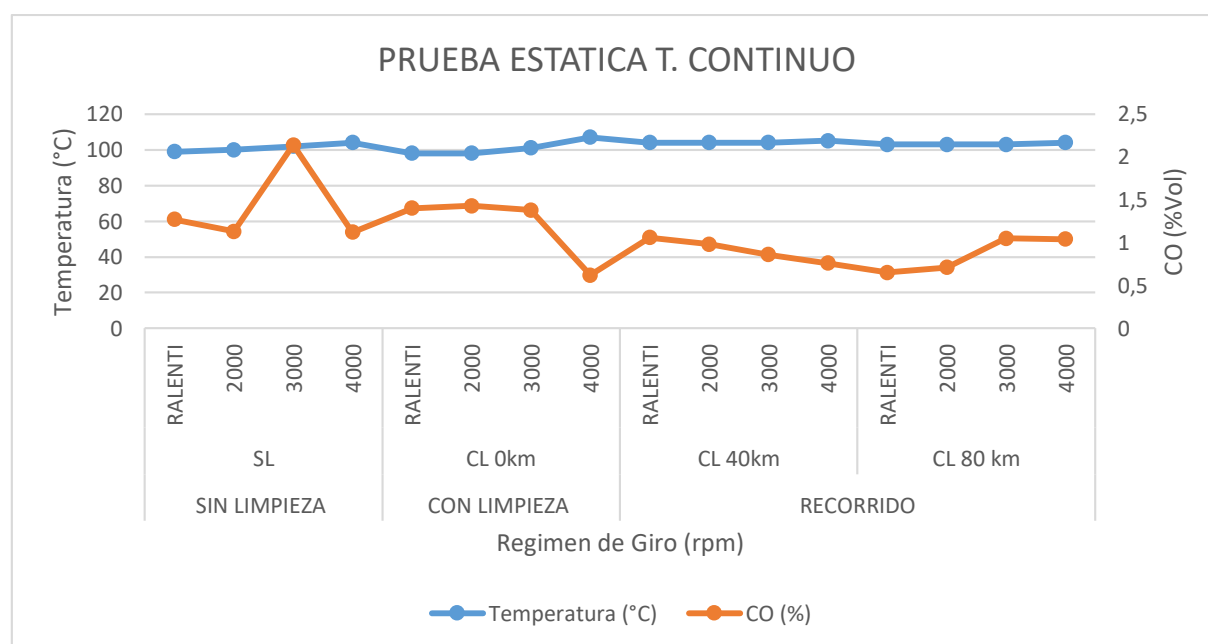
En la gráfica 54, se aprecia la variación del CO con la temperatura del motor, en la primera etapa con el CC en su condición física inicial, sin ser tratado, el CO empiezan en un porcentaje de 1.5 % en ralentí y llegando a obtener su pico más alto de 2 % a las 3000 rpm; mientras su régimen de giro va aumentando progresivamente. Con estos datos se dice que los niveles de CO están fuera del límite establecidos en la norma NTE INEN 2 204.

La segunda etapa, el convertidor tratado a 0 km, donde los niveles de CO van disminuyendo y se estabiliza en el tramo de ralentí a 300 rpm, llegando a tener su punto más bajo de 0.7 % a las 4000 rpm; mientras se va aumentando el régimen de giro del motor y la temperatura del se mantiene constante. Las medidas tomadas de los niveles de CO están fuera de las normas

establecidas en la NTE INEN 2 204.

La tercera etapa, fue ejecutada con el CC4 2- vías instalado en el vehículo y con un recorrido de 46 km, donde su punto máximo fue de 1.3% a un régimen de giro de 300 rpm, de ahí en adelante esta se logró estabilizar llegando a obtener una valor de 1.4 % durante las 3000 a 4000 rpm; mientras la temperatura del motor se mantiene constante.

Una vez realizado el proceso de tratamiento, se puede decir que los niveles obtenidos del CO con el CC ya instalado y cumplen con los límites que están establecidos en la norma NTE INEN 2 204, después de haber realizado la limpieza correctamente y haber establecido una ruta para que se pueda comprobar la eficiencia del convertidor y se redujo en un 15% los niveles de CO; dando a conocer que el proceso de limpieza que se planteó ayuda a reducir la contaminación del medio ambiente.



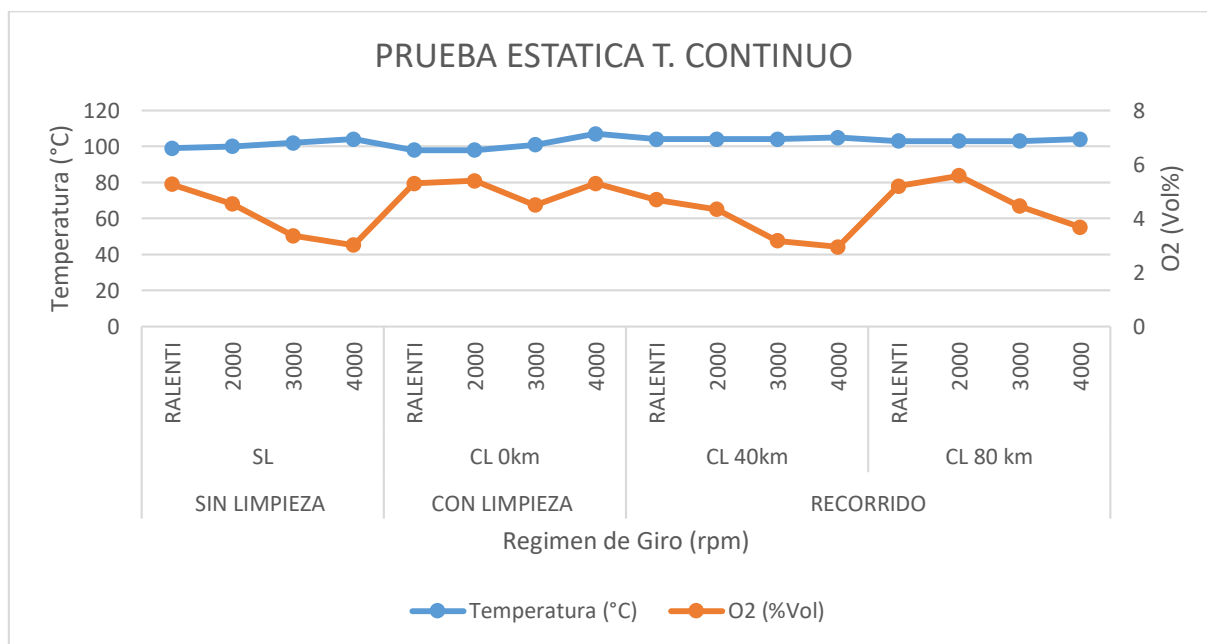
**Figura 54.** CO vs Temperatura del motor CC4 - 2 vías

La variación del CO, en la figura 55 con la temperatura del motor, la primera etapa, sin ser tratado, el O<sub>2</sub> empieza en un porcentaje bajo con un 5% en ralentí; mientras se va aumentando el régimen de giro del motor estos valores van disminuyendo llegando a tener su valor de 3% a las 4000 rpm.

La segunda etapa, se puede observar que los niveles de O<sub>2</sub> van aumentando y se estabiliza en el tramo de ralentí hasta 2000 rpm alcanzando un valor de 5%, llegando a obtener un punto alto de 6% a las 4000 rpm.

La tercera etapa, con el CC4 dos - vías instalado en el vehículo y con un recorrido de 46 km, donde su punto máximo fue de 5% a un régimen de giro de ralentí, de ahí en adelante esta curva va disminuyendo hasta obtener un valor de 3.8 % a 4000 rpm; mientras la temperatura del motor se mantiene estable.

Una vez terminado el proceso de etapas, se puede decir que los niveles obtenidos del O<sub>2</sub> con el CC ya instalado y después de haber realizado la limpieza correctamente y haber establecido una ruta para que se pueda comprobar la eficiencia del convertidor y los niveles de O<sub>2</sub> siempre se mantuvieron bajos dando a conocer su único punto alto de 6%. Valores que están fuera del límite.



**Figura 55.** O2 vs Temperatura del motor CC4 - 2 vías

#### d.1. Relación lambda

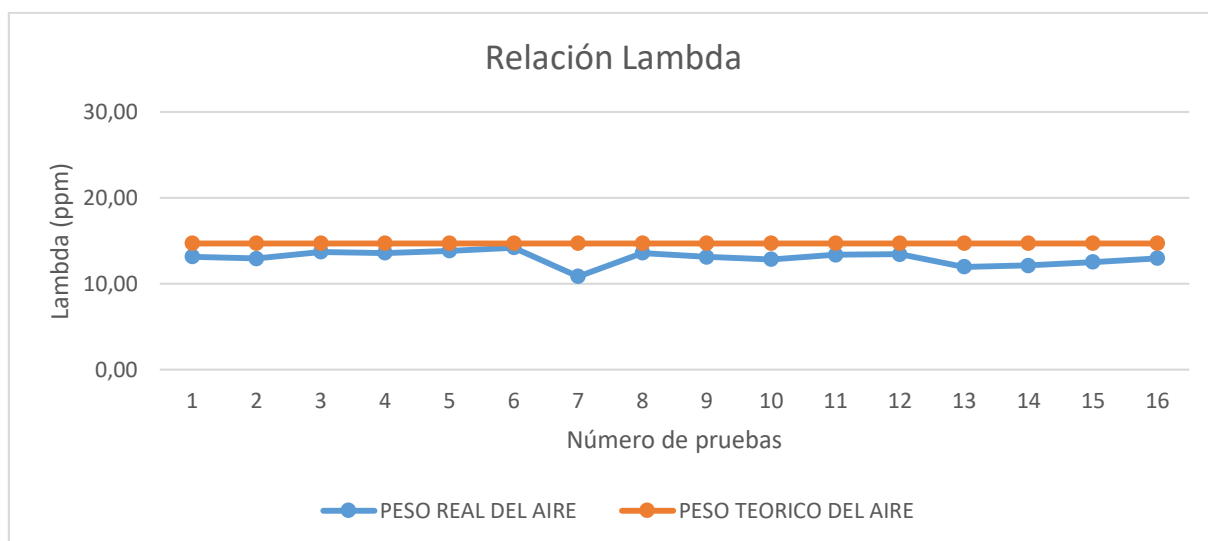
En la tabla 35 se muestra, el peso real del lambda respecto a SL con fluctuaciones promedio de 13.31 ppm, que son mezclas pobres, mientras CL sus promedio subió a 13.89 ppm estando cercana al valor estequiométrico de 14.7 ppm teniendo la misma mezcla baja y el RCL tiene un valor de 13.75 ppm siendo un valor bajo con una mezcla pobre, relacionando que entre mayor recorrido la mezcla es pobre.

**Tabla 34.**  
*Relación Lambda CC4*

Tratamiento	Lambda[λ]	Peso real [14,9/λ]	Peso teórico
SL	1,119	13,14	14,7
	1,137	12,93	14,7
	1,073	13,70	14,7
	1,082	13,59	14,7
CL 0km	1,062	13,84	14,7
	1,035	14,20	14,7

	1,355	10,85	14,7
	1,082	13,59	14,7
CL 40km	1,121	13,11	14,7
	1,144	12,85	14,7
	1,101	13,35	14,7
	1,096	13,41	14,7
	1,229	11,96	14,7
CL 80 km	1,214	12,11	14,7
	1,175	12,51	14,7
	1,134	12,96	14,7

Según la figura 56, se observa el comportamiento de las curvas del peso teórico y real del aire. En la primera curva se observa las fluctuaciones durante las pruebas realizadas con un único pico bajo de 10.85 y picos altos de 14.2; La curva 2 establece el límite estequiométrico que es de 14.7. Durante el número de pruebas se observa la existencia de mezclas pobres en la gran mayoría de pruebas respecto al valor estequiométrico los cuales se acercan bastante.



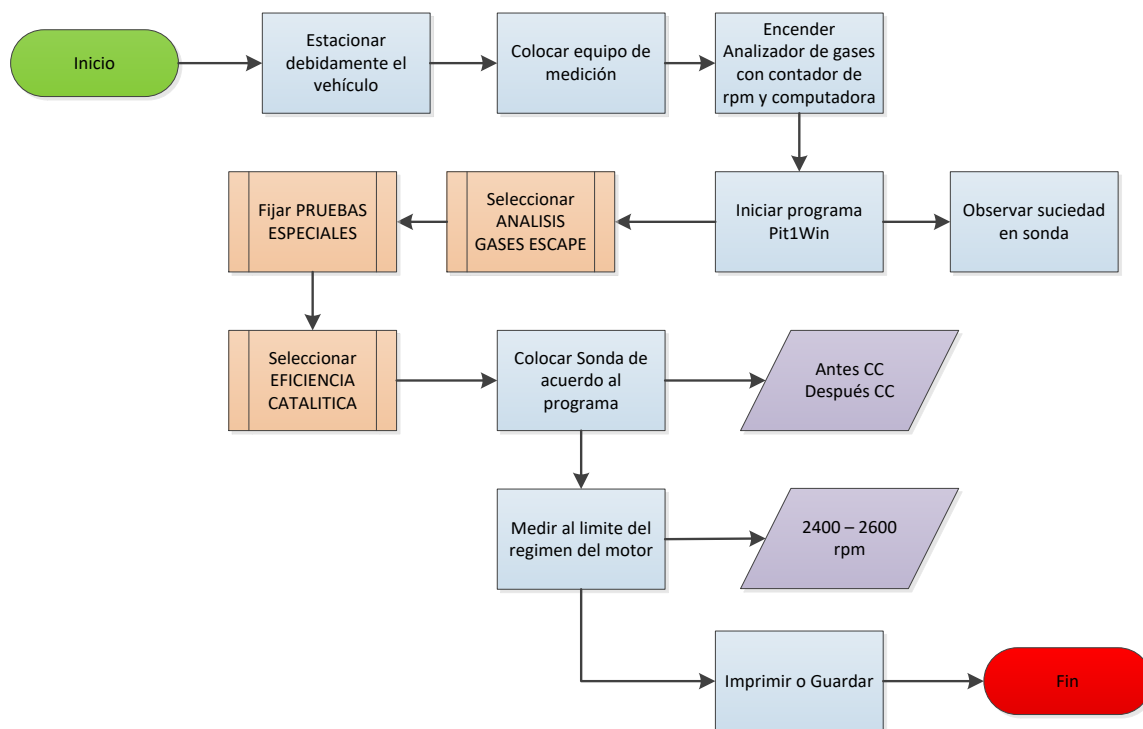
**Figura 56.** Factor Lambda - CC4

### 4.3.3. Eficiencia catalítica

Para las pruebas especiales de la eficiencia catalítica, se realizaron con el motor en frío



colocando la sonda antes y después del CC.



**Figura 57.** Proceso de Eficiencia catalítica

Dentro de la escala de las pruebas especiales de eficiencia catalítica se representa mediante el código de colores los cuales se divide en tres sub escalas de alta (rojo), medio (amarillo) y baja (verde) emisión como se muestra en la tabla 35.

**Tabla 35.**

*Emisiones de acuerdo al código de colores*

EMISIONES	Alta	Media	Baja
CO	$X \geq 1$	$0,6 \leq X < 1$	$0 \leq X < 0,6$
HC	$X \geq 200$	$160 \leq X < 200$	$0 \leq X < 160$
O <sub>2</sub>	$X \geq 5$	$2 \leq X < 5$	$0 \leq X < 3$

### a. CC3

Se efectuó un análisis por cada etapa a través de un código de colores para comprobar la eficiencia del catalizador si es buena, regular o mala.

#### a1. SL – sin recorrido

En la figura 58, se observa la eficiencia catalítica antes del tratamiento, con un CO alcanzando un límite en el color rojo lo cual significa que su eficiencia en %Vol es muy alta, mientras el HC se queda con un límite a inicios del color amarillo aprobando pero con un error en el mismo y finalmente la cantidad del O<sub>2</sub> aumenta considerablemente llegando al límite del color amarillo lo que significa que la cantidad de O<sub>2</sub> es muy buena para el catalizador pero todavía con un error en su emisión, lo cual significa que la eficiencia catalítica está considerada en el rango de rechazado.



Figura 58. Eficiencia antes del tratamiento - CC3

### a2. CL – sin recorrido

La eficiencia catalítica después del tratamiento se visualiza, en la figura 59, un CO alcanzando un límite de color amarillo lo cual significa que su eficiencia en %Vol disminuyo respecto a su estado anterior, mientras el HC tiene un límite a más alto de la mitad del color amarillo aprobando y mejorado respecto a la prueba anterior antes del tratamiento y finalmente la cantidad del O<sub>2</sub> se queda estable respecto a la anterior prueba. Lo cual significa que la eficiencia catalítica está considerada en el rango de aprobada con un mejoramiento en el mismo



*Figura 59.* Eficiencia después del tratamiento - CC3

### a3. Recorrido establecido

En la figura 60, se evidencia la eficiencia catalítica después de un recorrido, con una estabilidad en el caso de CO y HC disminuyendo muy poco pero dentro de los límites eficientes mientras que la cantidad del O<sub>2</sub> aumenta considerablemente llegando al límite del color amarillo lo que significa que la cantidad de O<sub>2</sub> es muy buena para el catalizador entrando al rango de color verdad que es de aprobado, lo cual significa que la eficiencia catalítica mejor

después del recorrido.



*Figura 60.* Eficiencia con recorrido - CC3

## b. CC4

Se ejecutó un análisis por cada etapa a través de un código de colores para comprobar la eficiencia del catalizador si es buena, regular o mala.

### b1. SL – sin recorrido

En la figura 61, se observa la eficiencia catalítica antes del tratamiento, con un O<sub>2</sub> y HC en el límite que alcanza al color rojo, es decir, que estos parámetros son muy altos para una eficiencia buena del convertidor catalítico mientras que el CO se encuentra a inicios del límite de color amarillo, esto quiere decir que el CO supera los límites de rechazo pero tiene fallas muy altas, lo cual significa que la eficiencia catalítica está considerada en el rango de rechazado



*Figura 61.* Eficiencia antes del tratamiento - CC4

## b2. CL – sin recorrido

En la figura 62, se visualiza la eficiencia catalítica después del tratamiento; el HC y O<sub>2</sub> aumentaron significativamente después del tratamiento colocando sus límites en el color amarillo que significa una eficiencia media, mientras que el CO aumento el limite un poco respecto a la anterior prueba, es decir, la eficiencia catalítica cambio de ser malo a media.



*Figura 62.* Eficiencia después del tratamiento - CC4

### b3. Recorrido establecido

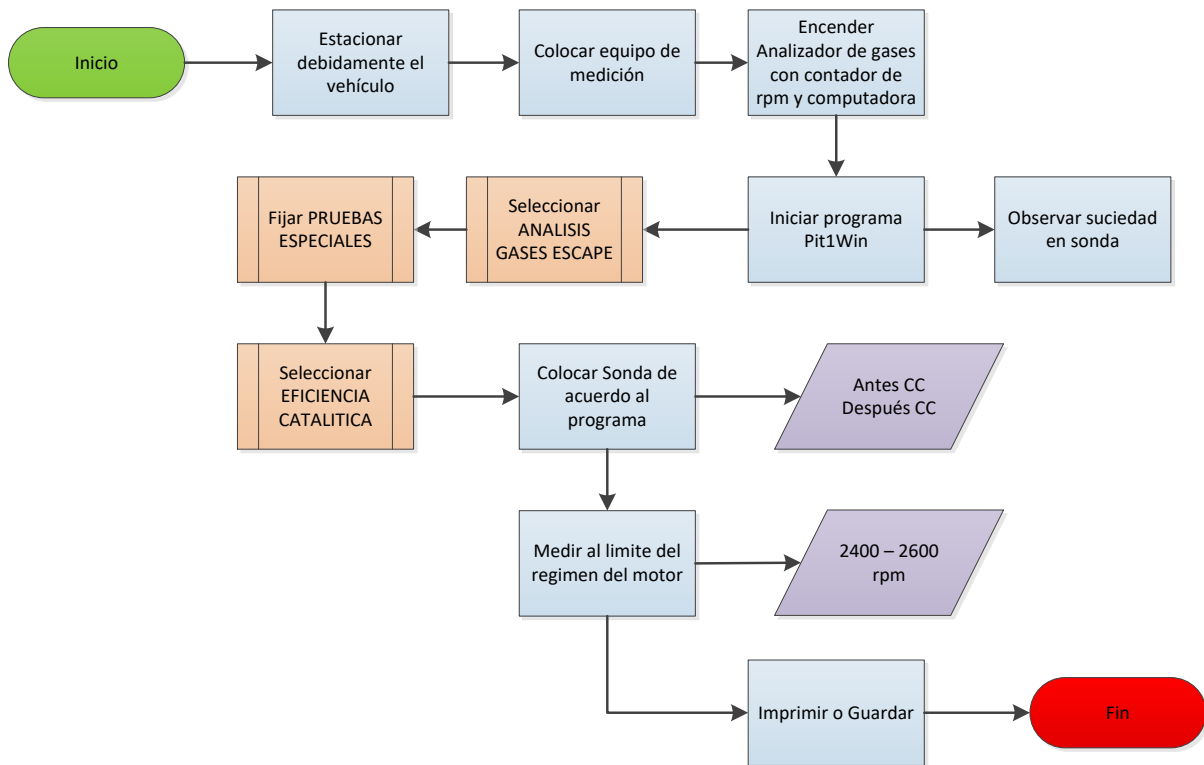
En la figura 63, se representa la eficiencia catalítica después de un recorrido; el HC y O<sub>2</sub> se mantienen en el color amarillo es decir se mantienen dentro del rango de eficiencia regular, mientras que el CO aumento significativamente colocando sus límites en el color verde que significa una buena catálisis respecto a este elemento; la eficiencia catalítica va mejorando respecto al recorrido



*Figura 63.* Eficiencia con recorrido - CC4

#### 4.3.4. Dinámicas

En las emisiones de los ensayos dinámicos, se realizó un recorrido aproximado de 40 km en la ciudad de Latacunga, Anexo 14, antes y después del tratamiento realizado de acuerdo al procedimiento que se muestra a continuación.



**Figura 64.** Proceso de emisiones dinámicas

#### a. CC1

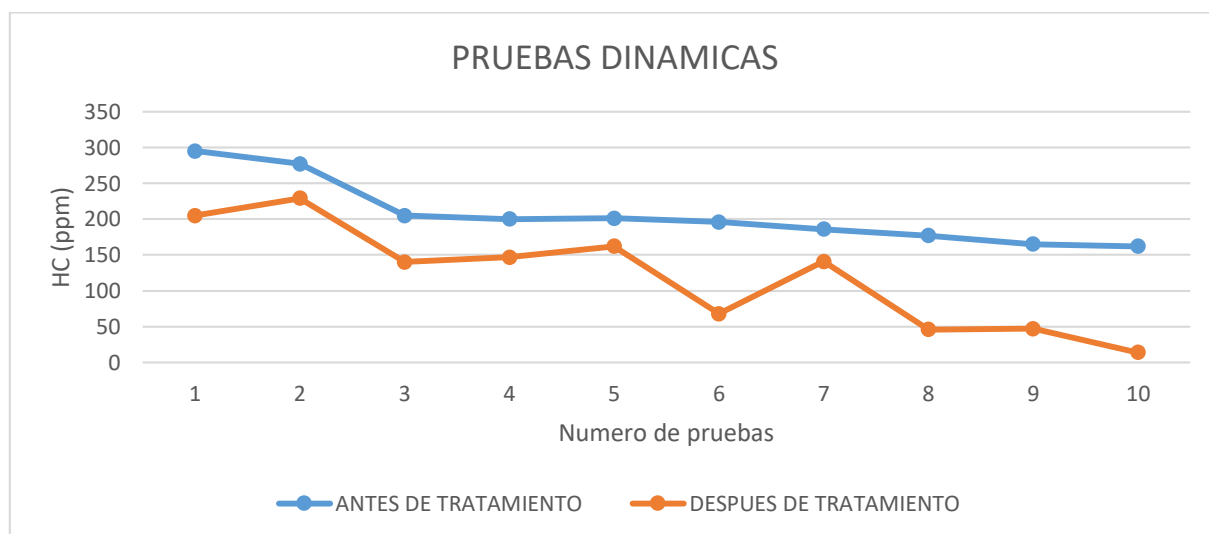
Los datos de las emisiones se muestran a continuación en la tabla 37, donde se obtuvieron valores reales de los gases contaminantes en las tres etapas del CC1 las cuáles van a ser evaluadas de acuerdo a la norma NTE INEN 2 204

**Tabla 36.***Datos de emisiones Dinámicas CCI - 3 Vías*

ANTES DEL TRATAMIENTO							DESPUÉS DEL TRATAMIENTO								
Tiempo [min]	CO2 [%]	CO [%]	O2 [%]	HC [ppm]	Lambda [λ]	RTV – 2014	Norma 2204	Tiempo [min]	CO2 [%]	CO [%]	O2 [%]	HC [ppm]	Lambda [λ]	RTV – 2014	Norma 204
1	12,2	0,03	0,56	295	1,058			1	10,7	1,28	1,9	205	1,019		
2	12,4	0,1	0,64	277	1,025			2	12,4	0,49	0,57	229	1,005	Rechazado	Fuera del límite
3	12,2	0,12	0,56	205	1,027	Rechazado	Fuera del límite	3	12,6	0,46	0,45	140	1,004		
4	12,2	0,1	0,54	200	0,999			4	12,6	0,27	0,55	147	1,004		
5	12,12	0,09	0,64	201	1,003			5	12,9	0,06	0,2	162	1,003		
6	12,12	0,07	0,37	196	1,025	Aprobado con falta tipo 2		6	12,7	0,04	0,03	68	0,998	Aprobado sin faltas	Dentro del límite
7	12,1	0,07	0,49	186	1,024		Dentro del límite	7	11,4	0,34	0,47	141	1,009		
8	12,3	0,08	0,54	177	1,027	Aprobado con falta tipo 1		8	12,9	0,03	0,03	46	0,999		
9	12,5	0,04	0,55	165	1,029			9	12,7	0,03	0,03	47	0,997		
10	12,3	0,03	0,41	162	1,024			10	12,8	0,03	0,03	14	0,997		



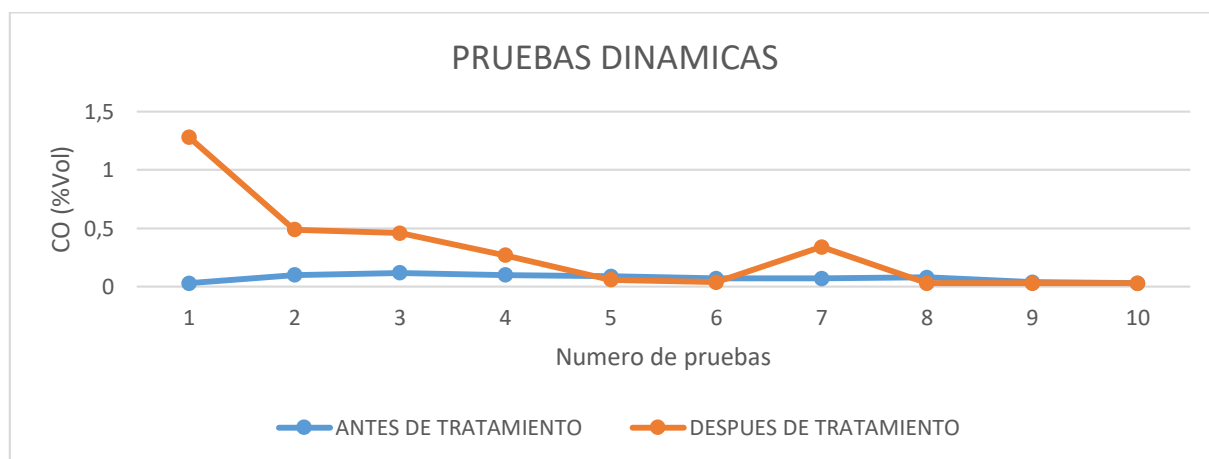
En la figura 65, se observa los resultados obtenidos de las pruebas dinámicas antes y después del tratamiento. La curva de color azul se observa los puntos altos de los HC, prueba que se realizó en su condición física normal, alcanzando su valor inicial de 300 ppm en su primera prueba; mientras sigue avanzando el número de pruebas la curva de los HC tiende a ser estable llegando alcanzar un valor de 200 ppm, existiendo una variación de 100 ppm. La curva de color tomate se observa que su primer valor se redujo a 200 ppm y las pruebas que se van realizando sus valores van disminuyendo llegando así a obtener un resultado de 23 ppm, lo que indica que hubo una disminución de 177ppm. Valores que van acorde a los límites establecidos en la norma NTE INEN 2 204.



**Figura 65.** HC vs número de pruebas – CC1 Dinámicas

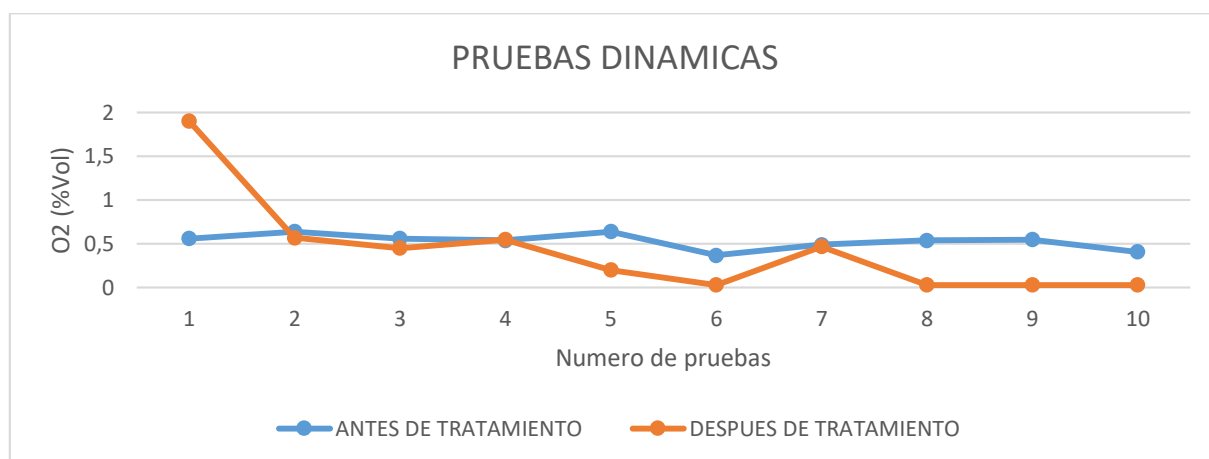
La variación del CO vs el número de pruebas, se visualiza en la figura 66. La curva de color azul representa a los datos obtenidos del catalizador antes de ser tratado, empieza con un valor de 0.1 % y mientras se van avanzando las pruebas la curva va teniendo una tendencia marcando así un valor de 0.3%; valores que cumplen con los límites establecidos en la norma NTE INEN 2 204; mientras la curva de color tomate representa a los datos obtenidos después

de realizar el tratamiento alcanzando un valor inicial de 1.4 % y mientras las pruebas siguen avanzando los valores van disminuyendo hasta obtener una tendencia con un valor de 0.01%, existiendo una variación de 1.39 %, dando así un resultado eficiente del método de limpieza creado.



**Figura 66.** CO vs Número de pruebas – CC1 Dinámicas

Se observa la variación del O<sub>2</sub> vs el número de pruebas, en la gráfica 67. Donde la curva azul representa los datos obtenidos antes de que el convertidor sea tratado, dando como resultado su primer valor de 0.6 %; mientras sigue avanzando las pruebas los valores van tomando altos y bajos, llegando a alcanzar un valor de 0.5 %, mientras la curva tomate representa los valores tomados del convertidor ya tratado alcanzando un valor de 2%, llegando a obtener en su segunda prueba un descenso 1.5%, los valores de O<sub>2</sub> siguen disminuyendo hasta tener una tendencia de la curva, en la prueba 8 a la 10, obteniendo un valor de 0.0%. Valores que están permitidos para pasar la RTV.



**Figura 67.** O<sub>2</sub> vs Número de pruebas – CC1 Dinámicas

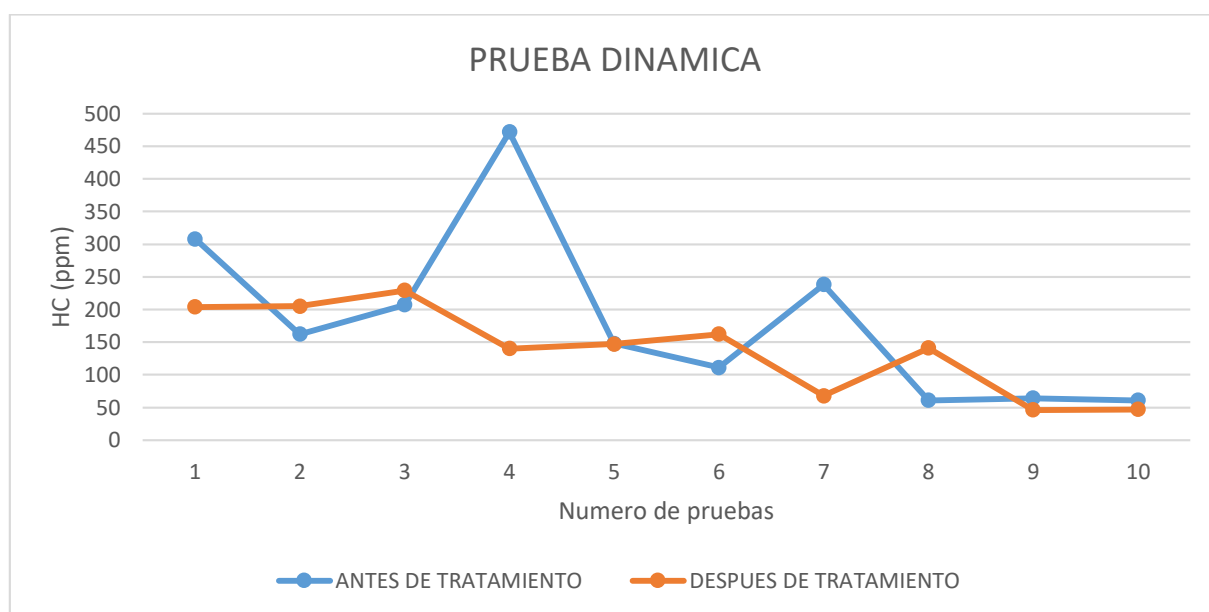
## b. CC2

Los datos de las emisiones se observa a continuación en la tabla 38, donde se obtuvieron valores reales de los gases contaminantes en las tres etapas del CC1 las cuáles van a ser evaluadas de acuerdo a la norma NTE INEN 2 204.

**Tabla 37.***Datos de emisiones Dinámicas CC2 - 2 Vías*

ANTES DEL TRATAMIENTO							DESPUES DEL TRATAMIENTO								
Tiempo [min]	CO2 [%]	CO [%]	O2 [%]	HC [ppm]	Lambda [λ]	RTV -2014	Norma 2204	Tiempo [min]	CO2 [%]	CO [%]	O2 [%]	HC [ppm]	Lambda [λ]	RTV - 2014	Norma 2204
1	12,4	0,64	0,45	308	0,989			1	12,1	1,33	1,85	204	1,019		
2	12,3	0,63	0,64	162	1,007	Rechazado	Fuera del límite	2	10,7	1,28	1,91	205	1,018	Rechazado	Fuera del límite
3	12,3	0,6	1,58	207	1,056			3	12,4	0,46	0,57	229	1,004		
4	11,4	1,46	1	472	0,984			4	12,6	0,46	0,45	140	1,003		
5	12,7	0,18	1,12	148	1,049	Aprobado	Dentro del	5	12,6	0,27	0,55	147	1,003	Aprobado sin faltas	Dentro del límite
6	12,7	0,2	0,42	111	1,015	sin faltas	límite	6	12,9	0,06	0,2	162	1,002		
7	6,6	0,34	1,97	238	1,157	Rechazado	Fuera del límite	7	12,7	0,04	0,03	68	0,998		
8	12,7	0,05	1,39	61	1,073	Aprobado sin faltas	Dentro del limite	8	11,4	0,34	0,47	141	1,009		
9	12,7	0,06	0,52	64	1,024			9	12,9	0,03	0,03	46	0,999		
10	9,8	0,04	1,36	61	1,093			10	12,7	0,03	0,03	47	0,998		

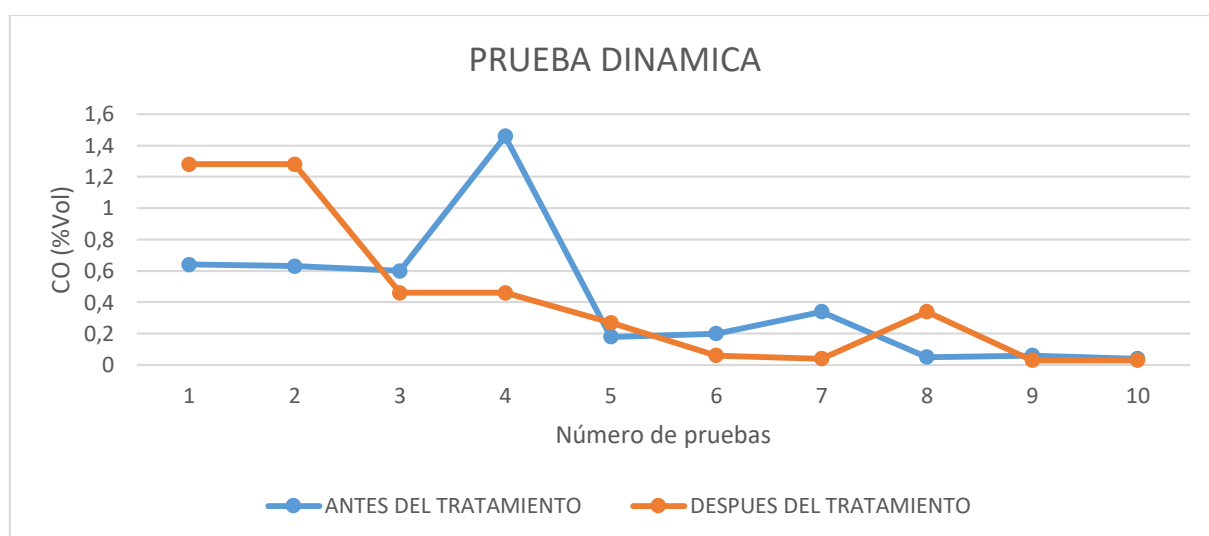
En la figura 68, se observa los resultados obtenidos de las pruebas dinámicas antes y después del tratamiento. La curva azul detalla los puntos altos de los HC de la prueba que se realizó en su condición física normal, alcanzando su valor inicial de 300 ppm en su primera prueba; mientras sigue avanzando, los valores tienden a seguir disminuyendo los valores y alcanzando un punto máximo de 455 ppm en la cuarta prueba, dando a indicar que este valor está fuera del límite establecido en la norma NTE INEN 2 204; mientras la curva tomate especifica que su valor inicial se redujo a 200 ppm, existiendo una variación de 100 ppm, las pruebas siguen avanzando obteniendo valores altos y bajos. Llegando a marcar en la última prueba un valor de 50 ppm, lo que indica que está con 110 por debajo de los límites establecidos en la norma.



**Figura 68.** HC vs Número de pruebas – CC2 Dinámicas

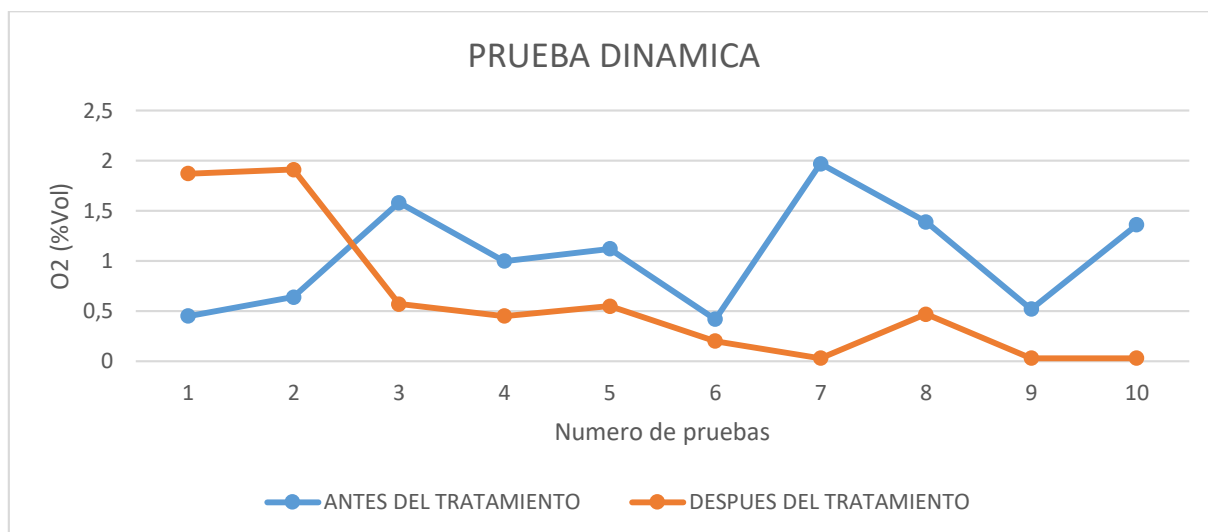
La variación del CO vs el número de pruebas, se visualiza en la figura 69. La curva de color azul representa a los datos obtenidos del catalizador antes de ser tratado en su condición física normal, empieza con un valor de 0.6 % ; mientras van avanzando las pruebas la curva llega a tener un punto pico de 1.5 % ; valor que no cumplen con los límites establecidos en la

norma RTV; mientras la curva tomate representa a los datos obtenidos después de realizar el tratamiento alcanzando su valor inicial de 1.3 % las pruebas se siguen dando, los valores se van reduciendo hasta obtener una tendencia con un valor de 0.1 % en la última prueba. Los valores que fueron obtenidos son los cuáles están dentro de los límites establecidos en la norma NTE INEN 2 204; dando así un resultado eficiente del método de limpieza creado.



**Figura 69.** CO vs Número de pruebas – CC2 Dinámicas

Se analiza la variación del O<sub>2</sub> vs el número de pruebas, en la gráfica 70. Donde la curva de color azul representa los datos obtenidos antes de que el convertidor sea tratado, dando como resultado en su primera prueba un valor de 0.5 % ; mientras sigue avanzando el número de pruebas estos siguen aumentando paulatinamente hasta alcanzar un valor de 2%, como valor máximo que está fuera del límite; mientras la curva tomate representa los valores tomados del convertidor ya tratado alcanzando un valor de 1.8%, las pruebas siguen avanzando y los valores de O<sub>2</sub> se van reduciendo hasta llegar a tener una tendencia de 0.0% en su última prueba. Valores que están permitidos dentro los límites de la RTV.



**Figura 70.** O2 vs número de pruebas – CC2 Dinámicas

#### 4.4. Análisis de emisiones

Se efectuó un análisis comparativo, estadístico – descriptivo, de los valores obtenidos de los gases en un vehículo con cuatro catalizadores antes y después del tratamiento de limpieza.

4.4.1. Comparación de emisiones estáticas

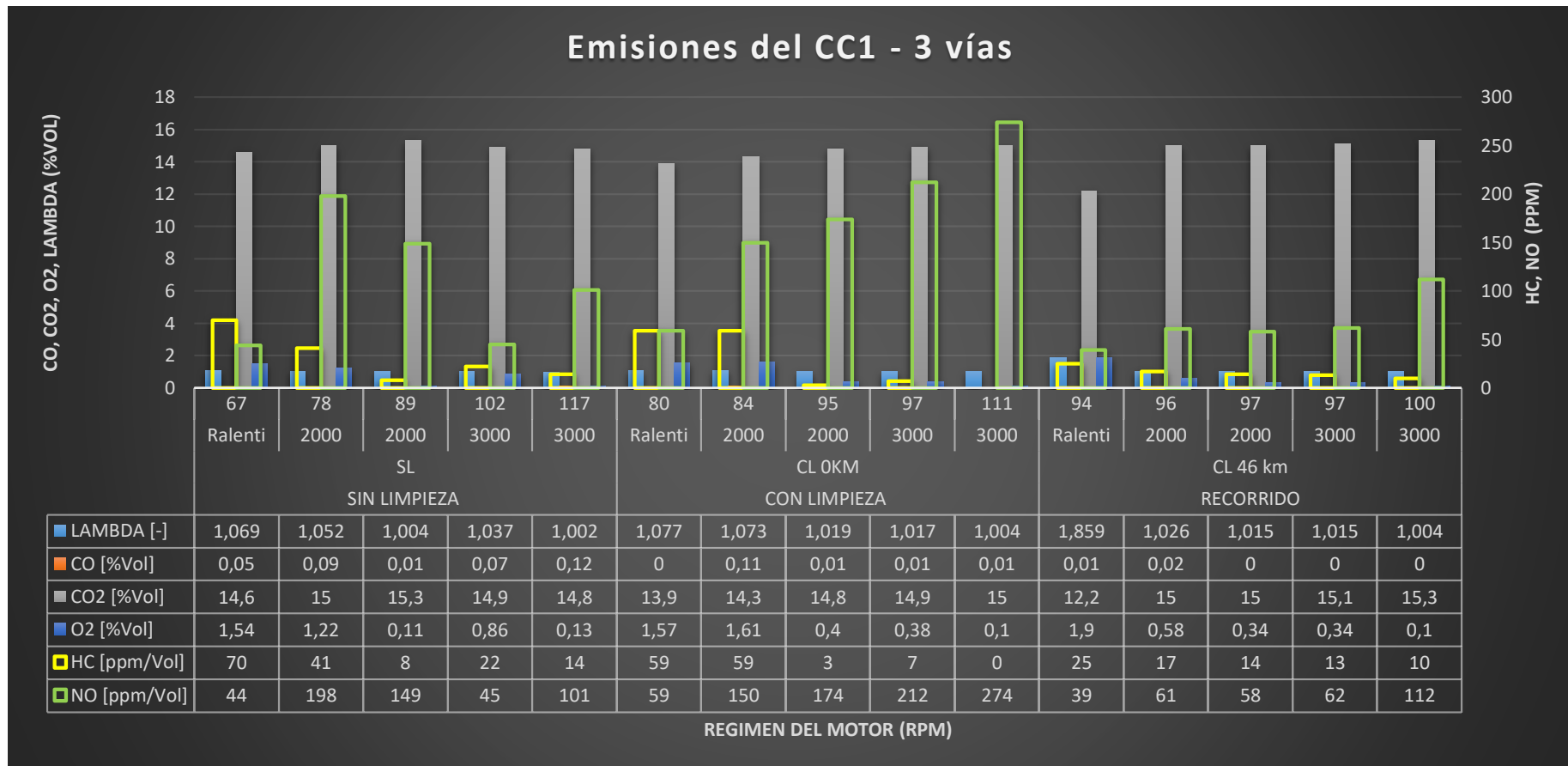


Figura 71. Emisiones de gases CC1-3 vías



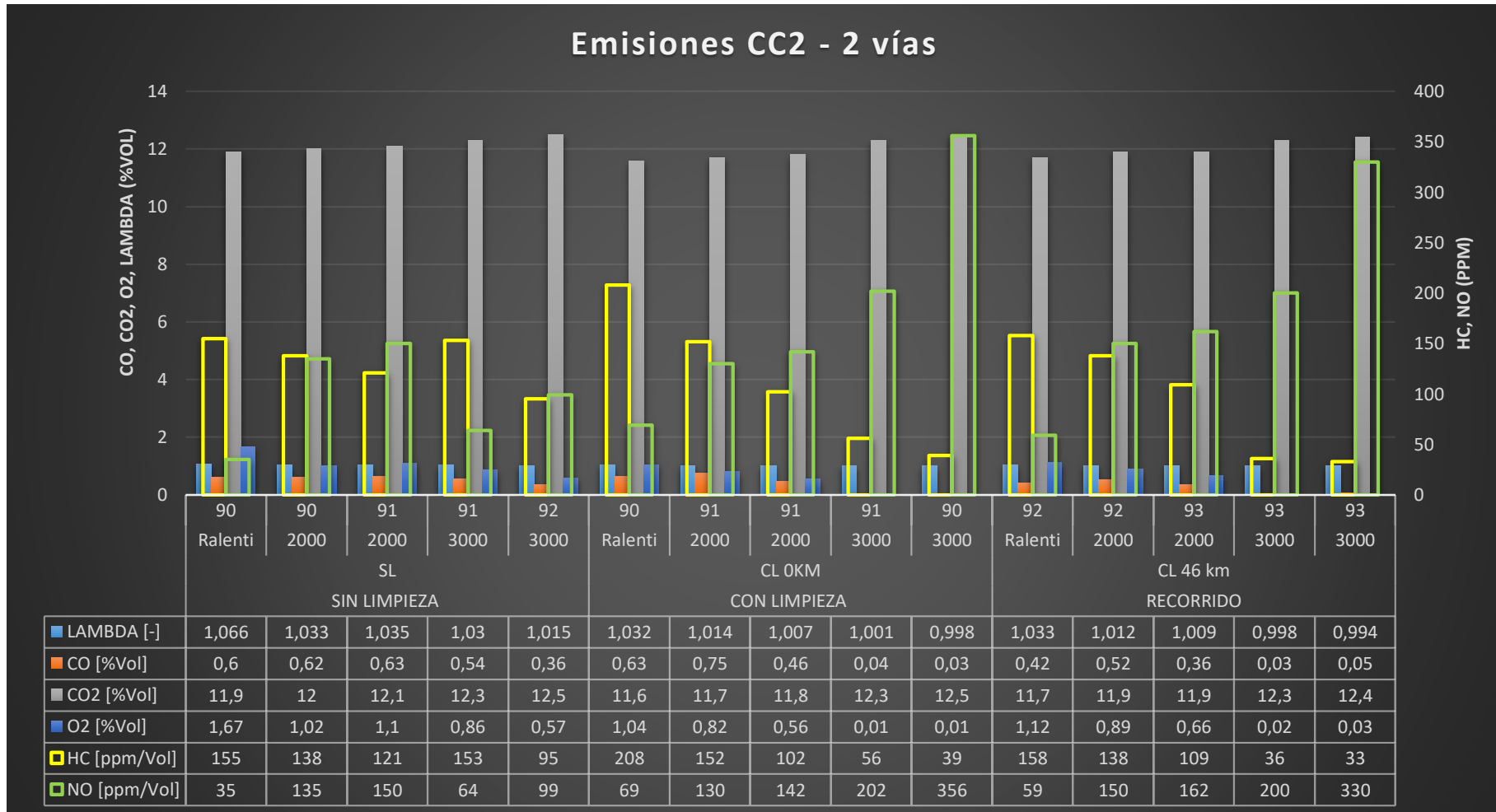
En la figura 71, se visualiza el comportamiento de las emisiones en las tres etapas de tratamiento del CC1-3vias, los cuales el CO<sub>2</sub> llega a obtener su punto máximo de 15.3 % y su punto más bajo siendo de 12.2 %. Comparando la etapa de ralentí antes del tratamiento con la del recorrido después de haber sido limpiado hay una variación de 2.4 % lo que indica que hubo una disminución y el tratamiento fue eficiente.

En relación al CO, en la etapa de SL tiene un valor alto de 0.12% y comparando con la etapa CL obtienen un porcentaje 0.01% a las 4000 rpm, existiendo una variación de 0.11 %. El valor máximo representa que tiene 0.88% por debajo del límite de la normativa y respecto al RTV su resultado es una aprobación sin faltas.

El O<sub>2</sub> comparando en la etapa de SL tiene un valor de 0.13% y en la etapa de RCL obtuvo un dato de 0.1%, los dos a un régimen de giro de 2000 rpm existiendo una variación de 0.12% valores que indican que cumplen con los valores establecidos en la RTV.

Los valores de HC que están comprendidos entre 8 y 70 ppm lo que representa que tiene 130 ppm debajo del límite máximo de la norma. Comparando la etapa de SL con la RCL a un régimen de giro de 2000 rpm existe una variación de 24 ppm, lo que indica que el proceso de tratamiento de limpieza fue muy efectivo y en especial siendo este gas el que más se redujo.

El valor promedio de Lambda  $\lambda$  es 1.084 con mezclas ricas, por debajo de 1.2 a excepción de la prueba de ralentí en la etapa de RCL dando un valor de 1.859 con una mezcla pobre para el motor; una vez que el catalizador fue tratado hubo una disminución de gases contaminantes.



**Figura 72.** Emisiones de gases CC2-2 vías

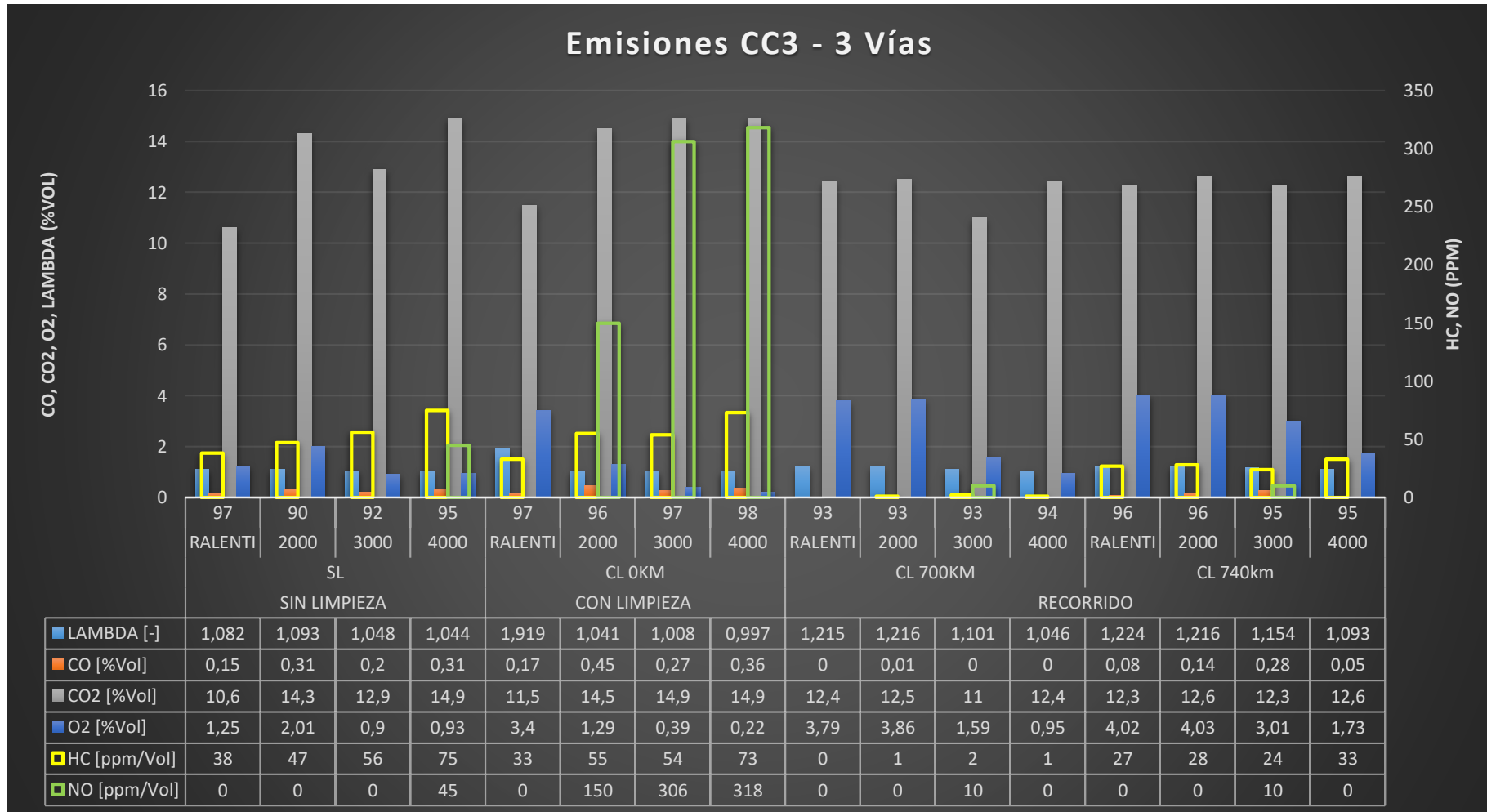
Se observa el comportamiento de las emisiones en las tres etapas de tratamiento del CC2-2vias, en la figura 72, los cuales el CO<sub>2</sub> llega a obtener su punto máximo de 12.5 % y su punto bajo siendo de 11.6 %. En la etapa ralenti antes del tratamiento con la del recorrido después de haber sido limpiado existe una variación de 0.3 % lo que indica que hubo una disminución y el tratamiento fue eficiente.

El CO, en la etapa de SL tiene un valor alto de 0.63% mientras que CL obtienen un porcentaje 0.46% a las 3000 rpm, existiendo una variación de 0.17%. El valor máximo de 0.63%, representa 0.03% por encima del límite de la RTV, dando como resultado, aprobación con falta tipo 1.

El O<sub>2</sub> comparando en la etapa de SL tiene un valor de 1.67% y en la etapa de RCL obtuvo un dato de 1.12%, los dos a un régimen de giro de ralenti existiendo una variación de 0.55% valores que indican que cumplen los valores establecidos en la RTV.

Los valores de HC que están comprendidos entre 33 y 208 ppm lo que representa la etapa de CL este valor sería rechazado de acuerdo a la RTV, ya que sobrepasa con 48 ppm. La etapa de SL con la RCL a un régimen de giro de 3000 rpm existe una variación de 12 ppm, lo que indica que el proceso de tratamiento de limpieza fue muy efectivo y en especial, siendo este gas contaminante el que mayor se redujo.

Obteniendo un promedio de 1.018 del valor de Lambda  $\lambda$  con mezclas ricas, por debajo de uno, excepción de las pruebas en RCL dando un valor promedio de 0.996 con una mezcla pobre para el motor.



**Figura 73.** Emisiones de gases CC3-3 vías

En la figura 73, se muestra las emisiones en las tres etapas de tratamiento del CC3-3vias, el CO<sub>2</sub> llega a obtener su punto máximo de 14.9% y su punto bajo siendo de 10.6%. La etapa de ralentí antes del tratamiento con la del recorrido después de haber sido limpiado hay una variación de un incremento de 1.9% lo que indica que hubo un incremento después de haber realizado la limpieza.

En relación al CO, en la etapa de SL tiene un valor alto de 0.31% y en la etapa CL obtienen un porcentaje 0.36% a las 4000 rpm, existiendo una variación de 0.05%. El valor máximo de 0.45% indica que está por debajo del límite de la normativa y respecto al RTV su resultado es una aprobación sin faltas.

El O<sub>2</sub> en la etapa de SL tiene un valor de 2.01% y en la etapa de RCL obtuvo un valor de 3.86%, los dos a un régimen de giro de 2000 rpm, existiendo una variación de 1.85% valores que indican que tienen un incremento de 0.86% por encima de los límites establecidos en la RTV.

Los valores de HC que están comprendidos entre 0 y 75 ppm representan que tienen 85 ppm por debajo del límite máximo de la norma. La etapa de SL con la RCL a un régimen de giro de 2000 rpm existe una variación de 46 ppm, lo que indica que el proceso de tratamiento de limpieza fue muy efectivo.

El valor promedio de Lambda  $\lambda$  es 1.233 con mezclas ricas, por debajo de 1.2 a excepción de las pruebas de ralentí y 2000 rpm, en la etapa de RCL dando un valor promedio de 1.215 con una mezcla pobre para el motor.

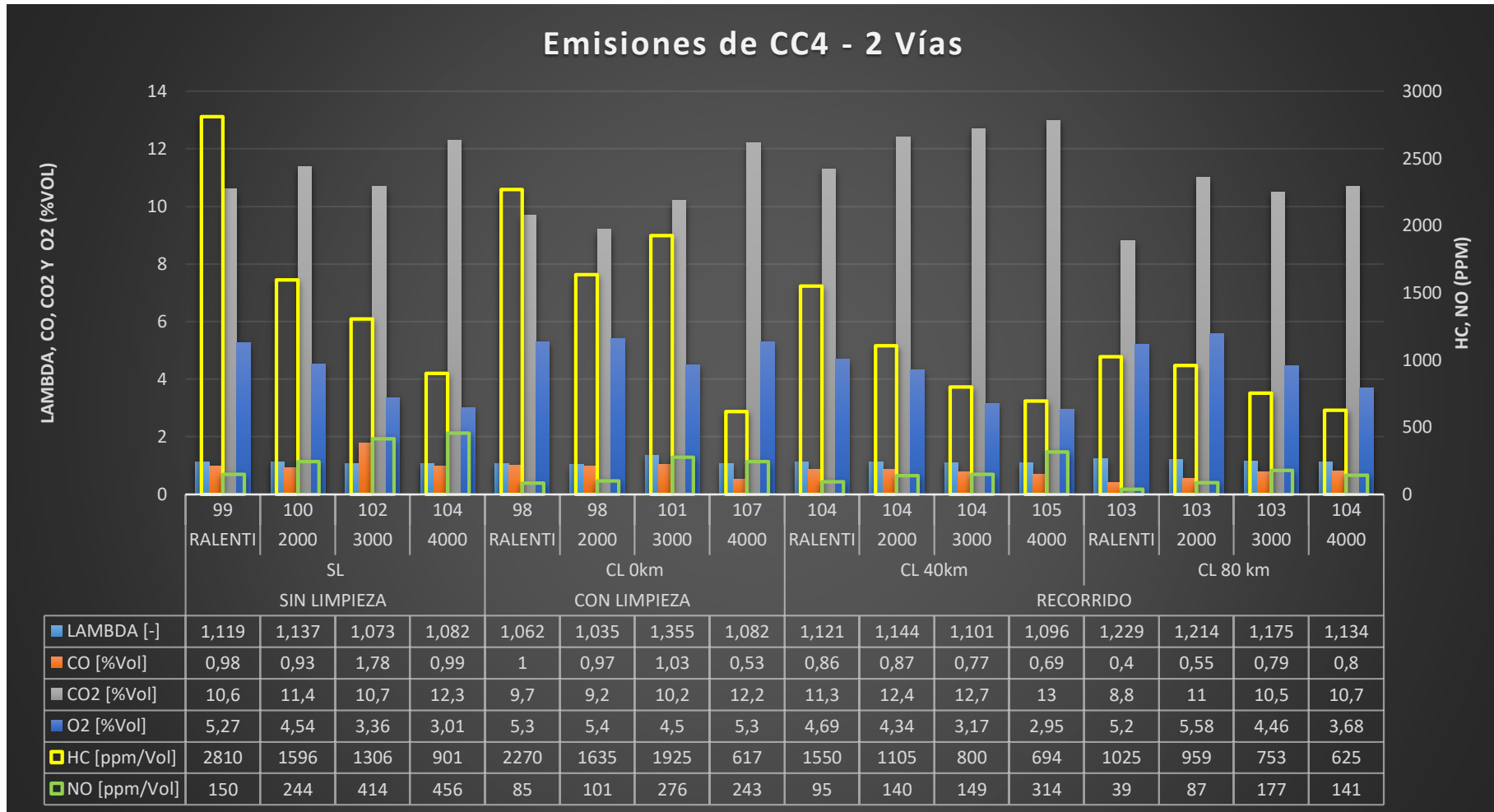


Figura 74. Emisiones de gases CC4-2 vías

El comportamiento de los gases contaminantes, en sus tres etapas de tratamiento del CC4 – 2 vías, se visualizan en la figura 74. El CO<sub>2</sub> llega a obtener su punto máximo de 12.7% y su punto bajo siendo de 8.8%. La etapa de ralentí antes del tratamiento con la del recorrido después de haber sido limpiado hay una variación de incremento de 0.7% lo que indica que el CC necesita una nueva limpieza.

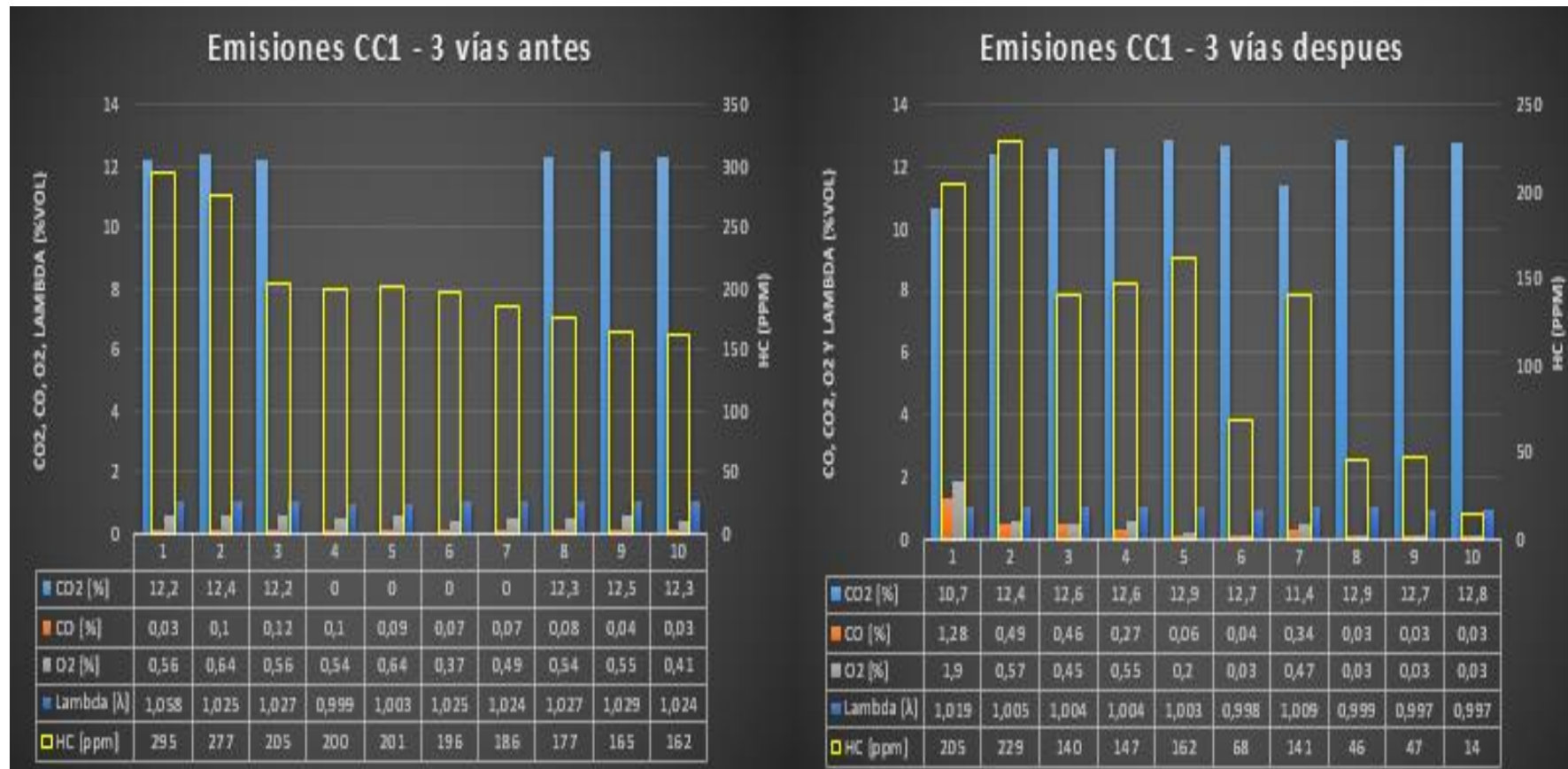
En relación al CO, en la etapa de SL tiene un valor alto de 1.78% y en la etapa CL obtienen un porcentaje 0.77% a las 3000 rpm, existiendo una variación de 1.01 %. El valor máximo de 1.78% representa que tiene un 1.18% por encima del límite de la normativa y respecto al RTV su resultado es rechazado.

El O<sub>2</sub> en la etapa de SL tiene un valor de 5.27% y en la etapa de RCL obtuvo un valor de 4.69%, los dos a un régimen de giro en ralentí, existiendo una variación de 0.58% valores que indican que no están dentro de los valores establecidos en la RTV, dando rechazado como resultado.

Los valores de HC que están comprendidos entre 625 y 2810 ppm lo que representa que tiene 2650 ppm encima del límite máximo de la norma. La etapa de SL con la RCL a un régimen de giro de 4000 rpm existe una variación de 276 ppm, lo que indica que el proceso de tratamiento de limpieza fue muy eficiente.

Obteniendo un valor promedio de 1.063 con mezclas ricas, por debajo de 1.2 a excepción de la prueba de ralentí y 2000 rpm en la etapa de RCL dando un valor promedio de 1.221 con una mezcla pobre para el motor.

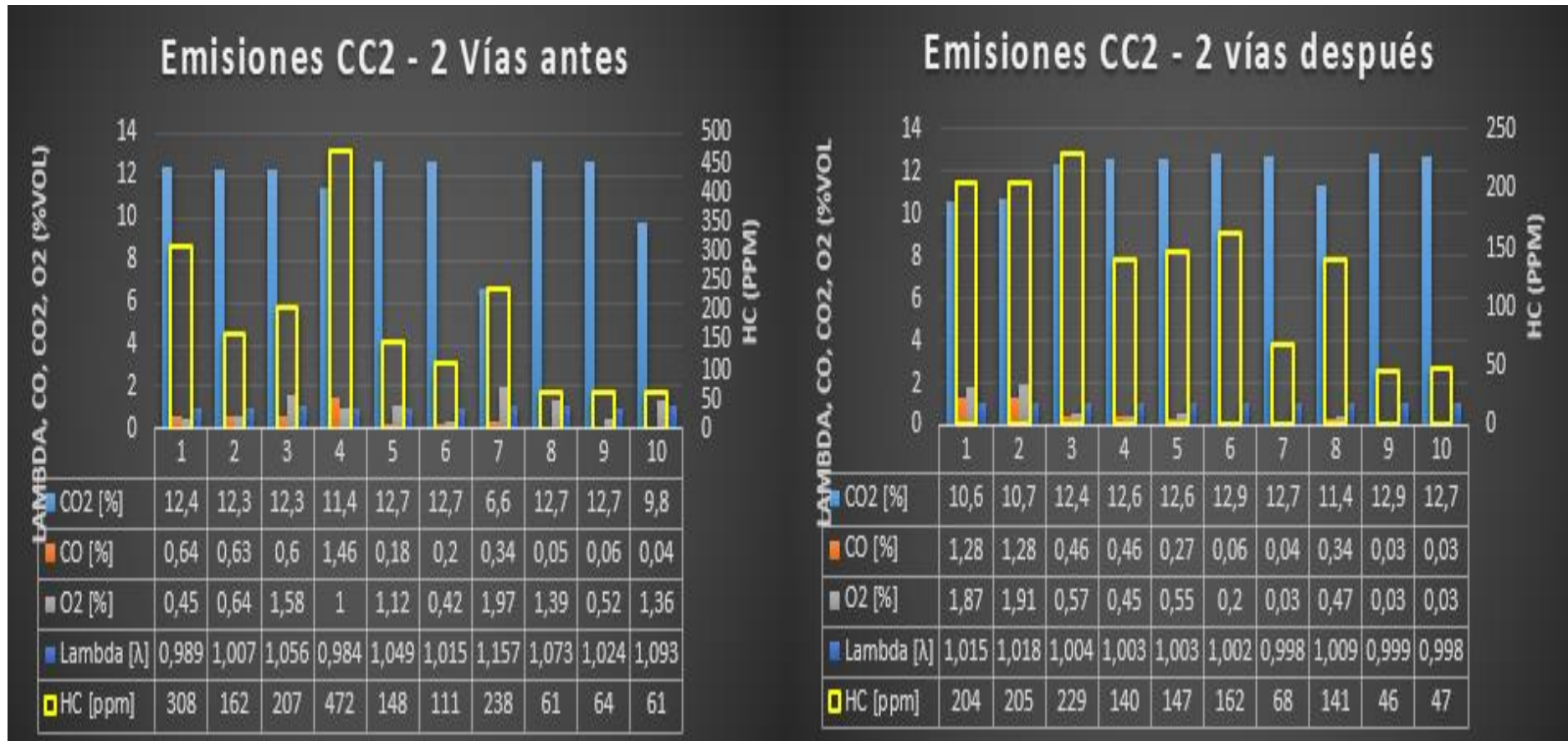
#### 4.4.2. Comparación de emisiones dinámicas



*Figura 75.* Emisión de gases – prueba estática a diferentes regímenes de giro



En la figura 75, representa gráficamente los datos tomados de las pruebas, los cuales corresponden a la prueba estática a diferentes regímenes de giro del CC1 de tres vías, en esta comparación se evidencia una reducción significativa de los valores porcentuales de HC para el primer caso obteniendo un promedio de 191.50 ppm del CC antes de ser tratado y con CC tratado se obtuvo un promedio de 119.9% , lo que significa que hubo un 62.61 % de reducción de los Hidrocarburos; mientras que con los gases del CO antes de ser tratado, se obtuvo un promedio de 0.060% y del CO ya tratado fue de 0.303% lo que se evidencia que en este gas no hubo ninguna reducción pero está dentro de los límites de la norma NTE INEN 2 204 y finalmente se tiene el oxígeno con un promedio de antes de ser tratado de 4.59% y después de ser tratado obtuvo un promedio de 35.079% valores que están dentro de las normas estudiadas y dando como resultado un proceso de limpieza eficiente.



**Figura 76.** Emisión de gases – prueba estática a diferentes regímenes de giro

En la figura 76, representa gráficamente los datos tomados de las pruebas, los cuales corresponden a la prueba estática a diferentes regímenes de giro del CC2 de dos vías, en esta comparación se evidencia una reducción significativa de los valores porcentuales de HC para el primer caso obteniendo un promedio de 183.2 ppm del CC antes de ser tratado y con CC tratado se obtuvo un promedio de 138.90% , lo que significa que hubo un 75.81% de reducción de los Hidrocarburos; mientras que con los gases del CO antes de ser tratado, se obtuvo un promedio de 0.42% y del CO ya tratado fue de 0.42% lo que se evidencia que en el CO no hubo un variación significativa y finalmente se tiene el oxígeno con un promedio de antes de ser tratado de 1.045% y después de ser tratado obtuvo un promedio de 0.611% valores que están dentro de las norma NTE INEN 2 204 y dando como resultado un proceso de limpieza eficiente.

#### **4.4.3. Comparación de métodos de limpieza**

Se realizó una comparación respecto a las emisiones estáticas y dinámicas de los convertidores catalíticos de dos y tres vías.

##### **a. Evaluación estática**

Se evaluó por el método manual y automático respecto a los catalizadores de igual vía.

##### **a1. Catalizador de tres vías**

En la tabla 39, se observa la eficiencia catalítica que existe una reducción de emisiones

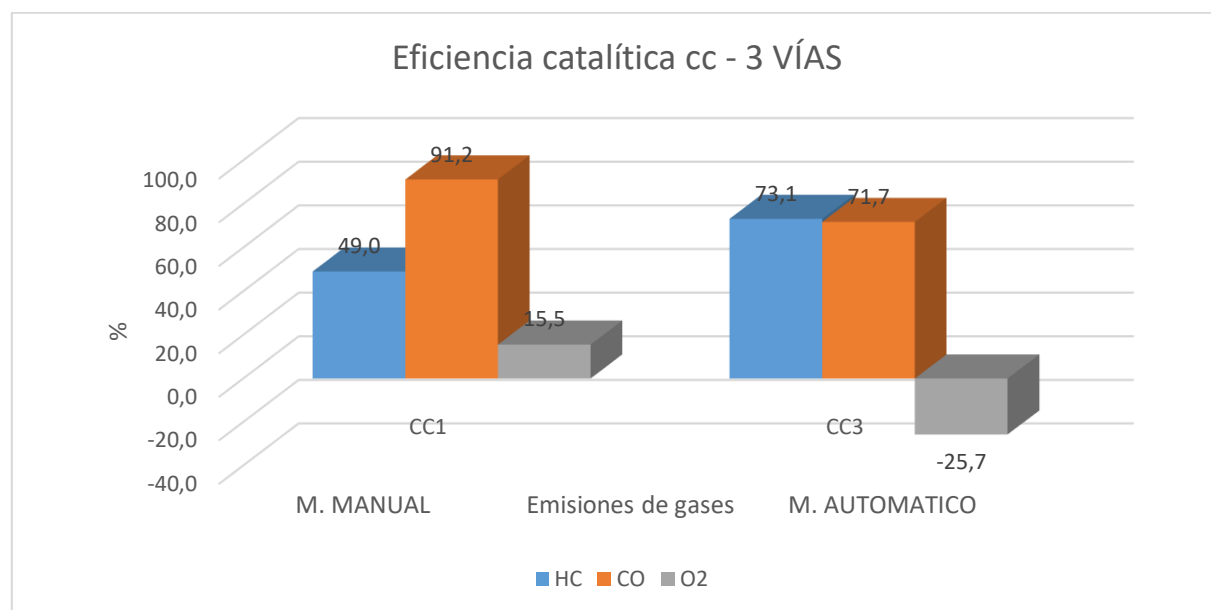
como el HC, CO y O2 según el método manual y automático en los convertidores de 3 vías.

**Tabla 38.**

*Eficiencia catalítica por métodos - 3 vías*

CC1 – 3 vías					CC3 – 3 vías			
ESTÁTICA – MÉTODO MANUAL					ESTÁTICA – MÉTODO AUTOMÁTICO			
Emisión	SL	CL	R CL	Eficiencia	SL	CL	R CL	Eficiencia
HC	31,00	25,60	15,80	49,0	54	53,75	14,5	73,1
CO	0,07	0,03	0,01	91,2	0,2475	0,325	0,07	71,7
O2	0,77	0,81	0,65	15,5	1,2725	1,325	2,8725	-25,7

La eficiencia catalítica respecto a los Hidrocarburos, Monóxido de Carbono y Oxígeno con el método manual resultó más eficaz con una diferencia de 30% respecto al tratamiento y 45% al recorrido, mientras que el tratamiento con el método automático resultó menos eficaz en debido al oxígeno que disminuyó su eficiencia a pesar que el HC y CO aumentaron.



**Figura 77.** Eficiencia Catalítica CC - 3 vías

En la figura 77, se observa que el valor con mayor eficiencia es del CO respecto al método manual con 49% y 15.5% de HC y O2 aumentando su eficiencia un promedio de 51.9%; el método de limpieza automático resultó menos estable, a pesar de igualdad del HC y CO con

73.1% y 71.7% respectivamente, el O<sub>2</sub> disminuyó un 25% dando como promedio una eficiencia al 39.9%.

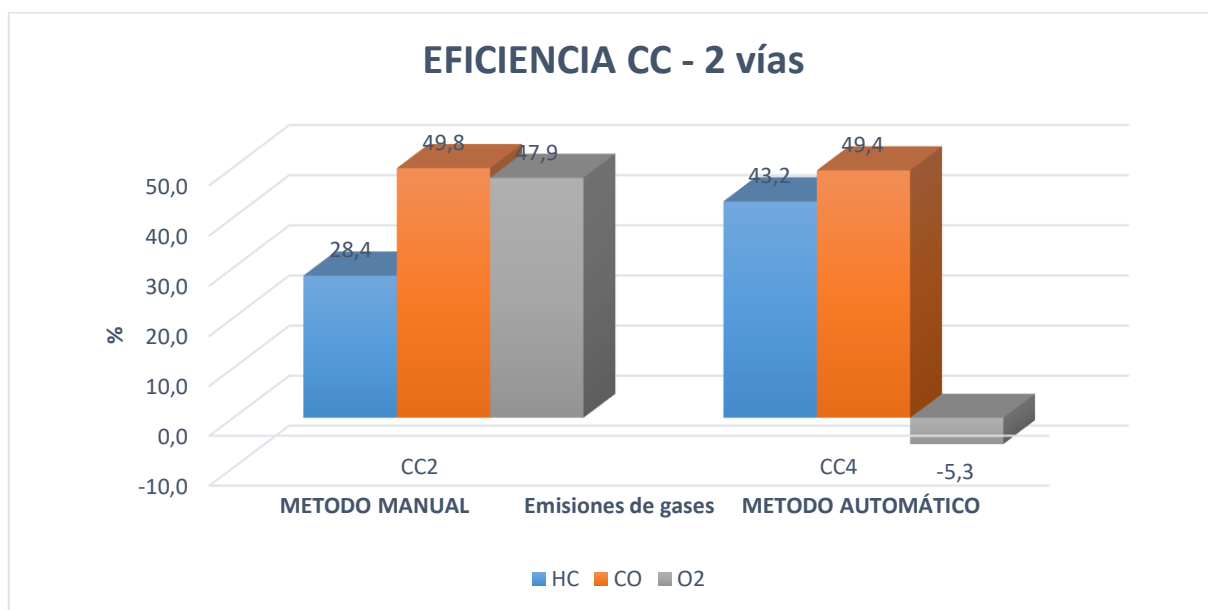
## a2. Catalizadores de 2 vías

En la tabla 40, se observa la eficiencia catalítica que existe una reducción de emisiones como el HC, CO y O<sub>2</sub> según el método manual y automático en los convertidores de 2 vías.

**Tabla 39.**  
*Eficiencia catalítica por métodos - 3 vías*

CC2 – 2 vías					CC4 – 2 vías			
ESTÁTICA – MÉTODO MANUAL					ESTÁTICA – MÉTODO AUTOMÁTICO			
Emisión	SL	CL	R CL	Eficiencia	SL	CL	R CL	Eficiencia
HC	132,40	111,40	94,80	28,4	1653,25	1611,75	938,875	43,2
CO	0,55	0,38	0,28	49,8	1,415	1,2075	0,71625	49,4
O <sub>2</sub>	1,04	0,49	0,54	47,9	4,045	5,125	4,25875	-5,3

La eficiencia catalítica respecto a los Hidrocarburos, Monóxido de Carbono y Oxígeno con el método manual resulto eficaz con una diferencia de 10% respecto al tratamiento y 25% al recorrido, mientras que el tratamiento con el método automático no resulto eficaz debido a que el oxígeno disminuyo su eficiencia a pesar de una buena en HC y CO.



**Figura 78.** Eficiencia Catalítica CC - 3 vías

En la figura 78, se observa que el valor de eficiencia es balanceada respecto al método manual con 28.4%, 49.8 y 47.9% de HC, CO y O<sub>2</sub>, aumentando su eficiencia, un promedio de 42.03%; el método de limpieza automático no resulto estable, a pesar de la fluctuación del HC y CO con 43.2 y 49.4% y se debe por el O<sub>2</sub> que disminuyó un 5.3% dando como promedio una eficiencia al 29.1%.

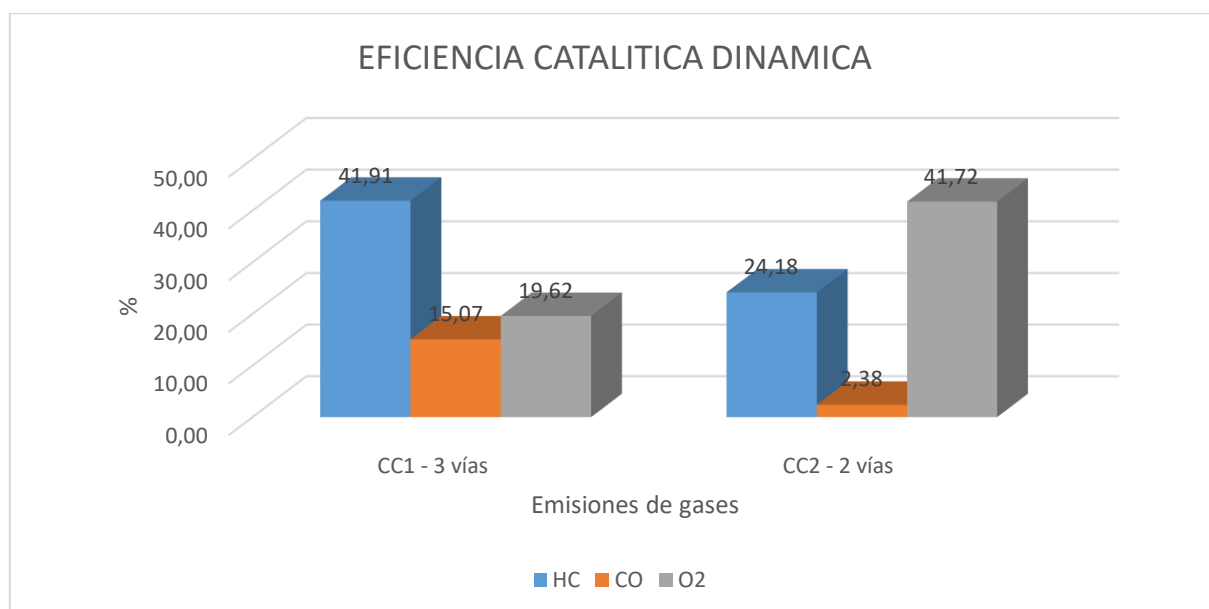
### **b. Evaluación dinámica**

En la tabla 41, se observa la eficiencia catalítica que existe, una reducción de emisiones del HC, CO y O<sub>2</sub> según el método manual y automático en los convertidores de 3 y 2 vías.

**Tabla 40.***Eficiencia catalítica dinámicas de 3 y 2 vías*

DINÁMICAS	CC1 – 3 vías			CC2 – 2 vías		
	SL	CL	EFICIENCIA	SL	CL	EFICIENCIA
HC [ppm]	206,4	119,9	41,9	183,2	138,9	24,2
CO [%]	0,073	0,303	15,1	0,42	0,43	-2,2
O2 [%]	0,53	0,426	19,6	1,045	0,609	41,7

La eficiencia catalítica respecto a los Hidrocarburos, Monóxido de Carbono y Oxígeno con el método manual resultó eficaz, debido a que todas las emisiones mejoran su comportamiento

**Figura 79.** Eficiencia catalítica dinámica de 2 y 3 vías

En la figura 79, se observa que el valor de eficiencia es balanceada para el convertidor catalítico de 3 vías con 41.9% de HC, 15.07% de CO y 19.62% O2, mientras el CC de 2 vías se tienen valores de 24.18%, 2.38% y 41.72% de HC, CO y O2 respectivamente, aumentando la eficiencia respecto a las emisiones medidas.

### c. Resultados de método de limpieza

Como resultado de eficiencias se observa que el proceso adecuado y eficiente para la limpieza de convertidor catalítico 2 y 3 vías, es por el **método manual**, principalmente por la eficiencia del convertidor catalítico, debido en que los ensayos la eficiencia con el O<sub>2</sub> en el método automático, disminuye; mientras que el método manual lo mantiene estable. Otra de las consecuencias es la condición física del convertidor catalítico, porque si esta obstruido se lo ingresa directamente a temperaturas altas y en un intervalo de tiempo prolongado ya que se necesita la mayor cantidad de aire caliente para que este pueda disolver la carbonilla que se encuentra dentro de las paredes del convertidor y se las pueda expulsar directamente por la salida del mismo pero ya realizándolo de la forma manual.

#### 4.4.4. Estadística – descripción de emisiones estáticas antes, después y con recorrido después del tratamiento del CC1

En la tabla 42, se visualiza la relación de los datos estadísticos de media, desviación y el error promedio de la desviación, correspondientes al HC, con un descenso medio de 8 ppm respecto a la media por cada etapa del catalizador de tres vías, los cuales se encuentran dentro del límite de la norma 2 204 de los hidrocarburos que es de 200 ppm.

**Tabla 41.**

*Comparación estadística de las emisiones de HC – CC1 – 3 vías Prueba estática*

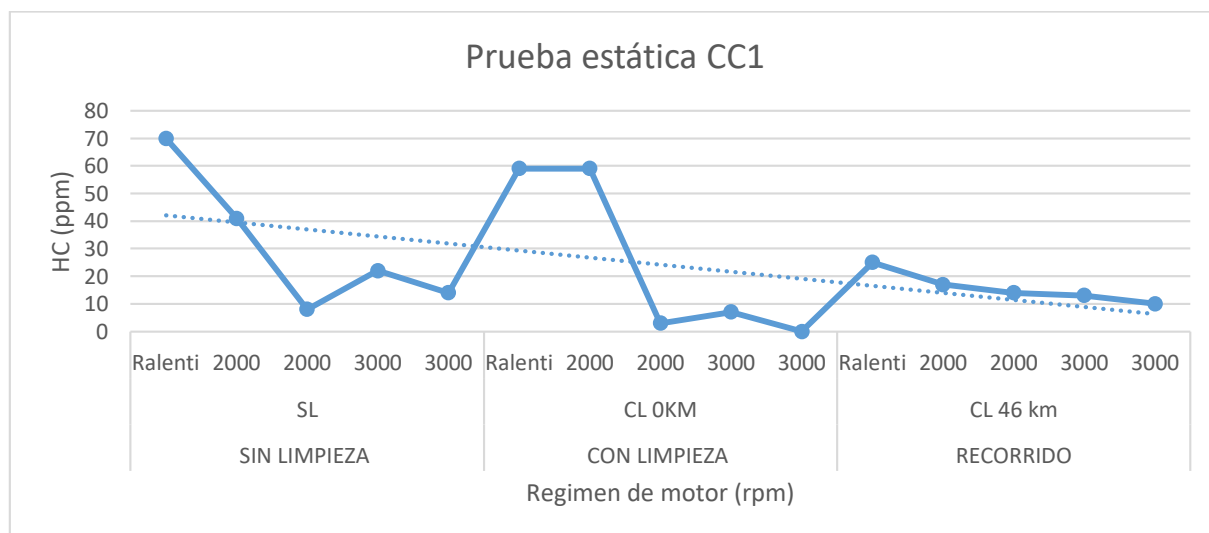
Variable	N	Media	Desviación	Desv. Error promedio
HC-SL	5	31,0000	25,09980	11,22497
HC-CL	5	25,6000	30,59085	13,68064
HC-RCL	5	15,8000	5,71839	2,55734

Se realizó la comparación del recorrido del sistema con el catalizador original, siendo la



variable del RCL una media de 15.8ppm favorable respecto a la media del sin tratamiento con 31ppm, el cual se encuentra dentro del límite de la norma, al igual que la desviación se encuentra en el punto 5.71ppm representando una disminución respecto al SL y la media con 10ppm y obteniendo una desv. Error promedio de 2.55, siendo bueno para el proceso de toma de medida.

En la figura 80, se evidencia que la curva de los HC tienden a disminuir respecto a la media; mientras que la desviación estándar fluctúa en valores mayores – menores de 8 ppm en cada etapa, esto significa que la desviación estándar no varía, lo cual sus emisiones son constantes en ese rango y que el error promedio está dentro de estos límites de desviación por cada etapa. También se muestra las emisiones de HC como son altos en SL y CL, a diferencia del convertidor catalítico RCL cuyos valores de Hidrocarburos bajaron y son constantes, con ligeras fluctuaciones durante el transcurso de la prueba.



**Figura 80.** HC - CC1 – tres vías

Se observan datos estadísticos correspondientes al CO en la tabla 43, con un promedio de 0,0310% Vol por cada etapa en la media de los monóxidos de carbono, lo cual disminuye y

comprobando que el tratamiento funciona adecuadamente, la media de cada etapa se encuentra dentro del límite de la norma 2 204 de 1% Vol.

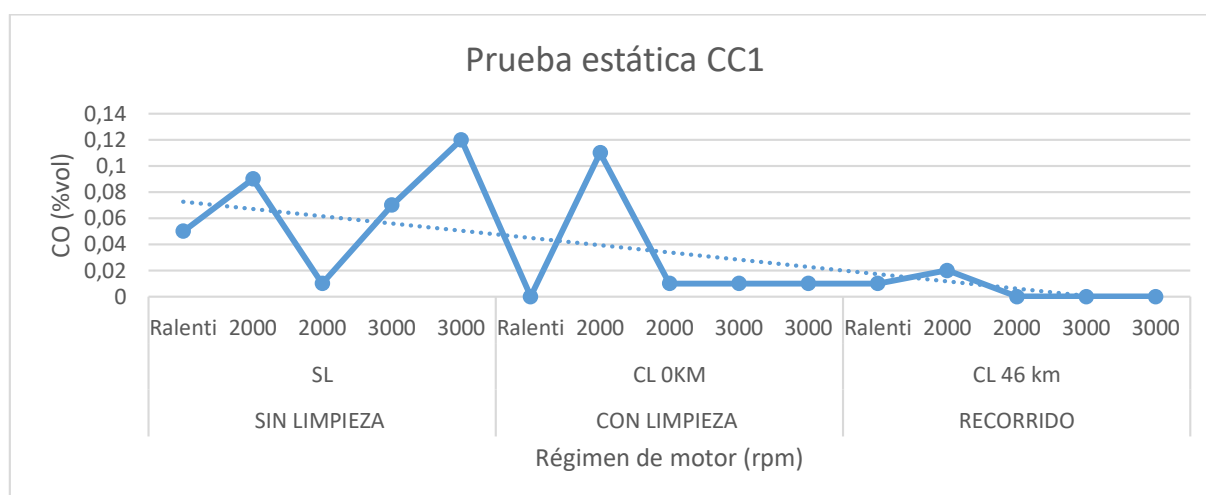
**Tabla 42.**

*Comparación estadística de las emisiones de CO – CCI – 3 vías Prueba estática*

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación</b>	<b>Desv. Error promedio</b>
<b>CO-SL</b>	5	0,0680	0,04147	0,01855
<b>CO-CL</b>	5	0,0280	0,04604	0,02059
<b>CO-RCL</b>	5	0,0060	0,00894	0,00400

Se comparó respecto a la SL y RCL, siendo la variable del recorrido una media de 0.006% Vol favorable respecto a la media del sin tratamiento el cual están dentro del límite, al igual que la desviación se encuentra en el punto 0.008 representando una disminución del 0.032 con el catalizador SL y obteniendo una desv. Error promedio de 0.004 siendo bueno el proceso de toma de medida.

Se muestra un descenso significativo de la media en la curva de las emisiones de CO por cada etapa de tratamiento en la figura 81, la desviación y su error promedio son valores bajos debido a que su error en cada uno de las emisiones serán las mismas. Al mismo tiempo se muestra las emisiones del convertidor catalítico CL, a diferencia del convertidor catalítico SL cuyos valores de Monóxido de Carbono permanecen fluctuantes entre altos y bajos, el tratamiento sirvió para estabilizar al CO durante el transcurso.



**Figura 81.** CO – CC1 – tres vías

En la tabla 44, se representa la relación de los datos correspondientes al O<sub>2</sub>, disminuyendo significativamente un 0.101% Vol entre cada etapa de la media, las emisiones están dentro del límite de 5% Vol respecto al oxígeno según la RTV – 2014, lo cual significa que el tratamiento está funcionando de manera adecuada también para el oxígeno.

**Tabla 43.**

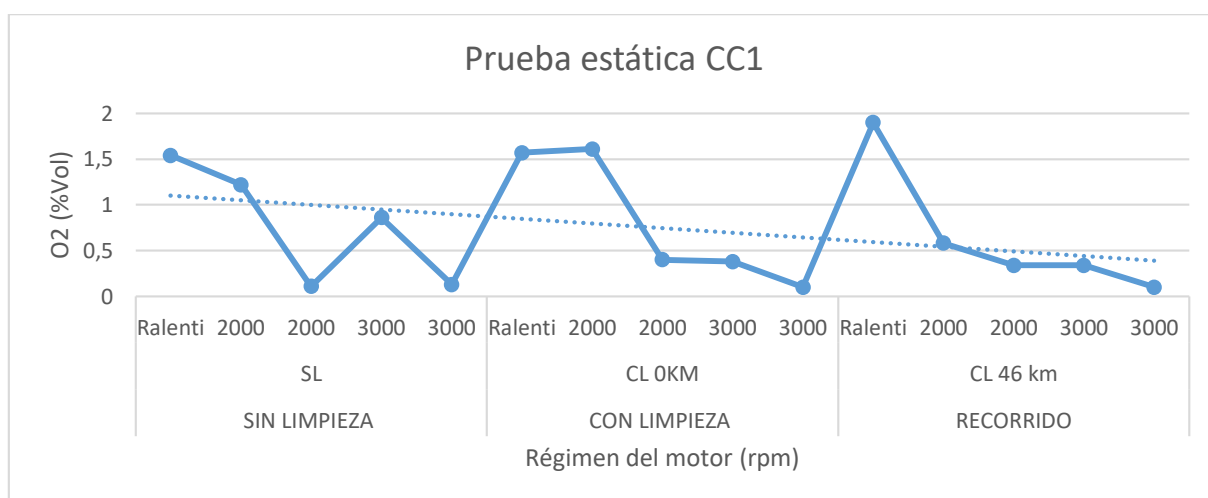
*Comparación estadística de las emisiones de O<sub>2</sub> – CCI – 3 vías Prueba estática*

Variable	N	Media	Desviación	Desv. Error promedio
O <sub>2</sub> -SL	5	0,7720	0,64200	0,28711
O <sub>2</sub> -CL	5	0,8120	0,72019	0,32208
O <sub>2</sub> -RCL	5	0,6520	0,71800	0,32110

Se realiza la comparación respecto al recorrido del sistema y el catalizador sucio, siendo la variable del RCL una media de 0.652 % Vol favorable respecto a la media del sin tratamiento, el cual se encuentra dentro del límite de la norma, al igual que la desviación se encuentra en el punto 0.71 representando un aumento del 0.10 con el catalizador original y finalmente obteniendo una desv. Error promedio de 0.32 siendo deficiente para el proceso de toma de medida.

La curva representada en la figura 82, muestra una línea de tendencia disminuyendo debido

a la media; mientras que la desviación estándar tiende a subir en CL y RCL porque su tendencia no es significativa con errores promedio similares para estas dos etapas de 0.322% y 0.321%. Los valores de O<sub>2</sub>, en el vehículo de prueba se aprecia que estos no fluctúan de manera equilibrada antes del tratamiento, pero una vez hecho el recorrido con su tratamiento tiene a regularse y disminuir de forma equilibrada.



**Figura 82.** O<sub>2</sub> – CC1 – tres vías

#### 4.4.5. Estadística – descripción de emisiones estáticas antes, después y con recorrido después del tratamiento del CC2

En la tabla 45, se visualiza la relación de los correspondientes al HC, con un descenso medio de 19 ppm respecto a la media por cada etapa del catalizador de dos vías, los cuales se encuentran dentro del límite de la norma 2 204 de los hidrocarburos que es de 200 ppm.

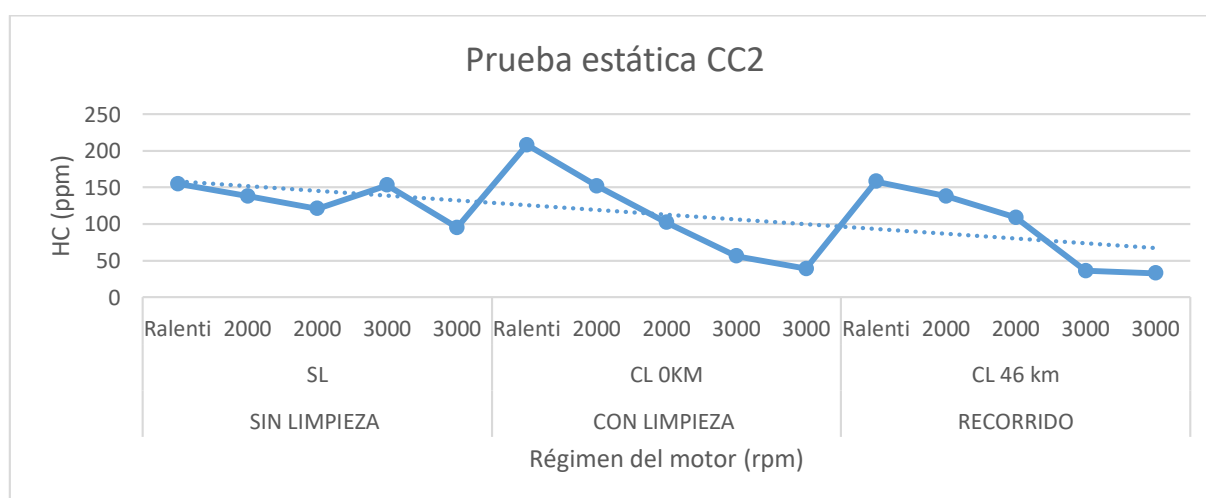
**Tabla 44.**

*Comparación estadística de las emisiones de HC – CC2 – 2 vías Prueba estática*

Variable	N	Media	Desviación	Desv. Error promedio
HC-SL	5	132,4000	24,97599	11,16960
HC-CL	5	111,4000	69,60460	31,12812
HC-RCL	5	94,8000	57,74686	25,82518

Se compara la variable RCL y SL, teniendo un 94.8ppm en la variable del recorrido favoreciendo respecto a la media del sin tratamiento el cual se encuentra dentro del límite de la norma, al igual que la desviación se encuentra en el punto 57.7 representando un aumento de 33ppm con el catalizador SL y obteniendo una desv. Error promedio de 25.82 siendo deficiente para el proceso de toma de medida debido que aumentó significativamente.

En la figura 83, se evidencia que la línea de tendencia de los HC disminuyen conforme a las pruebas; mientras que la desviación estándar en la etapa de CL se eleva significativamente 45 ppm, los cuales se deduce que las emisiones tomadas en esta prueba fueron fluctuantes, esto significa que la desviación estándar en la etapa CL no tiene un punto de inicio o final y el error promedio de igual manera se encuentra en un rango comprobando que la desviación en la etapa de CL fue la que obtuvo picos altos y bajos.



**Figura 83.** HC- CC2 - dos vías

En la tabla 46, se observa datos de emisiones del CO, con un valor que disminuye 14 ppm por cada etapa de tratamiento, es decir, un aproximado del 30% de emisión, los cuales se encuentran dentro del límite de la norma 2 204 de los hidrocarburos que es de 200 ppm.

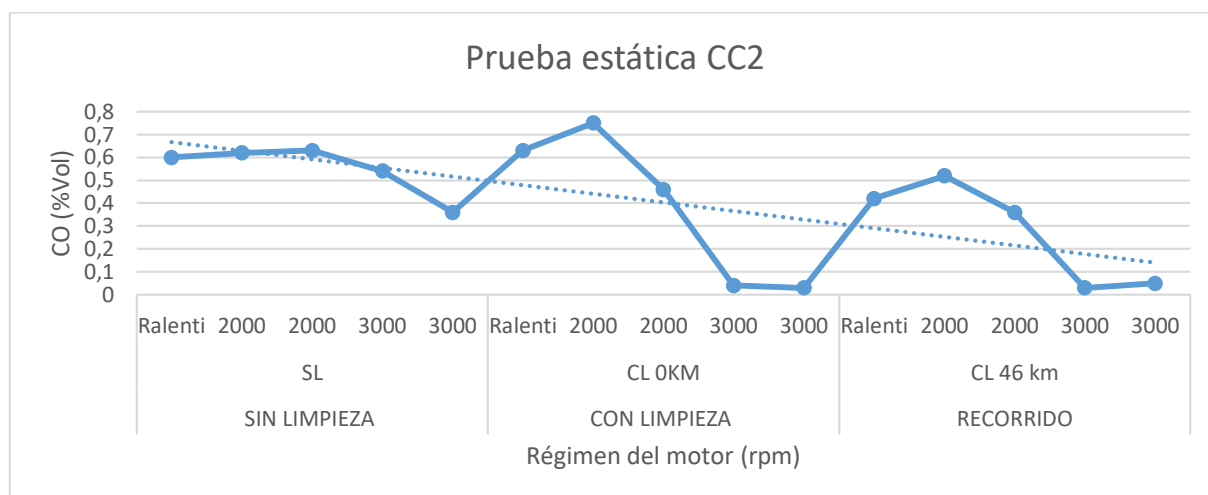
**Tabla 45.**

*Comparación estadística de las emisiones de CO – CC2 – 2 vías Prueba estática*

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación</b>	<b>Desv. Error promedio</b>
<b>CO-SL</b>	5	0,5500	0,11180	0,05000
<b>CO-CL</b>	5	0,3820	0,33312	0,14898
<b>CO-RCL</b>	5	0,2760	0,22300	0,09973

Se realizó la comparación del recorrido del sistema con el catalizador original, siendo la variable del RCL una media de 0.276% Vol favorable respecto a la media sin tratamiento, el cual se encuentra dentro del límite de la norma, al igual que la desviación se encuentra en el punto 0.22% Vol representando un aumento del 0.11 con el catalizador SL y obteniendo una desv. Error promedio de 0.09 siendo eficiente para el proceso de toma de medida.

En la figura 84, se muestra un descenso significativo en la curva de las emisiones de CO, equipado con el convertidor catalítico ya tratado a diferencia del convertidor catalítico no tratado cuyos valores de Monóxido de Carbono permanecen constantes, con ligeras fluctuaciones durante el transcurso de la prueba.



**Figura 84.** CO- CC2 - dos vías

Se visualiza la relación de los datos estadísticos de media, desviación y el error promedio de la desviación, correspondientes al O<sub>2</sub> en la tabla 47, con una disminución significativa en los valores del error promedio de desviación, entre el catalizador no tratado, tratado y con cierto recorrido de dos vías.

**Tabla 46.**

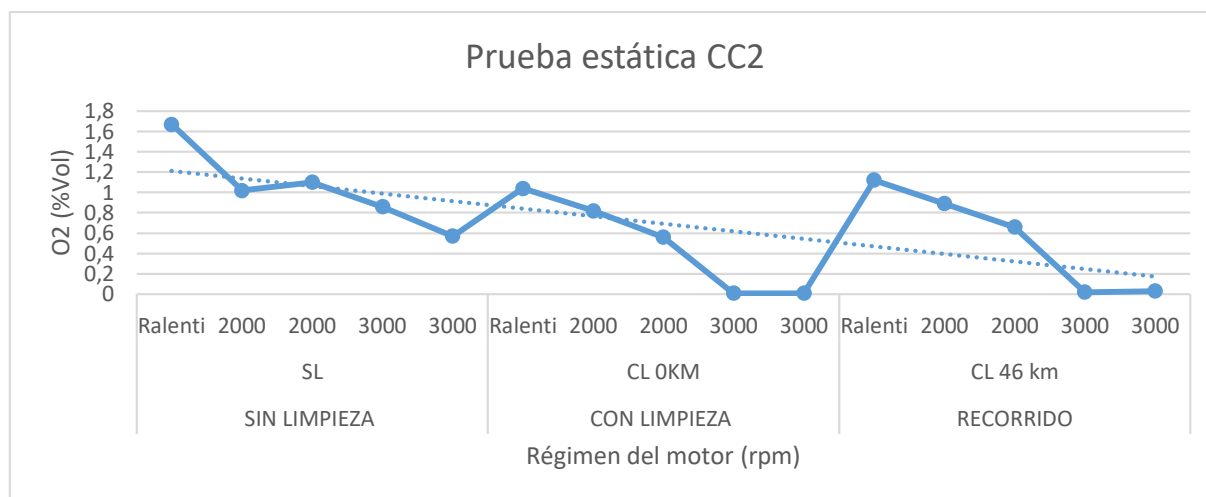
*Comparación estadística de las emisiones de O<sub>2</sub> – CC2 – 2 vías Prueba estática*

Variable	N	Media	Desviación	Desv. Error promedio
O <sub>2</sub> -SL	5	1,0440	0,40439	0,18085
O <sub>2</sub> -CL	5	0,4880	0,46826	0,20941
O <sub>2</sub> -RCL	5	0,5440	0,50093	0,22402

Se comparó el RCL y SL del sistema, teniendo en la variable del recorrido una media de 0.54% Vol favorable respecto a la media SL, el cual se encuentra dentro en el límite de la norma, al igual que la desviación que se encuentra en el punto 0.50% Vol representando un aumento del 0.11 con el catalizador sin tratar y se obtiene una desv. Error promedio de 0.22 siendo eficiente para el proceso de toma de medida.

El comportamiento de la gráfica de O<sub>2</sub> con un catalizador no tratado posee varias

fluctuaciones en el transcurso de la prueba, a diferencia de la curva del oxígeno con un catalizador tratado, el cual se mantiene dentro del rango permitido en las normas técnicas ecuatorianas con fluctuaciones poco significativas, relación observada en la figura 85.



**Figura 85.** O2- CC2 - dos vías

#### 4.4.6. Estadística – descripción de emisiones estáticas antes, después y con recorrido después del tratamiento del CC3

En la tabla 48, se observa la relación de los datos estadísticos de media, desviación y el error promedio de la desviación, correspondientes al HC, con una disminución significativa en los valores del error promedio de desviación, entre el catalizador no tratado, tratado y con cierto recorrido de tres vías.

**Tabla 47.**

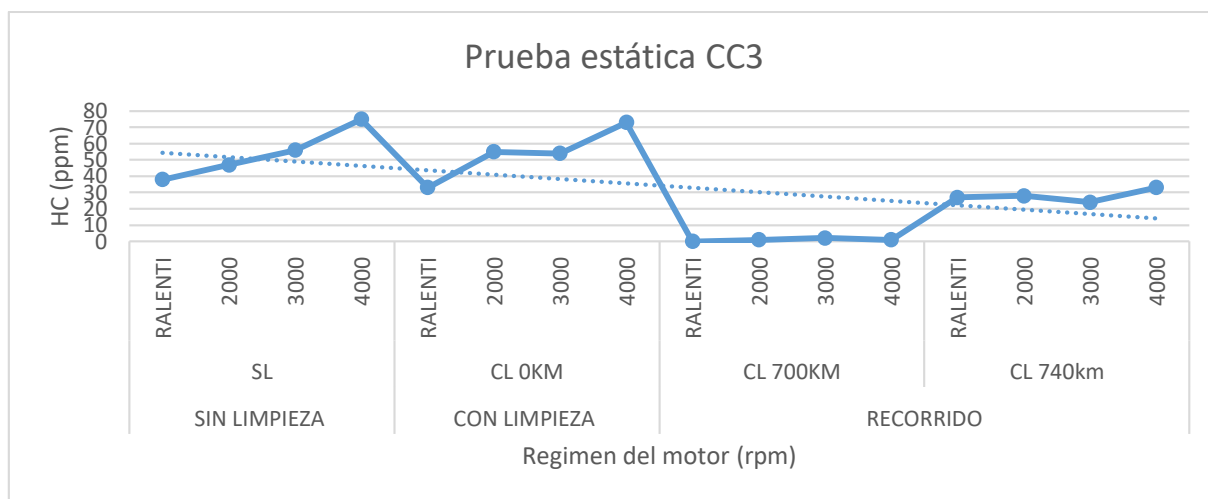
*Comparación estadística de las emisiones de HC – CC3 – 3 vías Prueba estática*

Variable	N	Media	Desviación	Desv. Error promedio
HC-SL	4	54,0000	15,81139	7,90569
HC-CL	4	53,7500	16,35797	8,17899
HC-RCL	8	14,5000	14,64826	5,17894



Se realizó la comparación del recorrido del sistema con el catalizador SL, siendo la variable del RCL una media de 14.5ppm favorable respecto a la media del sin tratamiento con 54ppm, el cual se encuentra dentro del límite de la norma, al igual que la desviación se encuentra en el punto 14.64ppm representando una disminución del SL y aumento con un 0.14 ppm respecto a la media y obteniendo una desv. Error promedio de 5.17 siendo eficaz para el proceso de toma de medida.

Se evidencia la gráfica de HC con un catalizador no tratado posee varias fluctuaciones en el transcurso de la prueba, a diferencia de la curva de los hidrocarburos con un catalizador tratado, el cual se mantiene dentro del rango permitido en las normas técnicas ecuatorianas con fluctuaciones poco significativas, relación observada en la figura 86.



**Figura 86.** HC- CC3 - tres vías

Se visualiza la relación de los datos estadísticos de media, desviación y el error promedio de la desviación, en la tabla 49, correspondientes al CO, con una disminución significativa en los valores del error promedio de desviación, entre el catalizador no tratado, tratado y con cierto recorrido de tres vías.

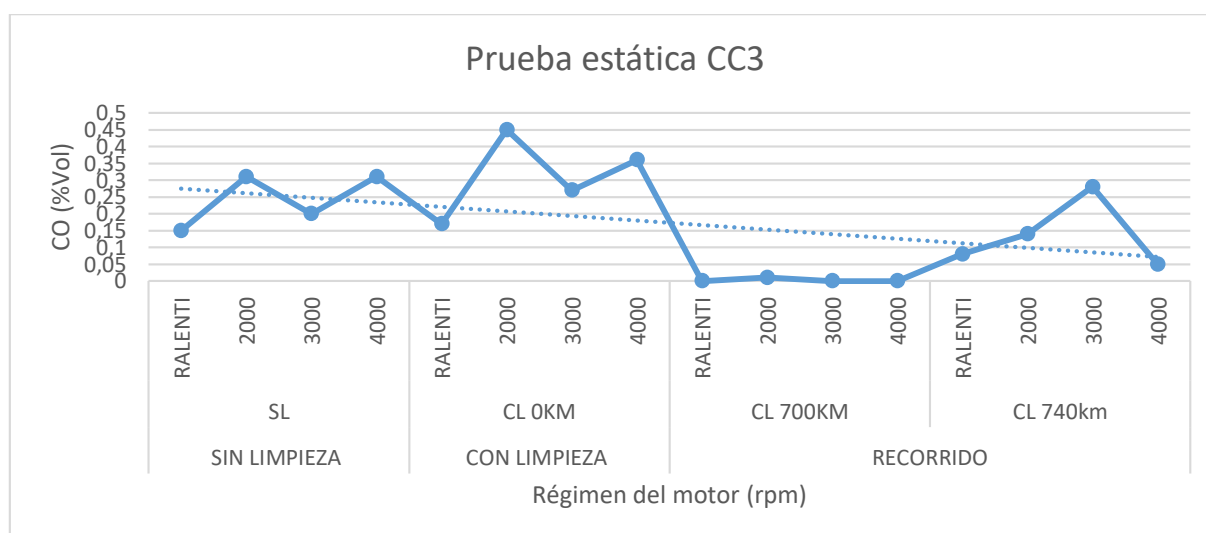
**Tabla 48.**

*Comparación estadística de las emisiones de CO – CC3 – 3 vías Prueba estática*

Variable	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
CO-SL	4	0,2425	0,08057	0,04029
CO-CL	4	0,3125	0,12010	0,06005
CO-RCL	8	0,0700	0,09842	0,03480

Se comparó el RCL con SL, siendo la variable del recorrido una media de 0.07%Vol favorable respecto a la media del sin tratamiento con 0.2425%Vol, el cual se encuentra dentro del límite de la norma, al igual que la desviación, se encuentra en el punto 0.09%Vol representando un aumento del SL y logrando una desv. Error promedio de 0.034 siendo bueno para el proceso de toma de medida.

En la figura 87, se evidencio un descenso significativo en la curva de las emisiones de CO, equipado con el convertidor catalítico ya tratado a diferencia del convertidor catalítico no tratado cuyos valores de Monóxido de Carbono permanecen constantes, con ligeras fluctuaciones durante el transcurso de la prueba.



**Figura 87.** CO - CC3 - tres vías

Se observa la relación de los datos estadísticos de media, desviación y el error promedio de la desviación, correspondientes al O<sub>2</sub> en la tabla 50, con una disminución significativa en los valores del error promedio de desviación, entre el catalizador no tratado, tratado y con cierto recorrido de tres vías.

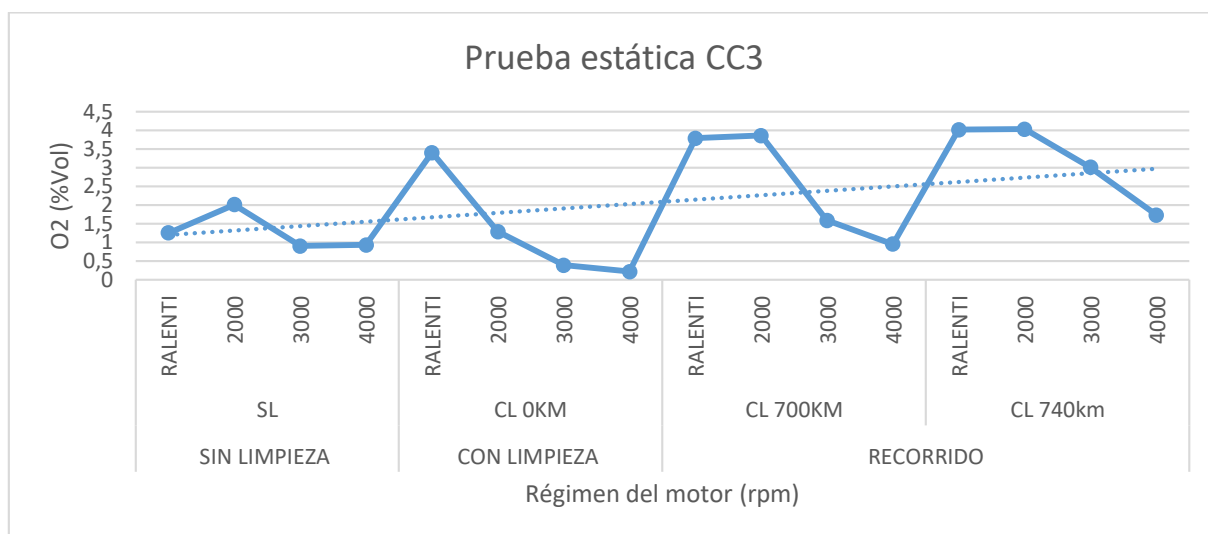
**Tabla 49.**

*Comparación estadística de las emisiones de O<sub>2</sub> – CC3 – 3 vías Prueba estática*

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. Desviación</b>	<b>Desv. Error promedio</b>
<b>O<sub>2</sub>-SL</b>	4	1,2725	0,51655	0,25828
<b>O<sub>2</sub>-CL</b>	4	1,3250	1,46083	0,73042
<b>O<sub>2</sub>-RCL</b>	8	2,8725	1,26144	0,44599

Se realizó la comparación del recorrido del sistema con el catalizador original, siendo la variable del RCL una media de 2.8725 %Vol favorable respecto a la media del sin tratamiento con 1.272 %Vol el cual se encuentra dentro del límite de la norma, al igual que la desviación se encuentra en el punto 1.26 %Vol representando una disminución respecto a la media y aumento del SL con un 0.51 %Vol y obteniendo una desv. Error promedio de 0.44 siendo positivo para el proceso de toma de medida.

En la figura 88, se muestra un descenso significativo en la curva de las emisiones de Oxígeno, equipado con el convertidor catalítico ya tratado a diferencia del convertidor catalítico no tratado cuyos valores de Oxígeno permanecen constantes, con ligeras fluctuaciones pero están dentro de las normas técnicas ecuatorianas.



**Figura 88.** O2 - CC3 - tres vías

#### 4.4.7. Estadística – descripción de emisiones estáticas antes, después y con recorrido después del tratamiento del CC4

Se visualiza la relación de los datos estadísticos de media, desviación y el error promedio de la desviación, en la tabla 51, correspondientes al HC, con una disminución significativa en los valores del error promedio de desviación, entre el catalizador no tratado, tratado y con cierto recorrido de dos vías.

**Tabla 50.**

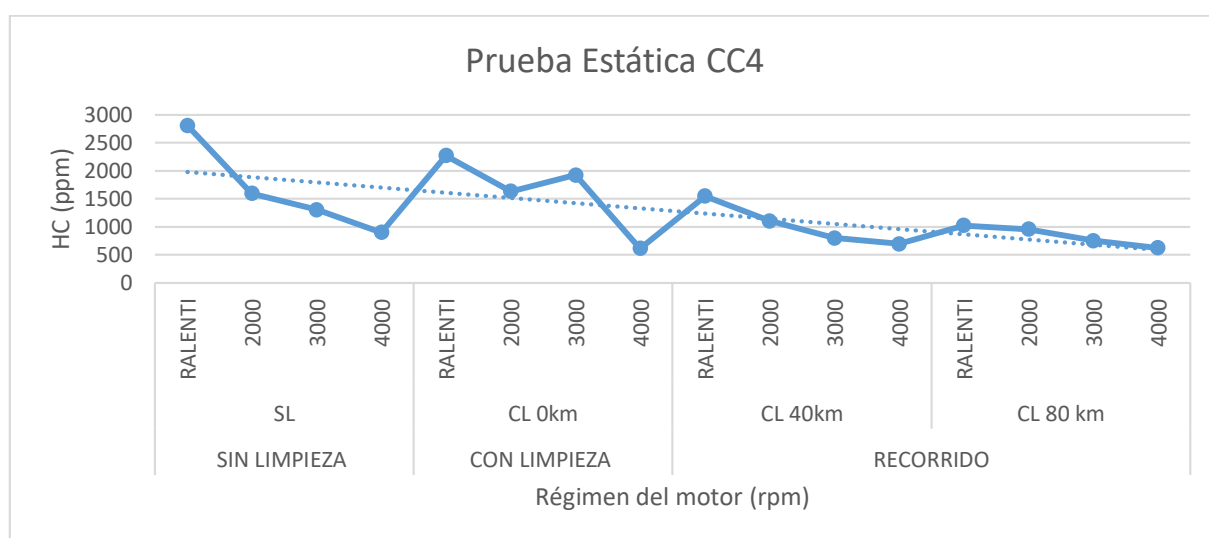
*Comparación estadística de las emisiones de HC – CC4 – 2 vías Prueba estática*

Variable	N	Media	Desviación	Desv. Error promedio
HC-SL	4	1653,2500	822,15383	411,07691
HC-CL	4	1611,7500	712,15325	356,07662
HC-RCL	8	938,8750	297,90000	105,32356

Se comparó el RCL y el SL, siendo la variable del recorrido una media de 938.87ppm favorable respecto a la media del sin tratamiento con 1653.25ppm, el cual se encuentra dentro

del límite de la norma, al igual que la desviación se encuentra en el punto 297.9ppm representando una disminución respecto al SL con 822.15ppm y la media con un 938.87ppm, el proceso finaliza obteniendo una desv. Error promedio de 105.32 siendo eficiente para el proceso de toma de medida.

En la figura 89, se evidencia un descenso significativo en la curva de las emisiones de Hidrocarburos, equipado con el convertidor catalítico ya tratado a diferencia del convertidor catalítico no tratado cuyos valores de los Hidrocarburos permanecen constantes, con ligeras fluctuaciones pero están dentro de las normas técnicas ecuatorianas.



**Figura 89.** HC - CC3 - dos vías

En la tabla 52, se observa la relación de los datos estadísticos de media, desviación y el error promedio de la desviación, correspondientes al CO, con una disminución significativa en los valores del error promedio de desviación, entre el catalizador no tratado, tratado y con cierto recorrido de dos vías.

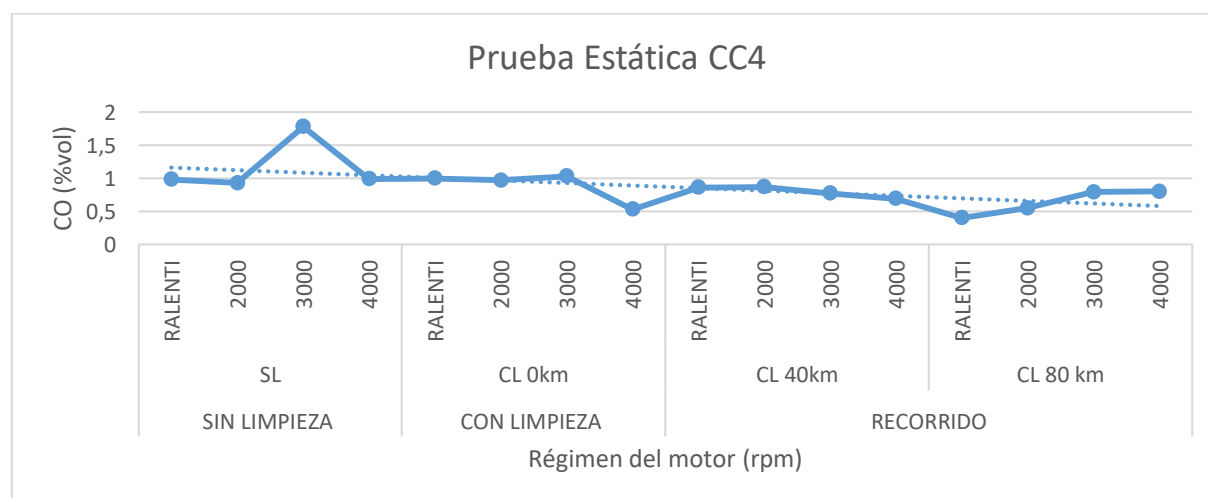
**Tabla 51.**

*Comparación estadística de las emisiones de CO – CC4 – 2 vías Prueba estática*

Variable	N	Media	Desviación	Desv. Error promedio
CO-SL	4	1,1700	0,40751	0,20376
CO-CL	4	0,8825	0,23627	0,11814
CO-RCL	8	0,7162	0,16388	0,05794

Se realizó la comparación del RCL con SL, siendo la variable del recorrido una media de 0.1638% Vol favorable respecto a la media del sin tratamiento con 0.4075% Vol el cual se encuentra dentro del límite de la norma y debido a la cantidad de pruebas realizadas, al igual que la desviación se encuentra en el punto 0.16% Vol representando una disminución del SL con 0.4075 y la media, una vez realizado la media se obtiene una desv. Error promedio de 0.057 siendo eficaz para el proceso de toma de medida debido a que disminuyó referente al SL y CL.

En la figura 90, muestra un descenso significativo en la curva de las emisiones de Monóxido de Carbono, equipado con el convertidor catalítico ya tratado a diferencia del convertidor catalítico no tratado cuyos valores de Monóxido de Carbono permanecen constantes, con ligeras fluctuaciones pero están dentro de las normas técnicas ecuatorianas.



**Figura 90.** CO – CC4 - dos vías

Se visualizó la relación de los datos estadísticos de media, desviación y el error promedio de la desviación, en la tabla 53, correspondientes al O2, con una disminución significativa en los valores del error promedio de desviación, entre el catalizador no tratado, tratado y con cierto recorrido de dos vías.

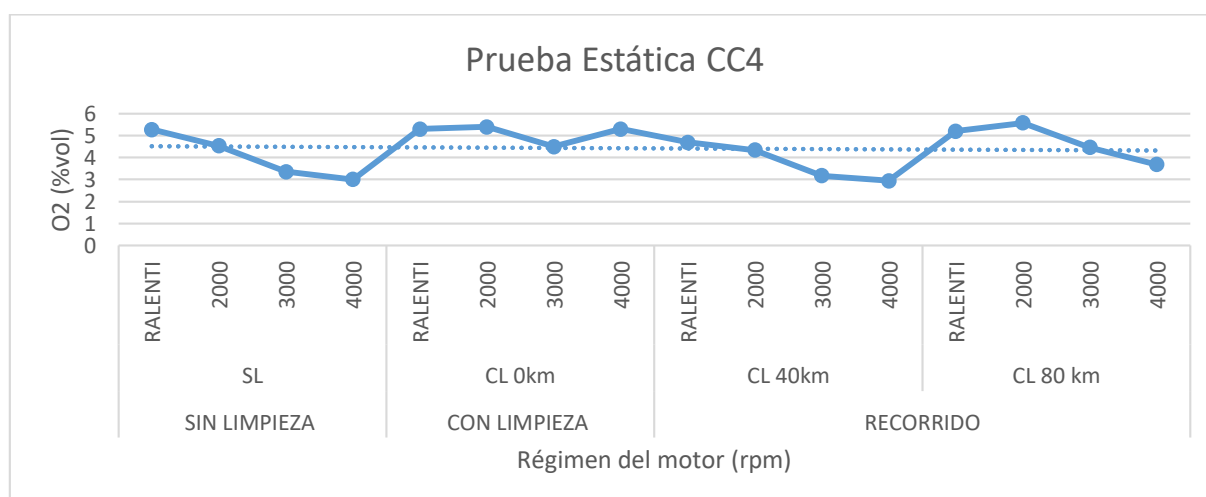
**Tabla 52.**

*Comparación estadística de las emisiones de O2 – CC4 – 2 vías Prueba estática*

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. Desviación</b>	<b>Desv. Error promedio</b>
<b>O2-SL</b>	4	4,0450	1,04660	0,52330
<b>O2-CL</b>	4	5,1250	0,41932	0,20966
<b>O2-RCL</b>	8	4,2588	0,93334	0,32999

Se comparó el recorrido y el catalizador sin tratamiento, siendo la variable del RCL una media de 4.25% Vol favorable respecto a la media del SL con 4.045% Vol, el cual se encuentra dentro del límite de la norma, al igual que la desviación se encuentra en el punto 0.93% Vol representando una disminución del SL y una vez realizado el proceso se obtuvo la desv. Error promedio con 0.329 respecto al recorrido y 0.52 al SL siendo positivo para el proceso de toma de medida debido a la disminución de error con el paso de cada etapa.

El comportamiento de la gráfica de Oxígeno con un catalizador no tratado posee varias fluctuaciones en el transcurso de la prueba, a diferencia de la curva del Oxígeno con un catalizador tratado, el cual se mantiene dentro del rango permitido en las normas técnicas ecuatorianas con fluctuaciones poco significativas, relación observada en la figura 91.



**Figura 91.** O2 – CC4 - dos vías

#### 4.4.8. Estadística – descripción de emisiones dinámicas antes y después del tratamiento CC1

En la tabla 54, se detallan los resultados de un análisis estadístico descriptivo con los datos receptados de la emisión de HC, se observa una reducción en su valor de media y del error promedio de desviación.

**Tabla 53.**

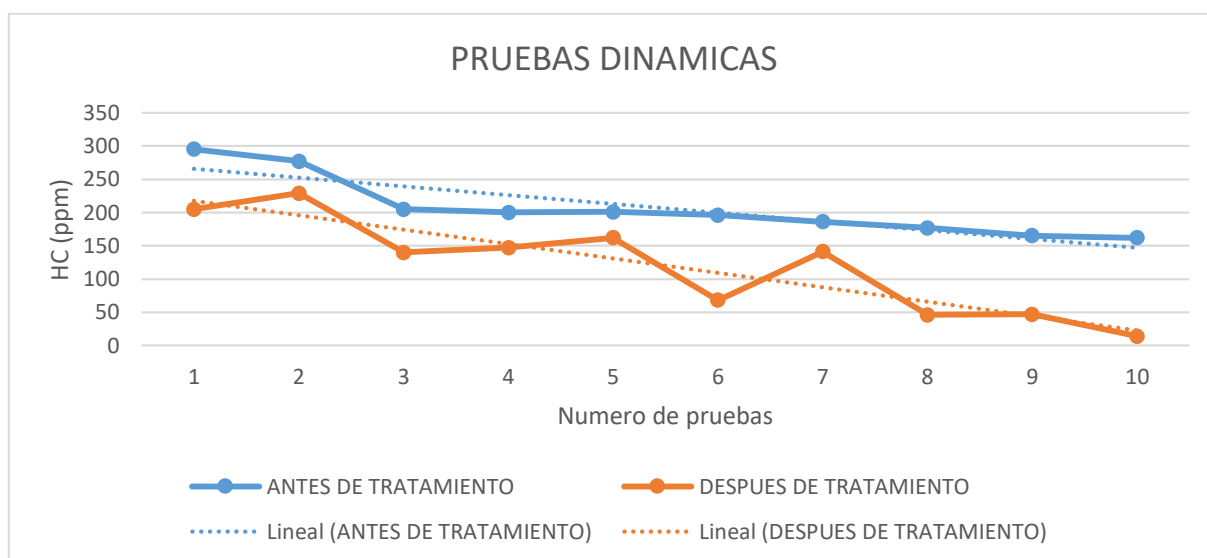
*Comparación estadística de las emisiones de HC – CC1 – 3 vías Prueba dinámica*

Variable	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
HC-SL	10	206,4000	44,69700	14,13443
HC-CL	10	119,9000	72,40695	22,89709

Siendo la variable CL una media de 119.9ppm favorable respecto a la norma que está dentro del límite y SL, al igual que la desviación se encuentra en el punto 44.69ppm representando una disminución sin limpieza del 50% y finalmente obteniendo una desv. Error promedio de 14.13 siendo bueno el proceso de medidas de la media.



El comportamiento de la gráfica de HC con un catalizador no tratado posee varias fluctuaciones en el transcurso de la prueba, a diferencia de la curva de los Hidrocarburos con un catalizador tratado, el cual se mantiene dentro del rango permitido en las normas técnicas ecuatorianas con fluctuaciones poco significativas, relación observada en la figura 92.



**Figura 92.** HC – CC2 - dos vías

En la tabla 55, se observó los resultados de un análisis estadístico descriptivo con los datos receptados de la emisión de CO, se observa una reducción en su valor de media y del error promedio de desviación que comprende entre 0.00989 y 0.12331.

**Tabla 54.**

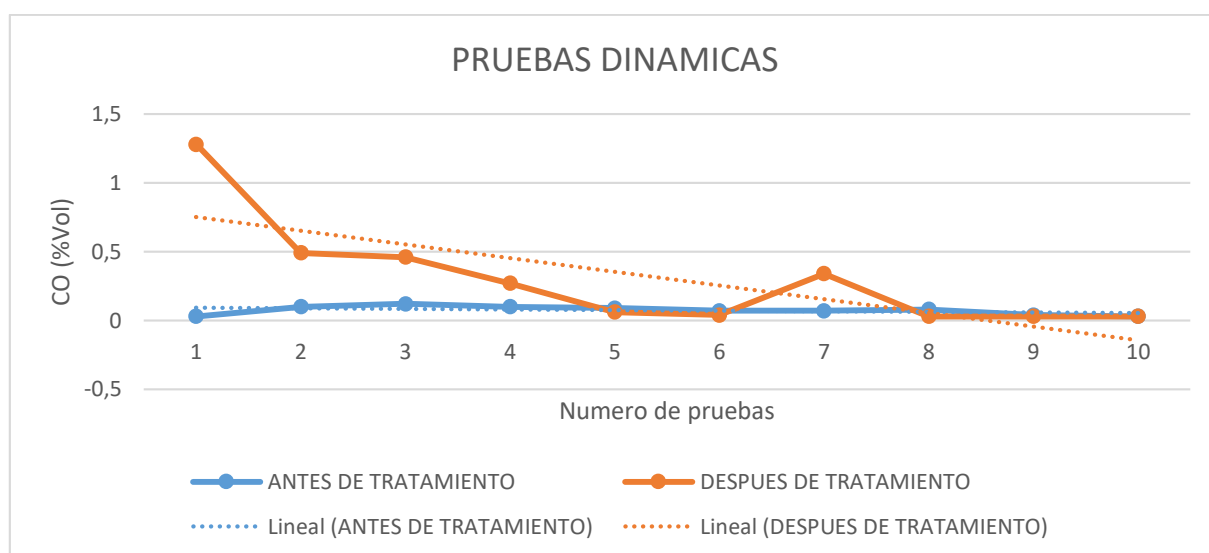
*Comparación estadística de las emisiones de CO – CC1 – 3 vías Prueba dinámica*

Variable	N	Media	Desviación	Desv. Error promedio
CO-SL	10	0,0730	0,03129	0,00989
CO-CL	10	0,3030	0,38993	0,12331

La variable CL tiene una media de 0.303% Vol siendo no favorable respecto a la SL que está dentro del límite debido a que se mantiene, al igual que la desviación se encuentra en el punto 0.031% Vol representando una disminución sin limpieza de 2% y se obtiene una desv.

Error promedio de 0.009 siendo malo para el proceso de medidas de la media.

En la figura 93, muestra un descenso significativo en la curva de las emisiones del Monóxido de Carbono, equipado con el convertidor catalítico ya tratado a diferencia del convertidor catalítico no tratado cuyos valores del Monóxido de Carbono permanecen constantes, con ligeras fluctuaciones pero están dentro de las normas técnicas ecuatorianas.



**Figura 93.** CO – CC2 - dos vías

Se visualizan los resultados con los datos receptados de la emisión de O<sub>2</sub>, en la tabla 56, se observa una reducción en su valor de media y del error promedio de desviación que va desde 0.2753 hasta 0.17918.

**Tabla 55.**

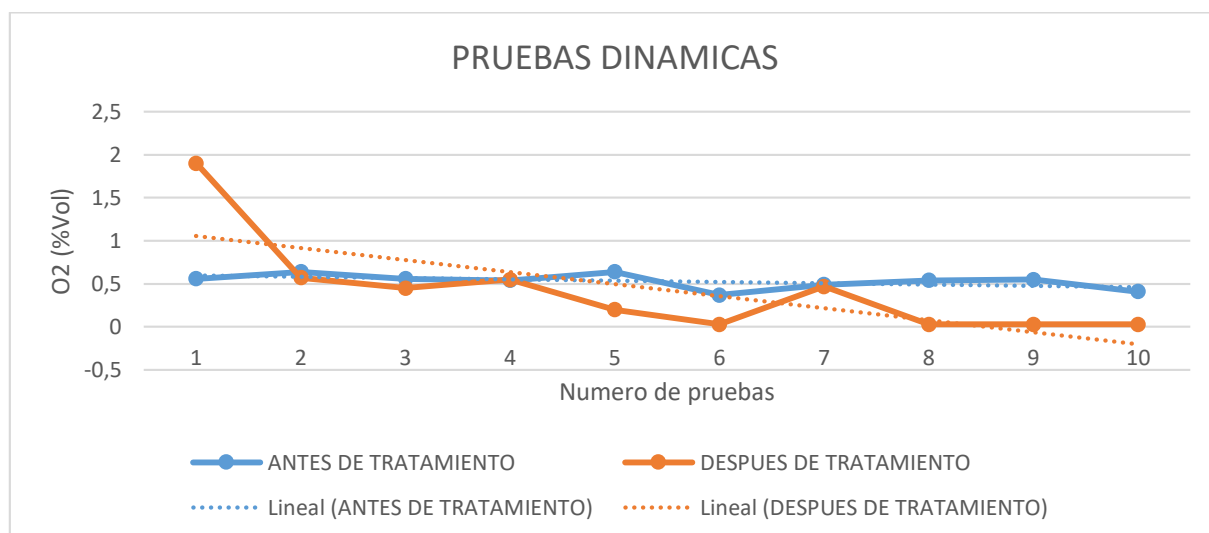
*Comparación estadística de las emisiones de O<sub>2</sub> – CCI – 3 vías Prueba dinámica*

Variable	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
O <sub>2</sub> -SL	10	0,5300	0,08705	0,02753
O <sub>2</sub> -CL	10	0,4260	0,56663	0,17918

La variable CL tiene una media de 0.426 % Vol siendo no favorable respecto a la SL que

está dentro del límite debido a que se mantiene, al igual que la desviación se encuentra en el punto 0.087% Vol, representando una disminución sin limpieza de 2% y se tiene una desv. Error promedio de 0.027 siendo deficiente para el proceso de medidas de la media.

En la figura 94, se observa un descenso significativo en la curva de las emisiones del Oxígeno equipado con el convertidor catalítico ya tratado a diferencia del convertidor catalítico no tratado cuyos valores del Oxígeno permanecen constantes, con ligeras fluctuaciones.



**Figura 94.** O<sub>2</sub> – CC<sub>2</sub> - dos vías

#### 4.4.9. Estadística – descripción de emisiones dinámicas antes y después del tratamiento CC<sub>2</sub>

En la tabla 57 se evidencia la disminución del error promedio de desviación, de las emisiones de HC con un catalizador no tratado y tratado.

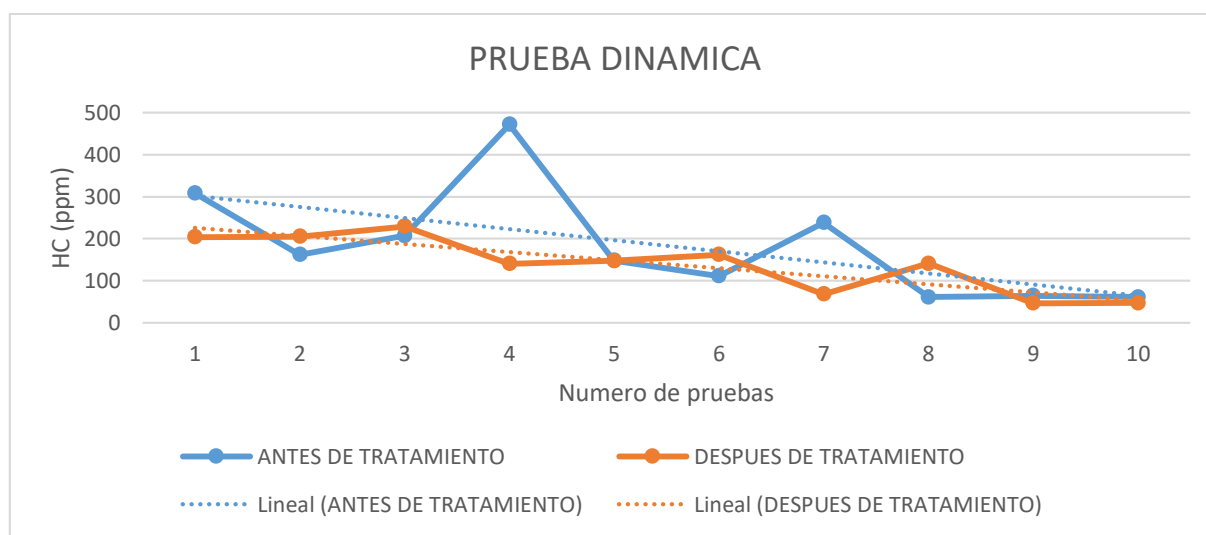
**Tabla 56.**

*Comparación estadística de las emisiones de HC – CC2 – 2 vías Prueba dinámica*

Variable	N	Media	Desviación	Desv. Error promedio
HC-SL	10	183,2000	130,60781	41,30182
HC-CL	10	138,9000	66,19240	20,93187

Siendo la variable CL una media de 138.9ppm favorable respecto a la norma que está dentro del límite y SL, al igual que la desviación se encuentra en el punto 66.19ppm representando una disminución sin limpieza del 50% y obteniendo una desv. Error promedio de 20.93 siendo bueno el proceso de medidas de la media.

En la figura 95, se visualizó la disminución de los valores de emisión de HC entre un catalizador no tratado y tratado, valores que se observan con un convertidor tratado se mantienen dentro del límite de las normas ecuatorianas vigentes al catalizador tratado.



**Figura 95.** HC – CC2 - dos vías

En la tabla 58, se muestra la disminución del error promedio de la desviación de 0.13864 a 0.15236 de las emisiones de CO con un convertidor no tratado y tratado.

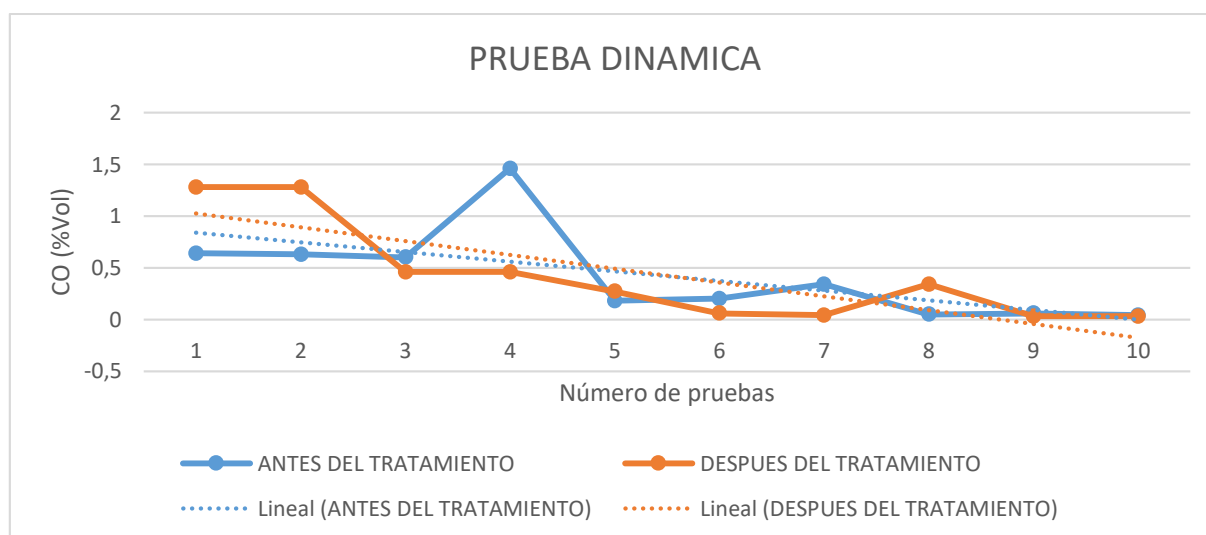
**Tabla 57.**

*Comparación estadística de las emisiones de CO – CC2 – 2 vías Prueba dinámica*

Variable	N	Media	Desviación	Desv. Error promedio
CO-SL	10	0,4200	0,43841	0,13864
CO-CL	10	0,4250	0,48181	0,15236

La variable CL tiene una media de 0.425% Vol siendo no favorable respecto a la SL que está dentro del límite debido a que se mantiene, al igual que la desviación se encuentra en el punto 0.481% Vol representando una disminución sin limpieza de 2% y se obtiene una desv. Error promedio de 0.15 siendo malo para el proceso de medidas de la media.

La comparativa observada en las dos curvas pertenecientes a las emisiones de CO con catalizador no tratado y tratado, evidencia un descenso significativo en las emisiones cuando se utiliza un catalizador tratado, característica visualizada en la figura 96.



**Figura 96.** CO – CC2 - dos vías

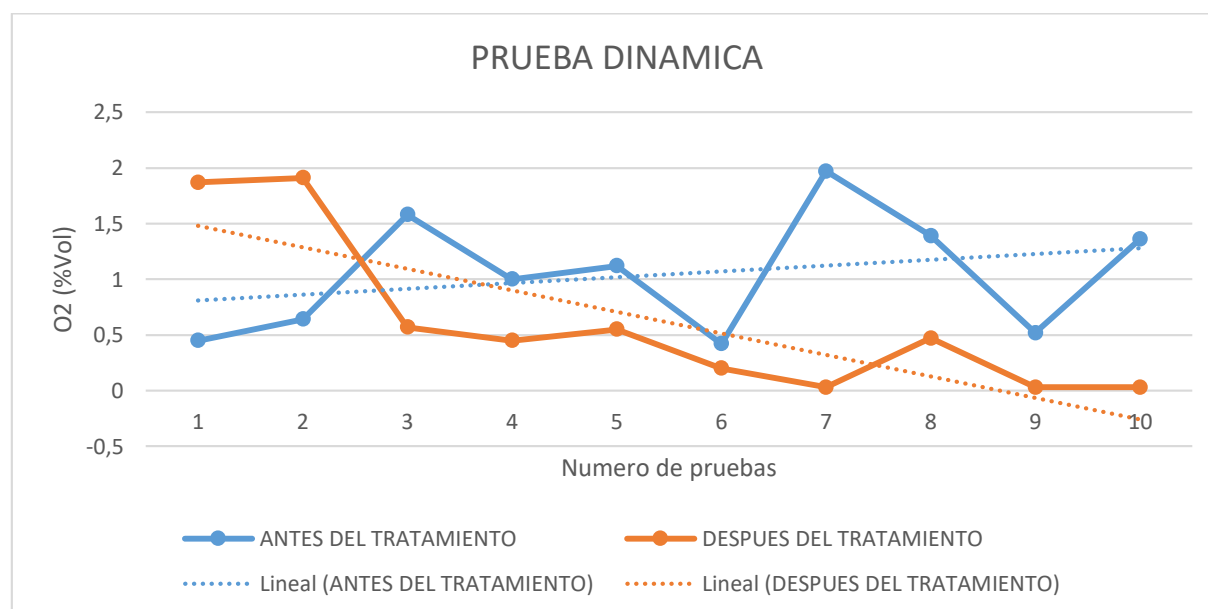
Los datos visualizados en la tabla 59, permiten determinar la reducción significativa del error promedio de desviación, entre un catalizador no tratado y un tratado cuando se reciben datos de oxígeno.

**Tabla 58.**

*Comparación estadística de las emisiones de O<sub>2</sub> – CC<sub>2</sub> – 2 vías Prueba dinámica*

Variable	N	Media	Desviación	Desv. Error promedio
O <sub>2</sub> -SL	10	1,0450	0,53250	0,16839
O <sub>2</sub> -CL	10	0,6110	0,70752	0,22374

Se evidencia el comportamiento y la reducción en las emisiones de O<sub>2</sub> cuando se utiliza un convertidor catalítico no tratado y tratado, la oscilación de los valores de O<sub>2</sub> durante el transcurso de la prueba se mantienen dentro de los límites permitidos por las normas técnicas ecuatorianas vigentes, características observadas en la figura 97.



**Figura 97.** O<sub>2</sub> – CC<sub>2</sub> – dos vías

## **CAPÍTULO V**

### **MARCO ADMINISTRATIVO**

El aspecto administrativo y económico de la investigación del proyecto se refiere al equipo de limpieza y los convertidores catalíticos de dos y tres vías usados en diferentes vehículos, para el control de emisiones antes y después del tratamiento mediante pruebas estáticas y dinámicas, determinando la viabilidad de los recursos y factible del mismo.

#### **5.1. Factibilidad**

Para determinar la viabilidad del proyecto se realizó la ejecución de los recursos humanos, tecnológicos y financieros que son de importancia para el proyecto de investigación.

#### **5.2. Recursos**

En el presente análisis de la tesis establece objetivos específicos y metas a cumplir, para lo cual se utilizó recursos como: humanos, tecnológicos y materiales, con el fin que el estudio se desarrolle de manera normal.

##### **5.2.1. Recursos humanos**

El recurso humano que intervino en la ejecución del proyecto de investigación es el siguiente:

**Tabla 59.***Recursos humanos utilizados en el proyecto de investigación*

<b>Ord.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Función</b>
1.	Jhon Andres Chamorro Yagual	Investigador
2.	Gladys Estefanía Heredia Rocha	Investigador
3.	Ing. Leonidas Antonio Quiroz Erazo	Tutor de Tesis – Analista de Emisiones
4.	Dr. Trino Romero Javier	Colaborador científico – Caracterización de Catálisis

### 5.2.2. Recursos materiales

Para el desarrollo de la investigación es necesario elementos y componentes que se presentan a continuación:

**Tabla 60.***Recursos materiales utilizados en el proyecto de investigación*

<b>Ord.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Costos unitarios</b>	<b>Costo Total USD</b>
1.	4	Catalizador	\$60.00	\$240.00
2.	1	Equipo del banco de Pruebas	\$1500.00	\$1500.00
3.	10	Filtros	\$10.00	\$100.00
4.	4	Acoples para los catalizadores	\$10.00	\$40.00
5.	1	Balanza	\$25.00	\$25.00
6.	1	Analizador de Gases	\$0.00	\$0.00
7.	1	Cámara termográfica	\$0.00	\$0.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$0.00</b>	<b>\$1905.00</b>

*Nota:* Para los ensayos estáticos se utilizó el analizador de gases y la cámara termográfica, facilitado por la universidad sin costo alguno; siendo realizadas 100 ensayos para toma de muestras de los gases contaminantes analizados.

### 5.2.3. Recursos tecnológicos.

Para la realización correcta de la investigación es necesaria contar con equipos tecnológicos que se mencionan a continuación:



**Tabla 61.***Recursos tecnológicos utilizados en el proyecto de investigación*

Ord.	Detalle	Cantidad	Costo
1.	Equipo de procesamiento de información	1	\$900.00
2.	Multímetro	1	\$ 30.00
3.	Calibración de analizador de gases al catalizador	1	\$150.00
TOTAL			\$1080.00

#### 5.2.4. Recurso financiero

El presupuesto del proyecto titulado como “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”, resulta de la suma total de los recursos a utilizar y la movilidad.

**Tabla 62.***Presupuesto utilizado en el proyecto de investigación*

Descripción	Costo Total USD
Recursos materiales	\$ 1905.00
Recursos tecnológicos	\$ 1080.00
Movilidad	\$ 150.00
TOTAL	\$ 3135.00

#### 5.3. Título de la propuesta

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

### **5.3.1. Estructura de la propuesta**

La propuesta se enfoca en el diseño y construcción de un equipo de tratamiento para los catalizadores de dos y tres vías en vehículos de prueba, permitiendo una reducción de las emisiones de gases.

### **5.3.2. Desarrollo de la propuesta**

En la investigación se usó recursos como: financieros, talento humano, tecnológicos

## CONCLUSIONES

- Se levantó información científica – técnica, para el diseño del equipo de tratamiento de convertidores catalíticos a través de dos métodos de limpieza.
- En las pruebas de laboratorio de quimisorción se determina que la temperatura ideal para el proceso de tratamiento del monolito en los CC es 300°C en un tiempo determinado de 40 min en la que se determina la máxima calcificación de la carbonilla producto de la formación y adherencia de las especies metálicas de dicho componente automotriz.
- Una vez realizado los métodos de limpieza se determina la técnica más apropiada para un convertidor catalítico que se encuentra taponado u obstruido es el método manual ya que dentro de los parámetros esta la temperatura y tiempo abiertos.
- La variación de las emisiones en función de la Temperatura, también fue un punto clave y significativo, en las tres etapas, debido a que se pudo observar como aumenta y disminuye, las diferentes emisiones estudiadas tanto para la limpieza del método manual y automático por medio del régimen del motor en revoluciones altas y bajas.
- La emisión de los gases contaminantes durante la prueba estática con el vehículo de prueba compuesto por un CC no tratado de dos vías, conforme va avanzando el tiempo el CO<sub>2</sub> se mantiene con variaciones poco significativas con un valor promedio de 11.56%, en los valores de CO se evidencia un descenso progresivo de 0.64% a 0.04% conforme la temperatura del motor alcanza su funcionamiento óptimo, se observa un valor mínimo de 0.45% en O<sub>2</sub> con varias fluctuaciones durante toda la prueba, los HC a medida que la prueba avanza sus emisiones disminuyen con un valor promedio de 183.2 ppm que están dentro de los valores de los límites establecidos en la norma técnica ecuatoriana INEN 2 204; pero se lo aprueba con falta tipo2.

- La emisión de los gases contaminantes durante la prueba estática con el vehículo de prueba dotado con un CC tratado de dos vías conforme avanza el tiempo, los valores de CO<sub>2</sub> se mantienen con variaciones significativas con un promedio de 11.15%, en valores de CO se evidencia una disminución de 1.28 % a 0.03 % conforme la temperatura del motor alcanza su funcionamiento óptimo, se muestra que los valores de O<sub>2</sub> mantienen fluctuaciones durante el transcurso de la prueba con un pico de 1.91 %; mientras los hidrocarburos a medida que la prueba avanza los gases contaminantes disminuyen con un valor promedio de 138.9 ppm, valores que están dentro del rango en la norma técnica ecuatoriana INEN 2 204.
- El comportamiento de los gases contaminantes durante la prueba estática con el vehículo de prueba dotado con un CC usado de tres vías, conforme avanza el tiempo el CO<sub>2</sub> mantiene variaciones significativas con un valor promedio de 7.39 %, en los valores de CO se observa un descenso de 0.05 % a 0.03 % conforme la temperatura del motor alcanza su funcionamiento idóneo, se observa que los valores de O<sub>2</sub> mantienen fluctuaciones con un pico 0.64 % durante toda la prueba; mientras los HC a medida que la prueba avanza las emisiones disminuyen con un valor promedio de 206.4 ppm superior a los límites establecidos en la norma técnica ecuatoriana INEN 2 204.
- La emisión de los gases contaminantes durante la prueba estática con el vehículo de prueba dotado con un catalizador nuevo de tres vías de acuerdo avanza el tiempo los valores de CO<sub>2</sub> mantienen variaciones significativas con un promedio de 12.37 %, los valores de CO evidencia un descenso de 1.28 % a 0.03 %, con una variación de 1.25%, se observa que los valores del oxígeno tienen fluctuaciones durante toda la prueba con un valor promedio de 0.99 %, mientras los HC a medida que la prueba avanza sus emisiones disminuyen con un valor promedio de 119.9 ppm manteniéndose dentro del rango en la norma técnica

ecuatoriana INEN 2 204.

- La eficiencia catalítica en las pruebas estáticas fue positivo en comparación a las dinámicas, haciendo referencia a los CC - 3 vías ya que se obtuvo en la etapa de limpieza manual un valor alto de 91.2% en CO, mientras que por el método automático llegó a alcanzar una eficiencia equilibrada en 2 gases contaminantes: el HC con 73% y CO un 71% respectivamente.
- Las pruebas estáticas fueron positivas en comparación a las dinámicas en los CC - 2 vías en la eficiencia catalítica, ya que se obtuvo en la etapa de limpieza manual valores altos equilibrados en dos emisiones con un 49.82% de CO y 47.9% en O<sub>2</sub>, mientras que por el método automático llegó a alcanzar una eficiencia de 49.4% CO.
- La eficiencia catalítica comparando las pruebas dinámicas con las pruebas estáticas, en convertidores catalíticos por el método de limpieza manual, se obtuvieron resultados favorables, con un mayor porcentaje de eficiencia de 41.9% en HC del CC - 3 vías; mientras que en el CC-2 vías se obtuvo una mayor eficiencia en el Oxígeno llegando a alcanzar un 41.72%.
- El método manual resultó ser más eficiente para realizar la limpieza, debido a que la eficiencia en las tres emisiones estudiadas se eleva más de un 40% en convertidores catalíticos en tres vías y 35% en convertidores de dos vías.
- Para el método de limpieza automático la eficiencia catalítica resultó ser negativa en la emisión del oxígeno disminuyendo la eficiencia en un 25 % en CC- 3 vías y un 5% en CC – 2 vías, mientras que los HC y CO se mantienen con una eficiencia positiva y regular

## RECOMENDACIONES

- A fin de optimizar el banco de tratamiento de CC de dos – tres vías y optimizar el proceso de limpieza es necesario recuperar las especies metálicas de los metales preciosos del monolito por lo cual se requiere la inyección hidrogeno la que se podría ejecutar con un generador de inyección.
- Calibrar y mantener con filtros limpios al analizador de emisiones, para que los resultados sean mejores y con mayor precisión.
- Para que los datos sean lo más exactos posibles, se recomienda utilizar mayor cantidad de catalizadores usados o taponados de diferentes marcas en el mercado.
- Revisar técnicamente si el banco de pruebas se encuentra en las condiciones óptimas de funcionamiento mediante el manual de uso y mantenimiento.
- Antes de realizar la limpieza del convertidor, seleccionar los acoples adecuados para su instalación y cubrirlo con un concentrador térmico.
- Inducir la realización de proyectos de este tipo para salvaguardar el medio ambiente y fortalecer el aprendizaje adquirido durante el transcurso de la carrera.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcalde San Miguel, P. (2010). *Electrónica General*. México D.F.: Paraninfo.
- Alonso Pérez, J. M. (2016). *Mecánica Automotriz*. Madrid: Ediciones Paraninfo S.A.
- Birgersson, H., Boutonnet, M., Klingstedt, F., Murzin, D. Y., Stefanov, P., & Naydenov, A. (2006). Applied Catalysis B. *Environmental*, 63.
- Birgersson, H., Ericksson, L., & Boutonnet, M. (2004). Applied Catalysis B. *Environmental*, 54.
- Budynas, R., & Keith, N. (2012). *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley* (Novena ed.). México D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A.
- Bustamante Mejia, J., & López Varona, R. (Marzo de 2014). Calibración de Cámara Termográfica Fluke TI-32. *Scientia et Technica*, 19(1), 59-66. Recuperado el 22 de Noviembre de 2019, de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/download/8857/5709>
- Cristhou, S. Y., & Birgeron, H. (2007). Catalisis Aplicada. En S. Y. Cristhou, & H. Birgeron, *Applied Catalysis B: Environmental* (págs. 185-198).
- DeWalt. (06 de Agosto de 2019). *Pistola de aire caliente de 1.800W 50-600 °C*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2019, de <https://productos.dewalt.es/powertools/productdetails/catno/D26411/>
- Espinoza, A. (02 de Enero de 2013). *Situaciones que podría enfrentar al comprar auto usado*. Recuperado el 28 de Julio de 2019, de CertifiCar Blog: [http://www.certificarautos.com/blog-detail.php?id\\_post=24](http://www.certificarautos.com/blog-detail.php?id_post=24)
- Flash Cleaner Machine. (20 de Mayo de 2019). *Ventajas*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2019, de <https://flashcleanermachine.com/es/advantages/>
- Floyd, T. L. (2008). *Dispositivos electrónicos*. México D.F.: Pearson Educación.

Guevara Hidalgo, M. G. (2010). *Metodología de pruebas para la evaluación de convertidores catalíticos en motores a gasolina*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 11 de Noviembre de 2019, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2255/1/CD-2998.pdf>

Henkel Ibérica, S.A. (2019). *¿Es recomendable limpiar el catalizador?* Recuperado el 28 de Agosto de 2019, de Loctite TerosOn: [https://blog.reparacion-vehiculos.es/limpiar-catalizador?fbclid=IwAR0r-YIXMTDHY4nvYZaB0RPGJFC-MmzCF5Cvdhknn\\_1pOTWJC6Z7WiU-FrA](https://blog.reparacion-vehiculos.es/limpiar-catalizador?fbclid=IwAR0r-YIXMTDHY4nvYZaB0RPGJFC-MmzCF5Cvdhknn_1pOTWJC6Z7WiU-FrA)

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (Julio de 2000). Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o "Ralenti", prueba estática. *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 203:2000*. Quito, Ecuador: INEN. Recuperado el 11 de Noviembre de 2019, de <https://www.ant.gob.ec/index.php/regulacion/normas-y-reglamentos-inen/emisiones-contaminantes-y-ruido/file/160-norma-tecnica-ecuatoriana-nte-inen-2-203-2000?tmpl=component>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (Septiembre de 2002). Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina. *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204:2002*. Quito, Ecuador: INEN. Recuperado el 22 de Septiembre de 2019, de <https://www.ant.gob.ec/index.php/regulacion/normas-y-reglamentos-inen/emisiones-contaminantes-y-ruido/file/161-norma-tecnica-ecuatoriana-nte-inen-2-204-2002?tmpl=component>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2016). *Anuario de Estadística de Transporte*. Recuperado el 09 de Mayo de 2019, de INEC:



[http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/2016/2016\\_AnuarioTransportes\\_Resumen%20Metodol%C3%B3gico.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/2016/2016_AnuarioTransportes_Resumen%20Metodol%C3%B3gico.pdf)

Inter Taller. (20 de Septiembre de 2017). *¿Cuál es la vida útil del catalizador? ¿Sabías que también depende de tus hábitos de conducción?* Recuperado el 28 de Febrero de 2019, de <http://intertaller.com/noticia/%C2%BFcu%C3%A1l-es-la-vida-%C3%BAtil-del-catalizador-%C2%BFsab%C3%ADas-que-tambi%C3%A9n-depende-de-tus-h%C3%A1bitos-de>

Kreith, F., Manglik, R. M., & Bohn, M. S. (2012). *Trasferencia de Calor*. Santa Fé: Cengage Learning Editores.

Lambrou, P. S., Christou, S. Y., Fotopoulus, A. P., & Foti, F. K. (2005). *Applied Catalysis B. Enviromental*, 59.

Mafla Alvear, M. J., & Ortiz Guachamin, M. (09 de 2007). *Metodología para certificar la calibración de analizadores de gases y opacímetros*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politecnica Nacional. Recuperado el 22 de Noviembre de 2019, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/515/1/CD-1034.pdf>

Paredes Echeverría, F. X. (2011). *Implementación de un Banco Simulador de Fallas de un Sistema de Inyección Electrónica de Combustible (gasolina) en un Motor Corsa de Cuatro Cilindros 1.6L MPFI*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador. Recuperado el 28 de Agosto de 2019, de <http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/164/1/T-UIDE-0158.pdf>

Pérez Belló, M. Á. (2011). *Sistemas Auxiliares del Motor* (Primera ed.). Madrid, España: Paraninfo.

Pérez Cazorla, J. A. (10 de Noviembre de 2015). *Nuevos conceptos: nuevas motorizaciones*.

Recuperado el 25 de Octubre de 2019, de Bloc Mecánicos:  
<http://www.blogmecanicos.com/2015/11/nuevos-conceptos-nuevas-motorizaciones.html>

Rodríguez Melchor , J. C. (2012). *Mantenimiento de sistema auxiliares del motor de ciclo Otto*.  
Malaga: Innova.

Suslick, K. S., & Skrabalak, S. E. (2008). Sonocatalysis. *Handbook of Heterogeneous Catalysis*, 4, 2006-2017. Recuperado el 05 de Noviembre de 2019, de  
<http://suslick.scs.illinois.edu/documents/sonocatalysis.pdf>

# **ANEXOS**



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue realizado por los Señores: **CHAMORRO YAGUAL**

**JHON ANDRÉS** y **HEREDIA ROCHA ESTEFANÍA GLADYS**

En la ciudad de Latacunga, a los 23 días de mes de Enero del 2020.

Aprobado por:

  
ING. LEONIDAS QUIROZ MSC.  
DIRECTOR DEL PROYECTO

  
ING. DANILO ZAMBRANO  
DIRECTOR DE CARRERA

  
ABG. DARWIN ALBÁN  
SECRETARIO ACADÉMICO