



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: “ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DEL USO DE DIFERENTES
CATALIZADORES EN EL VEHÍCULO CHEVROLET AVEO PARA EL
CONTROL DE EMISIONES A TRAVÉS DE PRUEBAS ESTÁTICAS Y
DINÁMICAS MEDIANTE PROCEDIMIENTOS ARMONIZADOS”

AUTORES: BAYAS FREIRE, LUIS ANTONIO

SÁNCHEZ GUILCAMAIGUA, CRISTIAN JOSÉ

DIRECTOR: ING. QUIROZ ERAZO, LEONIDAS ANTONIO MSc.

LATACUNGA

2019



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DEL USO DE DIFERENTES CATALIZADORES EN EL VEHÍCULO CHEVROLET AVEO PARA EL CONTROL DE EMISIONES A TRAVÉS DE PRUEBAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS MEDIANTE PROCEDIMIENTOS ARMONIZADOS”** fue realizado por los señores: Bayas Freire, Luis Antonio y Sánchez Guilcamaigua, Cristian José, 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 Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que los sustenten públicamente.

Latacunga, 09 de Diciembre del 2019

Ing. Leonidas Antonio Quiroz Erazo MSc.

C.C.: 0502509995



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros , Bayas Freire, Luis Antonio y Sánchez Guilcamagua, Cristian José, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación **“ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DEL USO DE DIFERENTES CATALIZADORES EN EL VEHÍCULO CHEVROLET AVEO PARA EL CONTROL DE EMISIONES A TRAVÉS DE PRUEBAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS MEDIANTE PROCEDIMIENTOS ARMONIZADOS”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo los requisitos teóricos, científicos, metodológicos y legales establecidos en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE respetando los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz

Latacunga, 09 de Diciembre del 2019

Bayas Freire, Luis Antonio

C.C.: 1804252128

Sánchez Guilcamagua, Cristian José

C.C.: 0503614943



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Bayas Freire, Luis Antonio y Sánchez Guilcamaigua, Cristian José, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación “ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DEL USO DE DIFERENTES CATALIZADORES EN EL VEHÍCULO CHEVROLET AVEO PARA EL CONTROL DE EMISIONES A TRAVÉS DE PRUEBAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS MEDIANTE PROCEDIMIENTOS ARMONIZADOS” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 09 de Diciembre del 2019

Bayas Freire, Luis Antonio

C.C.: 1804252128

Sánchez Guilcamaigua, Cristian José

C.C.: 0503614943

DEDICATORIA

A Dios por permitirme cumplir esta meta propuesta, por tantas bendiciones y lecciones de vida a lo largo de esta etapa.

A mis padres José Bayas Hernández y Georgina Freire Acosta, pilares fundamentales para poder cumplir mis metas, por su apoyo y confianza incondicional durante toda mi vida.

A mis Hermanos y verdaderos amigos, Víctor, José y Mary, por sus consejos y apoyo total hacia mí, siempre serán mayor referente y orgullo, es un placer tenerlos en mi vida, esta meta alcanzada también es de ustedes (4 de 4).

A mi querida tía Inés, a mis primos Raúl y Edwin, por el apoyo en momentos oportunos en nuestra vida.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres María Diocelina y José Augusto por su amor, confianza, paciencia y apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mis hermanos Alexandra Nataly y William por su apoyo incondicional.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos compartieron sus conocimientos.

A mis amigos quienes con su apoyo y diversión están siempre presentes.

AGRADECIMIENTO

A mis padres José Bayas Hernández y Georgina Freire Acosta, pilares fundamentales para poder cumplir mis metas, por su apoyo y confianza incondicional durante toda mi vida.

A mis Hermanos y verdaderos amigos, Víctor, José y Mary, por sus consejos y apoyo total hacia mí, siempre serán mayor referente y orgullo, es un placer tenerlos en mi vida, esta meta alcanzada también es de ustedes (4 de 4).

A mí querida Andre por los momentos de apoyo y ánimo, gracias por estar siempre ahí.

AGRADECIMIENTO

*Agradezco a mis padres María Diocelina y José Augusto por su amor,
confianza, paciencia y apoyo incondicional durante toda mi vida.*

A mis hermanos Alexandra Nataly y William por su apoyo incondicional.

*A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se
realice con éxito en especial a aquellos que nos compartieron sus
conocimientos.*

A mis amigos quienes con su apoyo y diversión están siempre presentes.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	
CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
RESUMEN	xxii
ABSTRACT	xxiii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1	Antecedentes investigativos	1
1.2	Planteamiento del problema	2
1.3	Descripción resumida del proyecto	4
1.4	Justificación e importancia	6
1.5	Objetivos	7
1.5.1	Objetivo general	7
1.5.2	Objetivos específicos	7
1.6	Metas	8
1.7	Hipótesis	8
1.8	Variables de investigación	8
1.8.1	Variable Independiente:	9
1.8.2	Variable Dependiente	9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Catalizador	11
2.2	Productos derivados de la combustión.....	11
2.3	Tipos de catalizadores	12
2.3.1	Catalizador de dos vías	12
2.3.2	Catalizador de tres vías	13
2.4	Procesos catalíticos	13
2.4.1	Oxidación	13
2.4.2	Reducción.....	14
2.5	Tipos de combustión	14
2.5.1	Combustión completa	14
2.5.2	Combustión incompleta	15
2.5.3	Combustión estequiométrica o teórica	15
2.6	Normativas	16
2.6.1	NTE INEN 2 203	16
2.6.2	NTE INEN 2 204	16
2.6.3	New European Driving Cycle (NEDC)	17
2.6.4	Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedures (WLTP).....	17
2.7	Equipos.....	17
2.7.1	Analizador de gases	17
2.7.2	Medidor de revoluciones.....	18
2.7.3	Cámara termográfica.....	18

CAPÍTULO III

PROTOCOLOS DE PRUEBAS ARMONIZADOS

3.1	Introducción	19
3.2	Condiciones primarias para pruebas	19
3.2.1	Condiciones mecánicas del vehículo	19
3.2.2	Consideraciones previas a las pruebas	20
3.3	Protocolo de las pruebas estáticas	21
3.3.1	Protocolo de pruebas dinámicas.....	22

3.3.2	Protocolos Armonizados adaptados	23
3.3.3	Ruta protocolo armonizado adaptado NEDC.....	24
3.3.4	Ruta protocolo Armonizado adaptado WLTP	25
3.4	Catalizador	26
3.4.1	Caracterización.....	26
3.4.2	Comportamiento térmico	28
3.5	Equipos utilizados.....	29
3.5.1	Analizador de gases.	29
a.	Conexión	30
b.	Interfaz de control y visualización	30
c.	Ajuste de parámetros.....	30
d.	Uso	33
3.5.2	Cámara termográfica FLUKE TI SBC3B	34
a.	Uso	34
b.	Software de visualización	35
3.5.3	MGT-300 EVO RPM Counter	36
a.	Conexión	36
3.6	Adaptación de catalizadores.....	37
3.6.1	Catalizador dos vías	37
3.6.2	Catalizador tres vías	37
3.7	Pruebas estáticas y dinámicas	38
3.7.1	Mediciones en condiciones estáticas.....	38
3.7.2	Mediciones en condiciones estáticas a diferente régimen de giro	42
3.7.3	Mediciones en condiciones dinámicas	46

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1	Introducción	52
4.2	Prueba de emisiones.....	52
4.3	Pruebas Estáticas –VP1-U	52
4.4	Pruebas Estáticas a diferentes regímenes de giro– VP1-U	55
4.5	NEDC– VP1-U	57

4.6	WLTP – VP1-U	60
4.7	Pruebas Estáticas – VP1-N	62
4.8	Pruebas Estáticas a diferentes regímenes de giro – VP1-N	65
4.9	NEDC – VP1-N	68
4.10	WLTP - VP1-N	72
4.11	Análisis de resultados de emisiones	77
4.11.1	Estadístico descriptivo y comparativo de emisiones de gases mediante pruebas estáticas VP1-U y VP1-N	78
4.11.2	Estadístico descriptivo y comparativo de las emisiones de gases mediante pruebas estáticas a diferentes regímenes de giro - VP1-U y VP1-N.....	81
4.11.3	Estadístico descriptivo y comparativo de las emisiones de gases mediante el ciclo de conducción NEDC - VP1-U y VP2-N	85
4.11.4	Estadístico descriptivo y comparativo de las emisiones de gases mediante el ciclo de conducción WLTP - VP1-U y VP2-N	89
4.12	Pruebas Estáticas – VP2-U	93
4.13	Pruebas Estáticas a diferentes regímenes de giro– VP2-U	96
4.14	NEDC– VP2-U	98
4.15	WLTP - VP2-U	101
4.16	Pruebas Estáticas – VP2-N	104
4.17	Pruebas Estáticas a diferentes regímenes de giro – VP2-N	107
4.18	NEDC - VP2-N	109
4.19	WLTP - VP2-N	115
4.20	Análisis de resultados.....	120
4.20.1	Estadístico descriptivo y comparativo de las emisiones de gases mediante pruebas estáticas VP2-U y VP2-N	120
4.20.2	Estadístico descriptivo y comparativo de las emisiones de gases mediante pruebas estáticas a diferentes regímenes de giro VP2-U y VP2-N.....	124
4.20.3	Estadístico descriptivo y comparativo de las emisiones de gases mediante el ciclo de conducción NEDC VP2-U y VP2-N	127
4.20.4	Estadístico descriptivo y comparativo de las emisiones de gases mediante el ciclo de conducción WLTP - VP2-U y VP2-N	131
4.20.5	Eficiencia Catalítica - VP2-U y VP2-N	135

4.20.6	Comparación de emisiones - Pruebas estáticas	137
4.20.7	Comparación de emisiones - Pruebas dinámicas	147

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

5.1	Factibilidad de la investigación.....	154
5.2	Recursos	154
5.2.1	Recursos Humanos.....	154
5.2.2	Recursos Tecnológicos - equipos.....	155
5.2.3	Recurso Financiero	155
5.3	Título de la propuesta.....	156
5.3.1	Estructura de la propuesta	156
5.3.2	Desarrollo de la propuesta.....	156
5.3.3	Influencia socioeconómica de la propuesta.....	156

CONCLUSIONES	157
--------------------	-----

RECOMENDACIONES	161
-----------------------	-----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	162
----------------------------------	-----

ANEXOS.....	165
-------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Operacionalización de la variable independiente.....</i>	9
Tabla 2.	<i>Operacionalización de la variable dependiente.....</i>	10
Tabla 3.	<i>Convertidor Catalítico de tres vías, proceso de reacción.....</i>	13
Tabla 4.	<i>Convertidor Catalítico de tres vías, proceso de reacción.....</i>	13
Tabla 5.	<i>Parámetros de las pruebas dinámicas</i>	24
Tabla 6.	<i>Caracterización del catalizador de tres vías.....</i>	26
Tabla 7.	<i>Datos de emisiones en condición estática</i>	39
Tabla 8.	<i>Datos de emisiones en condición estática</i>	41
Tabla 9.	<i>Datos de emisiones en condición estática a diferente régimen de giro</i>	43
Tabla 10.	<i>Datos de emisiones en condición estática a diferentes RPM</i>	45
Tabla 11.	<i>Datos de emisiones en condición dinámica NEDC.....</i>	47
Tabla 12.	<i>Datos de emisiones en condición dinámica</i>	49
Tabla 13.	<i>Datos de emisiones en condición dinámica – Carga del motor y sensor MAP.....</i>	50
Tabla 14.	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO₂ – VPI-U y N – Prueba estática.....</i>	78
Tabla 15.	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO – VPI-U y N – Prueba estática.....</i>	79
Tabla 16.	<i>Comparación estadística de las emisiones de O₂ – VPI-U y N – Prueba estática.....</i>	80
Tabla 17.	<i>Comparación estadística de las emisiones de HC – VPI-U y N – Prueba estática.....</i>	80
Tabla 18.	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO₂ – VPI-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro</i>	81
Tabla 19.	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO – VPI-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro</i>	82
Tabla 20.	<i>Comparación estadística de las emisiones de O₂ – VPI-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro</i>	83
Tabla 21.	<i>Comparación estadística de las emisiones de HC – VPI-U y N – Prueba</i>	

	<i>estática a diferentes regímenes de giro</i>	84
Tabla 22.	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO₂ – VP1-U y N – NEDC</i>	85
Tabla 23.	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO – VP1-U y N – NEDC</i>	86
Tabla 24.	<i>Comparación estadística de las emisiones de O₂ – VP1-U y N – NEDC</i>	87
Tabla 25.	<i>Comparación estadística de las emisiones de HC – VP1-U y N – NEDC</i>	88
Tabla 26.	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO₂ – VP1-U y N – WLTP</i>	89
Tabla 27.	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO – VP1-U y N – WLTP</i>	90
Tabla 28.	<i>Comparación estadística de las emisiones de O₂ – VP1-U y N – WLTP</i>	91
Tabla 29.	<i>Comparación estadística de las emisiones de HC – VP1-U y N – WLTP</i>	92
Tabla 30.	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO₂ – VP2-U y N – Prueba estática</i>	120
Tabla 31.	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO – VP2-U y N – Prueba estática</i>	121
Tabla 32.	<i>Comparación estadística de las emisiones de O₂ – VP2-U y N – Prueba estática</i>	122
Tabla 33.	<i>Comparación estadística de las emisiones de HC – VP2-U y N – Prueba estática</i>	123
Tabla 34.	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO₂ – VP2-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro</i>	124
Tabla 35.	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO – VP2-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro</i>	125
Tabla 36.	<i>Comparación estadística de las emisiones de O₂ – VP2-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro</i>	126
Tabla 37.	<i>Comparación estadística de las emisiones de HC – VP2-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro</i>	127
Tabla 38.	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO₂ – VP2-U y N – NEDC</i>	128
Tabla 39.	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO – VP2-U y N – NEDC</i>	129
Tabla 40.	<i>Comparación estadística de las emisiones de O₂ – VP2-U y N – NEDC</i>	129
Tabla 41.	<i>Comparación estadística de las emisiones de HC – VP2-U y N – NEDC</i>	130
Tabla 42.	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO₂ – VP2-U y N – WLTP</i>	131
Tabla 43.	<i>Comparación estadística de las emisiones de CO – VP2-U y N – WLTP</i>	132
Tabla 44.	<i>Comparación estadística de las emisiones de O₂ – VP2-U y N – WLTP</i>	133

Tabla 45. <i>Comparación estadística de las emisiones de HC – VP2-U y N – WLTP</i>	134
Tabla 46. <i>Eficiencia Catalítica – Pruebas Estáticas</i>	135
Tabla 47. <i>Eficiencia Catalítica – Pruebas Dinámicas</i>	136
Tabla 48. <i>VP1 - U y N</i>	138
Tabla 49. <i>VP2 - U y N</i>	141
Tabla 50. <i>VP1 y VP2 - U y N – Prueba estática a diferente régimen de giro</i>	145
Tabla 51. <i>VP1 y VP2 - U y N – Prueba NEDC</i>	148
Tabla 52. <i>VP1 y VP2 - U y N – Prueba WLTP</i>	151
Tabla 53. <i>Recursos Humanos</i>	155
Tabla 54. <i>Recursos Tecnológicos - equipos</i>	155
Tabla 55. <i>Recurso Financiero</i>	155
Tabla 56. <i>Influencia socioeconómica de la propuesta</i>	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Árbol de problemas	3
Figura 2.	Estructura de un catalizador	11
Figura 3.	Procesos de oxidación y reducción	14
Figura 4.	Diagrama flujo de revisión mecánica del vehículo	20
Figura 5.	Diagrama flujo de consideraciones previas a las pruebas	21
Figura 6.	Diagrama flujo de pruebas estáticas.....	22
Figura 7.	Diagrama flujo de pruebas dinámicas	23
Figura 8.	Ruta del protocolo NEDC	24
Figura 9.	Ruta del protocolo WLT	25
Figura 10.	Simulación del comportamiento térmico del catalizador.....	28
Figura 11.	Analizador de gases portátil KANE 4-2 plus.....	29
Figura 12.	Interfaz de control y visualización KANE LIVE.....	30
Figura 13.	Conexión de la Interfaz	31
Figura 14.	Selección del tipo de analizador.....	31
Figura 15.	Parámetros de control.....	32
Figura 16.	Parámetros de control.....	32
Figura 17.	Opciones de control	33
Figura 18.	Diagrama flujo de Uso	33
Figura 19.	Cámara termográfica FLUKE TI SBC3B	34
Figura 20.	Diagrama flujo de uso	34
Figura 21.	Catalizadores dos y tres vías	35
Figura 22.	Diagrama flujo de Uso	35
Figura 23.	MGT-300 EVO RPM Counter	36
Figura 24.	Diagrama flujo de Uso	36
Figura 25.	Implementación VP1-N	37
Figura 26.	Implementación VP2-N	38
Figura 27.	CO ₂ vs Temperatura de motor y catalizador	53
Figura 28.	CO vs Temperatura de motor y catalizador.....	53
Figura 29.	O ₂ vs Temperatura de motor y catalizador	54

Figura 30.	HC vs Temperatura de motor y catalizador.....	54
Figura 31.	Factor Lambda (AFR).....	55
Figura 32.	CO ₂ a diferentes regímenes de giro.....	55
Figura 33.	CO a diferentes regímenes de giro.....	56
Figura 34.	O ₂ a diferentes regímenes de giro.....	56
Figura 35.	HC a diferentes regímenes de giro.....	57
Figura 36.	Factor Lambda (AFR) a diferentes regímenes de giro.....	57
Figura 37.	NEDC - CO ₂ vs Tiempo.....	58
Figura 38.	NEDC - CO vs Tiempo.....	58
Figura 39.	NEDC – O ₂ vs Tiempo.....	59
Figura 40.	NEDC – HC vs Tiempo.....	59
Figura 41.	NEDC – Factor lambda (AFR) vs Tiempo.....	60
Figura 42.	WLTP - CO ₂ vs Tiempo.....	60
Figura 43.	WLTP - CO vs Tiempo.....	61
Figura 44.	WLTP – O ₂ vs Tiempo.....	61
Figura 45.	WLTP – HC vs Tiempo.....	62
Figura 46.	WLTP – Factor Lambda (AFR).....	62
Figura 47.	CO ₂ vs Temperatura de motor y catalizador.....	63
Figura 48.	CO vs Temperatura de motor y catalizador.....	63
Figura 49.	O ₂ vs Temperatura de motor y catalizador.....	64
Figura 50.	HC vs Temperatura de motor y catalizador.....	64
Figura 51.	Factor Lambda (AFR).....	65
Figura 52.	CO ₂ a diferentes regímenes de giro.....	65
Figura 53.	CO a diferentes regímenes de giro.....	66
Figura 54.	O ₂ a diferentes regímenes de giro.....	66
Figura 55.	HC a diferentes regímenes de giro.....	67
Figura 56.	Factor Lambda (AFR) a diferentes regímenes de giro.....	67
Figura 57.	NEDC – CO ₂ vs Tiempo.....	68
Figura 58.	NEDC – CO vs Tiempo.....	68
Figura 59.	NEDC – O ₂ vs Tiempo.....	69
Figura 60.	NEDC – HC vs Tiempo.....	69
Figura 61.	NEDC – Factor lambda (AFR) vs Tiempo.....	70

Figura 62.	NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs CO ₂	70
Figura 63.	NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs CO	71
Figura 64.	NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs O ₂	71
Figura 65.	NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs HC	72
Figura 66.	NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs Factor lambda (AFR).....	72
Figura 67.	WLTP – CO ₂ vs Tiempo	73
Figura 68.	WLTP – CO vs Tiempo.....	73
Figura 69.	WLTP – O ₂ vs Tiempo.....	74
Figura 70.	WLTP – HC vs Tiempo.....	74
Figura 71.	WLTP – Factor lambda (AFR) vs Tiempo.....	75
Figura 72.	Carga del Motor y Sensor MAP vs CO ₂	75
Figura 73.	Carga del Motor y Sensor MAP vs CO	76
Figura 74.	Carga del Motor y Sensor MAP vs O ₂	76
Figura 75.	Carga del Motor y Sensor MAP vs HC.....	77
Figura 76.	Carga del Motor y Sensor MAP vs Factor Lambda (AFR).....	77
Figura 77.	VP1-U y N – Prueba estática – CO ₂	78
Figura 78.	VP1-U y N – Prueba estática – CO.....	79
Figura 79.	VP1-U y N – Prueba estática – O ₂	80
Figura 80.	VP1-U y N – Prueba estática – HC.....	81
Figura 81.	VP1-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro – CO ₂	82
Figura 82.	VP1-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro – CO.....	83
Figura 83.	VP1-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro – O ₂	84
Figura 84.	VP1-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro – HC.....	85
Figura 85.	CO ₂ - VP1-U y N – NEDC	86
Figura 86.	CO - VP1-U y N – NEDC.....	87
Figura 87.	O ₂ - VP1-U y N – NEDC	88
Figura 88.	HC - VP1-U y N – NEDC.....	89
Figura 89.	CO ₂ - VP1-U y N – WLTP	90
Figura 90.	CO - VP1-U y N – WLTP.....	91
Figura 91.	O ₂ - VP1-U y N – WLTP	92
Figura 92.	HC - VP1-U y N – WLTP.....	93
Figura 93.	CO ₂ vs Temperatura de motor y catalizador	93

Figura 94. CO vs Temperatura de motor y catalizador.....	94
Figura 95. O ₂ vs Temperatura de motor y catalizador.....	94
Figura 96. HC vs Temperatura de motor y catalizador.....	95
Figura 97. Factor Lambda (AFR).....	95
Figura 98. CO ₂ a diferentes regímenes de giro.....	96
Figura 99. CO a diferentes regímenes de giro.....	97
Figura 100. O ₂ a diferentes regímenes de giro.....	97
Figura 101. HC a diferentes regímenes de giro.....	98
Figura 102. Factor Lambda (AFR) a diferentes regímenes de giro.....	98
Figura 103. NEDC - CO ₂ vs Tiempo.....	99
Figura 104. NEDC - CO vs Tiempo.....	99
Figura 105. NEDC – O ₂ vs Tiempo.....	100
Figura 106. NEDC – HC vs Tiempo.....	100
Figura 107. NEDC – Factor lambda (AFR) vs Tiempo.....	101
Figura 108. WLTP - CO ₂ vs Tiempo.....	102
Figura 109. WLTP - CO vs Tiempo.....	102
Figura 110. WLTP – O ₂ vs Tiempo.....	103
Figura 111. WLTP – HC vs Tiempo.....	103
Figura 112. WLTP – Factor Lambda (AFR).....	104
Figura 113. CO ₂ vs Temperatura de motor y catalizador.....	104
Figura 114. CO vs Temperatura de motor y catalizador.....	105
Figura 115. O ₂ vs Temperatura de motor y catalizador.....	106
Figura 116. HC vs Temperatura de motor y catalizador.....	106
Figura 117. Factor Lambda (AFR).....	107
Figura 118. CO ₂ a diferentes regímenes de giro.....	107
Figura 119. CO a diferentes regímenes de giro.....	108
Figura 120. O ₂ a diferentes regímenes de giro.....	108
Figura 121. HC a diferentes regímenes de giro.....	109
Figura 122. Factor Lambda (AFR) a diferentes regímenes de giro.....	109
Figura 123. NEDC – CO ₂ vs Tiempo.....	110
Figura 124. NEDC – CO vs Tiempo.....	110
Figura 125. NEDC – O ₂ vs Tiempo.....	111

Figura 126. NEDC – HC vs Tiempo.....	111
Figura 127. NEDC – Factor lambda (AFR) vs Tiempo.....	112
Figura 128. NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs CO ₂	112
Figura 129. NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs CO	113
Figura 130. NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs O ₂	113
Figura 131. NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs HC	114
Figura 132. NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs Factor lambda (AFR)	114
Figura 133. WLTP – CO ₂ vs Tiempo	115
Figura 134. WLTP – CO vs Tiempo.....	115
Figura 135. WLTP – O ₂ vs Tiempo.....	116
Figura 136. WLTP – HC vs Tiempo.....	116
Figura 137. WLTP – Factor lambda (AFR) vs Tiempo.....	117
Figura 138. Carga del Motor y Sensor MAP vs CO ₂	118
Figura 139. Carga del Motor y Sensor MAP vs CO.....	118
Figura 140. Carga del Motor y Sensor MAP vs O ₂	119
Figura 141. Carga del Motor y Sensor MAP vs HC.....	119
Figura 142. Carga del Motor y Sensor MAP vs Factor Lambda (AFR).....	120
Figura 143. VP2-U y N – Prueba estática – CO ₂	121
Figura 144. VP2-U y N – Prueba estática – CO.....	122
Figura 145. VP2-U y N – Prueba estática – O ₂	123
Figura 146. VP2-U y N – Prueba estática – HC.....	124
Figura 147. VP2-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro – CO ₂	125
Figura 148. VP2-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro – CO.....	126
Figura 149. VP2-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro – O ₂	126
Figura 150. VP2-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro – HC.....	127
Figura 151. CO ₂ - VP2-U y N – NEDC	128
Figura 152. CO - VP2-U y N – NEDC.....	129
Figura 153. O ₂ - VP2-U y N – NEDC	130
Figura 154. HC - VP2-U y N – NEDC.....	131
Figura 155. CO ₂ - VP2-U y N – WLTP	132
Figura 156. CO - VP2-U y N – WLTP.....	133
Figura 157. O ₂ - VP2-U y N – WLTP	134

Figura 158. HC - VP2-U y N – WLTP.....	135
Figura 159. Eficiencia de reducción catalítica pruebas estáticas	136
Figura 160. Eficiencia de reducción catalítica pruebas estáticas	137
Figura 161. Emisión de gases – prueba estática	139
Figura 162. Emisión de gases – prueba estática	140
Figura 163. Emisión de gases – prueba estática	143
Figura 164. Emisión de gases – prueba estática	144
Figura 165. Emisión de gases – prueba estática a diferentes regímenes de giro.....	146
Figura 166. Emisión de gases – prueba estática a diferentes regímenes de giro.....	147
Figura 167. Emisión de gases – prueba dinámica - NEDC	149
Figura 168. Emisión de gases – prueba dinámica - NEDC	150
Figura 169. Emisión de gases – prueba dinámica - WLTP	152
Figura 170. Emisión de gases – prueba dinámica - WLTP	153

RESUMEN

El presente trabajo de titulación, realizó el análisis de la incidencia del uso de catalizadores de dos y tres vías, para el control de emisiones de gases contaminantes, con la utilización del analizador portátil KANE AUTO PLUS 4-2, mediante pruebas estáticas y dinámicas. Las pruebas estáticas se realizaron bajo el método de ensayo establecido en NTE INEN 2 203:2002 y con los límites permitidos de contaminantes respecto al año de fabricación y el régimen de giro detallados en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2 204:2002. Las pruebas dinámicas se ejecutaron a partir de los ciclos de conducción NEDC (Nuevo ciclo de conducción europeo), con un recorrido de 11 km dividido en dos fases; urbana y extra urbana, en 1200 segundos, a una velocidad media de 33.6 Km/h y máxima de 120 Km/h y WLTP (Procedimiento de prueba armonizado mundial de vehículos ligeros), con una duración de 1800 segundos en un desplazamiento de 23.25 km distribuidos en cuatro fases; baja, media, alta y muy alta, con una velocidad media y máxima de 56.5 Km/h y 131.3 Km/h respectivamente. Finalmente, por medio de un estudio estadístico descriptivo y de eficiencia catalítica se evidenció la reducción de los agentes contaminantes con la implementación de los catalizadores nuevos de dos y tres vías.

PALABRAS CLAVE:

- **CHEVROLET AVEO**
- **GASES CONTAMINANTES**
- **CATALIZADORES**

ABSTRACT

The present titration work, analyzed the incidence of the use of two- and three-way catalysts, for the control of emissions of polluting gases, with the use of the portable analyzer KANE AUTO PLUS 4-2, by means of static and dynamic tests. The static tests are based on the test method established in NTE INEN 2 203: 2002 and with the permitted limits of contaminants with respect to the year of manufacture and the spin regime detailed in the Ecuadorian Technical Standard INEN 2 204: 2002. Dynamic tests they are executed from the NEDC (New European driving cycle) driving cycles, with an 11 km route divided into two phases; urban and extra urban, in 1200 seconds, at an average speed of 33.6 km / h and maximum of 120 km / h and WLTP (World Harmonized Light Vehicle Test Procedure), with a duration of 1800 seconds in a displacement of 23.25 km distributed in four phases; low, medium, high and very high, with an average and maximum speed of 56.5 km / h and 131.3 km / h respectively. Finally, through a descriptive statistical study and catalytic efficiency, the reduction of pollutants is evidenced by the implementation of the new two- and three-way catalysts.

KEYWORDS:

- **CHEVROLET AVEO**
- **CONTAMINATED GASES**
- **CATALYSTS**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes investigativos

En la actualidad en el Ecuador existe un incremento del 8.8% en el parque vehicular según el INEC, en la ciudad de Latacunga de acuerdo al GAD Municipal existen 36000 vehículos matriculados en el año 2018, de los cuales 1116 son vehículos de transporte en taxi distribuidos en 850 taxis convencionales y 266 taxis ejecutivos, (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2016).

El INEC manifiesta que en la provincia de Cotopaxi existen 21293 Automóviles, de los cuales 9539 pertenecen a la marca de vehículos de prueba utilizados, debido a que estos vehículos son los más utilizados para el transporte en taxi, propietarios y choferes de taxis en la ciudad de Latacunga manifiestan que el recorrido de un taxi por día es de 200 a 250 km. o 12 de horas de trabajo lo que genera una gran contaminación por parte de este grupo de vehículos de transporte, (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2016).

El catalizador fue desarrollado debido a la necesidad de controlar y reducir las emisiones contaminantes, su principal función es la transformación de los gases peligrosos como CO y HC en otros inocuos para el ambiente y perjudiciales para la salud.

Este dispositivo comenzó a ser utilizado a partir del año 1975, adquiriendo considerables

modificaciones con el paso de los años, lo que ha permitido reducir los niveles de emisiones contaminantes manteniéndolas dentro de los rangos establecidos en las normas vigentes, estas mejoras han permitido que en la actualidad los catalizadores reduzcan hasta un 90% de los gases nocivos, según (Eastern Catalytic Converters, 2009) mencionado por (Guevara Hidalgo, 2010).

La clasificación de los catalizadores en la industria se encuentra definida de la siguiente manera:

- El catalizador de reducción se puede definir como aquel que solo tiene una vía y tiene una forma de panal de abeja.
- El catalizador de oxidación también conocido como de dos vías, es llamado así porque se encarga de eliminar dos de los mayores contaminantes, estos son el monóxido de carbono y los hidrocarburos, se utilizan principalmente en los motores diésel
- Los catalizadores de tres vías, conocidos así porque actúan eliminando los tres contaminantes principales el mismo compartimento mediante acciones de oxidación y reducción, transformando a los mismos en compuestos no tóxicos.

1.2 Planteamiento del problema

La investigación se origina debido los altos niveles de elementos contaminantes debido al uso de catalizadores inapropiados y desechados en vehículos que circulan por la ciudad de Latacunga, lo que genera el incumplimiento de las normas vigentes de los límites permisibles de emisiones permitidos por fuentes móviles en vehículos con motor gasolina.

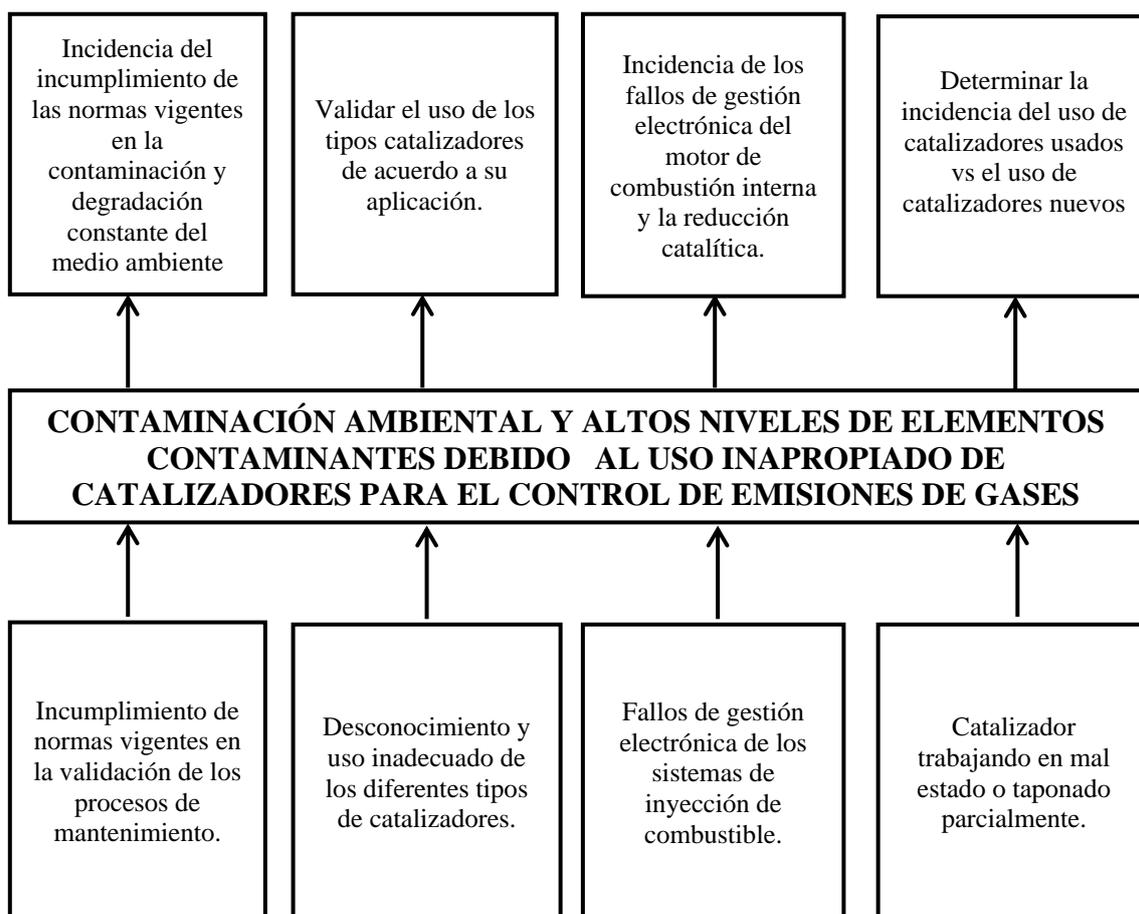


Figura 1 Árbol de problemas

Un sistema de tratamiento de los gases de escape en el vehículo es el convertidor catalítico elemento primordial que tiene como misión transformar los gases de escape mediante una reacción química logrando que los hidrocarburos (HC) se conviertan en agua y que el monóxido de carbono (CO) resultante, pase a ser dióxido de carbono (CO₂). Esta transformación en su máxima eficiencia sucede cuando el catalizador trabaja a una correcta temperatura de funcionamiento, con lo que al contacto de los metales preciosos con los gases producto de la combustión circulan antes y dentro del propio catalizador para producir una reacción química que produce las transformaciones de gases nocivos en gases inocuos.

La temperatura de operación del catalizador esta alrededor de los 600°F (315°C) y la

temperatura óptima de operación está oscilando entre 1200°F (650°C) y 1400°F (760°C), en teoría el catalizador puede eliminar el 99% de los gases tóxicos de un motor (Paredes Echeverría, 2011).

1.3 Descripción resumida del proyecto

En la presente investigación se recopiló información técnica - científica inherente a los métodos de cuantificación de emisiones de gases vehiculares con catalizador de dos y tres vías mediante fuentes confiables como bases de datos digitales, libros, manuales, fichas técnicas, normas y artículos.

Se utilizó una simbología (VP1-U VP1-N) y (VP2-U VP2-N) para los vehículos de prueba equipados con catalizadores de dos vías, tres vías nuevos y desechados respectivamente, con lo cual se realizó el análisis de la eficiencia catalítica de los convertidores en el control de emisiones en la ciudad de Latacunga.

Se realizó un protocolo de pruebas que considere una ruta en la ciudad de Latacunga para el realizar ensayos de emisiones bajo diferentes condiciones de circulación a partir de pruebas dinámicas en los vehículos de combustión interna con el analizador KANE AUTO PLUS 4-2.

Se realizó pruebas de consumo de combustible volumétrico, acorde a los protocolos de pruebas armonizados aplicados para la determinación de emisiones para ciclos dinámicos.

Se realizó ensayos de emisiones a régimen de giro en ralentí y velocidad crucero a partir de pruebas estáticas en el vehículo de prueba con el analizador KANE AUTO PLUS 4-2. Mediante

el protocolo fijado por la NTE INEN 2 203.

Los protocolos para las pruebas dinámicas se ejecutaron a partir de los procedimientos armonizados NEDC y WLTP. Para el primero se realizará un ciclo de conducción de 1200 segundos distribuidos en dos fases 66% de conducción urbana y 34% de conducción extra urbana, con longitud de recorrido de 11 km a velocidad máxima de 90 km/h y velocidad media de 36 km/h respectivamente. Para el procedimiento armonizado WLTP se realizó un tiempo de conducción de 1800 segundos, cuatro fases 52% de conducción urbana y 48% de conducción extra urbana cuya distancia de recorrido será de 23.25 km a una velocidad máxima y media de 130 km/h y 50 km/h respectivamente.

El análisis de los datos obtenidos, desde el punto desde vista matemático, ayudó a cuantificar el consumo de combustible por kilómetro recorrido, también se realizó comparaciones de datos obtenidos mediante tabulación estadística y análisis gráfico de emisiones, considerando las normativas NTE INEN 2 204:2002 y EURO III que regulan las emisiones de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y material particulado (PM).

Se realizó el cálculo del factor del consumo de combustible, a partir del balance de carbono, relacionando la cantidad contaminante emitido con la cantidad de combustible quemado por distancia recorrida mediante la concentración molar de CO₂, CO, NO_x y HC datos obtenidos de las pruebas dinámicas de emisiones con el analizador de gases.

1.4 Justificación e importancia

La Constitución del Ecuador aprobada por (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008), en su séptima sección de biosfera, ecología urbana y energías alternativas, detalla en el Art. 414.- “El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero”, por lo que realizadas las pruebas necesarias con los diferentes tipos de catalizadores basándose en la NTE INEN 2 204:2002, (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2016), que “Establece los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina”, se obtendrán datos importantes los mismos que se analizan para obtener información técnica y confiable para el desarrollo de procedimientos armonizados que permitan la reducción de elementos contaminantes de los gases de escape de los vehículos.

El análisis aportará con la universidad en el ámbito investigativo, logrando resultados positivos que permitan obtener información concerniente en el control de emisiones de gases, buscando alternativas para contribuir en parte la mitigación del cambio climático que hoy en día es una necesidad.

Para la ciudadanía y el medio ambiente representa un potencial beneficio en materia de contaminación ya que el análisis de la investigación se puede implementar en todo el parque automotor de servicio público aportando así de una manera sustancial en la reducción de las emisiones de gases contaminantes, brindando calidad de vida y calidad ambiental.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Analizar la eficiencia catalítica de convertidores de dos y tres vías tanto usados como nuevos en los vehículos de prueba para el control de emisiones a través de pruebas estáticas y dinámicas mediante procedimientos armonizados.

1.5.2 Objetivos específicos

- Recopilar información técnica – científica inherente a los métodos de cuantificación de emisiones de gases vehiculares.
- Utilizar catalizadores de dos vías, tres vías nuevos y desechados en los vehículos de prueba para el análisis de la eficiencia catalítica de los convertidores.
- Establecer un protocolo de pruebas que considere una ruta en la ciudad de Latacunga para el realizar ensayos de emisiones bajo diferentes condiciones de circulación.
- Realizar pruebas de consumo de combustible volumétrico, acorde a los protocolos de pruebas armonizados aplicados para la determinación de emisiones para ciclos dinámicos.
- Realizar ensayos de emisiones a régimen de giro en ralentí y velocidad cruceo a partir de pruebas estáticas en los vehículos de prueba con el analizador KANE AUTO PLUS 4-2.
- Analizar de los datos obtenidos, desde el punto desde vista matemático, estadístico y gráfico, para cuantificar el consumo de combustible por kilómetro recorrido y determinar las emisiones de gases de escape.

1.6 Metas

- Acondicionar el analizador de gases portátil KANE 4-2 PLUS para la medición de gases contaminantes considerando ciclos de conducción urbano y extraurbano para ensayo de emisiones dinámicas.
- Establecer la eficiencia de los convertidores catalíticos de dos y tres vías en los vehículos de prueba utilizados con datos de análisis de emisión de gases contaminantes en pruebas estáticas y pruebas dinámicas mediante procesos armonizados.

1.7 Hipótesis

Mediante el análisis en la reducción de la eficiencia catalítica de los convertidores de dos y tres vías, nuevos respecto a los usados, controlar los niveles de emisiones de acuerdo a la NTE INEN 2 204 en un 90% en CO y HC

1.8 Variables de investigación

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

- **Variables Independientes:**

Vehículo de prueba 1

Vehículo de prueba 2

- **Variables Dependientes:**

Convertidores catalíticos de dos vías, tres vías nuevos y desechados

1.8.1 Variable Independiente:

- Vehículos de prueba

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Son los indicadores del desempeño mecánico y de un motor a combustión interna	Parámetros característicos del motor de combustión	Consumo de combustible	Kg/h	Cálculos	Prueba de laboratorio Ecuaciones
		Temperatura	°C	Medición	Prueba de laboratorio Termómetro
		Presión de admisión	PSI	Medición	Prueba de laboratorio
	Parámetros de funcionamiento de la gestión electrónica de los sistemas de inyección de combustible.	Voltaje	V	Medición	Prueba de laboratorio Multímetro Automotriz
		Reglajes de funcionamiento de la mariposa de admisión	%	Cálculos Medición	Prueba de laboratorio Multímetro Osciloscopio
		SFT (Ajuste de combustible a corto plazo)	%	Cálculos Medición	Prueba de laboratorio Multímetro Osciloscopio
		LFT (Ajuste de combustible a largo plazo)	%	Cálculos Medición	Prueba de laboratorio Multímetro Osciloscopio

1.8.2 Variable Dependiente

- Convertidores catalíticos

Tabla 2*Operacionalización de la variable dependiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas	Instrumentos
Son pruebas características de los convertidores catalíticos	Desempeño termográfico del convertidor catalítico	Temperatura	°C / °K	Medición Cálculos Simulación	Cámara Termográfica Simulador SOLIDWORK
	Reacciones Químicas	Emisiones de Gases	ppm HC	Medición Cálculos Simulación	Analizador de Gases KANE AUTO PLUS 4-2 Simulador SOLIDWORK Normativas NTE INEN 2204:2002 y EURO III
			% CO	Medición Cálculos Simulación	Analizador de Gases KANE AUTO PLUS 4-2 Simulador SOLIDWORK Normativas NTE INEN 2204:2002 y EURO III
			% CO ₂	Medición Cálculos Simulación	Analizador de Gases KANE AUTO PLUS 4-2 Simulador SOLIDWORK Normativas NTE INEN 2204:2002 y EURO III
			% O ₂	Medición Cálculos Simulación	Analizador de Gases KANE AUTO PLUS 4-2 Simulador SOLIDWORK Normativas NTE INEN 2204:2002 y EURO III
			ppm NOX	Medición Cálculos Simulación	Analizador de Gases KANE AUTO PLUS 4-2 Simulador SOLIDWORK Normativas NTE INEN 2204:2002 y EURO III
			Reacciones Químicas	Relación Estequiométrica	λ
	Carga	Régimen de giro	RPM	Medición	Prueba de laboratorio Ecuaciones

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Catalizador

Su misión es neutralizar los agentes tóxicos con moléculas inestables presentes en los gases de escape como el Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos (HC), y Óxidos Nítricos (NO_x), promoviendo reacciones químicas en presencia de metales nobles como el platino, paladio y rodio a temperaturas adecuadas transformándolos en sustancias inocuas con moléculas altamente estables como el Dióxido de Carbono(CO₂), Nitrógeno (N₂) y vapor de agua(H₂O),efectuando dicho tratamiento mediante procesos químicos de oxidación y reducción (Pérez Belló, Sistemas auxiliares del motor, 2011)

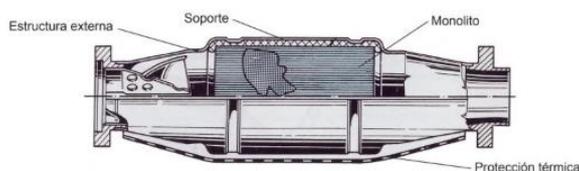


Figura 2. Estructura de un catalizador

Fuente: (Pérez Belló, Sistemas auxiliares del motor, 2017)

2.2 Productos derivados de la combustión

- **Dióxido de carbono (CO₂):** por su nomenclatura se lo conoce como anhídrido carbónico considerado uno de los gases responsables de la degradación de la capa de ozono no es perjudicial directamente para el ser humano, en una combustión óptima con un máximo rendimiento de motor se obtendrá en un 15% de los gases residuales siendo

uno de los mejores indicadores del buen estado del motor (Pérez Belló, Sistemas auxiliares del motor, 2011)

- **Monóxido de carbono (CO):** se oxida en presencia de platino para formar CO_2 . Al ser un proceso de oxidación, también es necesario que el motor funcione con mezcla pobre. (González Calleja, 2015)
- **Oxígeno (O₂):** Es un gas inocuo indispensable para el proceso de la combustión sobre todo es un comburente y en el tratamiento de gases de escape con convertidor catalítico es necesario para el proceso de la oxidación, se encuentre presente en el aire en un 21% que ingresan al cilindro y salen por el escape en un porcentaje que oscila entre el 0,5 y 3% (Pérez Belló, Sistemas auxiliares del motor, 2011)
- **Hidrocarburos sin quemar (HC):** se oxidan en presencia del paladio para formar CO_2 y H_2O . Es necesario que el motor trabaje con exceso de oxígeno o mezclas pobres. (González Calleja, 2015)

2.3 Tipos de catalizadores

2.3.1 Catalizador de dos vías

También llamados catalizadores de oxidación, ya que se encargan de eliminar mediante oxidación dos de los mayores contaminantes como son los HC y el CO, para que este catalizador funcione, es necesario que el motor trabaje con mezclas pobres. Por este motivo se emplea generalmente en motores diésel y se ha empleado en algunos motores de gasolina siendo necesaria la instalación de un sistema de aportación de aire en el escape para introducir una cantidad mayor de oxígeno que posibilite la reacción de oxidación. (González Calleja, 2015)

Tabla 3.*Convertidor Catalítico de tres vías, proceso de reacción*

<i>CO</i>	<i>Oxidacion</i>	<i>CO₂</i>
<i>HC</i>	→	<i>CO₂ + H₂O</i>
<i>NO_x</i>	<i>Reduccion</i>	<i>N₂</i>
	→	

Fuente: (Guevara Hidalgo, 2010)

2.3.2 Catalizador de tres vías

Es el catalizador más usado en vehículos de gasolina. Se encarga de transformar las tres sustancias contaminantes principales (HC, CO y NO_x) en un único elemento. Como es sabido, para las reacciones de oxidación es necesario emplear mezclas pobres y para las de reducción mezclas ricas. (González Calleja, 2015)

Tabla 4.*Convertidor Catalítico de tres vías, proceso de reacción*

<i>CO</i>	<i>Oxidacion</i>	<i>CO₂</i>
<i>HC</i>	→	<i>CO₂ + H₂O</i>

Fuente: (Guevara Hidalgo, 2010)

2.4 Procesos catalíticos

2.4.1 Oxidación

En todo proceso de oxidación hay una aportación de oxígeno. Este proceso es propio de todos los catalizadores. En el mismo 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 cuanto más pobre sea la mezcla ($\lambda > 1$), menor será la emisión de los mismos. Por lo tanto, para la oxidación se precisa que la mezcla sea ligeramente pobre

($\lambda > 1$) (Pérez Belló, Sistemas auxiliares del motor, 2017)

2.4.2 Reducción

Se efectúa únicamente en los catalizadores de tres vías, por lo que solo se produce sobre los motores de gasolina. Mediante este proceso se neutralizan los óxidos de nitrógeno (NO_x), de tal forma que, al entrar en contacto con el rodio, el oxígeno se separa, combinándose con el CO, para así formar CO_2 y N_2 , ambos inocuos. (Pérez Belló, Sistemas auxiliares del motor, 2017)

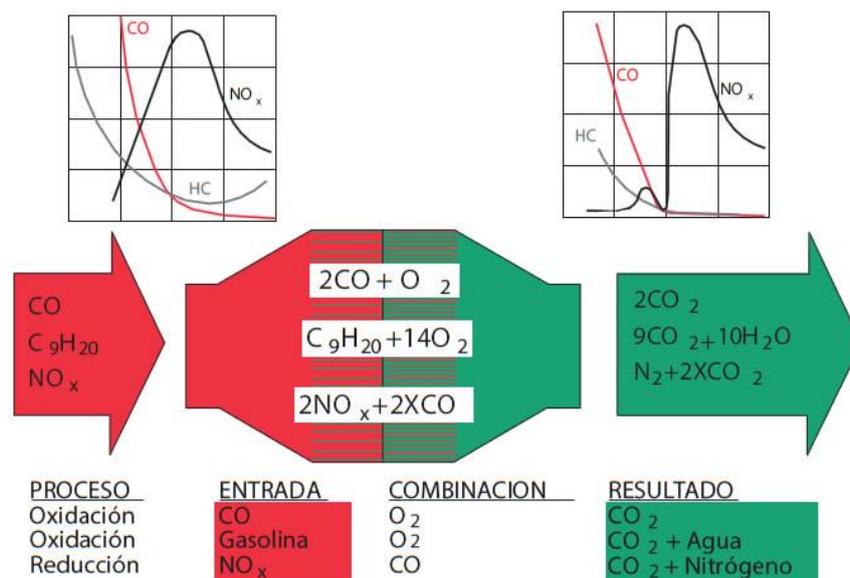


Figura 3. Procesos de oxidación y reducción

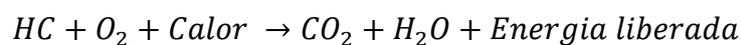
Fuente: (Aficionados a la Mecánica, 2014)

2.5 Tipos de combustión

2.5.1 Combustión completa

La combustión completa se produce cuando el combustible (gasolina) reacciona con el

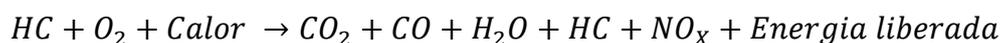
oxígeno del aire y se quema completamente. En este caso, los productos procedentes de la combustión no contienen combustible (HC). Esto suele suceder cuando hay exceso de oxígeno en la mezcla ya que se produce la oxidación completa del combustible. Si se consigue una combustión completa, se está aprovechando toda la energía de la gasolina, con cual aumentará el rendimiento de los motores de combustión interna. (Rodríguez Melchor, 2012).



Ecuación 1 Combustión completa

2.5.2 Combustión incompleta

La combustión incompleta se produce cuando parte del combustible no reacciona con el oxígeno del aire y por tanto no se quema completamente. En este caso, los productos de la combustión contendrán combustible (HC) y además como falta de oxígeno se formará CO en vez de CO₂. La combustión incompleta se debe a una falta de oxígeno en la mezcla. Cuando se produce una combustión incompleta, se está aprovechando parte de la energía del combustible, con lo cual disminuirá el rendimiento del motor de combustión interna. (Rodríguez Melchor, 2012)



Ecuación 2 Combustión incompleta

2.5.3 Combustión estequiométrica o teórica

La combustión estequiométrica o teórica es la mezcla perfecta, en la que la proporción de

gasolina y aire es la justa, es decir, no hay exceso ni falta de oxígeno y, por tanto, los productos de la combustión serán únicamente dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua (H₂O).

La relación aire/gasolina es de 14.7 kg de aire por cada kg de gasolina, es decir, para quemar 1 kg de gasolina completamente son necesarios como mínimo 14.7 kg de aire. (Rodríguez Melchor, 2012)

$$14,7 = \frac{\text{Aire (kg)}}{\text{Gasolina (kg)}}$$

Ecuación 3 Combustión estequiométrica o teórica

Donde:

14,7 = Mezcla estequiométrica.

2.6 Normativas

2.6.1 NTE INEN 2 203

Gestión ambiental, aire, vehículos automotores, determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “ralentí”, prueba estática. Esta norma establece el método de ensayo para determinar la concentración de las emisiones provenientes del sistema de escape de vehículos equipados con motor de encendido por chispa, en condiciones de marcha mínima o "ralentí". (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2000)

2.6.2 NTE INEN 2 204

Gestión ambiental, aire, vehículos automotores, límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina. Esta norma establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de gasolina, (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2016).

2.6.3 New European Driving Cycle (NEDC)

El ciclo de homologación europeo es utilizado como estándar para determinar el consumo de combustible de vehículos ligeros, así como las emisiones contaminantes reguladas, es decir, partículas (Soot), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos sin quemar (HC) y monóxido de carbono (CO). (Moscardó Fuster, 2015)

2.6.4 Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedures (WLTP)

Es un conjunto de pruebas automóbiles para determinar los niveles de contaminantes y el consumo de combustible de vehículos livianos de manera más real. Está siendo desarrollado por expertos de las Unión Europea, Japón e India bajo las directrices de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa. Se utilizará desde septiembre de 2018 para reemplazar los ciclos NEDC (Nunige, 2018)

2.7 Equipos

2.7.1 Analizador de gases

La concentración de los gases producto de la combustión de los motores de ciclo Otto se puede determinar con los analizadores de gases, éste es un equipo que mide la concentración de cinco gases como son: CO, CO₂, HC, basado en el principio de medición infrarroja no dispersiva de gases, además de NO_x y O₂ basado en la medición electroquímica. (Mafla Alvear & Ortiz Guachamin, 2007)

Los analizadores de gases son básicamente dispositivos ópticos/químicos que miden la concentración de gases en base a una muestra de gases tomado directamente del tubo de escape y llevado hacia el aparato medidor, haciéndolo circular por una celda de rayos infrarrojos y por una celda electroquímica que analiza la muestra y mide el contenido de cada componente, indicándolo en el monitor de un PC conectado al equipo (Mafla Alvear & Ortiz Guachamin, 2007)

2.7.2 Medidor de revoluciones

Es un equipo que determina el régimen de giro del motor en función de varias señales como batería, captador y vibración

2.7.3 Cámara termográfica

Las cámaras termográficas miden perfiles de temperatura que mapean la distribución superficial de la temperatura del objeto, antes de poder utilizar este mapeo se deben conocer los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara. (Bustamante Mejía & López Varona, 2014)

CAPÍTULO III

PROTOCOLOS DE PRUEBAS ARMONIZADOS

3.1 Introducción

Los métodos de ensayo para las pruebas estáticas y dinámicas de emisiones se aplicaron en los vehículos de prueba equipados con catalizadores de dos y tres vías respectivamente, las pruebas estáticas realizadas bajo la normativa INEN 2 203:2002 e INEN 2 204:2000 vigentes en el Ecuador, para las pruebas dinámicas acorde a los protocolos europeos armonizados NEDC y WLTP.

3.2 Condiciones primarias para pruebas

Para garantizar la eficacia de las pruebas realizadas, se toma en cuenta aspectos principales como: condiciones mecánicas del vehículo y consideraciones previas a la realización de cada uno de los ensayos.

3.2.1 Condiciones mecánicas del vehículo

En el proceso catalítico del vehículo intervienen sistemas automotrices como: alimentación, escape, electrónico y eléctrico. Los cuales deben estar puestos a punto para garantizar su óptimo funcionamiento.

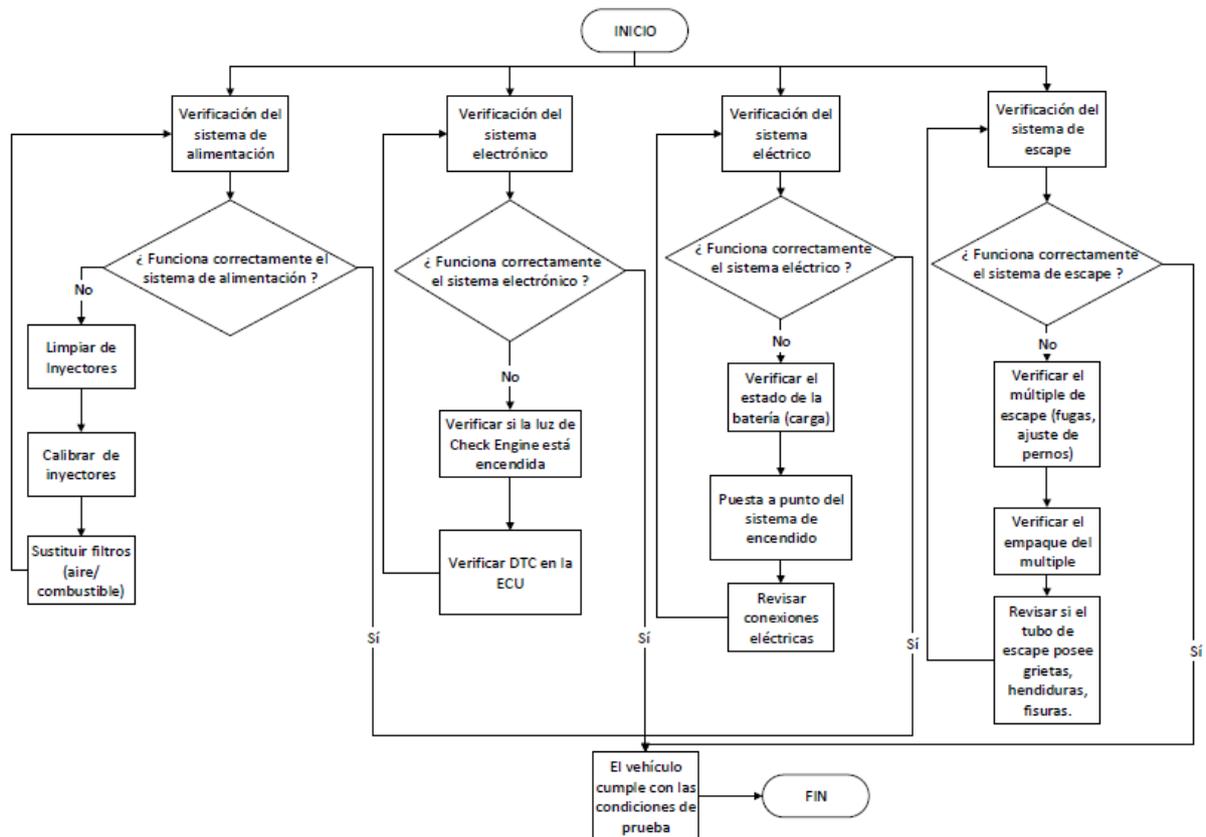


Figura 4. Diagrama flujo de revisión mecánica del vehículo

3.2.2 Consideraciones previas a las pruebas

Para efectuar las pruebas de emisiones de gases de manera adecuada, es necesario considerar el equipo de protección personal y la desactivación de accesorios vehiculares que son consumidores eléctricos.

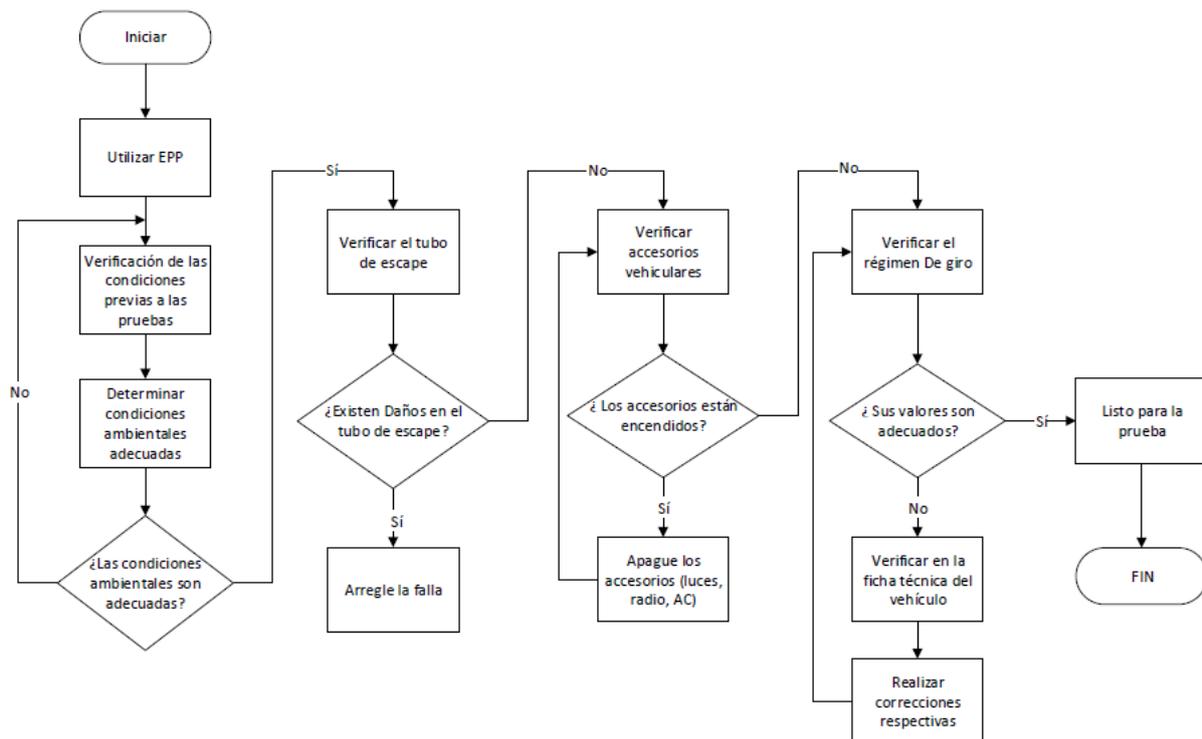


Figura 5. Diagrama flujo de consideraciones previas a las pruebas

3.3 Protocolo de las pruebas estáticas

Las pruebas de emisión de gases en condiciones estáticas de fuentes móviles se efectuaron con el analizador de gases portátil KANE 4-2 plus, en el Laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, bajo la referencia de la norma INEN 2 203:2002; en la cual establece el método de ensayo para determinar la concentración de las emisiones e INEN 2 204:2000; que detalla los límites permitidos de contaminantes respecto al año de fabricación y el régimen de giro de los vehículos de prueba.

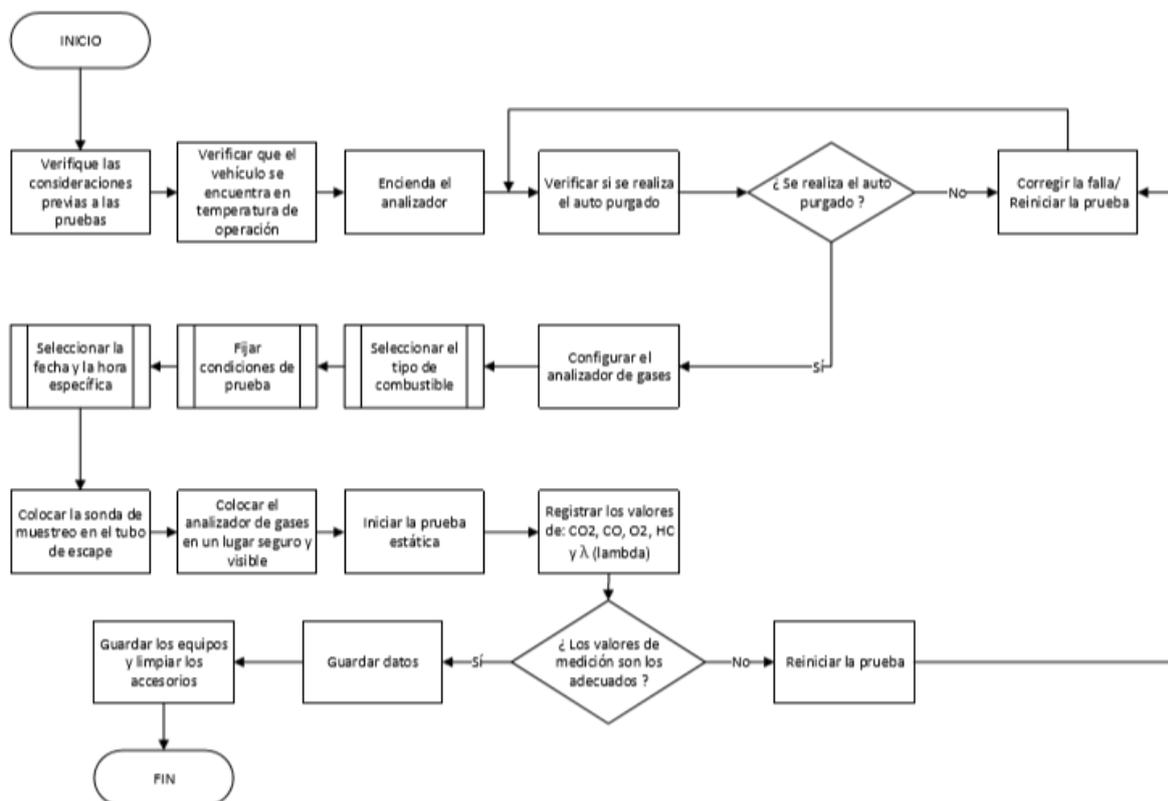


Figura 6. Diagrama flujo de pruebas estáticas

3.3.1 Protocolo de pruebas dinámicas

Mediante los parámetros establecidos en los ciclos de conducción europeos NEDC y WLTP, se realizaron pruebas dinámicas en los vehículos de prueba; equipados con catalizadores de dos y tres vías respectivamente, para lo cual se debe tomar en cuenta los siguientes lineamientos.

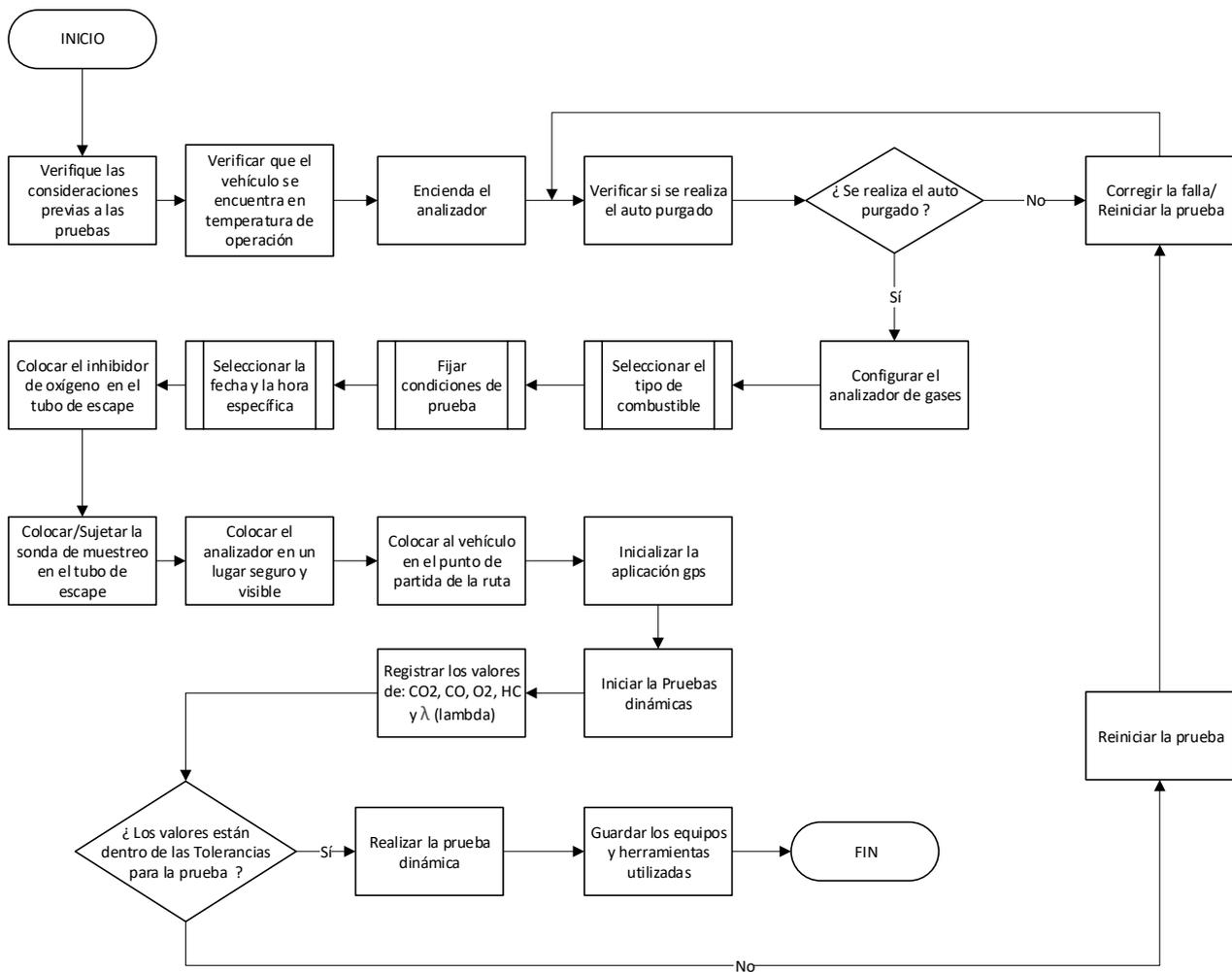


Figura 7. Diagrama flujo de pruebas dinámicas

3.3.2 Protocolos Armonizados adaptados

En los protocolos armonizados se establecen parámetros como: distancia, duración del ensayo, fases de conducción, velocidad media y máxima. Dichos parámetros debiendo ser adaptados a nuestro medio con un margen de tolerancia adecuado que no incida el registro de datos de medición.

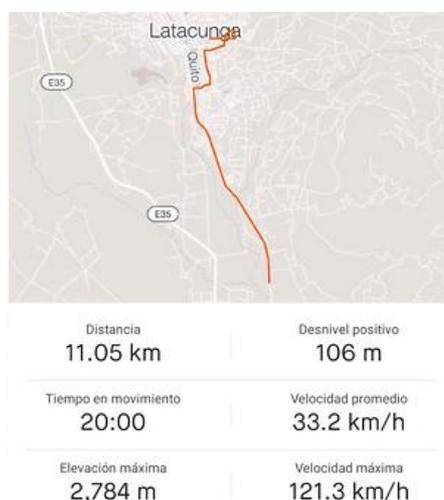
Tabla 5.*Parámetros de las pruebas dinámicas*

Parámetro	Protocolo NEDC	Protocolo adaptado NEDC	Protocolo WLTP	Protocolo adaptado WLTP
Distancia (Km)	11	11.05	23.25	23.36
Velocidad media (Km/H)	34	33.2	46.5	46.7
Tiempo del ciclo (Segundos)	1200	1260	1800	1800.6
Fases de conducción (%)	2 fases 66% de conducción urbana y 34% de conducción interurbana	2 fases 66% de conducción urbana y 34% de conducción interurbana	4 fases más dinámicas 52% de conducción urbana y 48% de conducción interurbana	4 fases más dinámicas 52% de conducción urbana y 48% de conducción interurbana
Velocidad máxima (Km/H)	120	121.3	131	132.8

Fuente: (Granell, 2018)

3.3.3 Ruta protocolo armonizado adaptado NEDC

La ruta se realizó en la ciudad de Latacunga en base al protocolo NEDC que establece dos fases, la primera 66% de una conducción urbana y la segunda 34% de una conducción interurbana. En la fase urbana se debe transitar donde existieron factores determinantes en el entorno como: cruces peatonales, semáforos, tráfico vehicular, etc. En la fase interurbana es necesario circular por vías donde los factores determinantes antes mencionados disminuyen considerablemente.

**Figura 8.** Ruta del protocolo NEDC

Para el protocolo NEDC se toma en consideración una distancia de 11.05 km, velocidad media (33.2 km/h) y máxima de (121.3 km/h) y una duración del protocolo de 1200 segundos, con un valor porcentual de tolerancia de 2.305 % acorde a las normativas actuales de tránsito.

3.3.4 Ruta protocolo Armonizado adaptado WLTP

Para el desarrollo de la ruta del protocolo WLTP, se toma en cuenta parámetros como: distancia, velocidad máxima y mínima, tiempo de duración y las fases de conducción urbana e inter urbana con valores porcentuales del 52% y 48% respectivamente, tomando en consideración el flujo vehicular y peatonal que se presentan en la urbe de Latacunga.



Figura 9. Ruta del protocolo WLT

En el protocolo establecido WLTP, se considera una distancia de 23,36 km, una velocidad media y máxima de 46.7 km/h y 132.8 km/h respectivamente y una durabilidad del protocolo de 1800 segundos. Con una tolerancia del 1.55 % conforme al reglamento de tránsito vigente.

3.4 Catalizador

El catalizador de tres vías nuevo con el código (EMICAT028) de tipo cerámico se analizó mediante la prueba de caracterización de sus componentes.

3.4.1 Caracterización

Determina los valores porcentuales de masa de cada uno de los componentes constitutivos del monito los cuales son: C, O, Mg, Al, Si, V, Zr, Rh, Pd, Ce, Ba, Mn, Pt.

Tabla 6.
Caracterización del catalizador de tres vías

Resultados Cuantificables													
Mass percent (%)													
Código del Catalizador:	del EMICAT028												
Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	V	Zr	Rh	Pd	Ce	Ba	Mn	Pt
12 30.spx	3.623730463	34.47105	0.021929	30.57363	0.151398	2.495957	13.58383	0	0.036318	0	8.23992	6.802242	0
12 31.spx	2.105804099	45.34363	0.738642	27.31725	0.890517	1.20085	15.24155	0	0.027685	0	3.91665	3.217412	0
12 32.spx	0	47.32039	0.611195	27.24019	0.71389	1.31463	14.75314	0.094635	0.060092	0.368625	4.094317	3.265723	0.163176
12 33.spx	0	42.70763	0.159711	29.00601	0.228679	1.57012	17.2434	0.007486	0	0	4.77081	4.181186	0.124969
12 34.spx	0	29.98486	0.061428	34.8402	0.202177	2.163983	18.15698	0	0.01083	0	7.491926	6.498269	0.589344

CONTINÚA →

Resultados Cuantificables													
12 35.spx	0	47.38353	0.506232	28.86349	0.512458	1.440433	12.7713	0	0	0	4.541556	3.958469	0.022533
12 36.spx	0	32.27885	0.188149	31.50256	0.433413	2.204366	19.13455	0	0	0	7.612124	6.365852	0.280132
12 37.spx	0	39.76135	0.150806	30.92746	0.123128	1.49076	18.43542	0	0	0	4.852845	4.24525	0.012977
12 38.spx	0	50.38343	0.520251	21.02052	0.443209	1.236736	19.21038	0	0.048033	0.315031	3.556596	3.215848	0.04997
12 39.spx	0.992083836	35.56499	0.16294	36.15384	0.075409	1.592671	15.57863	0	0	0.769332	4.862295	3.993721	0.254086
Mean value:	0.67216184	40.51997	0.312128	29.74452	0.377428	1.671051	16.41092	0.010212	0.018296	0.145299	5.393904	4.574397	0.149719
Sigma:	1.248645859	7.143893	0.255233	4.240228	0.271206	0.452972	2.33674	0.029756	0.02303	0.261594	1.711367	1.424121	0.186077
Sigma mean:	0.39485649	2.259097	0.080712	1.340878	0.085763	0.143242	0.738942	0.00941	0.007283	0.082723	0.541182	0.450347	0.058843

En la tabla 6 se visualiza que el monolito analizado tiene una gran cantidad de oxígeno, aluminio y zirconio con 40.51997 %, 29.74452 %, 16.41092 % respectivamente, a diferencia del bario y el manganeso que tienen valores porcentuales de masa de 5.393904 % y 4.574397 %. Para que el resto de componentes químicos oscilen en valores inferiores a 1%.

3.4.2 Comportamiento térmico

El análisis del comportamiento térmico del catalizador considera parámetros como: relación calorífica específica del aire; 1.4, masa molecular; 28.966 g/mol, calor específico; 1050 J/kg*K, conductividad térmica; 1.59×10^{-4} W/m*K y presión atmosférica; 101,13 kPa, los cuales tienen un recorrido por las condiciones estructurales internas del catalizador, para que por medio de una simulación en CAD, con la ayuda de un interfaz que permita obtener datos de temperaturas, presiones y velocidades del fluido que circulan por el catalizador.

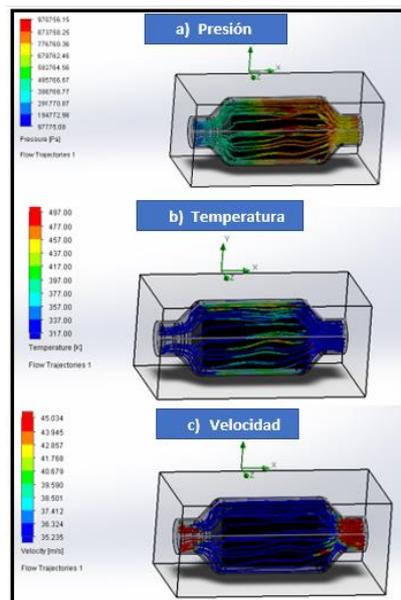


Figura 10. Simulación del comportamiento térmico del catalizador

Una vez que el fluido recorre por la estructura interna del catalizador se visualiza en la figura 10; En los literales, a) una variación de presión de 97.77 kPa a 970.75kPa, b) la elevación de temperatura de 43.85 °C a 223.85 °C y c) la disminución de velocidad de 45.4 m/s a 35 m/s respectivamente.

3.5 Equipos utilizados.

Para el desarrollo de los ensayos estáticos y dinámicos de emisión de gases contaminantes en vehículos equipados con catalizadores de dos y tres vías, se utilizaron tres equipos: Analizador de gases portátil KANE 4-2 plus, Cámara termográfica FLUKE TI SBC3B y MGT-300 EVO RPM COUNTER los cuales cumplen con las siguientes normativas:

- a) NTC 5365
- b) NTE INEN ISO 18434:2018
- c) NTE INEN ISO 18113-5

3.5.1 Analizador de gases.

El portátil KANE 4-2 plus es un equipo de medición utilizado para procesar y visualizar datos de emisión de gases; generados por los vehículos de prueba, en condiciones estáticas y dinámicas. El equipo consta de los siguientes componentes: la sonda de muestreo, el cargador, impresora, visualizados en la figura 11.



Figura 11. Analizador de gases portátil KANE 4-2 plus

a. Conexión

Para la conexión del analizador portátil se requiere ubicar la sonda de muestreo en la salida del tubo de escape del vehículo, tomando en cuenta previamente que se haya realizado los procesos especificados en la figura 5.

b. Interfaz de control y visualización

El analizador de gases portátil KANE mediante su programa KANE LIVE consta de una interfaz de control y visualización gráfica y numérica de cada uno de los parámetros de medición, controlados en tiempo real, características observadas en la figura 12; obteniendo una perfecta intercomunicación entre el vehículo, el dispositivo automotriz y el especialista que analiza los datos.



Figura 12. Interfaz de control y visualización KANE LIVE

c. Ajuste de parámetros.

En la figura 13 se muestra la conexión del analizador con su interfaz se da mediante vía

bluetooth, obteniendo así una comunicación entre el analizador y el ordenador con la interfaz instalada, bajo cada uno de los requerimientos en la respectiva conexión bluetooth.



Figura 13. Conexión de la Interfaz

Inicializada la interfaz KANE LIVE, seleccionar el tipo de producto, para lo cual, en la parte inferior central, elegir la opción KANE AUTO plus, como se muestra en la figura 14; permitiendo así que el programa se adapte a las funciones de analizador de gases.

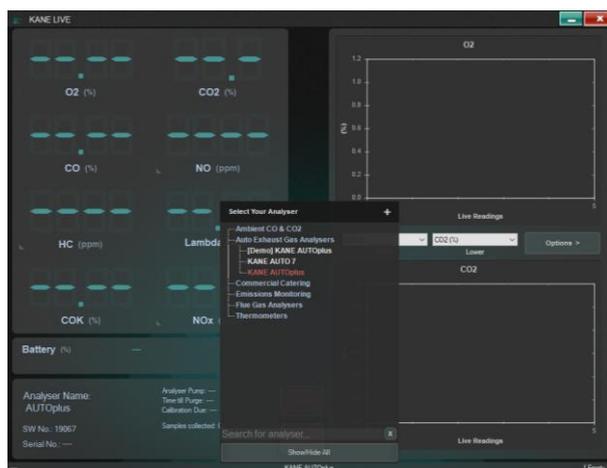


Figura 14. Selección del tipo de analizador

En la figura 15 se observa que el programa KANE LIVE permite visualizar información de las emisiones de gases, el estado de batería y datos característicos del equipo, también se pueden

observar la generación de graficas de cada parámetro que en este caso son las curvas de emisiones de O₂ en la parte superior y CO₂ en la parte inferior.



Figura 15. Parámetros de control

Cabe mencionar que, el programa posee la opción de selección de cada uno de los gases, los cuales son: CO₂, CO, O₂ y HC, como se muestra en la figura 16; permitiendo ver las curvas de emisiones de cada parámetro.



Figura 16. Parámetros de control

Para un control y monitoreo de las emisiones captadas por el analizador de gases, el programa KANE LIVE posee un despliegue de opciones, las cuales permiten el control total

del equipo a través de la interfaz, características observadas en la figura 17.



Figura 17. Opciones de control

d. Uso

Para obtener datos correctos en el análisis de gases en la presente investigación se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros de uso.

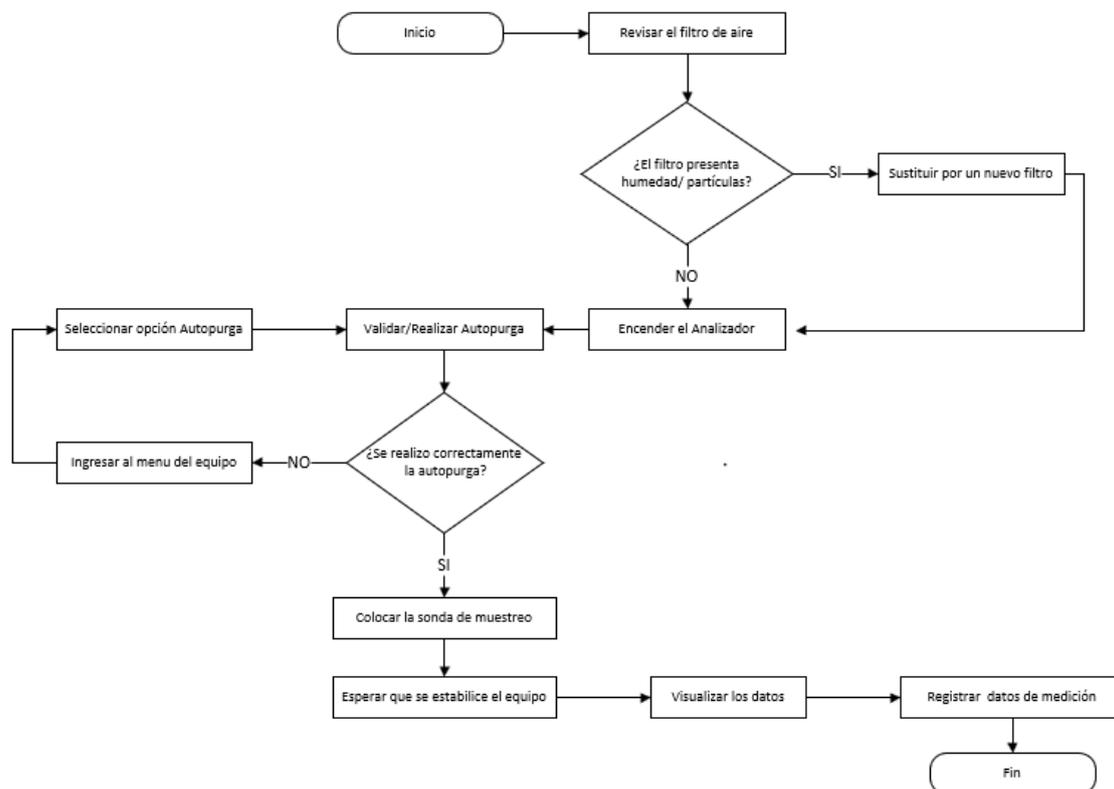


Figura 18. Diagrama flujo de Uso

3.5.2 Cámara termográfica FLUKE TI SBC3B

La cámara termográfica permite la generación de la curva de temperatura, para encontrar el punto de estabilidad térmico en función del tiempo en los diferentes catalizadores. El equipo consta de los siguientes componentes: batería, cargador y base del cargador visualizados en la figura 19.



Figura 19. Cámara termográfica FLUKE TI SBC3B

a. Uso

Para obtener registros adecuados de temperatura se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros de uso.

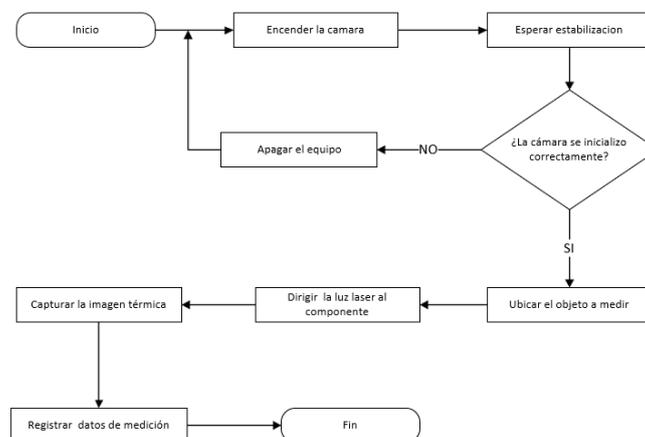


Figura 20. Diagrama flujo de uso

b. Software de visualización

Para poder visualizar las capturas termográficas es necesario el uso del software Smart View, de tal manera que los reportes sean convertidos de la extensión .IS2 a la extensión .JPG.



Figura 21. Catalizadores dos y tres vías

Para obtener una instalación adecuada del software Smart View se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros de instalación:

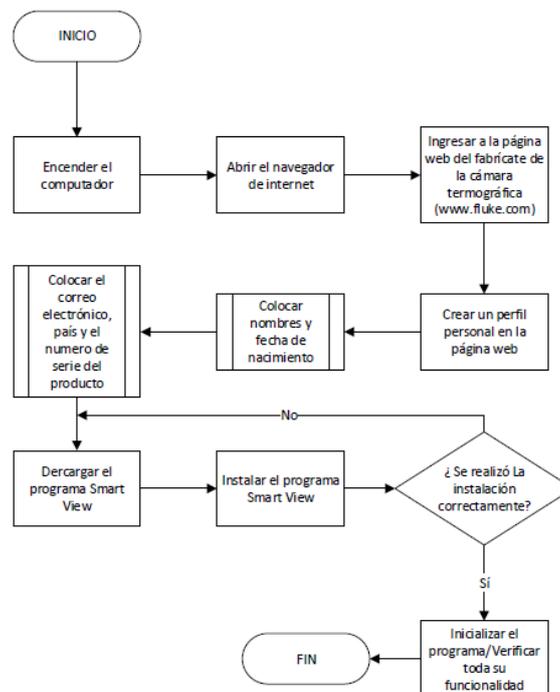


Figura 22. Diagrama flujo de Uso

3.5.3 MGT-300 EVO RPM Counter

El contador de revoluciones cumple con dos funciones: medir la temperatura del motor; mediante una sonda de temperatura y contar las revoluciones exactas en las que se encuentra el motor en condiciones estáticas; por medio de un cable conectado a la batería. El equipo consta de los siguientes componentes: cable estándar MGT-300 EVO, cable de sonda de temperatura y cable de alimentación de la batería, observados en la figura 23.



Figura 23. MGT-300 EVO RPM Counter

a. Conexión

Para obtener una apropiada conexión entre el contador y el vehículo en el momento de realizar las pruebas estáticas se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros:

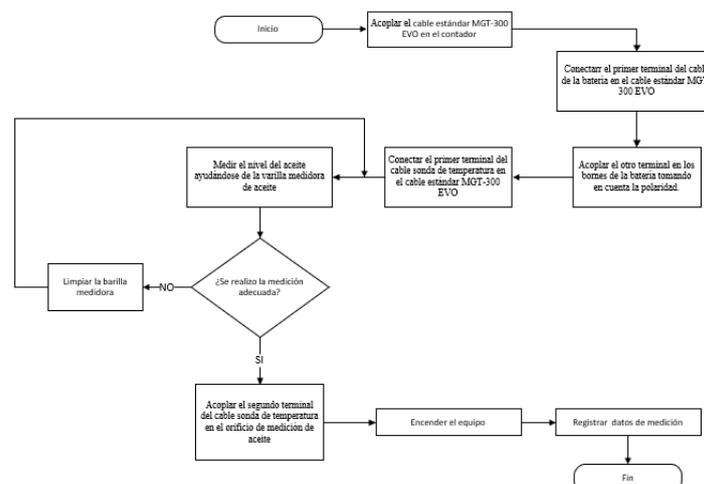


Figura 24. Diagrama flujo de Uso

3.6 Adaptación de catalizadores

En la investigación se utilizaron VP1-U, VP1-N y VP2-U, VP2-N. Para realizar la adaptación se debe tomar en cuenta aspectos como: el adecuado sentido de flujo de aire, la correcta posición de sus empaques y el sistema de fijación propio del fabricante.

3.6.1 Catalizador dos vías

Se cuenta con un vehículo de prueba, fabricado en la ciudad de México en el año 2002. Equipado con un convertidor catalítico de dos vías con un recorrido de 85000km. Con el objetivo de visualizar ambos procesos catalíticos, se sustituirá por uno completamente nuevo. La adaptación en el vehículo consiste en ubicarlo en el tubo de escape, tomando en cuenta que el sistema de fijación es permanente, por lo cual se realizó un proceso de soldadura por arco eléctrico, como se observa en la figura 25.



Figura 25. Implementación VP1-N

3.6.2 Catalizador tres vías

El segundo vehículo de prueba, cuenta con un catalizador de tres vías con un recorrido de 45000 km. Para el estudio se cambió otro completamente nuevo bajo las mismas características.

Considerando que el sistema de fijación del convertidor catalítico no es fijo, por lo cual los pernos van fijados con un torque de ajuste de (15 – 20Nm) a la salida del múltiple de escape, como se visualiza en la figura 26.



Figura 26. Implementación VP2-N

3.7 Pruebas estáticas y dinámicas

En los vehículos automotores con sus respectivos catalizadores nuevos y usados, se obtuvieron datos de temperatura y emisiones generadas en condiciones estáticas y se realizaron pruebas dinámicas para la determinación de los valores de gases contaminantes.

3.7.1 Mediciones en condiciones estáticas

Para las pruebas estáticas se consideraron mediciones de temperatura y emisiones durante 1800 segundos en intervalos de medición de 1 minuto. Mediante imágenes térmicas se determina las variaciones de temperatura del catalizador. Por medio de una termocupla se establece el incremento de temperatura en el funcionamiento motor. Los valores de emisiones de CO₂, CO, O₂, HC y λ (lambda), se receptan a través de una sonda de muestreo colocada en el tubo de escape.

Tabla 7.*Datos de emisiones en condición estática*

Prueba estática VP1														
Tiempo (S)	VP1-U							VP2-N						
	Temperatura Catalizador (°C)	Temperatura Motor (°C)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	Temperatura Catalizador (°C)	Temperatura Motor (°C)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ
60	44.56	41	12.4	0.64	1.05	214	1.025	25.72	45	12	0.7	1.09	190	1.027
120	49.78	44	12.4	0.66	1.04	213	1.024	27	47	12	0.66	1.05	180	1.026
180	65.83	46	12.4	0.66	1.02	208	1.023	29.06	48	12	0.65	0.98	181	1.023
240	75.68	49	12.4	0.67	1	203	1.022	34.28	50	12	0.66	1.03	177	1.025
300	84.28	51	12.3	0.66	1.03	195	1.024	36.89	52	11.9	0.63	1.18	175	1.035
360	89.95	54	12.3	0.66	1.01	193	1.024	38.39	53	11.9	0.61	1.07	177	1.03
420	93.61	57	12.2	0.65	1.02	184	1.025	44.56	54	11.9	0.59	1.08	171	1.032
480	101.94	59	12.2	0.62	0.98	185	1.024	54.33	56	11.9	0.6	0.98	172	1.025
540	104.22	61	12.3	0.62	1.01	178	1.025	51.83	57	11.8	0.61	1.14	174	1.034
600	108.16	63	12.3	0.59	0.95	183	1.023	42.78	60	11.8	0.58	1.08	173	1.032
660	114.16	65	12.2	0.55	0.94	180	1.024	49.61	62	11.8	0.59	1.12	181	1.034
720	117.94	67	12.2	0.53	0.95	174	1.026	54.05	64	11.8	0.56	1.05	182	1.031
780	118.5	69	12.2	0.51	0.95	178	1.026	57.56	67	11.9	0.55	0.92	182	1.024
840	119.94	72	12.2	0.5	0.93	169	1.026	55.55	69	11.9	0.52	0.92	174	1.025
900	123.22	74	12.2	0.48	0.89	179	1.024	57.89	70	11.9	0.5	0.9	167	1.025
960	126.78	76	12.2	0.47	0.92	153	1.027	50.89	75	11.9	0.48	0.83	180	1.021
1020	127.88	78	12.2	0.46	0.85	160	1.024	54.33	76	11.9	0.47	0.89	162	1.026
1080	129.67	80	12.2	0.45	0.87	140	1.026	54.72	77	11.8	0.47	0.92	163	1.027
1140	132.97	83	12.2	0.44	0.89	137	1.027	52.11	78	11.9	0.45	0.89	165	1.026
1200	130.75	83	12.2	0.44	0.88	154	1.026	56.5	79	11.8	0.46	0.93	183	1.028
1260	131.56	84	12.1	0.44	0.91	158	1.028	59.78	80	11.9	0.46	0.89	165	1.026
1320	133.65	86	12.1	0.55	1.09	146	1.034	57.89	80	11.8	0.46	0.92	173	1.027
1380	130	86	12.2	0.52	1.04	170	1.031	55.16	81	11.8	0.47	0.96	182	1.029
1440	127.87	87	12.2	0.53	1.01	164	1.03	58.61	82	11.8	0.47	0.94	193	1.027
1500	129.75	88	12.2	0.52	1	154	1.03	55.72	85	11.8	0.47	0.94	174	1.028
1560	132.86	89	12.1	0.53	1.07	164	1.033	57.22	86	11.7	0.47	1.07	185	1.035
1620	133.78	90	12.2	0.51	1	168	1.03	56.22	87	11.7	0.46	1.01	183	1.032
1680	129.54	89	12.2	0.52	1.01	152	1.03	57.5	88	11.7	0.46	1.02	174	1.034
1740	131.45	90	12.1	0.54	1.05	168	1.032	59.35	89	11.7	0.46	1.03	170	1.034
1800	134.76	90	12.1	0.52	1.04	181	1.031	58.34	89	11.7	0.46	1.02	196	1.032

Se evidencia que la temperatura inicial del catalizador en la prueba es de 44.56 °C, alcanzando una estabilidad térmica a los 1200 segundos de haber iniciado la prueba con 130.75 °C, a partir de ese instante las fluctuaciones son mínimas hasta llegar a un punto máximo térmico de 134.76 °C. En el funcionamiento térmico del motor se visualiza un ascenso progresivo de temperatura de 41 °C hasta 90 °C, existiendo un equilibrio térmico a los 1500 segundos con una temperatura de 88 °C.

A medida que las temperaturas tanto de catalizador como de motor se incrementan, existe una variación poco significativa en las emisiones de CO₂; con un valor porcentual inicial de 12.4 % y final de 12.1 %. En los datos registrados de CO; en los primeros 540 segundos de prueba existen fluctuaciones mínimas de los valores, a partir del segundo 600 hasta el segundo 1200 se visualiza un descenso significativo de 0.59 % a 0.44%, para que en los últimos 600 segundos exista una elevación de 0.44% a 0.52%. En los valores de O₂; se determina una variación mínima con un valor inicial de 1.05 % y final de 1.04 %. En los HC; se visualiza una disminución gradual de los datos, iniciando con 214 ppm y finalizando la prueba con 181 ppm. Los valores de λ (lambda) permanecen constantes durante todo el transcurso de la prueba.

Tabla 8.*Datos de emisiones en condición estática*

Prueba estática VP2														
Tiempo (S)	VP2-U							VP2-N						
	Temperatura Catalizador (°C)	Temperatura Motor (°C)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	Temperatura Catalizador (°C)	Temperatura Motor (°C)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ
60	42.56	37	12.7	0.74	1.11	225	1.057	36.61	45	12.3	0.62	0.98	240	1.042
120	57.44	40	12.5	0.65	1.02	214	1.031	42.87	46	12.1	0.65	1.02	230	1.035
180	66.61	42	12.6	0.62	1.01	209	1.032	61.67	46	12.2	0.64	0.99	210	1.025
240	87.67	49	12.4	0.63	0.99	210	1.025	78.39	49	12.2	0.63	1.02	205	1.024
300	94.78	50	12.4	0.64	1	197	1.026	85.17	52	12.1	0.61	1.02	190	1.027
360	106.89	53	12.2	0.62	1.02	195	1.028	91.64	54	12.1	0.58	1.03	194	1.032
420	115.11	55	12.2	0.61	1.03	187	1.027	101.56	57	12.2	0.55	1.02	185	1.039
480	128.06	58	12.2	0.59	0.99	186	1.024	116.28	58	12.3	0.56	0.99	180	1.027
540	146.22	61	12.1	0.6	0.98	179	1.023	121.74	61	12	0.58	0.99	172	1.029
600	150.67	63	12.2	0.58	0.99	186	1.028	132.89	65	11.9	0.51	1.01	175	1.024
660	160.06	64	12.2	0.57	0.97	181	1.032	141.72	66	11.9	0.54	1.08	178	1.045
720	166.94	66	12.3	0.56	0.96	185	1.034	148.89	68	12	0.52	1.03	180	1.032
780	175.5	68	12.3	0.55	0.99	179	1.031	159.34	69	12	0.53	0.94	175	1.029
840	182.28	69	12.2	0.52	0.97	170	1.029	171.16	71	12.1	0.51	0.99	172	1.028
900	191.94	71	12.1	0.51	0.13	181	1.022	185.78	73	12.1	0.55	0.98	176	1.021
960	200.11	72	12.1	0.49	1.03	155	1.021	192.56	74	12.2	0.49	0.97	181	1.023
1020	206.72	74	12.1	0.48	1.05	162	1.02	202.76	75	12.2	0.5	0.91	163	1.035
1080	210.58	75	12.1	0.51	1.07	142	1.037	204.72	75	12.1	0.51	0.93	174	1.037
1140	221.06	77	12.1	0.52	0.99	138	1.035	208.67	76	12.1	0.48	0.91	162	1.034
1200	224.78	77	12.1	0.51	0.92	156	1.032	210.20	78	11.9	0.51	0.92	169	1.035
1260	215.94	78	12.1	0.47	0.95	161	1.022	212.34	78	12	0.48	1.01	158	1.021
1320	217.34	80	12.2	0.48	0.96	148	1.021	216.76	79	12.1	0.49	0.94	169	1.022
1380	222.83	79	12.1	0.49	1.01	172	1.028	218.65	80	12.2	0.51	0.97	179	1.029
1440	217.67	80	12.1	0.51	0.97	165	1.035	210.65	80	12.2	0.49	0.98	184	1.028
1500	219.5	81	12.1	0.52	0.99	152	1.037	215.00	80	12.2	0.51	0.98	178	1.031
1560	220.72	80	12.2	0.54	1.08	167	1.031	216.32	80	12.1	0.51	1.02	175	1.031
1620	223.27	80	12.1	0.52	1.03	170	1.027	217.89	81	12.1	0.49	1.03	164	1.037
1680	218.28	82	12.1	0.51	1.04	155	1.022	215.87	80	11.9	0.48	0.99	178	1.037
1740	220.94	81	12.2	0.53	1.09	166	1.019	217.98	81	11.9	0.49	1.01	172	1.035
1800	222.72	80	12.2	0.52	1.14	183	1.02	217.43	80	12.1	0.51	1.02	184	1.025

Mediante las pruebas se determina la temperatura del catalizador; inicial y final de 42.56 °C y 222.72 °C respectivamente, teniendo un ascenso progresivo de la temperatura hasta llegar al segundo 1200, a partir de ese momento las variaciones de temperatura son poco significativas hasta llegar a la temperatura final antes mencionada. En el registro realizado del comportamiento térmico del motor de combustión del VP2-U se visualiza una elevación paulatina de temperatura de 37 °C hasta 80 °C; teniendo un equilibrio térmico a los 1320 segundos.

Los datos de emisiones de gases varían conforme a las temperaturas de catalizador y del funcionamiento térmico del motor, para lo cual el CO₂; tiene una reducción de 0.5 % entre su valor inicial y final. Para el CO; se obtienen datos con mínimas variaciones durante los primeros 540 segundos, los 1260 segundos restantes de la prueba se evidencia una estabilidad en los datos receptados, con un valor final de 0.52 %. En los valores de O₂; existe una estabilidad durante toda la prueba con un valor inicial de 1.11 % y final de 1.14 %. Para los Hidrocarburos; existe una reducción notoria en los valores de las emisiones, con un valor inicial y final de 225 ppm y 183 ppm respectivamente. Los valores de λ (lambda); tienen ligeras variaciones poco significativas en el proceso de la prueba.

3.7.2 Mediciones en condiciones estáticas a diferente régimen de giro

En las pruebas estáticas a diferente régimen de giro, se realizan mediciones térmicas y de gases contaminantes, desde un mínimo hasta un valor máximo de revoluciones. Mediante una termocupla, se determina el comportamiento térmico del motor de combustión interna del VP1 y los datos de emisiones de gases de CO₂, CO, O₂, HC y λ (lambda), que se receptan a través de una sonda de muestreo.

Tabla 9.*Datos de emisiones en condición estática a diferente régimen de giro*

Prueba Estática a diferente régimen de giro VP1													
Revoluciones (rpm)	Temperatura de Trabajo °C	VP1-U					λ	Temperatura de Trabajo °C	VP2-N				
		CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)				CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ
Ralentí 850	90	11.8	0.5	1.57	154	1.064	89	11.2	0.61	1.03	203	1.028	
1100	90	11.8	0.51	2.33	199	1.104	90	11	1.92	0.42	202	0.948	
1300	90	10.9	2.34	1.07	274	0.965	90	10.7	1.91	0.36	199	0.937	
1500	91	11.9	0.52	0.99	137	1.031	90	11.4	0.74	0.79	145	1.012	
1700	90	11.9	0.52	1.14	134	1.039	91	11.5	0.48	0.73	128	1.018	
1900	90	12	0.53	1.12	108	1.039	90	11.5	0.54	0.55	128	1.006	
2100	90	12	0.53	1.02	119	1.032	90	11.8	0.44	0.41	99	1.003	
2300	90	12	0.47	1.26	107	1.049	91	11.8	0.43	0.25	99	0.994	
2500	91	12.1	0.46	0.92	135	1.028	90	12.1	0.27	0.01	68	0.987	
3000	90	12.2	0.44	0.76	151	1.02	90	12.5	0.06	0.01	42	0.996	
4500	91	12.4	0.29	0.47	85	1.012	90	12.5	0.04	0.01	35	0.997	

Por medio de las pruebas realizadas se evidencia que la temperatura de trabajo del motor de combustión interna, equipado con un catalizador nuevo y usado de dos vías, no existe una variación significativa. El régimen de giro mínimo (850 RPM) y máximo (4500 RPM). Para lo cual el CO₂; muestra un incremento paulatino de sus valores. El CO, O₂ y λ (lambda); evidencian una estabilidad en sus valores. Los hidrocarburos; muestran una reducción. Todos estos comportamientos son determinados a medida que el régimen de giro del vehículo aumenta.

Tabla 10.*Datos de emisiones en condición estática a diferentes RPM*

Prueba Estática a diferente régimen de giro VP2													
Revoluciones (rpm)	Temperatura de Trabajo °C	VP2-U					λ	Temperatura de Trabajo °C	VP2-N				
		CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ			CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ
Ralentí 800	79	11.9	0.48	1.25	187	1.029	79	11.9	0.58	1.09	197	1.025	
1100	80	11.6	0.55	1.36	165	1.036	80	12	0.65	0.87	175	1.031	
1300	81	11.9	0.61	1.08	152	1.04	81	12.1	0.55	0.99	165	1.034	
1500	80	12	0.6	1.03	142	1.032	80	12.2	0.49	0.45	185	1.022	
1700	80	12.1	0.59	1.02	132	1.025	81	12.2	0.51	0.55	175	1.023	
1900	81	12.3	0.48	0.99	102	1.022	81	12.1	0.52	0.64	165	1.019	
2100	80	12.2	0.44	1.12	113	1.028	80	12.2	0.49	0.58	171	1.012	
2300	79	12.1	0.32	0.94	107	1.03	79	12	0.36	0.52	172	1.034	
2500	82	12.2	0.33	0.91	98	1.032	82	12.2	0.34	0.42	138	1.025	
3000	81	12.2	0.36	0.86	78	1.039	81	12.3	0.36	0.25	162	1.058	
4500	80	12.3	0.28	0.54	85	1.037	80	12.5	0.26	0.23	158	1.053	

En la prueba realizada al VP2 con catalizador nuevo y usado, se determinó valores de temperatura y emisión de gases, desde un régimen de giro mínimo de 800 y máximo de 4500 RPM. En los datos térmicos obtenidos del motor no existen variaciones; permaneciendo en 80 °C. Para los valores de gases contaminantes, se tiene al CO₂; que evidencia un aumento progresivo en sus datos. El CO, O₂ y λ (lambda); determinan un equilibrio en sus valores y los hidrocarburos manifiestan una notoria reducción.

3.7.3 Mediciones en condiciones dinámicas

Los datos se tomaron en base a los protocolos armonizados NEDC y WLTP durante 1200 y 1800 segundos respectivamente, con intervalos de medición de 60 segundos; bajo los parámetros de velocidad mínima y máxima, distancia y el tipo de fases que posee cada uno. Para establecer los valores de emisiones de CO₂, CO, O₂, HC y λ (lambda) se utiliza una sonda de muestreo. Adicionalmente se analiza el comportamiento del sensor MAP y la carga del motor con el soporte del Scanner G – SCAN 2.

Tabla 11.*Datos de emisiones en condición dinámica NEDC*

TIEMPO (S)	VP1					VP1-N					VP2					VP2-N				
	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ
60	12.3	0.14	0.22	55	1.005	12.5	0.11	0.27	47	1.009	12.1	0.03	0.32	75	1.023	12.2	0.12	0.31	51	1.084
120	12.2	0.02	0.57	37	1.03	12.5	0.09	0.4	61	1.016	12.1	0.03	0.47	67	1.025	12.1	0.09	0.22	49	1.011
180	12.1	0.02	0.44	36	1.023	12.2	0.06	0.6	46	1.03	12	0.01	0.54	55	1.029	12.3	0.08	0.54	44	1.031
240	12.1	0.02	0.51	40	1.027	12.3	0.06	0.6	43	1.03	12	0.01	0.61	42	1.027	12.4	0.08	0.6	65	1.025
300	11.8	0.03	0.76	46	1.041	12	0.12	0.74	73	1.035	12.1	0.01	0.66	56	1.041	12.6	0.07	0.71	71	1.02
360	11.9	0.26	0.61	155	1.018	12	0.07	3.89	53	1.221	12	0.03	0.66	95	1.018	12.1	0.12	0.22	68	1.031
420	12	0.02	0.51	39	1.024	11.8	0.08	0.97	28	1.055	11.9	0.01	0.61	89	1.024	11.9	0.08	0.87	55	1.211
480	12	0.07	0.73	40	1.038	11.9	0.15	1.78	67	1.072	12.1	0.02	0.73	52	1.038	12.3	0.09	0.92	50	1.037
540	11.8	0.01	1.16	28	1.067	10.9	0.09	1.35	43	1.088	12	0.01	1.01	38	1.067	12.1	0.08	0.87	49	1.039
600	11.4	0.05	1.22	283	1.057	11.9	0.08	0.89	39	1.047	11.9	0.03	1.03	83	1.057	12	0.09	0.88	48	1.041
660	11.4	0.04	1.4	71	1.081	12.1	0.09	0.81	31	1.042	12	0.02	1.03	91	1.081	11.9	0.08	0.76	41	1.008
720	10.7	0.01	1.34	141	1.079	8.3	0.02	0.91	37	1.076	12.1	0.02	0.65	102	1.079	11.7	0.07	1.03	39	1.034
780	11.8	0.02	5.16	55	1.303	10.5	0.1	0.22	81	1.006	11.9	0.01	5.16	65	1.303	10.6	0.12	1.08	38	1.024
840	11.6	0.09	1.16	75	1.062	10.7	0.1	1.44	107	1.083	11.9	0.02	1.02	85	1.062	10.7	0.07	0.94	42	1.023
900	12.2	0.02	2.11	52	1.117	8.5	0.07	0.19	23	1.01	12.1	0.01	1.09	72	1.117	10.3	0.09	0.78	51	0.997
960	11.4	0.24	1.02	77	1.048	10.7	0.04	4.36	25	1.283	12	0.02	1.02	78	1.048	10.5	0.08	0.85	61	1.023
1020	12.3	0.01	0.88	40	1.048	9	0.06	1.97	32	1.148	12.1	0.02	1.03	81	1.048	12.5	0.08	0.82	62	1.084
1080	11.1	0.01	1.47	33	1.091	9.1	0.11	2.23	52	1.161	12	0.02	1.03	73	1.091	11.3	0.12	1.12	58	1.286
1140	9.2	0.01	15.66	46	1.021	10.6	0.08	0.4	74	1.037	12.1	0.02	1.06	45	1.021	10.2	0.07	1.23	55	1.047
1200	8.5	0.01	3.56	47	1.289	11.2	0.06	0.6	62	1.025	12.2	0.02	1.12	49	1.289	10.1	0.09	0.97	51	1.032

Los valores receptados de emisión de gases en la prueba dinámica bajo el protocolo armonizado NEDC, determinan que el CO₂; tiene una disminución notoria en sus valores conforme avanza el tiempo de prueba. El CO y O₂; determinan una estabilidad con ciertas elevaciones normales en sus datos debido al recorrido del vehículo. Los HC y λ (lambda); permanecen constantes durante los 1200 segundos de prueba.

Los comportamientos de emisiones son similares en los dos vehículos de prueba, con sus respectivas variantes en sus valores registrados de cada gas analizado.

Tabla 12.*Datos de emisiones en condición dinámica*

Tiempo (S)	Prueba dinámica WLTP VP1										Prueba dinámica WLTP VP2									
	VP1-U					VP2-N					VP2-U					VP2-N				
CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	
60	12.3	0.63	0.44	307	0.988	10.5	1.26	1.89	203	1.017	12.4	0.01	0.54	291	1.056	10.5	1.26	1.89	203	1.017
120	12.2	0.62	0.63	161	1.006	12.2	0.48	0.55	227	1.003	12.1	0.09	0.62	275	1.023	12.2	0.48	0.55	227	1.003
180	12.2	0.59	1.57	206	1.055	12.4	0.44	0.43	138	1.002	12.1	0.1	0.54	203	1.025	12.4	0.44	0.43	138	1.002
240	11.3	1.45	1	471	0.983	12.4	0.25	0.53	145	1.002	12	0.08	0.52	198	0.998	12.4	0.25	0.53	145	1.002
300	12.6	0.17	1.11	147	1.048	12.8	0.04	0.18	160	1.001	12	0.07	0.62	199	1.001	12.8	0.04	0.18	160	1.001
360	12.6	0.1	0.41	110	1.014	12.9	0.02	0.01	66	0.996	12	0.05	0.35	194	1.023	12.9	0.02	0.01	66	0.996
420	6.5	0.33	1.96	237	1.156	11.2	0.32	0.45	139	1.008	11.9	0.05	0.47	184	1.022	11.2	0.32	0.45	139	1.008
480	12.6	0.04	1.38	60	1.072	12.7	0.01	0.01	44	0.998	12.2	0.06	0.52	175	1.025	12.7	0.01	0.01	44	0.998
540	12.6	0.05	0.51	63	1.023	12.5	0.01	0.01	45	0.999	12.5	0.04	0.55	165	1.029	12.5	0.01	0.01	45	0.999
600	9.7	0.03	1.35	60	1.092	12.6	0.01	0.01	12	0.999	12.3	0.03	0.41	162	1.024	12.6	0.01	0.01	12	0.999
660	11.6	0.04	6.22	51	1.371	12.8	0.01	0.01	43	0.998	12.2	0.07	0.63	172	1.027	12.8	0.01	0.01	43	0.998
720	12	0.12	0.91	114	1.042	12.6	0.01	0.07	32	1.002	12.2	0.05	0.64	102	1.026	12.6	0.01	0.07	32	1.002
780	12	0.03	0.91	68	1.049	12.4	0.01	0.05	158	0.995	12.2	0.06	0.22	92	1.024	12.4	0.01	0.05	158	0.995
840	11	0.05	0.96	68	1.056	12.4	0.01	0.01	33	0.998	12.3	0.07	0.48	50	1.036	12.4	0.01	0.01	33	0.998
900	12.2	0.03	0.59	43	1.031	12.3	0.01	0.06	27	1.002	12.1	0.05	0.28	34	1.035	10.8	0.01	3.03	60	1.192
960	4.8	0.03	2.09	50	1.295	12.2	0.01	0.33	44	1.017	12.2	0.08	0.36	65	1.027	11.2	0.02	4.74	61	1.213
1020	12.1	0.02	0.83	33	1.046	12.3	0.02	0.06	86	0.999	12.3	0.02	0.49	55	1.028	10.1	0.02	4.58	69	1.311
1080	12.1	0.03	0.99	35	1.055	12.1	0.11	0.01	40	0.994	12.1	0.03	0.55	51	1.018	9.3	0.01	4.79	70	1.357
1140	10.2	0.18	2.11	35	1.134	12.4	0.01	0.01	54	1.003	12	0.04	0.58	49	1.023	10.5	0.03	2.42	103	1.153
1200	12.2	0.06	0.44	32	1.022	12.1	0.01	0.19	61	1.008	12.3	0.07	0.47	41	1.052	12.2	0.03	1.2	80	1.064
1260	12.4	0.01	0.4	16	1.022	12.1	0.01	0.01	71	1.003	12.3	0.03	0.62	32	1.023	12	0.12	0.91	91	1.044
1320	12.5	0.1	0.26	28	1.01	11.1	0.01	0.94	26	1.059	12	0.06	0.47	39	1.036	11.6	0.02	1.34	85	1.412
1380	12.1	0.01	0.81	21	1.046	12.2	0.02	0.95	11	1.053	11.9	0.07	0.41	33	1.034	12.4	0.09	1.28	13	1.068
1440	12.2	0.15	0.68	100	1.029	12	0.11	0.7	33	1.035	12	0.05	0.31	32	1.37	12.3	0.04	1.87	87	1.105
1500	12.7	0.37	0.12	33	0.993	12.3	0.02	0.4	10	1.022	12.1	0.05	0.35	51	1.039	11.3	0.02	1.54	78	1.141
1560	12.4	0.02	1.09	9	1.061	12.1	0.09	0.89	16	1.047	12.2	0.04	0.38	32	1.025	10.98	0.01	1.52	71	1.031
1620	13.1	0.05	0.01	51	0.998	12.1	0.01	0.71	54	1.046	12.3	0.06	0.39	36	1.024	10.7	0.02	1.18	53	0.997
1680	5.8	0.05	1.14	10	1.133	11.9	0.02	0.32	63	1.097	12.1	0.06	0.31	37	1.026	12.2	0.01	0.59	19	1.029
1740	12.3	0.07	0.82	1	1.044	12.1	0.01	0.65	51	1.032	12	0.07	0.32	29	1.023	12.8	0.01	0.34	42	1.018
1800	12.1	0.03	7.53	61	1.051	12	0.02	0.91	47	1.025	12.1	0.05	0.31	51	1.021	10.2	0.02	1.91	12	1.129

La prueba realizada determina que el CO₂, CO, O₂ y λ (lambda); permanecen estables en sus valores con ciertos datos que se elevan o disminuyen repentinamente, pero que son normales debido al proceso de la prueba. Los hidrocarburos; disminuyen paulatinamente sus valores. Estos comportamientos son repetitivos en cada uno de los vehículos de prueba equipados con catalizadores nuevos y usados.

Tabla 13.

Datos de emisiones en condición dinámica – Carga del motor y sensor MAP

VP1-N - NEDC								VP2-N - NEDC							
Tiempo (S)	Carga Motor (%)	Sensor MAP (kPa)	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (ppm)	λ	Tiempo (S)	Carga Motor (%)	Sensor MAP (kPa)	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (ppm)	λ
120	12.5	27	11.8	0.14	0.88	128	1.04	120	12.5	24	11.2	0.16	0.88	133	1.04
240	34.8	65	11.9	0.19	0.65	71	1.027	240	30.8	59	11.7	0.19	0.55	81	1.027
300	15.4	33	11.8	0.1	0.55	46	1.026	300	15.2	32	11.9	0.18	0.65	56	1.026
360	13.7	30	11.2	0.03	0.57	99	1.058	360	13.7	28	10.9	0.03	0.67	98	1.048
480	23	57	11.7	0.12	0.87	45	1.05	480	33	62	11.7	0.13	0.67	55	1.05
720	21.1	53	11.2	0.07	0.74	74	1.104	720	22.5	55	11.2	0.09	0.7	74	1.114
780	7.8	21	10.2	0.1	0.65	156	1.098	780	9.8	29	10.8	0.09	0.65	146	1.098
840	37.9	70	11.5	0.01	0.63	98	1.061	840	38.9	72	11.5	0.04	0.73	95	1.051
900	39.1	71	11.1	0.04	0.45	89	1.057	900	39.1	73	11.2	0.04	0.65	89	1.057
960	7.4	20	10.9	0.03	0.44	82	1.024	960	7.4	20	10.8	0.03	0.48	82	1.024
1020	43.8	70	10.9	0.14	0.49	108	1.086	1020	43.8	70	10.7	0.14	0.49	119	1.046
1080	27.7	55	10.9	0.16	0.58	82	1.103	1080	27.7	55	10.9	0.16	0.78	82	1.103
1200	5.5	20	10.9	0.15	0.78	89	1.043	1200	6.5	20	10.9	0.19	0.48	89	1.023
120	7.3	19	13	0.03	0.47	56	1.03	120	6.8	17	12	0.03	0.37	52	1.02
180	13.7	23	12.5	0.18	0.38	74	1.011	180	12.8	20	12.3	0.19	0.34	69	1.021
300	12.3	22	12.5	0.21	0.3	76	1.006	300	12.5	23	12.2	0.21	0.3	76	1.06
360	13.7	30	12.4	0.3	0.43	82	1.013	360	13.7	30	12.1	0.38	0.46	85	1.053
420	12.9	27	12.6	0.13	0.24	76	1.005	420	12.9	27	12.4	0.18	0.24	76	1.005
540	5.1	35	12.4	0.06	0.53	64	1.025	540	6.1	45	12.6	0.06	0.53	64	1.025
600	10.6	35	12.2	0.48	0.43	77	1.003	600	10.6	35	12.2	0.48	0.38	77	1.006
720	5	21	10.7	0.16	0.73	60	1.067	720	5.8	18	11.1	0.18	0.83	66	1.047
840	23.5	70	11.6	0.34	0.59	13	1.242	840	23.5	70	11.6	0.34	0.59	53	1.272
900	8.2	22	12.3	0.26	0.51	25	1.045	900	8.2	22	12.7	0.26	0.51	45	1.065
960	12.5	30	10.9	0.13	0.74	24	1.063	960	12.7	32	11.2	0.11	0.64	24	1.053
1020	34.5	61	12.2	0.42	0.84	15	1.031	1020	34.5	65	12.4	0.52	0.94	18	1.041
1080	24.7	62	12.6	0.12	0.92	23	1.044	1080	24.7	60	12.7	0.15	0.82	25	1.054
1140	25.5	57	12.2	0.01	1.37	20	1.012	1140	25.5	64	12.6	0.09	1.47	27	1.018
1200	3.9	28	11.3	1.46	1.61	20	1.037	1200	3.9	22	10.3	1.26	1.61	22	1.037

CONTINÚA →

VP1-N - NEDC								VP2-N - NEDC							
Tiempo (S)	Carga Motor (%)	Sensor MAP (kPa)	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (ppm)	λ	Tiempo (S)	Carga Motor (%)	Sensor MAP (kPa)	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (ppm)	λ
1260	55.7	70	10.4	2.56	1.22	105	0.972	1260	55.7	70	10.4	1.56	1.32	110	0.872
1380	58	72	12	0.27	1.17	70	1.057	1380	58	74	12	0.27	1.17	70	1.057
1440	47.5	71	12.7	0.01	0.02	25	1.001	1440	47.5	71	12.7	0.11	0.02	25	1.031
1500	40.8	60	12	0.06	1.17	30	1.024	1500	40.8	64	12	0.06	1.17	32	1.035
1560	14.1	20	11	0.78	0.01	105	0.879	1560	14.1	20	11	0.78	0.01	108	0.879
1620	54.9	72	9.9	0.28	1.48	45	1.159	1620	54.9	72	9.4	0.33	1.28	65	1.189
1680	11.4	21	13.2	0.37	0.48	78	1.008	1680	11.4	21	12.8	0.47	0.48	80	1.008
1800	29.4	49	11.5	0.88	0.05	60	1.035	1800	27.4	39	11.9	0.78	0.15	66	1.055

En la tabla 13 se evidencia los valores receptados de la carga del motor, sensor de presión absoluta y las emisiones de gases contaminantes de los vehículos de prueba P1 y P2, equipados con catalizadores nuevos de dos y tres vías. Se observa que el comportamiento de la carga del motor y el sensor MAP durante la duración de las pruebas NEDC y WLTP mantienen una relación constante.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Introducción

En la fase de análisis, con los datos obtenidos en las pruebas estáticas y dinámicas bajo las normas técnicas ecuatorianas y los protocolos europeos armonizados; se realizó un estudio estadístico descriptivo y comparativo del comportamiento de los parámetros medidos como CO₂, CO, O₂, HC y lambda (λ).

4.2 Prueba de emisiones

El analizador portátil KANE AUTO PLUS 4-2 permite visualizar los valores de CO₂, CO, O₂, HC y lambda (λ) en tiempo real.

4.3 Pruebas Estáticas –VP1-U

En la figura 27 se visualiza el comportamiento térmico del catalizador y motor; con un ascenso paulatino de 44 °C a 136 °C en los valores del catalizador, en los datos del motor de combustión interna del vehículo de prueba se evidencia una elevación 41 °C a 90 °C. Así mismo se observa la conducta del CO₂ durante los 1800 segundos de prueba, con un valor inicial de 13.1% y final de 14.2 %, por lo cual se aprecia que mientras avanza el tiempo sus valores porcentuales se mantienen con fluctuaciones en intervalos de tiempo similares.

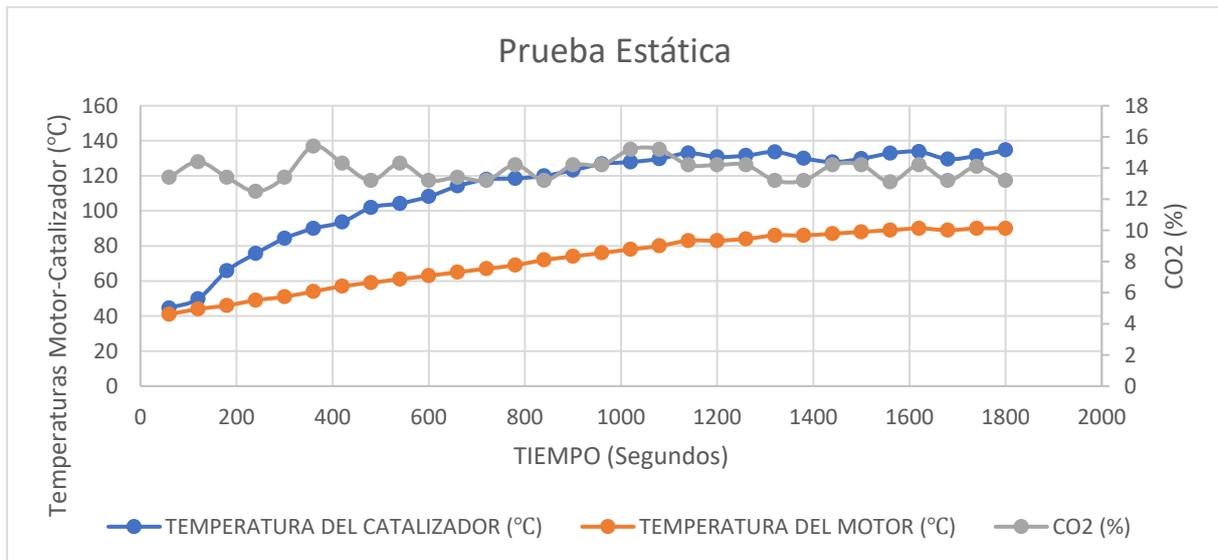


Figura 27. CO₂ vs Temperatura de motor y catalizador

Se determina la conducta del CO con respecto a la temperatura del catalizador y del motor, durante los 1800 segundos de duración de la prueba estática. Mientras el tiempo transcurre, las emisiones de CO descienden significativamente de 1.95 % a 1.65%, y el comportamiento térmico del catalizador y del motor aumentan hasta llegar a una temperatura de estabilidad de 136 °C y 90 °C respectivamente, permaneciendo constantes a partir de ese instante, comportamientos observados en la figura 28.

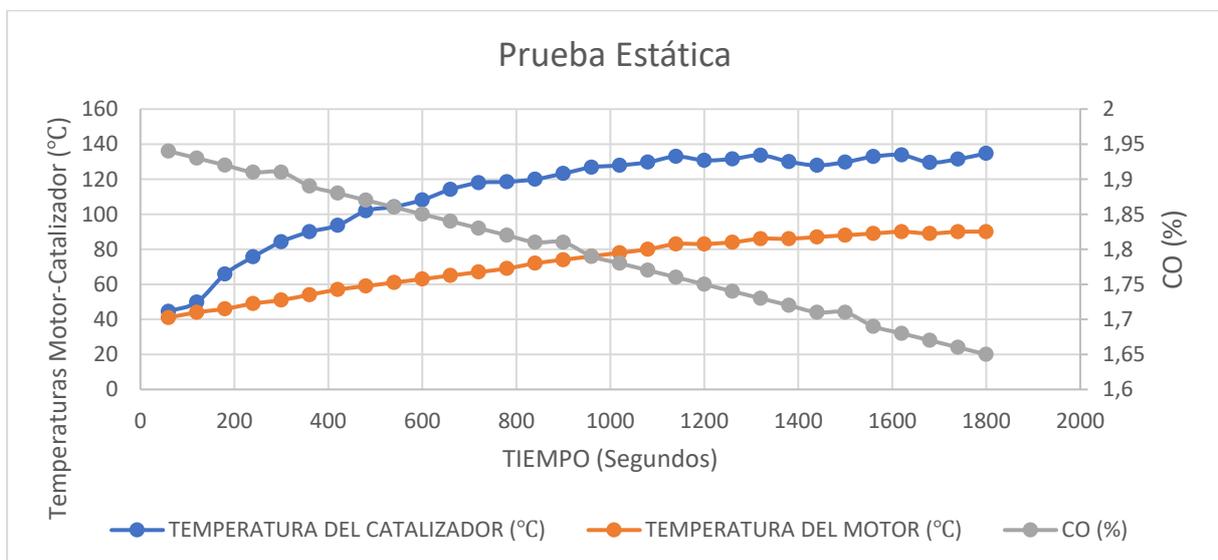


Figura 28. CO vs Temperatura de motor y catalizador

Se evidencia fluctuaciones constantes de O_2 en toda la prueba estática, con valores mínimos de 0.95 % y máximos de 4.95 %, comportamientos visualizados en la figura 29. En lo que se refiere al comportamiento de las curvas de temperatura del motor y del catalizador se observa un ascenso significativo en sus valores.

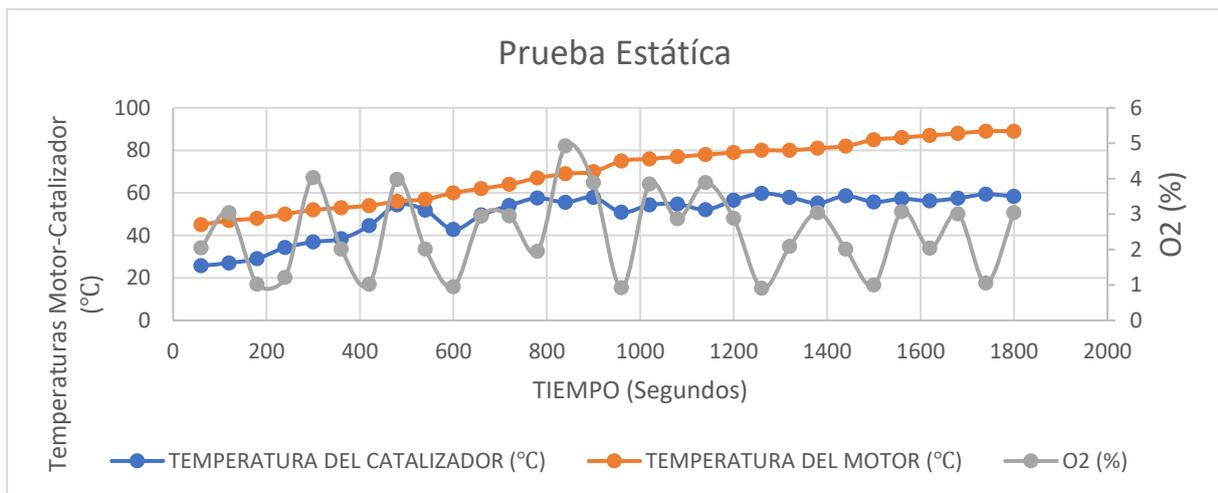


Figura 29. O_2 vs Temperatura de motor y catalizador

En la figura 30 se visualiza un ascenso en todas las curvas analizadas, tanto de temperatura del motor y del catalizador como de hidrocarburos. En lo que respecta a HC tiene un valor inicial de 135 (ppm) y final de 304 (ppm), con ligeras fluctuaciones en los segundos 480 y 900.

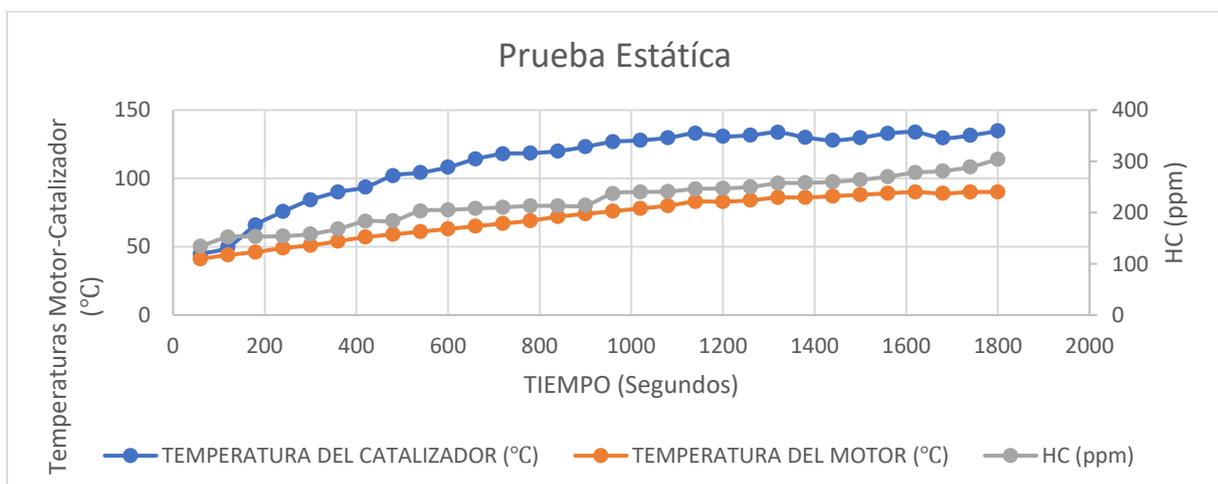


Figura 30. HC vs Temperatura de motor y catalizador

El comportamiento de las curvas del peso teórico y real del aire se visualiza en la figura 31. La primera curva establece el valor estequiométrico constante de 14.7. En la segunda se observa; fluctuaciones durante toda la prueba con picos máximos de 20.9 y mínimos de 15.1. Durante los 1800 segundos de la prueba se visualiza la existencia de mezclas pobres, con 8 aproximaciones al valor estequiométrico constante de 14.7.

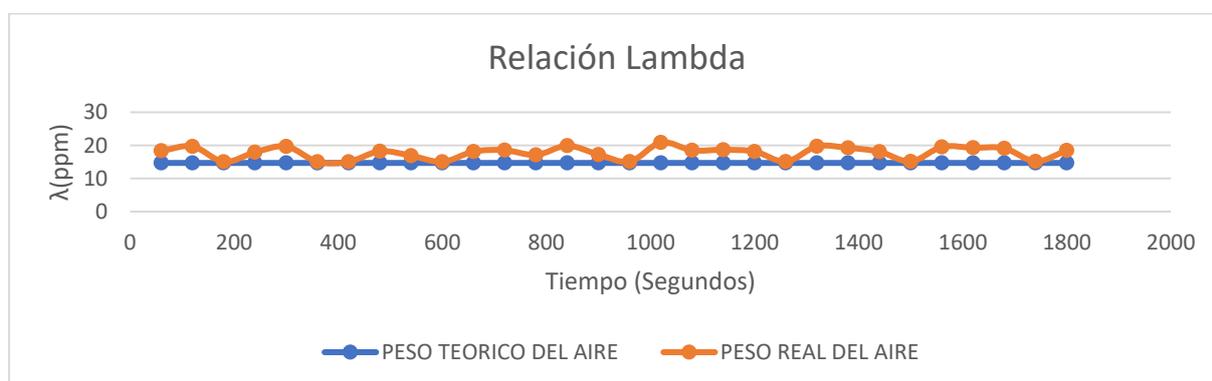


Figura 31. Factor Lambda (AFR)

4.4 Pruebas Estáticas a diferentes regímenes de giro– VP1-U

El régimen de giro del vehículo de prueba asciende de un valor mínimo de 850 RPM a un máximo de 4500 RPM, dichos valores se elevan paulatinamente durante toda la prueba. Los datos de CO₂ se observan con una elevación porcentual significativa de 12.8 a 15.1, visualizados en la figura 32.

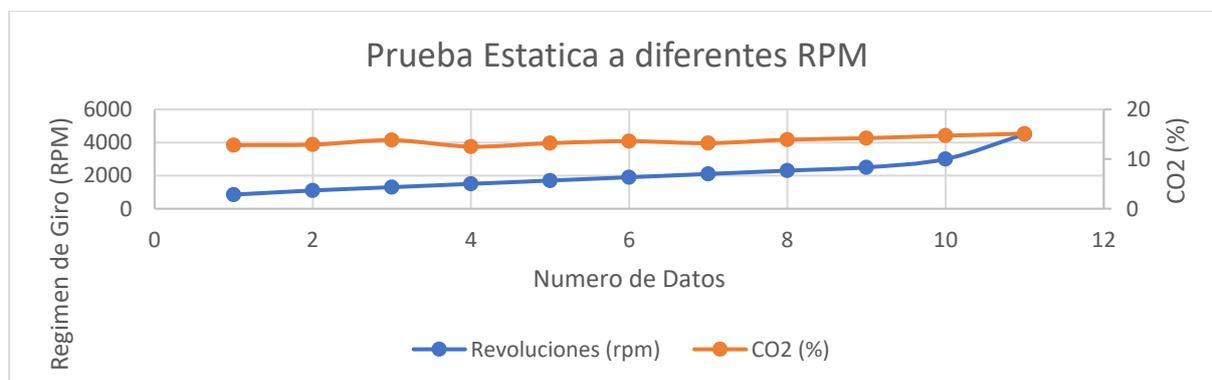


Figura 32. CO₂ a diferentes regímenes de giro

Conforme el régimen de giro aumenta hasta un valor máximo de 4500 RPM, se observa un ascenso mínimo de 0.62 % a 1.82 % en los datos de CO, valores observados en la figura 33.

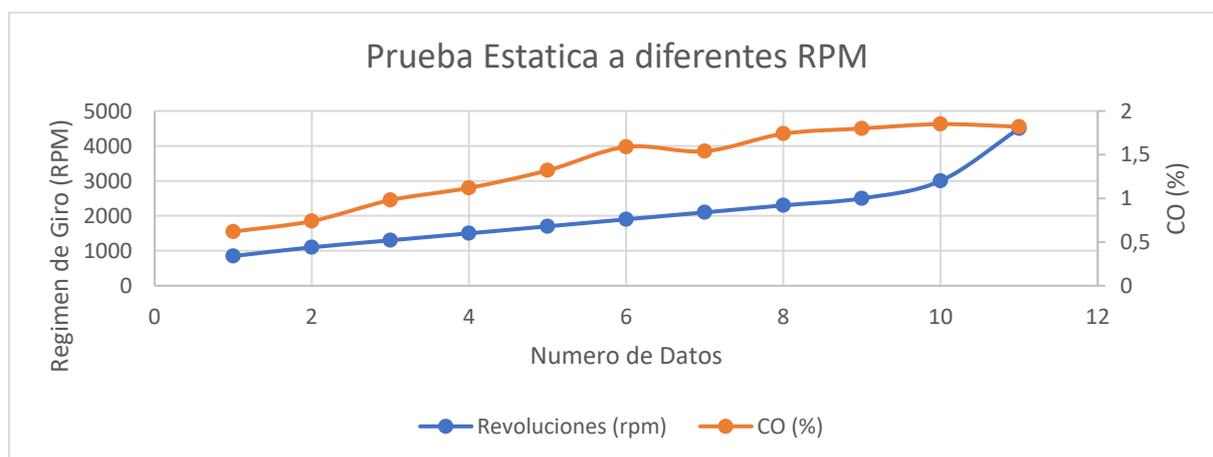


Figura 33. CO a diferentes regímenes de giro

Los valores de O₂ descienden de un máximo de 3.5%, hasta un mínimo de 0.5 %, mientras que el comportamiento de la curva de régimen de giro mantiene un ascenso significativo, Características observadas en la figura 34.

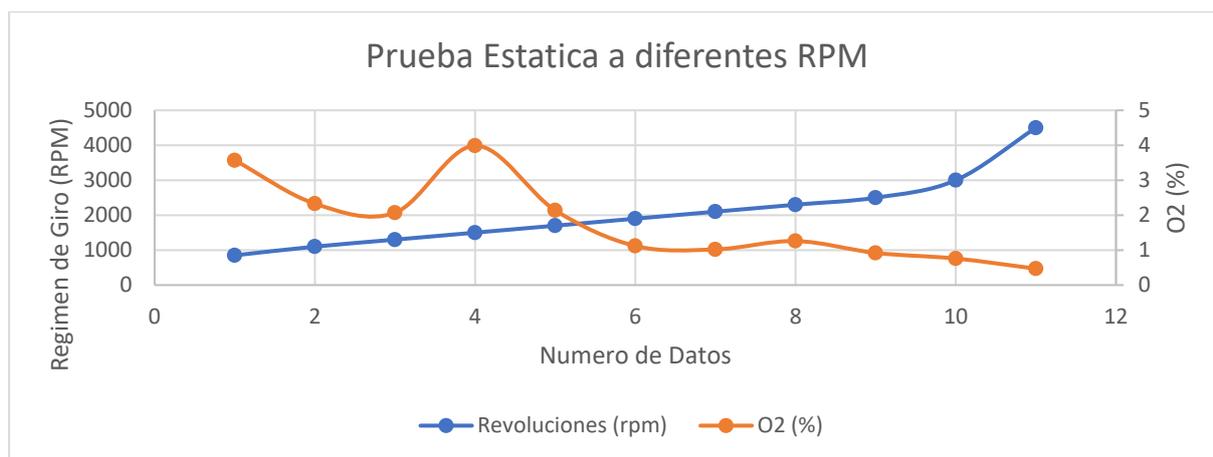


Figura 34. O₂ a diferentes regímenes de giro

En la figura 35, se evidencia fluctuaciones en toda la duración de la prueba, con valores de HC mínimos de 195 ppm y máximos de 230 ppm, conforme los regímenes de giro aumentan.

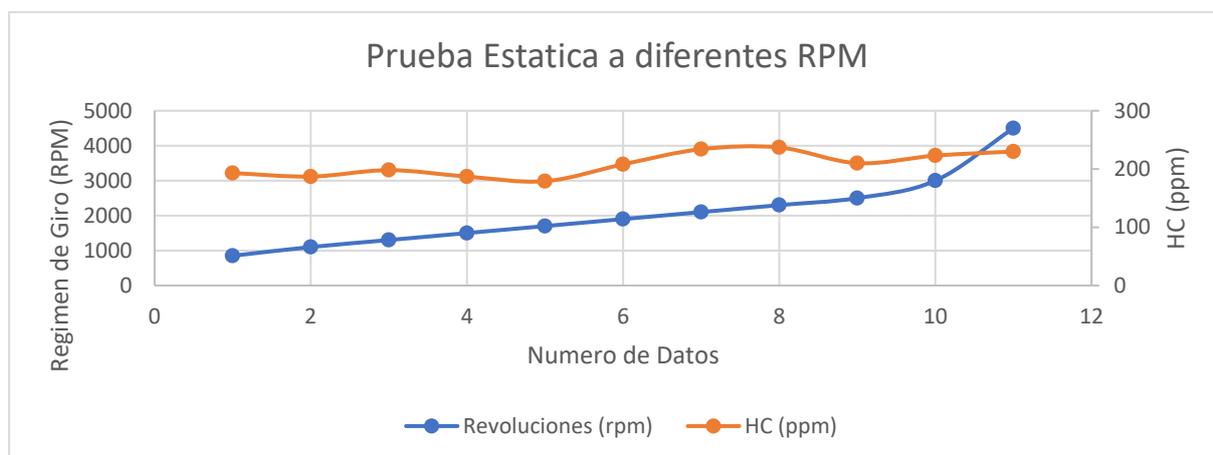


Figura 35. HC a diferentes regímenes de giro

Se visualizan tres curvas en la figura 36; las dos primeras (azul, anaranjado); establecen los comportamientos del peso teórico y real del aire, con fluctuaciones considerables durante toda la prueba estática. En la tercera curva (gris) se representa el ascenso paulatino del régimen de giro del vehículo de prueba equipado con catalizador usado de dos vías.

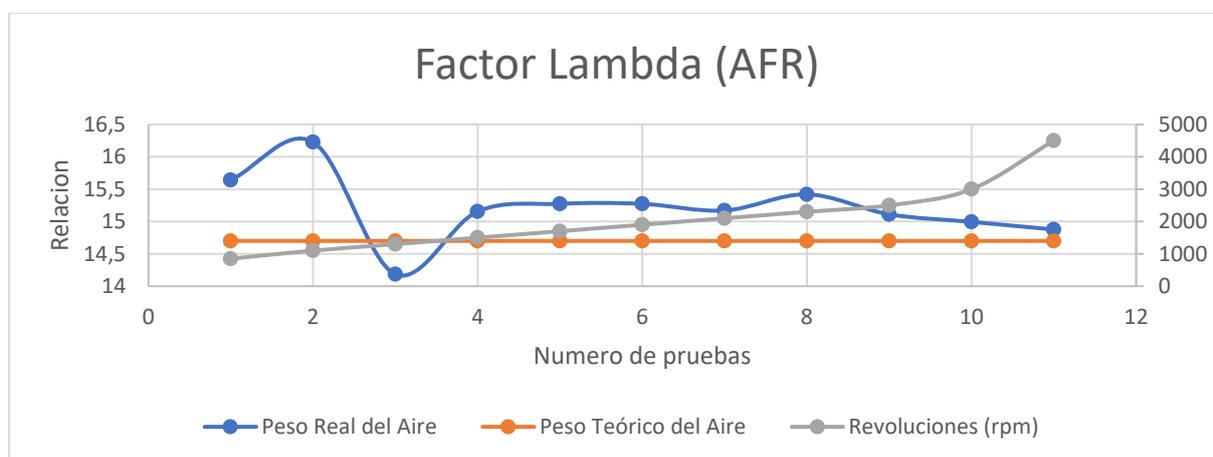


Figura 36. Factor Lambda (AFR) a diferentes regímenes de giro

4.5 NEDC– VP1-U

Los valores porcentuales de CO₂ durante los 1200 segundos de duración de la prueba, se observan con una estabilidad, con ligeras variaciones entre su valor inicial y final de 3.5%,

visualizadas en la figura 37.

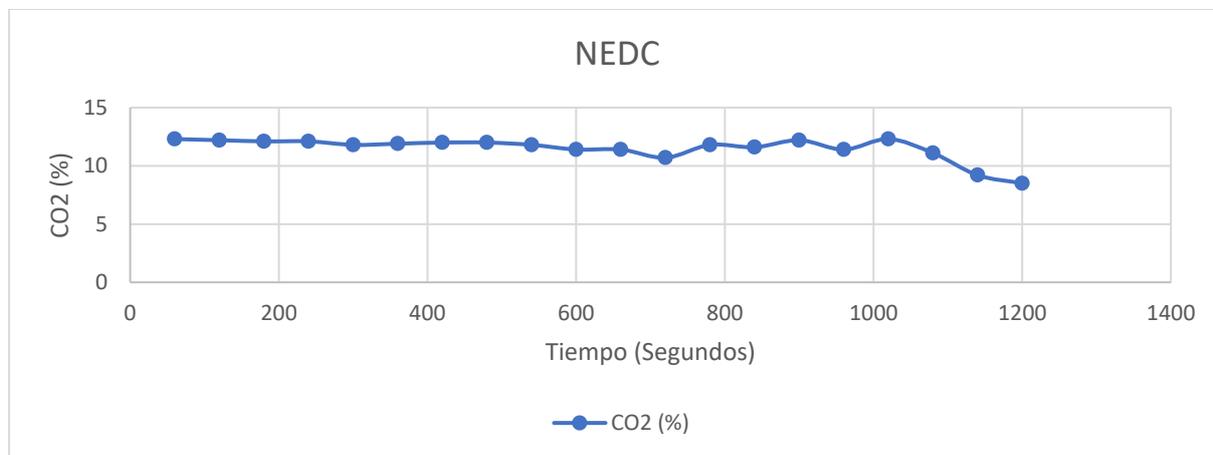


Figura 37. NEDC - CO₂ vs Tiempo

En la figura 38 se visualiza durante 1200 segundos el comportamiento de CO, con dos fluctuaciones considerables de 0.26 % y de 0.24 % en el transcurso del ciclo de conducción NEDC.

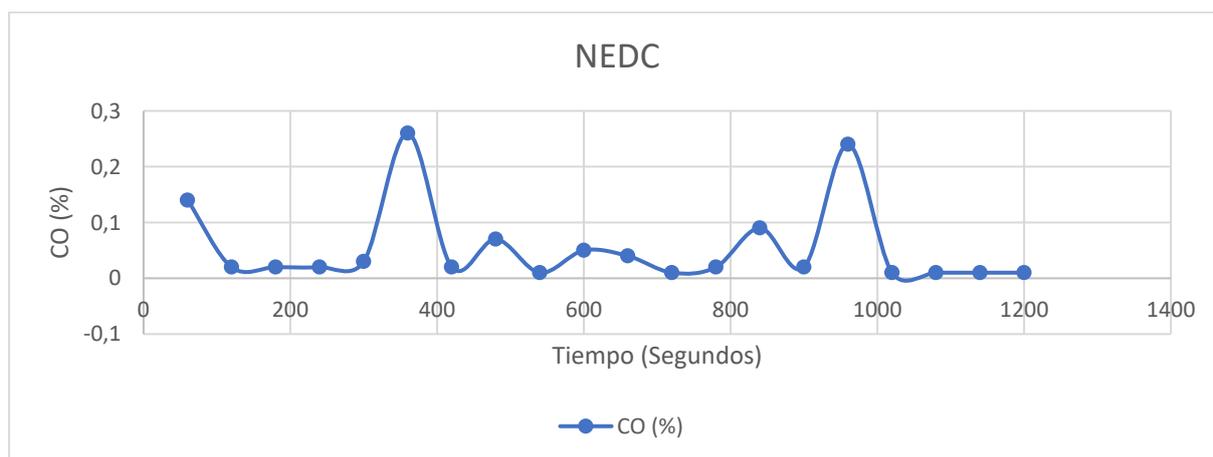


Figura 38. NEDC - CO vs Tiempo

Los valores de O₂ se observan con variaciones poco significativas durante los primeros 720 segundos de la prueba, a partir de ese momento se evidencian dos fluctuaciones, una mínima 5.1 % y una máxima de 6.2 %, comportamientos evidenciados en la gráfica 39.

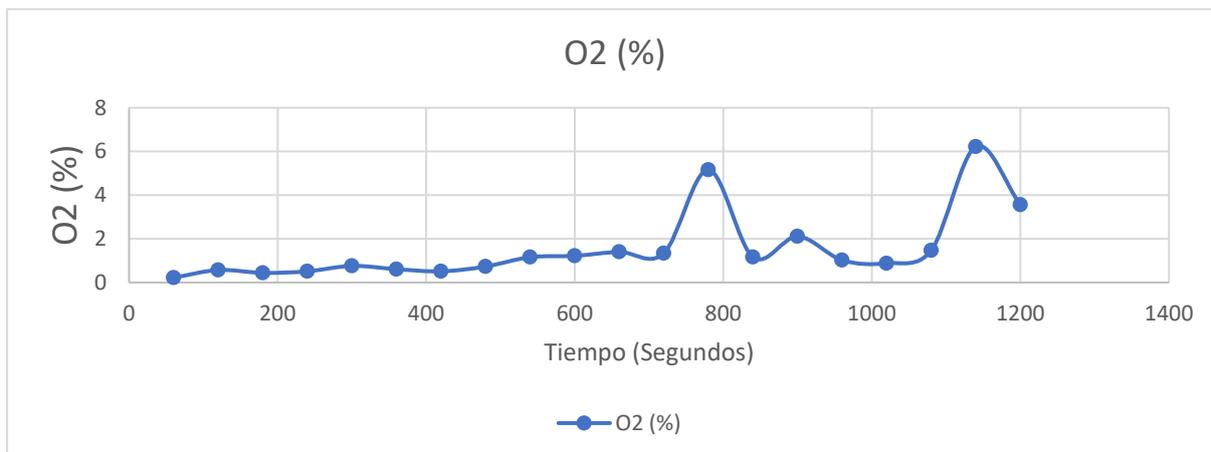


Figura 39. NEDC – O₂ vs Tiempo

Se visualiza el comportamiento de partículas por millón de los Hidrocarburos (HC) durante 1200 segundos en la figura 40, para lo cual se evidencian tres fluctuaciones considerables en los segundos 420, 600 y 720, con valores de 151, 283 y 77 respectivamente.

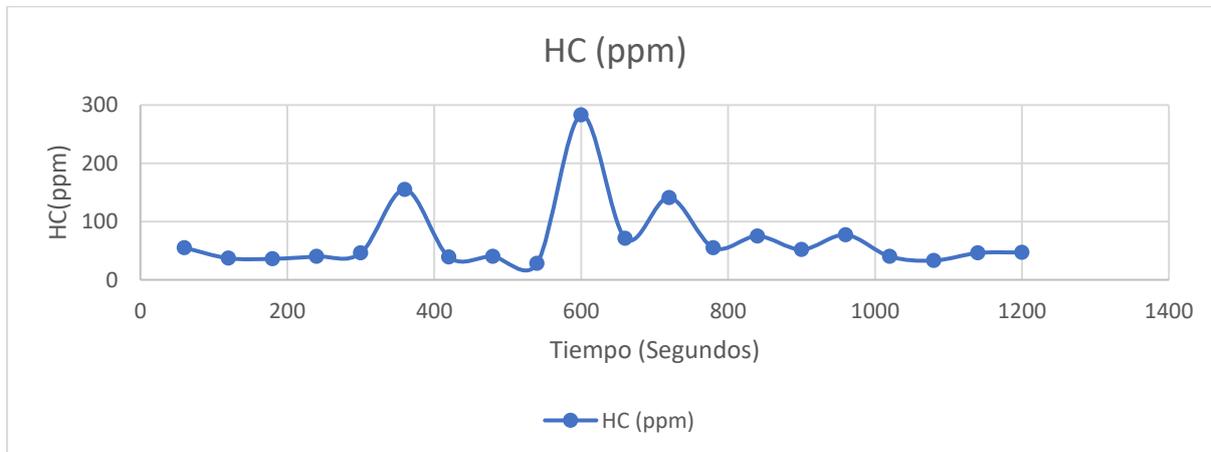


Figura 40. NEDC – HC vs Tiempo

Son dos curvas que se observa en la figura 41, las cuales establecen los comportamientos del peso teórico y real del aire, durante el transcurso del protocolo armonizado NEDC. La primera curva evidencia un valor fijo de 14.7. En la segunda se evidencia un acercamiento considerable a la curva con el valor constante antes mencionado.

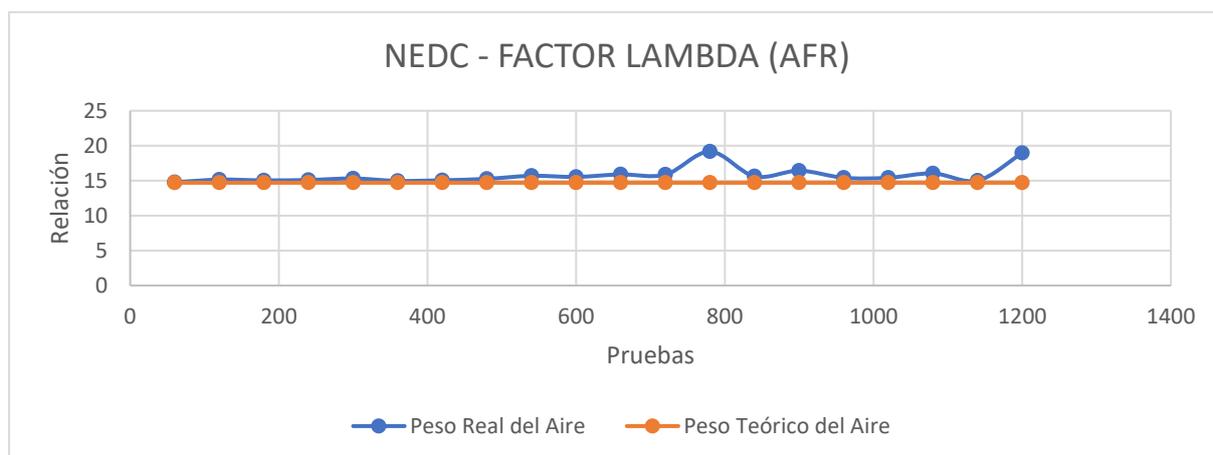


Figura 41. NEDC – Factor lambda (AFR) vs Tiempo

4.6 WLTP – VP1-U

El comportamiento de CO₂, se mantiene entre 12.1% y 12.4%, con fluctuaciones en determinados momentos durante los 1800 segundos de duración de la prueba, características visualizadas en la figura 42.

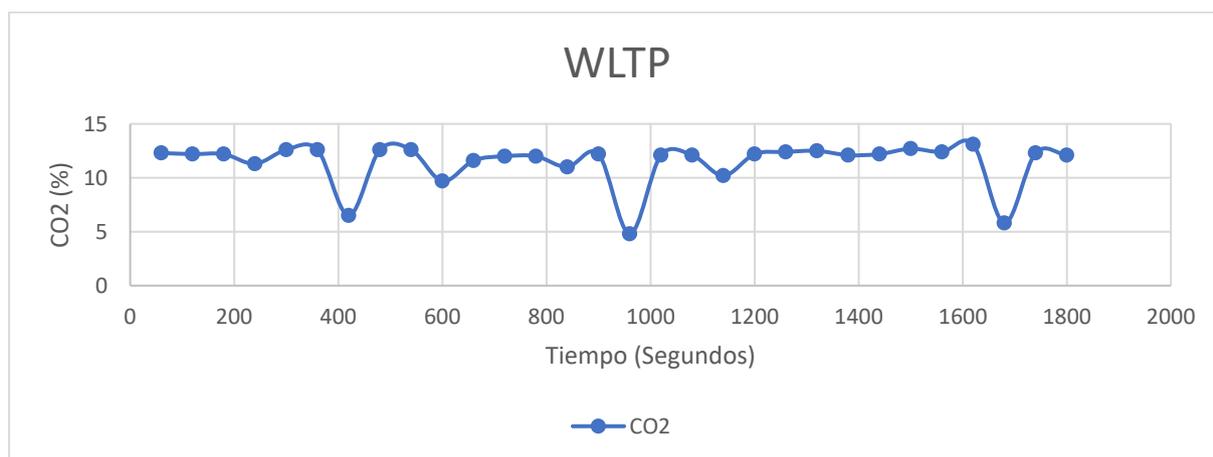


Figura 42. WLTP - CO₂ vs Tiempo

En la figura 43, se evidencia el comportamiento del CO, con un valor mínimo de 0.03 % y máximo de 1.5 % en la prueba WLTP, se mantiene oscilaciones poco significativas conforme la velocidad del vehículo de prueba aumenta.

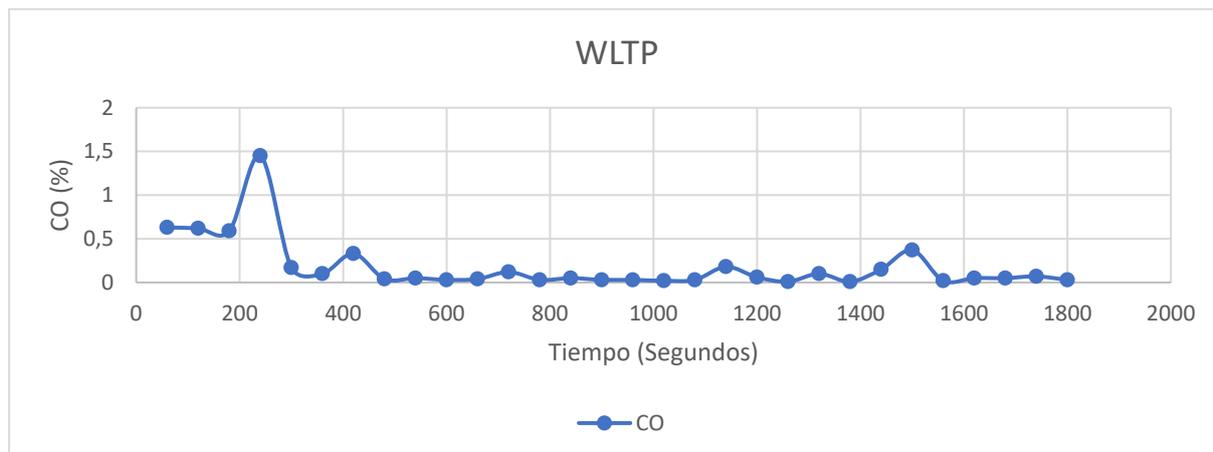


Figura 43. WLTP - CO vs Tiempo

Se evidencia el comportamiento de los valores tomados durante 1800 segundos del O₂, con datos porcentuales de 0.5 hasta 2.2, con dos variaciones; la primera de 6.2 % en el segundo 720 y la segunda de 7.6 % al finalizar la prueba, características observadas en la figura 44.

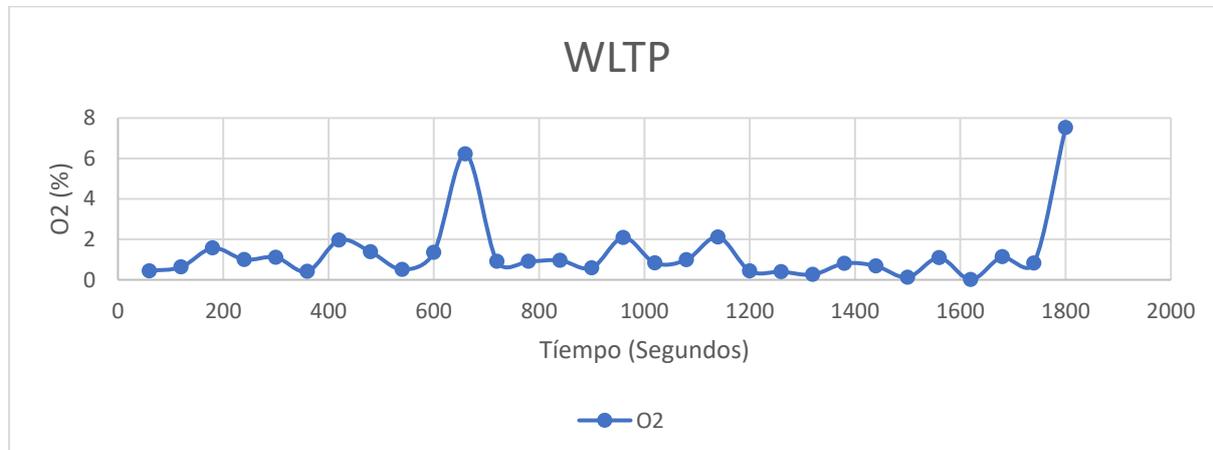


Figura 44. WLTP - O₂ vs Tiempo

Se reconoce un descenso paulatino en el comportamiento de los valores de hidrocarburos, conforme transcurre el tiempo de duración de la prueba, con un valor máximo (307 ppm) y mínimo (55 ppm), para lo cual se tiene un punto de estabilidad al segundo 600, con 60 ppm, comportamientos observados en la figura 45.

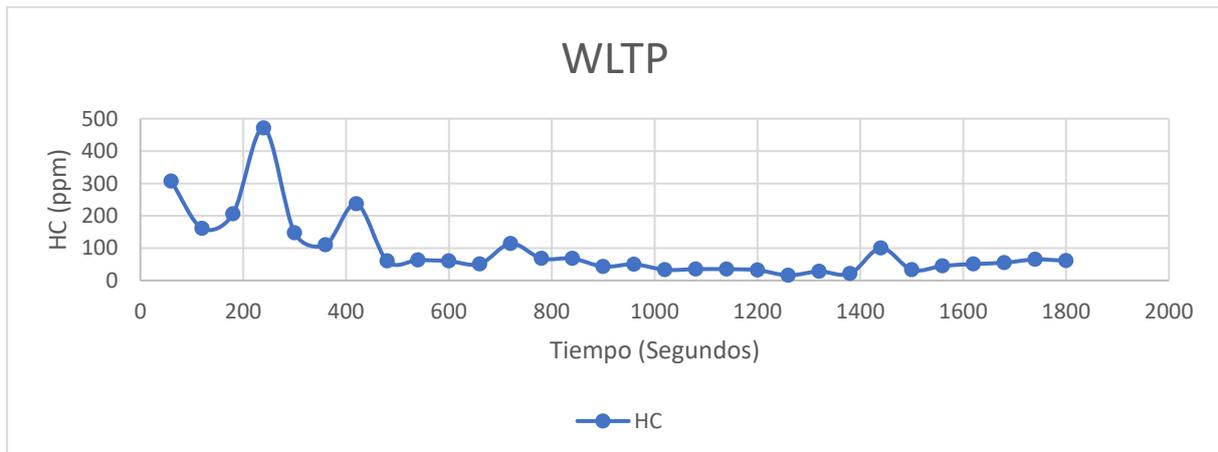


Figura 45. WLTP – HC vs Tiempo

Se evidencia dos curvas en la figura 46, que establecen los comportamientos del peso teórico y real del aire, durante el ciclo de conducción WLTP. En la primera curva se observa un valor contante de 14.7. En la segunda curva; se observa que en reiteradas ocasiones los datos son similares con el valor fijo antes mencionado.

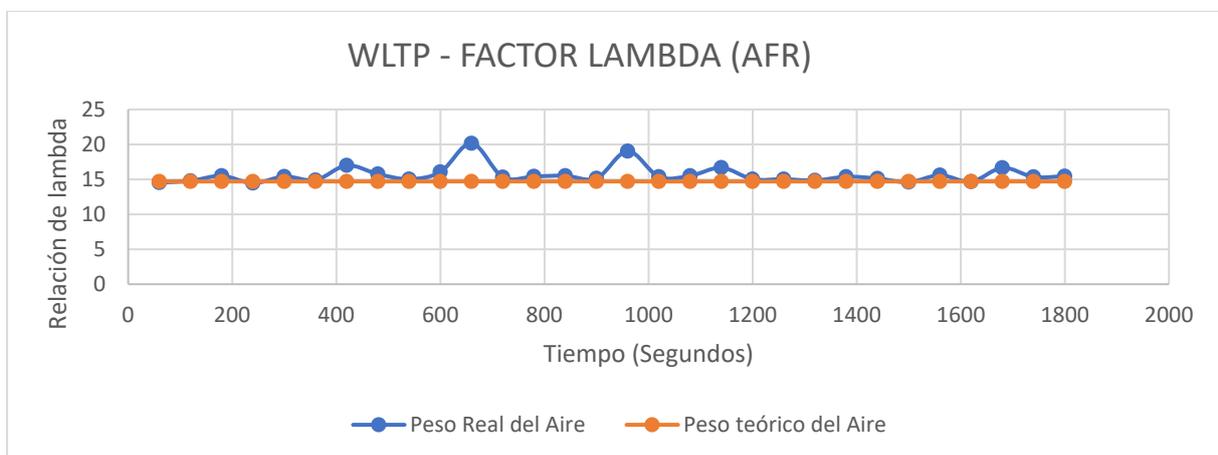


Figura 46. WLTP – Factor Lambda (AFR)

4.7 Pruebas Estáticas – VP1-N

Los valores porcentuales máximos y mínimos del CO₂ son de 12 y 11.7 respectivamente, con variaciones poco significativas durante toda la prueba. En las curvas que describen el

comportamiento térmico del catalizador y motor se observa un ascenso paulatino en los 1800 segundos de prueba. Evidenciados en la figura 47.

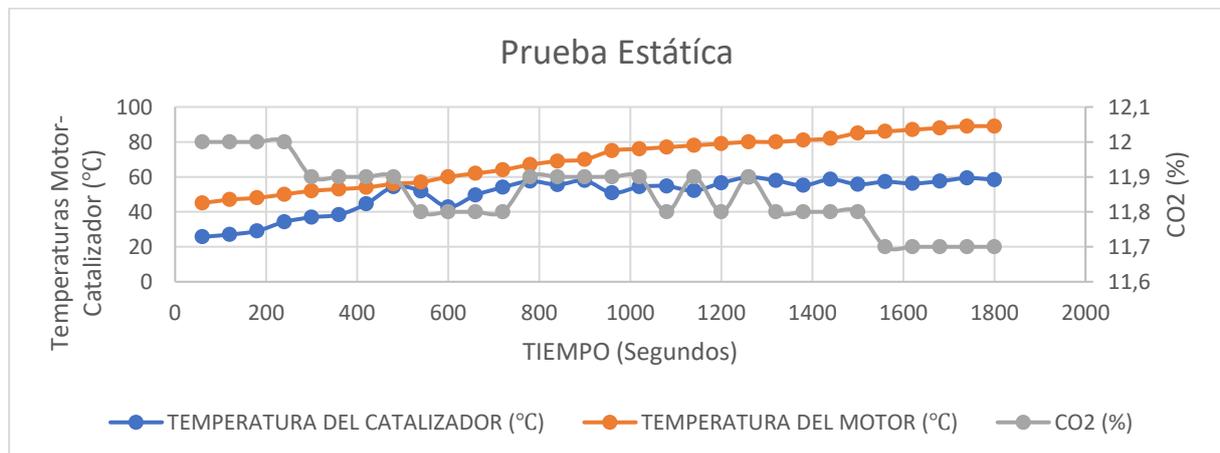


Figura 47. CO₂ vs Temperatura de motor y catalizador

En la figura 48 se visualiza una elevación en la curva de temperatura del catalizador durante de toda la prueba, se observa un valor inicial de 26 °C y final de 59 °C. En la curva que describe el comportamiento térmico del motor se evidencia un ascenso de temperatura hasta encontrar una estabilidad en los 89°C. Los valores de CO presentan una curva descendente con una variación de 0,24% entre el valor inicial y final.

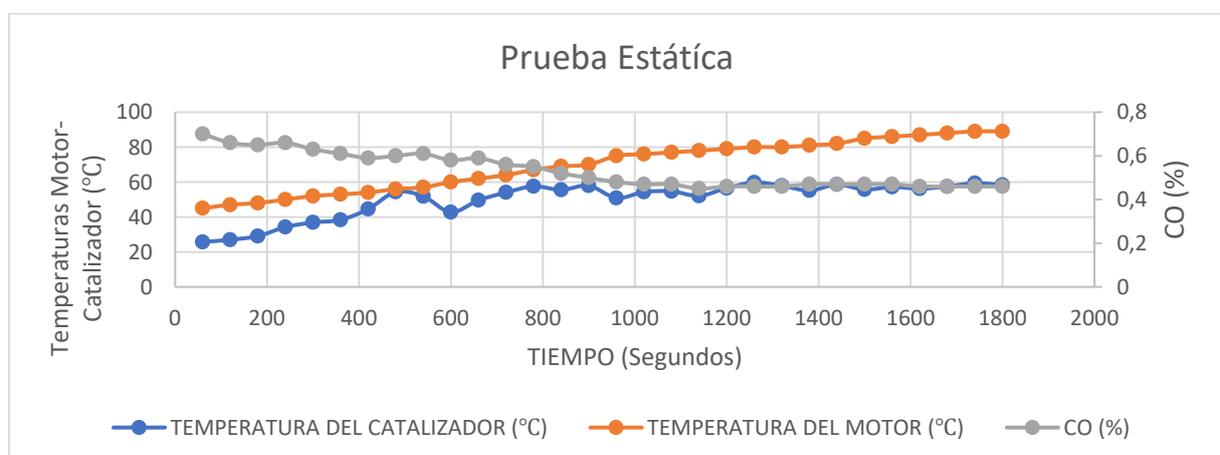


Figura 48. CO vs Temperatura de motor y catalizador

Los datos receptados de O₂ durante los 1800 segundos de duración de la prueba evidencian grandes fluctuaciones con un valor máximo de 1,18% y un valor mínimo de 0,89%. Se observa que las curvas del comportamiento térmico del catalizador y del motor alcanzan los 59 °C y 89 °C respectivamente, variaciones observadas en la figura 49.

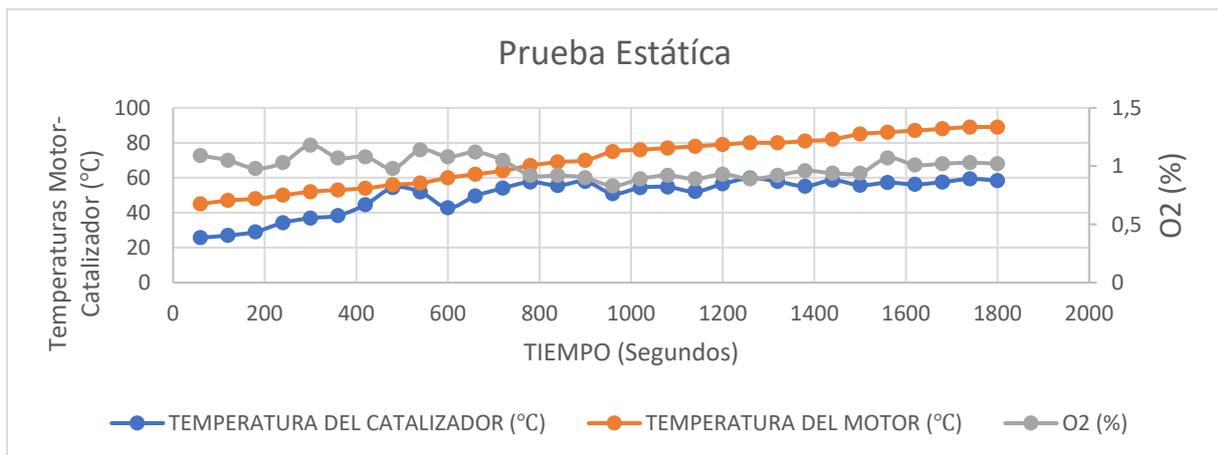


Figura 49. O₂ vs Temperatura de motor y catalizador

En la figura 50, se observa el comportamiento de los hidrocarburos (HC), para lo cual se visualiza una elevación en sus valores. El comportamiento térmico del catalizador y del motor aumenta de forma progresiva.

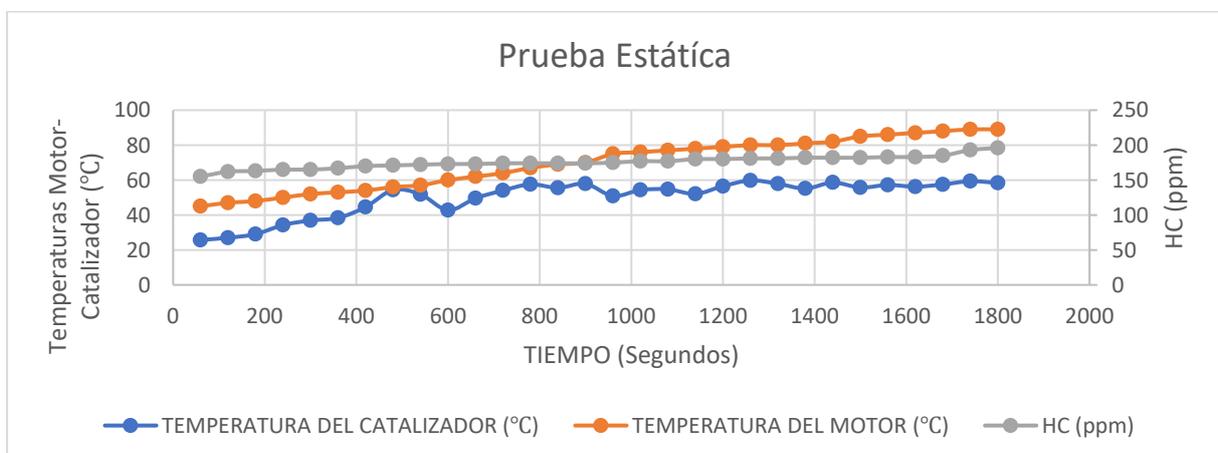


Figura 50. HC vs Temperatura de motor y catalizador

Las curvas evidenciadas representan el peso teórico y real del aire, con variaciones poco significativas. En el transcurso de toda la prueba se visualiza aproximaciones al valor estequiométrico constante de 14.7, valores observados en la figura 51.

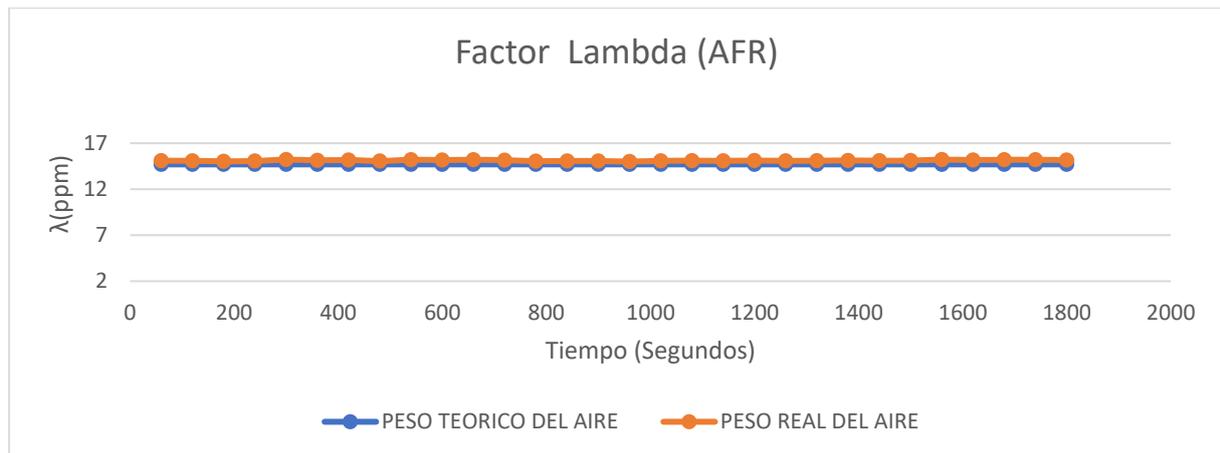


Figura 51. Factor Lambda (AFR)

4.8 Pruebas Estáticas a diferentes regímenes de giro – VP1-N

Conforme el régimen de giro del motor se eleva, los valores del dióxido de carbono también se elevan de 12.2 % a 13.5 %, comportamiento observado en la figura 52.

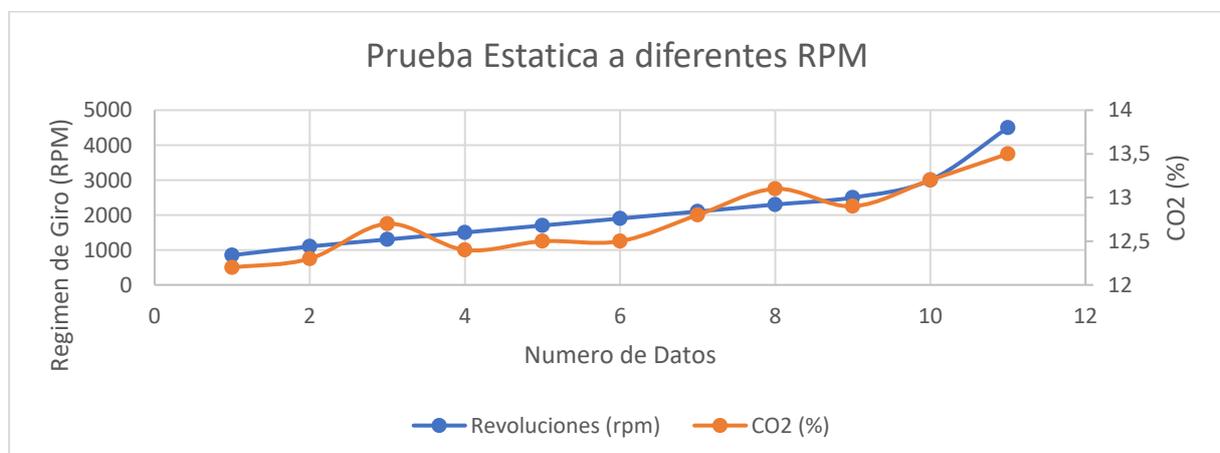


Figura 52. CO₂ a diferentes regímenes de giro

Se visualiza una estabilidad en el comportamiento de los valores de CO, hasta el momento en que el contador de revoluciones marca 2100 rpm. A partir de ese instante existen dos fluctuaciones en sus datos, para luego decaer nuevamente y tener el equilibrio visto los primeros segundos de la prueba, características evidenciadas en la figura 53.

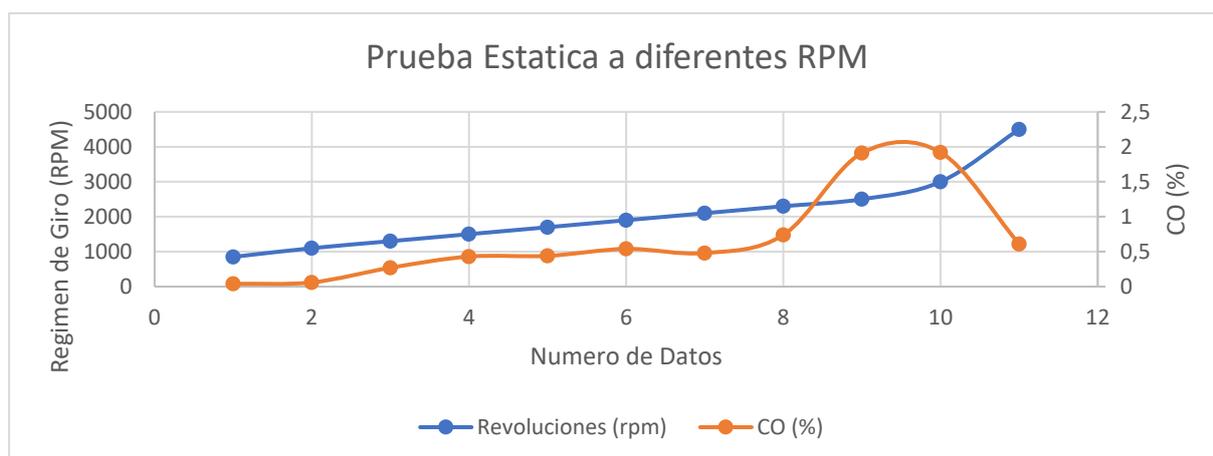


Figura 53. CO a diferentes regímenes de giro

En la figura 54 se observa un descenso progresivo de los valores de O₂, con un dato inicial de 1.03 % y final de 0.2%, con un evidente ascenso en los regímenes de giro del vehículo de prueba.

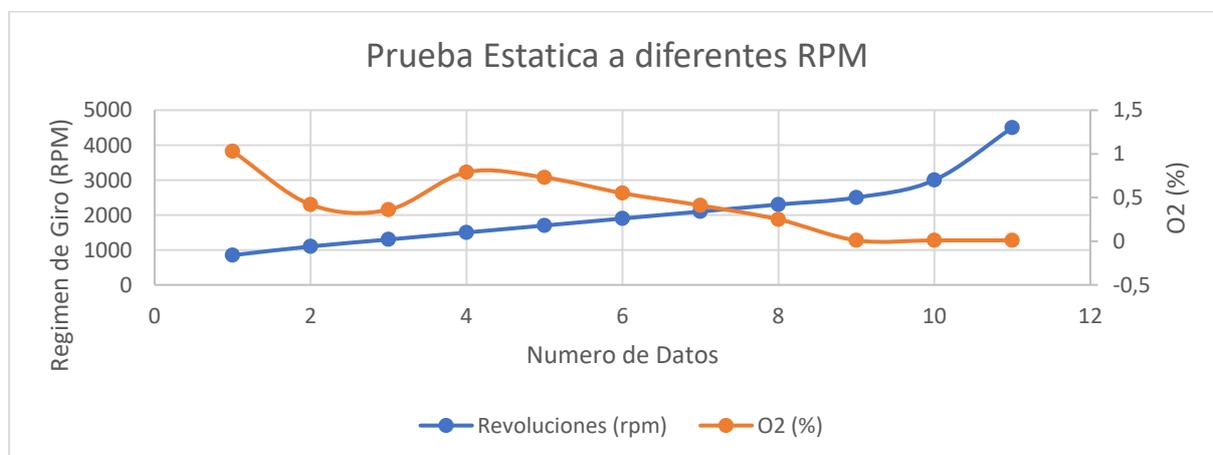


Figura 54. O₂ a diferentes regímenes de giro

Conforme el régimen de giro aumenta paulatinamente, se observa un descenso significativo en los valores de hidrocarburos (HC) de 200 (ppm) a 51 (ppm), comportamientos visualizados en la figura 55.

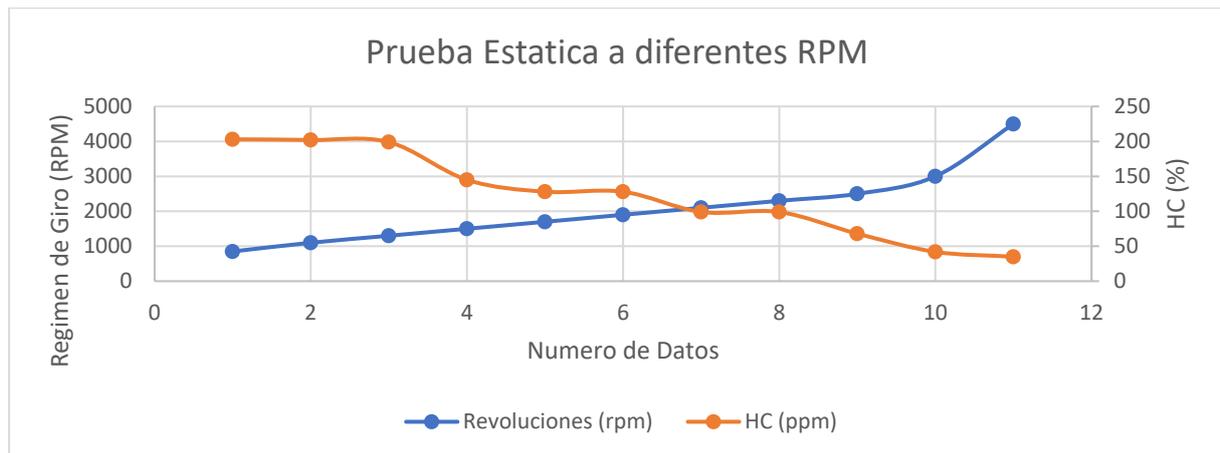


Figura 55. HC a diferentes regímenes de giro

El ascenso del régimen de giro y el comportamiento del peso real y teórico del aire es visualizado en la figura 56. En el instante que el régimen de giro del vehículo es 1900 rpm el valor del peso real del aire es de 14.7 (mezcla estequiométrica).

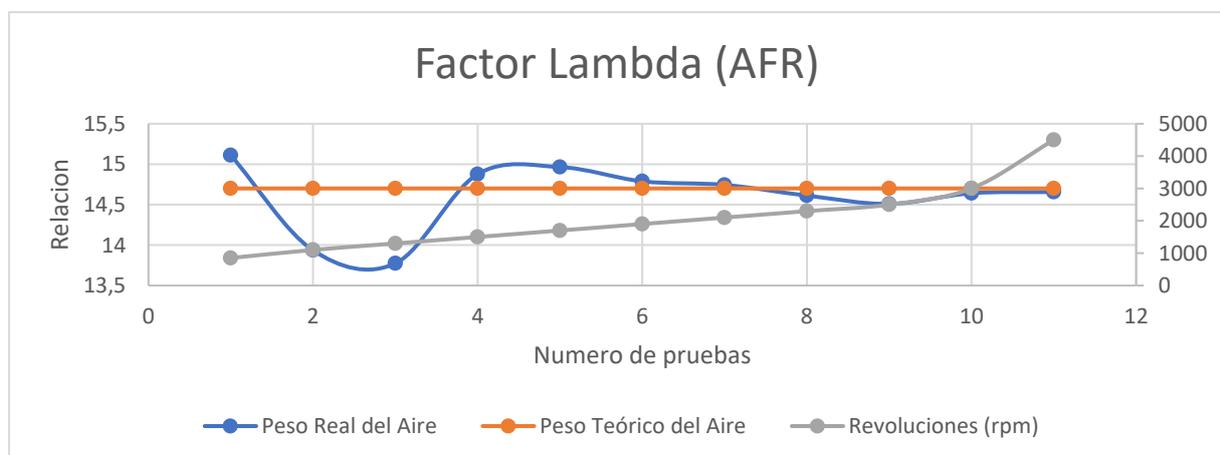


Figura 56. Factor Lambda (AFR) a diferentes regímenes de giro

4.9 NEDC – VP1-N

En la figura 57, se visualiza un descenso poco significativo de los valores de CO₂, con variaciones mínimas durante los 1200 segundos de duración de la prueba.

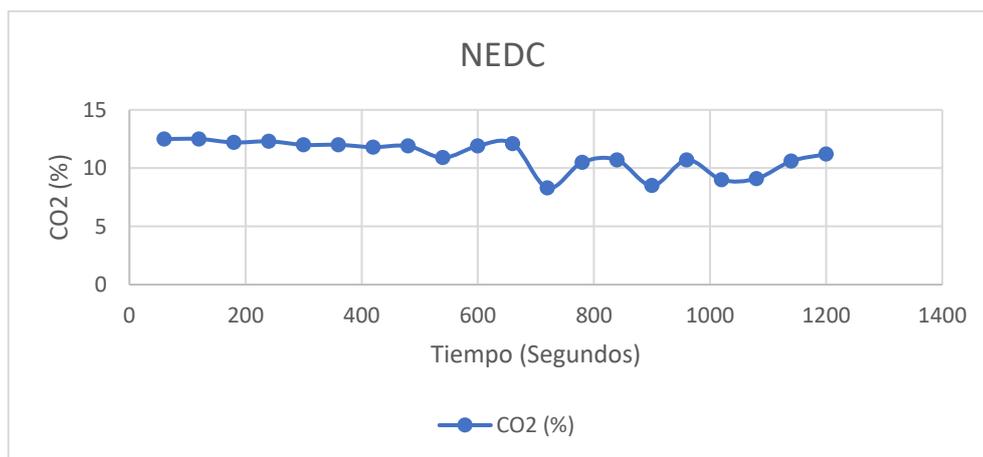


Figura 57. NEDC – CO₂ vs Tiempo

Se observa fluctuaciones en los valores de CO que oscilan entre 0.01% y 0.11% durante los 1200 segundos de duración de la prueba, características visualizadas en la figura 58.

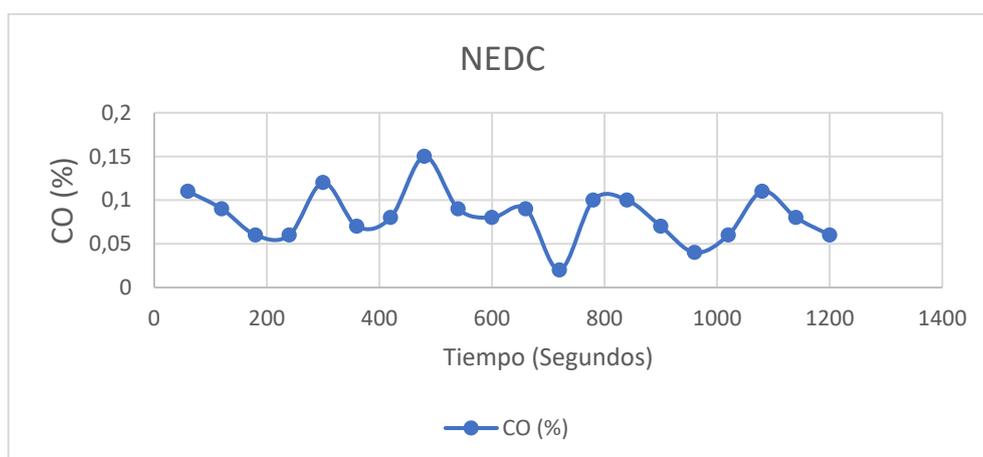


Figura 58. NEDC – CO vs Tiempo

Las variaciones en el comportamiento del O₂ durante toda la prueba se observan con valores

mínimos de 0.26 % y máximos de 1.7 %, fluctuaciones visualizadas en la figura 59.

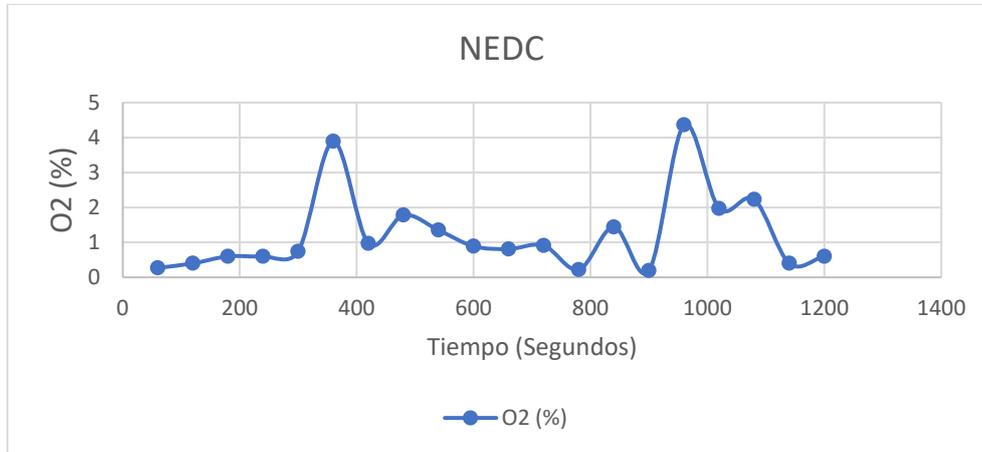


Figura 59. NEDC – O₂ vs Tiempo

En la figura 60, se observa un valor inicial de 47 ppm y final de 62 ppm, con variaciones poco considerables en el transcurso de la prueba dinámica NEDC con un catalizador nuevo de dos vías.

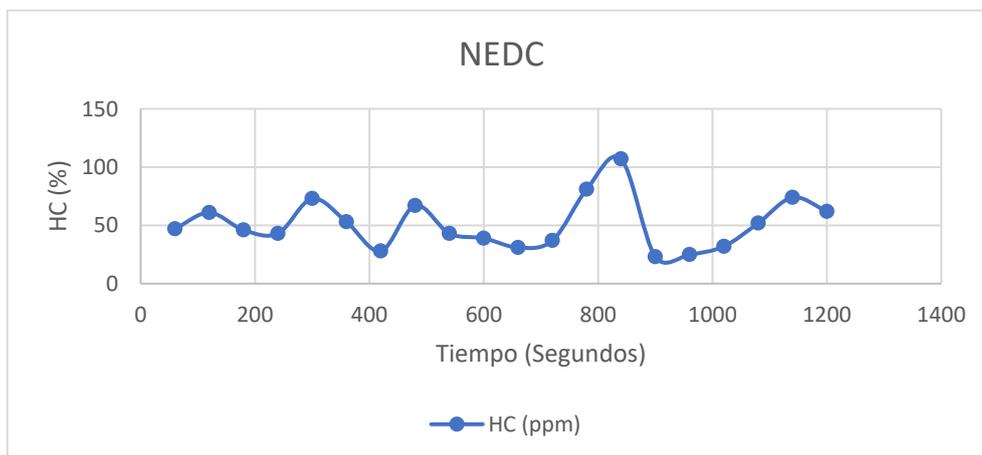


Figura 60. NEDC – HC vs Tiempo

Las curvas observadas en la figura 61 representan, la primera (azul) el peso real del aire; con un comportamiento bastante similar al valor de la segunda gráfica, que marca la tendencia del valor estequiométrico de 14.7.

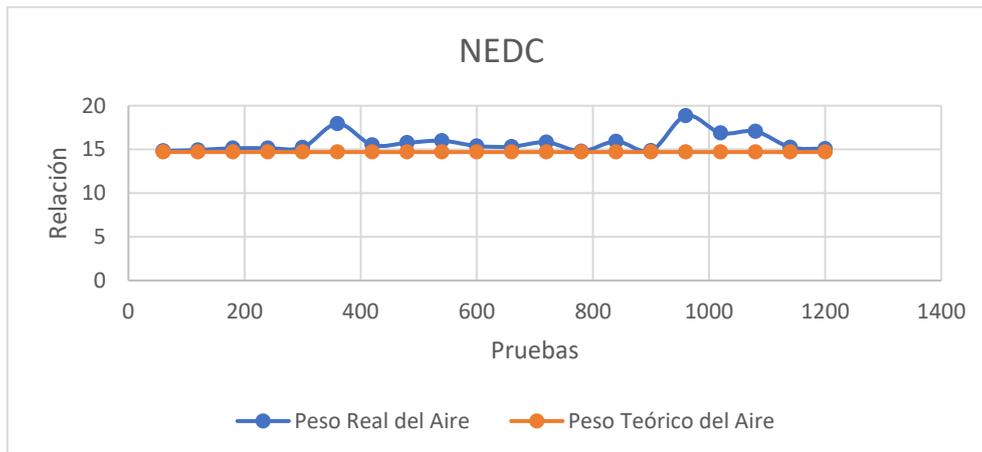


Figura 61. NEDC – Factor lambda (AFR) vs Tiempo

En la siguiente figura número 62, se visualiza la relación existente entre el comportamiento del sensor MAP, la carga del motor y las emisiones de CO₂; con una unidad de media de kPa para el primero y porcentaje para los dos restantes. Las curvas azul y gris describen fluctuaciones con ascensos y descensos similares durante toda la prueba, para observar valores mínimos de 10.9% y máximos de 11.9 % en lo que se refiere a los datos del dióxido de carbono.

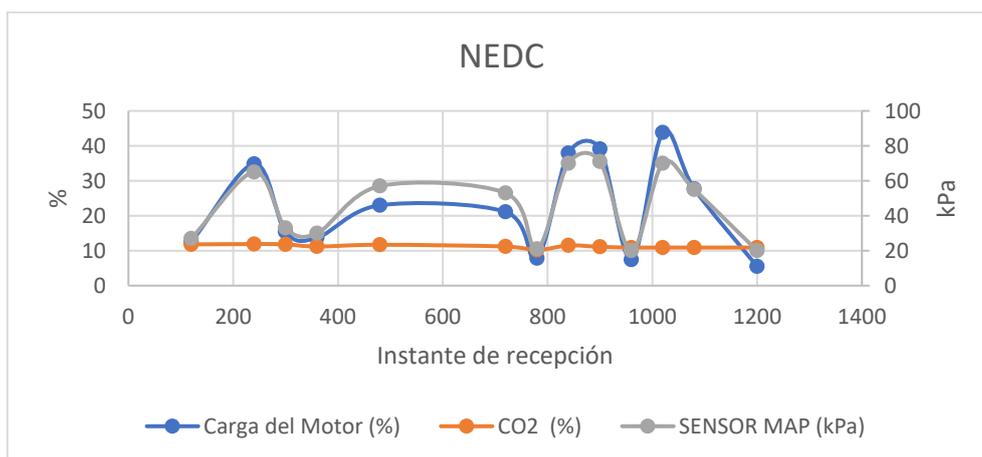


Figura 62. NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs CO₂

Conforme los valores de la carga del motor y del sensor MAP se mantienen con similares fluctuaciones durante los 1200 segundos de la prueba, los datos porcentuales de CO varían entre un valor inicial de 0.14 % y final de 0.15 %, comportamientos visualizados en la figura 63.

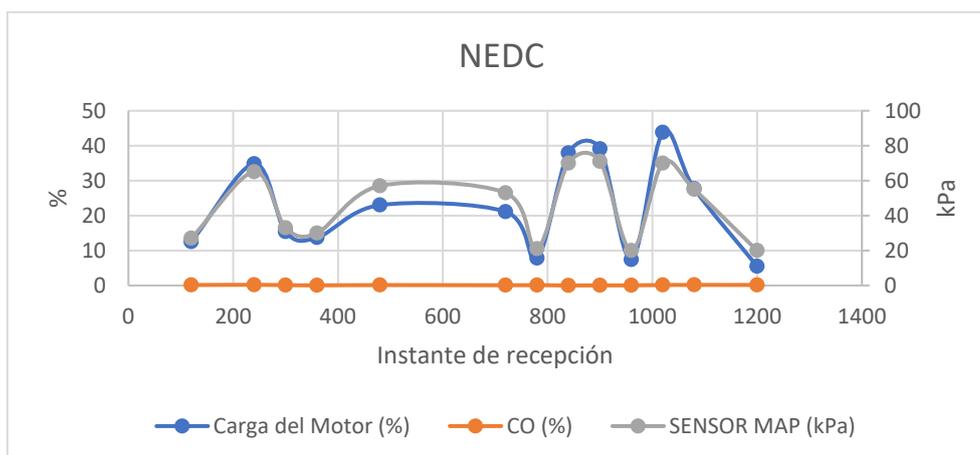


Figura 63. NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs CO

En la figura 64, se visualiza los valores del O₂, con valores mínimos de 0.44 % y máximos de 0.88 %, para lo cual se evidencia una fluctuación mínima con respecto a las curvas de la carga del motor y del sensor MAP que se mantienen con oscilaciones significativas durante el transcurso de la prueba.

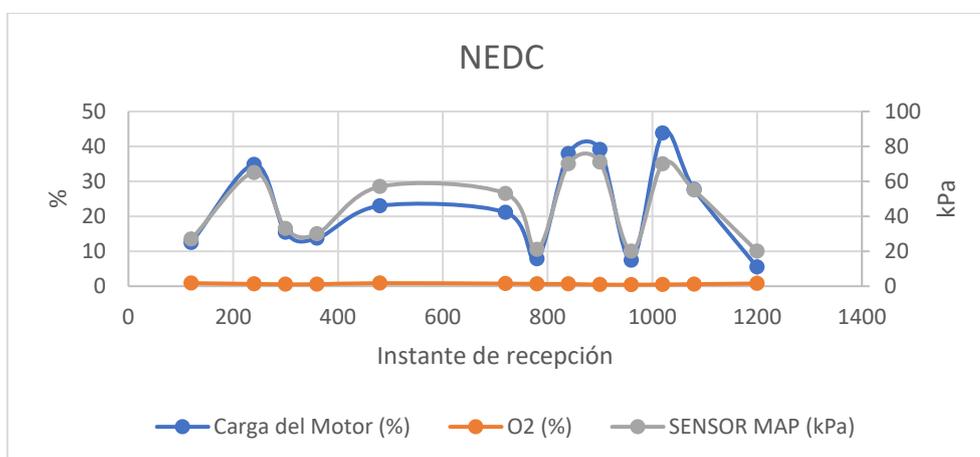


Figura 64. NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs O₂

Se observa una similitud en la mayoría de fluctuaciones de las curvas de carga de motor; con un valor mínimo de 5.5 % y máximo de 43.8 % y del sensor MAP con un pico máximo de 70 kPa. La curva que representa el comportamiento de los valores de HC se mantiene en un rango de 89 ppm, todas las características detalladas son visualizadas en la figura 65.

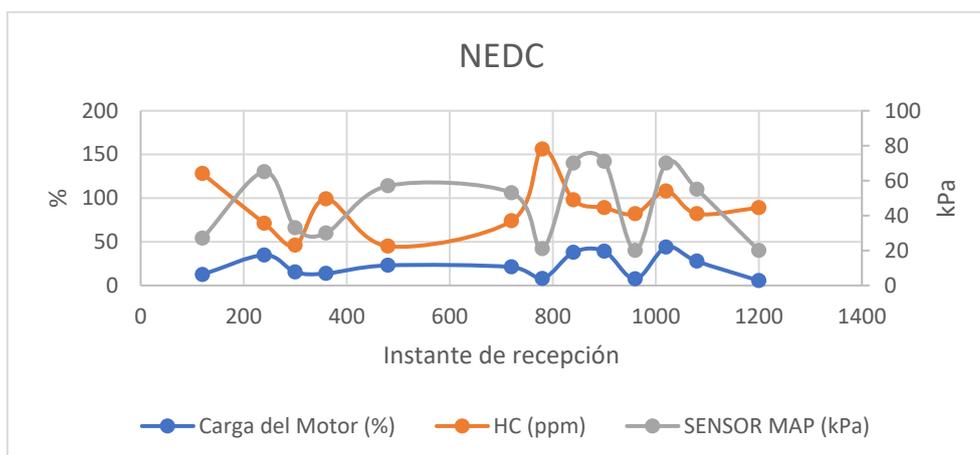


Figura 65. NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs HC

Las curvas visualizadas en la figura 66 representan la carga del motor y el comportamiento del sensor MAP. Las dos graficas restantes (anaranjado y amarillo) evidencian el peso real y teórico del aire, manteniendo una marcada distancia con sus valores entre 15.5 y 15.1.

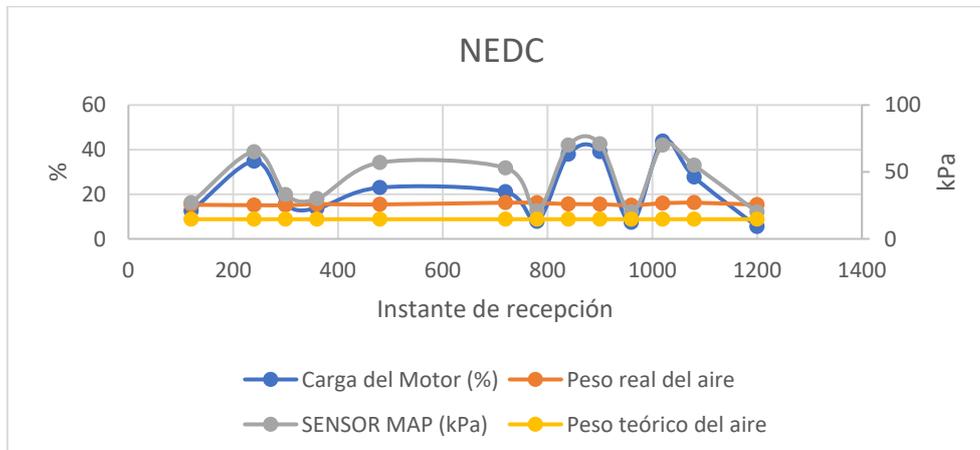


Figura 66. NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs Factor lambda (AFR)

4.10 WLTP - VP1-N

En el transcurso de toda la prueba se evidencia un equilibrio en los valores de CO₂, con dos fluctuaciones puntuales de 11.2 % y 11.1 % en los segundos 420 y 1320 respectivamente, todas las características son observadas en la figura 67.

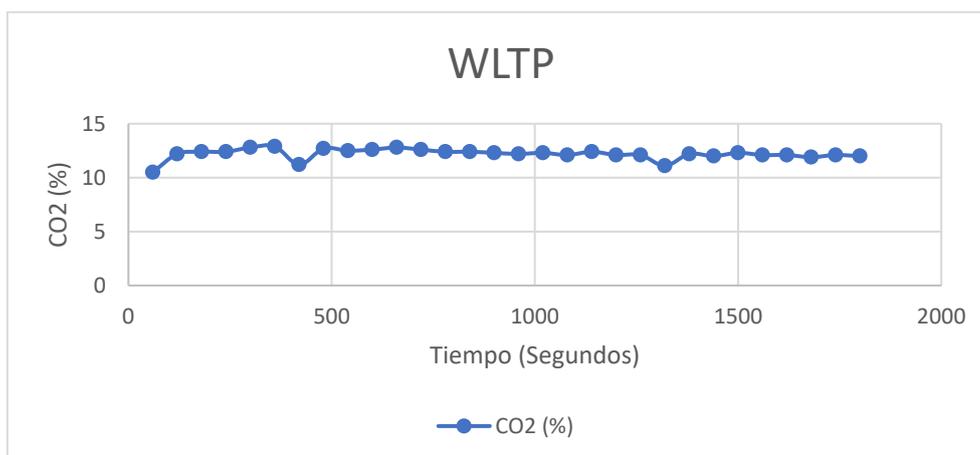


Figura 67. WLTP – CO₂ vs Tiempo

En la figura 68 se visualiza, un descenso progresivo en los valores de CO en los primeros 300 segundos de la prueba, desde un valor máximo de 1.26 % hasta 0.04 %, a partir de ese momento los datos mantienen un equilibrio hasta finalizar la prueba en el segundo 1800.

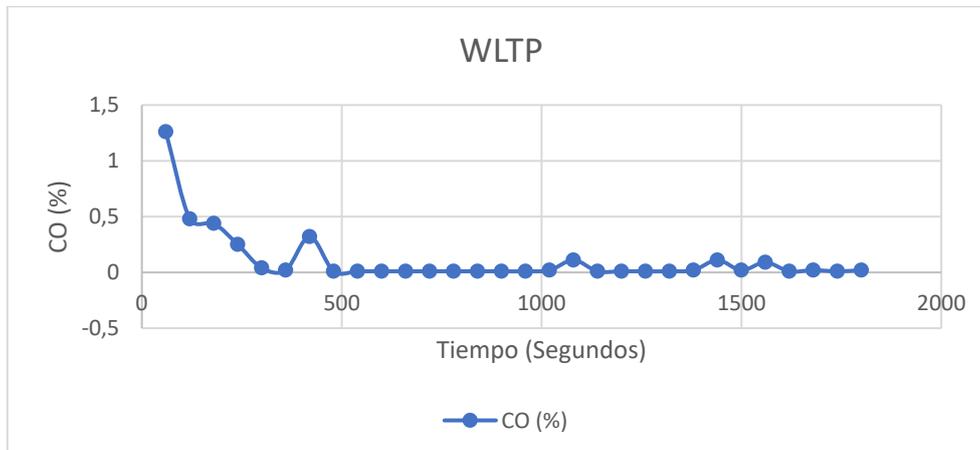


Figura 68. WLTP – CO vs Tiempo

El comportamiento del O₂, se evidencia en la figura 69, donde existe un descendimiento de 1.90 % a 0.02 % en los primeros 300 segundos de la prueba, en los 900 segundos posteriores se observa un equilibrio significativo, para que, en los 600 segundos restantes, se observe fluctuaciones con picos máximos de 0.95 % y mínimos de 0.32%.

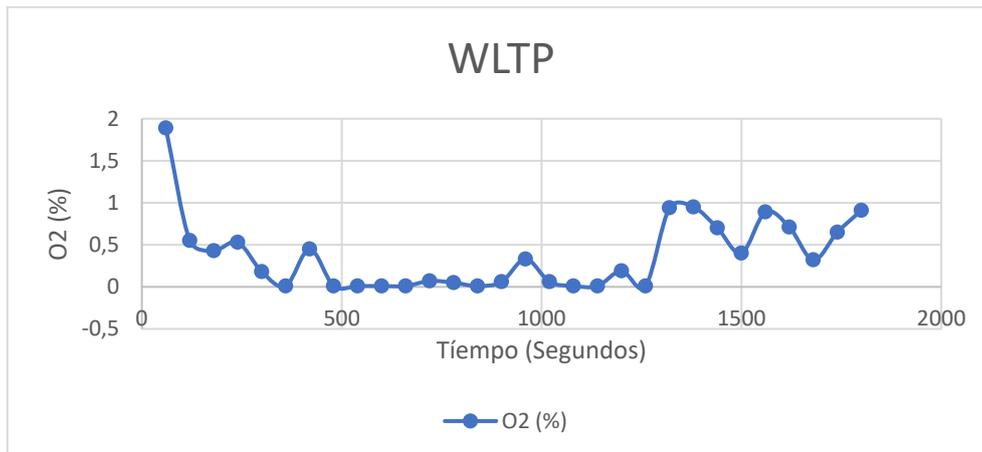


Figura 69. WLTP – O₂ vs Tiempo

Se evidencia en la gráfica 70, el comportamiento de los valores de HC durante los 1800 segundos de duración de la prueba, con valores máximos y mínimos de 203 ppm y 47 ppm respectivamente, con un pico máximo característico de 139 ppm.

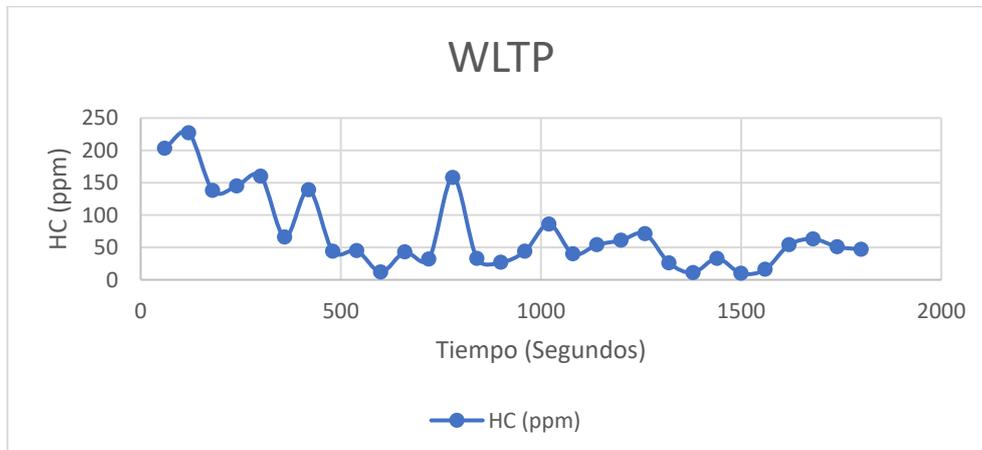


Figura 70. WLTP – HC vs Tiempo

Las curvas observadas en la figura 71 representan, el comportamiento de la curva del peso teórico y real del aire; con fluctuaciones por debajo del valor de 14.7 en determinados instantes de la prueba, se visualiza a partir del segundo 1380 los valores de la curva del peso real del aire tienden a sufrir una mayor cantidad de oscilaciones hasta retornar a un equilibrio en los últimos 300 segundos del ciclo de conducción WLTP.

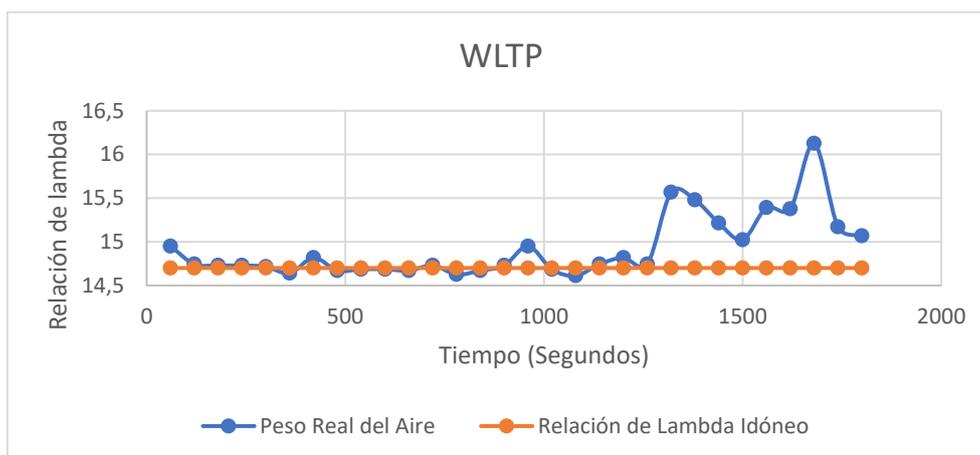


Figura 71. WLTP – Factor lambda (AFR) vs Tiempo

Las emisiones del dióxido de carbono se mantienen con oscilaciones significativas, con valores mínimos de 10.4 % y máximos de 13.2 %. El comportamiento de las curvas de la carga del motor y del sensor MAP durante los 1800 segundos de duración de la prueba, describen una similitud, con ascensos progresivos y descensos sucesivos en sus valores, características observadas en la figura 72.

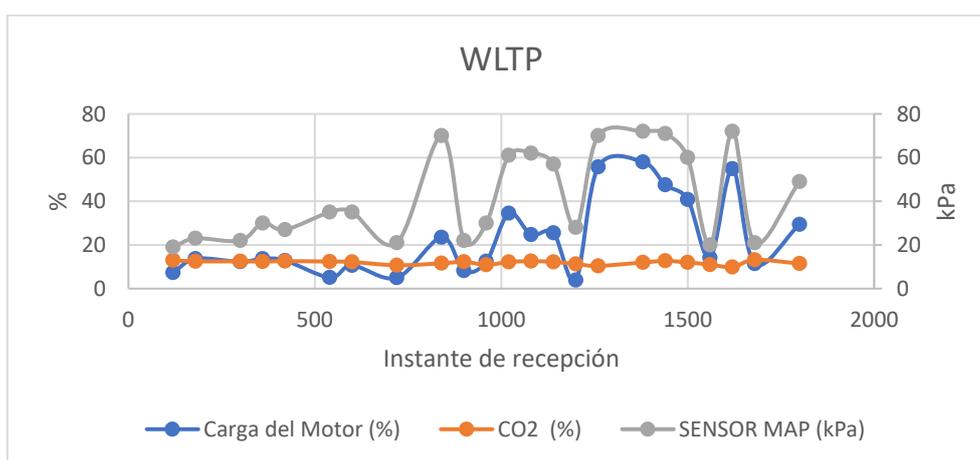


Figura 72. Carga del Motor y Sensor MAP vs CO₂

En la figura 73 se visualiza el comportamiento del CO, con valores oscilantes entre 0.34 % y 0.70%, las curvas de carga de motor y del sensor MAP describen comportamientos idénticos en el transcurso de la toda la prueba del ciclo de conducción europeo WLTP.

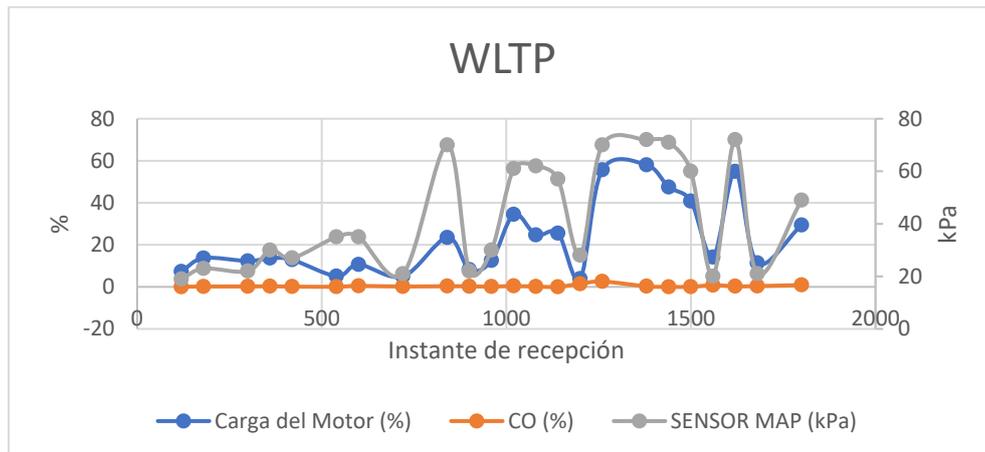


Figura 73. Carga del Motor y Sensor MAP vs CO

La curva descrita por los valores tomados de O₂ evidencian; oscilaciones poco significativas en toda la prueba, a diferencia de las curvas de la carga y del sensor MAP, que se observan fluctuaciones con picos máximos de 40.8 % y 72 kPa respectivamente, detalles visualizados en la figura 74.

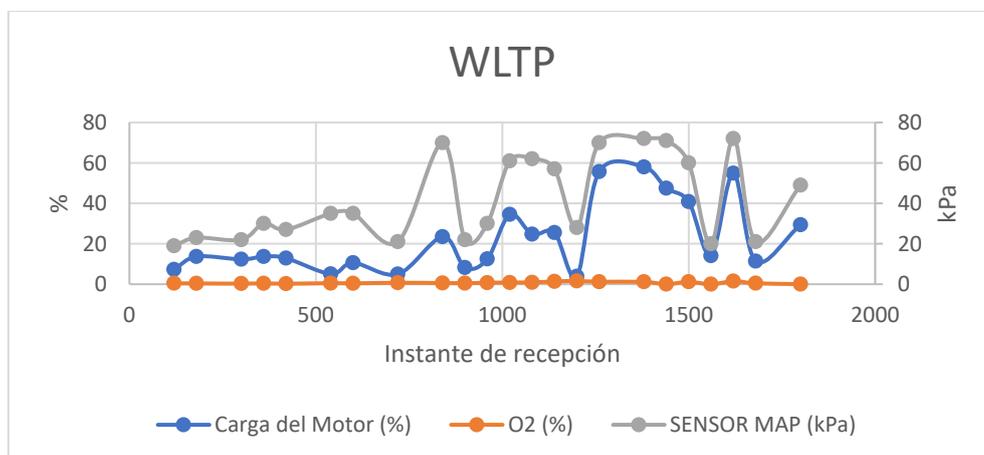


Figura 74. Carga del Motor y Sensor MAP vs O₂

El comportamiento de HC se visualiza con ascensos y descensos durante toda la prueba, con un valor pico de 105 ppm. Con respecto a las curvas de carga y del sensor MAP, mantienen oscilaciones similares en determinados momentos de la prueba, características visualizadas en la figura 75.

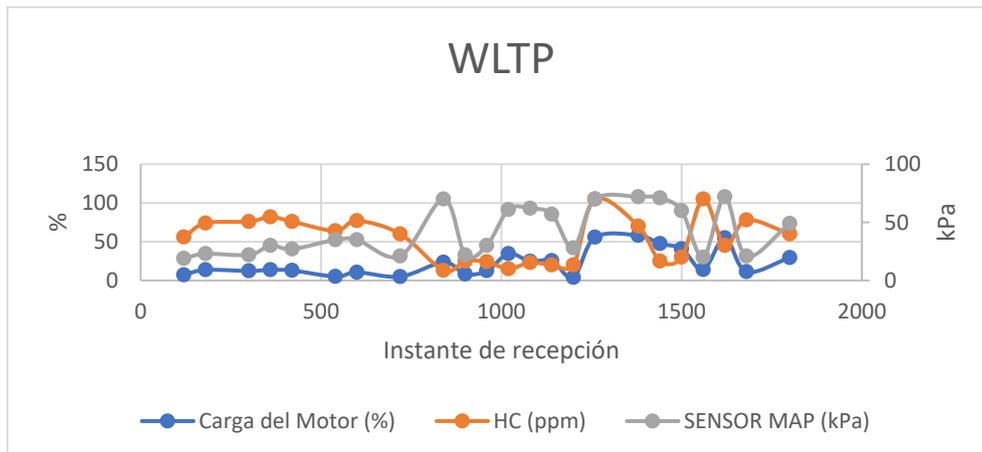


Figura 75. Carga del Motor y Sensor MAP vs HC

Se visualizan 4 curvas en la figura 76, la primera y segunda curva, representan la carga del motor y el Sensor MAP; manteniendo una relación significativa en sus valores durante los 1800 segundos de prueba, las dos curvas restantes; evidencian la relación AFR, con el valor teórico y real del peso del aire.

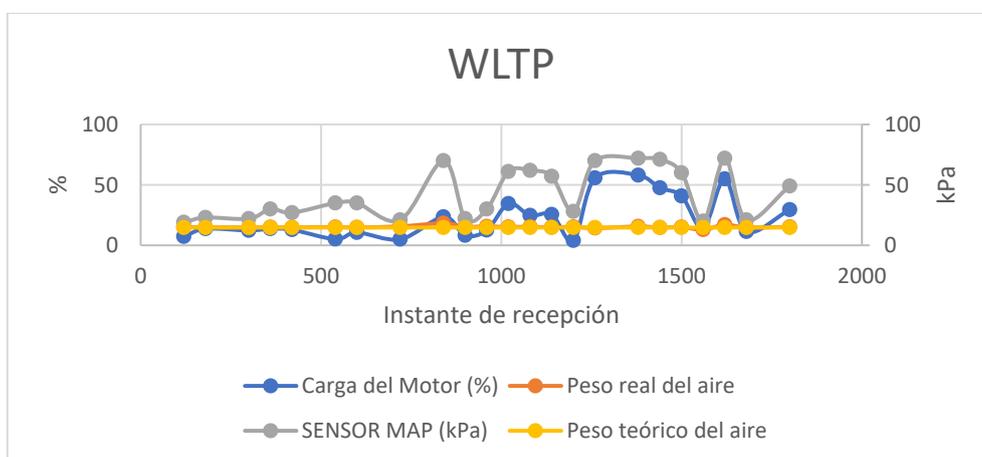


Figura 76. Carga del Motor y Sensor MAP vs Factor Lambda (AFR)

4.11 Análisis de resultados de emisiones

Se realizó un análisis estadístico descriptivo de los valores obtenidos de cada una de las emisiones de gases contaminantes, con catalizadores tanto usados nuevos de dos vías.

4.11.1 Estadístico descriptivo y comparativo de emisiones de gases mediante pruebas estáticas VP1-U y VP1-N

En la tabla 14, se visualiza la relación de los datos estadísticos de media, desviación y el error promedio de la desviación, correspondientes al CO₂, con una disminución significativa en los valores del error promedio de desviación, entre el catalizador usado y nuevo de dos vías.

Tabla 14.

Comparación estadística de las emisiones de CO₂ – VP1-U y N – Prueba estática

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
CO₂ – VP1-U	30	13.8500	0.70698	0.12908
CO₂ – VP1-N	30	11.8467	0.09371	0.01711

En la figura 77 se evidencia un descenso significativo en la curva de las emisiones de CO₂ equipado con un catalizador nuevo. A diferencia del convertidor catalítico usado cuyos valores de dióxido de carbono permanecen constantes, con ligeras fluctuaciones durante el transcurso de la prueba.

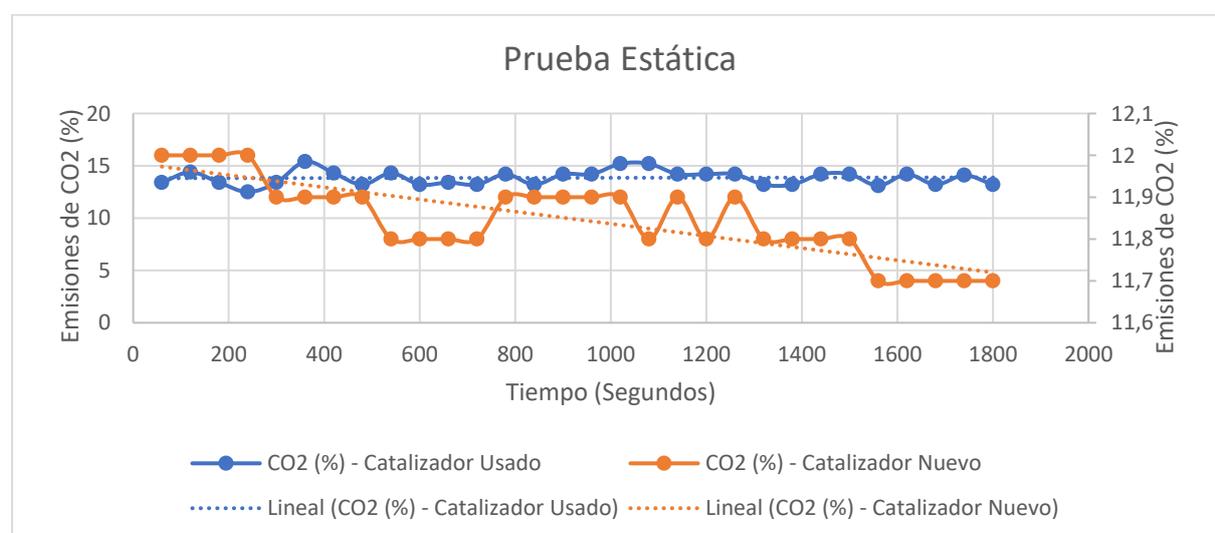


Figura 77. VP1-U y N – Prueba estática – CO₂

El error promedio de desviación visualizado en la tabla 15, evidencia un descenso en sus valores, en la relación establecida entre el catalizador usado y nuevo.

Tabla 15.

Comparación estadística de las emisiones de CO – VP1-U y N – Prueba estática

<u>Variables</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desviación</u>	<u>Error promedio de desviación</u>
CO – VP1-U	30	1,7860	0,08826	0.01611
CO – VP1-N	30	0,5327	0.07909	0.01444

En las curvas representadas en la figura 78, se evidencia una disminución en los valores de CO cuando el vehículo de prueba está equipado con un catalizador nuevo de dos vías, por lo cual las emisiones se mantienen en el rango de los límites permitidos por las normas técnicas ecuatorianas.

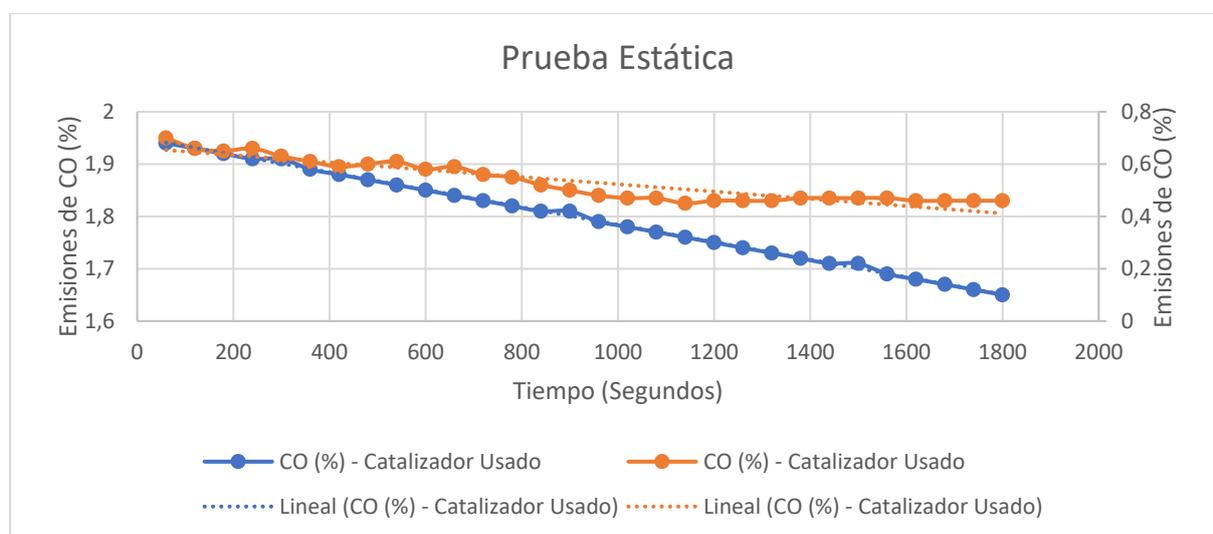


Figura 78. VP1-U y N – Prueba estática – CO

En la tabla 16 se observa los valores característicos de un análisis estadístico descriptivo, para lo cual se evidencia un descenso en el resultado del error promedio de desviación de los datos de O₂, entre un catalizador usado y nuevo.

Tabla 16.

Comparación estadística de las emisiones de O₂ – VP1-U y N – Prueba estática

<u>Variables</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desviación</u>	<u>Error promedio de desviación</u>
O₂ – VP1-U	30	2,4550	1,13910	0.20797
O₂ – VP1-N	30	0,9950	0.08697	0.01588

El comportamiento de la gráfica de O₂ con un catalizador usado posee varias fluctuaciones en el transcurso de la prueba, a diferencia de la curva del oxígeno con un catalizador nuevo, la cual se mantiene en el rango permitido en las normas técnicas ecuatorianas con fluctuaciones poco significativas, relación observada en la figura 79.

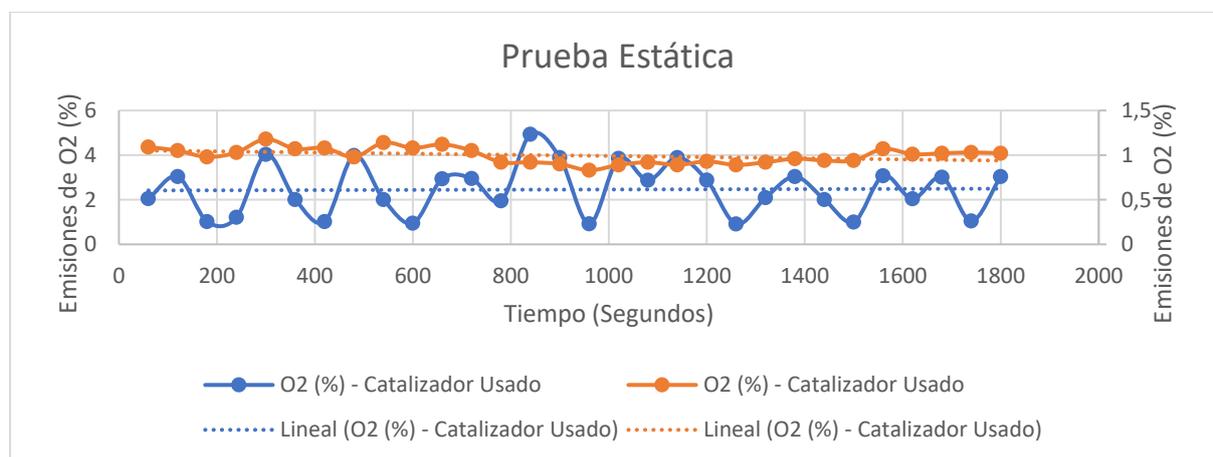


Figura 79. VP1-U y N – Prueba estática – O₂

La tabla 17 evidencia un análisis de muestras independientes, para lo cual se establece valores comparativos entre un catalizador usado y nuevo; de la media, desviación y error promedio de desviación

Tabla 17.

Comparación estadística de las emisiones de HC – VP1-U y N – Prueba estática

<u>Variables</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desviación</u>	<u>Error promedio de desviación</u>
HC – VP1-U	30	225,13	43,154	7,879
HC – VP1-N	30	176,80	8,381	1,530

En la figura 80 se observa que los valores de HC, tanto del catalizador usado y nuevo, tienen

un ascenso progresivo hasta finalizar la prueba, pero se evidencia la reducción significativa de las emisiones de hidrocarburos cuando el vehículo de prueba está equipado con un catalizador nuevo.

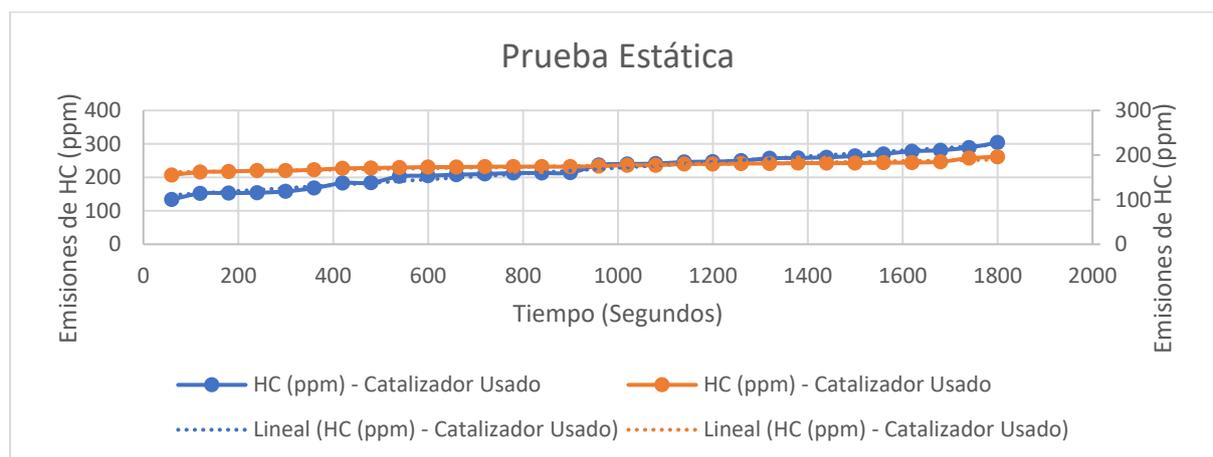


Figura 80. VP1-U y N – Prueba estática – HC

4.11.2 Estadístico descriptivo y comparativo de las emisiones de gases mediante pruebas estáticas a diferentes regímenes de giro - VP1-U y VP1-N

Para la prueba estática a diferentes regímenes de giro se recepto datos de CO₂, mediante los cuales se determinó, un error promedio de desviación donde se presenta valores de 0.24498 y 0.12305; correspondiente al catalizador usado y nuevo respectivamente, datos observados en la tabla 18.

Tabla 18.

Comparación estadística de las emisiones de CO₂ – VP1-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
CO₂ – VP1-U	11	13,6273	0,81252	0,24498
CO₂ – VP1-N	11	12,7364	0,40810	0,12305

Se establece una relación entre la curva de emisiones de CO₂ para el catalizador usado y

nuevo, para lo cual se evidencia una similitud en las curvas generadas, con sus respectivas variaciones en sus datos, específicamente en los valores de emisión de dióxido de carbono cuando el motor de combustión interna está equipado con el catalizador nuevo, curvas visualizadas en la figura 81

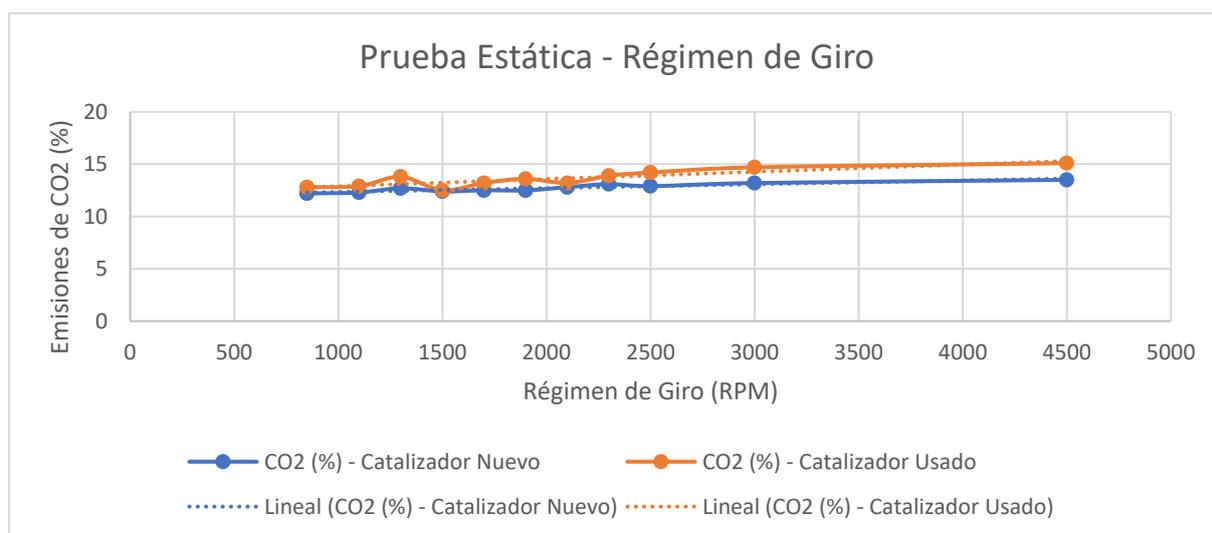


Figura 81. VP1-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro – CO₂

En la tabla 19, se detallan 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.

Tabla 19.

Comparación estadística de las emisiones de CO – VP1-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
CO – VP1-U	11	1,3691	0,44561	0,19436
CO – VP1-N	11	0,6764	0,6481	0,13542

Conforme el régimen de giro aumenta, se evidencia en la figura 82 que los valores de CO disminuyen progresivamente, de forma particular la curva del monóxido de carbono cuando la prueba se la realiza con el catalizador nuevo, en el cual se observa que sus valores aparte de

que se reducen, se mantienen en los límites permitidos de las normas técnicas ecuatorianas de emisión de gases contaminantes.

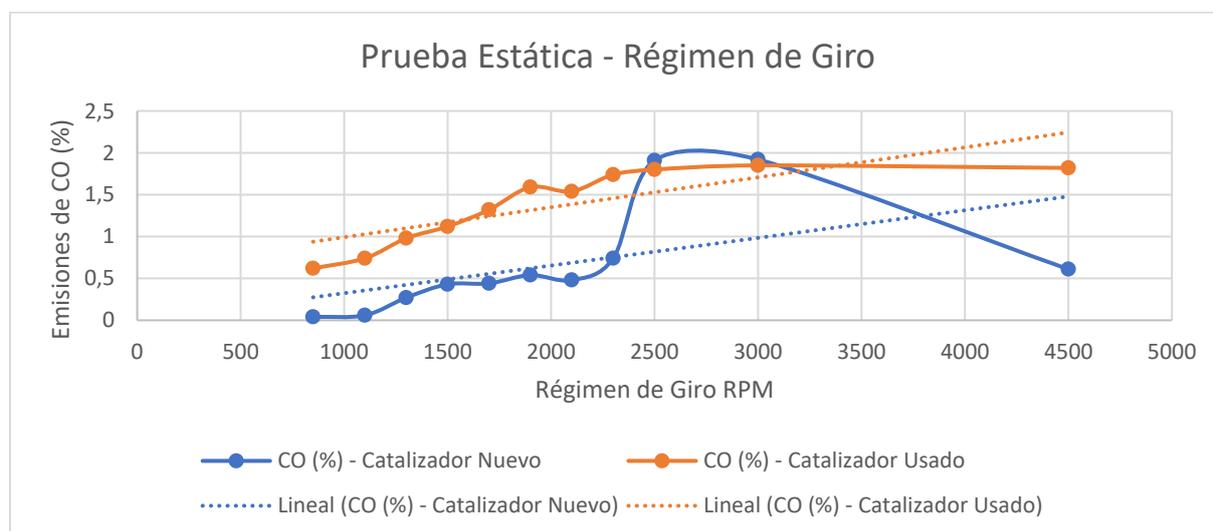


Figura 82. VP1-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro – CO

En la tabla 20 se visualiza los valores de la media, desviación y error promedio de desviación, para los catalizadores de dos vías usado y nuevo.

Tabla 20.

Comparación estadística de las emisiones de O₂ – VP1-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
O₂ – VP1-U	11	1,7864	1,15688	0,34881
O₂ – VP1-N	11	0,4155	0,34039	0,10263

Se observa en la figura 83 un descenso progresivo en los valores de O₂, se evidencia que los datos de oxígeno con un catalizador nuevo se reducen significativamente.

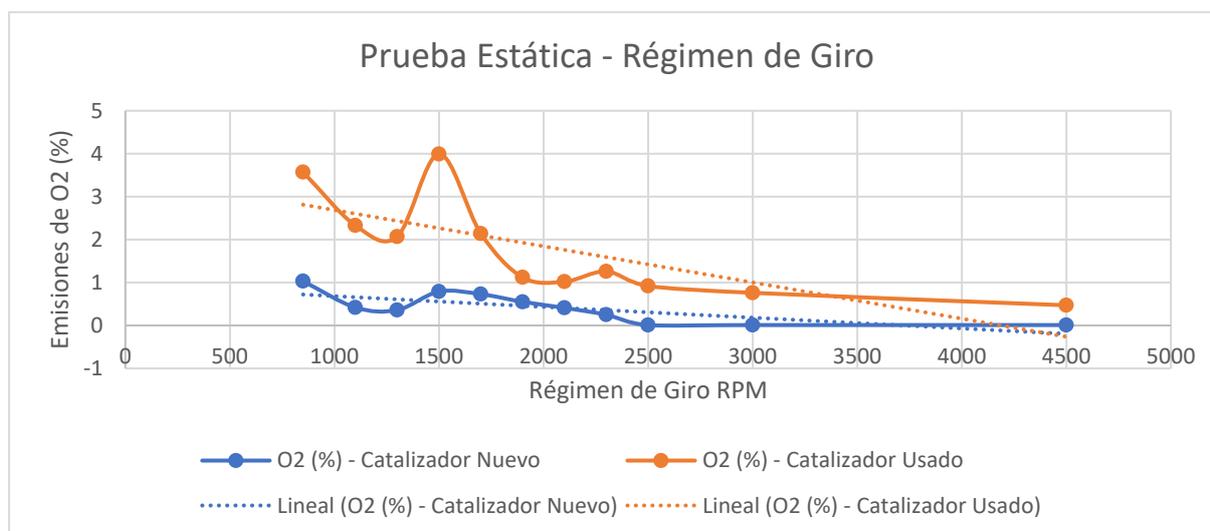


Figura 83. VP1-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro – O₂

En la tabla 21 se observa, una disminución del error promedio de desviación, con una diferencia de 10 entre las emisiones de HC con catalizador usado y nuevo.

Tabla 21.

Comparación estadística de las emisiones de HC – VP1-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
HC – VP1-U	11	207,82	20,682	16,236
HC – VP1-N	11	130,27	56,089	6,912

Las curvas descritas por los datos de HC visualizadas en la figura 84, evidencian una diferencia significativa en los rangos de fluctuación que estas atraviesan en toda la duración de prueba, para lo cual se observa que la curva de los hidrocarburos con un catalizador nuevo se mantiene en los límites promulgados por las normas vigentes de emisión de gases.

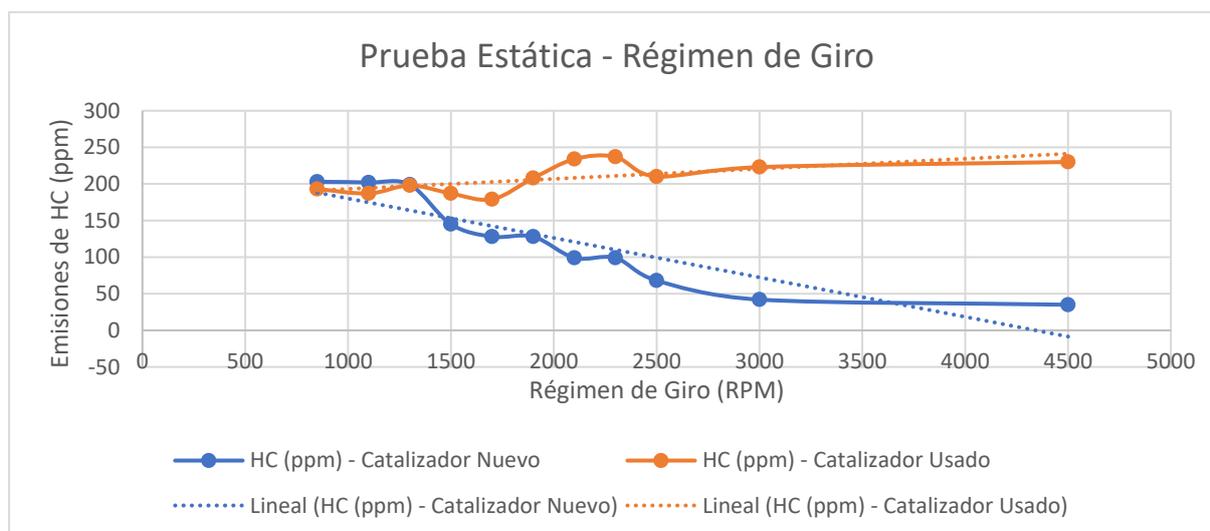


Figura 84. VP1-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro – HC

4.11.3 Estadístico descriptivo y comparativo de las emisiones de gases mediante el ciclo de conducción NEDC - VP1-U y VP2-N

Se visualiza en la tabla 22 la relación de los datos, entre las emisiones de CO₂ con un catalizador usado y un nuevo, dichos datos obtenidos mediante un análisis estadístico descriptivo.

Tabla 22.

Comparación estadística de las emisiones de CO₂ – VP1-U y N – NEDC

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
CO₂ – VP1-U	20	12,7850	0,73719	0,16484
CO₂ – VP1-N	20	12,2300	0,56391	0,12610

Las líneas de tendencias, así como las curvas que describen el comportamiento de las emisiones de CO₂, evidencian un descenso en sus valores durante el transcurso de la prueba, siendo más notable la disminución de los valores porcentuales de CO₂ cuando el vehículo de prueba está equipado con un catalizador nuevo, disminuciones visualizadas en la figura 85.

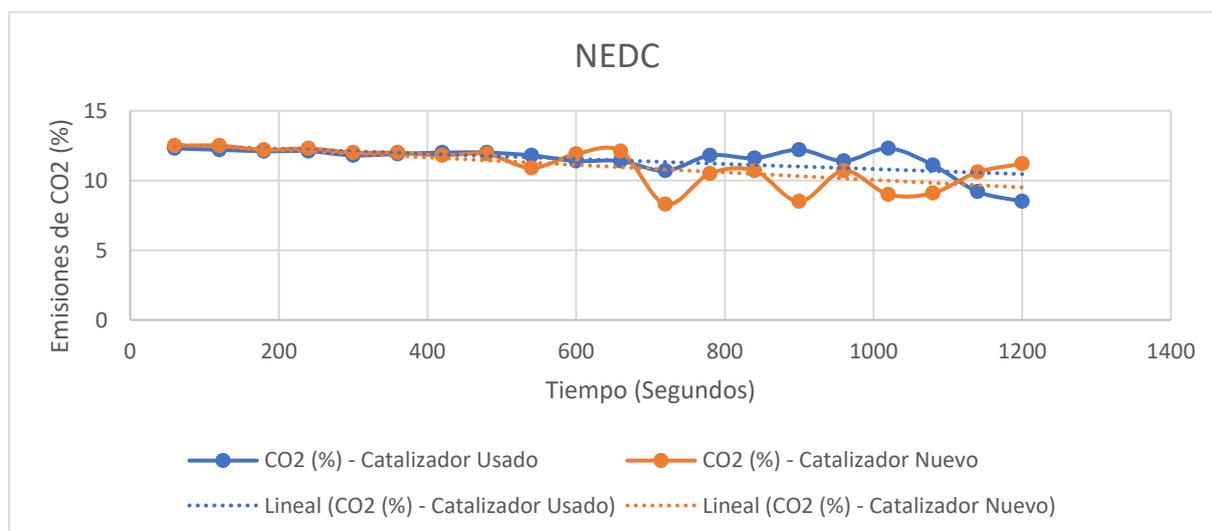


Figura 85. CO₂ - VP1-U y N – NEDC

Se observa los valores de la media, desviación y el error promedio en la tabla 23, se establece una comparación entre todos estos parámetros, para lo cual se evidencia una notoria disminución de los valores del error promedio de desviación en la comparación de las emisiones de CO con catalizador usado y nuevo.

Tabla 23.

Comparación estadística de las emisiones de CO – VP1-U y N – NEDC

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
CO – VP1-U	20	0,1975	0,07419	0,01659
CO – VP1-N	20	0,0820	0,02931	0,00655

En la figura 86 se visualiza la comparativa del comportamiento de las curvas de CO con un catalizador nuevo y usado, se observa el descenso de la trayectoria de la curva anaranjada que representa a los valores de monóxido de carbono con un catalizador usado.

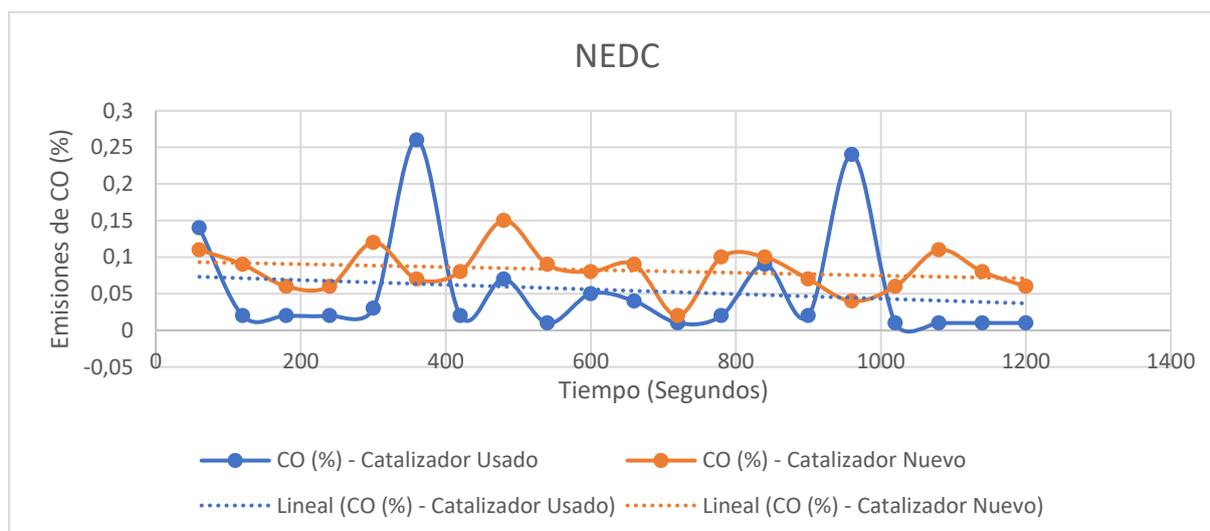


Figura 86. CO - VP1-U y N – NEDC

Con los 20 valores receptados en las pruebas se determina datos de; la media, desviación y el error de desviación, en este último, en la tabla 24, se observa una disminución considerable del error en lo que se refiere a las emisiones de O_2 con catalizador usado y nuevo.

Tabla 24.

Comparación estadística de las emisiones de O_2 – VP1-U y N – NEDC

<u>Variables</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desviación</u>	<u>Error promedio de desviación</u>
O_2 – VP1-U	20	0,4345	0,20887	0,04670
O_2 – VP1-N	20	1,2310	1,14880	0,02568

Se evidencia que las emisiones cuando se le coloca al vehículo de prueba un catalizador nuevo, estas se reducen significativamente, permaneciendo en los límites establecidos en la norma. Fluctuaciones observadas en la figura 87

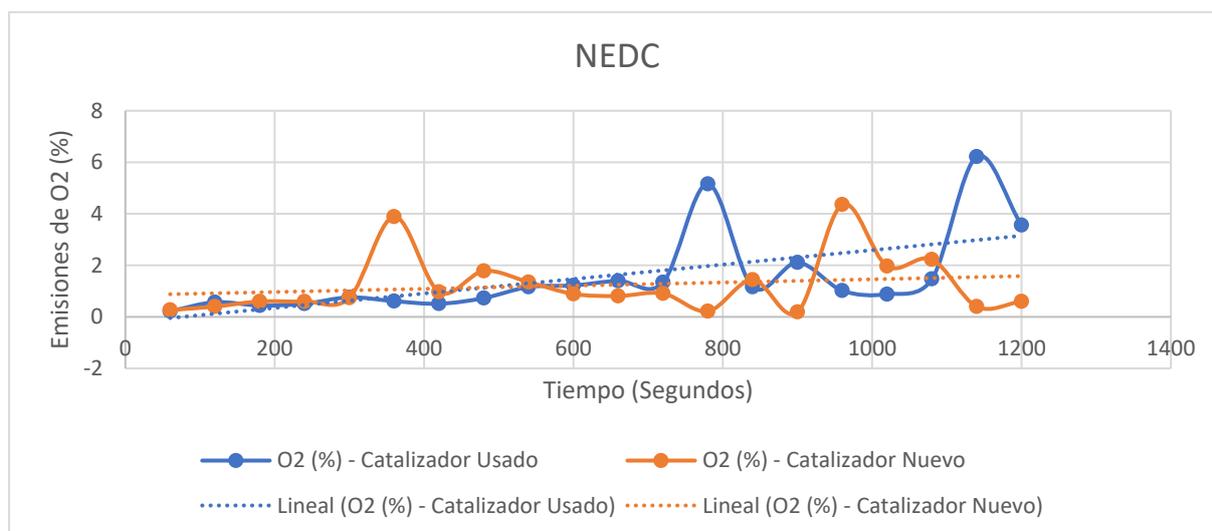


Figura 87. O₂ - VP1-U y N – NEDC

En la tabla 25 se visualiza los valores de la media, desviación y el error promedio de desviación, para lo cual, se observa un gran descenso de estos valores, entre la relación establecida de las emisiones de HC cuando el motor de combustión interna está equipado con un catalizador usado y nuevo.

Tabla 25.

Comparación estadística de las emisiones de HC – VP1-U y N – NEDC

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
HC – VP1-U	20	143,15	73,724	16,485
HC – VP1-N	20	51,20	21,508	4,809

En la figura 88 se observa la disminución en los valores de emisión de HC entre un catalizador usado y nuevo, se visualiza que los valores de hidrocarburos con un catalizador nuevo se mantienen dentro del límite de las normas ecuatorianas vigentes al catalizador nuevo.

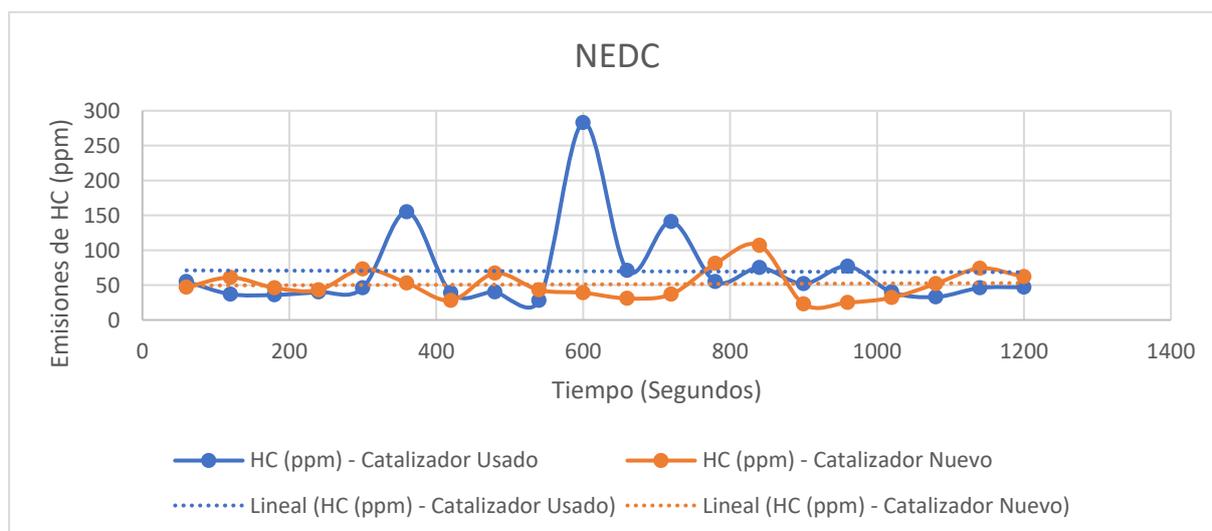


Figura 88. HC - VP1-U y N – NEDC

4.11.4 Estadístico descriptivo y comparativo de las emisiones de gases mediante el ciclo de conducción WLTP - VP1-U y VP2-N

En la tabla 26 se evidencia la disminución del error promedio de desviación, de las emisiones de CO₂ con un catalizador usado y nuevo.

Tabla 26.

Comparación estadística de las emisiones de CO₂ – VP1-U y N – WLTP

<u>Variables</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desviación</u>	<u>Error promedio de desviación</u>
CO ₂ – VP1-U	30	12,9600	0,51769	0,09452
CO ₂ – VP1-N	30	12,2567	0,39539	0,07219

Se visualiza una reducción en las fluctuaciones de los datos de emisiones de CO₂ con un catalizador usado y nuevo, variaciones observadas en la figura 89.

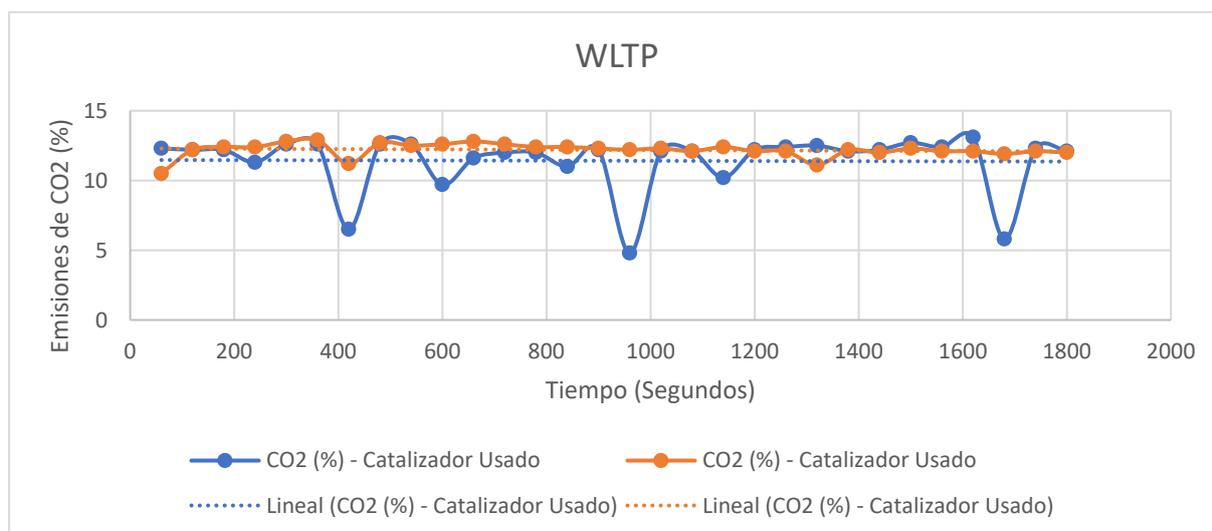


Figura 89. CO₂ - VP1-U y N – WLTP

Se observa datos referentes a la media, desviación y error promedio de desviación, para lo cual, se evidencia un descenso significativo en el valor del error promedio de desviación cuando se utiliza un catalizador nuevo, valores visualizados en la tabla 27.

Tabla 27.

Comparación estadística de las emisiones de CO – VP1-U y N – WLTP

<u>Variables</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desviación</u>	<u>Error promedio de desviación</u>
CO – VP1-U	30	0,5873	0,33956	0,06200
CO – VP1-N	30	0,0790	0,13223	0,02414

La comparativa observada en las dos curvas pertenecientes a las emisiones de CO con catalizador usado y nuevo, evidencia un descenso significativo en las emisiones cuando se utiliza un catalizador nuevo, característica visualizada en la figura 90.

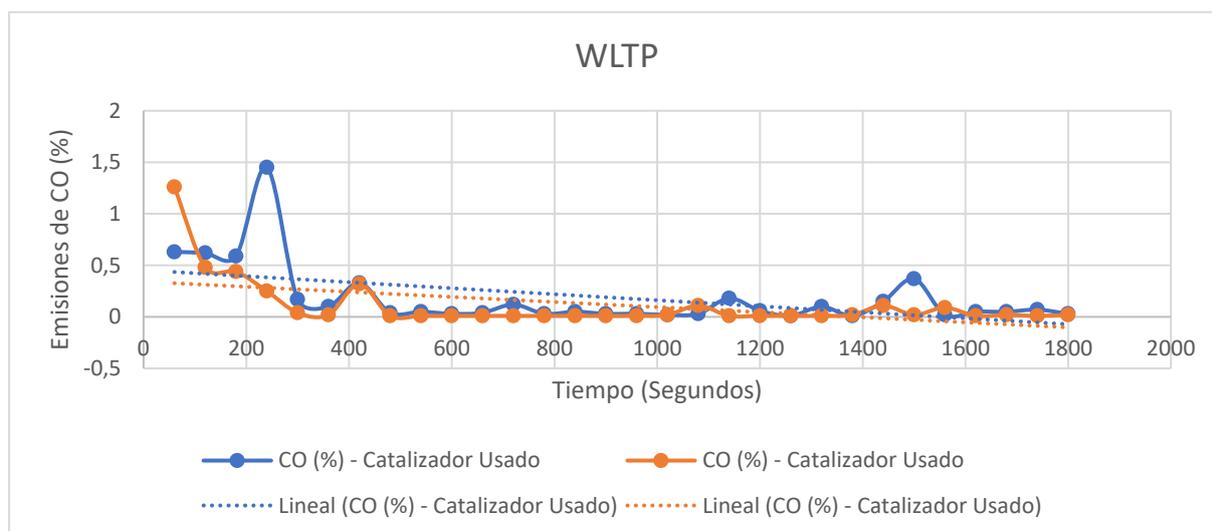


Figura 90. CO - VP1-U y N – WLTP

Los datos visualizados en la tabla 28, permiten determinar la reducción significativa del error promedio de desviación, entre un catalizador usado y nuevo cuando se receptan datos de oxígeno.

Tabla 28.

Comparación estadística de las emisiones de O₂ – VP1-U y N – WLTP

<u>Variables</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desviación</u>	<u>Error promedio de desviación</u>
O₂ – VP1-U	30	0,9763	1,11620	0,20379
O₂ – VP1-N	30	0,3450	0,34593	0,06316

Se evidencia el comportamiento y la reducción en las emisiones de O₂ cuando se utiliza un catalizador usado y nuevo, la oscilación de los valores de O₂ durante el transcurso de la prueba se mantienen dentro de los límites permitidos por las normas técnicas ecuatorianas vigentes, características observadas en la figura 91.

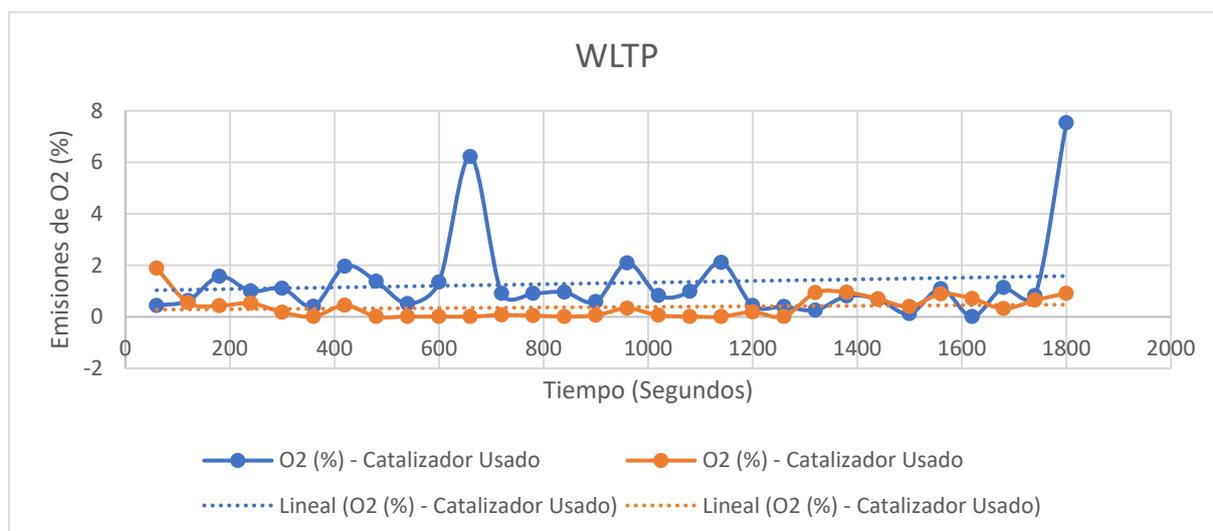


Figura 91. O₂ - VP1-U y N – WLTP

En la tabla 29 se determina los valores estadísticos de la media, desviación y el error promedio de desviación, con un descenso considerable en el valor del error promedio de desviación cuando se utiliza un catalizador nuevo.

Tabla 29.

Comparación estadística de las emisiones de HC – VP1-U y N – WLTP

<u>Variables</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desviación</u>	<u>Error promedio de desviación</u>
HC – VP1-U	30	98,33	97,550	17,810
HC – VP1-N	30	71,30	58,687	10,715

Se visualiza en la figura 92 un descenso en las curvas de las emisiones de HC con catalizador nuevo y usado, evidenciado una reducción significativa al realizar la prueba con un catalizador nuevo, manteniéndose con valores aceptados en la norma técnica ecuatoriana.

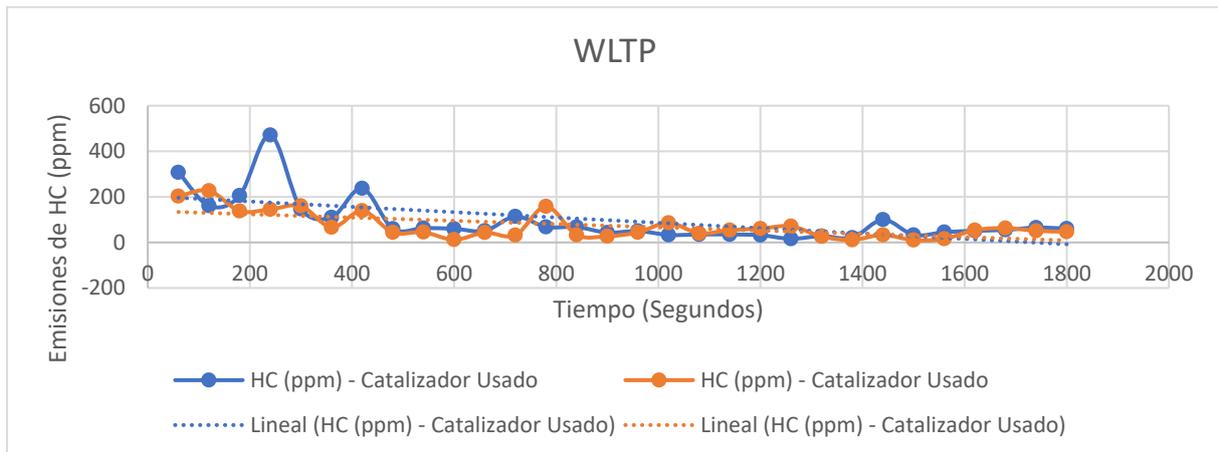


Figura 92. HC - VP1-U y N – WLTP

4.12 Pruebas Estáticas – VP2-U

En la figura 93 se observa tres curvas características, la primera de color azul evidencia el comportamiento térmico del catalizador; con un ascenso paulatino de 42 °C a 222 °C, la segunda de color anaranjado indica la conducta de la temperatura del motor de combustión interna del vehículo de prueba; con una elevación 37°C a 80°C. En la tercera curva de color gris; se establece la conducta del CO₂ durante 1800 segundos, teniendo un valor mínimo de 12,7% y máximo de 15.2 %, apreciando que mientras avanza el tiempo sus valores porcentuales se mantienen con fluctuaciones en intervalos de tiempo similares

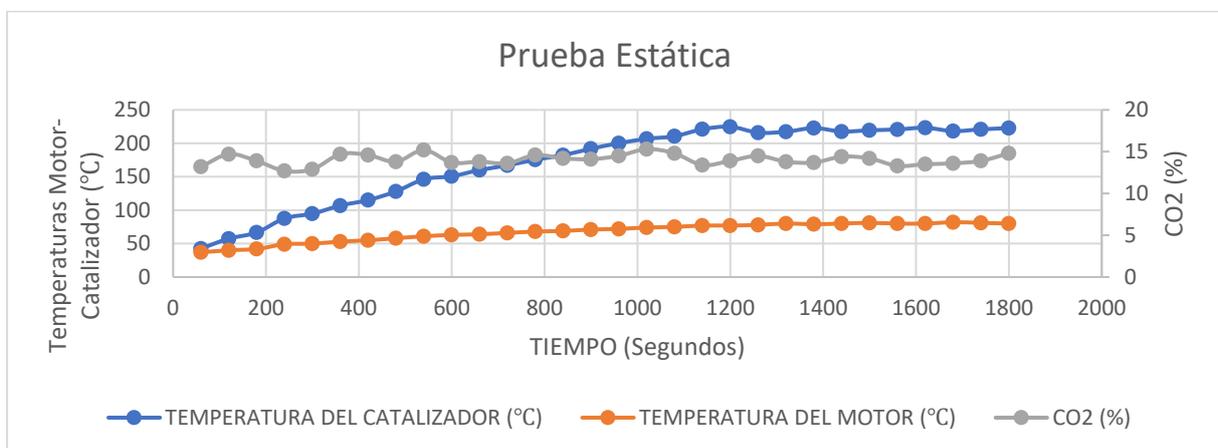


Figura 93. CO₂ vs Temperatura de motor y catalizador

En la figura 94 se muestra, la conducta del CO con respecto a la temperatura del catalizador y del motor, durante 1800 segundos. Mientras el tiempo transcurre, las emisiones de CO disminuyen significativamente de 1.88 % a 1.55%, y el comportamiento térmico del catalizador y del motor aumentan hasta llegar a una temperatura de estabilidad de 222 °C y 80 °C respectivamente.

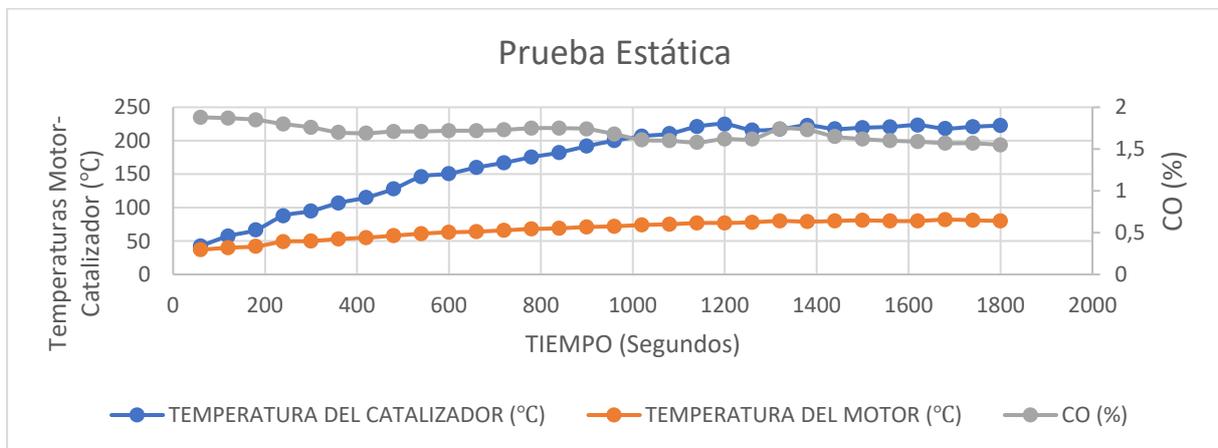


Figura 94. CO vs Temperatura de motor y catalizador

En la figura 95 se evidencian grandes fluctuaciones durante la prueba con valores mínimos de 0.98 % y máximos de 4.01 %. A diferencia de las curvas de temperatura del motor y del catalizador las cuales muestran un franco ascenso en sus valores.

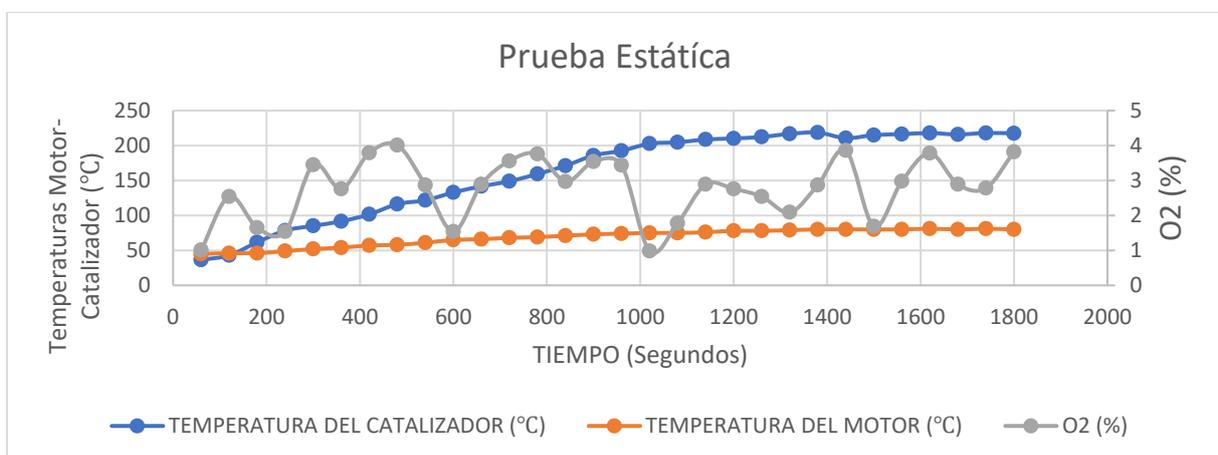


Figura 95. O₂ vs Temperatura de motor y catalizador

En la figura 96 se visualiza un ascenso en las curvas de temperatura del motor y del catalizador. En lo que respecta a los Hidrocarburos existe una fluctuación constante durante toda la prueba con un valor mínimo de 187 ppm y un valor máximo de 269 ppm

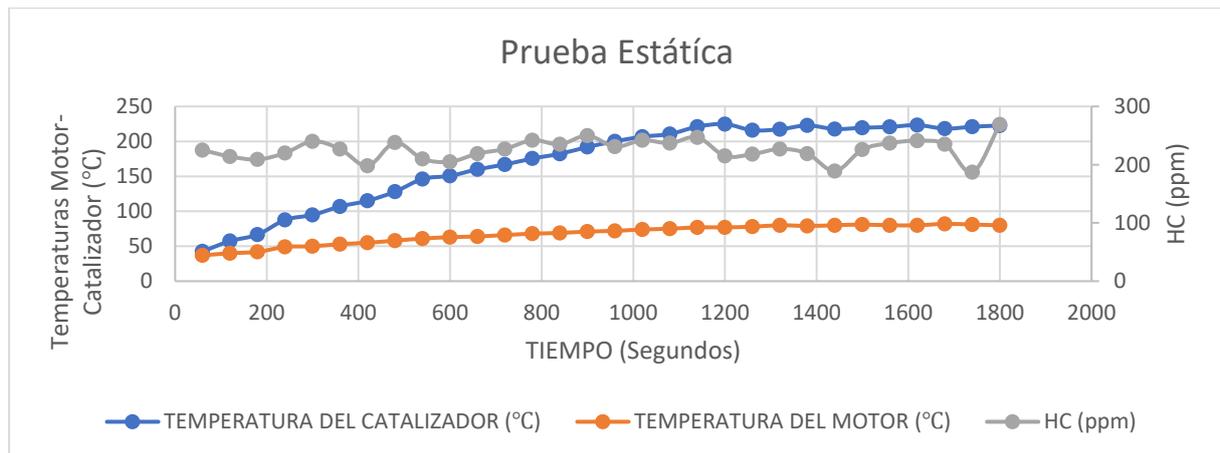


Figura 96. HC vs Temperatura de motor y catalizador

En la figura 97 se visualiza el comportamiento de las curvas del peso teórico y real del aire, para la primera se establece un valor constante de 14.7. En la segunda se observa; fluctuaciones durante toda la prueba con picos con un valor máximo de 15,53 y un valor mínimo de 14,99. Durante los 1800 segundos de la prueba se visualiza la existencia de mezclas pobres, con 4 aproximaciones al valor estequiométrico constante de 14.7.

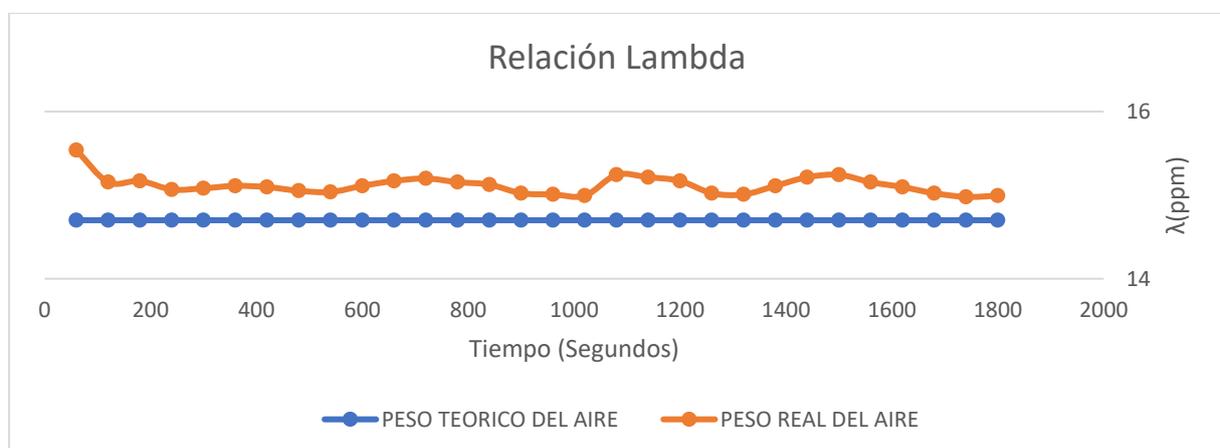


Figura 97. Factor Lambda (AFR)

4.13 Pruebas Estáticas a diferentes regímenes de giro– VP2-U

Los valores de RPM mínimo (800) y máximo (4500) ascenderán paulatinamente en el transcurso de la prueba, conforme el régimen de giro del motor de combustión interna aumente, en los datos de CO₂ se observa una elevación porcentual poco significativa de 11,9 a 15,2, visualizados en la figura 98.

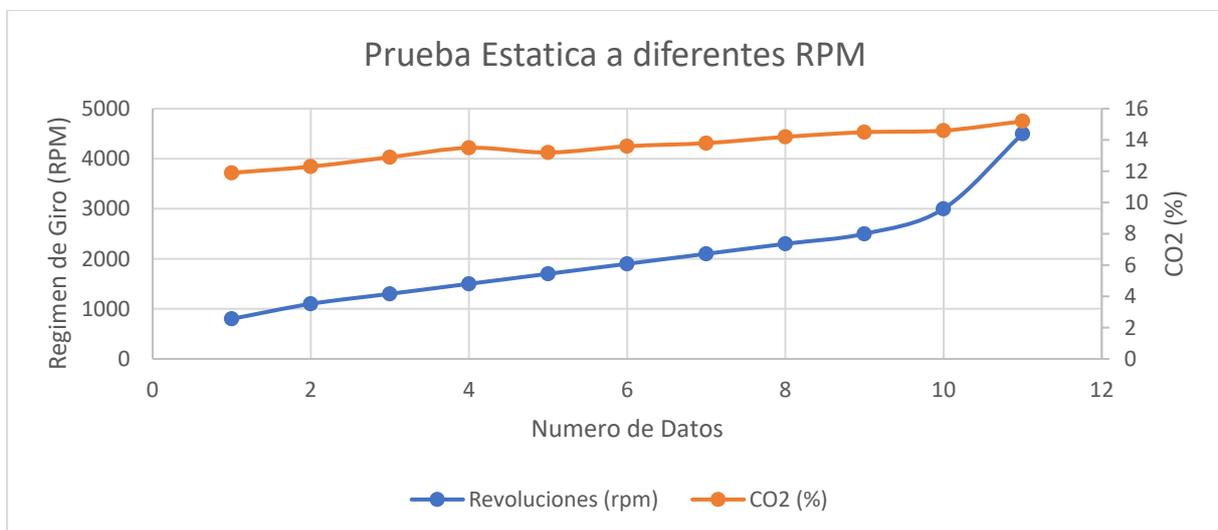


Figura 98. CO₂ a diferentes regímenes de giro

El método de la prueba detalla el aumento progresivo de los regímenes de giro, de ralentí hasta un máximo de RPM, En la figura 99, se observa un ascenso mínimo de 0.61 % a 1.85 % en los datos de CO, conforme la duración avanza.

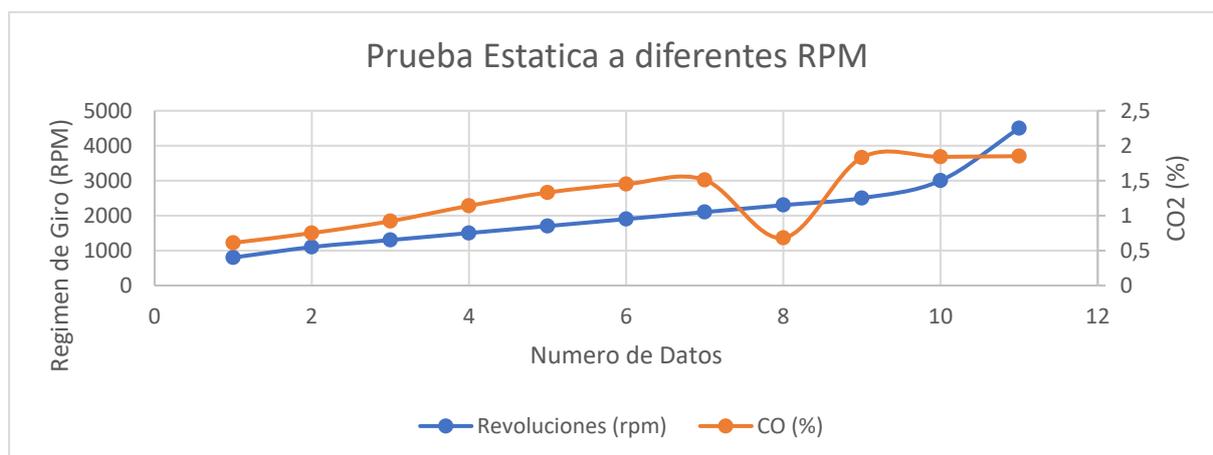


Figura 99. CO a diferentes regímenes de giro

Conforme los regímenes de giro ascienden durante toda la prueba, los valores de O₂ descienden de un máximo de 3.45 %, hasta un mínimo de 0.47 %. Características de comportamiento observadas en la figura 100.

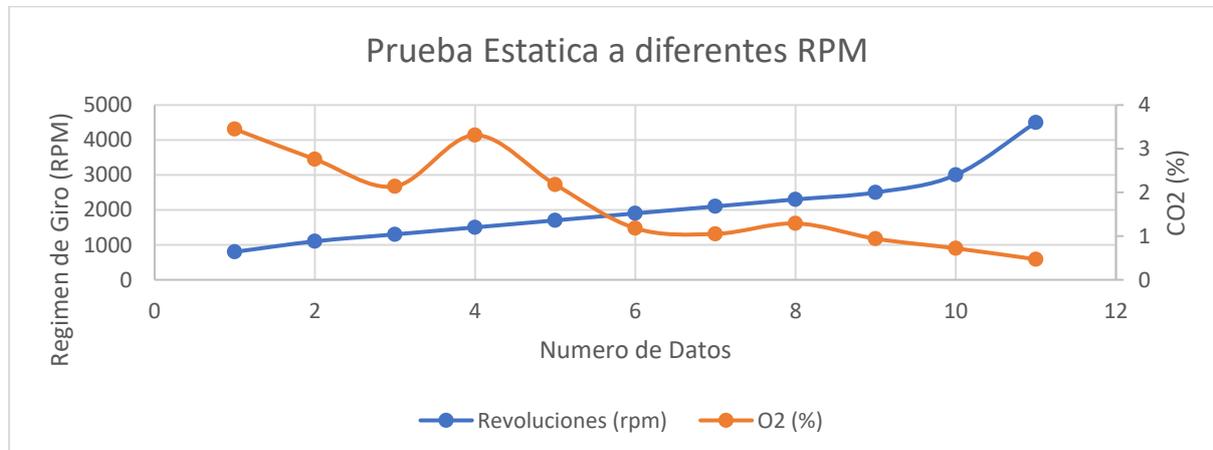


Figura 100. O₂ a diferentes regímenes de giro

En la figura 101, se evidencia fluctuaciones con un ascenso poco significativo en la duración de la prueba, con valores de HC mínimos de 192 ppm y máximos de 228 ppm, conforme los regímenes de giro aumentan.

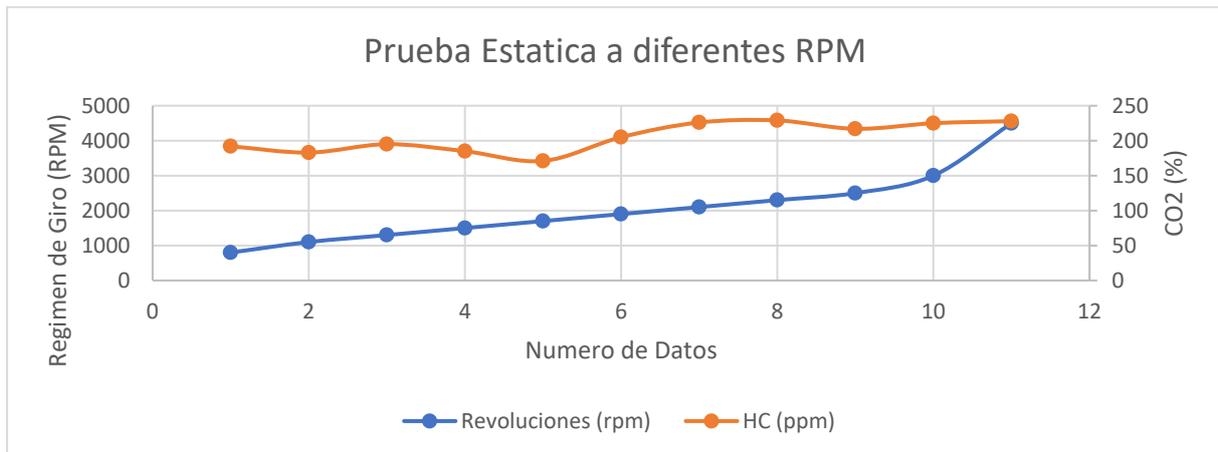


Figura 101. HC a diferentes regímenes de giro

En la figura 102, se visualiza tres curvas; la de color gris representa el ascenso paulatino del régimen de giro, las de color anaranjado y azul establecen los comportamientos del peso teórico y real del aire respectivamente, para la segunda se determina un valor fijo de 14.7. En la tercera se observa dos fluctuaciones considerables, hasta tener un valor de 14.24 en sus máximas revoluciones.

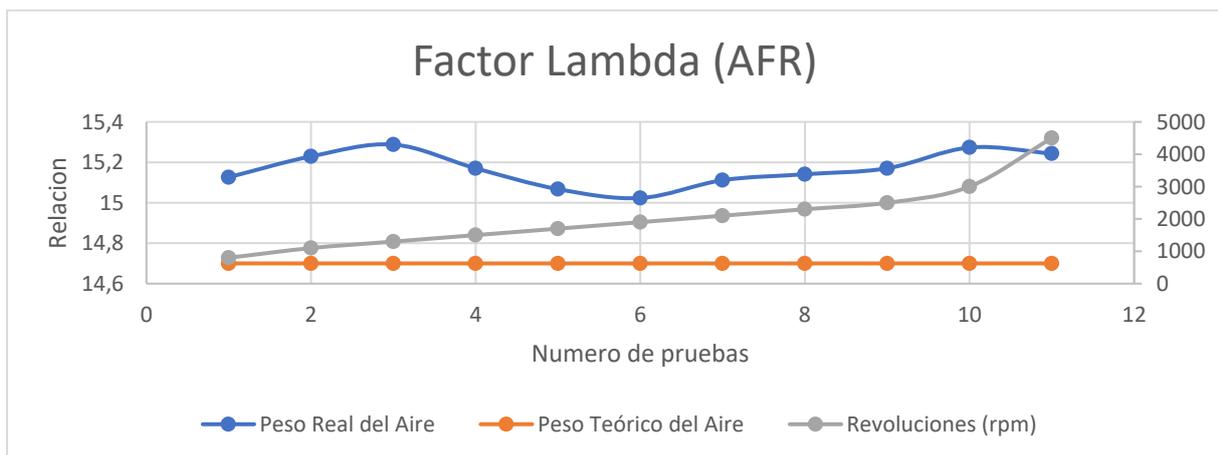


Figura 102. Factor Lambda (AFR) a diferentes regímenes de giro

4.14 NEDC– VP2-U

Los valores porcentuales de CO₂ durante 1200 segundos, presentan fluctuaciones con grandes

variaciones con un valor mínimo de 12,6% y un valor máximo de 14,1%. Esta variabilidad es debido a que la temperatura del motor y del catalizador ya se encuentra en condiciones de trabajo idóneas, valores registrados en la figura 103.

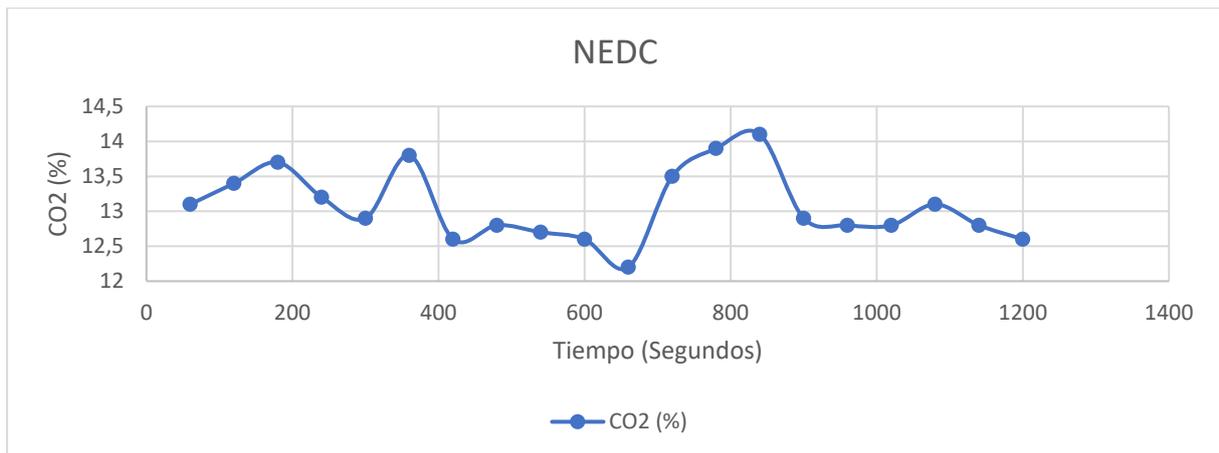


Figura 103. NEDC - CO₂ vs Tiempo

En la figura 104, se visualiza durante 1200 segundos el comportamiento de CO, con dos fluctuaciones considerables con un valor mínimo de 0,11% y máximo de 0,22%. Entre su valor inicial y final existe una variación de 0,11% debido a que la gráfica presenta una tendencia descendente.

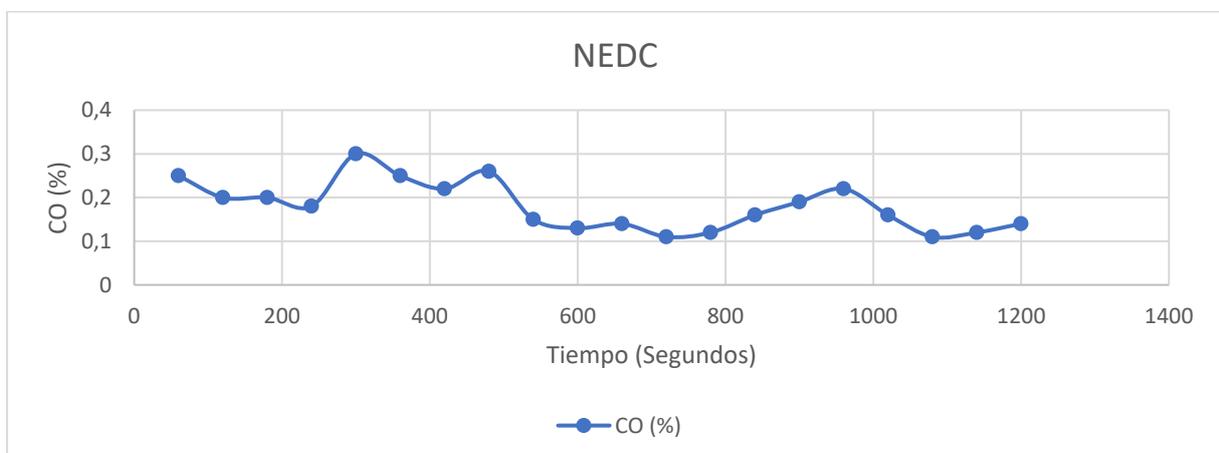


Figura 104. NEDC - CO vs Tiempo

Los valores de O₂ se observan con variaciones poco significativas durante los primeros 540 segundos de la prueba, a partir de ese momento se evidencia tres fluctuaciones considerables, con valores de 0,92%, 0,76% y 0,94%. La figura 105 muestra una tendencia ascendente durante los 1200 segundos de prueba con un valor inicial de 0,25 y un valor final de 0,58%.

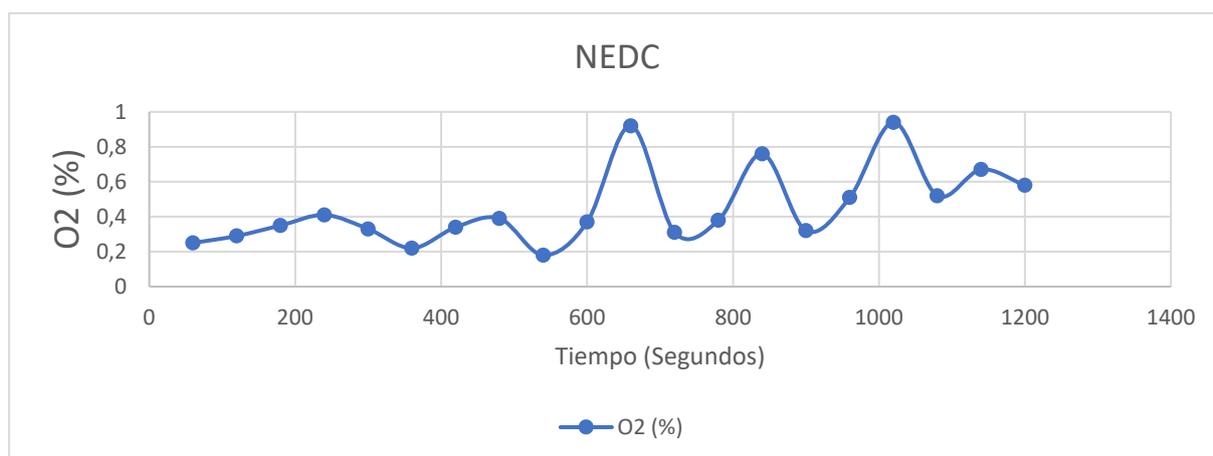


Figura 105. NEDC – O₂ vs Tiempo

En la figura 106, se visualiza el comportamiento de los HC durante 1200 segundos, evidenciando una fluctuación considerable en el segundo 780, Durante toda la prueba la gráfica muestra una tendencia descendente con una variación entre el valor inicial y el valor final de 200 ppm.

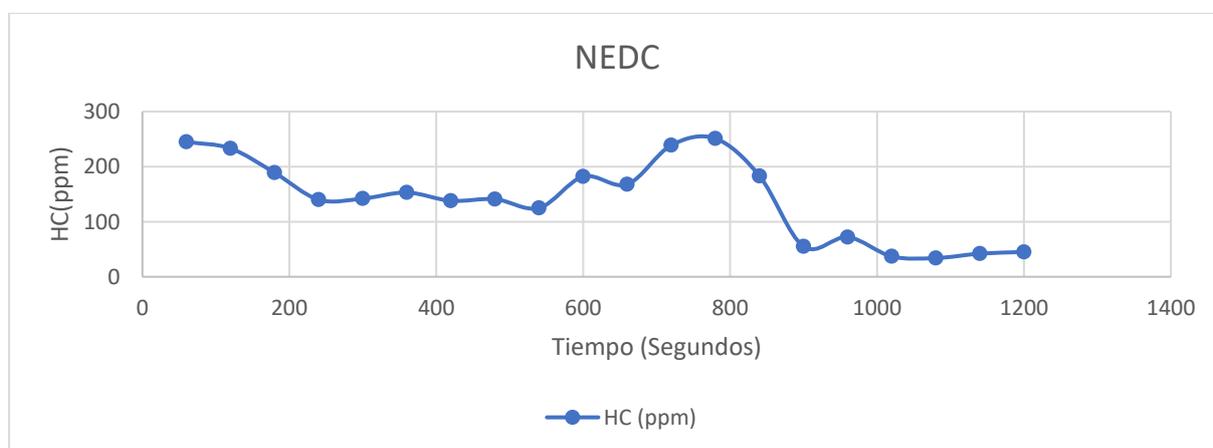


Figura 106. NEDC – HC vs Tiempo

Se visualizan dos curvas en la figura 107, que establecen los comportamientos del peso teórico y real del aire, durante la duración del protocolo armonizado NEDC. Para la primera se observa un valor fijo de 14.7. En la segunda; se evidencia un acercamiento considerable a la curva con el valor constante antes mencionado, para que en el tiempo restante de la prueba mantenga un promedio de 15.78 en sus valores.

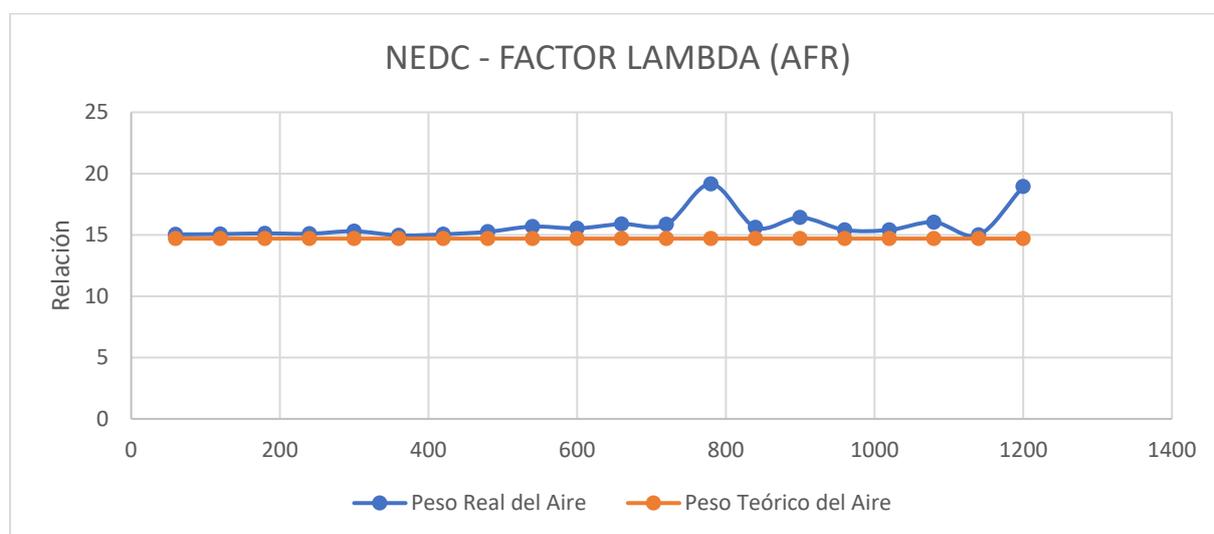


Figura 107. NEDC – Factor lambda (AFR) vs Tiempo

4.15 WLTP - VP2-U

El comportamiento de CO₂, presenta grandes fluctuaciones con un valor mínimo de 12,3% y un valor máximo 14,2%, durante los 1800 segundos de prueba, características visualizadas en la figura 108.

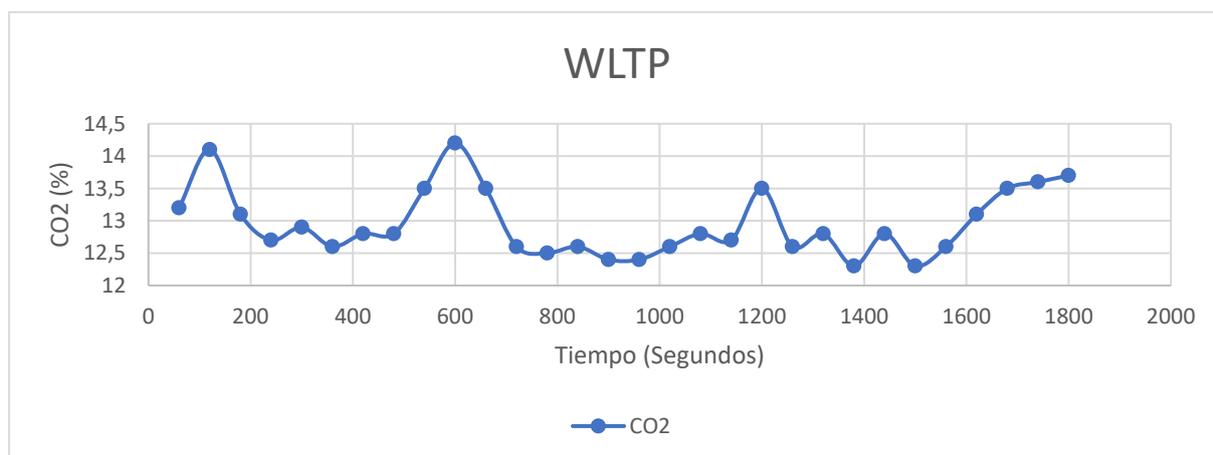


Figura 108. WLTP - CO₂ vs Tiempo

En la figura 109, se evidencia el comportamiento del CO, con un valor mínimo de 0.19 % y máximo de 1.65 %, durante la primera mitad de la prueba en la gráfica se visualiza una tendencia descendente y en la otra mitad existe una tendencia ascendente

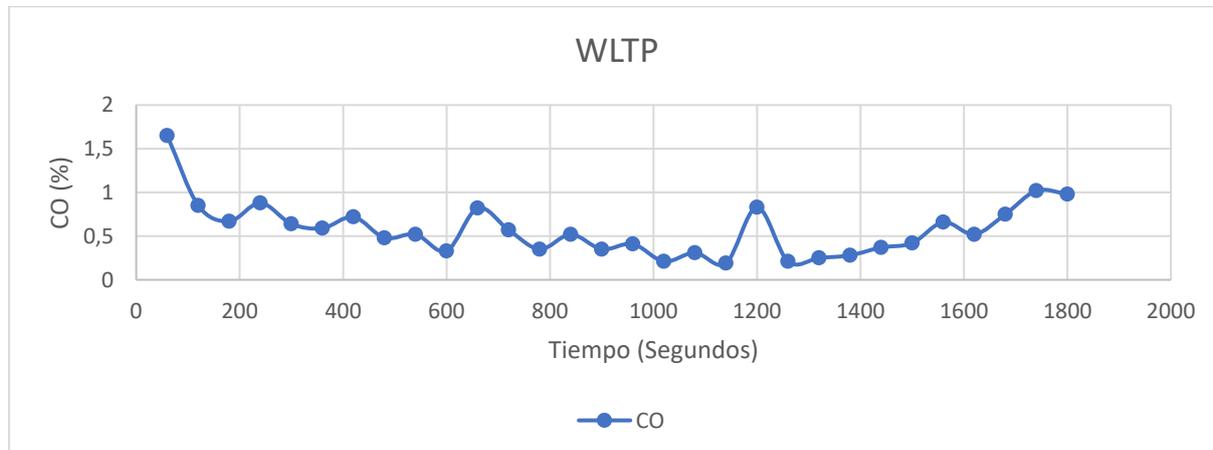


Figura 109. WLTP - CO vs Tiempo

El comportamiento de O₂, presenta grandes fluctuaciones con un valor mínimo de 0,06% y un valor máximo 1,95%, durante los 1800 segundos de prueba, consideraciones observadas en la figura 110.

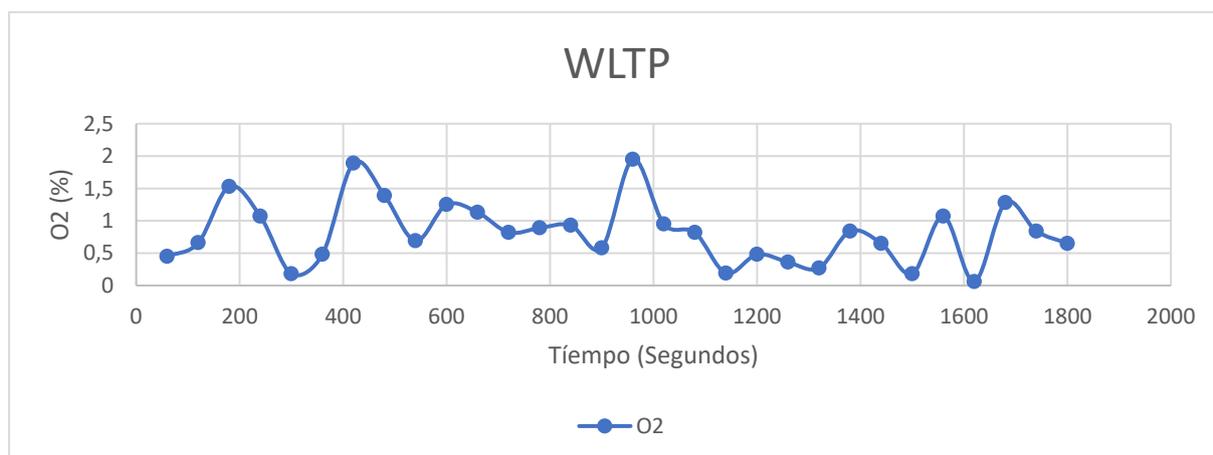


Figura 110. WLTP – O₂ vs Tiempo

En la figura 111, se reconoce un descenso paulatino en el comportamiento de los valores de hidrocarburos no combustionados conforme transcurre el tiempo de prueba, con valores máximos (382 ppm) y mínimos (19 ppm), teniendo un punto de estabilidad a los 600 segundos con 64 ppm.

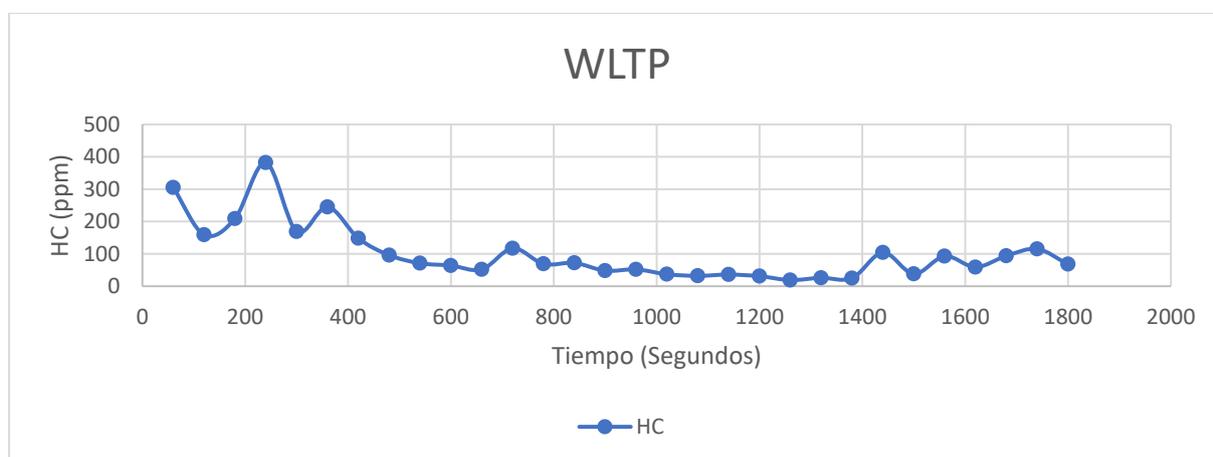


Figura 111. WLTP – HC vs Tiempo

Se evidencian dos curvas en la figura 112, que establecen los comportamientos del peso teórico y real del aire, durante el ciclo de conducción WLTP. En la primera se observa un valor fijo de 14.7. Para la segunda; se observa un acercamiento significativo al valor antes mencionado, durante toda la prueba; excepto en el segundo 1440 que se tiene un valor de 1,37

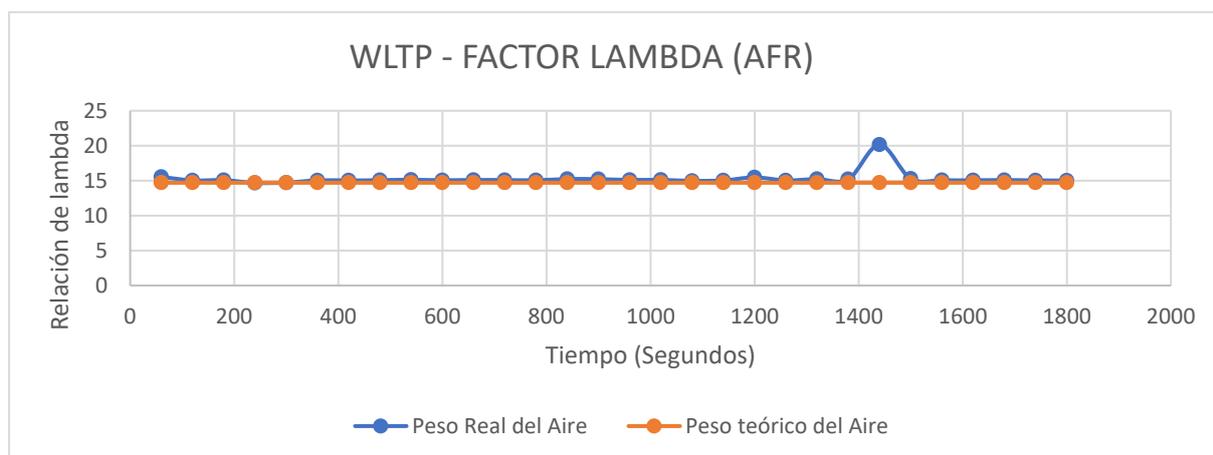


Figura 112. WLTP – Factor Lambda (AFR)

4.16 Pruebas Estáticas – VP2-N

Los valores porcentuales máximos y mínimos del CO₂ son de 12,3 y 11,9 respectivamente, se presentan grandes variaciones durante toda la prueba. Con lo que respecta a las gráficas de temperatura del catalizador y motor se observa un ascenso paulatino en los 1800 segundos de prueba. Evidenciados en la figura 113.

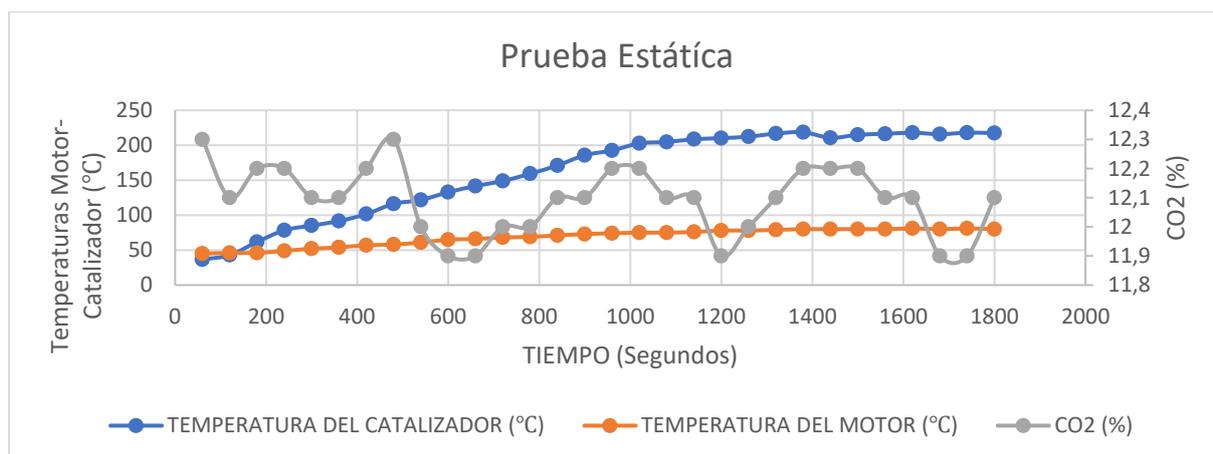


Figura 113. CO₂ vs Temperatura de motor y catalizador

En la figura 114 se visualiza, una elevación en la curva de la temperatura del catalizador, con diferentes variaciones en la duración total la prueba, observando un valor inicial de 36 °C

y final de 217 °C. En la curva del comportamiento térmico del motor se evidencia una elevación de temperatura hasta el segundo 1380, para encontrar una estabilidad en los 80 °C. El comportamiento del CO presenta una tendencia descendente con una variación de 0,17% entre el valor inicial y final.

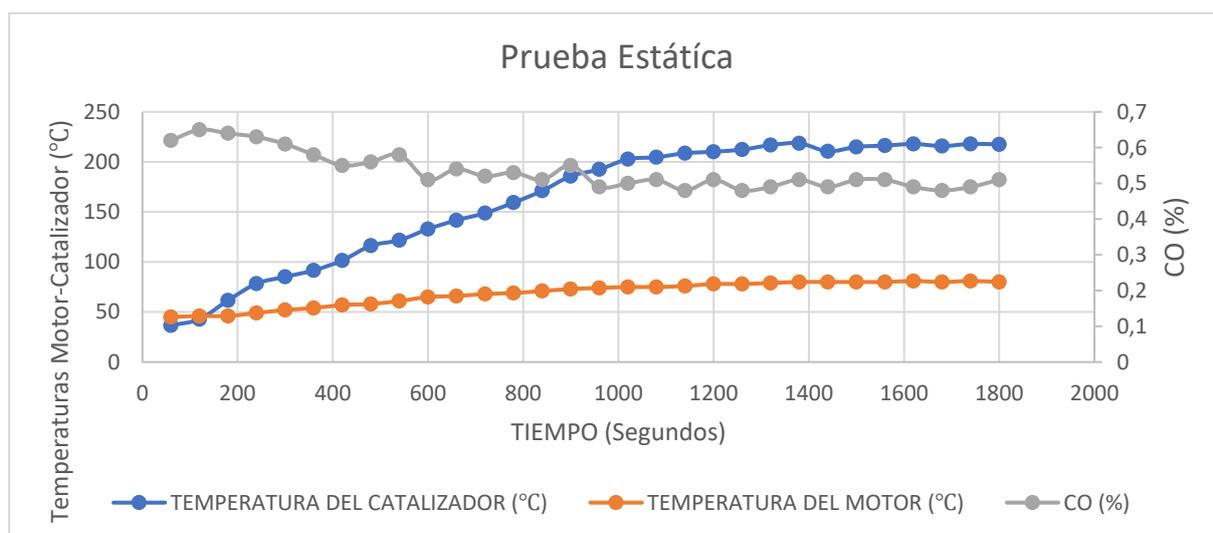


Figura 114. CO vs Temperatura de motor y catalizador

Los datos receptados durante los 1800 segundos de duración de la prueba, se evidencian grandes fluctuaciones de O₂ con un valor máximo de 1,08% y un valor mínimo de 0,91%. Se visualiza las curvas del comportamiento térmico del catalizador y del motor con temperaturas iniciales de 36 °C y 45 °C respectivamente, hasta llegar a una temperatura final de 217 °C y 80 °C para cada una. Observados en la figura 115.

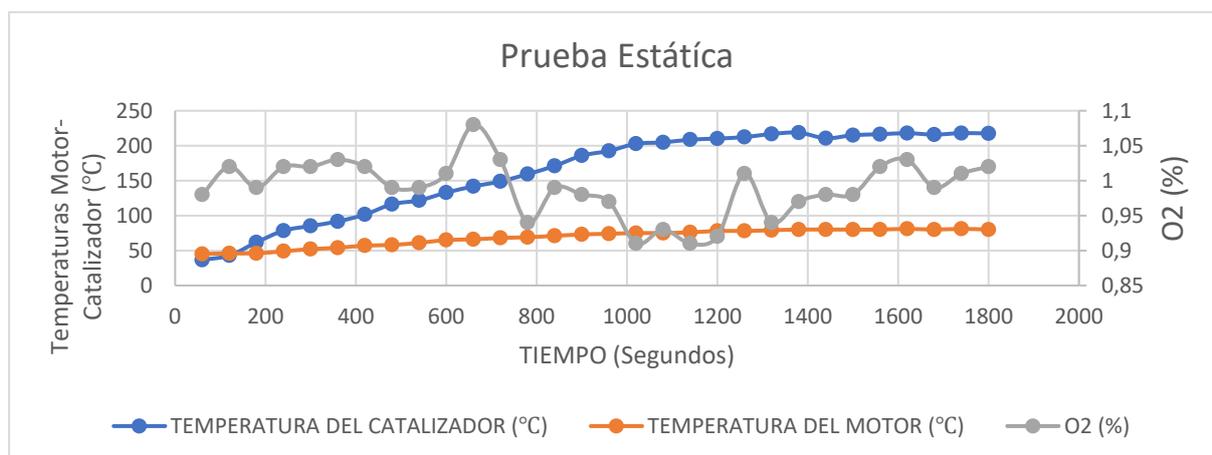


Figura 115. O₂ vs Temperatura de motor y catalizador

En la figura 116, se observa el comportamiento de los hidrocarburos (HC), se visualiza una fluctuación descendente de 56 ppm con respecto a su valor inicial y final, conforme el comportamiento térmico del catalizador y del motor aumenta de forma progresiva.

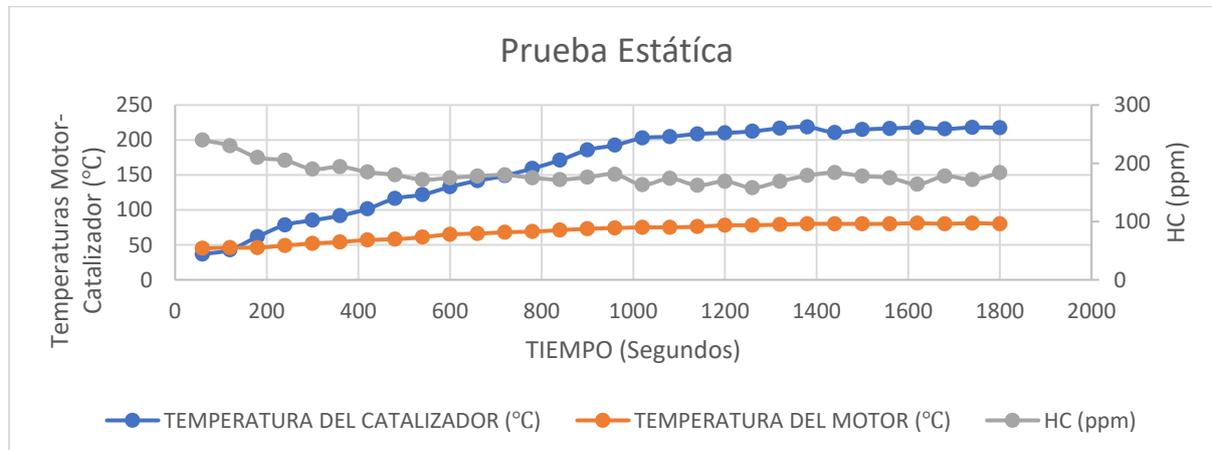


Figura 116. HC vs Temperatura de motor y catalizador

En la figura 117 se evidencia el comportamiento de la curva del peso teórico; se establece el valor estequiométrico de 14.7 y el comportamiento real del aire; con variaciones poco significativas durante toda la prueba. Durante los 1800 segundos de la prueba se visualiza aproximaciones al valor constante de 14.7.

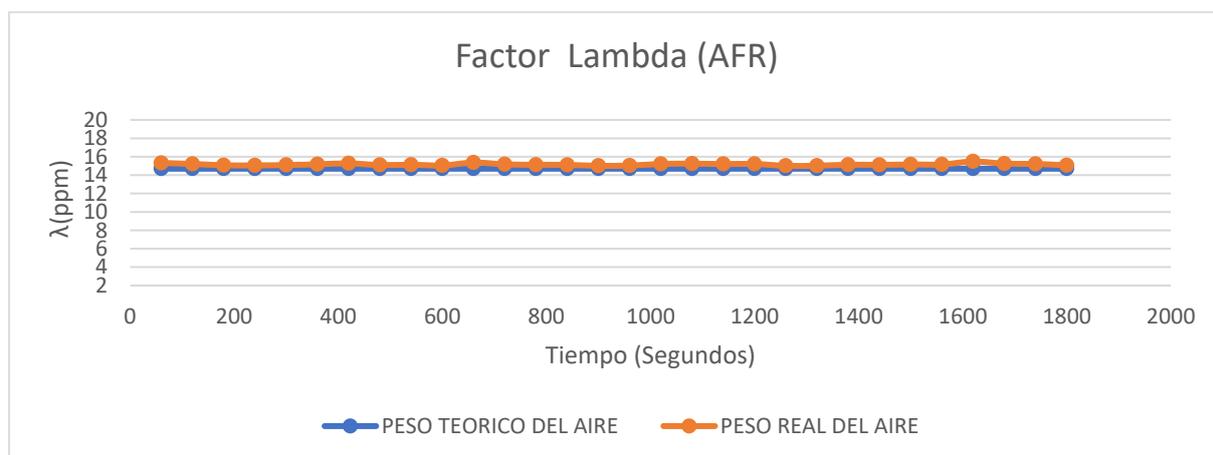


Figura 117. Factor Lambda (AFR)

4.17 Pruebas Estáticas a diferentes regímenes de giro – VP2-N

En la figura 118 se evidencia un ascenso de los valores de CO₂, conforme las RPM del motor de combustión interna se elevan, con valores mínimos de 11,9 % y máximos de 12,5 % que fluctúan durante el transcurso de la prueba.

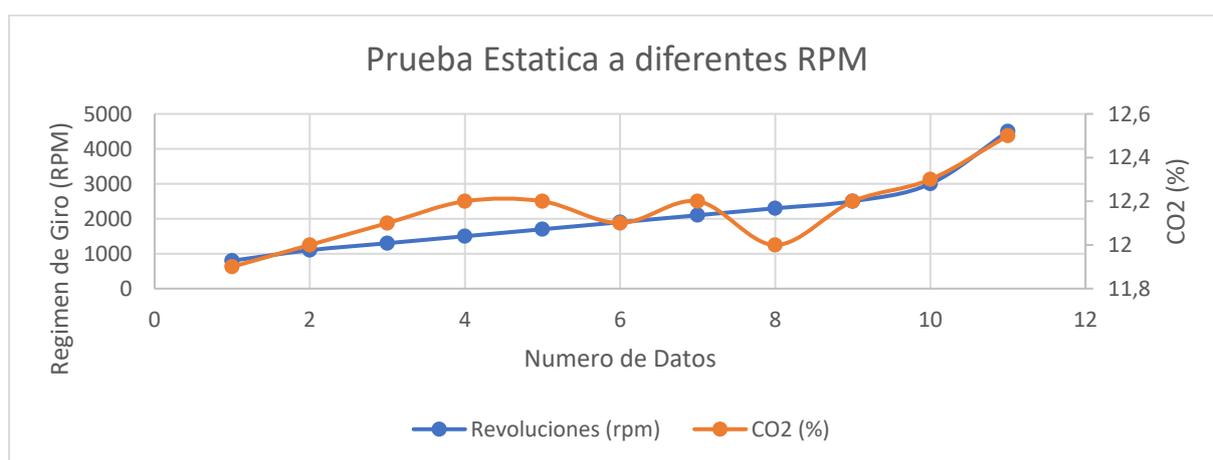


Figura 118. CO₂ a diferentes regímenes de giro

Se visualiza un descenso paulatino en los valores de CO, con un valor máximo de 0,58% y mínimo de 0,26% mientras que las revoluciones van en ascenso durante toda la prueba características evidenciadas en la figura 119.

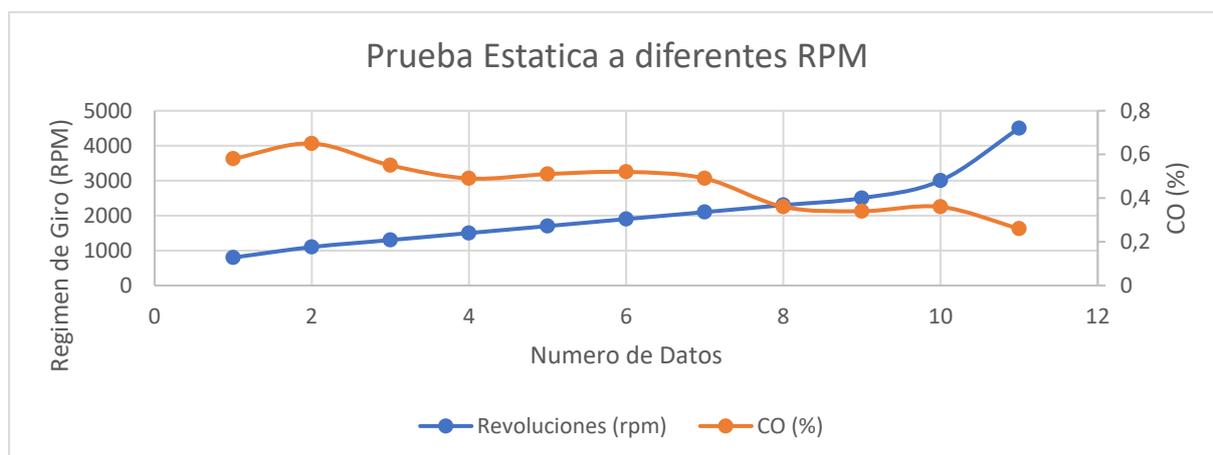


Figura 119. CO a diferentes regímenes de giro

En la figura 120, se observa variaciones en el descenso de los valores del O₂ con un valor máximo de 1,09% y un valor mínimo de 0,23% que fluctúan en el transcurso de toda la prueba; conforme el régimen de giro aumenta,

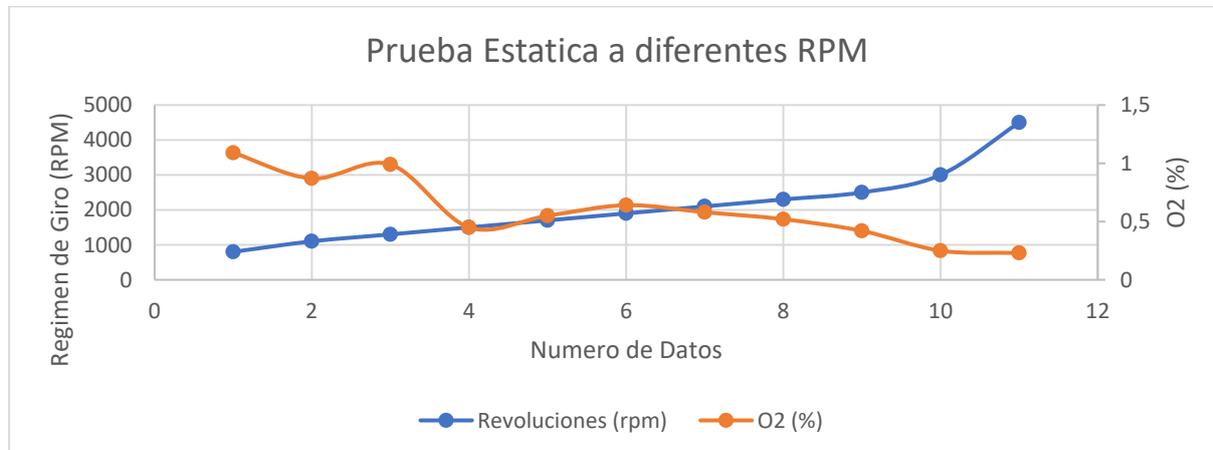


Figura 120. O₂ a diferentes regímenes de giro

En la figura 121, se observa un franco descenso de los valores de hidrocarburos, con datos máximos de 197 ppm y mínimos de 158 ppm, conforme el régimen de giro aumenta paulatinamente.

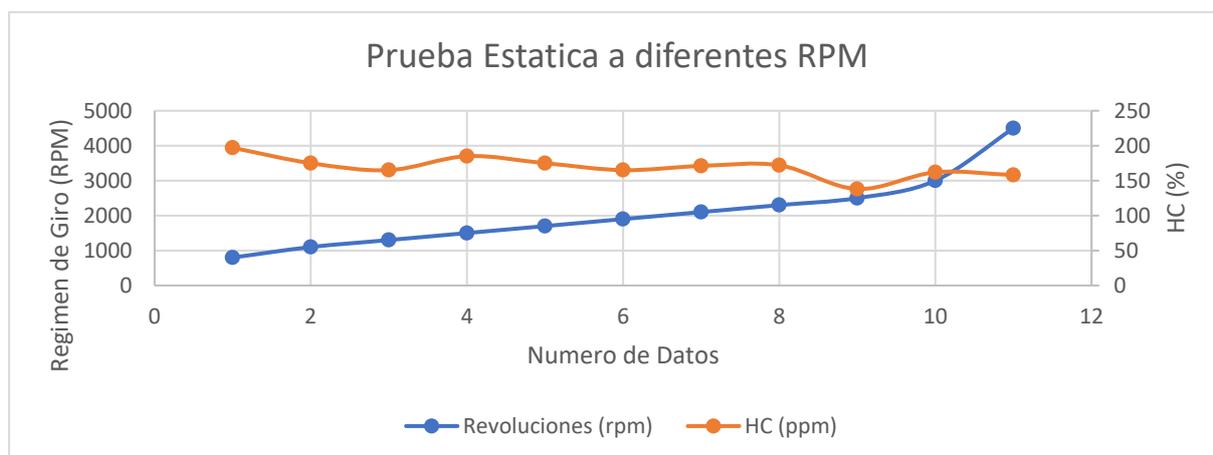


Figura 121. HC a diferentes regímenes de giro

Las tres curvas visualizadas representan, la primera de color azul el peso real del aire; con unas grandes fluctuaciones durante toda la prueba, con un valor inicial de 15.06 y final de 15,45, acercándose al valor de la segunda grafica que marca la tendencia del valor estequiométrico de 14.7. La curva de color gris representa el ascenso paulatino del régimen de giro desde ralenti hasta un máximo de rpm, comportamientos observados en la gráfica 122.

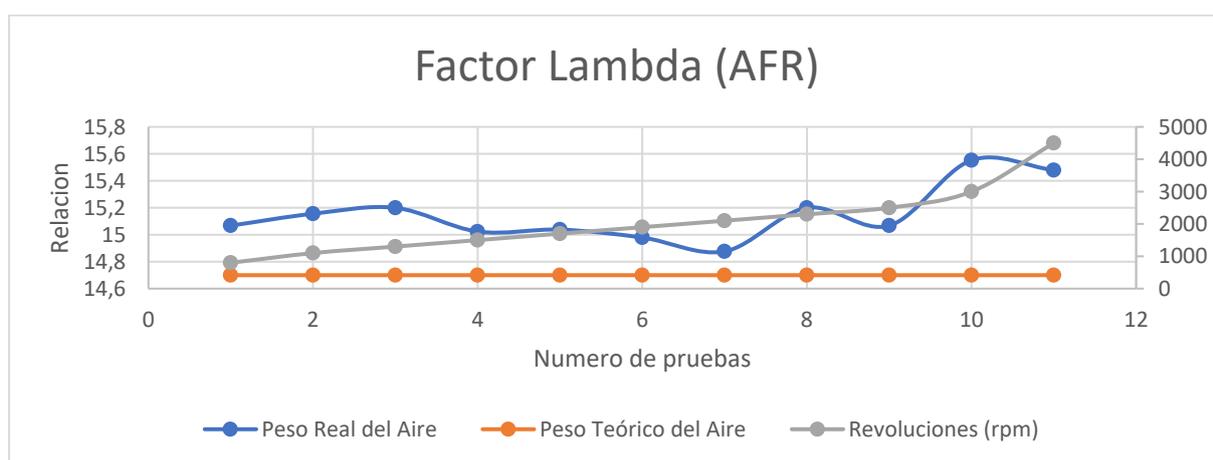


Figura 122. Factor Lambda (AFR) a diferentes regímenes de giro

4.18 NEDC - VP2-N

En la figura 123, se visualiza un descenso poco significativo del CO₂ con un valor de inicio

de 12,2% y un valor final de 10,1%, con variaciones mínimas en los 1200 segundos de prueba

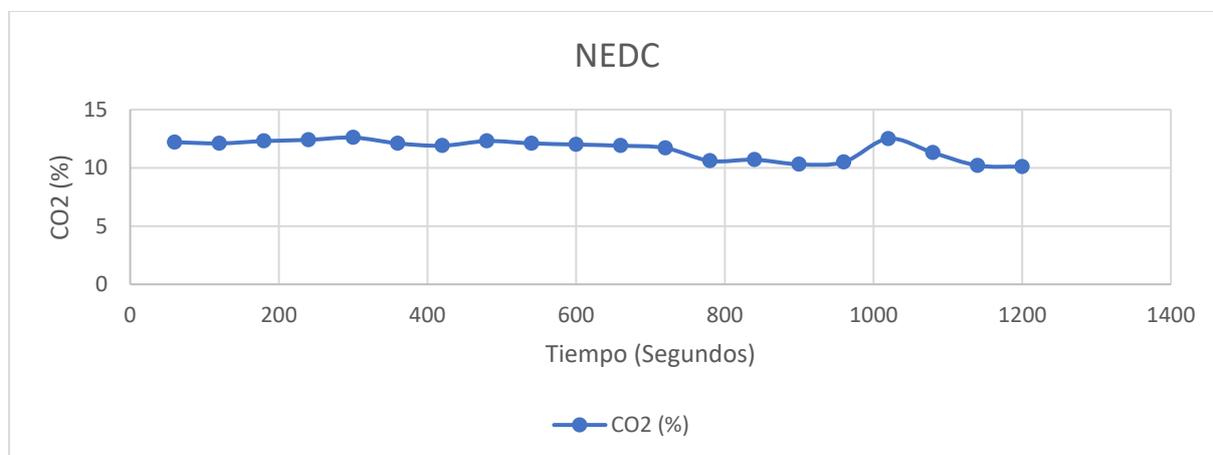


Figura 123. NEDC – CO₂ vs Tiempo

Se observa un comportamiento poco equilibrado durante los 1200 segundos de prueba, con la presencia de varias fluctuaciones que oscilan entre 0.12% a 0.07% en los valores de CO, variaciones visualizadas en la figura 124.

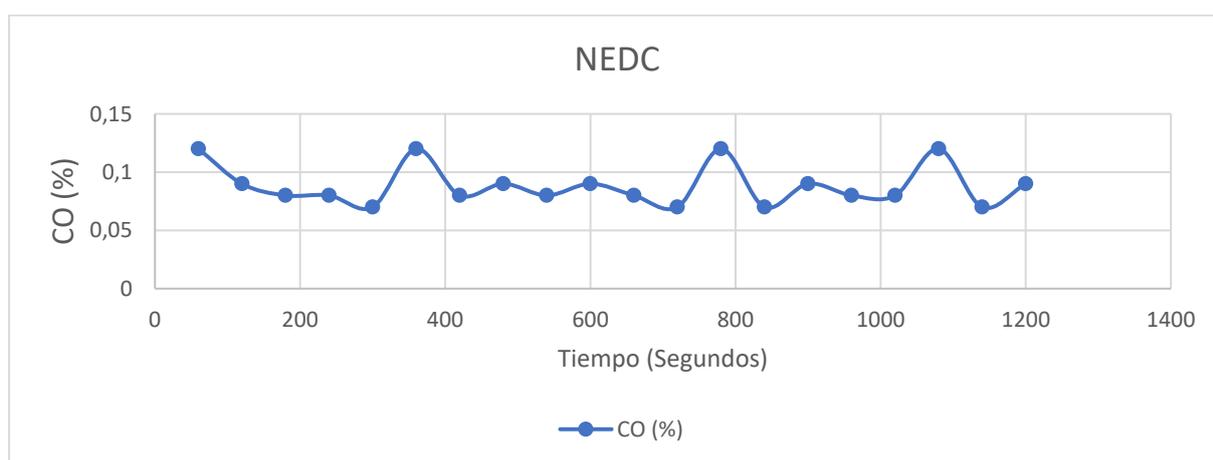


Figura 124. NEDC – CO vs Tiempo

Se visualiza grandes fluctuaciones en el comportamiento del O₂ durante toda la prueba, con valores mínimos de 0.22 % y máximos de 1.23 %. Características observadas en la figura 125.

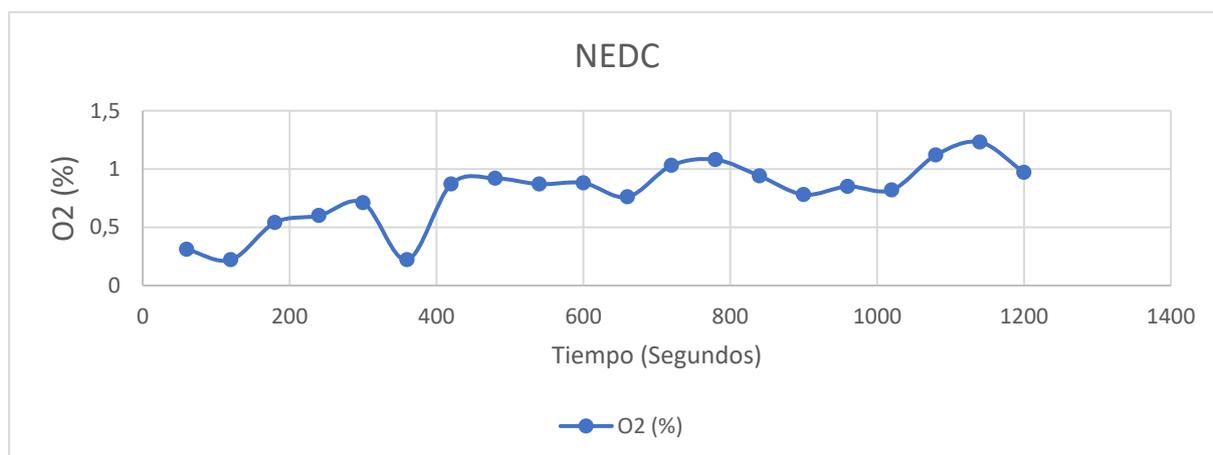


Figura 125. NEDC – O₂ vs Tiempo

En la figura 126, se visualiza un valor inicial de 51 ppm y final de 51 ppm, se observa grandes fluctuaciones en toda la duración de la prueba, con variaciones considerables en las dos fases; urbano y extra – urbano, promulgadas en el protocolo armonizado NEDC.

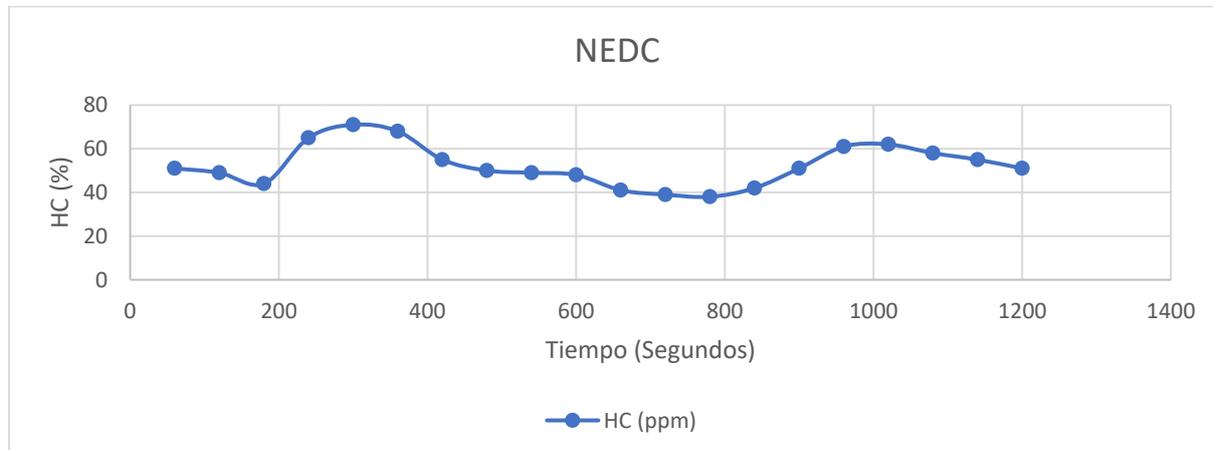


Figura 126. NEDC – HC vs Tiempo

Las curvas observadas en la figura 127 representan, la primera de color azul el peso real del aire; con un comportamiento bastante similar al valor de la segunda curva que marca la tendencia del valor estequiométrico de 14.7; exceptuando dos picos en los segundos 420 y 1080 con valores de 17,80 y 18,90 respectivamente.

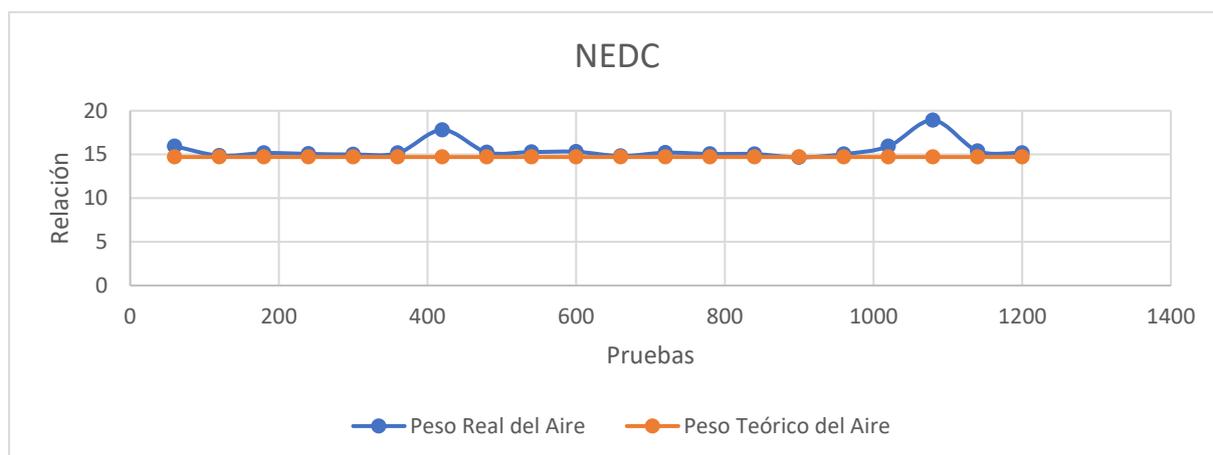


Figura 127. NEDC – Factor lambda (AFR) vs Tiempo

En la figura 128, se visualiza la relación existente entre el comportamiento del sensor MAP, la carga del motor y las emisiones de CO₂; con una unidad de media de kPa para el primero y porcentaje para los dos restantes. Las curvas azul y gris describen fluctuaciones con ascensos y descensos similares durante toda la prueba, para observar valores mínimos de 10.8% y máximos de 11.7% en lo que se refiere a los datos del dióxido de carbono.

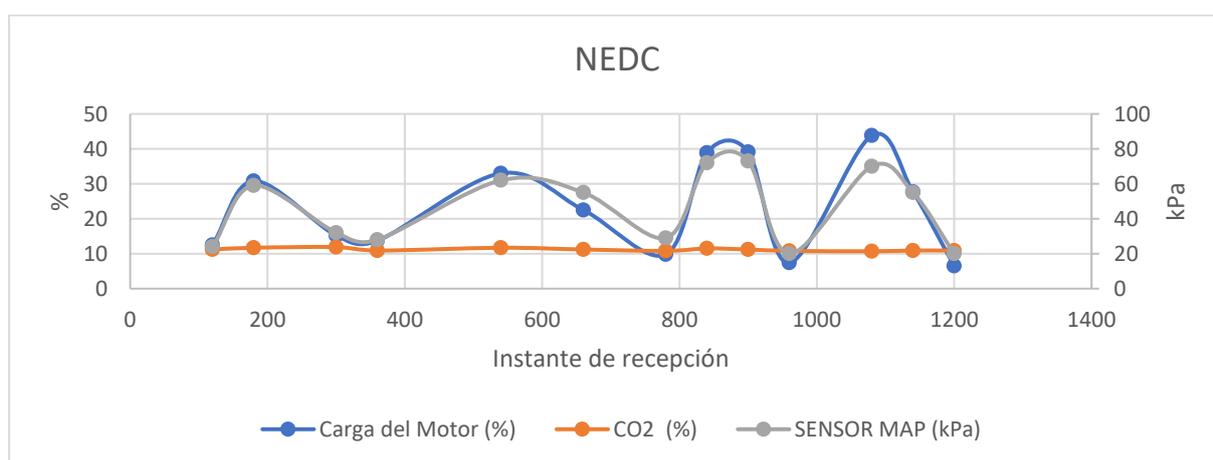


Figura 128. NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs CO₂

Conforme los valores de la carga del motor y del sensor MAP fluctúan en los 1200 segundos de prueba, los datos porcentuales de CO varían también entre un valor inicial de 0.16% y final de 0.19%, visualizadas en la figura 129.

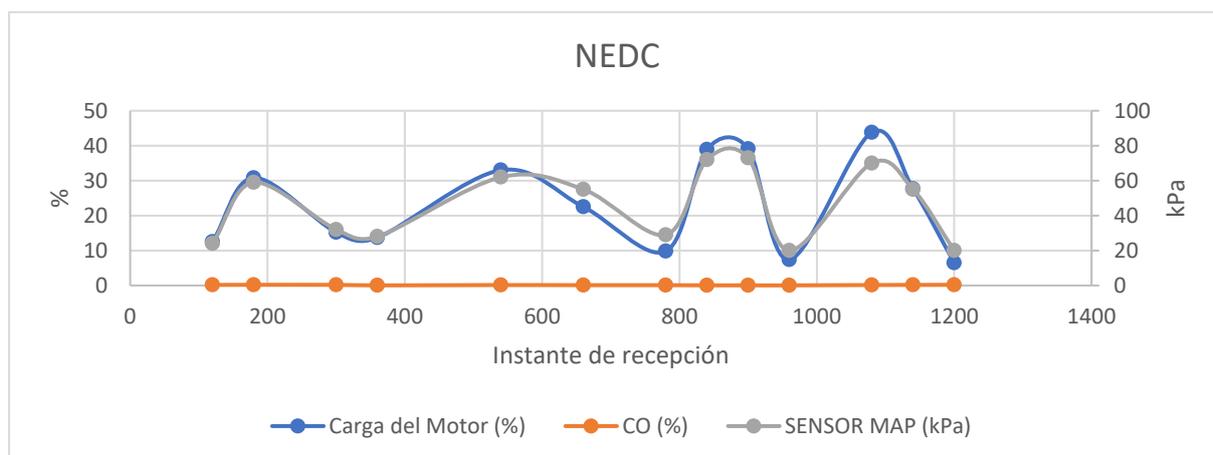


Figura 129. NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs CO

En la figura 130, se visualiza los valores del O₂, con valores mínimos de 0.48 % y máximos de 0.88 %, evidenciando una fluctuación mínima con respecto a las curvas de la carga del motor y del sensor MAP que se observa con fluctuaciones significativas durante el transcurso de la prueba.

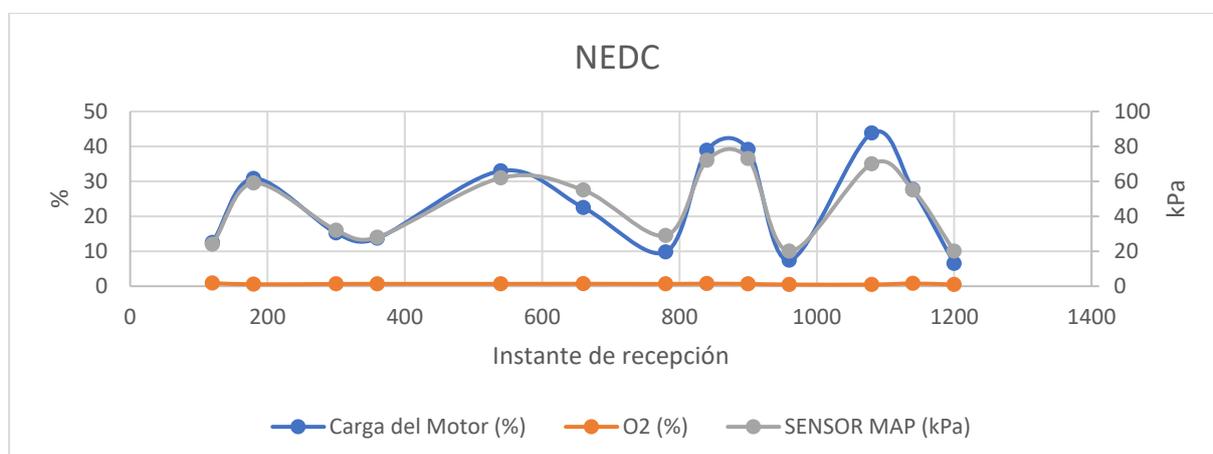


Figura 130. NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs O₂

Se observa una dependencia significativa, tiene una similitud en la gran mayoría de las fluctuaciones que marcan las curvas de carga de motor; con un valor mínimo de 6.5 % y máximo de 43.8 % y del sensor MAP con un pico máximo de 72 kPa, con respecto a la que determina el comportamiento de los valores de HC, con lo que respecta a los valores de

hidrocarburos se mantienen en un rango promedio de 92 ppm, todas las variaciones son visualizadas en la figura 131.

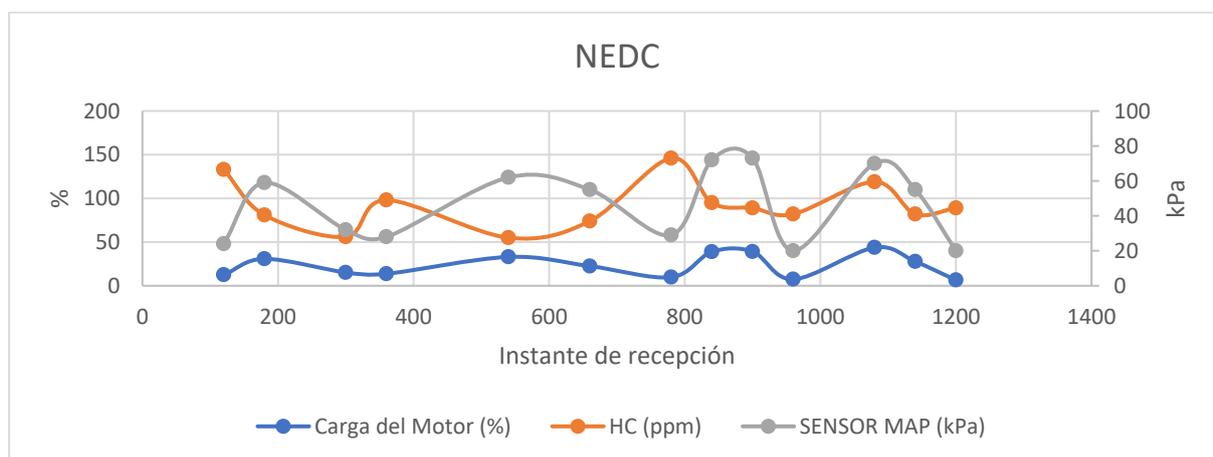


Figura 131. NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs HC

En la figura 132 se observan 4 curvas dos de ellas de color azul y gris, representan a la carga del motor y al comportamiento del sensor MAP respectivamente. Las dos curvas restantes evidencian el peso real y teórico del aire, manteniendo una definida distancia en sus curvas con valores entre 16,2 y 15, observando una mezcla pobre durante toda la prueba.

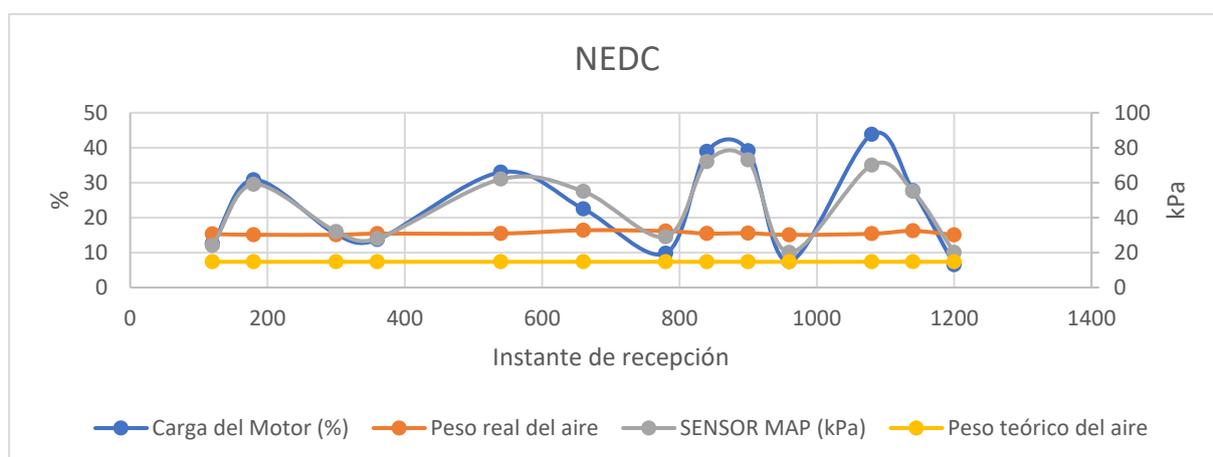


Figura 132. NEDC – Carga del Motor y Sensor MAP vs Factor lambda (AFR)

4.19 WLTP - VP2-N

En el transcurso de toda la prueba se evidencia fluctuaciones poco pronunciadas en los valores de CO₂, excepto en el segundo 1080, donde existe un pico con un valor 9,3 %, se observa un dato porcentual inicial de 10,5 y final de 10,2 todas las características son observadas en la figura 133.

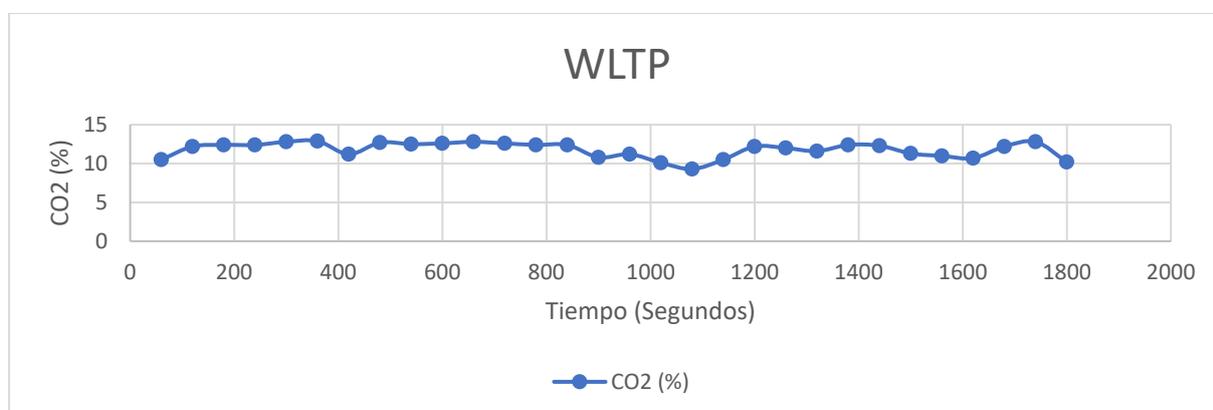


Figura 133. WLTP – CO₂ vs Tiempo

En la figura 134 se visualiza, un descenso progresivo en los valores de CO en los primeros 300 segundos prueba, desde un valor máximo de 1.26 % hasta 0.06 %, a partir de ese momento los datos mantienen un equilibrio hasta finalizar la prueba.

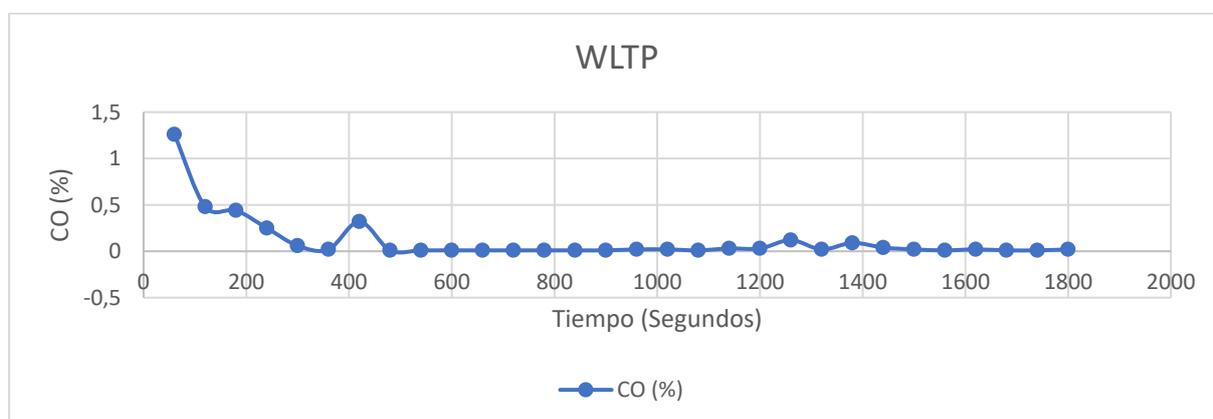


Figura 134. WLTP – CO vs Tiempo

El comportamiento del O₂, se evidencia en la figura 135, con un descenso de 1.89 % a 0.01% en los primeros 360 segundos, se observa un equilibrio significativo hasta el segundo 840, en el resto de la prueba existen fluctuaciones bastante significativas con picos máximos de 4,79 % y mínimos de 0.34%.

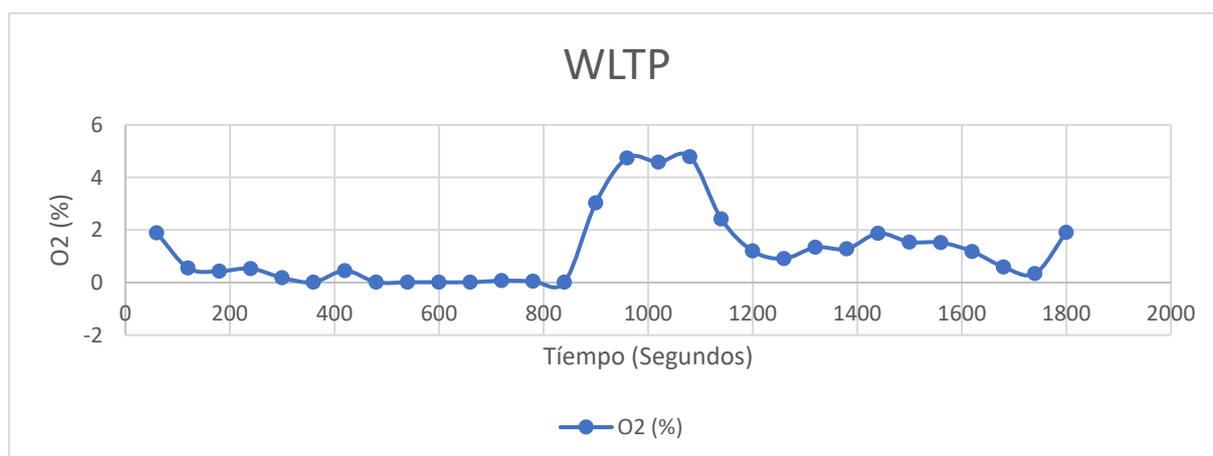


Figura 135. WLTP – O₂ vs Tiempo

La figura 136 evidencia, el comportamiento de los valores de HC, con valores máximos y mínimos de 203 ppm y 12 ppm respectivamente, se observa grandes fluctuaciones con una tendencia descendente durante toda la prueba

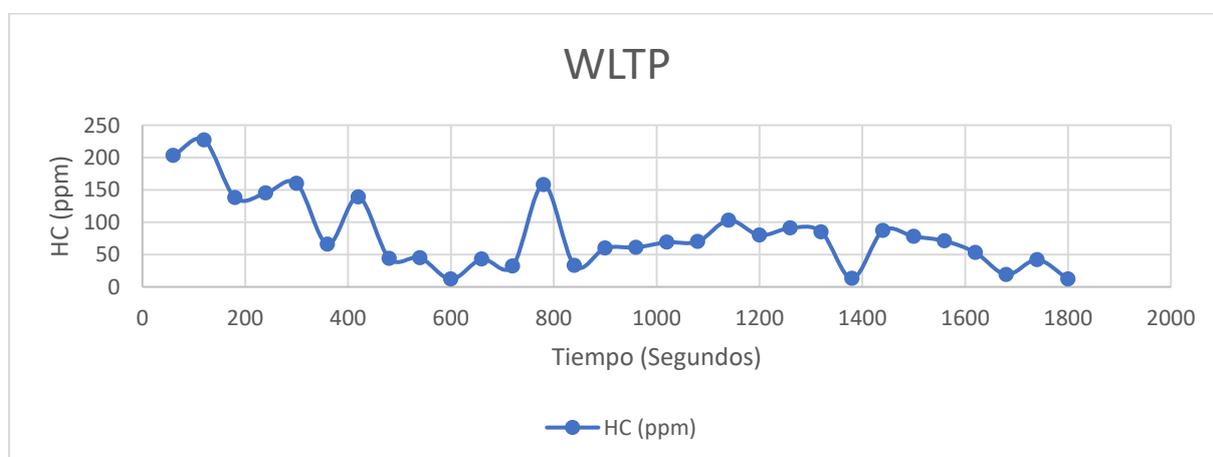


Figura 136. WLTP – HC vs Tiempo

En la figura 137 se observan dos curvas, la primera de color naranja representa el comportamiento del peso teórico; que se establece en un valor estequiométrico de 14.7 y la segunda representa el valor real del aire; en la cual en los primeros instantes de la prueba se visualiza que la mezcla aire – combustible es idónea, a partir del segundo 840 presentan fluctuaciones considerables con un valor máximo de 20,75 durante el resto del ciclo de conducción WLTP.

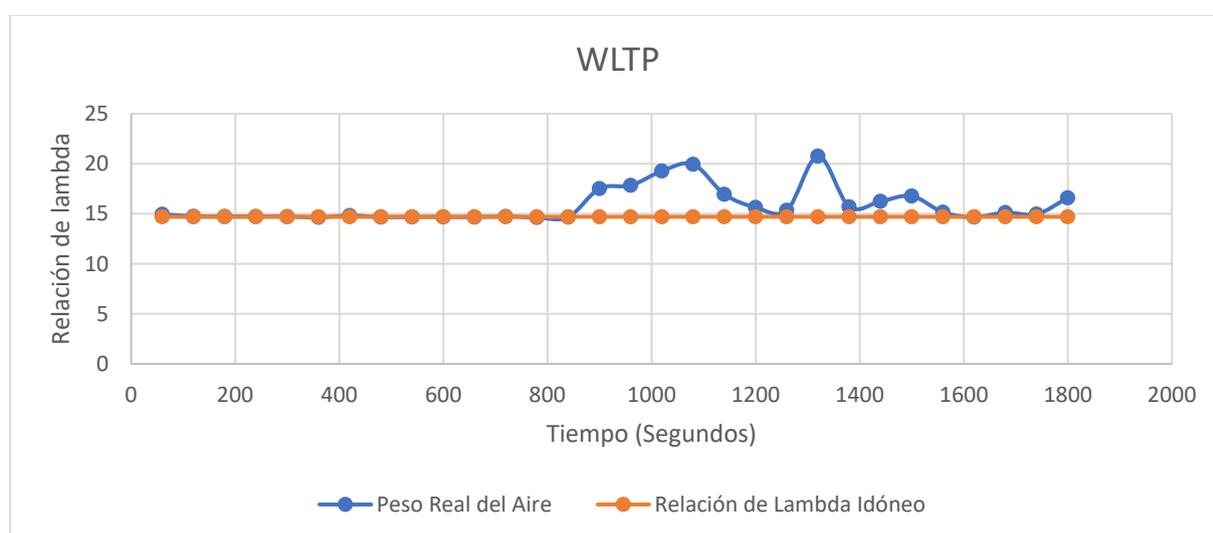


Figura 137. WLTP – Factor lambda (AFR) vs Tiempo

Las emisiones del dióxido de carbono se mantienen con oscilaciones significativas, con valores mínimos de 9.4 % y máximos de 12.7 %. El comportamiento de las curvas de la carga del motor y del sensor MAP durante los 1800 segundos de prueba, describen una marcada similitud, con ascensos progresivos y descensos paulatinos en sus valores, características observadas en la figura 138.

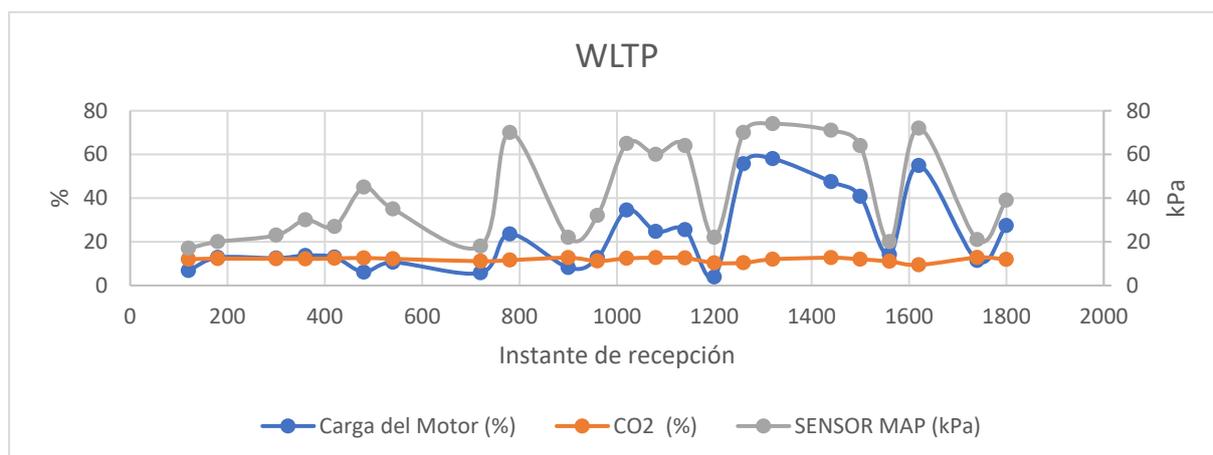


Figura 138. Carga del Motor y Sensor MAP vs CO₂

En la figura 139 se visualiza el comportamiento del CO, con valores oscilantes entre 1,56 % y 0,03%, las curvas de carga de motor y del sensor MAP describen comportamientos idénticos en el transcurso de la toda la prueba del ciclo de conducción europeo WLTP.

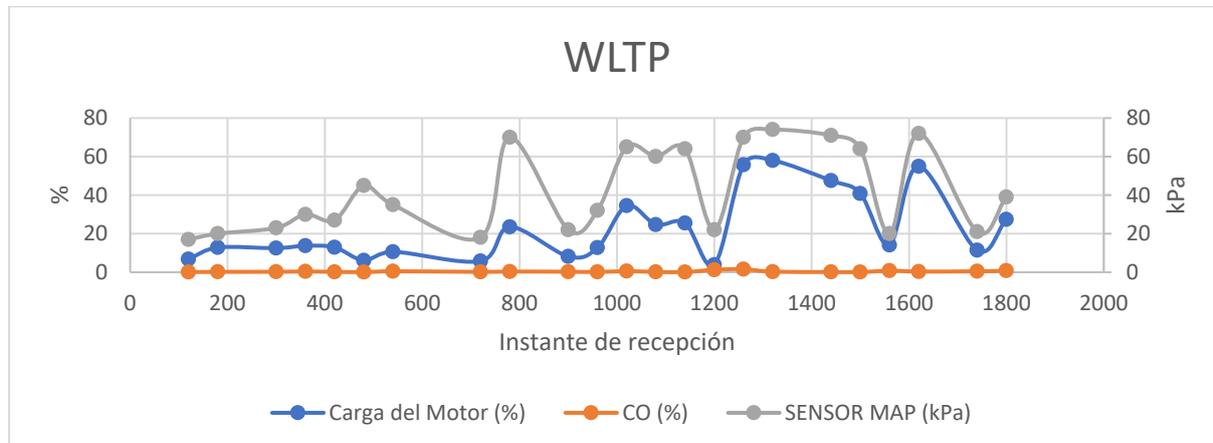


Figura 139. Carga del Motor y Sensor MAP vs CO

La curva descrita por los valores tomados de O₂ evidencian; oscilaciones poco significativas en toda la prueba, a diferencia de las curvas de la carga y del sensor MAP, que se observan fluctuaciones con picos máximos de 47,5 % y 71 kPa respectivamente, detalles visualizados en la figura 140.

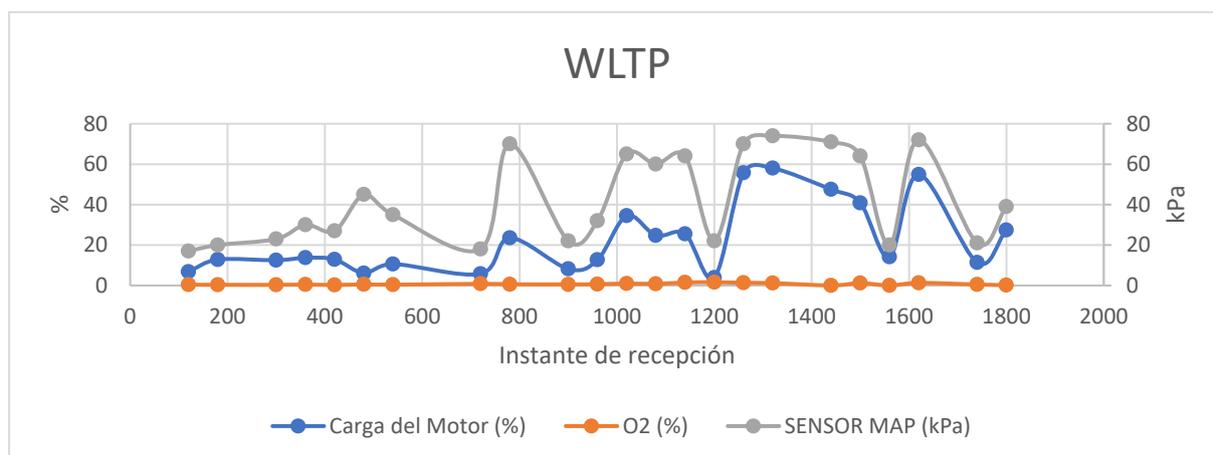


Figura 140. Carga del Motor y Sensor MAP vs O₂

El comportamiento de HC se visualiza con ascensos y descensos durante toda la prueba con un valor en su pico más alto de 110 ppm, con respecto a las curvas de carga y del sensor MAP, mantienen oscilaciones similares en determinados momentos de la prueba. Características observadas en la figura 141.

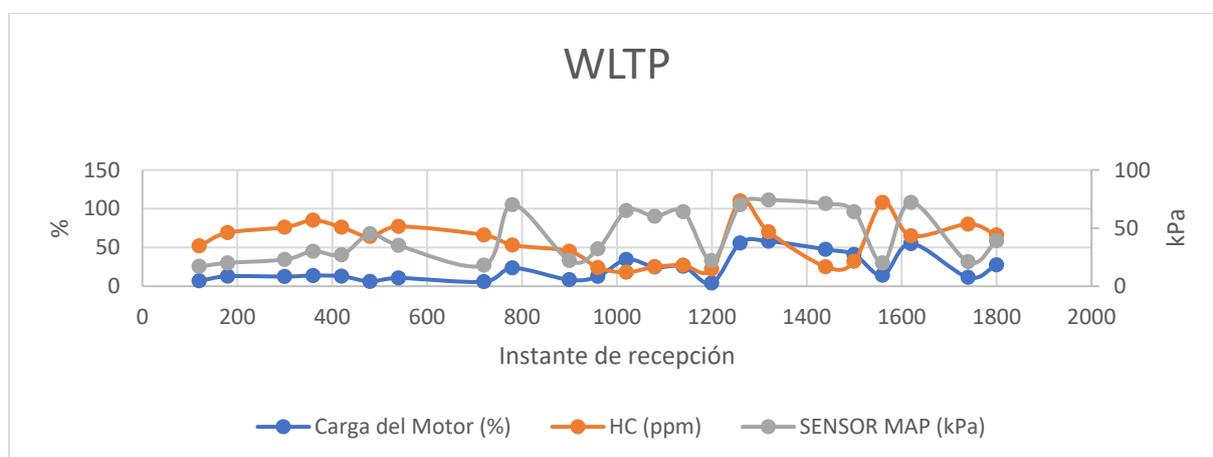


Figura 141. Carga del Motor y Sensor MAP vs HC

Se visualizan 4 curvas en la figura 142, la primera y segunda curva, representan la carga del motor y el Sensor MAP; manteniendo una relación significativa en sus valores durante los 1800 segundos de prueba, las dos curvas restantes; evidencian la relación AFR, con el valor teórico y real del peso del aire.

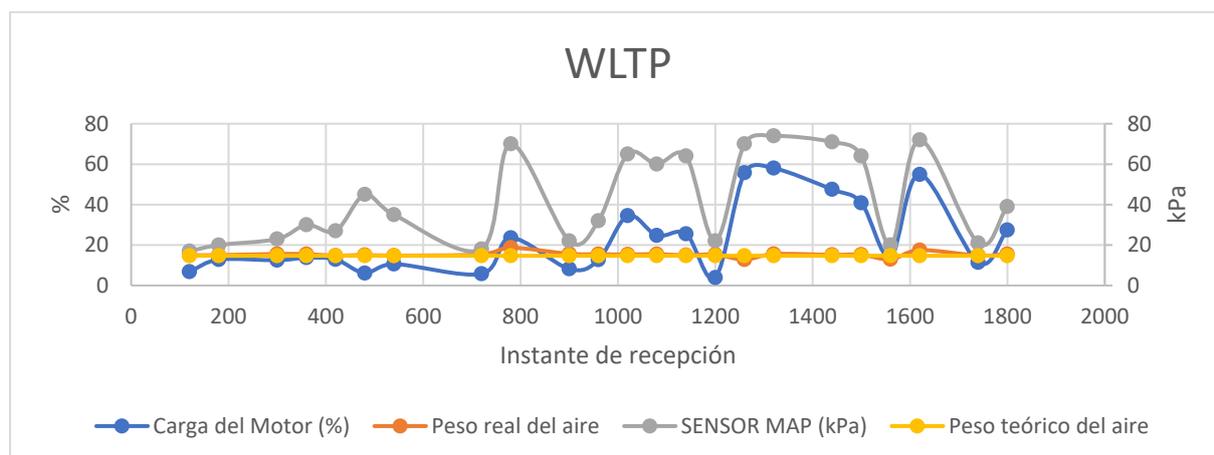


Figura 142. Carga del Motor y Sensor MAP vs Factor Lambda (AFR)

4.20 Análisis de resultados

Se utilizó un interfaz estadístico, el cual permite realizar un análisis descriptivo completo de los valores obtenidos de cada una de las emisiones de gases contaminantes, con catalizadores usados y nuevos tres vías.

4.20.1 Estadístico descriptivo y comparativo de las emisiones de gases mediante pruebas estáticas VP2-U y VP2-N

En la tabla 30, se visualiza la relación de los datos estadísticos de media, desviación y el error promedio de la desviación, correspondientes al CO₂, con una disminución significativa en los valores del error promedio de desviación, entre el catalizador usado y nuevo de tres vías.

Tabla 30.

Comparación estadística de las emisiones de CO₂ – VP2-U y N – Prueba estática

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
CO ₂ – VP2-U	30	14,0433	0,64577	0,11790
CO ₂ – VP2-N	30	12,0933	0,11725	0,02141

En la figura 143 se evidencia un descenso significativo en la curva de las emisiones de CO₂

equipado con un catalizador nuevo, a diferencia del convertidor catalítico usado, cuyos valores de dióxido de carbono permanecen constantes, con ligeras fluctuaciones durante el transcurso de la prueba.

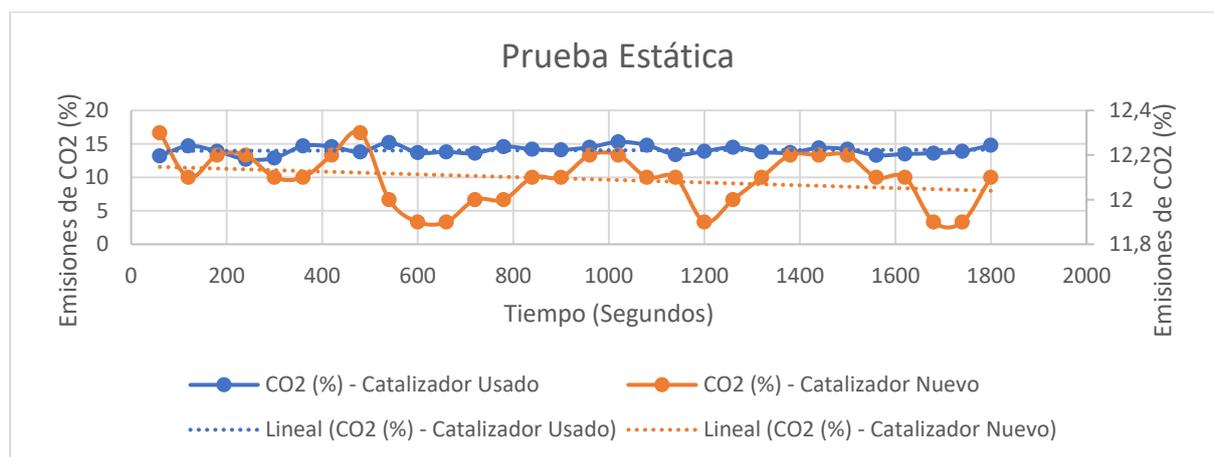


Figura 143. VP2-U y N – Prueba estática – CO₂

El error promedio de desviación visualizado en la tabla 31, realizado mediante un análisis de prueba T para variables independientes, evidencia un descenso en sus valores, en la relación establecida entre el catalizador usado y nuevo.

Tabla 31.

Comparación estadística de las emisiones de CO – VP2-U y N – Prueba estática

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
CO – VP2-U	30	1,7710	0,08767	0,01601
CO – VP2-N	30	0,5343	0,05151	0,00940

En las curvas de color anaranjado y azul, se evidencian una disminución en sus valores, con líneas de tendencia en descenso progresivo, los valores porcentuales tomados de CO durante la prueba estática; con un vehículo equipado con un catalizador nuevo, se mantienen en el rango de los límites permitidos por las normas técnicas ecuatorianas, características evidenciadas en la figura 144.

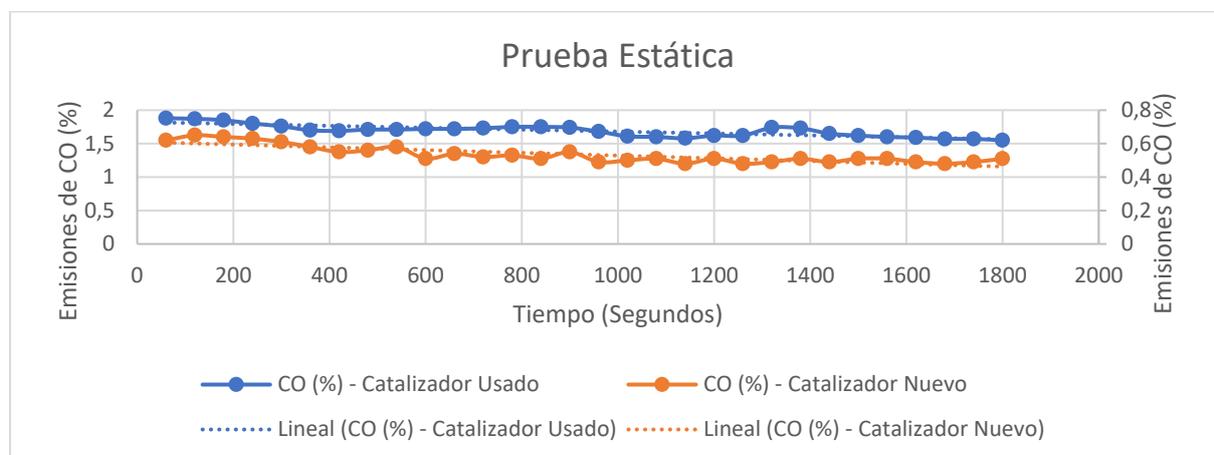


Figura 144. VP2-U y N – Prueba estática – CO

En la tabla 32 se observa los valores característicos de un análisis estadístico descriptivo, con un resultado de ello, se evidencia un descenso en el resultado del error promedio de desviación de los datos de O₂, entre un catalizador usado y nuevo.

Tabla 32.

Comparación estadística de las emisiones de O₂ – VP2-U y N – Prueba estática

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
O₂ – VP2-U	30	2,7677	0,87968	0.16061
O₂ – VP2-N	30	0,9893	0.04025	0.00735

El comportamiento de la gráfica de O₂ con un catalizador usado posee varias fluctuaciones en el transcurso de la prueba, a diferencia de la curva del oxígeno con un catalizador nuevo, la cual se mantiene en el rango permitido en las normas técnicas ecuatorianas, con fluctuaciones poco significativas, relación observada en la figura 145.

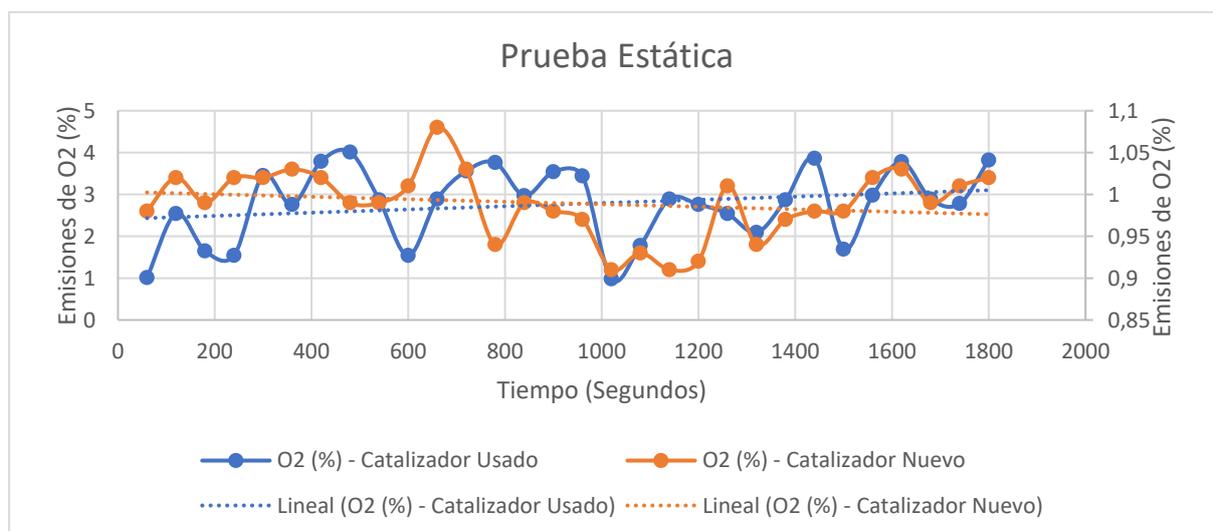


Figura 145. VP2-U y N – Prueba estática – O₂

La tabla 33 evidencia un análisis T, estableciendo valores comparativos entre un catalizador usado y nuevo; de la media, desviación y error promedio de desviación

Tabla 33.

Comparación estadística de las emisiones de HC – VP2-U y N – Prueba estática

Variables	N	Media	Desviación	Error promedio de desviación
HC – VP2-U	30	225,9667	18,09836	3,30429
HC – VP2-N	30	181,7333	18,39778	3,35896

En la figura 146 se observa los valores de HC, el catalizador usado presenta fluctuaciones con un aumento poco significativo durante los 1800 segundos, por otra parte, se evidencia una reducción significativa de las emisiones de hidrocarburos cuando el vehículo de prueba está equipado con un catalizador nuevo.

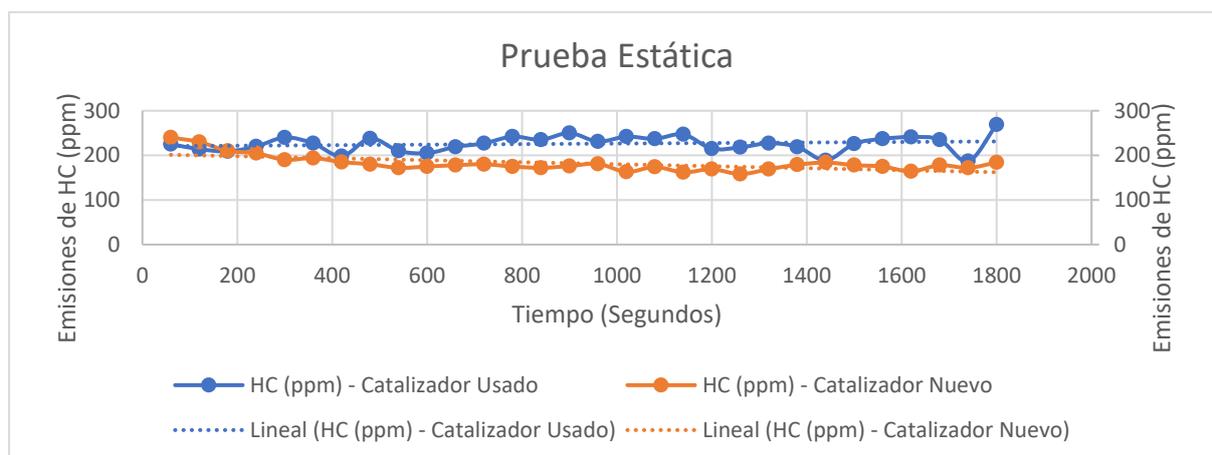


Figura 146. VP2-U y N – Prueba estática – HC

4.20.2 Estadístico descriptivo y comparativo de las emisiones de gases mediante pruebas estáticas a diferentes regímenes de giro VP2-U y VP2-N

Para la prueba estática a diferentes regímenes de giro se recepto datos de CO₂, mediante los cuales se determinó, un error promedio de desviación de 0,30165 y 0,4929; correspondiente al catalizador usado y nuevo respectivamente.

Tabla 34.

Comparación estadística de las emisiones de CO₂ – VP2-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
CO ₂ – VP2-U	11	13,6091	1,00045	0,30165
CO ₂ – VP2-N	11	12,1545	0,16348	0,4929

Se establece una relación entre la curva de emisiones de CO₂ para el catalizador usado y nuevo, para lo cual se evidencia una similitud en las curvas generadas, con sus respectivas variaciones en sus datos, específicamente en los valores de emisión de dióxido de carbono cuando el motor de combustión interna está equipado con el catalizador nuevo. Características presentadas en la figura 147.

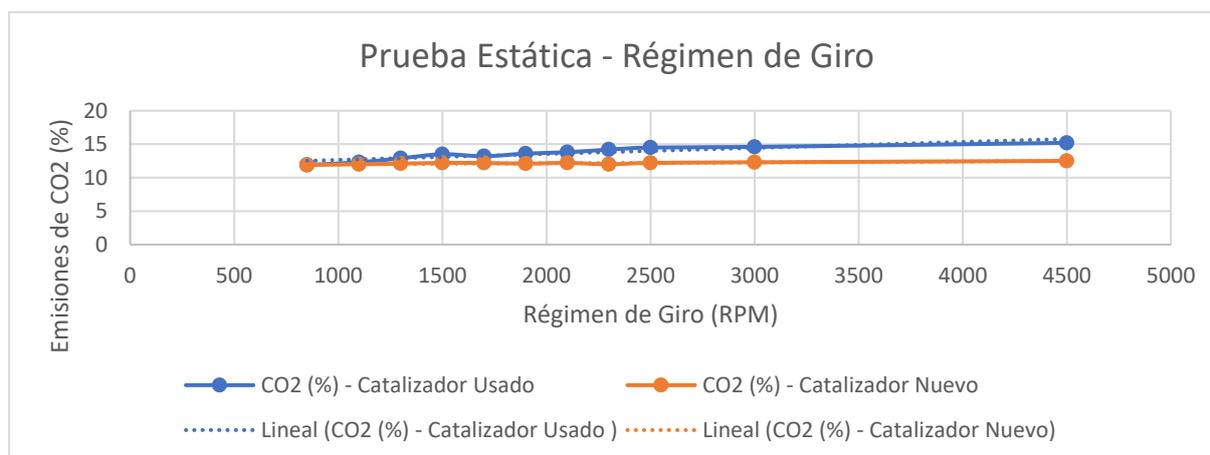


Figura 147. VP2-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro – CO₂

En la tabla 35, se detallan 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.

Tabla 35.

Comparación estadística de las emisiones de CO – VP2-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
CO – VP2-U	11	1,2645	0,47557	0,14339
CO – VP2-N	11	0,4645	0,11861	0,3576

Conforme el régimen de giro aumenta, se evidencia en la figura 148 que los valores de CO disminuyen progresivamente, de forma particular la curva del monóxido de carbono cuando la prueba se la realiza con el catalizador nuevo, en el cual se observa que sus valores aparte de que se reducen, se mantienen en los límites permitidos de las normas técnicas ecuatorianas de emisión de gases contaminantes, y en lo referente al catalizador usado tiene un aumento progresivo

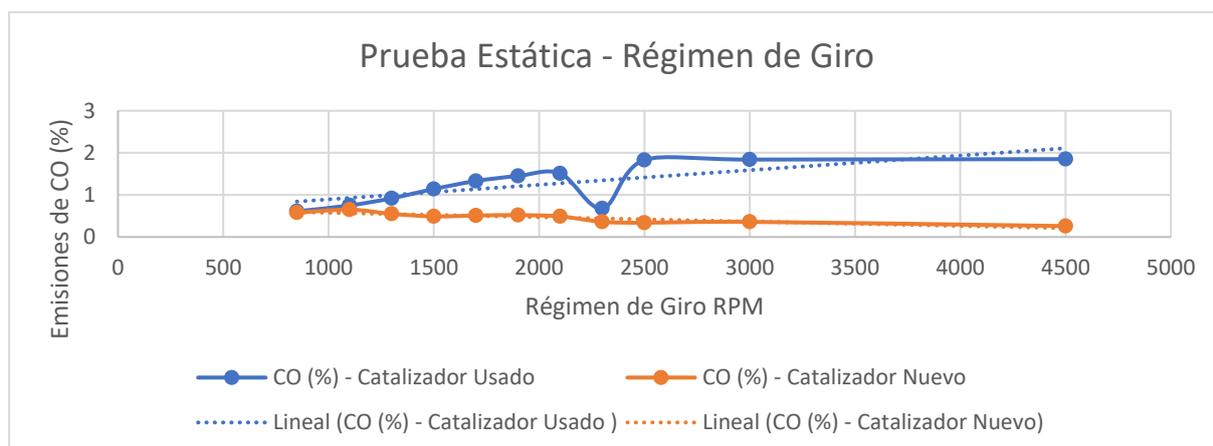


Figura 148. VP2-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro – CO

En la tabla 36 se visualiza los valores de la media, desviación y error promedio de desviación, para los catalizadores de dos vías usado y nuevo.

Tabla 36.

Comparación estadística de las emisiones de O₂ – VP2-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
O₂ – VP2-U	11	1,7718	1,05154	0,31705
O₂ – VP2-N	11	0,5991	0,28112	0,08476

En la figura 149 se observa un descenso progresivo en los valores de O₂, se evidencia que los datos de oxígeno con un catalizador nuevo se reducen significativamente.

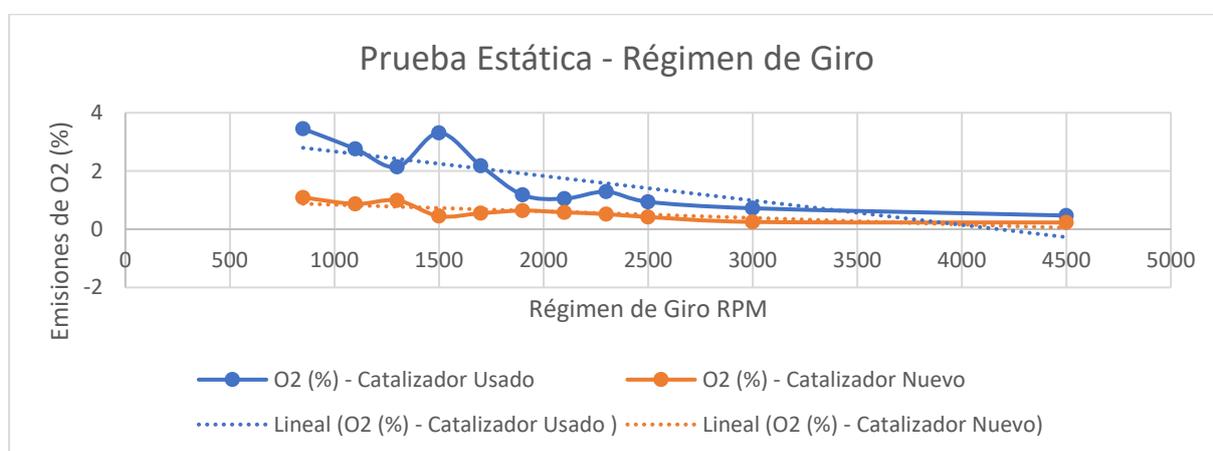


Figura 149. VP2-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro – O₂

En la tabla 37 se observa, una disminución del error promedio de desviación, con una diferencia de 2 entre las emisiones de HC con catalizador usado y nuevo.

Tabla 37.

Comparación estadística de las emisiones de HC – VP2-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
HC – VP2-U	11	205,0909	20,97358	6,32377
HC – VP2-N	11	169,3636	15,12133	4,55925

Las curvas descritas por los datos de HC visualizadas en la figura 150, evidencian una diferencia significativa en los rangos de fluctuación que estas atraviesan en toda la duración de prueba, para lo cual se observa que la curva de los hidrocarburos con un catalizador nuevo se mantiene en los límites promulgados por las normas vigentes de emisión de gases.

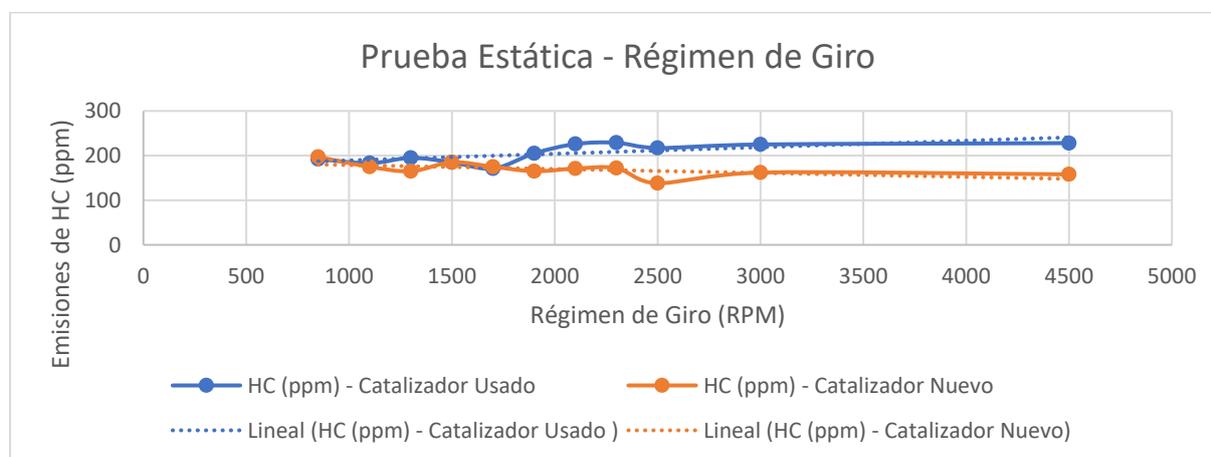


Figura 150. VP2-U y N – Prueba estática a diferentes regímenes de giro – HC

4.20.3 Estadístico descriptivo y comparativo de las emisiones de gases mediante el ciclo de conducción NEDC VP2-U y VP2-N

En la tabla 38 se visualiza la relación de los datos, entre las emisiones de CO₂ con un catalizador usado y un nuevo, dichos datos obtenidos mediante un análisis estadístico

descriptivo.

Tabla 38.

Comparación estadística de las emisiones de CO₂ – VP2-U y N – NEDC

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
CO ₂ – VP2-U	20	13,0750	0,50770	0,11353
CO ₂ – VP2-N	20	11,5900	0,85526	0,19124

Las líneas de tendencias, así como las curvas que describen el comportamiento de las emisiones de CO₂, evidencian un descenso en sus valores durante el transcurso de la prueba, siendo más notable la disminución de los valores porcentuales de CO₂ cuando el vehículo de prueba está equipado con un catalizador nuevo, disminuciones visualizadas en la figura 151.

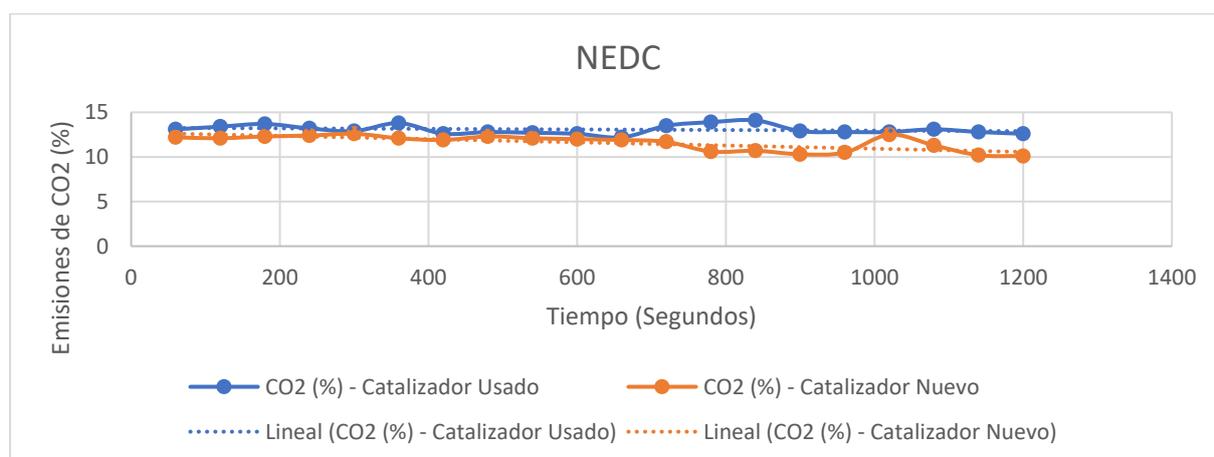


Figura 151. CO₂ - VP2-U y N – NEDC

En la tabla 39 se observa los valores de la media, desviación y el error promedio, se establece una comparación entre todos estos parámetros, para lo cual se evidencia una notoria disminución de los valores del error promedio de desviación en la comparación de las emisiones de CO con catalizador usado y nuevo.

Tabla 39.

Comparación estadística de las emisiones de CO – VP2-U y N – NEDC

<u>Variables</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desviación</u>	<u>Error promedio de desviación</u>
CO – VP2-U	20	0,1805	0,5577	0,01247
CO – VP2-N	20	0,0885	0,1755	0,00393

En la gráfica 152 se visualiza la comparativa del comportamiento de las curvas de CO con un catalizador nuevo y usado, se observa el descenso de la trayectoria de la curva anaranjada que representa a los valores de monóxido de carbono con un catalizador nuevo.

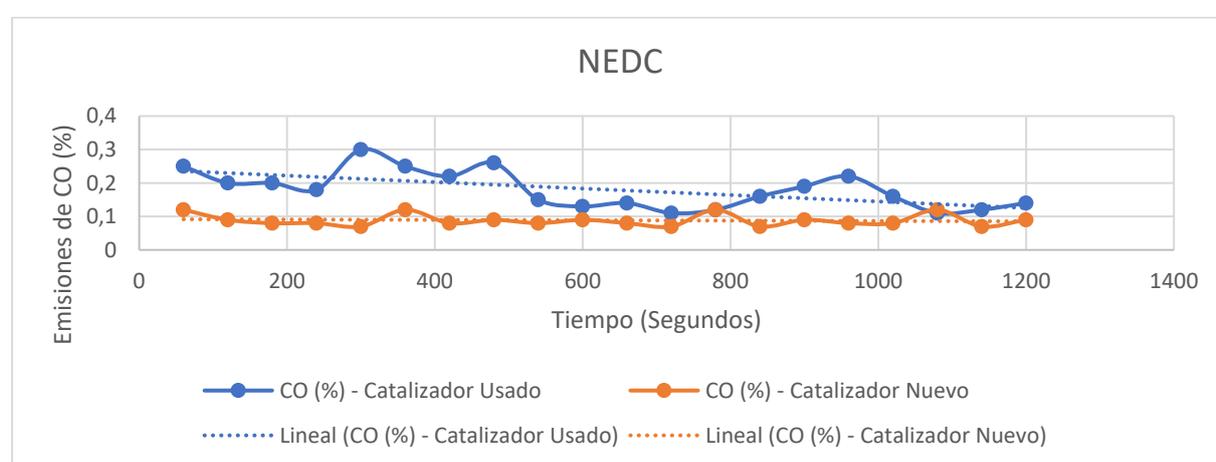


Figura 152. CO - VP2-U y N – NEDC

Con los 20 valores receptados en las pruebas se determina datos de; la media, desviación y el error de desviación, en este último, en la tabla 40, se observa una disminución considerable del error en lo que se refiere a las emisiones de O₂ con catalizador usado y nuevo.

Tabla 40.

Comparación estadística de las emisiones de O₂ – VP2-U y N – NEDC

<u>Variables</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desviación</u>	<u>Error promedio de desviación</u>
O ₂ – VP2-U	20	2,4520	0,21906	0,04898
O ₂ – VP2-N	20	1,7860	0,28352	0,06340

Las líneas de tendencias, así como las curvas que describen el comportamiento de las emisiones de O₂, aumentan significativamente cuando se coloca al vehículo de prueba un

catalizador nuevo, permaneciendo en los límites establecidos en la norma. Fluctuaciones observadas en la figura 153.

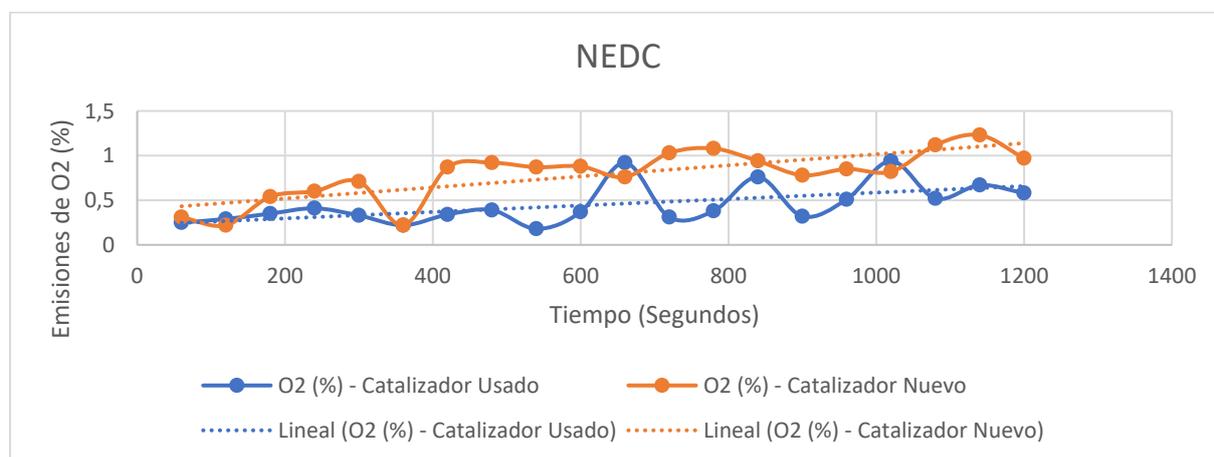


Figura 153. O₂ - VP2-U y N – NEDC

En la tabla 41 se visualiza los valores de la media, desviación y el error promedio de desviación, para lo cual, se observa un gran descenso de estos valores, entre la relación establecida de las emisiones de HC cuando el motor de combustión interna está equipado con un catalizador usado y nuevo.

Tabla 41.

Comparación estadística de las emisiones de HC – VP2-U y N – NEDC

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
HC – VP2-U	20	140,7000	73,02134	16,32807
HC – VP2-N	20	52,4000	9,48350	2,12058

En la figura 154 se observa la disminución en los valores de emisión de HC entre un catalizador usado y nuevo, se visualiza que los valores de hidrocarburos con un catalizador nuevo se mantienen dentro del límite de las normas ecuatorianas vigentes al catalizador nuevo.

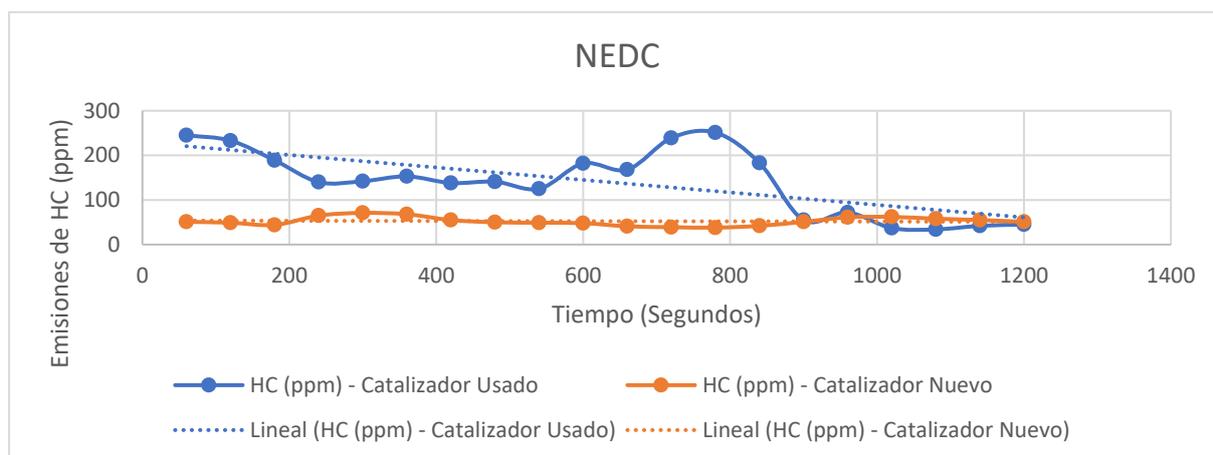


Figura 154. HC - VP2-U y N – NEDC

4.20.4 Estadístico descriptivo y comparativo de las emisiones de gases mediante el ciclo de conducción WLTP - VP2-U y VP2-N

En la tabla 42 se evidencia la disminución del error promedio de desviación, de las emisiones de CO₂ con un catalizador usado y nuevo.

Tabla 42.

Comparación estadística de las emisiones de CO₂ – VP2-U y N – WLTP

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
CO ₂ – VP2-U	30	12,9600	0,51902	0,09476
CO ₂ – VP2-N	30	11,7660	0,98782	0,18035

En la figura 155 se visualiza una disminución poco significativa en los datos de emisiones de CO₂ con un catalizador usado y nuevo, los valores del catalizador nuevo se mantienen dentro de los límites de las normas ecuatorianas vigentes.

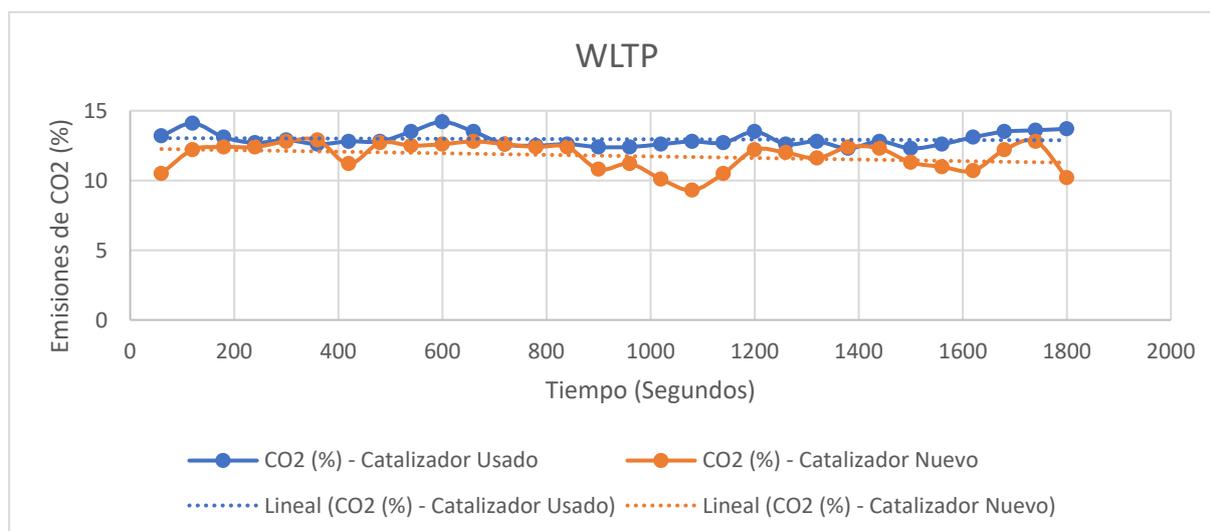


Figura 155. CO₂ - VP2-U y N – WLTP

En la tabla 43 se observa datos referentes a la media, desviación y error promedio de desviación, para lo cual, se evidencia un descenso significativo en el valor del error promedio de desviación cuando se utiliza un catalizador nuevo.

Tabla 43.

Comparación estadística de las emisiones de CO – VP2-U y N – WLTP

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
CO – VP2-U	30	0,5783	0,31259	0,05707
CO – VP2-N	30	0,1120	0,25132	0,04588

La comparativa observada en las dos curvas pertenecientes a las emisiones de CO con catalizador usado y nuevo, evidencia un descenso significativo en las emisiones cuando se utiliza un catalizador nuevo, característica visualizada en la figura 156.

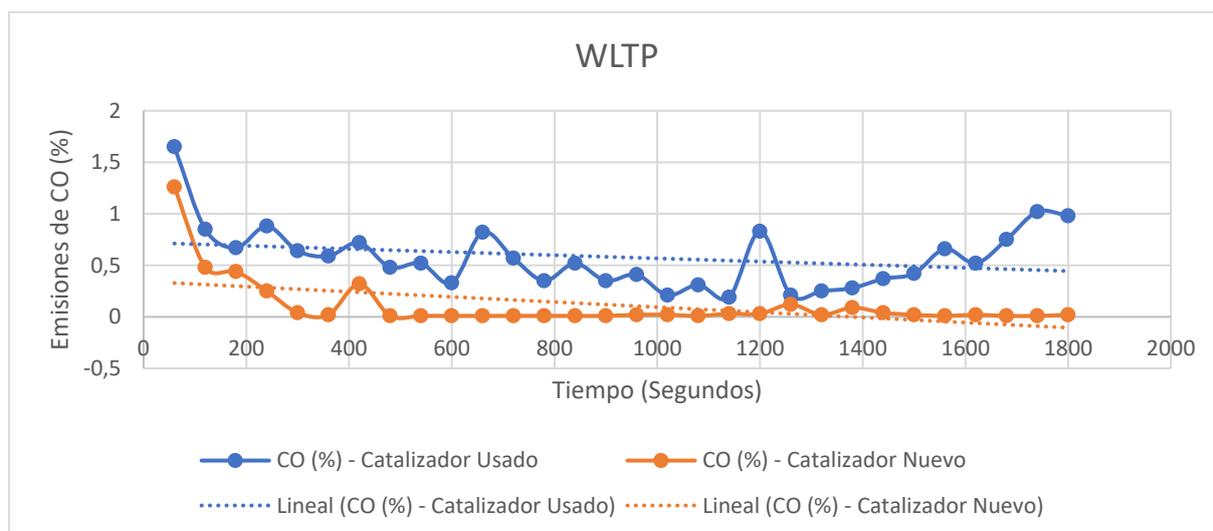


Figura 156. CO - VP2-U y N – WLTP

Los datos visualizados en la tabla 44, permiten determinar la reducción significativa del error promedio de desviación, entre un catalizador usado y nuevo cuando se receptan datos de oxígeno.

Tabla 44.

Comparación estadística de las emisiones de O₂ – VP2-U y N – WLTP

<i>Variables</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación</i>	<i>Error promedio de desviación</i>
O₂ – VP2-U	30	1,8177	0,48198	0,8800
O₂ – VP2-N	30	1,2483	1,42204	0,25963

En la figura 157 se evidencia un comportamiento con grandes fluctuaciones en las emisiones de O₂ cuando se utiliza un catalizador usado y nuevo, la oscilación de los valores de O₂ en el catalizador nuevo se mantienen dentro de los límites permitidos por las normas técnicas ecuatorianas vigentes.

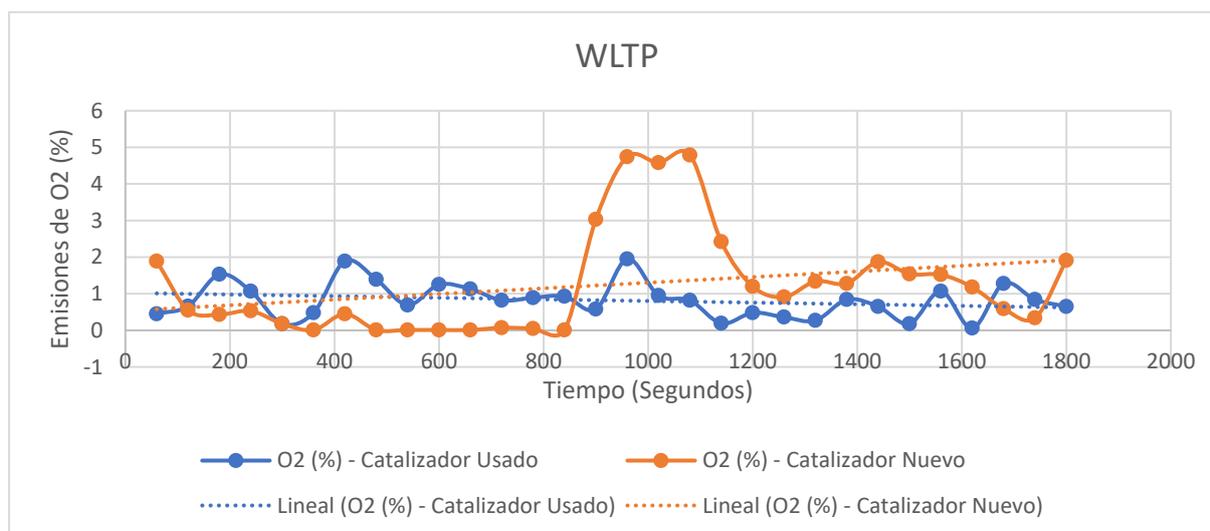


Figura 157. O₂ - VP2-U y N – WLTP

En la tabla 45 se determina los valores estadísticos de la media, desviación y el error promedio de desviación, con un descenso considerable en el valor del error promedio de desviación cuando se utiliza un catalizador nuevo.

Tabla 45.

Comparación estadística de las emisiones de HC – VP2-U y N – WLTP

<u>Variables</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desviación</u>	<u>Error promedio de desviación</u>
HC – VP2-U	30	101,1667	86,79070	15,84574
HC – VP2-N	30	81,3000	55,78972	10,18576

En la figura 158 se visualiza un descenso en las curvas de las emisiones de HC con catalizador nuevo y usado, evidenciado una reducción significativa al realizar la prueba con un catalizador nuevo, manteniéndose con valores aceptados en la norma técnica ecuatoriana.

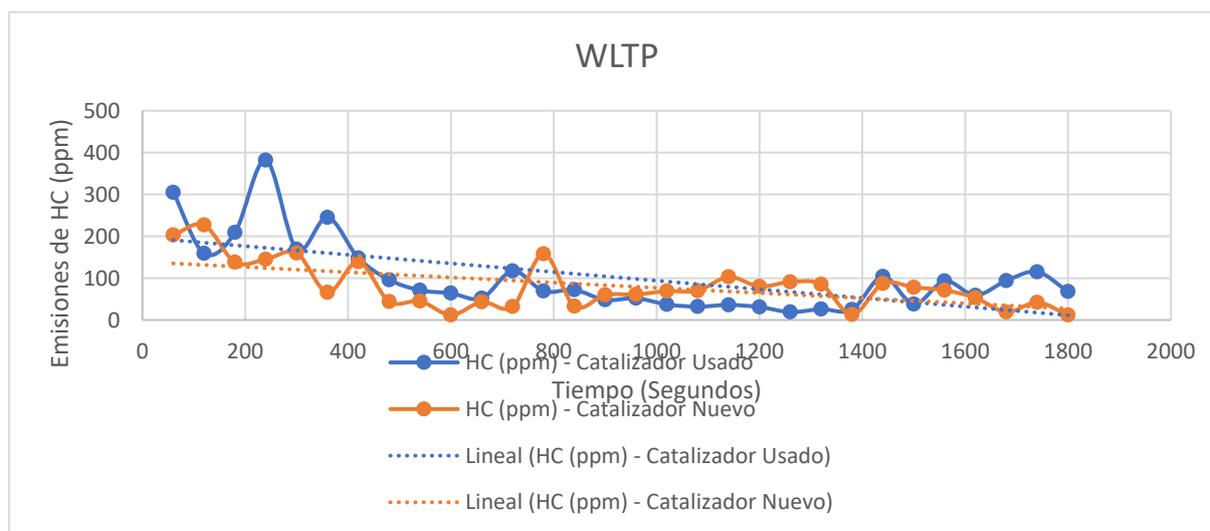


Figura 158. HC - VP2-U y N – WLTP

4.20.5 Eficiencia Catalítica - VP2-U y VP2-N

Tabla 46.

Eficiencia Catalítica – Pruebas Estáticas

Gas	CATALIZADOR DOS VÍAS						CATALIZADOR TRES VÍAS					
	ESTÁTICA			ESTÁTICA (RPM)			ESTÁTICA			ESTÁTICA (RPM)		
	Usado	Nuevo	Eficiencia	Usado	Nuevo	Eficiencia	Usado	Nuevo	Eficiencia	Usado	Nuevo	Eficiencia
CO ₂	13,85	11,847	14,5	15,00	12,736	15,1	14,043	12,093	13,9	13,609	12,154	10,7
CO	1,786	0,533	70,2	1,37	0,676	50,7	1,771	0,534	69,8	1,264	0,464	63,3
O ₂	2,455	0,995	59,5	1,786	0,415	76,8	2,767	0,989	64,3	1,772	0,599	66,2
HC	225,13	176,8	21,5	207,82	130,27	37,3	225,967	181,733	19,6	205,091	169,364	17,4

En la figura 159 se visualiza la eficiencia catalítica que existe en la diferencia de reducción en los gases de escape como CO₂, CO, O₂ Y HC.

El valor de mayor eficiencia en la conversión catalítica del dióxido de carbono es de 15,1%, registrado en la prueba estática a diferentes regímenes de giro con un catalizador de dos vías, donde se presenta una diferencia de 0,9% entre los valores obtenidos con un catalizador usado y nuevo. Características observadas en la figura 159

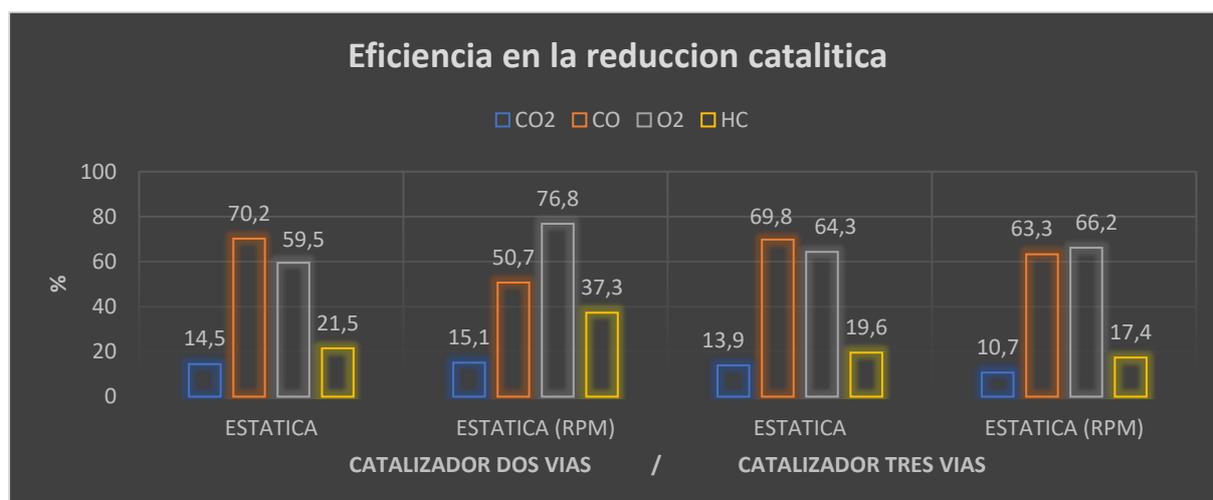


Figura 159. Eficiencia de reducción catalítica pruebas estáticas

En la figura 159 se contempla que el valor de mayor eficiencia en la conversión catalítica del monóxido de carbono es de 70,2%, registrado en la prueba estática con un catalizador de dos vías, donde se presenta una diferencia de 1,25% entre los valores obtenidos con un catalizador usado y nuevo.

Tabla 47.

Eficiencia Catalítica – Pruebas Dinámicas

Gas	CATALIZADOR DOS VÍAS						CATALIZADOR TRES VÍAS					
	DINÁMICA NEDC			DINÁMICA WLTP			DINÁMICA NEDC			DINÁMICA WLTP		
	Usado	Nuevo	Eficiencia	Usado	Nuevo	Eficiencia	Usado	Nuevo	Eficiencia	Usado	Nuevo	Eficiencia
CO ₂	12,785	12,23	4,3	12,96	12,256	5,4	13,075	11,59	11,4	12,96	11,766	9,2
CO	0,197	0,082	58,4	0,587	0,079	86,5	0,181	0,088	51,4	0,578	0,112	80,6
O ₂	1,434	1,231	14,2	0,976	0,345	64,7	2,452	1,786	27,2	1,817	1,248	31,3
HC	143,15	51,2	64,2	98,33	71,3	27,5	140,7	32,4	77,0	101,167	81,3	19,6

En la figura 160 se observa el comportamiento de la eficiencia en la reducción catalítica de los gases contaminantes CO₂, CO, O₂, HC

Al realizar la prueba dinámica aplicada en el ciclo de conducción WLTP se observa un valor de mayor eficiencia en el oxígeno, donde en el catalizador usado registró un valor de 0,97% y con un convertidor catalítico nuevo presento un valor de, por lo tanto, existe una

diferencia de 0,34%, a partir de lo cual se establece matemáticamente una eficiencia en el proceso catalítico del 64,7%. Características detalladas en la figura 160.

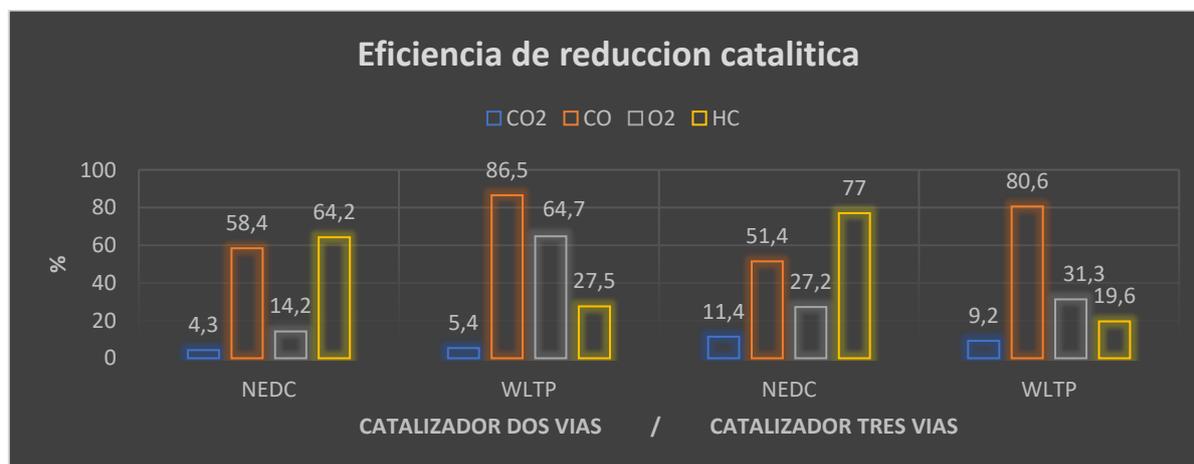


Figura 160. Eficiencia de reducción catalítica pruebas estáticas

Al realizar la prueba dinámica aplicada en el ciclo de conducción NEDC se observa un valor de mayor eficiencia en los hidrocarburos no combustionados, donde en el catalizador usado registró un valor de 143,15 ppm y con un convertidor catalítico nuevo presento un valor de 51,2 ppm, por lo tanto, existe una diferencia de 91,95 ppm, a partir de lo cual se establece matemáticamente una eficiencia en el proceso catalítico del 64,2% Características detalladas en la figura 160.

4.20.6 Comparación de emisiones - Pruebas estáticas

En la tabla 48 se visualizan los datos extraídos mediante pruebas estáticas al vehículo de prueba equipado con un catalizador de dos vías usado y nuevo.

Tabla 48.

VP1 - U y N

TIEMPO (S)	TEMPERATURA. CATALIZADOR. (°C)	PRUEBAS ESTÁTICAS VP1							TEMPERATURA. CATALIZADOR. (°C)	VP1-N					
		TEMPERATURA. MOTOR (°C)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	TEMPERATURA. MOTOR (°C)		CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	
60	44.56	41	13.4	1.94	2.05	134	1.25	25.72	45	12	0.7	1.09	155	1.027	
120	49.78	44	14.4	1.93	3.04	152	1.34	27	47	12	0.66	1.05	162	1.026	
180	65.83	46	13.4	1.92	1.02	153	1.023	29.06	48	12	0.65	0.98	163	1.023	
240	75.68	49	12.5	1.91	1.21	154	1.22	34.28	50	12	0.66	1.03	165	1.025	
300	84.28	51	13.4	1.91	4.03	158	1.34	36.89	52	11.9	0.63	1.18	165	1.035	
360	89.95	54	15.4	1.89	2.01	168	1.024	38.39	53	11.9	0.61	1.07	167	1.03	
420	93.61	57	14.3	1.88	1.02	183	1.025	44.56	54	11.9	0.59	1.08	170	1.032	
480	101.94	59	13.2	1.87	3.98	184	1.24	54.33	56	11.9	0.6	0.98	171	1.025	
540	104.22	61	14.3	1.86	2.01	203	1.15	51.83	57	11.8	0.61	1.14	172	1.034	
600	108.16	63	13.2	1.85	0.95	205	1.023	42.78	60	11.8	0.58	1.08	173	1.032	
660	114.16	65	13.4	1.84	2.94	208	1.234	49.61	62	11.8	0.59	1.12	173	1.034	
720	117.94	67	13.2	1.83	2.95	210	1.262	54.05	64	11.8	0.56	1.05	174	1.031	
780	118.5	69	14.2	1.82	1.95	213	1.165	57.56	67	11.9	0.55	0.92	174	1.024	
840	119.94	72	13.2	1.81	4.93	213	1.354	55.55	69	11.9	0.52	0.92	174	1.025	
900	123.22	74	14.2	1.81	3.89	214	1.173	57.89	70	11.9	0.5	0.9	174	1.025	
960	126.78	76	14.2	1.79	0.92	237	1.027	50.89	75	11.9	0.48	0.83	175	1.021	
1020	127.88	78	15.2	1.78	3.85	240	1.421	54.33	76	11.9	0.47	0.89	177	1.026	
1080	129.67	80	15.2	1.77	2.87	241	1.26	54.72	77	11.8	0.47	0.92	177	1.027	
1140	132.97	83	14.2	1.76	3.89	246	1.27	52.11	78	11.9	0.45	0.89	180	1.026	
1200	130.75	83	14.2	1.75	2.88	247	1.235	56.5	79	11.8	0.46	0.93	180	1.028	
1260	131.56	84	14.2	1.74	0.91	250	1.028	59.78	80	11.9	0.46	0.89	181	1.026	
1320	133.65	86	13.2	1.73	2.09	257	1.341	57.89	80	11.8	0.46	0.92	181	1.027	
1380	130	86	13.2	1.72	3.04	258	1.31	55.16	81	11.8	0.47	0.96	182	1.029	
1440	127.87	87	14.2	1.71	2.01	260	1.231	58.61	82	11.8	0.47	0.94	182	1.027	
1500	129.75	88	14.2	1.71	1	264	1.03	55.72	85	11.8	0.47	0.94	182	1.028	
1560	132.86	89	13.1	1.69	3.07	270	1.33	57.22	86	11.7	0.47	1.07	183	1.035	
1620	133.78	90	14.2	1.68	2.04	278	1.312	56.22	87	11.7	0.46	1.01	183	1.032	
1680	129.54	89	13.2	1.67	3.01	281	1.301	57.5	88	11.7	0.46	1.02	185	1.034	
1740	131.45	90	14.1	1.66	1.05	289	1.032	59.35	89	11.7	0.46	1.03	193	1.034	
1800	134.76	90	13.2	1.65	3.04	304	1.256	58.34	89	11.7	0.46	1.02	196	1.032	

En la figura 161 se visualiza el comportamiento de las emisiones de CO₂, CO, O₂, HC y λ, del catalizador usado de dos vías, durante los 1800 segundos de duración la prueba estática, para lo cual se evidencia fluctuaciones a cada instante de la prueba con picos máximos y mínimos en cada gas medido, valores tomados de la tabla 48.

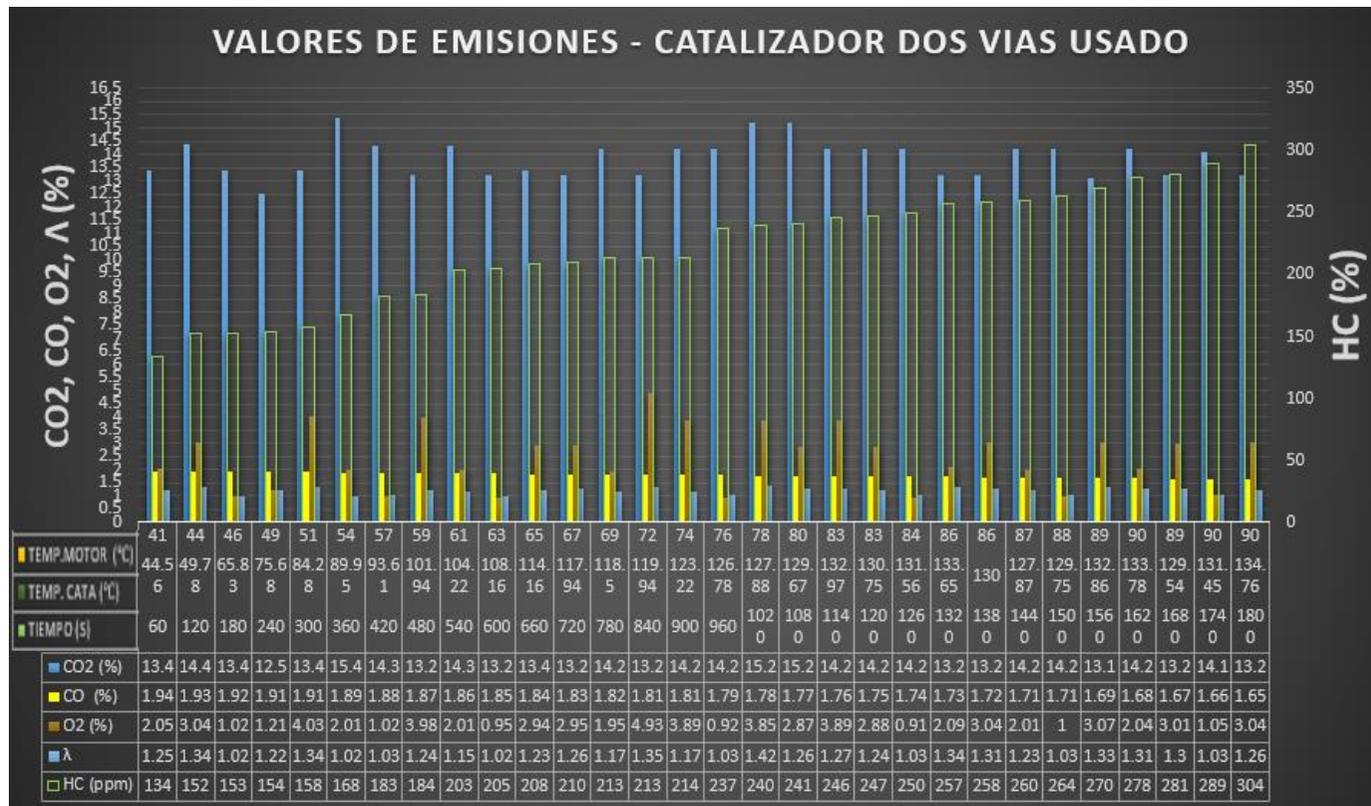


Figura 161. Emisión de gases – prueba estática

Se visualiza el comportamiento de las emisiones de CO₂, CO, O₂, HC y λ, del catalizador nuevo de dos vías, durante los 1800 segundos de duración la prueba estática, para lo cual en la figura 162 se evidencia fluctuaciones a cada instante de la prueba con picos máximos y mínimos en cada gas medido, valores tomados de la tabla 48.

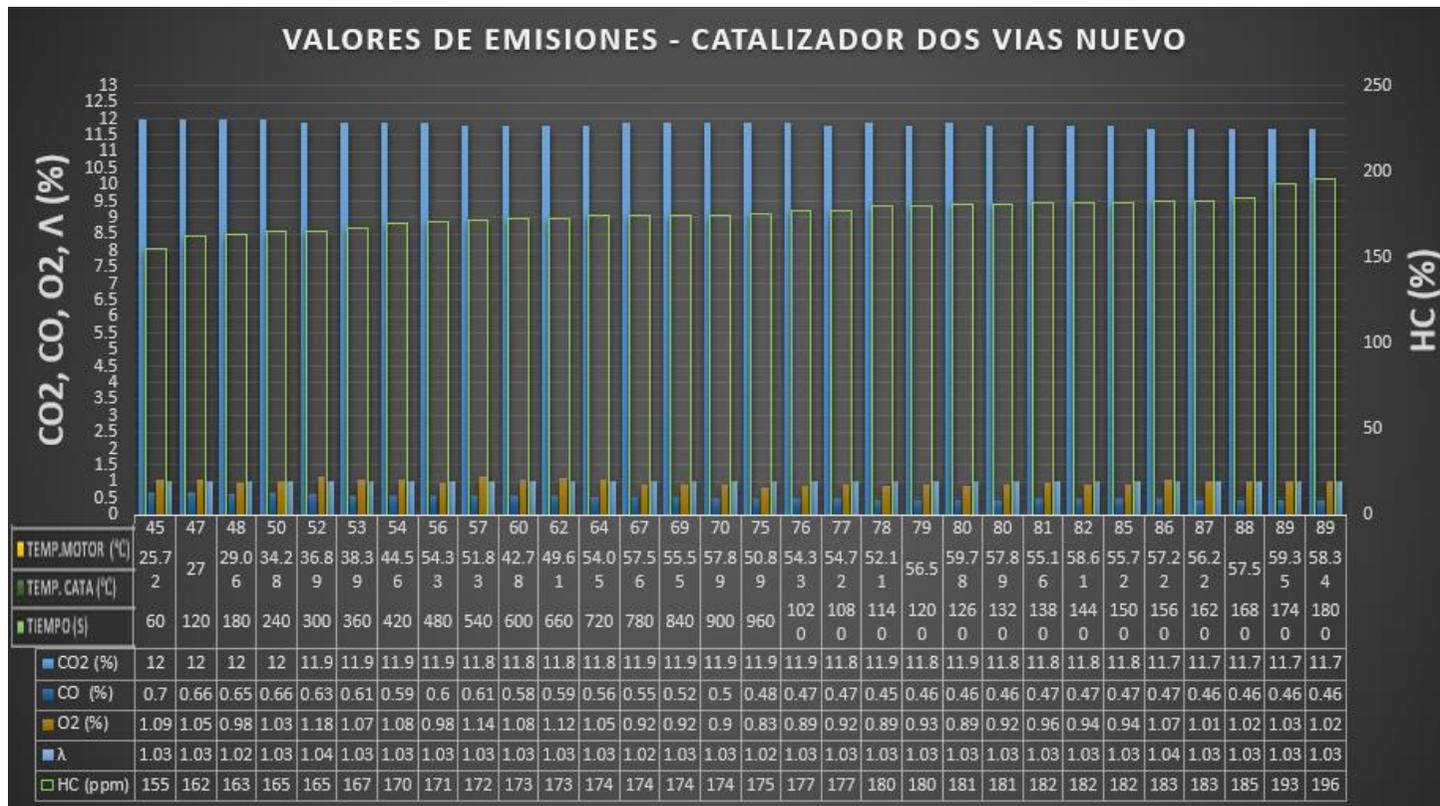


Figura 162. Emisión de gases – prueba estática

Se observa los datos extraídos mediante pruebas estáticas al vehículo de prueba equipado con un catalizador usado y nuevo de tres vías, valores evidenciados en la tabla 49.

Tabla 49.*VP2 - U y N*

TIEMPO (S)	PRUEBAS ESTÁTICAS VP2													
	VP2-U							VP2-N						
	TEMPERATURA DEL CATALIZADOR (°C)	TEMPERATURA DEL MOTOR (°C)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	TEMPERATURA DEL CATALIZADOR (°C)	TEMPERATURA DEL MOTOR (°C)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ
60	42.56	37	13.2	1.88	1.01	225	1.057	36.61	45	12.3	0.62	0.98	240	1.042
120	57.44	40	14.7	1.87	2.54	214	1.031	42.87	46	12.1	0.65	1.02	230	1.035
180	66.61	42	13.9	1.85	1.65	209	1.032	61.67	46	12.2	0.64	0.99	210	1.025
240	87.67	49	12.7	1.8	1.54	220	1.025	78.39	49	12.2	0.63	1.02	205	1.024
300	94.78	50	12.9	1.76	3.45	240	1.026	85.17	52	12.1	0.61	1.02	190	1.027
360	106.89	53	14.7	1.7	2.76	227	1.028	91.64	54	12.1	0.58	1.03	194	1.032
420	115.11	55	14.6	1.69	3.79	198	1.027	101.56	57	12.2	0.55	1.02	185	1.039
480	128.06	58	13.8	1.71	4.01	238	1.024	116.28	58	12.3	0.56	0.99	180	1.027
540	146.22	61	15.2	1.71	2.87	210	1.023	121.74	61	12	0.58	0.99	172	1.029
600	150.67	63	13.7	1.72	1.54	205	1.028	132.89	65	11.9	0.51	1.01	175	1.024
660	160.06	64	13.8	1.72	2.89	219	1.032	141.72	66	11.9	0.54	1.08	178	1.045
720	166.94	66	13.6	1.73	3.56	227	1.034	148.89	68	12	0.52	1.03	180	1.032
780	175.5	68	14.6	1.75	3.76	242	1.031	159.34	69	12	0.53	0.94	175	1.029
840	182.28	69	14.2	1.75	2.97	235	1.029	171.16	71	12.1	0.51	0.99	172	1.028
900	191.94	71	14.1	1.74	3.54	250	1.022	185.78	73	12.1	0.55	0.98	176	1.021
960	200.11	72	14.5	1.68	3.44	231	1.021	192.56	74	12.2	0.49	0.97	181	1.023
1020	206.72	74	15.3	1.61	0.98	242	1.020	202.76	75	12.2	0.5	0.91	163	1.035
1080	210.58	75	14.8	1.6	1.78	237	1.037	204.72	75	12.1	0.51	0.93	174	1.037
1140	221.06	77	13.4	1.58	2.89	247	1.035	208.67	76	12.1	0.48	0.91	162	1.034
1200	224.78	77	13.9	1.62	2.76	215	1.032	210.2	78	11.9	0.51	0.92	169	1.035

CONTINÚA →

PRUEBAS ESTÁTICAS VP2														
TIEMPO (S)	VP2-U							VP2-N						
	TEMPERATURA DEL CATALIZADOR (°C)	TEMPERATURA DEL MOTOR (°C)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	TEMPERATURA DEL CATALIZADOR (°C)	TEMPERATURA DEL MOTOR (°C)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ
1260	215.94	78	14.5	1.62	2.54	218	1.022	212.34	78	12	0.48	1.01	158	1.021
1320	217.34	80	13.8	1.74	2.09	227	1.021	216.76	79	12.1	0.49	0.94	169	1.022
1380	222.83	79	13.7	1.73	2.87	219	1.028	218.65	80	12.2	0.51	0.97	179	1.029
1440	217.67	80	14.4	1.65	3.86	189	1.035	210.65	80	12.2	0.49	0.98	184	1.028
1500	219.5	81	14.2	1.62	1.69	226	1.037	215	80	12.2	0.51	0.98	178	1.031
1560	220.72	80	13.3	1.6	2.98	237	1.031	216.32	80	12.1	0.51	1.02	175	1.031
1620	223.27	80	13.5	1.59	3.78	241	1.027	217.89	81	12.1	0.49	1.03	164	1.053
1680	218.28	82	13.6	1.57	2.89	235	1.022	215.87	80	11.9	0.48	0.99	178	1.037
1740	220.94	81	13.9	1.57	2.78	187	1.019	217.98	81	11.9	0.49	1.01	172	1.035
1800	222.72	80	14.8	1.55	3.82	269	1.020	217.43	80	12.1	0.51	1.02	184	1.025

Se evidencia el comportamiento de las emisiones de CO₂, CO, O₂, HC y λ , del catalizador de tres vías usado, durante los 1800 segundos de duración la prueba estática, para lo cual se evidencia fluctuaciones a cada instante de la prueba con picos máximos y mínimos en cada gas medido, valores tomados de la tabla 49, observados en la figura 163.

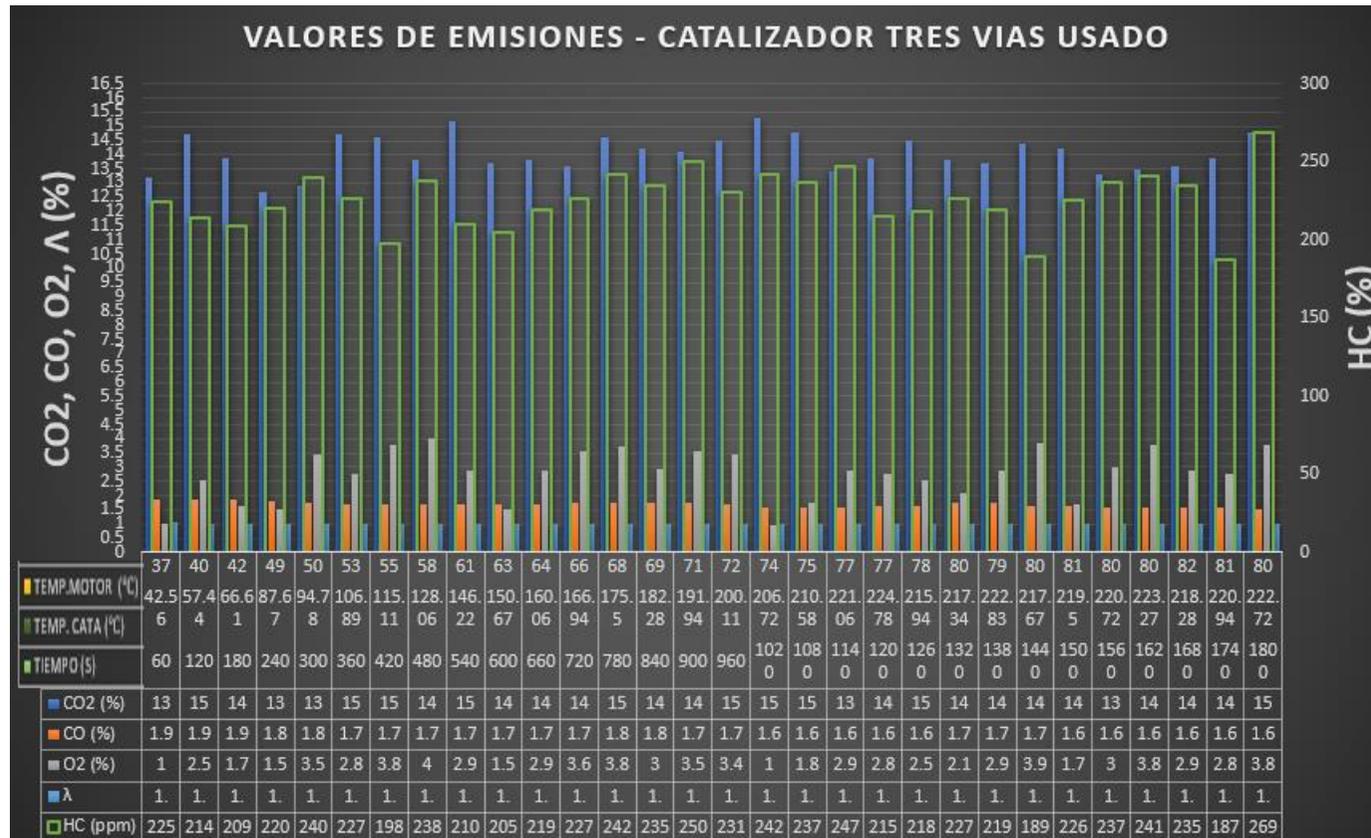


Figura 163. Emisión de gases – prueba estática

En el vehículo de prueba equipado con un catalizador nuevo de tres vías, se observa en la figura 164 el comportamiento de las emisiones de CO₂, CO, O₂, HC y λ, durante los 1800 segundos de duración la prueba estática, para lo cual se evidencia oscilaciones a cada instante con picos máximos y mínimos en cada gas medido, valores tomados de la tabla 49.

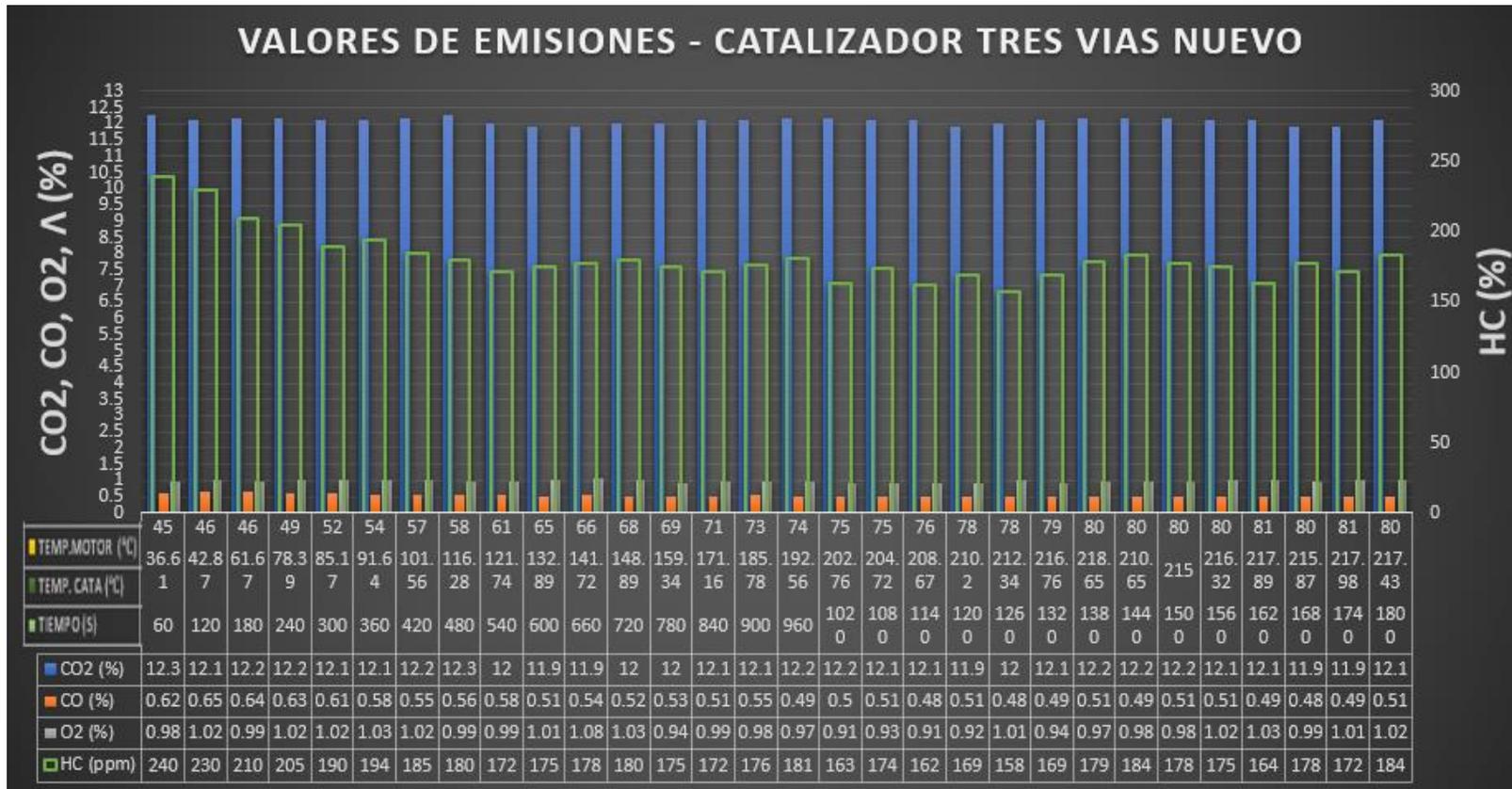


Figura 164. Emisión de gases – prueba estática

Se evidencia los valores térmicos del motor y porcentuales de las emisiones de gases contaminantes respectivamente, datos observados en la tabla 50.

Tabla 50.*VP1 y VP2 - U y N – Prueba estática a diferente régimen de giro*

PRUEBAS ESTÁTICAS A DIFERENTE RÉGIMEN DE GIRO VP1												
Revoluciones (RPM)	VP1-U						VP1-N					
	TEMPERATURA DEL MOTOR (°C)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	TEMPERATURA DEL MOTOR (°C)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ
850	90	12.8	0.62	3.57	193	1.064	89	12.2	0.04	1.03	195	1.028
1100	90	12.9	0.74	2.33	187	1.104	90	12.3	0.06	0.42	182	0.948
1300	90	13.8	0.98	2.07	198	0.965	90	12.7	0.27	0.36	180	0.937
1500	91	12.5	1.12	3.99	187	1.031	90	12.4	0.43	0.79	175	1.012
1700	90	13.2	1.32	2.14	179	1.039	91	12.5	0.44	0.73	168	1.018
1900	90	13.6	1.59	1.12	208	1.039	90	12.5	0.54	0.55	156	1.006
2100	90	13.2	1.54	1.02	234	1.032	90	12.8	0.48	0.41	125	1.003
2300	90	13.9	1.74	1.26	237	1.049	91	13.1	0.74	0.25	136	0.994
2500	91	14.2	1.8	0.92	210	1.028	90	12.9	1.91	0.01	154	0.987
3000	90	14.7	1.85	0.76	223	1.02	90	13.2	1.92	0.01	150	0.996
4500	91	15.1	1.82	0.47	230	1.012	90	13.5	0.61	0.01	165	0.997
PRUEBAS ESTÁTICAS A DIFERENTE RÉGIMEN DE GIRO VP2												
Revoluciones (RPM)	VP2-U						VP2-N					
	TEMPERATURA DEL MOTOR (°C)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	TEMPERATURA DEL MOTOR (°C)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ
800	79	11.9	0.61	3.45	192	1.029	79	11.9	0.58	1.09	197	1.025
1100	80	12.3	0.75	2.76	183	1.036	80	12	0.65	0.87	175	1.031
1300	81	12.9	0.92	2.14	195	1.040	81	12.1	0.55	0.99	165	1.034
1500	80	13.5	1.14	3.31	185	1.032	80	12.2	0.49	0.45	185	1.022
1700	80	13.2	1.33	2.18	171	1.025	81	12.2	0.51	0.55	175	1.023
1900	81	13.6	1.45	1.18	205	1.022	81	12.1	0.52	0.64	165	1.019
2100	80	13.8	1.51	1.05	226	1.028	80	12.2	0.49	0.58	171	1.012
2300	79	14.2	0.68	1.29	229	1.030	79	12	0.36	0.52	172	1.034
2500	82	14.5	1.83	0.94	217	1.032	82	12.2	0.34	0.42	138	1.025
3000	81	14.6	1.84	0.72	225	1.039	81	12.3	0.36	0.25	162	1.058
4500	80	15.2	1.85	0.47	228	1.037	80	12.5	0.26	0.23	158	1.053

En la prueba estática a diferente régimen de giro con el catalizador de dos vías usado y nuevo, en la figura 165 se visualiza el comportamiento

de la emisión de gases conforme las RPM ascienden paulatinamente, con un valor máximo en HC de 237 (ppm) en el catalizador usado y de 195 (ppm) en el catalizador nuevo, por lo cual es evidente la reducción que se da al utilizar un catalizador nuevo, datos tomados de la tabla 50.

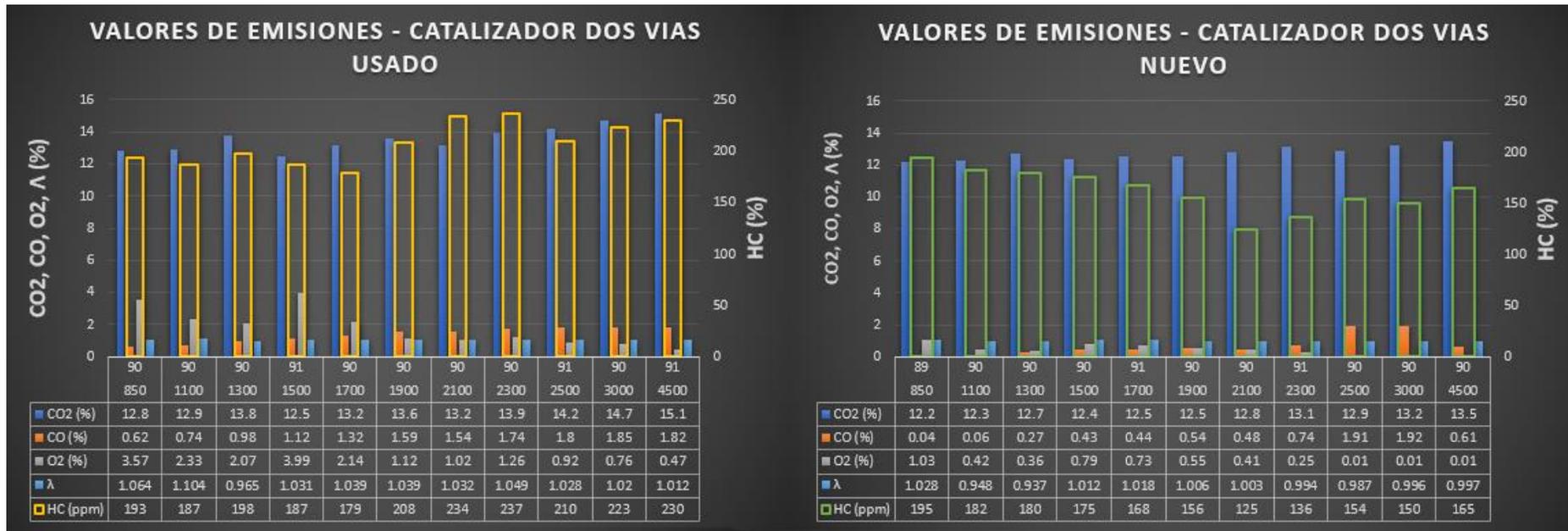


Figura 165. Emisión de gases – prueba estática a diferentes regímenes de giro

En la figura 166 se representa gráficamente los datos tomados de la tabla 48, los cuales corresponden a la prueba estática a diferentes regímenes de giro del catalizador de tres vías usado y nuevo, en esta comparación se evidencia una reducción significativa de los valores porcentuales de CO,

para el primer caso del convertidor catalítico usado los datos oscilan entre 0.61 % y 1.85%, en el catalizador nuevo varían entre 0.26 % a 0.58 %

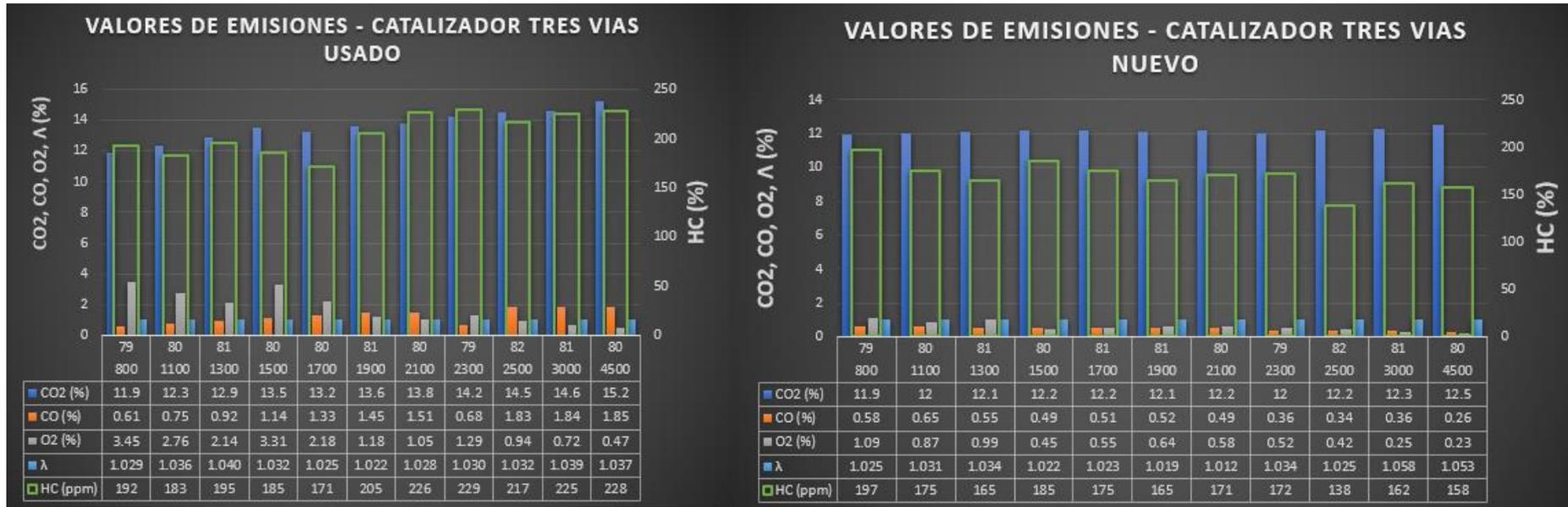


Figura 166. Emisión de gases – prueba estática a diferentes regímenes de giro

4.20.7 Comparación de emisiones - Pruebas dinámicas

En la tabla 51 se evidencia los valores porcentuales del CO₂, CO, O₂, HC y lambda (λ) receptados mediante el ciclo de conducción NEDC durante 1200 segundos.

Tabla 51.*VP1 y VP2 - U y N – Prueba NEDC*

TIEMPO (S)	PRUEBA DINÁMICA NEDC VP1										PRUEBA DINÁMICA NEDC VP2									
	VP1-U					VP1-N					VP2-U					VP2-N				
	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ
60	12.3	0.14	0.22	55	1.005	12.5	0.11	0.27	47	1.01	13.1	0.25	0.25	245	1.023	12.2	0.12	0.31	51	1.084
120	12.2	0.02	0.57	37	1.03	12.5	0.09	0.4	61	1.02	13.4	0.2	0.29	233	1.025	12.1	0.09	0.22	49	1.011
180	12.1	0.02	0.44	36	1.023	12.2	0.06	0.6	46	1.03	13.7	0.2	0.35	189	1.029	12.3	0.08	0.54	44	1.031
240	12.1	0.02	0.51	40	1.027	12.3	0.06	0.6	43	1.03	13.2	0.18	0.41	140	1.027	12.4	0.08	0.6	65	1.025
300	11.8	0.03	0.76	46	1.041	12	0.12	0.74	73	1.04	12.9	0.3	0.33	142	1.041	12.6	0.07	0.71	71	1.020
360	11.9	0.26	0.61	155	1.018	12	0.07	3.89	53	1.22	13.8	0.25	0.22	153	1.018	12.1	0.12	0.22	68	1.031
420	12	0.02	0.51	39	1.024	11.8	0.08	0.97	28	1.06	12.6	0.22	0.34	138	1.024	11.9	0.08	0.87	55	1.211
480	12	0.07	0.73	40	1.038	11.9	0.15	1.78	67	1.07	12.8	0.26	0.39	141	1.038	12.3	0.09	0.92	50	1.037
540	11.8	0.01	1.16	28	1.067	10.9	0.09	1.35	43	1.09	12.7	0.15	0.18	125	1.067	12.1	0.08	0.87	49	1.039
600	11.4	0.05	1.22	283	1.057	11.9	0.08	0.89	39	1.05	12.6	0.13	0.37	182	1.057	12	0.09	0.88	48	1.041
660	11.4	0.04	1.4	71	1.081	12.1	0.09	0.81	31	1.04	12.2	0.14	0.92	168	1.081	11.9	0.08	0.76	41	1.008
720	10.7	0.01	1.34	141	1.079	8.3	0.02	0.91	37	1.08	13.5	0.11	0.31	239	1.079	11.7	0.07	1.03	39	1.034
780	11.8	0.02	5.16	55	1.303	10.5	0.1	0.22	81	1.01	13.9	0.12	0.38	251	1.303	10.6	0.12	1.08	38	1.024
840	11.6	0.09	1.16	75	1.062	10.7	0.1	1.44	107	1.08	14.1	0.16	0.76	183	1.062	10.7	0.07	0.94	42	1.023
900	12.2	0.02	2.11	52	1.117	8.5	0.07	0.19	23	1.01	12.9	0.19	0.32	55	1.117	10.3	0.09	0.78	51	0.997
960	11.4	0.24	1.02	77	1.048	10.7	0.04	4.36	25	1.28	12.8	0.22	0.51	72	1.048	10.5	0.08	0.85	61	1.023
1020	12.3	0.01	0.88	40	1.048	9	0.06	1.97	32	1.15	12.8	0.16	0.94	37	1.048	12.5	0.08	0.82	62	1.084
1080	11.1	0.01	1.47	33	1.091	9.1	0.11	2.23	52	1.16	13.1	0.11	0.52	34	1.091	11.3	0.12	1.12	58	1.286
1140	9.2	0.01	6.22	46	1.021	10.6	0.08	0.4	74	1.04	12.8	0.12	0.67	42	1.021	10.2	0.07	1.23	55	1.047
1200	8.5	0.01	3.56	47	1.289	11.2	0.06	0.6	62	1.03	12.6	0.14	0.58	45	1.289	10.1	0.09	0.97	51	1.032

En la prueba dinámica NEDC, se evidencia una reducción en los valores de hidrocarburos, el dato inicial de HC en el catalizador usado es de 55 (ppm) y final de 47 (ppm), a diferencia del valor inicial 47 (ppm) y final (42 ppm) de hidrocarburos cuando el vehículo está equipado con un catalizador nuevo, comportamientos evidenciados en la figura 167, valores extraídos de la tabla 51.

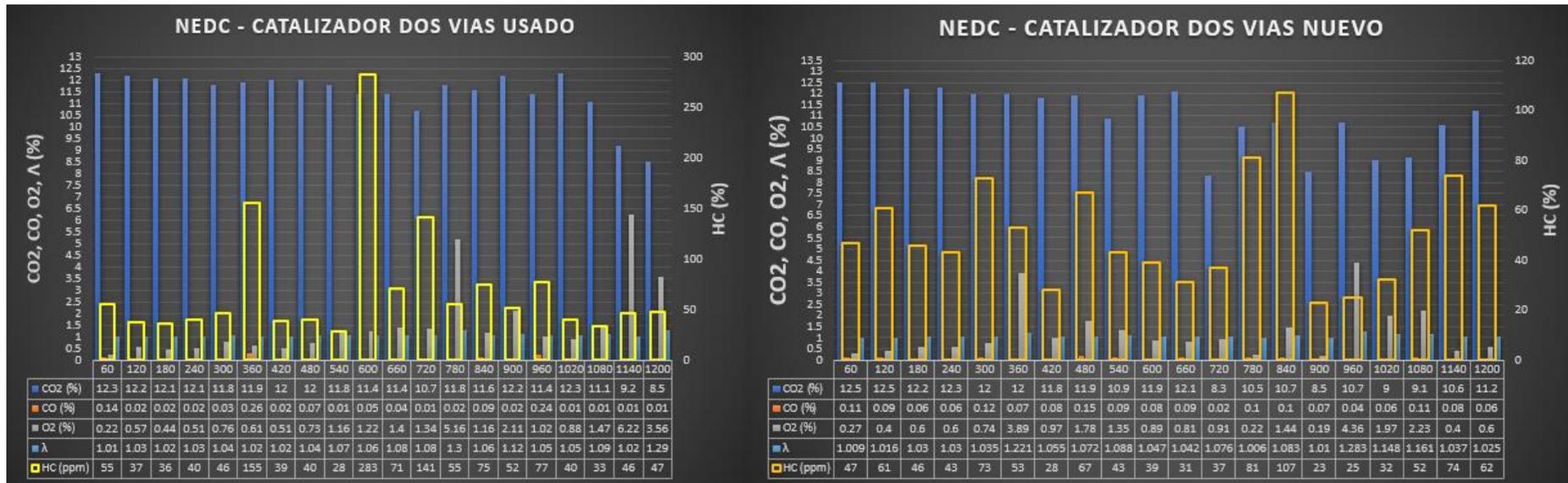


Figura 167. Emisión de gases – prueba dinámica - NEDC

En la figura 168 se observa el comportamiento de un catalizador usado y nuevo de tres vías, bajo la prueba dinámica NEDC, para lo cual se evidencia que las emisiones de CO₂ se reducen aproximadamente en 1% cuando el vehículo está equipado con un catalizador nuevo, datos extraídos de la tabla 51.

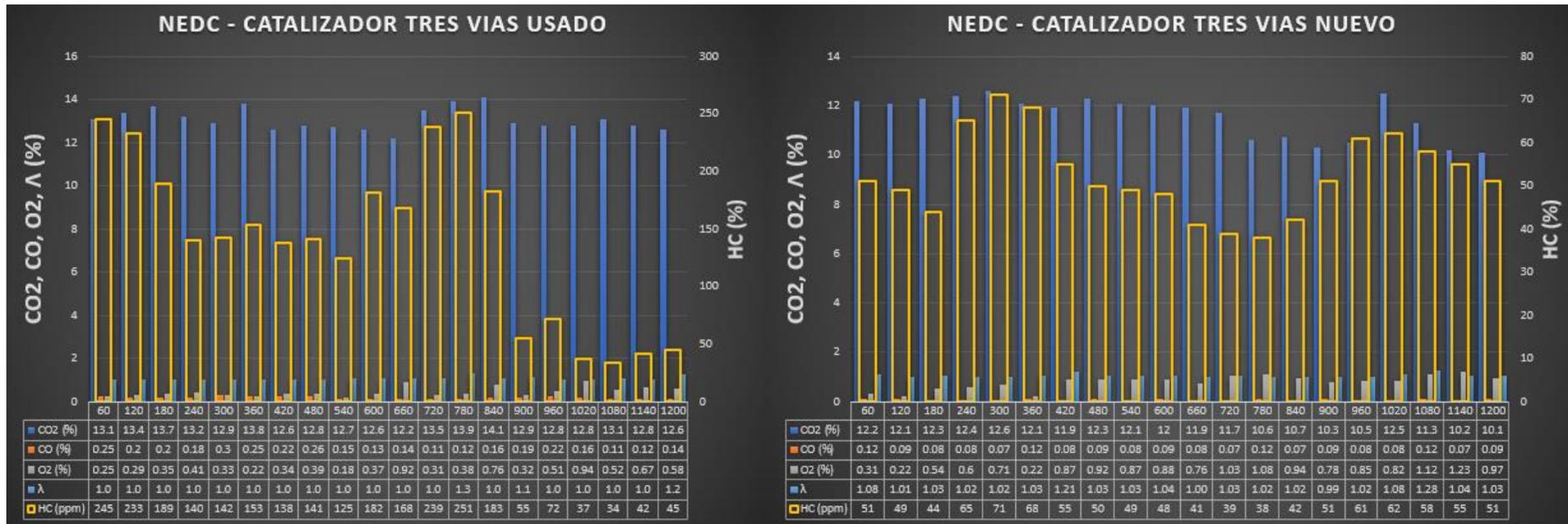


Figura 168. Emisión de gases – prueba dinámica - NEDC

Mediante el ciclo de conducción WLTP durante 1800 segundos, Se evidencia los valores receptados de emisiones de gases para un catalizador de dos vías, tres vías nuevos y usados.

Tabla 52.

VP1 y VP2 - U y N – Prueba WLTP

TIEMPO (S)	PRUEBA DINÁMICA WLTP VP1										PRUEBA DINÁMICA WLTP VP2									
	VP1-U					VP2-N					VP2-U					VP2-N				
	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)	λ
60	12.3	0.63	0.44	307	0.988	10.5	1.26	1.89	203	1.017	13.2	1.65	0.45	305	1.056	10.5	1.26	1.89	203	1.017
120	12.2	0.62	0.63	161	1.006	12.2	0.48	0.55	227	1.003	14.1	0.85	0.66	159	1.023	12.2	0.48	0.55	227	1.003
180	12.2	0.59	1.57	206	1.055	12.4	0.44	0.43	138	1.002	13.1	0.67	1.53	209	1.025	12.4	0.44	0.43	138	1.002
240	11.3	1.45	1	471	0.983	12.4	0.25	0.53	145	1.002	12.7	0.88	1.07	382	0.998	12.4	0.25	0.53	145	1.002
300	12.6	0.17	1.11	147	1.048	12.8	0.04	0.18	160	1.001	12.9	0.64	0.18	169	1.001	12.8	0.06	0.18	160	1.001
360	12.6	0.1	0.41	110	1.014	12.9	0.02	0.01	66	0.996	12.6	0.59	0.48	245	1.023	12.9	0.02	0.01	66	0.996
420	6.5	0.33	1.96	237	1.156	11.2	0.32	0.45	139	1.008	12.8	0.72	1.89	148	1.022	11.2	0.32	0.45	139	1.008
480	12.6	0.04	1.38	60	1.072	12.7	0.01	0.01	44	0.998	12.8	0.48	1.39	96	1.025	12.7	0.01	0.01	44	0.998
540	12.6	0.05	0.51	63	1.023	12.5	0.01	0.01	45	0.999	13.5	0.52	0.69	71	1.029	12.5	0.01	0.01	45	0.999
600	9.7	0.03	1.35	60	1.092	12.6	0.01	0.01	12	0.999	14.2	0.33	1.25	64	1.024	12.6	0.01	0.01	12	0.999
660	11.6	0.04	6.22	51	1.371	12.8	0.01	0.01	43	0.998	13.5	0.82	1.13	52	1.027	12.8	0.01	0.01	43	0.998
720	12	0.12	0.91	114	1.042	12.6	0.01	0.07	32	1.002	12.6	0.57	0.82	117	1.026	12.6	0.01	0.07	32	1.002
780	12	0.03	0.91	68	1.049	12.4	0.01	0.05	158	0.995	12.5	0.35	0.89	69	1.024	12.4	0.01	0.05	158	0.995
840	11	0.05	0.96	68	1.056	12.4	0.01	0.01	33	0.998	12.6	0.52	0.93	72	1.036	12.4	0.01	0.01	33	0.998
900	12.2	0.03	0.59	43	1.031	12.3	0.01	0.06	27	1.002	12.4	0.35	0.58	48	1.035	10.8	0.01	3.03	60	1.192
960	4.8	0.03	2.09	50	1.295	12.2	0.01	0.33	44	1.017	12.4	0.41	1.95	52	1.027	11.2	0.02	4.74	61	1.213
1020	12.1	0.02	0.83	33	1.046	12.3	0.02	0.06	86	0.999	12.6	0.21	0.95	37	1.028	10.1	0.02	4.58	69	1.311
1080	12.1	0.03	0.99	35	1.055	12.1	0.11	0.01	40	0.994	12.8	0.31	0.82	32	1.018	9.3	0.01	4.79	70	1.357
1140	10.2	0.18	2.11	35	1.134	12.4	0.01	0.01	54	1.003	12.7	0.19	0.19	36	1.023	10.5	0.03	2.42	103	1.153
1200	12.2	0.06	0.44	32	1.022	12.1	0.01	0.19	61	1.008	13.5	0.83	0.48	31	1.052	12.2	0.03	1.2	80	1.064
1260	12.4	0.01	0.4	16	1.022	12.1	0.01	0.01	71	1.003	12.6	0.21	0.36	19	1.023	12	0.12	0.91	91	1.044
1320	12.5	0.1	0.26	28	1.01	11.1	0.01	0.94	26	1.059	12.8	0.25	0.27	26	1.036	11.6	0.02	1.34	85	1.412
1380	12.1	0.01	0.81	21	1.046	12.2	0.02	0.95	11	1.053	12.3	0.28	0.84	25	1.034	12.4	0.09	1.28	13	1.068
1440	12.2	0.15	0.68	100	1.029	12	0.11	0.7	33	1.035	12.8	0.37	0.65	104	1.370	12.3	0.04	1.87	87	1.105
1500	12.7	0.37	0.12	33	0.993	12.3	0.02	0.4	10	1.022	12.3	0.42	0.18	38	1.039	11.3	0.02	1.54	78	1.141
1560	12.4	0.02	1.09	45	1.061	12.1	0.09	0.89	16	1.047	12.6	0.66	1.07	93	1.025	10.98	0.01	1.52	71	1.031
1620	13.1	0.05	0.01	51	0.998	12.1	0.01	0.71	54	1.046	13.1	0.52	0.06	59	1.024	10.7	0.02	1.18	53	0.997
1680	5.8	0.05	1.14	55	1.133	11.9	0.02	0.32	63	1.097	13.5	0.75	1.28	94	1.026	12.2	0.01	0.59	19	1.029
1740	12.3	0.07	0.82	65	1.044	12.1	0.01	0.65	51	1.032	13.6	1.02	0.84	115	1.023	12.8	0.01	0.34	42	1.018
1800	12.1	0.03	7.53	61	1.051	12	0.02	0.91	47	1.025	13.7	0.98	0.65	68	1.021	10.2	0.02	1.91	12	1.129

Se observa dos graficas en la figura 169, la gráfica de la derecha representa los valores de emisiones de gases del catalizador usado de tres vías, la gráfica de la izquierda evidencia el comportamiento de las emisiones de gases cuando el vehículo de prueba está equipado con un catalizador nuevo. En esta comparativa se determina la reducción de emisiones de Hidrocarburos, con un descenso de aproximadamente 100 (ppm), valores tomados de la tabla 52.

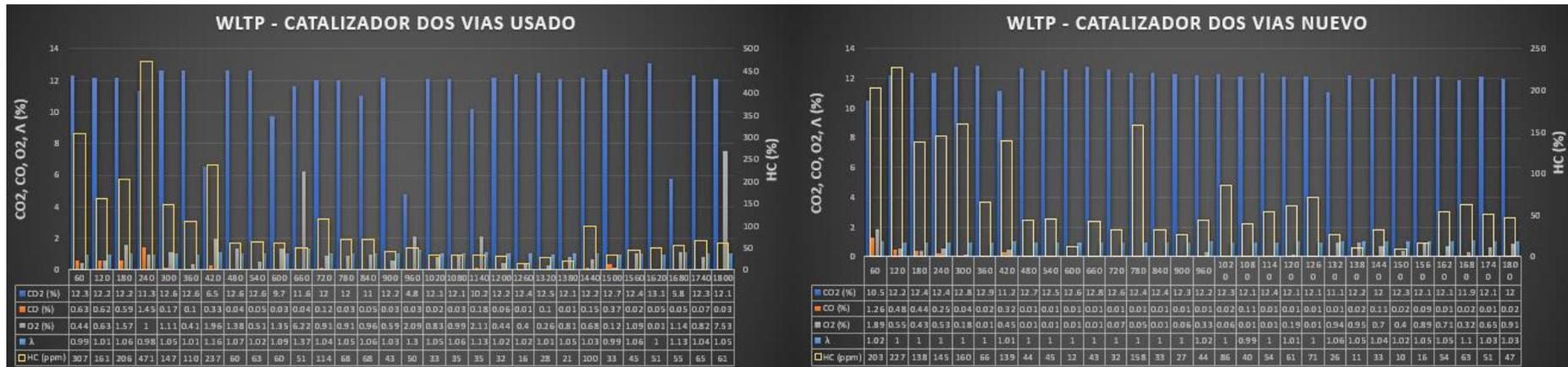


Figura 169. Emisión de gases – prueba dinámica - WLTP

Se visualiza el comportamiento de los valores extraídos de la tabla, de un catalizador de tres vías usado y nuevo, bajo el ciclo de conducción WLTP, durante 1800 segundos. Específicamente en las emisiones de CO₂ se evidencia una notoria reducción de 13.2 % a 10.5 % cuando al vehículo de prueba se le equipa con un catalizador nuevo, datos observados en la figura 170.

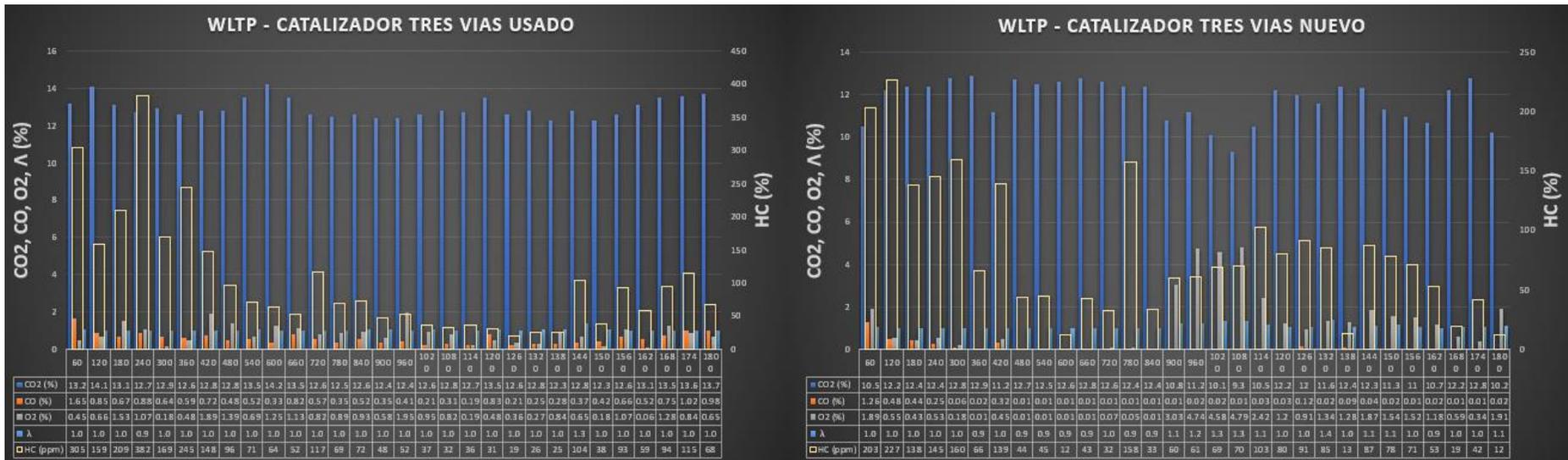


Figura 170. Emisión de gases – prueba dinámica - WLTP

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

En los aspectos administrativos y económicos del proyecto de investigación de la incidencia del uso de diferentes catalizadores en diferentes vehículos de prueba para el control de emisiones a través de pruebas estáticas y dinámicas mediante procedimientos armonizados, determinan parámetros enfocados a la viabilidad de recursos y la factibilidad del mismo.

5.1 Factibilidad de la investigación

Para determinar la factibilidad del proyecto se realizó la optimización de los recursos humanos, tecnológicos y financieros que son fundamentales para la ejecución de la investigación.

5.2 Recursos

El análisis planteado en la presente tesis establece objetivos y metas a cumplir, para lo cual se requiere de diferentes recursos como: humanos, tecnológicos y materiales, con el fin de que el estudio se desarrolle normalmente.

5.2.1 Recursos Humanos

El recurso humano en el análisis planteado es el siguiente:

Tabla 53.*Recursos Humanos*

Ord.	Descripción	Función
1	Luis Bayas	Investigador
2	Cristian Sánchez	Investigador
3	Ing. Leonidas Quiroz	Especialista Emisiones

5.2.2 Recursos Tecnológicos - equipos

Para la realización de cada una de las pruebas que el análisis lo requirió, se utilizó los siguientes recursos tecnológicos:

Tabla 54.*Recursos Tecnológicos - equipos*

Ord.	Descripción	Función
1	Analizador de Gases portátil KANE 4-2 plus	Mide las emisiones de gases contaminantes en condiciones estáticas y dinámicas.
2	MGT-300 EVO RPM COUNTER	Permite la visualización del régimen de giro de los vehículos de prueba.
3	Cámara termográfica FLUKE TI SBC3B	Mediante fotografías determina el comportamiento térmico del catalizador y del motor
4	Computadora	Permite la visualización de las fotografías receptadas por la cámara termográfica a través del software Smart View
5	Soldador	Permite el acople del catalizador nuevo

5.2.3 Recurso Financiero

El costo total del análisis es auto financiado por los investigadores, y su valor es de 2780,00 USD.

Tabla 55.*Recurso Financiero*

Ord.	Detalle	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Analizador de Gases portátil KANE 4-2 plus	1	2500,00	2500,00
2	Catalizadores de dos y tres vías	2	140,00	280,00
3	Combustible (Galones)	40	2,16	86,40
			TOTAL	2866,40

5.3 Título de la propuesta

Incidencia del uso de diferentes catalizadores en los vehículos de prueba para el control de emisiones a través de pruebas estáticas y dinámicas mediante procedimientos armonizados

5.3.1 Estructura de la propuesta

La propuesta se enfoca en la implementación de catalizadores nuevos de dos y tres vías en los vehículos de prueba, los cuales permiten la reducción significativa de las emisiones de gases contaminantes.

5.3.2 Desarrollo de la propuesta

En el análisis realizado se requirió diferentes recursos como: financieros, talento humano, tecnológico, los cuales fueron detallados en la factibilidad de la investigación.

5.3.3 Influencia socioeconómica de la propuesta

Se observa un análisis económico acerca de la implementación de los catalizadores nuevos de dos y tres vías en los vehículos de pruebas respectivos.

Tabla 56.

Influencia socioeconómica de la propuesta

Ord	Detalle	Costo
1	Implementación de los catalizadores	20,00
2	Inhibidor de oxígeno	30,00
	TOTAL	50,00

CONCLUSIONES

- Se analizó la eficiencia catalítica de los convertidores de dos y tres vías en los diferentes vehículos de prueba para el control de emisiones a través de pruebas estáticas y dinámicas mediante procedimientos armonizados
- Se recopiló información técnica – científica que fundamente y desarrolle la investigación propuesta
- Se analizó la eficiencia de los catalizadores de dos y tres vías, tanto nuevos como usados
- Se desarrollaron dos rutas en la ciudad de Latacunga tomando en cuenta diferentes condiciones de circulación, donde se aplicaron los ciclos de conducción NEDC y WLTP
- Se realizaron pruebas dinámicas aplicadas en los protocolos armonizados NEDC Y WLTP, donde se analizaron las emisiones de gases contaminantes, la carga del motor y el comportamiento del sensor MAP.
- Se contempló que el valor de mayor eficiencia en la conversión catalítica del monóxido de carbono es de 70,2%, registrado en la prueba estática con un catalizador de dos vías, donde se presenta una diferencia de 1,25% entre los valores obtenidos con un catalizador usado y nuevo.

- La emisión de gases contaminantes durante la prueba estática con el vehículo de prueba equipado con un catalizador usado de dos vías conforme avanza el tiempo el CO₂ se mantiene con variaciones poco significativas con un valor promedio de 13.85 %, en los valores de CO se evidencia un descenso paulatino de 1.9 % a 1.7% conforme la temperatura del motor y catalizador alcanzan su funcionamiento idóneo, se observa un valor mínimo de 1.02 % en O₂ con varias fluctuaciones en toda la prueba, los hidrocarburos a medida que la prueba avanza sus emisiones disminuyen con un valor promedio de 222 ppm superior a los límites establecidos en la norma técnica ecuatoriana INEN 2-204.
- La emisión de gases contaminantes durante la prueba estática con el vehículo de prueba equipado con un catalizador nuevo de dos vías conforme avanza el tiempo los valores de CO₂ se mantienen con variaciones poco significativas con un promedio de 11.85 %, en los valores de CO se evidencia un descenso paulatino de 0.70 % a 0.46 % conforme la temperatura del motor y catalizador alcanzan su funcionamiento idóneo, se observa que los valores de O₂ se mantienen con fluctuaciones durante toda la prueba con un pico de 1.09 %, los hidrocarburos a medida que la prueba avanza sus emisiones disminuyen con un valor promedio de 175.6 ppm manteniéndose dentro de los promulgados en la norma técnica ecuatoriana INEN 2-204.
- El comportamiento de las emisión de gases contaminantes durante la prueba estática con el vehículo de prueba equipado con un catalizador usado de tres vías conforme avanza el tiempo el CO₂ se mantiene con variaciones poco significativas con un valor promedio de 14 %, en los valores de CO se evidencia un descenso paulatino de 1.88 %

a 1.55 % conforme la temperatura del motor y catalizador alcanzan su funcionamiento idóneo, se observa que los valores de O₂ mantienen fluctuaciones con un pico 3.82 % durante toda la prueba, los HC a medida que la prueba avanza sus emisiones disminuyen con un valor promedio de 226 ppm superior a los límites establecidos en la norma técnica ecuatoriana INEN 2-204.

- La emisión de gases contaminantes durante la prueba estática con el vehículo de prueba equipado con un catalizador nuevo de tres vías conforme avanza el tiempo los valores de CO₂ se mantienen con variaciones poco significativas con un promedio de 12.1 %, en los valores de CO se evidencia un descenso paulatino de 0.62 % a 0.51 % conforme la temperatura del motor y catalizador alcanzan su funcionamiento idóneo, se observa que los valores del oxígeno sufren constantes fluctuaciones durante toda la prueba con un valor promedio de 0.99 %, los hidrocarburos a medida que la prueba avanza sus emisiones disminuyen con un valor promedio de 182 ppm manteniéndose dentro del rango promulgado en la norma técnica ecuatoriana INEN 2-204.
- Se evidenció que el comportamiento térmico del catalizador de dos vías usado inicia la prueba estática con un valor de 44.56 °C manteniendo una elevación progresiva en sus valores hasta llegar a un máximo de 134.76 °C, para el catalizador nuevo de dos vías; su valor inicial y final es de 25.72 °C y 58.34 °C respectivamente.
- Se evidenció que el comportamiento térmico del catalizador de tres vías usado inicia la prueba estática con un valor de 42.56 °C manteniendo una elevación progresiva en sus

valores hasta llegar a un máximo de 222.72 °C, para el catalizador nuevo de tres vías; su valor inicial y final es de 36.61 °C y 217.43 °C respectivamente.

- Al realizar la prueba dinámica aplicada en el ciclo de conducción NEDC se observó un valor de mayor eficiencia en los hidrocarburos no combustionados, donde en el catalizador usado registró un valor de 143,15 ppm y con un convertidor catalítico nuevo presento un valor de 51,2 ppm, por lo tanto, existe una diferencia de 91,95 ppm, a partir de lo cual se establece matemáticamente una eficiencia en el proceso catalítico del 64,2%.
- Se realizaron ensayos de emisiones de gases de escape a régimen de giro en ralentí y velocidad crucero, a partir de pruebas estáticas en los catalizadores de dos y tres vías tanto usados como nuevos con ayuda del analizador KANE AUTO PLUS 4-2.
- Se analizó los datos obtenidos, desde el punto desde vista matemático, estadístico y gráfico, para cuantificar las emisiones de gases de escape, la carga del motor y el comportamiento del sensor MAP en los catalizadores de dos y tres vías tanto usados como nuevos

RECOMENDACIONES

- Añadir un estudio que vincule los parámetros de gestión electrónica tomando en cuenta la relación que existe entre el consumo de combustible y las emisiones de gases
- Incorporar un sensor de Sox en el analizador de gases portátil KANE AUTO PLUS 4-2 de esta manera se podrá tabular la relación que existe entre de hidrocarburos no combustionados y los óxidos de azufre
- Con el propósito de que los datos sean lo más exactos posibles, se recomienda utilizar un mayor número de catalizadores tomando en cuentas las diferentes marcas que existen en el mercado.
- Seleccionar un software adecuado que calcule en tiempo real todos los parámetros que se deben cumplir en los ciclos de conducción NEDC Y WLTP
- Impulsar a la realización de este tipo de proyectos debido a que contribuyen con la preservación del medio ambiente y además fortalecer el aprendizaje adquirido a lo largo de la carrera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aficionados a la Mecánica. (2014). *Sistemas Anticontaminación*. Recuperado el 05 de Octubre de 2019
- Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador. (20 de Octubre de 2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Recuperado el 25 de Mayo de 2019, de <https://www.correosdeecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/lotaip/Enero/literal%20a2/Constitucion.pdf>
- Bustamante Mejía, J., & López Varona, R. (Marzo de 2014). Calibración de Cámara Termográfica Fluke TI-32. *Scientia et Technica*, 19(1), 59-66.
- Eastern Catalytic Converters. (2009). *Catálogo Universal Converters*.
- González Calleja, D. (2015). *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares*. Paraninfo.
- Granell, A. (13 de Septiembre de 2018). *Todo lo que debes saber sobre el nuevo protocolo WLTP de homologaciones y consumos*. Recuperado el 25 de Octubre de 2019, de RODES Red Operativa de Desguaces Españoles: <https://www.ro-des.com/blog/todo-sobre-protocolo-wltp-homologaciones-y-consumos/>
- Guevara Hidalgo, M. G. (2010). *Metodología de pruebas para la evaluación de convertidores catalíticos en motores a gasolina*. Quito: Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 01 de Octubre de 2019, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2255/1/CD-2998.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (Julio de 2000). Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o "ralentí". Prueba estática. *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 203:2000. Primera edición*. Quito, Ecuador.

- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2016). *Tabulados-Formato Excel*. Recuperado el 01 de Septiembre de 2019, de Anuario Transportes Tabulados: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/2016/2016_AnuarioTransportes_Tabulados.xlsx
- Mafla Alvear, M. J., & Ortiz Guachamin, M. (2007). *Metodología para certificar la calibración de analizadores de gases y opacímetros*. Quito: Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 05 de Septiembre de 2019, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/515/1/CD-1034.pdf>
- Moscardó Fuster, R. (2015). *Modelo de un vehículo para la simulación dinámica del nuevo ciclo de conducción europeo (NEDC)*. España: Escuela Ingenierías Industriales. Recuperado el 20 de Octubre de 2019, de <http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/13759/TFM-I-300.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nunige, O. (2018). *Evaluación y comparación de métodos de medición consumo de combustible para laboratorio y ruta en un vehículo liviano*. Pereira: Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de <https://pdfs.semanticscholar.org/15c6/013a43d030aec9d6769d95a405094ad51ca.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: Facultad de Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador. Recuperado el 21 de Marzo de 2016, de <http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/164/1/T-UIDE-0158.pdf>

Pérez Belló, M. Á. (2011). *Sistemas auxiliares del motor*. Madrid: Paraninfo S.A.

Pérez Belló, M. Á. (2017). *Sistemas auxiliares del motor* (Segunda edición ed.). Paraninfo.

Rodríguez Melchor, J. C. (2012). *UF1216: Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto*. Málaga: IC Editorial. Recuperado el 10 de Octubre de 2019, de <https://books.google.com.ec/books?id=0AVbav1RIMEC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

SENPLADES. (2013). *Agenda Regional de Población y Desarrollo después del 2014 en Ecuador*. Recuperado el 25 de Mayo de 2019, de Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. Primera edición: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/ESTADISTICA/Proyecciones_y_estudios_demograficos/Proyectos%20y%20Estudios%20demogr%C3%A1ficos%202014/AGENDA%20REGIONAL%20DE%20POBLACION%20Y%20DESARROLLO%20DESPUES%202014%20ECUADOR.pdf

Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2016). Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que utilizan gasolina. *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204 Segunda revisión*. Quito, Ecuador. Recuperado el 10 de Octubre de 2019, de <http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2016/12/PROYECTO-A2-NTE-INEN-2204.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: **BAYAS FREIRE LUIS ANTONIO** y **SÁNCHEZ GUILCAMAIGUA CRISTIAN JOSÉ**

En la ciudad de Latacunga, a los 09 días de mes de Diciembre del 2019.

Aprobado por:


ING. LEONIDAS QUIROZ MSC.
DIRECTOR DEL PROYECTO


ING. DANILO ZAMBRANO
DIRECTOR DE CARRERA


ABG. DARWIN ALBAN
SECRETARIO ACADÉMICO