



¹
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Investigación de los métodos de limpieza por oxidación y redistribución de
metales del monolito de convertidores catalíticos de vehículos mediante
protocolos armonizados**

Ordoñez Espinosa, Jonathan Patricio y Pérez Guzmán, Erik Sebastián

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

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

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc

18 de marzo del 2021

Latacunga



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Investigación de los métodos de limpieza por oxidación y redistribución de metales del monolito de convertidores catalíticos de vehículos mediante protocolos armonizados**” fue realizado por los señores **Ordoñez Espinosa, Jonathan Patricio y Pérez Guzmán, Erik Sebastián**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 18 de marzo del 2021



Firmado electrónicamente por:

**LEONIDAS
ANTONIO QUIROZ
ERAZO**

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

C.C.: 0502509995

Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS ORDOÑEZ_PEREZ.pdf (D98559692)
Submitted: 3/16/2021 7:35:00 PM
Submitted By: jpordonez4@espe.edu.ec
Significance: 9 %

Sources included in the report:

Tesis Completa (ARMONIZADOS).docx (D59696602)
REACTOR.docx (D98171876)
Tesis_completa 15-01-202.docx (D62477101)
tesis primera version final Santiago Barreno 1.pdf (D29485569)
CAPÍTULO II (1).docx (D53782979)
Paper Abad-Rojas 20-08-2020.docx (D78011078)
Trabajo de Grado Edison Lema.docx (D49132445)
RONNY RONALDO TORRES RISCO.docx (D56380282)
<https://www.autonocion.com/el-catalizador-que-es-partes-componentes-y-funcionamiento/>
<https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-el-convertidor-catalitico-catalizador-y-como-funciona/>
<https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/download/112/103/>
<https://www.serviciositv.es/sgs-te-informa/que-es-el-valor-lambda-itv-y-que-implica-en-la->



Firmado electrónicamente por:

**LEONIDAS
ANTONIO QUIROZ
ERAZO**

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

C.C.: 0502509995



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Ordoñez Espinosa, Jonathan Patricio y Pérez Guzmán, Erik Sebastián**, con cédulas de ciudadanía N° 1722806682 y 1804587218, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Investigación de los métodos de limpieza por oxidación y redistribución de metales del monolito de convertidores catalíticos de vehículos mediante protocolos armonizados**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 18 de marzo del 2021

Pérez Guzmán Erik Sebastián

C.C.: 1804587218

Ordoñez Espinosa Jonathan Patricio

C.C.: 1722806682



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Ordoñez Espinosa, Jonathan Patricio y Pérez Guzmán, Erik Sebastián**, con cédulas de ciudadanía n°1722806682 y 1804587218, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Investigación de los métodos de limpieza por oxidación y redistribución de metales del monolito de convertidores catalíticos de vehículos mediante protocolos armonizados**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 18 de marzo del 2021

Pérez Guzmán Erik Sebastián

C.C.: 1804587218

Ordoñez Espinosa Jonathan Patricio

C.C.: 1722806682

Dedicatoria

Quiero dedicar este proyecto a mis padres por el apoyo incondicional que me han podido dar durante todo este tiempo que han sido muy duros, pero a pesar de todo han podido estar ahí en las buenas y en las malas. También quiero dedicarle este proyecto a todas las personas que creyeron en mí y de una u otra manera pudieron hacer posible que este paso más de mi vida se cumpla con éxito.

Ordoñez Espinosa Jonathan Patricio

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico de manera muy especial a mi madre, por su apoyo incondicional, por su cariño, por sus esfuerzos y sacrificios que ha hecho posible que pueda culminar esta meta con éxito.

A mi padre por apoyarme y guiarme en este camino de formación profesional, a mis hermanas por estar junto conmigo en los momentos de alegrías y tristezas.

Pérez Guzmán Erik Sebastián

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios por bendecirme en todo momento por más difícil que haya sido y que me ha permitido culminar de la mejor manera un paso más de mi vida académica y ayudarme a empezar una nueva vida profesional, de igual manera quiero agradecer a mis padres por su apoyo incondicional tanto económica como moralmente ya que sin su apoyo no podría haber culminado este gran logro.

Por otro lado, quiero agradecer también a mis ingenieros que me ayudaron en mi formación académica y que me supieron apoyar en ciertos momentos difíciles de mi carrera universitaria y que también me han brindado su amistad y confianza durante todo este tiempo.

Ordoñez Espinosa Jonathan Patricio

Agradecimiento

Agradezco a Dios por permitirme culminar una de mis metas con éxito y por permitir que mis padres estén junto conmigo apoyándome y dándome la fortaleza necesaria en mi preparación profesional para así poder afrontar las futuras adversidades presentes en mi vida profesional.

Pérez Guzmán Erik Sebastián

Tabla de contenidos

Portada.....	1
Certificación	2
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización De Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Tabla de contenidos	10
índice de tablas	17
Índice de figuras	19
Índice de ecuaciones.....	23
Resumen	24
Abstract.....	25
Planteamiento del Problema de Investigación.....	26
Antecedentes Investigativos.....	26
Planteamiento del Problema	28
Descripción Resumida del Proyecto.....	30
Justificación e Importancia.....	31

	11
Objetivos del Proyecto	32
<i>Objetivo General.....</i>	32
<i>Objetivos Específicos</i>	32
Hipótesis.....	33
Fundamento Teórico	34
Convertidores Catalíticos.....	34
Principio de Funcionamiento.....	35
<i>Partes</i>	37
Convertidores Catalíticos de Tres Vías	39
<i>Reacciones que Ocurren en el Convertidor Catalítico</i>	40
Emisiones de Gases	42
<i>Productos Derivados de la Combustión.....</i>	42
<i>Óxidos de Nitrógeno (NOx)</i>	43
<i>Hidrocarburos (HC).....</i>	43
<i>Monóxido de Carbono (CO).....</i>	43
<i>Dióxido de Carbono (CO₂)</i>	44
<i>Oxígeno (O₂).....</i>	44
<i>Factor Lambda (λ) Representación en Simbología y Unidades de</i>	
<i>Medida</i>	44
Equipos de Medición	48
<i>Analizador de Gases AGS-688.....</i>	48

	12
<i>Analizador de Gases Kane 4-2 Plus</i>	49
Normativas	49
<i>Normativa NTE INEN 2203</i>	49
<i>Normativa NTE INEN 2204</i>	50
<i>Worldwide Harmonized LIGHT Vehicles Test Procedures (WLTP)</i>	50
<i>Instalaciones Eléctricas NEC - SB – IE</i>	50
Mecanismo de Conducción de Calor	51
<i>Resistencia Térmica</i>	51
<i>Conducción</i>	52
<i>Convección Natural y Forzada</i>	53
<i>Radiación</i>	59
Materiales de Intercambiadores de Calor	61
Razón de Transferencia de Calor	61
Potencia Eléctrica	62
Tratamiento del Convertidor Catalítico	63
Diseño del Reactor	63
Identificación de la Necesidad	64
Sistema Control de Temperatura	64
<i>Fuente de Calor</i>	65
<i>Conductor Eléctrico</i>	71
<i>Elementos de Protección</i>	72

	13
<i>Relé de Estado Solido</i>	73
<i>Controladores de Temperatura y Termocuplas</i>	74
Diseño Mecánico del Reactor	76
Control de Flujo de los Gases Vectores	77
<i>Flujómetros</i>	78
<i>Acoples</i>	78
Diseños CAD.....	80
<i>Descripción del Equipo</i>	82
Construcción	84
<i>Estructura Interna</i>	84
<i>Acoples Gases Vectores</i>	86
<i>Aislamiento Térmico</i>	87
<i>Estructura Externa</i>	88
<i>Reactor Finalizado</i>	89
Tratamiento del Convertidor Catalítico	90
<i>Selección de Muestra</i>	90
Limpieza de los Convertidores Catalíticos	90
Eliminación de Humedad	91
Proceso de Oxidación.....	92
<i>Monitoreo</i>	92
Proceso de Reducción.....	92

	14
Monitoreo	93
Redistribución de los Metales	93
Emisiones de Gases Contaminantes	93
Pruebas Estáticas	94
<i>Protocolo AGS 688 BRAIN BEE.....</i>	<i>94</i>
<i>Normativa INEN 2203</i>	<i>99</i>
Pruebas Dinámicas	99
<i>Protocolo WLTP.....</i>	<i>102</i>
Análisis Experimental de la Regeneración de los Convertidores Catalíticos.....	105
Pruebas Estáticas Catalizador de 2 Vías.....	105
<i>Análisis Tratamiento a los 0 km de Recorrido.....</i>	<i>107</i>
<i>Análisis Tratamiento a los 1000 km de Recorrido.....</i>	<i>112</i>
<i>Análisis Tratamiento a los 2000 km de Recorrido.....</i>	<i>116</i>
<i>Análisis Tratamiento a los 3000 km de Recorrido.....</i>	<i>120</i>
Pruebas Estáticas Catalizador de 3 Vías.....	123
<i>Análisis Tratamiento a los 0 km de Recorrido.....</i>	<i>126</i>
<i>Análisis Tratamiento a los 1000 km de Recorrido.....</i>	<i>130</i>
<i>Análisis tratamiento a los 2000 km de Recorrido.....</i>	<i>133</i>
<i>Análisis tratamiento a los 3000 km de Recorrido.....</i>	<i>137</i>
Pruebas Dinámicas	140
<i>Emisiones a 30 km/h</i>	<i>143</i>

	15
<i>Emisiones a 50 km/h</i>	145
<i>Emisiones a 70 km/h</i>	147
<i>Emisiones a 100 km/h</i>	149
<i>Régimen de Giro del Motor</i>	151
<i>Factor λ</i>	152
Oxidación del Monolito de Oro	154
<i>Conductividad Térmica del Fluido vs Longitud</i>	154
<i>Coefficiente de fricción vs longitud</i>	156
<i>Temperatura del Sólido y Fluidos vs Longitud</i>	157
<i>Presión vs Longitud</i>	158
<i>Densidad del fluido vs longitud</i>	159
Reducción del Monolito de Oro	161
<i>Conductividad Térmica del Fluido vs Longitud</i>	161
<i>Coefficiente de fricción vs longitud</i>	162
<i>Temperatura del sólido y fluidos vs longitud</i>	163
<i>Presión vs Longitud</i>	165
<i>Densidad del fluido vs longitud</i>	166
Oxidación del Monolito de Platino	168
<i>Conductividad Térmica del Fluido vs Longitud</i>	168
<i>Coefficiente de fricción vs longitud</i>	169
<i>Temperatura del sólido y fluidos vs longitud</i>	171

	16
<i>Presión vs Longitud.....</i>	172
<i>Densidad del Fluido vs Longitud.....</i>	174
Reducción del Monolito de Platino.	175
<i>Conductividad Térmica del Fluido vs Longitud.....</i>	175
<i>Coefficiente de Fricción vs Longitud.</i>	176
<i>Temperatura del Sólido y Fluidos vs Longitud.....</i>	177
<i>Presión vs Longitud.....</i>	179
<i>Densidad del fluido vs longitud.....</i>	180
Marco Administrativo	182
Recursos	182
<i>Recursos Humanos.....</i>	182
<i>Recursos Tecnológicos.....</i>	183
<i>Recursos Materiales.....</i>	183
Presupuesto.....	184
<i>Costo de Pruebas en los Laboratorios.....</i>	184
<i>Costo neto del Proyecto.....</i>	185
Conclusiones y Recomendaciones	186
Conclusiones	186
Recomendaciones.....	188
Bibliografía	190
anexos.....	194

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Factor lambda</i>	47
Tabla 2 <i>Características del acero inoxidable AISI 304 y el Nitrógeno</i>	66
Tabla 3 <i>Resistencia a la conducción térmica</i>	67
Tabla 4 <i>Coefficiente de transferencia de calor de convección térmica</i>	67
Tabla 5 <i>Coefficiente de transferencia de calor por radiación</i>	69
Tabla 6 <i>Razón de Transferencia de calor</i>	70
Tabla 7 <i>Corriente del sistema de control</i>	73
Tabla 8 <i>Requerimientos del Proceso</i>	77
Tabla 9 <i>Acoples neumáticos</i>	79
Tabla 10 <i>Características del reactor</i>	82
Tabla 11 <i>NEDC VS WLTP</i>	103
Tabla 12 <i>Prueba estática de emisión de gases</i>	105
Tabla 13 <i>Emisiones de gases a ralentí y 0 km de recorrido</i>	108
Tabla 14 <i>Emisiones de gases a velocidad crucero y 0 km de recorrido</i>	110
Tabla 15 <i>Emisiones de gases a ralentí y 1000 km de recorrido</i>	112
Tabla 16 <i>Emisiones a velocidad crucero y 1000 km de recorrido</i>	114
Tabla 17 <i>Emisiones a ralentí y 2000 km de recorrido</i>	116
Tabla 18 <i>Emisiones a velocidad crucero y 2000 km de recorrido</i>	118
Tabla 19 <i>Emisiones a ralentí y 3000 km de recorrido</i>	120
Tabla 20 <i>Emisiones a velocidad crucero y 3000 km de recorrido</i>	122
Tabla 21 <i>Prueba estática de emisión de gases</i>	124
Tabla 22 <i>Emisiones a ralentí y 0 km de recorrido</i>	127
Tabla 23 <i>Emisiones a velocidad crucero y 0 km de recorrido</i>	128

	18
Tabla 24 <i>Emisiones a ralentí y 1000 km de recorrido</i>	130
Tabla 25 <i>Emisiones a velocidad crucero y 1000 km de recorrido</i>	132
Tabla 26 <i>Emisiones a ralentí y 2000 km de recorrido</i>	134
Tabla 27 <i>Emisiones a velocidad crucero y 2000 km de recorrido</i>	135
Tabla 28 <i>Emisiones a ralentí y 3000 km de recorrido</i>	137
Tabla 29 <i>Emisiones a velocidad crucero y 3000 km de recorrido</i>	139
Tabla 30 <i>Prueba dinámica de emisión de gases</i>	141
Tabla 31 <i>Promedios de emisiones a 30 Km/h</i>	145
Tabla 32 <i>Promedios de emisiones a 50 Km/h</i>	147
Tabla 33 <i>Promedios de emisiones a 70 Km/h</i>	149
Tabla 34 <i>Tabla de Promedios de emisiones a 100 Km/h</i>	151
Tabla 35 <i>Factor Lambda medido y calculado</i>	153
Tabla 36 <i>Recursos Humanos</i>	182
Tabla 37 <i>Recursos Tecnológicos</i>	183
Tabla 38 <i>Recursos Materiales</i>	184
Tabla 39 <i>Costo de pruebas en los laboratorios</i>	184
Tabla 40 <i>Costo neto del proyecto</i>	185

Índice de figuras

Figura 1 <i>Árbol de problemas</i>	29
Figura 2 <i>Estructura del catalizador</i>	34
Figura 3 <i>Convertidor Catalítico</i>	36
Figura 4 <i>Elementos del convertidor catalítico</i>	37
Figura 5 <i>Constitución del monolito</i>	39
Figura 6 <i>Reacciones en el convertidor catalítico</i>	41
Figura 7 <i>Composición de los gases de escape en los motores de gasolina</i>	42
Figura 8 <i>Relación gases de escape vs factor lambda.</i>	45
Figura 9 <i>Analizador de gases AGS BRAIN BEE</i>	48
Figura 10 <i>Kane Autoplus 4-2</i>	49
Figura 11 <i>Conducción de calor a través de una pared plana</i>	53
Figura 12 <i>Convección forzada y natural</i>	54
Figura 13 <i>Número promedio de Nusselt para un cilindro</i>	57
Figura 14 <i>Transferencia de calor por radiación</i>	60
Figura 15 <i>Diagrama de flujo para el diseño</i>	63
Figura 16 <i>Capacidad de corriente en conductores</i>	72
Figura 17 <i>Relé de estado Sólido</i>	74
Figura 18 <i>Controlador REX-C700</i>	75
Figura 19 <i>Diagrama de bloques circuito eléctrico</i>	76
Figura 20 <i>Flujómetro MADA</i>	78
Figura 21 <i>Válvula de paso y acoples</i>	79
Figura 22 <i>Equipo de limpieza de convertidores catalíticos</i>	80
Figura 23 <i>Simulación termodinámica</i>	81

	20
Figura 24 <i>Revisión del equipo</i>	83
Figura 25 <i>Maquinado de la tapa posterior y estructura interna</i>	84
Figura 26 <i>Acoples de Acero Inoxidable AISI 304</i>	85
Figura 27 <i>Fijación de las resistencias tipo abrazadera</i>	86
Figura 28 <i>Acoples para la distribución del gas vector</i>	87
Figura 29 <i>Fibra de cerámica</i>	88
Figura 30 <i>Estructura externa del reactor</i>	89
Figura 31 <i>Reactor finalizado</i>	90
Figura 32 <i>T1: Tratamiento del monolito</i>	91
Figura 33 <i>Protocolo AGS 668 BRAIN BEE</i>	94
Figura 34 <i>Diagrama de flujo A1</i>	95
Figura 35 <i>Diagrama de flujo B1</i>	96
Figura 36 <i>Diagrama de flujo B2</i>	97
Figura 37 <i>Diagrama de flujo B3</i>	98
Figura 38 <i>Procedimiento Normativa INEN 2203</i>	99
Figura 39 <i>Protocolo WLTP</i>	100
Figura 40 <i>Diagrama de flujo D1</i>	101
Figura 41 <i>Diagrama de flujo C1</i>	102
Figura 42 <i>Emisiones 0 km – ralentí</i>	109
Figura 43 <i>Emisiones 0 km – crucero</i>	111
Figura 44 <i>Emisiones 1000 km – ralentí</i>	114
Figura 45 <i>Emisiones 1000 km – crucero</i>	116
Figura 46 <i>Emisiones 2000 km – ralentí</i>	118
Figura 47 <i>Emisiones 2000 km – crucero</i>	119
Figura 48 <i>Emisiones 3000 km – ralentí</i>	121

	21
Figura 49 <i>Emisiones 3000 km – crucero</i>	123
Figura 50 <i>Emisiones 0 km – ralentí</i>	128
Figura 51 <i>Emisiones 0 km – crucero</i>	129
Figura 52 <i>Emisiones 1000 km – ralentí</i>	131
Figura 53 <i>Emisiones 1000 km – crucero</i>	133
Figura 54 <i>Emisiones 2000 km – ralentí</i>	135
Figura 55 <i>Emisiones 2000 km – crucero</i>	136
Figura 56 <i>Emisiones 3000 km – ralentí</i>	138
Figura 57 <i>Emisiones 3000 km – crucero</i>	140
Figura 58 <i>Emisiones a 30 Km/h</i>	144
Figura 59 <i>Emisiones a 50Km/h</i>	146
Figura 60 <i>Emisiones a 70 Km/h</i>	148
Figura 61 <i>Emisiones a 100 Km/h</i>	150
Figura 62 <i>Régimen de giro del motor</i>	152
Figura 63 <i>Conductividad Térmica del Fluido vs Longitud</i>	155
Figura 64 <i>Coefficiente de Fricción vs Longitud</i>	156
Figura 65 <i>Temperatura del Sólido y Fluido vs Longitud</i>	157
Figura 66 <i>Temperatura del Fluido vs Longitud</i>	158
Figura 67 <i>Presión vs Longitud</i>	159
Figura 68 <i>Densidad del Fluido vs Longitud</i>	160
Figura 69 <i>Conductividad Térmica del Fluido vs Longitud</i>	162
Figura 70 <i>Coefficiente de Fricción vs Longitud</i>	163
Figura 71 <i>Temperatura del Sólido y Fluido vs Longitud</i>	164
Figura 72 <i>Temperatura del Fluido vs Longitud</i>	164
Figura 73 <i>Presión vs Longitud</i>	166

	22
Figura 74 <i>Densidad del Fluido vs Longitud</i>	167
Figura 75 <i>Conductividad térmica de Fluido vs Longitud</i>	169
Figura 76 <i>Coefficiente de Fricción vs Longitud</i>	170
Figura 77 <i>Temperatura del Sólido y Fluidos vs Longitud</i>	171
Figura 78 <i>Temperatura del Sólido y Fluidos vs Longitud</i>	172
Figura 79 <i>Presión vs Longitud</i>	173
Figura 80 <i>Densidad del Fluido vs Longitud</i>	174
Figura 81 <i>Conductividad Térmica del Fluido vs Longitud</i>	176
Figura 82 <i>Coefficiente de Fricción vs Longitud</i>	177
Figura 83 <i>Temperatura del Sólido y Fluido vs Longitud</i>	178
Figura 84 <i>Temperatura del Fluido vs Longitud</i>	178
Figura 85 <i>Presión vs Longitud</i>	180
Figura 86 <i>Densidad del Fluido vs Longitud</i>	181

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 <i>Factor lambda</i>	46
Ecuación 2 Razón de Transferencia de calor.....	51
Ecuación 3 <i>Resistencia térmica total</i>	52
Ecuación 4 <i>Resistencia a la de conducción</i>	52
Ecuación 5 <i>Resistencia a la convección</i>	54
Ecuación 6 <i>Coeficiente de expansión volumétrica</i>	55
Ecuación 7 <i>Número de Grashof</i>	55
Ecuación 8 <i>Número de Rayleigh</i>	56
Ecuación 9 <i>Número de Reynolds</i>	57
Ecuación 10 <i>Gasto Volumétrico</i>	58
Ecuación 11 <i>Coeficiente de transferencia de calor por convección</i>	58
Ecuación 12 <i>Resistencia a la radiación</i>	59
Ecuación 13 <i>Coeficiente de transferencia de calor por radiación</i>	60
Ecuación 14 <i>Coeficiente de transferencia de calor combinado</i>	61
Ecuación 15 <i>Razón de transferencia de calor</i>	62
Ecuación 16 <i>Potencia eléctrica</i>	62

RESUMEN

La obtención de los metales utilizados para la fabricación de los convertidores catalíticos en la actualidad han presentado un incremento en su valor, siendo el convertidor catalítico el principal elemento para reducir los gases contaminantes es necesario la limpieza y redistribución de los metales presentes en el mismo, por tal motivo se propone el diseño y construcción de un equipo que satisfaga las necesidades de los métodos de limpieza por oxidación y redistribución de metales en el monolito del convertidor catalítico tomando en consideración los análisis para la selección de los elementos y materiales de construcción con la ayuda de un software CAD y normas establecidas para el uso de estos elementos. Las pruebas de emisiones de gases contaminantes están basadas en protocolos armonizados como WLTP y ASM para pruebas dinámicas, normativa INEN 2203 y protocolo AGS 688 BRAIN BEE para pruebas estáticas. Se obtuvieron resultados antes y después de aplicar los métodos de limpieza en el monolito tanto para las pruebas estáticas como para las pruebas dinámicas, utilizando los analizadores de gases AGS 688 BRAIN BEE y KANE AUTO PLUS 4-2 respectivamente. Para determinar la eficiencia del método de limpieza aplicado se utilizaron herramientas matemáticas, métodos gráficos y comparativos que validaron los resultados de los ensayos estáticos y dinámicos en función de la reducción de emisiones de HC, CO y NO_x de acuerdo a la variación de λ .

Palabras Clave:

- **LIMPIEZA – CATALIZADORES**
- **MONOLITO**
- **OXIDACIÓN**

ABSTRACT

Theoretical and scientific information will be taken on the reuse processes of medium and high-end converters through processes of oxidation, reduction and redistribution of the monolith metals through reliable sources. Through studies of vector gas flow parameters, oxidation and reduction temperature and exposure time in a bench system, the method of cleaning by oxidation-reduction of monoliths of commercial catalytic converters that have reached their useful life will be developed. By means of AGS 688 BRAIN BE gas analyzer equipment, static tests will be developed before and after applying the cleaning and metal redistribution methodology to the catalytic converters to obtain results of HC, CO, CO₂, NOX and λ gases present in the exhaust emissions of the test vehicles, in the same way, dynamic tests will be developed with the KANE PLUS 4-2 gas analyzer applying harmonized protocols such as ASM (Simulated Acceleration Mode) which is performed on a dynamometer, developed by the Agency. for the United States Environmental Protection (EPA), WLTP is a global standard for determining the levels of pollutants, CO₂ emissions and fuel consumption of traditional cars, hybrids, and pure electric cars.

Key Words:

- **CLEANING - CATALYSTS**
- **MONOLITH**
- **OXIDATION**

Capítulo I

1. Planteamiento del Problema de Investigación

1.1 Antecedentes Investigativos

A finales de los años 60 comenzó la indagación de nuevas tecnologías para la reducción de emisiones atmosféricas producidas por el tráfico de vehículos. A finales de los años 80, el parque automotor empieza a tener un cambio importantísimo en el ámbito de medio ambiente ya que se empieza a incorporar la inyección electrónica y que esta controlaba de mejor manera la mezcla aire-combustible. (Vida Sostenible, 2015)

En el año 1992 se impone a todos los fabricantes de vehículos europeos, someterse a la normativa Euro 1 que obligaba a reducir las emisiones tanto a vehículos diésel como gasolina. Por lo que se empezó a implementar un componente (catalizador) en el tramo intermedio del tubo de escape, cuya función era reducir y transformar los gases de combustión del vehículo. (Vida Sostenible, 2015)

En lo que atañe a Ecuador, Santo Domingo de los Tsáchilas registró los niveles más altos de contaminación (en el 2016) de PM_{2,5} (33ug/m³) según la organización. La urbe es el sitio de tránsito entre la Sierra y la Costa. Cientos de camiones, buses y tráiler circulan por la ciudad dejando un rastro de hollín negro que se impregna en las paredes de las casas y de los locales comerciales. Según Nuria Loor, ingeniera ambiental del Municipio de Santo Domingo, los coches son la fuente principal de

polución. El parque automotor del cantón está conformado por más de 71 600 vehículos, según el Ministerio del Ambiente (MAE). (El Comercio, 2016)

HDM 210, es una nueva tecnología para la limpieza de filtros de partículas (FAP), catalizadores, válvulas EGR, motores diésel y de gasolina. En lugar de cambiar los componentes, la máquina HDM210 le permite limpiarlos y dejarlos a más de 100.000 km.

Esta máquina Pro, realiza una limpieza completa del filtro de partículas y catalizadores (FAP). Colocado justo después del catalizador, el FAP tiene una estructura de nido de abeja, colocada alternativamente para forzar la entrada de los gases de escape. Las paredes porosas de esta estructura de panal retienen las partículas. (Ibáñez, 2014)

A inicios del siglo XX en Ecuador comenzó a regir la norma técnica INEN 2204, la misma que establece los límites de emisiones en vehículos a gasolina, a partir del año 1901 los vehículos fueron cambiando sus sistemas de escape para lograr la reducción de gases nocivos principalmente mediante el uso de convertidores catalíticos, pero los factores de combustión incompleta especialmente en zonas de la Sierra Ecuatoriana debido a la altitud (Sectores que se ubican a más de 2000 msnm) y a la calidad en los combustibles ya que en el país se comercializa combustible de 87 octanos a 95 octanos, hacen que se produzca un exceso de hollín por lo que con el paso del tiempo impide que el convertidor catalítico cumpla su función, acelerando su deterioro y consecuentemente su recambio. (Pérez, 2018)

Describe que los convertidores catalíticos agotados de los automóviles vienen asociados con la cantidad de automotores en el Ecuador, una vez transcurrido la vida útil del catalizador este se convierte en un desecho ambiental, el cual no se puede eliminar por procesos simples debido a su estructura cerámica y la presencia de metales nobles. Los convertidores catalíticos tienen una gran efectividad en eliminar los gases tóxicos provenientes de la combustión de los automóviles, por lo que es de beneficio ambiental. Esto gracias a los metales del grupo VIIIb de la Tabla Periódica: Platino (Pt), Paladio (Pd) y Rodio (Rh) que contienen y que son excelentes catalizadores para eliminar los gases de escapes, los cuales llegan a deteriorarse principalmente por pérdida de superficie activa mediante la disminución de dispersión de los metales y el bloqueo por deposición de coque y envenenamiento por interacción con azufre y fósforo. (Centi, 2000)

1.2 Planteamiento del Problema

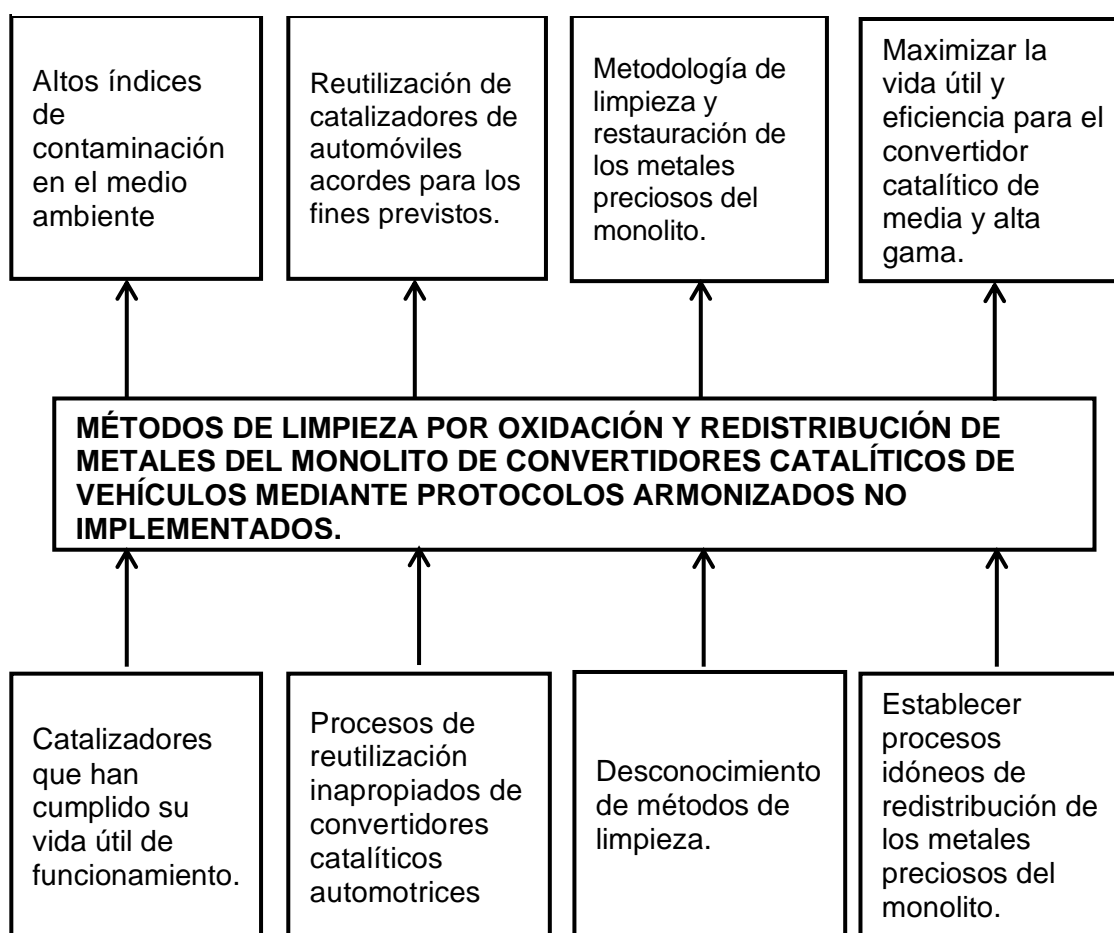
Los fabricantes indican en términos generales que los catalizadores tienen una vida útil de al menos 80000 kilómetros, o bien 5 años. Por lo tanto, en automóviles que superan los 100000 km de recorrido, el convertidor catalítico seguramente ya ha cumplido su vida útil y corresponde cambiarlo. Por otra parte, si antes de este plazo se comprueba que el convertidor catalítico está en mal estado o averiado, también será necesario el recambio. (Marza, 2013)

Al no poder ser procesados en fundiciones comunes de chatarra por su contenido cerámico, produciendo así contaminación ambiental, a través de un sistema de limpieza que generará beneficios ambientales y económicos al país

mediante la reutilización según fines establecidos mediante un método de regeneración de los mismos, que permita la recuperación de los metales como lo es el platino (Pt), paladio (Pd) y rodio (Rh) que forma parte de los convertidores catalíticos automotrices mediante procesos de oxidación, reducción y redistribución se ha maximizado la vida útil y eficiencia de los convertidores catalíticos de vehículos de media y alta gama para así reducir el alto índice de contaminación ambiental utilizando catalizadores que ya han cumplido su vida útil de funcionamiento.

Figura 1

Árbol de problemas



Nota. En el gráfico se encuentra el árbol de problemas presentes en la investigación

1.3 Descripción Resumida del Proyecto

Se fundamentó teórica y científicamente los procesos de reutilización de convertidores de media y alta gama mediante procesos de oxidación y redistribución de los metales del monolito a través de fuentes confiables. Se obtuvo muestras del monolito de los convertidores catalíticos que hayan cumplido su vida útil, de tal forma de caracterizar la composición de los materiales.

Se desarrolló el método de limpieza por oxidación en la cual se estudiaron los parámetros de flujo de gas vector según el caso, temperatura de oxidación, temperatura de redistribución de metales y tiempo de exposición en un sistema banco utilizando un monolito de convertidor catalítico comercial usado de desecho.

Se realizaron pruebas estáticas de emisiones a los convertidores catalíticos antes y después de aplicar la metodología y tratamiento de limpieza y redistribución de metales obteniendo resultados de gases de HC, CO, CO₂, NO_x y λ presentes en las emisiones de escape de los vehículos de prueba por medio del equipo analizador de gases AGS 688 BRAIN BEE.

Se realizaron pruebas dinámicas utilizando el analizador de gases KANE PLUS 4-2 de emisiones a los convertidores catalíticos antes y después de aplicar la metodología y tratamiento de limpieza y redistribución de metales bajo los protocolos armonizados, ASM (Modo de aceleración simulada) desarrollada por la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), WLTP (World Harmonized Light-duty Vehicle Test Procedure) es un estándar global para determinar los niveles de

contaminantes, emisiones de CO₂ y consumo de combustible de los coches tradicionales, híbridos, y automóviles eléctricos puros.

Mediante herramientas matemáticas, métodos gráficos y comparativos se determinaron los resultados de los ensayos estáticos y dinámicos en función de la reducción de emisiones de HC, CO y NO_x de acuerdo a la variación de λ .

1.4 Justificación e Importancia

Considerando que en la actualidad los vehículos automotores deben cumplir con ciertos estándares de normalización (NTE INEN 2204) para poder circular libremente por el país sin afectar el medio ambiente y el elemento encargado de transformar estos gases nocivos en inocuos es el convertidor catalítico y que en ciertas marcas de vehículos de media y alta gama el precio es un tanto inaccesible, se ha presentado la necesidad de reutilizar los convertidores catalíticos que han cumplido con su vida útil de funcionamiento con un proceso de limpieza y redistribución de materiales.

Por ello se hace necesario realizar la “INVESTIGACIÓN DE LOS MÉTODOS DE LIMPIEZA POR OXIDACIÓN Y REDISTRIBUCIÓN DE METALES DEL MONOLITO DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS DE VEHÍCULOS MEDIANTE PROTOCOLOS ARMONIZADOS.”

Con el cual se buscará la reutilización de los convertidores catalíticos logrando que de esta manera sigan cumpliendo con su función durante un mayor tiempo, y

tratando de disminuir el nivel de contaminación producido por los vehículos, tomando en cuenta la normativa que rige en el país INEN 2204.

Cumpliendo con el objetivo 3, del Eje 1 del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 en donde se menciona que:

Existe una responsabilidad ética con las actuales y futuras generaciones para: mantener, precautelar y dar soporte a la vida en todas sus formas; reconocer el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, garantizando la sostenibilidad y el Buen Vivir. Estos son los grandes desafíos que el Estado y la sociedad ecuatoriana deben mantener y profundizar". (Plan Nacional de Desarrollo, 2021)

1.5 Objetivos del Proyecto

1.5.1 Objetivo General

- Investigar los métodos de limpieza de convertidores catalíticos de vehículos por medio de oxidación y redistribución de metales en monolitos mediante un proceso de reducción

1.5.2 Objetivos Específicos

- Fundamentar teórica y científicamente los procesos de reutilización de convertidores catalíticos de media y alta gama mediante procesos de oxidación, reducción y redistribución de los metales del monolito a través de fuentes confiables.

- Limpiar el monolito usado de desecho mediante un proceso de oxidación utilizando 49% V/V Oxígeno/Nitrógeno a condiciones de flujo, tiempo de exposición y temperatura definida, y luego mediante un proceso de reducción utilizando una mezcla de 40% V/V de Hidrógeno/Nitrógeno a flujo, tiempo de exposición y temperatura definida.
- Realizar pruebas estáticas de emisiones a los convertidores catalíticos antes y después de aplicar la metodología y tratamiento de limpieza y redistribución de metales obteniendo resultados de gases de HC, CO, CO₂, NO_x y λ presentes en las emisiones de escape de los vehículos de prueba
- Realizar pruebas dinámicas de emisiones a los convertidores catalíticos antes y después de aplicar la metodología y tratamiento de limpieza y redistribución de metales bajo el protocolo armonizado WLTP.
- Determinar matemática y gráficamente la eficiencia de la metodología del tratamiento aplicado a los catalizadores a través de un algoritmo que valide los resultados de las pruebas con ensayos estáticos y dinámicos para la reutilización de los convertidores catalíticos en vehículos en función de la reducción de emisiones de HC, CO y NO_x de acuerdo a la variación de λ .

1.6 Hipótesis

Al aplicar el método de limpieza al convertidor catalítico de desecho usado se debe recuperar la reducción de emisiones de un 50%.

Capítulo II

2. Fundamento Teórico

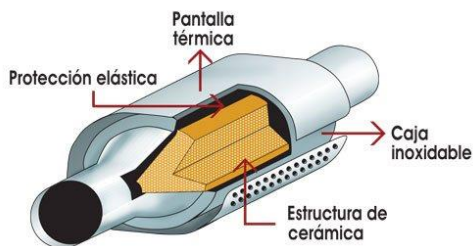
2.1 Convertidores Catalíticos

Los convertidores catalíticos son elementos que se encuentran ubicados después del múltiple de escape de los vehículos automotores y que su función principal es el de reducir hasta en un 80 por ciento las emisiones de los gases causantes de la contaminación que son producto de la combustión producida en los motores de combustión interna. (Santillán, 2015)

En las emisiones de escape se encuentran ciertos gases como el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos (HC) productos de una combustión incompleta y óxidos de Nitrógeno (NOx) formados a elevadas temperaturas por Oxígeno y Nitrógeno presentes en el aire que ingresa a la cámara de combustión. (Santillán, 2015)

Figura 2

Estructura del catalizador



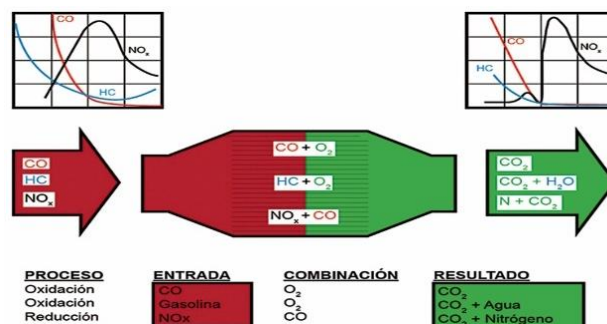
Nota. Representación de la estructura interna y externa de un catalizador Tomado de Prieto, A. (14 de Febrero de 2020). *El catalizador: Qué es, que elementos lo componen*

y cómo funciona. <https://www.autonocion.com/el-catalizador-que-es-partes-componentes-y-funcionamiento/>

2.2 Principio de Funcionamiento

Su principal funcionamiento es reducir el porcentaje de contaminación que emiten los gases carburantes del motor y de esta manera hacerlos más amigables con el medio ambiente. Este elemento se encuentra ubicado debajo del vehículo automotor a lo largo del tubo de escape, después del sensor de Oxígeno, aunque cabe recalcar que la ubicación de este elemento varía según su fabricante y puede estar justo en la salida del múltiple de escape, casi en la mitad de todo el tubo de escape o bien en la parte trasera de la misma. (Avance, 2013)

Los gases de escape entran en contacto con los metales preciosos presentes en el convertidor catalítico como el platino, paladio y rodio que se encuentran en varias celdillas que presentan una superficie rugosa facilitando así que se produzca las reacciones químicas de oxidación del CO y los HC, y reducción de los óxidos de Nitrógeno con ayuda del rodio, ayudando a la separación del Nitrógeno y Oxígeno para convertirlos en gases inocuos. (Santillán, 2015)

Figura 3*Convertidor Catalítico*

Nota. En el gráfico se muestra el proceso de catálisis obtenido de BURGALETA, P. (25 de Noviembre de 2019). *Motociclismo*. Obtenido de Qué es y cómo funciona el catalizador : https://www.motociclismo.es/consejos/mantenimiento/que-es-como-funciona-catalizador_189733_102.html

Los gases de escape producto de la combustión en el interior de los cilindros son expulsados hacia el exterior del motor a través del sistema de escape, antes de salir completamente del vehículo se filtran a través del convertidor catalítico como se aprecia en la Figura 3 el cual es calentado por estos gases que tienen una temperatura mayor a los 200°C, las mejores condiciones de funcionamiento de los catalizadores suceden a partir de esta temperatura. Un vehículo en condiciones normales de uso, arrancando en frío, alcanza estas condiciones en apenas 30 segundos. Esta condición es necesaria para que se activen los metales catalizadores. A medida que los gases de escape pasan por el convertidor catalítico, reaccionan con el recubrimiento de metales preciosos y se transforman en gases inertes como: agua (H₂O), Nitrógeno (N₂) y Dióxido de Carbono (CO₂) que resultan menos perjudiciales a la salud y el medio ambiente. (Hidalgo, 2010)

Según (Aharon, 2017) Su función se divide en dos etapas: la primera consiste en eliminar el óxido de Nitrógeno, separando los átomos de Nitrógeno de los óxidos de Nitrógeno para dar una reacción de dos gases por separado; Oxígeno y Nitrógeno.

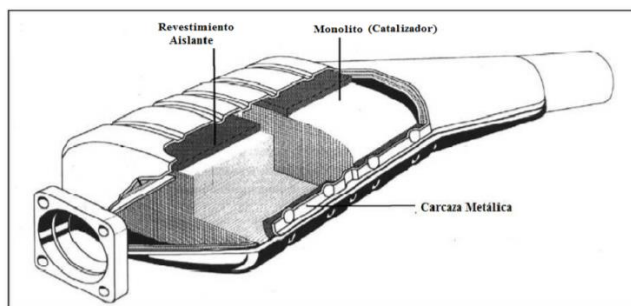
La segunda etapa se denomina “catalizador de oxidación”, en la cual se elimina el monóxido de carbono y los hidrocarburos, oxidando los contaminantes con Oxígeno. El resultado de este proceso es la generación de dióxido de carbono, sin embargo, el dióxido de carbono es en realidad menos dañino que los contaminantes que se catalizan. (Aharon, 2017)

2.2.1 Partes

De los convertidores catalíticos se toma en cuenta tres elementos indispensables; la carcasa metálica, el revestimiento aislante y el monolito, distribuidos como se muestra en la Figura 4. (Hidalgo, 2010)

Figura 4

Elementos del convertidor catalítico



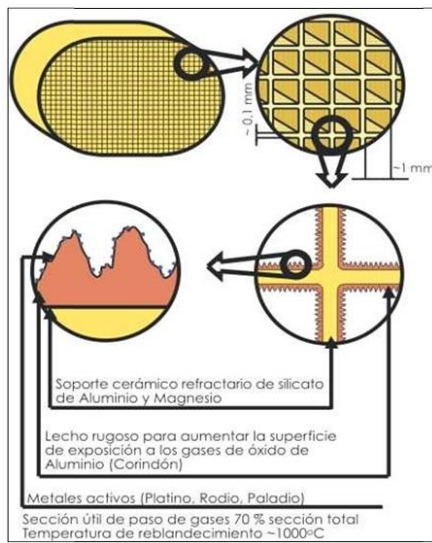
Nota. El gráfico representa los componentes de un convertidor catalítico Obtenido de Hidalgo, M. G. (20 de Junio de 2010). *Metodología de pruebas para la*

evaluación de convertidores catalíticos en motores gasolina.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2255/1/CD-2998.pdf>

La carcasa metálica tiene la forma muy similar a la de un silenciador, está fabricada de acero inoxidable, sellada y aislada, es la encargada de proteger a los monolitos del convertidor catalítico del exterior, además de amortiguación y hermeticidad. La parte superior e inferior son completamente sólidas, con la única diferencia que la parte inferior posee unos pequeños orificios que son los encargados de disipar el calor generado en el interior para evitar que este se recaliente. (Hidalgo, 2010)

El convertidor catalítico también posee un revestimiento aislante, que está conformada por una malla metálica que envuelve al monolito con el propósito de cerrar posibles espacios dejados entre la carcasa y los monolitos, también cumple la función de amortiguación de vibraciones producidas por el movimiento del vehículo automotor y pues también aísla de las altas temperaturas generadas en el convertidor catalítico (entre 300° y 700°C) al exterior de éste evitando que esta temperatura tenga contacto con el exterior y evitar posibles percances. (Hidalgo, 2010)

Figura 5*Constitución del monolito*

Nota. En el gráfico se observa la estructura interna del monolito de catalizador obtenido de Ingeniería y Mecánica Automotriz. (09 de Septiembre de 2020). Ingeniería y Mecánica Automotriz. ¿Qué es el Convertidor Catalítico / Catalizador y cómo funciona?. <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-el-convertidor-catalitico-catalizador-y-como-funciona/>

2.3 Convertidores Catalíticos de Tres Vías

Este convertidor catalítico es el más usado en la actualidad en casi todos los automóviles con motor de combustión interna a gasolina ya que transforma a los gases nocivos en inocuos con ayuda de los metales preciosos como el Rodio (Rh) el cual interviene en la reducción de los gases más nocivos que son Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos (HC) y Óxidos Nitrosos (NOx). (Fernandez, 2010)

2.3.1 Reacciones que Ocurren en el Convertidor Catalítico

El convertidor catalítico de tres vías tiene dos etapas de funcionamiento en las que realiza las reacciones químicas. El convertidor catalítico tiene dos monolitos acomodados consecutivamente uno tras otro y es en estos que se realizan las reacciones, en la Figura 6 se observa cómo se comportan estas etapas. (Prado, 2020)

Primera etapa: en esta etapa se realiza la reducción, las paredes del monolito se encuentran recubiertas por moléculas de platino (Pt) y rodio (Rh), al tener contacto con los gases de escape por procesos químicos de reducción, las emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NOx) disminuyen. (Prado, 2020)

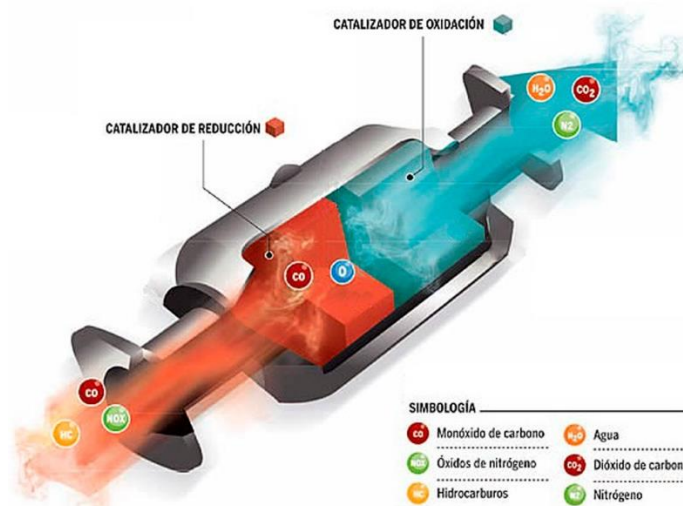
Al momento que las moléculas de Monóxido o Dióxido de Nitrógeno reaccionan con el catalizador, este atrapa los átomos de Nitrógeno y libera Oxígeno. Los átomos de Nitrógeno atrapados en el monolito se unen con otros del mismo y libera Nitrógeno molecular N₂, que es el elemento más abundante del aire y por tal motivo no es contaminante. (Prado, 2020)

Segunda etapa: en esta etapa se realiza la oxidación, el monolito que realiza la oxidación está compuesto por partículas de platino (Pt) y paladio (Pd), este es el encargado de hacer reaccionar a los hidrocarburos no combustionados (HC) y el Monóxido de Carbono (CO) por proceso de oxidación con Oxígeno que previene del propio motor produciendo dióxido de carbono CO₂ y H₂O. (Prado, 2020)

Para este proceso el catalizador brinda la ayuda para completar la combustión del CO y los hidrocarburos no combustionados, y este proceso es ayudado por la sonda lambda que es la encargada de medir el Oxígeno que sale por el escape y lo compara con el exterior, enviándolos a la unidad de control para que este corrija el tiempo de inyección y la cantidad de aire que entra para para que haya suficiente Oxígeno en el escape para poder completar la oxidación catalítica. (Prado, 2020)

Figura 6

Reacciones en el convertidor catalítico



Nota. Representación de las reacciones presentes en el monolito Obtenido de Prado, D. d. (07 de Febrero de 2020). GAS COMMUNITY. ¿Cómo funciona el convertidor catalítico o catalizador?. <https://gascommunity.com/como-funciona-el-convertidor-catalitico-o-catalizador/>

2.4 Emisiones de Gases

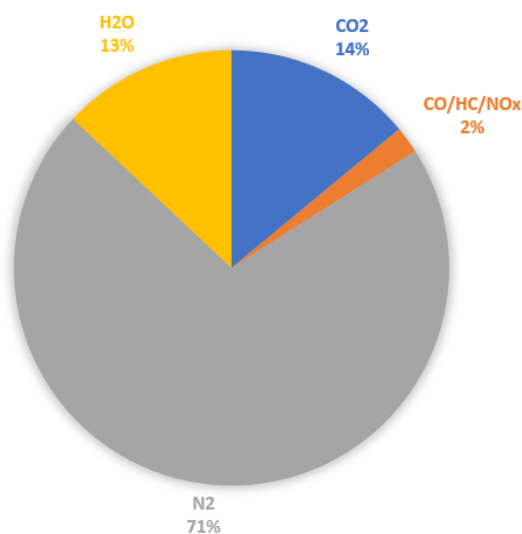
2.4.1 Productos Derivados de la Combustión

En el proceso de combustión en los motores de combustión interna existen partículas no combustionadas que al no ser reguladas son expulsadas a la atmósfera por medio del tubo de escape, estas partículas causadas por la combustión incompleta pueden ser inofensivas y otras contaminantes, como se muestra en la Figura 7.

(Montúfar Paz & Cáceres Veintimilla, 2018)

Figura 7

Composición de los gases de escape en los motores de gasolina



Nota. En el gráfico se observa la composición de los gases emitidos por los vehículos. Obtenido de Montúfar Paz, P., & Cáceres Veintimilla, D. A. (12 de Abril de 2018). *Análisis de emisiones de óxidos de nitrógeno de un motor de ciclo OTTO SI, a partir del comportamiento de la relación aire-combustible y del avance del encendido.* Ciencia Digital:

<https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/download/112/103/>

2.4.2 Óxidos de Nitrógeno (NOx)

Es un gas incoloro, inodoro e insípido, presente al 79 % en el aire, el cual ingresa a la cámara de combustión siendo un gas inerte que al combustionarse la mezcla aire combustible y alcanzar una temperatura superior a los 1800 °C los óxidos de nitrógeno empiezan a formarse, los cuales al ser expulsado del motor por el sistema de escape y combinarse con el Oxígeno del ambiente, este se trasforma en NO₂ (dióxido de Nitrógeno) que a su vez en cantidades elevadas causa grandes daños en los tejidos pulmonares y las cavidades. (Montúfar Paz & Cáceres Veintimilla, 2018)

2.4.3 Hidrocarburos (HC)

Los Hidrocarburos resultan del combustible que no ha sido quemado dentro de la cámara de combustión, dicho fenómeno se produce por la falta de Oxígeno es decir en una mezcla rica y también por la falta de velocidad de inflamación debido a una mezcla pobre. (Santillán, 2015)

2.4.4 Monóxido de Carbono (CO)

Se produce en los motores de combustión interna cuando se presenta una falta de oxígeno en la mezcla o bien al no existir una combustión completa debido al exceso de combustible, provocando así un envenenamiento en las personas que lo inhalan, es

por esto que una persona expuesta a este gas, aunque sea en pequeñas cantidades, pero en periodos continuos puede alcanzar la muerte. (Satorra, 2010)

2.4.5 Dióxido de Carbono (CO₂)

Cuando el vehículo se enciende por primera vez el convertidor catalítico aún no ha alcanzado la temperatura optima de funcionamiento por tal motivo el gas con mayor presencia en los gases de escape es el monóxido de carbono, pero una vez alcanzada la temperatura de funcionamiento del convertidor catalítico este se encarga de convertir el CO en dióxido de carbono CO₂. (Blancarte, 2011)

2.4.6 Oxígeno (O₂)

El Oxígeno es un gas que está presente en el ambiente y ocupa el 21% del total, en la combustión este gas es imprescindible ya que con una mezcla ideal el consumo de combustible seria total, cuando existe una combustión incompleta es Oxígeno que queda sin combustionar es expulsado por el sistema de escape. (Satorra, 2010)

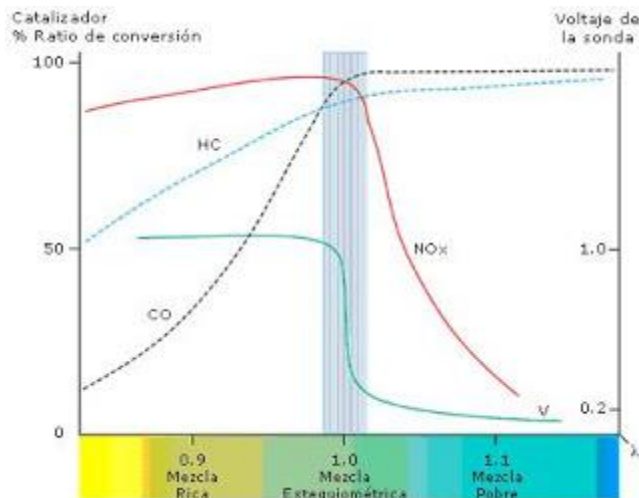
2.4.7 Factor Lambda (λ) Representación en Simbología y Unidades de Medida

Es directamente proporcional a la masa real de aire que es aspirada por el motor e inversamente proporcional a la masa teórica de aire (cantidad necesaria de aire para producir una combustión completa), si $\lambda = 1$ como se muestra en la Figura 8, quiere decir que la mezcla que ingresa al cilindro es estequiometria teórica, lo cual hace que el

motor no proporcione su máxima potencia ni su rendimiento térmico máximo, para lo cual λ debe variar dentro de unos límites establecidos. (Servicios ITV, 2020)

Figura 8

Relación gases de escape vs factor lambda.



Nota. La gráfica representa la concentración de contaminantes en función de la relación aire/combustible Obtenida de Colado, N. (2015). *Anticontaminación*. Madrid:

Slideshare. <https://es.slideshare.net/nicolascolado/06-anticontaminacion-1parte>

La Ecuación 1 es un método para el cálculo estandarizado para el factor lambda entregando un balance normalizado de aire/combustible, siendo este un término adimensional. (Schrader, 1979)

$$\lambda = \frac{[\text{CO}_2] + \left[\frac{\text{CO}_2}{2}\right] + [\text{O}_2] + \left[\left(\frac{H_{cv}}{4} * \frac{3.5}{3.5 + \frac{CO}{CO_2}} \right) - \frac{O_{cv}}{2} \right] * (\text{CO}_2 + CO)}{\left(1 + \frac{H_{cv}}{4} - \frac{O_{cv}}{2}\right) * [\text{CO}_2 + CO + (k_1 * HC)]}$$

Ecuación 1*Factor lambda*

Donde:

λ : Lambda

CO_2 : Dióxido de carbono medido en % de volumen.

O_2 : Oxígeno medido en % de volumen.

H_{cv} : Relación atómica de hidrógeno a carbono en el combustible. El valor nominal es 1.7261

CO : Monóxido de carbono medido en % de volumen.

O_{cv} = Relación atómica de Oxígeno a carbono en el combustible. El valor nominal es 0.0176

K_1 = Factor de conversión para HC esta expresado en ppm vol n-hexano (C_6H_{14}) equivalente. Su valor en esta fórmula es $6 \cdot 10^{-4}$.

HC = Hidrocarburos ppm medido en volumen.

En la Tabla 1 Se observa como los valores de λ afectan al rendimiento de un motor de combustión interna.

Tabla 1*Factor lambda*

MEZCLA	LAMBDA(λ)	INTERPRETACIÓN
RICA	Menor a 1	El combustible está por encima del valor ideal, la combustión interna en el motor es incompleta y se forman más gases de emisiones de CO ₂ y partículas contaminantes.
IDEAL	Igual a 1	La mezcla aire combustible es idónea, en este punto se entiende que el valor está entorno a los 14kilos de aire por 1kilo de combustible.
POBRE	Mayor a 1	La cantidad de aire es superior a la cantidad de combustible, el vehículo pierde potencia y aumenta el consumo. Al haber más Oxígeno, los gases serán más de óxidos de Nitrógeno y azufre.

Nota. La tabla muestra las características del factor lambda con respecto a los valores de la misma Tomada de Servicios ITV. (22 de Octubre de 2020). *Servicios ITV.*

QUE ES EL VALOR LAMBDA: <https://www.serviciositv.es/sgs-te-informa/que-es-el-valor-lambda-itv-y-que-implica-en-la-inspeccion>

2.5 Equipos de Medición

2.5.1 Analizador de Gases AGS-688

El analizador de gases AGS 688 BRAIN BEE, es uno de los analizadores de gases más completo y versátiles del mercado mundial ya que incluye una pantalla con display LCD para mostrar al operador los valores de los gases medidos, así como los datos de RPM y TEMPERATURA DE ACEITE del motor, además cuenta con una impresora térmica para la generación de reportes con los valores medidos, datos del taller, fecha y hora de la prueba, este equipo cuenta con una cámara de medición marca SENSORS catalogada como una de las mejores en el mundo lo cual garantiza una larga vida útil y extremada precisión en la lectura, en la Figura 9 se observa el analizador. (Manual AGS 688)

Figura 9

Analizador de gases AGS BRAIN BEE



Nota. El gráfico muestra al analizador de gases AGS BRAIN BEE Tomado de Manual AGS 688. (s.f.). Analizador de gases para motores de gasolina de 2 y 4 tiempos.

MANUAL DE USO AGS BRAIN BEE 688. PARMA, ITALIA.

2.5.2 Analizador de Gases Kane 4-2 Plus

Este equipo se usa para hacer pruebas de emisiones de gases en vehículos de gasolina y Diesel en ruta ya que este es un equipo portátil y muestra valores de emisiones de Hidrocarburos (HC), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂) y el factor Lambda, este equipo se muestra en la Figura 10. (ANSED DIAGNOSTIC SOLUTIONS, 2013)

Figura 10

Kane Autoplus 4-2



Nota. En el gráfico se puede observar el analizador de gases Kane Autoplus 4-2 Tomado de ANSED DIAGNOSTIC SOLUTIONS. (Diciembre de 2013). Manual de uso. *AUTOplus analizador de gases de automotrices.* New York, New York, Estados Unidos.

2.6 Normativas

2.6.1 Normativa NTE INEN 2203

La normativa NTE INEN 2203 establece el método de ensayo para determinar la concentración de las emisiones de gases de escape emitidos por los automotores de

combustión interna que utilizan gasolina en condición de marcha mínima o “ralentí”.
(Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2000)

2.6.2 Normativa NTE INEN 2204

La normativa NTE INEN 2204 establece los límites de emisiones de contaminantes producidos por vehículos automotores que utilizan gasolina, esta norma se aplica en vehículos de más de tres ruedas (vehículo automotor, vehículo prototipo).
(Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2017)

2.6.3 Worldwide Harmonized LIGHT Vehicles Test Procedures (WLTP)

Este protocolo es un conjunto de pruebas realizadas a los automóviles para determinar los niveles de contaminación y el consumo de combustible usado en los motores de los vehículos livianos. (Nunige, 2018)

2.6.4 Instalaciones Eléctricas NEC - SB – IE

EL cable conductor para circuitos de cargas especiales se debe usar un conductor de cobre con aislamiento THHN con un diámetro mínimo de 5.26 mm² (10AWG) para las fases, se denominan cargas especiales a las cuales presentan una potencia alta como por ejemplo para los hornos eléctricos en general que tienen una potencia media de 3000 W. (Norma Ecuatoriana de Construcción, 2018)

2.7 Mecanismo de Conducción de Calor

En transferencia de calor existen tres tipos diferentes por los cuáles la energía en forma de calor pasa de un cuerpo hacia otro, estos tipos son: por conducción, por convección y por radiación. (Cengel Y. A., 2007)

2.7.1 Resistencia Térmica

Es la oposición a la conducción de calor y esta depende de la configuración geométrica y las propiedades térmicas del medio, la conducción de calor a través de una superficie esta expresada por la Ecuación 2. (Cengel Y. A., 2007)

$$\dot{Q} = \frac{T_2 - T_1}{R_{Total}}$$

Ecuación 2

Razón de Transferencia de calor

Donde:

\dot{Q} : Variaciones transferencia de calor con respecto al tiempo [W].

T_2 : Temperatura final [K].

T_1 : Temperatura inicial [K].

R_{total} : Resistencia total [$\frac{K}{W}$].

La resistencia total es la suma de las resistencias presentes en cada mecanismo de transferencia de calor ya sea por conducción, convección o radiación como se muestra en la Ecuación 3. (Cengel Y. A., 2007)

$$R_{total} = R_{cond} + R_{conv} + R_{rad} \dots$$

Ecuación 3

Resistencia térmica total

Donde:

R_{total} : Resistencia total $[\frac{K}{W}]$.

R_{cond} : Resistencia a la conducción $[\frac{K}{W}]$.

R_{conv} : Resistencia a la convección $[\frac{K}{W}]$.

R_{rad} : Resistencia a la radiación $[\frac{K}{W}]$.

2.7.2 Conducción

La conducción se presenta en sustancias sólidas, líquidas y gaseosas de forma que la energía con mayor magnitud energética presente en las partículas de una sustancia se transmite hacia las adyacentes menos energéticas, la resistencia que presentan las configuraciones cilíndricas esta expresada por la Ecuación 4. (Cengel Y. A., 2007)

$$R_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi kL}$$

Ecuación 4

Resistencia a la conducción

Donde:

R_{cond} : Resistencia a la transferencia de calor por conducción $[\frac{K}{W}]$.

r_2 : Radio externo del cilindro [m].

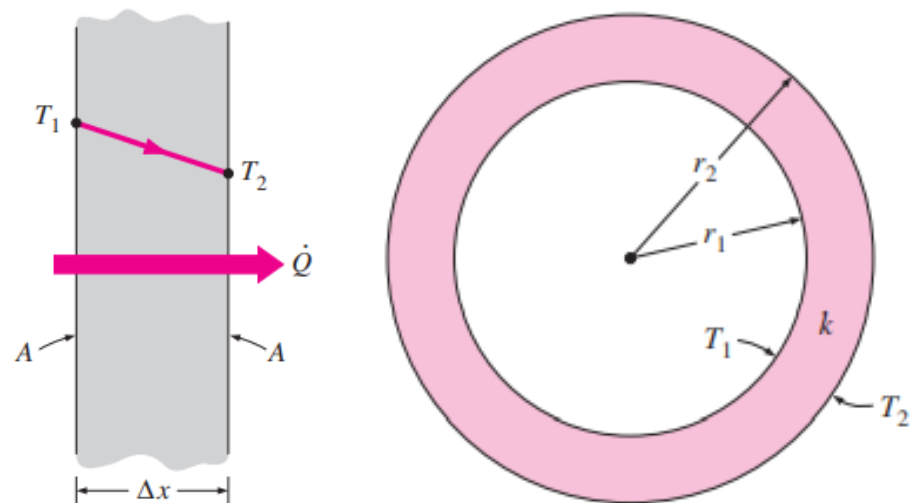
r_1 : Radio interno del cilindro [m].

k : Conductividad térmica [$\frac{W}{mK}$].

L : Longitud del cilindro [m].

Figura 11

Conducción de calor a través de una pared plana



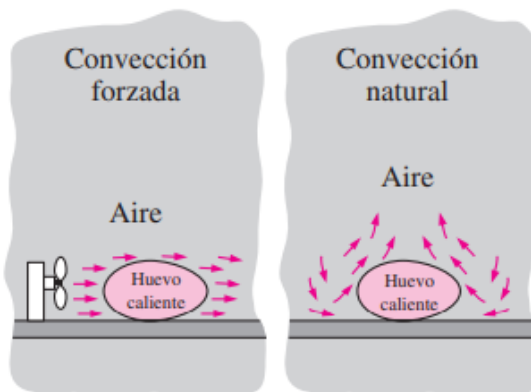
Nota. En la figura se observa la transferencia de calor por conducción a través de un cilindro Tomada de Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de Calor Masa*. Mexico D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

2.7.3 Convección Natural y Forzada

Este mecanismo de transferencia de calor se da entre una superficie sólida y un líquido o gas que se encuentran en movimiento ya sea de forma forzada o natural teniendo una combinación de conducción y movimiento de fluidos, la resistencia para la convección se expresa como se muestra en la Ecuación 5. (Cengel Y. A., 2007)

Figura 12

Convección forzada y natural



Nota. El gráfico muestra el enfriamiento de un huevo por convección forzada y natural

Tomado de Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de Calor Masa*. Mexico D.F.:

McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

$$R_{conv} = \frac{1}{hc A_s}$$

Ecuación 5

Resistencia a la convección

Donde:

R_{conv} : Resistencia a la transferencia de calor por convección [$\frac{K}{W}$].

hc : Coeficiente de transferencia de calor por convección [$\frac{W}{m^2 K}$].

A_s : Superficie de contacto [m^2].

La convección forzada se presenta cuando el fluido es impulsado por algún medio externo como una bomba, o un ventilador sobre una superficie o dentro de un tubo, la velocidad de circulación del fluido es un factor muy importante para el coeficiente de transferencia de calor ya que entre más alta sea la velocidad más alto el

coeficiente, las velocidades asociadas a la convección natural son de rangos menores a 1 m/s, ya que en términos de transferencia de calor la variable principal es la temperatura se debe expresar la diferencia de densidades en diferencia de temperaturas y esto abre campo a la necesidad de conocer la variación de dicha densidad con la temperatura a presión constante y este dato proporciona el coeficiente de expansión volumétrica β que se encuentra definido por la Ecuación 6 el cual se usa en los gas ideales. Un factor adimensional que expresa la razón entre la fuerza de empuje y la fuerza viscosa que actúan sobre un fluido es el número de Grashof que se encuentra definido en la Ecuación 7. El número de Rayleigh que es el producto de los números de Grashof y Prandtl el cual interviene en las correcciones del número de Nusselt se expresa como se muestra en la Ecuación 8. (Cengel Y. A., 2007)

$$\beta = \frac{1}{T}$$

Ecuación 6

Coeficiente de expansión volumétrica

Donde:

β : Coeficiente de expansión volumétrica [K^{-1}].

T : Temperatura termodinámica [K].

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)Lc^3}{\nu^2}$$

Ecuación 7

Número de Grashof

Donde:

Gr_L : Número de Grashof.

g : Aceleración Gravitacional [K^{-1}].

β : Coeficiente de expansión volumétrica [K^{-1}].

T_s : Temperatura superficial [K].

T_∞ : Temperatura del fluido que se encuentra lejos de la Superficie [K].

L_c : Longitud característica de la configuración geométrica [m].

ν : Viscosidad cinemática del fluido [$\frac{m^2}{s}$].

$$Ra_L = Gr_L * Pr$$

Ecuación 8

Número de Rayleigh

Donde:


Ra_L : Número de Rayleigh.

Gr_L : Número de Grashof.

Pr : Número de Prandtl.

La configuración del número de Nusselt según la configuración de un cilindro se encuentra expresado en términos del número de Rayleigh y el número de Prandtl como se observa en la Figura 13.

Figura 13*Número promedio de Nusselt para un cilindro**Correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies*

Configuración geométrica	Longitud característica L_c	Intervalo de Ra	Nu
Cilindro horizontal 	D	$Ra_D \leq 10^{12}$	$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{[1 + (0.559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (9.25)$

Nota. El gráfico muestra la configuración del número de Nusselt para una configuración cilíndrica en la transferencia de calor por convección natural Tomado de Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de Calor Masa*. Mexico D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

El número de Reynolds determina si un fluido es laminar o turbulento, cuando $Re < 2300$ el flujo es laminar y para $Re > 10000$ el flujo es turbulento, el número adimensional de Reinold se encuentra definido en la Ecuación 9. (Cengel Y. A., 2007)

$$Re = \frac{V D}{\nu}$$

Ecuación 9*Número de Reynolds*

Donde:

Re : Número de Reynolds.

V : Velocidad del Fluido $[\frac{m}{s}]$.

D : Diámetro del cilindro [m].

ν : Viscosidad cinemática del fluido $[\frac{m^2}{s}]$.

La velocidad de un fluido dentro de una tubería se encuentra definida en función del gasto volumétrico y el área transversal del cilindro como se muestra en la Ecuación 10. (Cengel Y. A., 2007)

$$V = \frac{\dot{V}}{A_c}$$

Ecuación 10

Gasto Volumétrico

Donde:

V : Gasto Volumétrico.

\dot{V} : Gasto volumétrico [$\frac{m^3}{s}$].

A_c : Área de la sección transversal del cilindro [m^2]

El coeficiente de transferencia de calor por convección se encuentra expresado en función del número de Nusselt, la conductividad térmica del fluido y el diámetro del cilindro por donde circula en fluido y se denota como se muestra en la Ecuación 11. (Cengel Y. A., 2007)

$$h_c = \frac{Nu k}{D}$$

Ecuación 11

Coficiente de transferencia de calor por convección

Donde:

h_c : Coeficiente de transferencia de calor por convección.

Nu : Número de Nusselt.

k : Conductividad térmica del fluido $[\frac{W}{mK}]$.

D : Diámetro del cilindro [m].

En el tema de transferencia de calor por convección natural y forzada combinadas se puede despreciar una u otra cuando: la relación entre $\frac{Gr_L}{Re^2} > 10$ la forzada es despreciable, cuando $\frac{Gr_L}{Re^2} < 0.1$ La convección natural es despreciable y mientras $0.1 < \frac{Gr_L}{Re^2} < 10$ ninguna de las dos se puede despreciar. (Cengel Y. A., 2007)

2.7.4 Radiación

La radiación es una de las formas de transferencias de calor más rápidas a comparación de la conducción y convección sin necesidad de un agente interventor ya que es emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas, esta forma de transferencia de energía está presente en todos los sólidos, líquidos y gases emitiendo absorbiendo y transfiriendo en diversos grados. (Cengel Y. A., 2007)

$$R_{rad} = \frac{1}{h_r A_s}$$

Ecuación 12

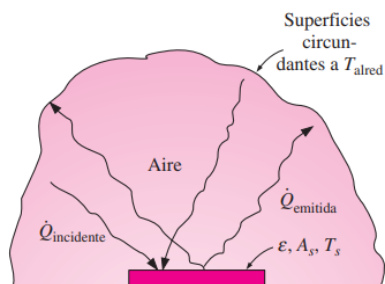
Resistencia a la radiación

Donde:

R_{rad} : Resistencia a la radiación $[\frac{K}{W}]$.

h_r : Coeficiente de transferencia de calor por Radiación $[\frac{W}{m^2K}]$.

A_s : Superficie de contacto $[m^2]$

Figura 14*Transferencia de calor por radiación*

Nota. En el gráfico se presenta el mecanismo de transferencia de calor por radiación entre una superficie y las superficies circundantes Tomado de Cengel, Y. A. (2007).

Transferencia de Calor Masa: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

El coeficiente de transferencia de calor por radiación se encuentra definido por la Ecuación 13. La resistencia a la convección y radiación en un sistema de encuentran en paralelo entre ellas y de esta manera el efecto de radiación se lo puede tomar en cuenta al remplazar el coeficiente de transferencia de calor por conducción por un coeficiente de transferencia combinado como se expresa en la Ecuación 14. (Cengel Y. A., 2007)

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_s^2 + T_\infty^2) (T_s + T_\infty)$$

Ecuación 13

Coficiente de transferencia de calor por radiación

Donde:

h_r : Coeficiente de transferencia de calor por Radiación $[\frac{W}{m^2 K}]$.

ε : Emisividad de la superficie.

σ : Constante Stefan-Boltzmann $5.67 \times 10^{-8} [\frac{W}{m^2 K^4}]$.

T_s : Temperatura de la superficie [K].

T_{∞} : Temperatura alejada de la superficie [K].

$$h_{combinado} = h_r + h_c$$

Ecuación 14

Coefficiente de transferencia de calor combinado

Donde:

$h_{combinado}$: Coeficiente de transferencia de calor combinado $[\frac{W}{m^2K}]$.

h_r : Coeficiente de transferencia de calor por radiación $[\frac{W}{m^2K}]$.

h_c : Coeficiente de transferencia de calor por convección $[\frac{W}{m^2K}]$.

2.8 Materiales de Intercambiadores de Calor

En los intercambiadores de calor en los cuales circulan fluidos es necesario utilizar materiales anticorrosivos como el acero inoxidable y el titanio ya que estos poseen alta resistencia a la expansión térmica y evita la corrección y gastos en el remplazo de su estructura con frecuencia. (Cengel Y. A., 2007)

2.9 Razón de Transferencia de Calor

La cantidad de calor que se trasfiere en un proceso se denota por Q , mientras que la razón de esta transferencia de calor o también llamado como la cantidad de calor transferido con respecto al tiempo se denota por \dot{Q} . La unidad de medida de esta razón es J/s o W . (Cengel Y. A., 2007)

$$\dot{Q} = \frac{Q}{\Delta t}$$

Ecuación 15

Razón de transferencia de calor.

Donde:

\dot{Q} : Variaciones transferencia de calor con respecto al tiempo [W].

Q: Calor trasferido [J].

Δt : Variación del tiempo. [s].

2.10 Potencia Eléctrica

Los electrones de un conductor en un campo eléctrico se mueven por efecto de las fuerzas electromotrices realizando un trabajo cuando un número “x” de coulombs se encuentran en movimiento con una diferencia de potencial la expresión queda expresada como se muestra en la Ecuación 16. (Cengel Y. , 2009)

$$\dot{W}_e = VI$$

Ecuación 16

Potencia eléctrica

Donde:

\dot{W}_e : Potencia eléctrica [W].

V: Diferencia de potencial [V].

I: Corriente [A].

Capítulo III

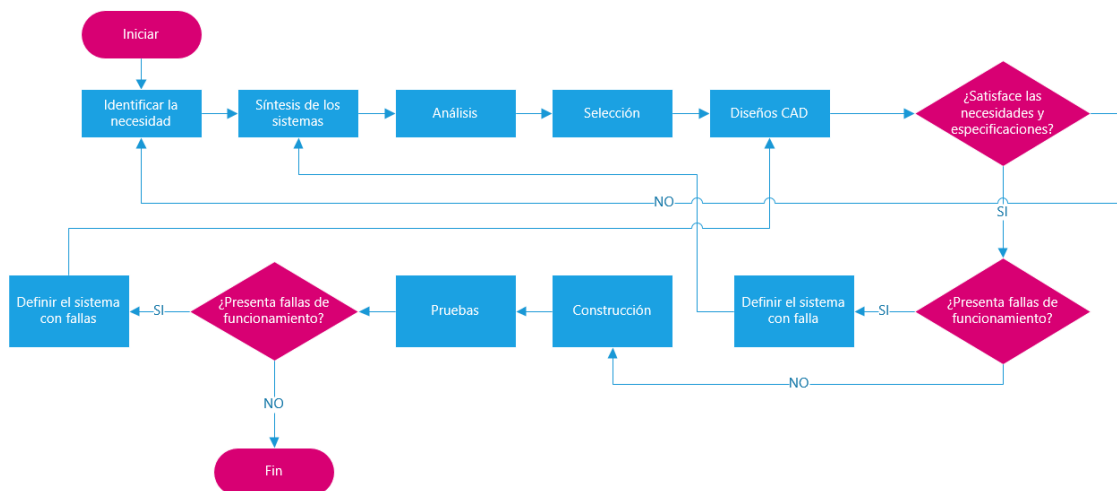
3. Tratamiento del Convertidor Catalítico

3.1 Diseño del Reactor

En la presente investigación, el diseño del reactor se ha realizado tomando en consideración los pasos descritos en el diagrama de flujo de la Figura 15 lo cual permitirá que se desarrolle este punto de tal manera cumpla con los parámetros establecidos de temperaturas, presiones y flujos requerido en el proceso de limpieza y redistribución del monolito de los convertidores catalíticos.

Figura 15

Diagrama de flujo para el diseño



Nota. En la figura se encuentra el proceso utilizado para el diseño del reactor.

3.2 Identificación de la Necesidad

Para el tratamiento de monolitos por el método de limpieza por oxidación – reducción y la redistribución de los metales presentes en este elemento se debe constar con un equipo capaz de alcanzar temperaturas controladas de hasta 700 °C como indica en el Capítulo II numeral 2.2.1, así como también flujos exactos de los gases vectores los cuales se encargarán de realizar la limpieza del monolito.

3.3 Sistema Control de Temperatura

El método utilizado para el tratamiento de los convertidores catalíticos requiere un control de elevación de temperatura a razón de 10 °C por minuto, empezando desde una temperatura ambiente hasta alcanzar temperaturas de 300 °C a 700 °C y mantener dicha temperatura por un tiempo de hasta una hora.

El sistema controlará la temperatura de la fuente de calor manteniéndola en la temperatura deseada, además de monitorear la temperatura a la entrada del gas vector, en el interior del reactor y a la salida del gas vector del reactor.

Para brindar la temperatura en el reactor se utilizará una resistencia eléctrica tipo abrazadera la cual se encarga de transformar la energía eléctrica en calor, para el funcionamiento correcto de este elemento el equipo constará con un panel de control y monitoreo de las temperaturas el cual recibirá señales de las termocuplas instaladas en el reactor.

3.3.1 Fuente de Calor

La temperatura a la cual se realizarán los procesos de limpieza del monolito alcanza hasta los 700 °C, es por esto que se ha tomado una temperatura de diseño de la resistencia eléctrica para que alcance una temperatura de hasta 700 °C.

Para La selección de la resistencia eléctrica se tomó referencia ecuaciones de la ley de conservación de la energía de (Cengel Y. A., 2007) en un proceso estacionario sin transferencia de calor con el ambiente ya que el reactor tiene un recubrimiento térmico el cual hará que esta transferencia de calor sea despreciable.

Para realizar este cálculo se tomó valores de las propiedades del acero inoxidable AISI 304 y el Nitrógeno que es el gas con mayor presencia y mayor masa en el proceso de la limpieza, estos valores se tomaron de las tablas que se encuentran en el libro de (Cengel Y. A., 2007), para el Acero inoxidable se tomaron los valores de conductividad térmica “k” y emisividad “ ε ” para una temperatura media de 630.65 K.

Tabla 2

Características del acero inoxidable AISI 304 y el Nitrógeno

ACERO INOXIDABLE AISI 304		
Parámetro	Valor	Unidades
Conductividad térmica (k)	20.229	$\frac{W}{mK}$
Emisividad (ϵ)	0.2314	---
NITROGENO N₂		
Conductividad térmica (k)	0.04619	$\frac{W}{mK}$
Prandtl	0.7121	---
Viscosidad cinemática (ν)	5.62×10^{-8}	$\frac{m^2}{s}$

Nota. La tabla muestra las características del acero inoxidable AISI 304 y del Nitrógeno a una temperatura media de 630.65 K Tomada de Cengel, Y. A. (2007).

Transferencia de Calor Masa. Mexico D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

Con las características obtenidas en la Tabla 2 se calcula la resistencia a la conducción térmica la cual se presenta en el cilindro interior del reactor y los resultados obtenidos se encuentran en la Tabla 3.

Tabla 3*Resistencia a la conducción térmica*

Parámetro	Valor	Unidades
Ecuación	$R_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi kL}$	$\frac{K}{W}$
Radio exterior del cilindro (r_2)	0.23	m
Radio interior del cilindro (r_1)	0.20	m
Conductividad térmica (k)	20.229	$\frac{W}{mK}$
Longitud del cilindro (L)	0.30	m
R_{cond}	3.666×10^{-3}	$\frac{K}{W}$

Nota. La tabla contiene las fórmulas utilizadas para hallar la resistencia a la conducción térmica en el cilindro interno del reactor.

Para el análisis matemático de la resistencia a la convección térmica se hizo uso de los parámetros detallados en la tabla 4.

Tabla 4*Coefficiente de transferencia de calor de convección térmica*

Parámetro	Valor	Unidades
Coefficiente de transferencia de calor por convección	$hc = \frac{Nu k}{D}$	
Ecuación de Grashof	$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)Lc^3}{\nu^2}$	---
Ecuación de Nusselt	$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$	---
Ecuación de Reynolds	$Re = \frac{V D}{\nu}$	---
Coefficiente de expansión volumétrica	$\beta = \frac{1}{T}$	K^{-1}

Parámetro	Valor	Unidades
Velocidad del fluido	$V = \frac{\dot{V}}{A_c}$	$\frac{m}{s}$
Ecuación de Rayleigh	$Ra_L = Gr_L * Pr$	---
Área superficial (A_s)	0.1884	m^2
Área de sección transversal (A_c)	0.0314	m^2
Coefficiente de transferencia de calor por convección (h_c)	7.9296	$\frac{W}{m^2K}$
Número de Grashof (Gr_L)	26.997×10^6	---
Número de Nusselt (Nu)	34.335	---
Longitud característica (Lc)	0.20	m
Número de Reynolds (Re)	0.3094	---
Coefficiente (β)	1.5856×10^{-3}	K^{-1}
Gasto volumétrico (\dot{V})	2.733×10^{-6}	$\frac{m^3}{s}$
Velocidad del fluido (V)	8.6994×10^{-5}	$\frac{m}{s}$
Número de Rayleigh (Ra_L)	19.2247×10^6	---
Temperatura media (T)	630.65	K
Conductividad térmica (k)	0.04619	$\frac{W}{mK}$
Diámetro (D)	0.20	m
Gravedad (g)	9.82	$\frac{m}{s^2}$
Temperatura superficial (T_s)	973.15	K
Temperatura alejada a la superficie (T_∞)	288.15	K
Viscosidad cinemática (ν)	5.62×10^{-8}	$\frac{m^2}{s}$

Nota. La tabla especifica las ecuaciones, características del fluido a una temperatura media de 630.65 K y los resultados obtenidos en el proceso de transferencia de calor por convección.

La superficie interna del reactor presenta transferencia de calor por radiación y es por eso que se calculó el coeficiente que interviene en esta transferencia de calor en dicha superficie usando los datos y ecuaciones que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5*Coefficiente de transferencia de calor por radiación*

Parámetro	Valor	Unidades
Ecuación	$h_r = \varepsilon\sigma(T_s^2 + T_\infty^2)(T_s + T_\infty)$	$\frac{W}{m^2K}$
Temperatura superficial (T_s)	973.15	K
Temperatura alejada a la superficie (T_∞)	288.15	K
Emisividad (ε)	0.2314	---
Constante Stefan-Boltzmann (σ)	5.67×10^{-8}	$\frac{W}{m^2K^4}$
(h_r)	17.046	$\frac{W}{m^2K}$

Nota. Se observa el coeficiente de transferencia de calor por radiación térmica en la superficie interna del reactor y los datos necesario para calcular a una temperatura media de 630.65 K.

Con los resultados obtenidos en el cálculo de las trasferencias de calor presentes en el reactor se procede a calcular la razón de transferencia de calor en el sistema, cabe mencionar que al existir resistencia a la transferencia de calor por convección y radiación simultáneamente es factible usar un coeficiente de trasferencia de calor combinado como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6*Razón de Transferencia de calor*

Parámetro	Valor	Unidades
Ecuación	$\dot{Q} = \frac{T_2 - T_1}{R_{Total}}$	W
Resistencia Total	$R_{total} = R_{cond} + R_{conv}$	$\frac{K}{W}$
Coefficiente de transferencia de calor combinado ($h_{combinado}$)	$h_{combinado} = h_r + h_c$	$\frac{W}{m^2K}$
Resistencia a la convección térmica (R_{conv})	$R_{conv} = \frac{1}{h_{combinado} A_s}$	$\frac{K}{W}$
Coefficiente de transferencia por convección (h_r)	17.046	$\frac{W}{m^2K}$
Coefficiente de transferencia por convección (h_c)	7.9296	$\frac{W}{m^2K}$
$h_{combinado}$	24.9756	$\frac{W}{m^2K}$
Área superficial (A_s)	0.1884	m^2
Resistencia a la conducción (R_{cond})	3.666×10^{-3}	$\frac{K}{W}$
Resistencia a la convección (R_{conv})	0.2124	$\frac{K}{W}$
R_{total}	0.2160	$\frac{K}{W}$
Factor por pérdidas de energía	20	%
Temperatura inicial (T_1)	973.15	K
Temperatura Final (T_2)	288.15	K
Razón de transferencia de calor (\dot{Q})	3170.32	W
Potencia requerida con 20 % adicional	3804.39	W
Potencia existente en el mercado	4000	W

Nota. La tabla muestra el cálculo de razón de transferencia de calor presente en el sistema la cual es la potencia que debe suministrar la resistencia eléctrica.

Con el dato calculado de la razón de transferencia de calor se determina que la potencia que debe suministrar la fuente de calor del reactor la cual es una resistencia

con una potencia de 4000 W presente en el mercado, para alcanzar la potencia deseada se instalará dos resistencias tipo abrazadera de 2000 W alcanzando así la potencia requerida y se encargaran de transformar la energía eléctrica en calor.

3.3.2 Conductor Eléctrico

Sabiendo que la resistencia eléctrica tiene una potencia de 4000 W, el voltaje de funcionamiento es de 220 VAC y en base a la NEC (Norma Ecuatoriana de Construcción, 2018) la cual indica que en instalaciones para cargas especiales de 3000 W para calentadores eléctricos deben llevarse a cabo con un cable de cobre aislado tipo THHN que tenga una sección transversal mínima de 5.25 mm² calibre 10 AWG, por lo cual se utilizó el conductor inmediato superior como se muestra en la Figura 16 de 8.36 mm² de diámetro y calibre 8 AWG ya que la potencia requerida por el reactor es de 4000 W.

Figura 16

Capacidad de corriente en conductores

Sección Transversal	Temperatura nominal del conductor						Calibre
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
	Tipo S, TW, UF	Tipos FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	Tipos TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-E, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	Tipos TW*, UF*	Tipos RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	Tipos TBS, SA, SIS, THHN*, THW-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm2	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils
0,82	....	....	14	....	....	....	18
1,31	....	....	18	....	....	....	16
2,08	20*	20*	25	....	....	....	14
3,3	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,2	110	130	150	85	100	115	1

Nota. Representación de las características del conductor seleccionado Tomada de Norma Ecuatoriana de Construcción. (05 de Febrero de 2018). *Instalaciones Eléctricas* . Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI).

3.3.3 Elementos de Protección

Los elementos de protección en el circuito serán dos fusibles cilíndricos de 25 A de la marca CAMSCO código RT-1420 que se encuentran en el mercado tomando encuenta que la corriente presente en la alimentación del sistema eléctrico es de 18.18 A como se muestra en la tabla 7, estos elementos se instalarán en la entrada de energía eléctrica de 220 V AC en cada fase de la energía.

Tabla 7*Corriente del sistema de control*

Parámetro	Valor	Unidades
Ecuación	$I = \frac{\dot{W}_e}{V}$	A
Potencia eléctrica (\dot{W}_e)	4000	W
Diferencia de potencial (V)	220	V
Corriente (I)	18.18	A

Nota. Detalle del cálculo de la intensidad de corriente que presente en el conductor eléctrico en la alimentación de la resistencia eléctrica.

3.3.4 Relé de Estado Sólido

Un relé de estado sólido es el encargado de recibir la señal del controlador de temperatura y de permitir el cierre del circuito para la resistencia eléctrica que necesita 220 V AC, además de esta función el relé se encarga de separar el circuito de potencia con el circuito de control ya que estas trabajan a diferentes voltajes, el circuito de potencia trabaja con 220 V AC mientras que el circuito de control trabaja con 110 V AC, en la Figura 17 se observa el relé utilizado.

Figura 17

Relé de estado Sólido



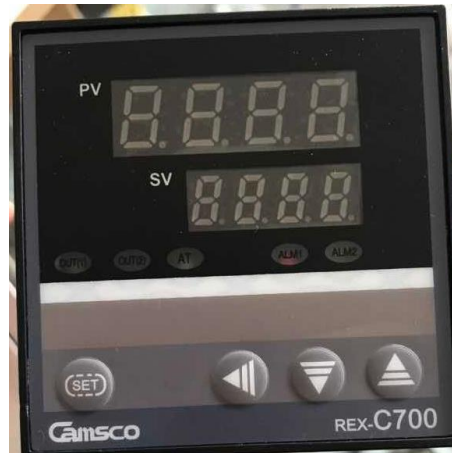
Nota. La figura muestra el relé de estado sólido implementado en el equipo.

3.3.5 Controladores de Temperatura y Termocuplas

La temperatura máxima con la que va a trabajar el reactor es de 700 °C por lo que se usaran controladores REX – C700 de la marca CAMSCO que se lo encuentra en la Figura 18 el cual trabaja con un rango de temperatura de 0 a 1200 °C y permite una programación de las misma de una manera fácil y rápida, tres controladores serán los encargados de monitorear la temperatura en el reactor tanto en la entrada y salida de los gases como en el interior del reactor, el cuarto será el encargado del monitoreo y control de la temperatura en las resistencias eléctricas.

Figura 18

Controlador REX-C700



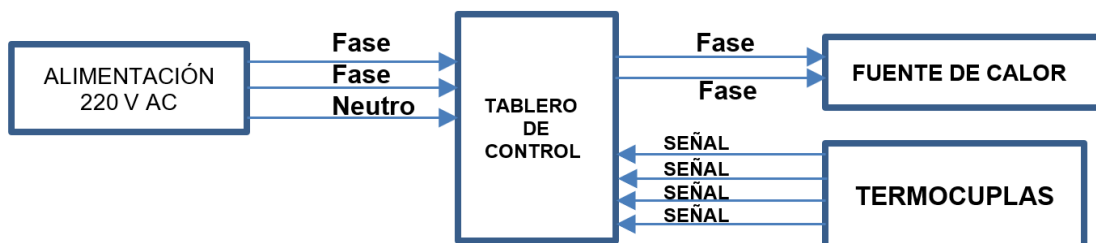
Nota. Controlador implementado en el equipo de control electrónico.

Los controladores recibirán señales de las termocuplas Tipo “K” que trabajan con un rango de temperatura de 0 a 800 °C, este rango abarca la temperatura máxima con la que va a trabajar el reactor y por lo tanto son las más adecuadas para instalarlas en el equipo de tratamiento del monolito de convertidores catalíticos.

Los elementos eléctricos y electrónicos mencionados y los controladores se instalarán en un gabinete metálico con dimensiones de 300 mm x 300 mm x 200 mm, el diagrama de bloques del sistema de control de temperatura de encuentra detallado en la Figura 19.

Figura 19

Diagrama de bloques circuito eléctrico



Nota. En la figura se encuentra el diagrama de bloques del circuito eléctrico.

3.4 Diseño Mecánico del Reactor

Tomando en cuenta distintas variables de funcionamiento como el tiempo y la temperatura, el reactor se construirá de acero inoxidable AISI 304, el cual es un material que se usa en intercambiadores de calor por su conductividad térmica la cual es de $19.8 \left(\frac{W}{mK}\right)$ a 600 K y su resistencia a la corrosión como se indica en el Capítulo II numeral 2.8, las dimensiones del reactor son de 200 mm de diámetro con espesor de 3 mm y una longitud de 300 mm lo cual permitirá que ingresen los monolitos usados de los catalizadores de las distintas marcas seleccionadas, para la entrada de los gases vectores el reactor tiene 5 tubos de 50 mm de diámetro y 100 mm de longitud distribuidos uniformemente en la tapa posterior para que los gases vectores se distribuyan de manera uniforme por todo el interior del reactor.

Para que la temperatura de la resistencia eléctrica tipo abrazadera no entre en contacto con el ambiente y para seguridad de los operadores del equipo el reactor

tendrá un recubrimiento de aislante térmico de fibra de cerámica el cual es un material que tiene una baja conductividad térmica y hará que la temperatura en el interior del reactor no se disipe al exterior, y de esta manera disminuyendo la temperatura en la estructura externa del reactor en un 70 %.

3.5 Control de Flujo de los Gases Vectores

En cada Proceso del método de tratamiento aplicado es necesario utilizar gases Vectores que circulen por el interior del reactor con flujos específicos los cuales se encuentran detalladas en la Tabla 8.

Tabla 8

Requerimientos del Proceso

PROCESO	Gas	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Velocidad de calentamiento (°C/min)	Presión (Atm)	Flujo (cc/min)	Concentración (% V/V)
Eliminación de humedad	N_2	15	300	----	1	84.1	---
Oxidación	$\frac{O_2}{N_2}$	60	300	10	1	164	49
Reducción	$\frac{H_2}{N_2}$	60	500	10	1	140	40

Nota. En la tabla se observa los datos de inyección de los gases en cada proceso.

Los gases vectores a utilizarse en el tratamiento de los convertidores catalíticos por el método de oxidación-reducción son: Nitrógeno (N_2), Oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2), la inyección de estos elementos en el interior del reactor debe ser precisa, es por eso que el equipo contará con un panel de control de flujos con elementos de precisión.

3.5.1 *Flujómetros*

El panel de control de flujos constará con dos flujómetros de pared de 1 lt/min marca MADA como se muestra se muestra en la Figura 20 que se encargarán de controlar el flujo del Oxígeno (O_2) y el hidrógeno (H_2), para la inyección de hidrógeno se utilizará un generador de hidrógeno (H_2), el panel de control presenta las siguientes dimensiones: placa de acrílico de 300 mm x 300 mm.

Figura 20

Flujómetro MADA



Nota. Flujómetro usado en el sistema de control de inyección.

3.5.2 *Acoples*

Para que el gas vector llegue con los flujos mostrados en la Tabla 9 y presión atmosférica desde los suministros hacia el reactor se usarán los siguientes elementos del

sistema de distribución para oxígeno, nitrógeno e hidrogeno, nombrados a continuación y que a su vez se los puede observar en la Figura 21.

Tabla 9

Acoples neumáticos

N°	Cantidad	Descripción	Características
1	1 m	Mangueras flexibles de ¼	Soporta presiones de hasta 20 Bar
2	6 m	Manguera de teflón de ¼	Soporta temperaturas de 232°C y presiones de 1500 Psi
3	2	Válvulas de paso neumáticas de ¼	Fabricadas en Bronce
4	7	Uniones "T" de ¼.	Fabricadas en Bronce
5	4	Espigas macho de ¼	Fabricadas en Bronce
6	2	Acoples de manguera 4-2	Fabricadas en Bronce
7	2	Acoples de manguera 4-4	Fabricadas en Bronce
8	1	Codo ¼	Fabricadas en Bronce
9	11	Acoples tipo espiga ¼	Fabricadas en Hierro Galvanizado

Nota. Características y número de acoples utilizados en el sistema de inyección del gas vector.

Figura 21

Válvula de paso y acoples



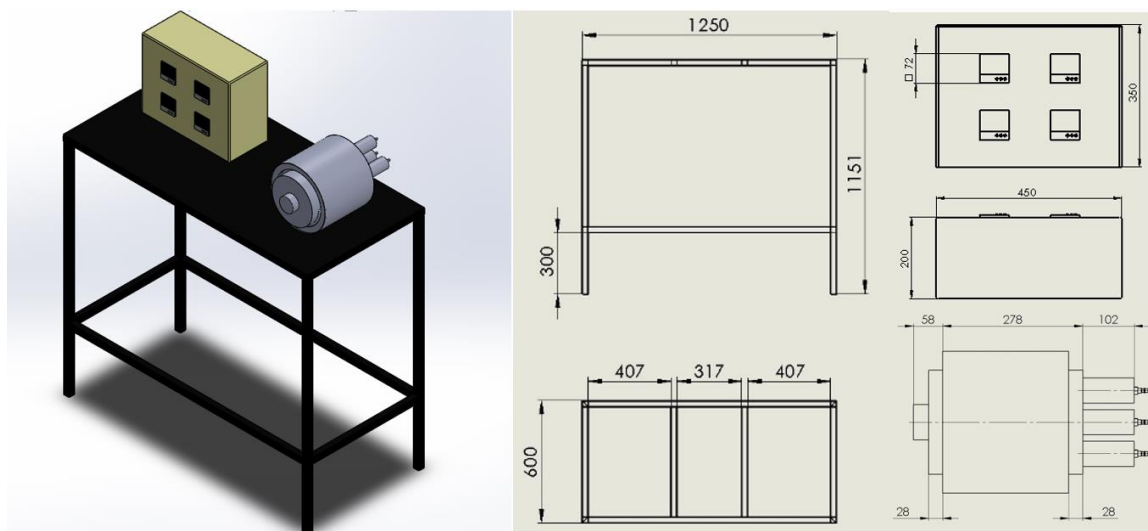
Nota. La figura muestra la válvula y los acoples usado en el sistema de control de inyección.

3.6 Diseños CAD

El diseño del equipo para regeneración del monolito del convertidor catalítico automotriz se lo realizó en un software CAD que permitió seleccionar las características de los materiales utilizados para la construcción del reactor, fuente de color, aislantes térmicos y los gases vectores utilizados en el tratamiento del monolito de los convertidores catalíticos, además permite determinar las características del comportamiento de estos elementos y gases, en la Figura 22 se observa el diseño terminado del sistema de control y del reactor montados en el banco de trabajo.

Figura 22

Equipo de limpieza de convertidores catalíticos



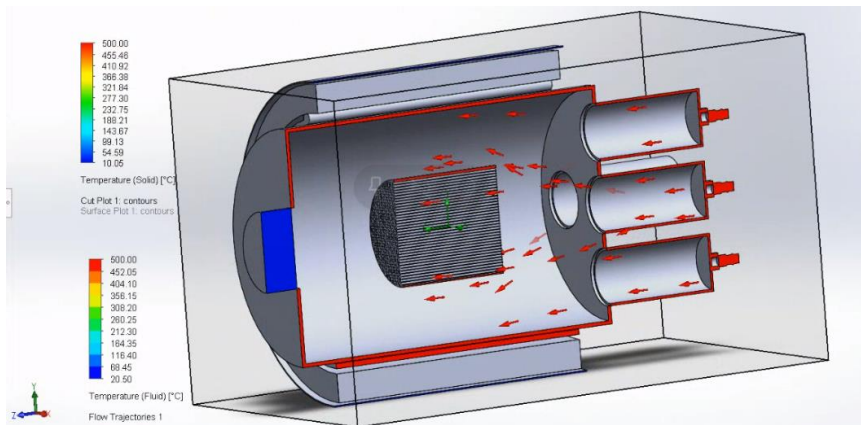
Nota. El gráfico representa el diseño del equipo en un software CAD.

El diseño del reactor se lo realizó en el software CAD el cual permite realizar simulaciones termodinámicas referidas a temperatura, presión, energía interna, volumen, flujo y calor de acuerdo a los materiales seleccionados para la construcción

del equipo de limpieza y el los requerimientos para tratamiento del monolito de convertidor catalítico que se muestran en la Tabla 8.

Figura 23

Simulación termodinámica



Nota. El gráfico muestra la simulación termodinámica del reactor, monolito y los gases vectores para el tratamiento de limpieza.

En la Figura 23 se observa el ingreso del flujo del gas vector por medio de los acoples ubicados en la parte posterior del reactor representados por las flechas rojas, el cual ingresan hacia los ductos del monolito y se distribuyen uniformemente en toda su longitud y salir por la parte frontal del reactor. Los valores de temperatura de los solidos y del gas vector se muestran en las barras representadas por colores en la parte izquierda de la simulación.

3.6.1 Descripción del Equipo

El equipo de limpieza es un reactor de acero inoxidable AISI 304 que alcanza temperaturas de hasta 700 °C, las cuales satisfacen los requisitos del tratamiento de oxidación-reducción y redistribución de metales en los monolitos de los convertidores catalíticos, a dichas temperaturas se las mantienen estables gracias al panel de control el cual recibe señales de las termocuplas instaladas en el reactor.

Tabla 10

Características del reactor

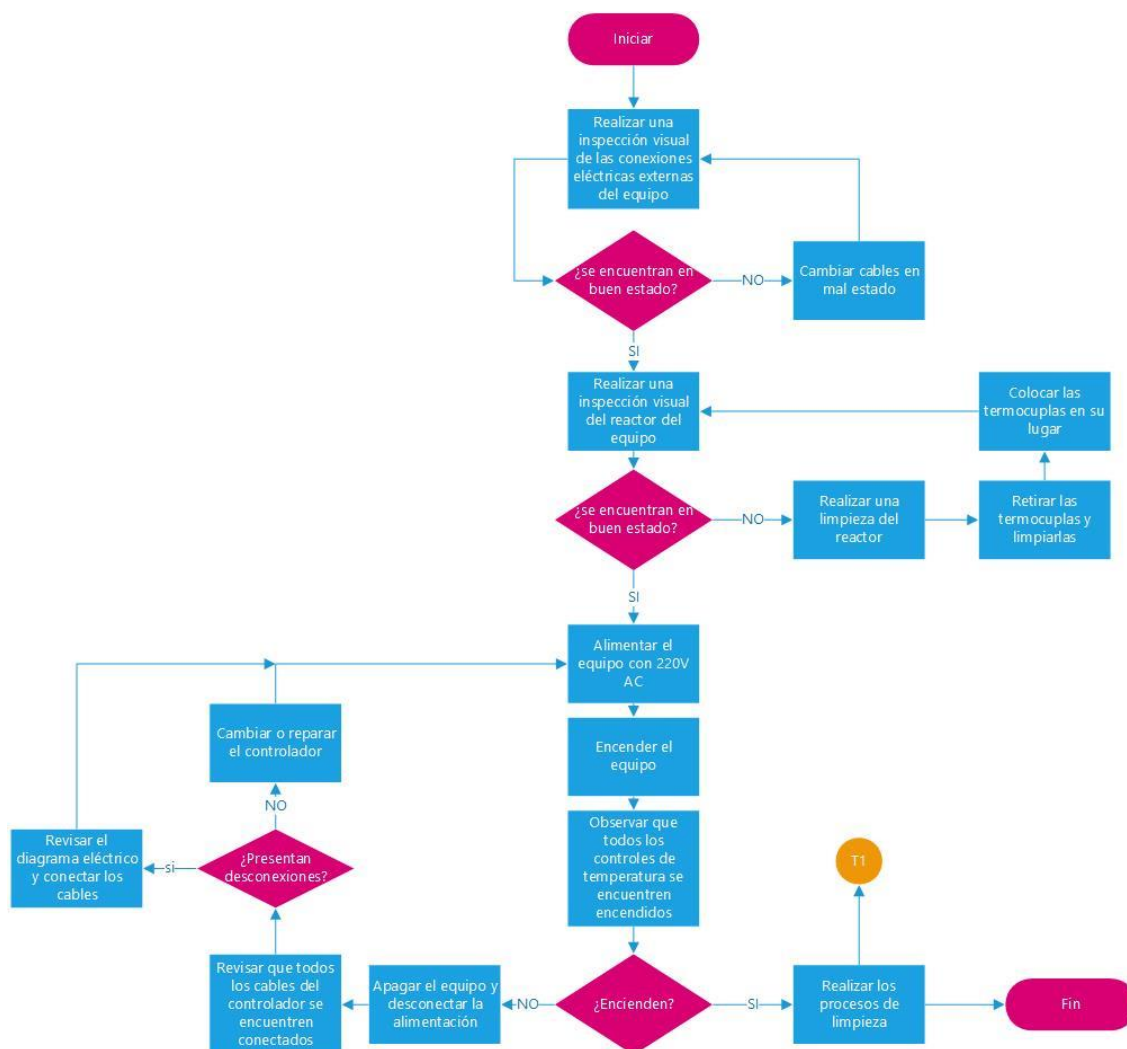
Descripción	Valor	Unidad
Alimentación	220	V
Potencia	4000	W
Temperatura mínima	Ambiente	°C
Temperatura máxima	700	°C

Nota. La tabla muestra las condiciones de trabajo del reactor.

El sistema de control de flujo de gases consta de una serie de elementos los cuales hacen posible que el gas vector llegue al reactor con el flujo y presión requeridos en cada proceso de limpieza de oxidación-reducción y redistribución de metales, antes de encender el equipo se debe seguir los pasos detallados en el diagrama de flujo de la Figura 24.

Figura 24

Revisión del equipo



Nota. En la figura se encuentra el diagrama de flujo para la revisión del equipo antes de usarse.

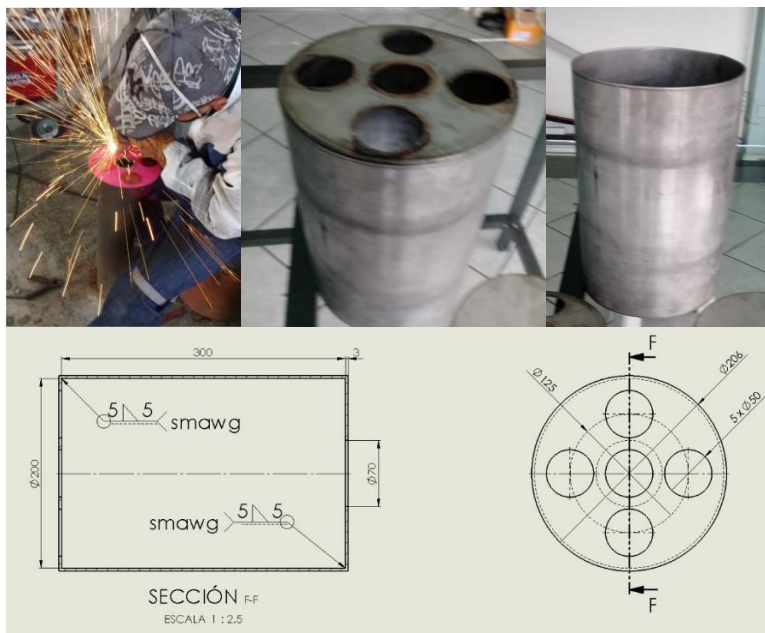
3.7 Construcción

3.7.1 Estructura Interna

Se maquinó una plancha de Acero Inoxidable 304 en una roladora para obtener un cilindro de 200 mm de diámetro interno con espesor de 3 mm y 300 mm de altura, además las tapas posterior y frontal se cortaron con plasma tal como se muestra en la Figura 25.

Figura 25

Maquinado de la tapa posterior y estructura interna



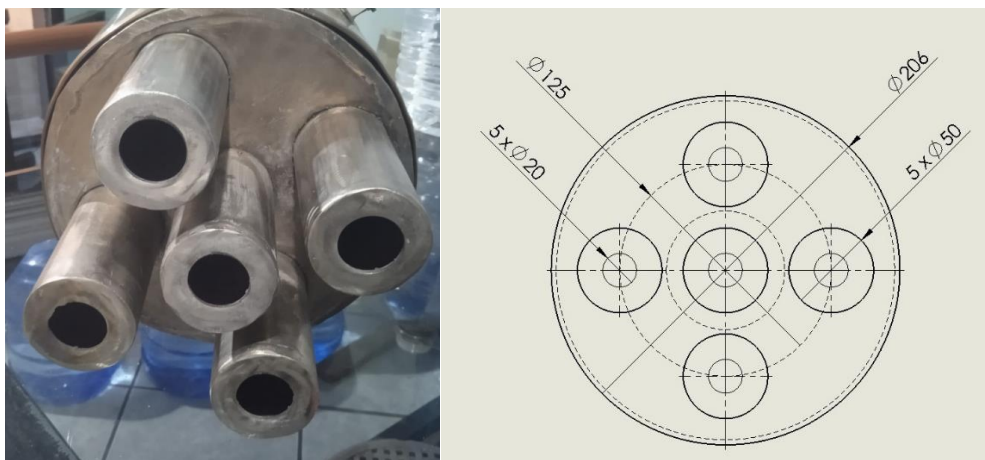
Nota. En el gráfico se puede observar el maquinado de la tapa posterior y de la estructura interna del reactor.

La tapa frontal presenta un orificio de 60 mm de diámetro por el cual será la salida de los gases usados en el tratamiento de los convertidores, la tapa posterior

presenta 5 orificios distribuidos uniformemente de 50 mm de diámetro como se muestra en la Figura 26, en los cuales se instalarán 5 acoples del mismo diámetro y con una longitud de 100 mm por los cuales ingresarán los gases agentes.

Figura 26

Acoples de Acero Inoxidable AISI 304



Nota. El gráfico muestra los acoples de acero inoxidable AISI 304 de la parte posterior del reactor.

Para alcanzar los 4000 W se instaló dos resistencias de 2000 W cada una, conectadas en paralelo, en la parte externa de la estructura de 200 mm de diámetro interior con pernos de 2" x 3/16" como se muestran en la Figura 27.

Figura 27

Fijación de las resistencias tipo abrazadera



Nota. Representación de las resistencias tipo abrazadera instaladas en la estructura interna del reactor.

3.7.2 Acoples Gases Vectores

Tomando en cuenta la temperatura a la que se encuentran los acoples de acero inoxidable AISI 304 de la tapa posterior del reactor se ha instalado 5 acoples tipo espiga en los cuales se instalará la manguera de teflón de $\frac{1}{4}$ la cual resiste hasta 280 °C y esta sujeta con abrazaderas de tornillo, para que la entrada de los gases agentes sea uniforme se realizó un acople de una entrada con 5 salidas como se muestra en la Figura 28 usando 4 "T", un codo de $\frac{1}{4}$, 4 uniones de $\frac{1}{4}$ y 6 acoples de tipo espiga.

Figura 28

Acoples para la distribución del gas vector



Nota. En el gráfico se observan los acoples instalados en el reactor para la distribución del gas vector.

3.7.3 Aislamiento Térmico

Para que el trabajo que realizan las resistencias sea más eficiente es necesario proveer al reactor de un recubrimiento de aislamiento térmico para evitar la transferencia de calor al ambiente y mantener la temperatura en el interior de este, por lo cual se instaló una capa de aislamiento térmico de fibra de cerámica la cual presenta un aislamiento del 70 %.

Figura 29

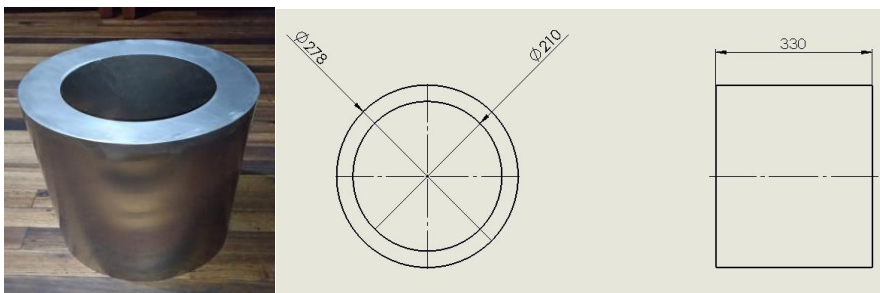
Fibra de cerámica



Nota. En la figura se muestra la fibra de cerámica utilizada para mantener hermético al reactor.

3.7.4 Estructura Externa

Por las características de la fibra de cerámica es necesario una estructura externa que haga que el aislamiento térmico tome la forma deseada y se mantenga en el sitio requerido, es por esto que se ha construido un cilindro de acero inoxidable AISI 304 con 290 mm de diámetro interno y 330 mm de longitud como se muestra en la Figura 30.

Figura 30*Estructura externa del reactor*

Nota. Estructura externa o protección del aislamiento térmico del reactor.

3.7.5 Reactor Finalizado

El reactor se encuentra armado totalmente con los acoples para la inyección de los gases vectores en su parte posterior y en la tapa frontal se encuentra la salida de estos gases con un acople de 60 mm de diámetro y 10 mm de longitud, además de dos manijas las cuales facilitan la extracción de la tapa principal, en el acople central posterior se encuentra la ranura para instalar la termocupla de monitoreo de temperatura de los gases de entrada, en el acople de la salida de gases se encuentra la ranura para la instalación de la termocupla que monitoreará la temperatura de los mismos, para controlar la temperatura presente en las resistencias se instaló una termocupla entre estos elementos y para monitorear la temperatura en el interior del reactor se encuentra una termocupla en el centro del mismo, las resistencias se encuentran instaladas en paralelo con una potencia de 2000 W cada una y con un recubrimiento térmico de fibra de cerámica la cual se mantiene en posición con la ayuda de la estructura externa de acero inoxidable.

Figura 31

Reactor finalizado



Nota. El gráfico muestra el reactor completamente armado y terminado.

3.8 Tratamiento del Convertidor Catalítico

3.8.1 Selección de Muestra

Para el presente estudio se determinó el uso de convertidores catalíticos de vehículos de media y alta gama como: Toyota, Volkswagen, Renault y Ford.

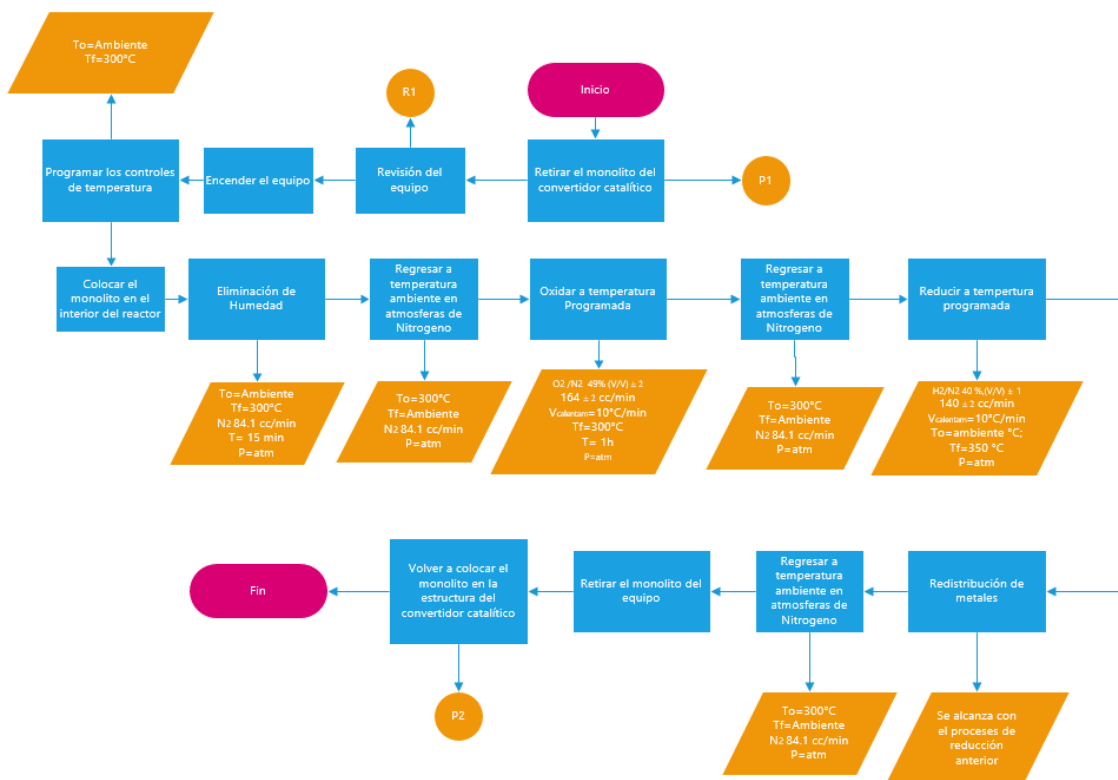
3.9 Limpieza de los Convertidores Catalíticos

Los convertidores católicos usados serán sometidos a un tratamiento de oxidación-reducción a temperatura programada usando diferentes gases vectores, en la Figura 32 se encuentra el diagrama de flujo del procedimiento a llevar a cabo para tener un tratamiento eficiente del convertidor catalítico en el cual se detallan los pasos a

seguir tanto como el encendido del equipo a utilizarse como programación de los controladores y datos de presión, flujo y temperaturas presentes en cada paso a seguir.

Figura 32

T1: Tratamiento del monolito



Nota. En la figura se encuentra el diagrama de flujo para realizar el tratamiento de limpieza del monolito.

3.10 Eliminación de Humedad

Al elevar la temperatura en el interior del reactor a 300°C en atmosferas de Nitrógeno (N_2) usando un flujo de $84.1 \frac{^\circ\text{C}}{\text{min}}$ en un tiempo de 15 minutos, se elimina la humedad presenten en el sistema para así realizar un proceso de empieza eficiente.

3.11 Proceso de Oxidación

Sin la presencia de humedad en el sistema y después de haber alcanzado la temperatura ambiente en el monolito a atmosferas de Nitrógeno (N_2), el proceso de oxidación puede llevarse a cabo con una relación de $\frac{O_2}{N_2}$ 49 % $\frac{V}{V} \pm 2$, flujo total de 164 ± 2 $\frac{cc}{min}$ a cuál será establecida en el panel del sistema de flujo de gases vectores, la temperatura en este proceso debe alcanzar los 300 °C en una rampa de velocidad de elevación de temperatura de $10 \frac{°C}{min}$.

3.11.1 Monitoreo

Se debe realizar un monitoreo visual regular tanto en el panel de control de temperatura como el panel de sistema de flujo de los gases vectores ya que una vez programada la temperatura final y seleccionado el flujo con el que se realizará cada paso de la limpieza, el equipo se encargará automáticamente de cumplir este proceso, cabe recalcar que el tiempo establecido para cada proceso debe ser exacto.

3.12 Proceso de Reducción

Con la oxidación alcanzada en el monolito el proceso de reducción debe ejecutarse después de haber cerrado el suministro de Oxígeno (O_2) al reactor y disminuir la temperatura del monolito a temperatura ambiente a atmosferas de Nitrógeno (N_2), se hace ingresar en el reactor hidrógeno (H_2) con una relación $\frac{H_2}{N_2}$ 40 % $\frac{V}{V} \pm 1$, flujo total de $140 \pm 1 \frac{cc}{min}$.

La rampa de temperatura debe iniciar desde una temperatura ambiente (20 °C) hasta alcanzar 350 °C en intervalos de $10 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}}$, se debe mantener la temperatura final descrita durante una hora.

3.12.1 Monitoreo

El monitoreo realizado será de manera visual y regularmente tanto en el panel de control de temperatura como el panel de sistema de flujo de los gases vectores, ya que una vez programada la temperatura final y seleccionado el flujo con el que se realizará cada paso de la limpieza el equipo se encargará automáticamente de cumplir este proceso, a diferencia del control de tiempo el cual debe ser exacto y se realizará de manera externa ya que el equipo de limpieza no posee control de tiempo.

3.13 Redistribución de los Metales

Para alcanzar la redistribución de los metales del monolito de un convertidor catódico este será sometido a procesos de oxidación y reducción a temperatura programada descrito anteriormente.

3.14 Emisiones de Gases Contaminantes

Las pruebas estáticas se realizaron con la ayuda del analizador de gases AGS 688 BRAIN BEE, en las instalaciones del Laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga y bajo la normativa INEN 2 203:2000

que establece el método de realización para la medición de emisiones de gases de escape en condiciones de marcha mínima o ralenti.

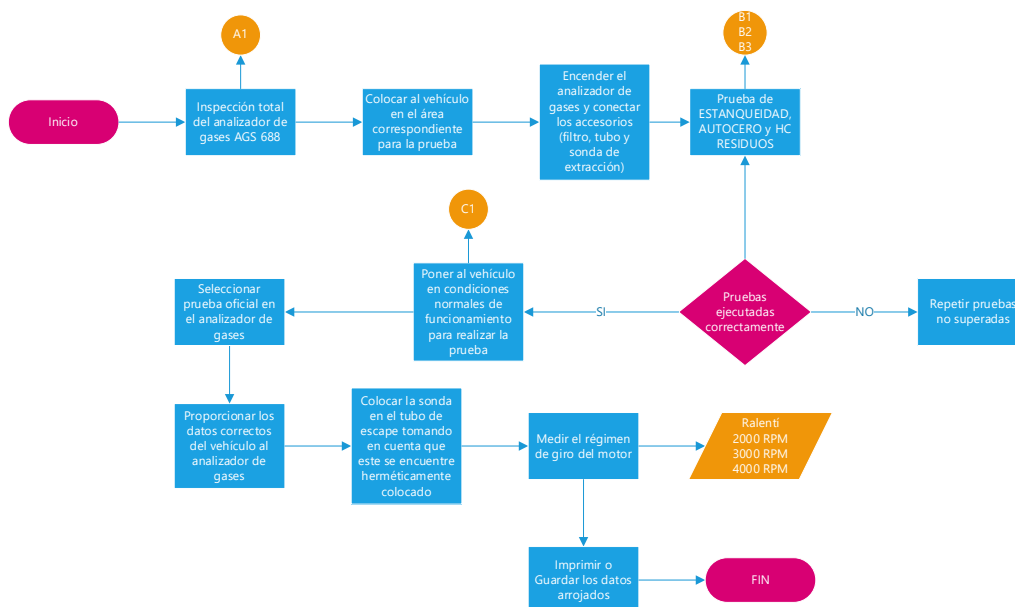
3.15 Pruebas Estáticas

3.15.1 Protocolo AGS 688 BRAIN BEE

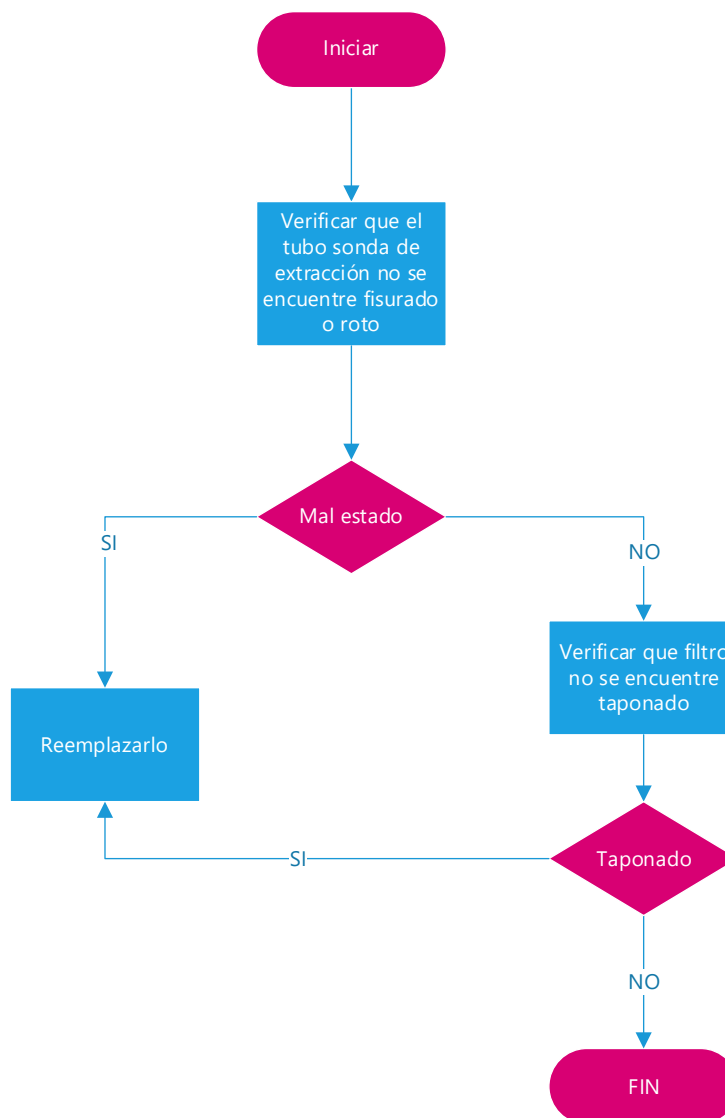
En la Figura 33 se detalla el procedimiento del protocolo a seguir para desarrollar las pruebas estáticas con ayuda del analizador de gases AGS 688 BRAIN BEE con sus respectivos anexos que se muestran en las Figuras 34, Figura 35, Figura 36 y Figura 37 basadas en el manual del fabricante del analizador.

Figura 33

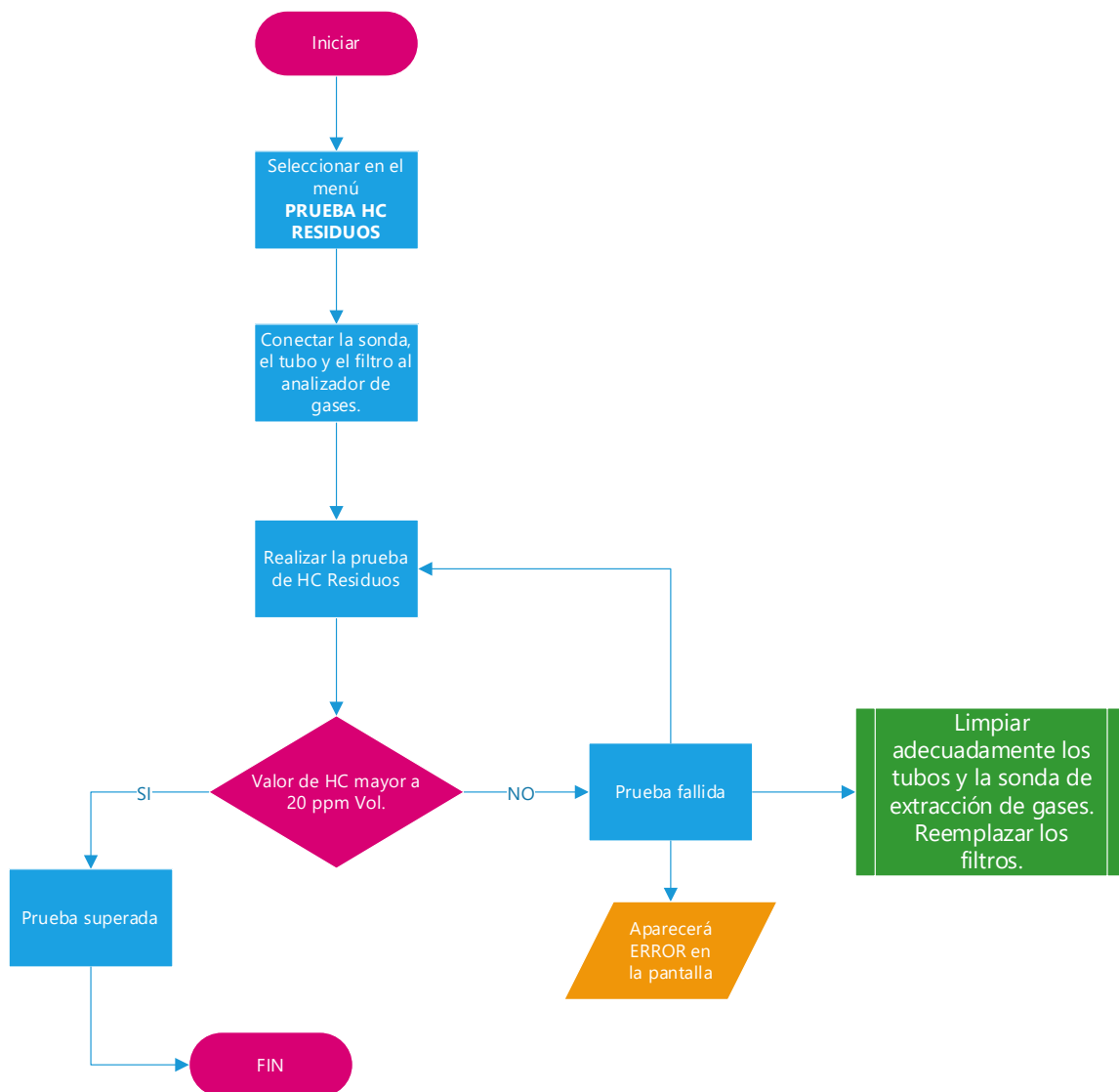
Protocolo AGS 668 BRAIN BEE



Nota. En el gráfico se encuentra el proceso para realizar la prueba con el analizador de gases AGS BRAIN BEE.

Figura 34*Diagrama de flujo A1*

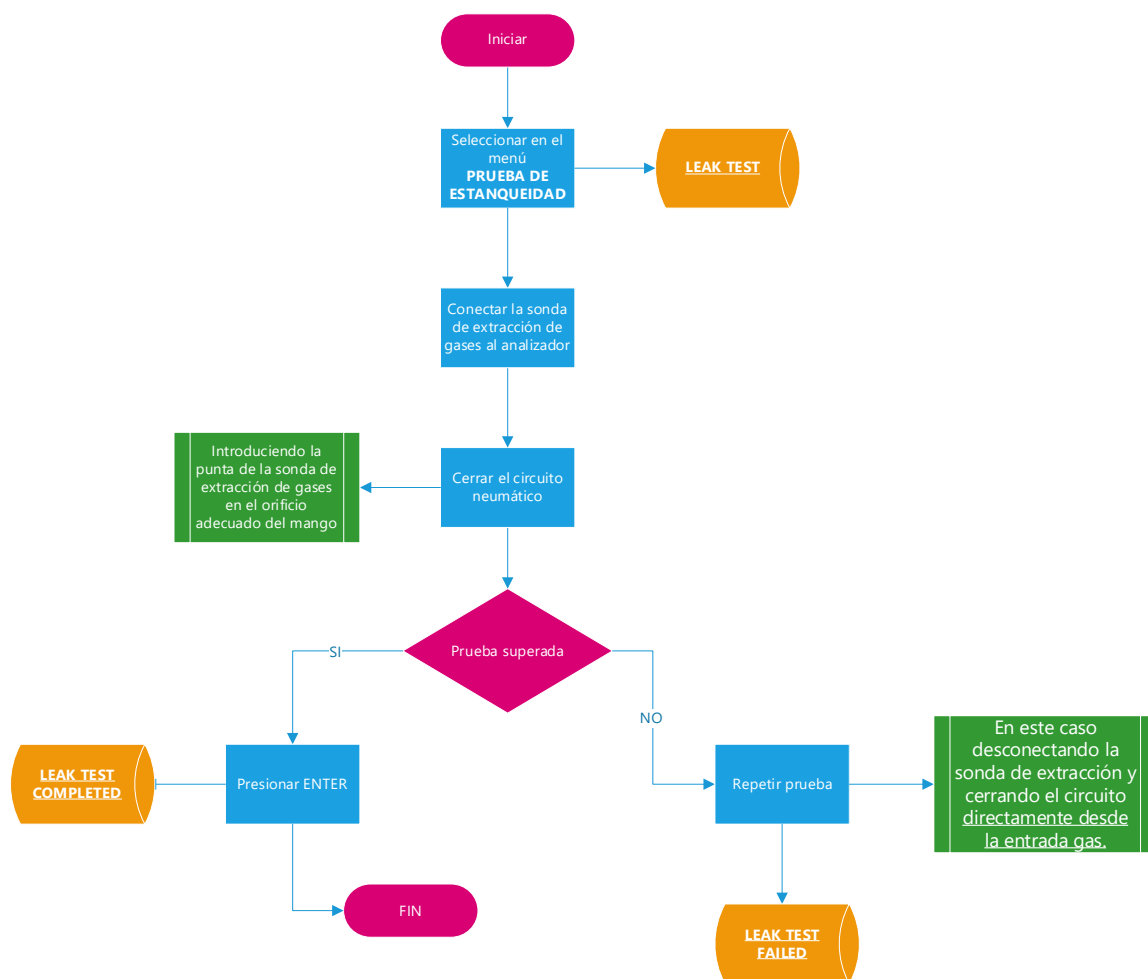
Nota. En el gráfico se observa el diagrama de flujo A1 del proceso para realizar la prueba con el analizador de gases AGS BRAIN BEE.

Figura 35*Diagrama de flujo B1*

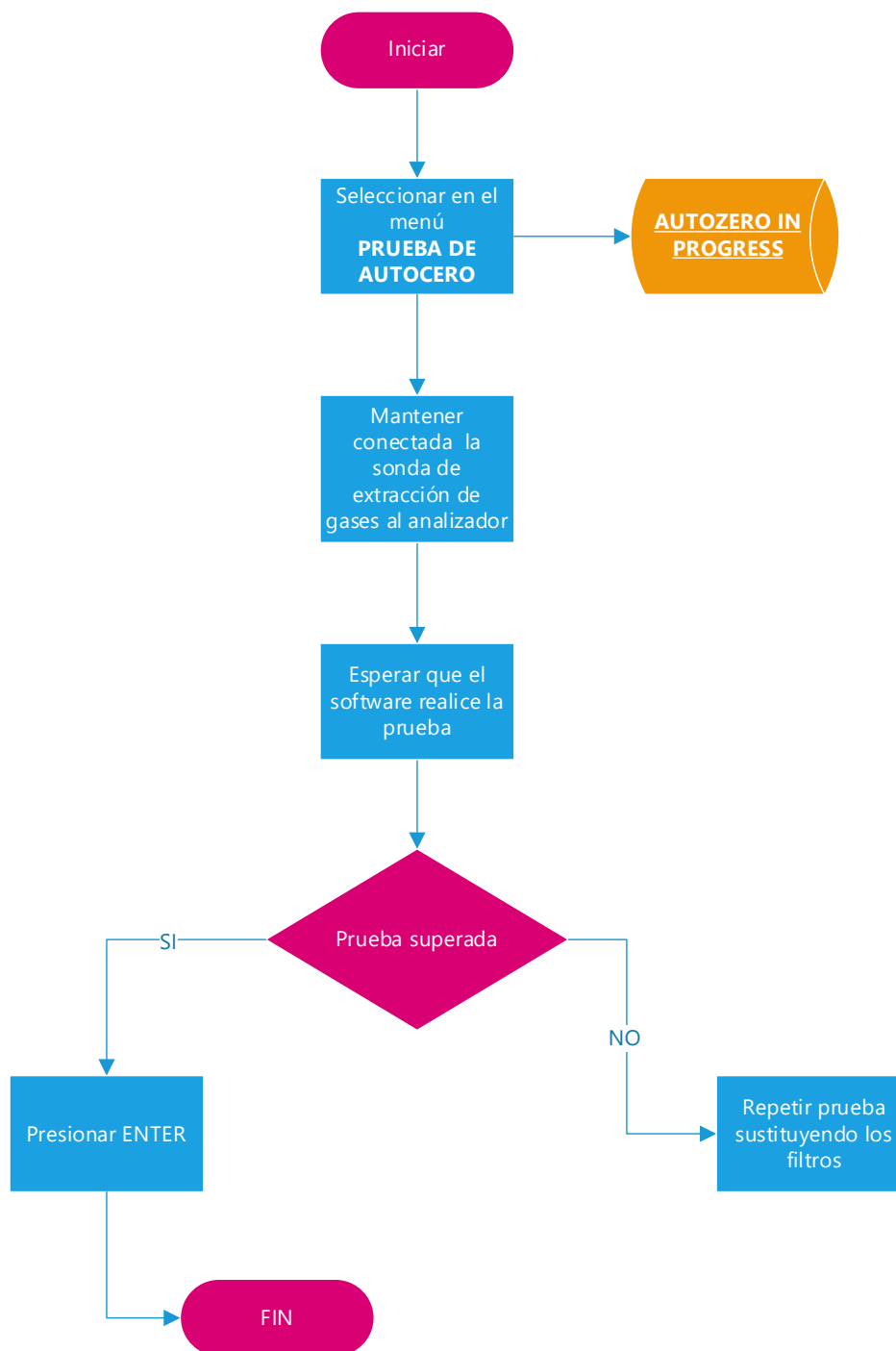
Nota. El gráfico muestra el diagrama de flujo B1 del proceso para realizar la prueba con el analizador de gases AGS BRAIN BEE.

Figura 36

Diagrama de flujo B2



Nota. El gráfico detalla el diagrama de flujo B2 del proceso para realizar la prueba con el analizador de gases AGS BRAIN BEE.

Figura 37*Diagrama de flujo B3*

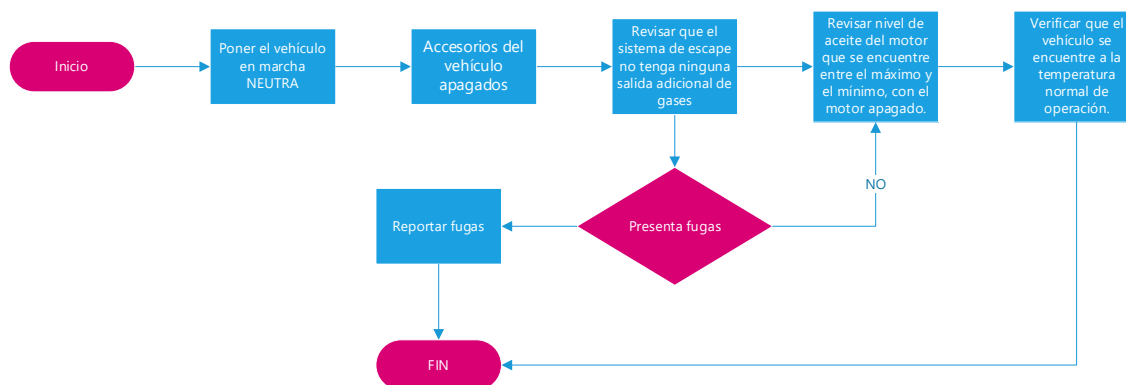
Nota. Diagrama de flujo B3 del proceso para realizar la prueba con el analizador de gases AGS BRAIN BEE.

3.15.2 Normativa INEN 2203

Basándose en la normativa ecuatoriana cuyo objetivo es aplicar a los vehículos automotores cuyo combustible es gasolina, y 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, se realizó el diagrama de flujo mostrado en la Figura 38. (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2000).

Figura 38

Procedimiento Normativa INEN 2203



Nota. En el gráfico se observa el diagrama de flujo en donde se muestran los detalles del método de ensayo descritos en la normativa INEN 2203.

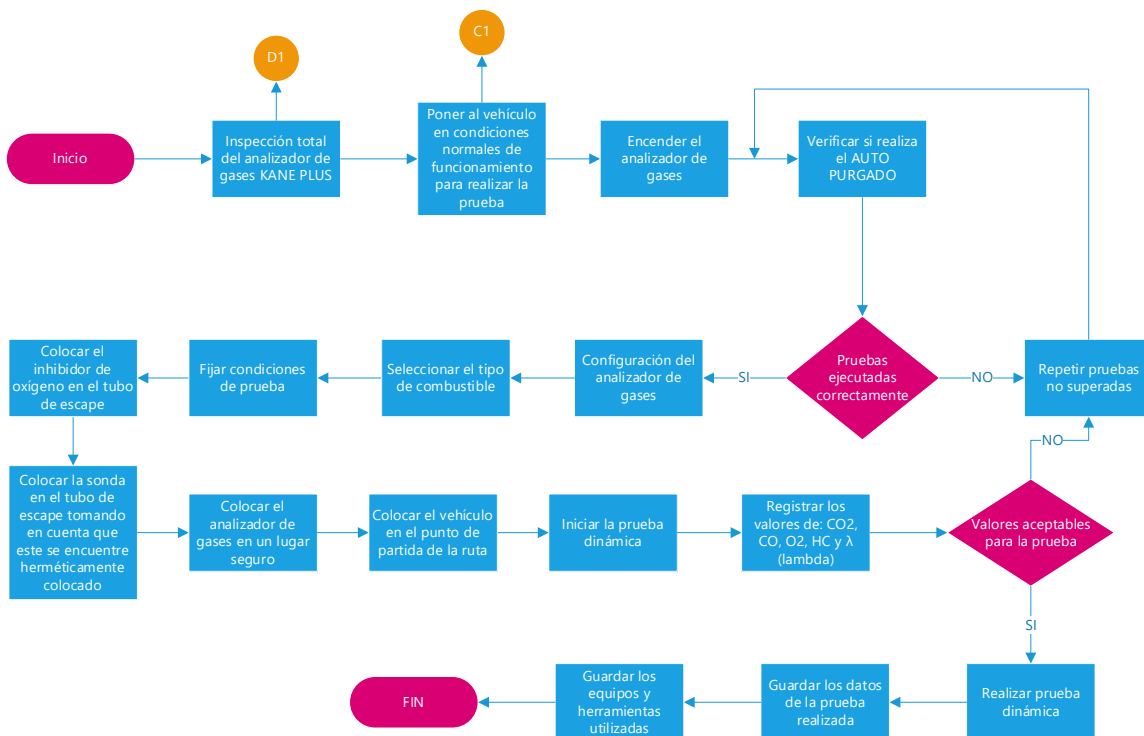
3.16 Pruebas Dinámicas

En la Figura 39 se detalla el procedimiento del protocolo WLTP a seguir para desarrollar las pruebas dinámicas con ayuda del analizador de gases KANE PLUS 4-2 con sus

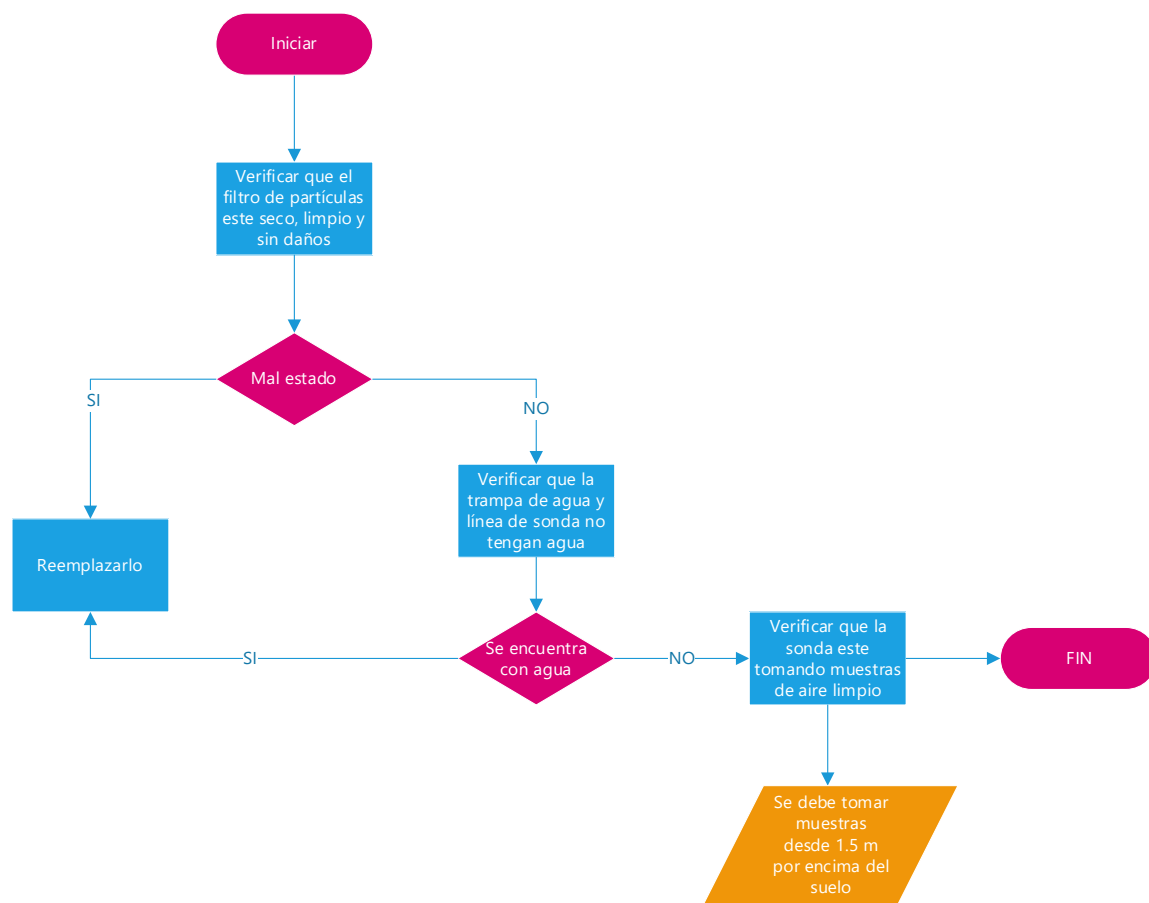
respectivos anexos que se muestran en la Figura 40 y Figura 41, basadas en el manual del fabricante del analizador.

Figura 39

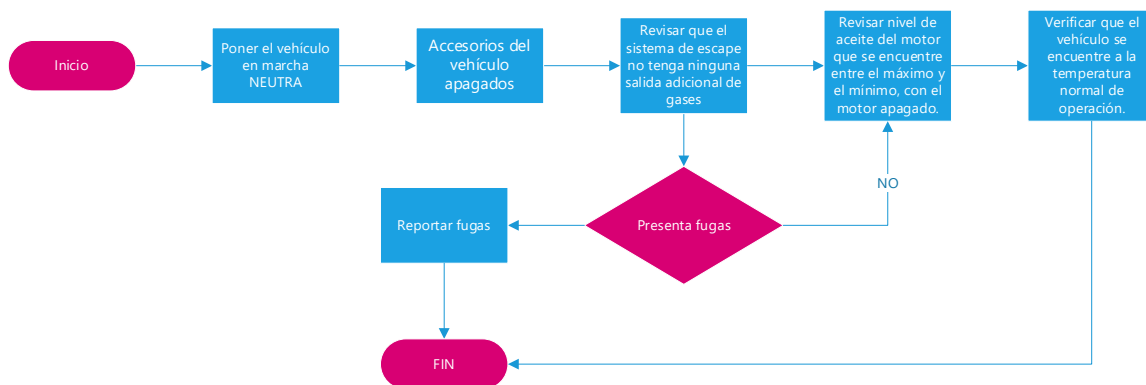
Protocolo WLTP



Nota. El gráfico muestra el diagrama de flujo en donde se muestran los detalles del protocolo WLTP.

Figura 40*Diagrama de flujo D1*

Nota. El gráfico detalla el diagrama de flujo D1 del proceso para realizar la prueba con el analizador de gases KANE Autoplus 4-2.

Figura 41*Diagrama de flujo C1*

Nota. En el gráfico se desarrolla el diagrama de flujo C1 del proceso para realizar la prueba con el analizador de gases KANE Autoplus 4-2.

3.16.1 Protocolo WLTP

Para la aplicación de este protocolo, se debe tomar en cuenta que es una normativa extranjera que se basa en la medición de los gases de escape de los vehículos a gasolina, determinando el porcentaje de dióxido de carbono (CO₂) emitido por el mismo y la cantidad de consumo de combustible. Este protocolo de medición es denominado WLTP por sus siglas en inglés de Procedimiento de pruebas de vehículos ligeros armonizados a nivel mundial. (INFORMACIÓN, 2018)

La unión europea puesto que se vio en la necesidad de reemplazar las pruebas NEDC (New European Driving Cycle) que operaba ya desde el año de 1992, desde septiembre de 2017 todos los nuevos modelos comercializados por primera vez están homologados con el WLTP, con lo cual se han hecho algunas variaciones en los

protocolos de prueba con respecto al NEDC es por tal razón que en la siguiente tabla se las compara. (DSAUTOMOBILES, 2016)

Tabla 11

NEDC VS WLTP

Variable	NEDC	WLTP
Ciclo de prueba	Ciclo de prueba único	Ciclo dinámico más representativo de condiciones de conducción real
Duración del ciclo	20 minutos	30 minutos
Distancia del ciclo	11 kilómetros	23,25 kilómetros
Fases de conducción	2 fases, 66 % de conducción urbana y 34 % de conducción rural	4 fases más dinámicas, 52 % de conducción urbana y 48 % de conducción rural
Velocidad media	$34 \frac{km}{h}$	$46,5 \frac{km}{h}$
Velocidad máxima	$120 \frac{km}{h}$	$131 \frac{km}{h}$
Influencia de las opciones individuales	El NEDC no tiene en cuenta el impacto en las emisiones de CO ₂ y el rendimiento	Se tienen en cuenta las características adicionales (que pueden variar en función de los modelos)
Cambios de velocidad	Cambios de velocidad fijos	Puntos de cambio calculados para cada vehículo
Temperaturas de prueba	Mediciones realizadas a entre 20 y 30 °C	Ensayos realizados a 23 °C, CO ₂ revisado a 14 °C

Nota. En la tabla se compara el Protocolo NEDC y el Protocolo WLTP Tomada de INFORMACIÓN, L. (03 de Septiembre de 2018). *LA INFORMACIÓN.*

<https://www.lainformacion.com/motor/protocolo-de-emisiones-wltp-que-es-en-que-consiste-norma/6383410/>

Capítulo IV

4. Análisis Experimental de la Regeneración de los Convertidores Catalíticos

4.1 Pruebas Estáticas Catalizador de 2 Vías

Las pruebas de emisiones en condiciones estáticas realizadas al vehículo de prueba con convertidor catalítico de dos vías antes (Usado) y después de aplicar el tratamiento de limpieza (Tratado), Tabla 12, se registran los datos obtenidos, para las que se contempló regímenes de giro del motor en ralentí y velocidad crucero considerando un recorrido del vehículo de 0 km a 3000 km, de tal manera de establecer el comportamiento del catalizador en las condiciones indicadas.

Tabla 12

Prueba estática de emisión de gases

RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 2 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 2 VÍAS				
	REGÍMEN	Prueba	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ
0	RALENTÍ	1	7,62	6,51	18,21	7220	3,871	9,22	6,34	15,15	1266	2,001
		2	7,52	6,43	18,15	7260	3,901	9,31	6,42	15,23	1201	1,992
		3	6,76	7,60	18,26	8001	3,925	9,32	6,21	15,12	1201	1,990
		4	8,34	7,52	18,10	8037	3,976	9,45	6,25	15,23	1199	1,987
		5	8,51	7,83	18,36	8040	3,988	9,44	6,31	15,36	1195	1,976
		6	7,53	7,45	18,25	8080	3,994	9,56	6,42	15,16	1198	1,450
		7	7,34	7,30	18,21	8435	4,003	9,53	6,35	15,12	1177	1,956
0	CRUCERO	1	9,36	5,96	17,58	8533	4,025	9,72	5,61	16,13	1120	1,890
		2	9,56	5,50	17,63	8566	4,026	9,70	5,56	16,19	1111	1,888
		3	9,34	5,83	17,51	8609	4,088	9,86	5,51	16,35	1102	1,876
		4	9,76	5,71	17,53	8702	4,101	9,81	5,60	16,21	1099	1,867
		5	9,94	5,70	17,53	8075	4,134	9,93	5,72	16,14	1087	1,866
		6	8,99	5,81	17,64	8121	4,135	9,93	5,45	16,23	1053	1,864
		7	9,72	5,96	17,72	8215	4,187	9,81	5,40	16,16	1054	1,851
1000	RALENTÍ	1	6,93	7,63	19,42	6702	3,703	10,41	2,91	8,72	709	1,302
		2	6,54	7,62	19,44	6995	3,743	10,58	2,82	8,83	701	1,299
		3	7,22	7,71	19,33	6872	3,723	10,41	2,92	8,62	699	1,299
		4	6,85	7,76	19,38	6834	3,700	10,33	2,91	8,56	656	1,289
		5	6,64	7,62	19,22	6799	3,698	10,21	3,13	8,43	645	1,287
		6	6,92	7,65	19,11	6789	3,696	10,53	2,85	8,46	645	1,287
		7	6,54	7,72	19,21	6701	3,624	10,56	2,85	8,43	640	1,286
1000	CRUCERO	1	8,95	6,61	19,91	6500	3,201	11,36	2,41	6,32	449	1,176
		2	8,70	6,56	20,13	6501	3,203	11,12	2,33	6,32	421	1,173
		3	8,54	6,68	20,13	6407	3,189	11,13	2,45	6,15	422	1,172
		4	8,94	6,52	20,23	6300	3,178	11,33	2,14	6,20	416	1,169
		5	8,85	6,44	20,24	6222	3,164	11,32	2,14	6,22	401	1,166
		6	8,75	6,65	20,23	6201	3,158	11,31	2,16	6,12	401	1,165
		7	8,53	6,42	19,95	6150	3,102	11,29	2,16	5,98	403	1,106
2000	RALENTÍ	1	6,44	7,85	19,65	5997	3,001	11,82	1,76	3,20	271	1,044
		2	6,40	7,80	19,84	5887	2,999	11,71	1,65	3,81	268	1,034
		3	6,14	7,90	19,83	5822	2,865	11,71	1,72	3,83	254	1,031
		4	6,30	7,95	19,98	5809	2,801	11,82	1,56	3,82	233	1,028

RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 2 VÍAS						PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 2 VÍAS					
	REGIMEN	Prueba	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ
2000	CRUCERO	5	6,35	7,90	19,92	5788	2,793	11,96	1,54	3,69	230	1,028
		6	6,24	7,96	19,95	5743	2,732	11,94	1,76	3,68	229	1,028
		7	6,31	7,96	19,94	5605	2,731	11,91	1,50	3,64	224	1,026
		1	7,62	8,12	21,35	5200	2,401	12,23	1,13	2,19	245	1,009
		2	7,63	7,96	21,31	5134	2,388	12,10	1,12	2,23	240	1,008
		3	7,25	8,25	21,45	5005	2,321	12,18	1,21	1,99	231	1,009
		4	7,12	8,16	22,25	4990	2,211	12,37	1,23	1,94	228	1,008
3000	RALENTÍ	5	7,11	8,18	22,23	4981	2,101	12,34	1,15	1,93	230	1,009
		6	7,63	8,19	21,76	4976	2,099	12,30	1,16	1,92	219	1,008
		7	7,41	8,22	21,94	4975	2,066	12,40	1,12	1,89	219	1,001
		1	6,44	7,69	19,62	4700	2,211	12,50	1,23	1,65	120	1,001
		2	6,46	7,63	19,88	4688	2,199	12,55	1,12	1,64	117	1,001
		3	6,17	7,62	19,86	4598	2,196	12,75	1,13	1,63	118	1,000
		4	6,33	7,66	19,91	4562	2,001	12,71	0,99	1,61	113	1,000
3000	CRUCERO	5	6,34	7,52	19,93	4521	2,093	12,72	0,99	1,58	109	1,000
		6	6,28	7,55	19,91	4466	2,035	12,46	0,99	1,56	107	0,970
		7	6,33	7,41	19,93	4233	2,021	12,51	0,99	1,54	111	0,970
		1	7,54	8,16	21,23	4100	2,051	12,43	0,78	1,39	156	1,000
		2	7,42	8,48	21,34	4101	2,088	12,15	0,78	1,33	134	1,000
		3	7,31	8,42	21,44	4089	2,021	12,15	0,78	1,32	134	1,000
		4	7,73	8,43	22,26	4075	2,071	12,32	0,78	1,23	156	1,100
		5	7,72	8,45	22,32	4066	2,101	12,35	0,78	1,23	176	1,001
		6	7,66	8,63	21,74	4070	2,056	12,34	0,74	1,17	165	1,001
		7	7,82	8,75	21,95	4081	2,054	12,40	0,73	1,16	167	1,001

Nota. Tabulación de datos de las pruebas realizadas al vehículo con un convertidor catalítico totalmente obstruido antes y después de su tratamiento de limpieza.

Los datos obtenidos de emisiones de CO₂, CO, O₂ y HC del vehículo de prueba con el catalizador usado evidencian que el porcentaje de ratio de conversión catalítica es deficiente, especialmente referido a la normativa nacional para valores fuera del rango permisible de CO y HC que están en concordancia con el comportamiento de la relación aire – combustible referidos a lambda a través de los resultados alcanzados con indicativos de mezcla pobre; que justifican el incremento de las partículas por millón de hidrocarburos no combustionados, así como también, el incremento del porcentaje del monóxido de carbono. Estos cambios significativos durante el proceso de medición son indicadores de que el convertidor catalítico ha perdido su capacidad de conversión de gases tóxicos a gases inocuos.

Los valores de emisiones de gases de escape del vehículo a prueba equipado con el convertidor catalítico tratado muestran un porcentaje de ratio de conversión catalítica eficiente con referencia la norma nacional que establece los rangos permitidos

de emisiones de HC y CO, el factor lambda que se encuentra en función de los gases mencionados cambia su valor hasta alcanzar el rango de una mezcla estequiométrica de aire – combustible; que justifican la disminución de las partículas por millón de hidrocarburos no combustionados, así como también, la disminución del porcentaje del monóxido de carbono. Estos cambios significativos durante el proceso de medición son indicadores de que el convertidor catalítico ha recuperado su capacidad de conversión de gases nocivos a gases inocuos. Donde se observa la variación significativa de los datos de oxígeno lo que determina la recuperación de los metales del monolito del catalizador referida a los procesos de oxidación – reducción en los procesos de conversión catalítica de los gases tóxicos en gases inocuos.

Comparando los valores de emisiones de gases entre el convertidor catalítico usado y el tratado, estos datos experimentan un gran cambio con respecto a la limpieza realizada dando a conocer que el catalizador tratado está cumpliendo con su función principal ya que los hidrocarburos (HC) tanto como el monóxido de carbono (CO) disminuyen alcanzando el rango permitido en la norma establecida, dejando así una emisión de gases con una concentración ideal de dióxido de carbono (CO₂).

4.1.1 *Análisis Tratamiento a los 0 km de Recorrido*

a) Ralentí

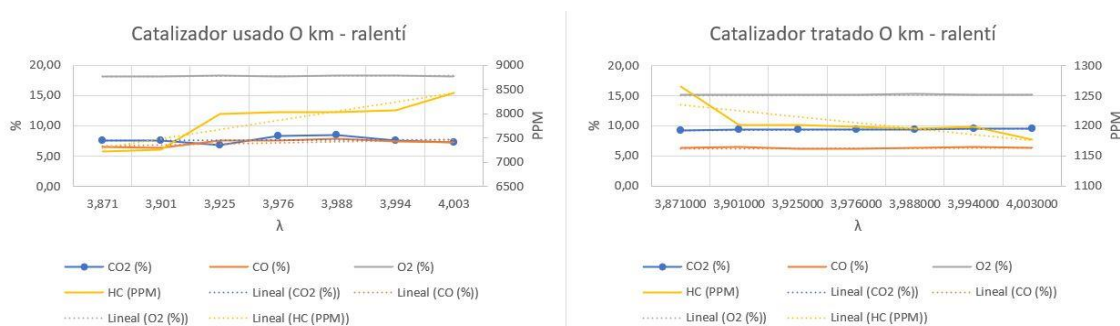
Se realizó las mediciones del comportamiento de los procesos postcombustión con siete ensayos de emisiones al catalizador de dos vías antes y después del tratamiento Tabla 13.

Tabla 13*Emisiones de gases a ralentí y 0 km de recorrido*

RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 2 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 2 VÍAS				
	REGÍME N	Prueba	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ
o	RALENTÍ	1	7,62	6,51	18,21	7220	3,871	9,22	6,34	15,15	1266	2,001
		2	7,52	6,43	18,15	7260	3,901	9,31	6,42	15,23	1201	1,992
		3	6,76	7,60	18,26	8001	3,925	9,32	6,21	15,12	1201	1,990
		4	8,34	7,52	18,10	8037	3,976	9,45	6,25	15,23	1199	1,987
		5	8,51	7,83	18,36	8040	3,988	9,44	6,31	15,36	1195	1,976
		6	7,53	7,45	18,25	8080	3,994	9,56	6,42	15,16	1198	1,450
		7	7,34	7,30	18,21	8435	4,003	9,53	6,35	15,12	1177	1,956
Promedio			7,66	7,23	18,22	7868	3,95	9,40	6,33	15,20	1205	1,91

Nota. La tabla muestra los promedios de los datos de las emisiones de cada gas a ralentí y 0 km de recorrido.

La Figura 42 de los resultados de emisiones de gases del convertidor catalítico usado da a conocer que los datos se encuentran en un rango muy elevado a diferencia de la emisión de estos con un catalizador tratado el cual cumple con su función principal y reduce las emisiones de gases contaminantes, un ejemplo de esto son los hidrocarburos (HC) los cuales en la medición 1 se encuentran en 7220 ppm a diferencia de usar un convertidor catalítico en el cual ya se le aplicó el método de limpieza y este valor se encuentra en 1266 ppm, cabe recalcar que en las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) sucede lo contrario ya que estas aumenta cumpliendo así la función normal de una catalizador.

Figura 42*Emisiones 0 km – ralentí*

Nota. En la figura se observa la comparación de emisiones del catalizador usado y tratado con 0 km de recorrido del vehículo y régimen de giro en ralentí.

Los datos de emisiones de gases en cada medición mostrados en la Tabla 13, permiten analizar porcentualmente el cambio en cada una de ellas, el promedio del Dióxido de carbono (CO_2) emitido con un catalizador usado presenta un 7.66 % a diferencia de usar un catalizador tratado el cual se encuentra en un 9.40 % siendo el 1.70 % mayor el porcentaje del convertidor catalítico tratado, de la misma manera se analiza la diferencia de porcentaje del Monóxido de Carbono (CO) entre un 7.23 % con el catalizador usado y 6.33 % con el catalizador tratado existiendo una disminución de 0.18%, el Oxígeno se encuentra en una diferencia de emisión del 3.02 % en las pruebas realizadas tanto con el catalizador usado con una emisión de 18.22 % como con el catalizador tratado con un valor de 15.20 %, los Hidrocarburos (HC) se encuentran en un promedio de 7868 ppm con un catalizador usado y en 1205 ppm con el catalizador tratado, existiendo una disminución de 6663 ppm, el factor Lambda λ con el catalizador tratado se observa que en promedio se encuentra en 1.91 a diferencia del catalizador usado que está en 3.95.

b) Crucero

Los análisis de emisiones con catalizador de dos vías antes y después del tratamiento se realizó siete ensayos de acuerdo a las mediciones de gases para determinar los procesos postcombustión, Tabla 14.

Tabla 14

Emisiones de gases a velocidad crucero y 0 km de recorrido

RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 2 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 2 VÍAS				
	REGÍMEN	Prueba	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ
0	CRUCERO	1	9,36	5,96	17,58	8533	4,025	9,72	5,61	16,13	1120	1,890
		2	9,56	5,50	17,63	8566	4,026	9,70	5,56	16,19	1111	1,888
		3	9,34	5,83	17,51	8609	4,088	9,86	5,51	16,35	1102	1,876
		4	9,76	5,71	17,53	8702	4,101	9,81	5,60	16,21	1099	1,867
		5	9,94	5,70	17,53	8075	4,134	9,93	5,72	16,14	1087	1,866
		6	8,99	5,81	17,64	8121	4,135	9,93	5,45	16,23	1053	1,864
		7	9,72	5,96	17,72	8215	4,187	9,81	5,40	16,16	1054	1,851
	Promedio		9,52	5,78	17,59	8403	4,10	9,82	5,55	16,20	1089,43	1,87

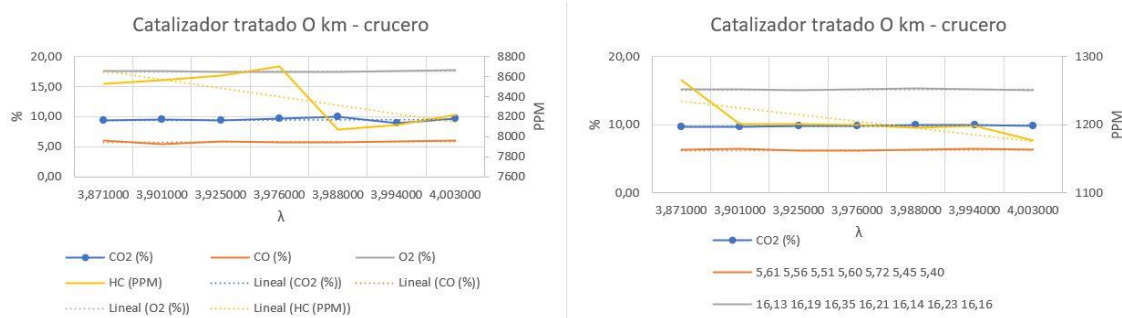
Nota. La tabla muestra los promedios de los datos de las emisiones de cada gas a velocidad crucero y 0 km de recorrido.

La Figura 43 muestra que al incrementar la velocidad del vehículo y mantenerle a velocidad crucero se nota una leve disminución en el porcentaje de emisiones como se muestra en la Tabla 14 pero cabe recalcar que los gases más contaminantes como los hidrocarburos aún se encuentran en un alto rango de PPM, también se puede notar como las emisiones de gases del vehículo después del proceso de tratamiento del catalizador disminuyen considerablemente a diferencia de la emisión cuando este se encuentra obstruido totalmente.

Se evidencia los promedios de los datos tomados de las pruebas realizadas a los catalizadores antes y después de realizar el tratamiento de limpieza en los mismos, se puede notar un aumento de 0.30 % de emisión de Dióxido de Carbono (CO₂) con el catalizador tratado, por lo contrario, en las emisiones de Monóxido de Carbono (CO) se presenta una disminución de 0.23 %, la emisión de Oxígeno presenta un incremento 1.39 %, en los Hidrocarburos (HC) los cuales presentan una disminución de 7313.57 ppm, el factor Lambda λ con el catalizador tratado es de 1.87 a diferencia de antes del tratamiento que se encuentra en 4.10, estos datos muestran como el catalizador después de haber recibido un tratamiento de limpieza este vuelve a cumplir con su función principal.

Figura 43

Emisiones 0 km – crucero



Nota. Comparación de emisiones del catalizador usado y tratado con 0 km de recorrido del vehículo y régimen de giro en crucero.

4.1.2 Análisis Tratamiento a los 1000 km de Recorrido

a) Ralentí

La Tabla 15 detalla las mediciones del comportamiento de los procesos postcombustión realizados al catalizador de dos vías antes y después del tratamiento con siete ensayos de emisiones.

Tabla 15

Emisiones de gases a ralentí y 1000 km de recorrido

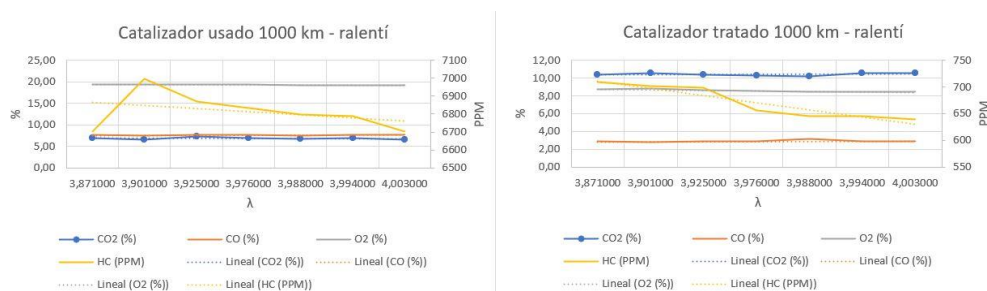
RECORRIDO (KM)	REGÍMEN	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 2 VÍAS						PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 2 VÍAS				
		Prueba	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ
1000	RALENTÍ	1	6,93	7,63	19,42	6702	3,703	10,41	2,91	8,72	709	1,302
		2	6,54	7,62	19,44	6995	3,743	10,58	2,82	8,83	701	1,299
		3	7,22	7,71	19,33	6872	3,723	10,41	2,92	8,62	699	1,299
		4	6,85	7,76	19,38	6834	3,700	10,33	2,91	8,56	656	1,289
		5	6,64	7,62	19,22	6799	3,698	10,21	3,13	8,43	645	1,287
		6	6,92	7,65	19,11	6789	3,696	10,53	2,85	8,46	645	1,287
		7	6,54	7,72	19,21	6701	3,624	10,56	2,85	8,43	640	1,286
	Promedio		6,81	7,67	19,30	6813,14	3,70	10,43	2,91	8,58	670,71	1,29

Nota. En la tabla se detallan los promedios de los datos de las emisiones de cada gas a ralentí y 1000 km de recorrido.

La Figura 44 muestra los porcentajes de emisiones de gases del vehículo al realizar las pruebas con recorrido de 1000 km se puede notar que han disminuido, en los datos proporcionados por el analizador de gases y tabulados como se muestra en la Tabla 15, se conoce que las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂), Monóxido de Carbono (CO) e Hidrocarburos (HC) a esta velocidad siguen siendo considerables

cuando el vehículo este equipado con un catalizador que ya haya terminado con su tiempo de vida útil. La tabulación de datos de las emisiones de gases de un vehículo equipado con un catalizador tratado se observa como los gases más contaminantes que son los HC y el CO disminuyen en gran parte, haciendo así que los gases que envía el vehículo hacia la atmosfera no sean dañinos con el ambiente.

Se encuentra el promedio en porcentajes de emisiones de las pruebas estáticas realizadas al vehículo en la cual se analizan los cambios que presentan dichas emisiones, el Dióxido de Carbono (CO_2) emitido por el vehículo con el catalizador usado es de 6.81 % a diferencia de usar un catalizador tratado el cual se encuentra en 10.43 % existiendo un aumento de 3.62 %, el Monóxido de Carbono emitido por el vehículo con un catalizador totalmente obstruido se encuentra en 7.67 % mientras que el catalizador tratado emite el 2.91 % de este gas, teniendo una diferencia de 4.76 %, de la misma manera sucede con los Hidrocarburos (HC) que presentan una disminución de 6142.43 ppm ya que en la prueba realizada al catalizador usado presenta una emisión de 6142.43 ppm y después de haber recibido el tratamiento de limpieza la emisión es de 670.71 ppm, el factor Lambda λ se encuentra en rango muy elevado al establecido ya que su valor es 3.70 pero al aplicar el método de limpieza en el monolito del convertidor catalítico y colocarlo en el vehículo este presenta un valor de lambda de 1.29.

Figura 44*Emisiones 1000 km – ralentí*

Nota. La figura compara las emisiones del catalizador usado y tratado con 1000 km de recorrido del vehículo y régimen de giro ralentí.

b) Crucero

En los procesos postcombustión se realizó las mediciones del comportamiento con siete ensayos de emisiones al catalizador de dos vías antes y después del tratamiento Tabla 16.

Tabla 16*Emisiones a velocidad crucero y 1000 km de recorrido*

RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 2 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 2 VÍAS				
	REGÍMEN	Prueba	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ
1000	CRUCERO	1	8,95	6,61	19,91	6500	3,201	11,36	2,41	6,32	449	1,176
		2	8,70	6,56	20,13	6501	3,203	11,12	2,33	6,32	421	1,173
		3	8,54	6,68	20,13	6407	3,189	11,13	2,45	6,15	422	1,172
		4	8,94	6,52	20,23	6300	3,178	11,33	2,14	6,20	416	1,169
		5	8,85	6,44	20,24	6222	3,164	11,32	2,14	6,22	401	1,166
		6	8,75	6,65	20,23	6201	3,158	11,31	2,16	6,12	401	1,165
		7	8,53	6,42	19,95	6150	3,102	11,29	2,16	5,98	403	1,106
Promedio			8,75	6,55	20,12	6325,86	3,17	11,27	2,26	6,19	416,14	1,16

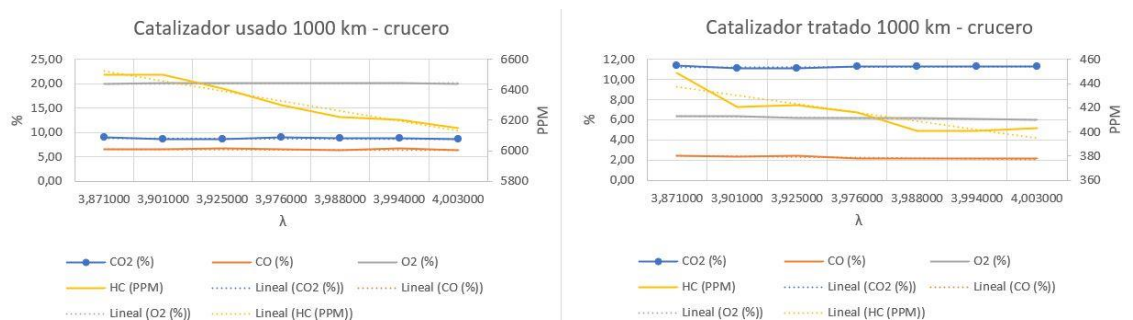
Nota. La tabla muestra los promedios de los datos de las emisiones de cada gas a velocidad crucero y 1000 km de recorrido.

El comportamiento de los gases del vehículo con un catalizador descontinuado a la velocidad cruce y 1000 km de recorrido se evidencia en la Tabla 16 la cual muestra la tabulación de los mismos, dando a conocer una presencia de HC y CO elevada en la prueba del vehículo con el catalizador totalmente obstruido. Al equipar al vehículo con el catalizador tratado y tomar datos de las emisiones a 1000 km de recorrido se evidencia como el CO₂ aumenta y los HC y CO presenta una diferencia muy significativa haciendo que la emisión proveniente del motor del vehículo no cause mayor impacto ambiental.

Los promedios de emisiones dan a conocer el cambio que presentan las emisiones antes y después de que el catalizador sea tratado, el Dióxido de Carbono (CO₂) está en un 8.75 % antes del tratamiento del catalizador y en un 11.27 % después su tratamiento, presentando un aumento de 2.52 %, con el Monóxido de Carbono (CO) sucede lo contrario ya que una presenta disminución de 4.29 %, el Oxígeno presente en los gases de escape del vehículo a prueba presenta una disminución de 13.19 %, los Hidrocarburos (HC) disminuyeron en 5909.72 ppm alcanzando una emisión de 416.14 ppm con el catalizador tratado, de la misma manera sucede con el factor Lambda λ el cual inicialmente se encuentra en 3.17 y después de aplicar el método de limpieza al monolito su valor alcanzado es de 1.16. En la Figura 45 se muestra la gráfica de dispersión en la que se puede apreciar de mejor manera el resultado de la limpieza realizada al convertidor catalítico.

Figura 45

Emisiones 1000 km – crucero



Nota. La figura compara las emisiones del catalizador usado y tratado con 1000 km de recorrido del vehículo y régimen de giro en crucero.

4.1.3 Análisis Tratamiento a los 2000 km de Recorrido

a) Ralentí

Los datos de mediciones representados en la Tabla 17 detallan el comportamiento de los procesos postcombustión con siete ensayos de emisiones al catalizador de dos vías antes y después del tratamiento.

Tabla 17

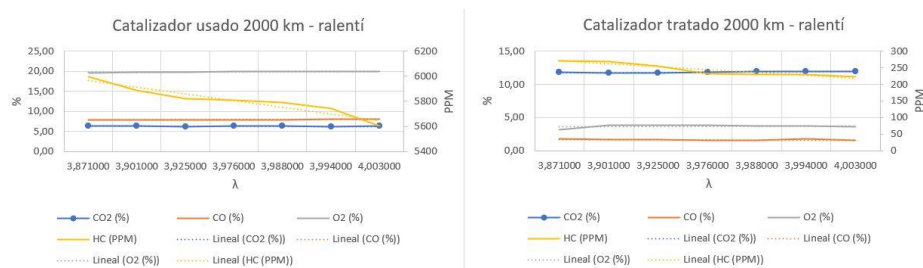
Emisiones a ralentí y 2000 km de recorrido

RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 2 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 2 VÍAS				
	REGÍMEN	Prueba	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ
2000	RALENTÍ	1	6,44	7,85	19,65	5997	3,001	11,82	1,76	3,20	271	1,044
		2	6,40	7,80	19,84	5887	2,999	11,71	1,65	3,81	268	1,034
		3	6,14	7,90	19,83	5822	2,865	11,71	1,72	3,83	254	1,031
		4	6,30	7,95	19,98	5809	2,801	11,82	1,56	3,82	233	1,028
		5	6,35	7,90	19,92	5788	2,793	11,96	1,54	3,69	230	1,028

RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 2 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 2 VÍAS				
	REGÍMEN	Prueba	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ
		6	6,24	7,96	19,95	5743	2,732	11,94	1,76	3,68	229	1,028
		7	6,31	7,96	19,94	5605	2,731	11,91	1,50	3,64	224	1,026
		Promedio	6,31	7,90	19,87	5807,29	2,85	11,84	1,64	3,67	244,14	1,03

Nota. La tabla muestra los promedios de los datos de las emisiones de cada gas a ralentí y 2000 km de recorrido.

Como se observa en la Figura 46 que muestra la gráfica de dispersión de los datos de la prueba estática realizada al vehículo equipado con el catalizador totalmente obstruido y con el catalizador tratado respectivamente, se observa claramente como los porcentajes de emisiones de gases es menor cuando el catalizador se encuentra en buen estado, a lo contrario del Dióxido de Carbono(CO₂) el cual incremento su valor en un 5.53 %, los otros gases como el Monóxido de Carbono (CO) ha disminuido en un 6.26 % alcanzando un valor de 1.64 %, el Oxígeno (O₂) se encuentra en un 3.67 % presentando una variación de 16.2 %, los Hidrocarburos llegaron a un valor de 244.14 ppm alcanzando una diferencia de 5563.15 ppm, por otro lado el factor Lambda alcanzo cifra de 1.03 a diferencia de cuando el monolito del convertidor catalítico se encontraba totalmente obstruido y tenía un valor de 2.85.

Figura 46*Emisiones 2000 km – ralentí*

Nota. En la figura se detalla la comparación de emisiones del catalizador usado y tratado con 2000 km de recorrido del vehículo y régimen de giro ralentí.

b) Crucero

En la Tabla 18 se estableció las mediciones del comportamiento de los procesos postcombustión con siete ensayos de emisiones al catalizador de dos vías antes y después del tratamiento.

Tabla 18*Emisiones a velocidad crucero y 2000 km de recorrido*

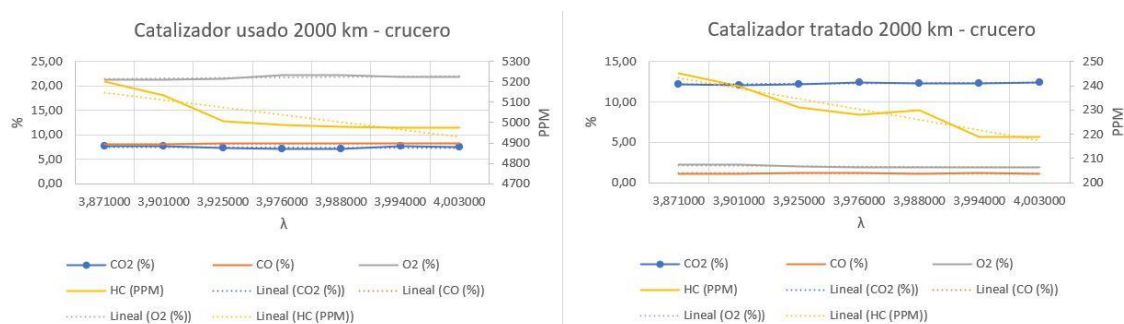
RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 2 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 2 VÍAS				
	REGÍMEN	Prueba	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ
2000	CRUCERO	1	7,62	8,12	21,35	5200	2,401	12,23	1,13	2,19	245	1,009
		2	7,63	7,96	21,31	5134	2,388	12,10	1,12	2,23	240	1,008
		3	7,25	8,25	21,45	5005	2,321	12,18	1,21	1,99	231	1,009
		4	7,12	8,16	22,25	4990	2,211	12,37	1,23	1,94	228	1,008
		5	7,11	8,18	22,23	4981	2,101	12,34	1,15	1,93	230	1,009
		6	7,63	8,19	21,76	4976	2,099	12,30	1,16	1,92	219	1,008
		7	7,41	8,22	21,94	4975	2,066	12,40	1,12	1,89	219	1,001
Promedio			7,40	8,15	21,76	5037,29	2,23	12,27	1,16	2,01	230,29	1,01

Nota. Representación de los promedios de los datos de las emisiones de cada gas a velocidad crucero y 2000 km de recorrido.

En la Figura 47 se evidencian los datos obtenidos de las emisiones de gases de escape del vehículo a prueba equipado con un convertidor catalítico de dos vías usado, y también con el convertidor catalítico ya tratado, en la Tabla 18 se muestra los resultados del proceso de tratamiento de limpieza por la disminución de los porcentajes de los gases como se puede notar con el promedio de emisión en el Monóxido de Carbono (CO) con una disminución de 6.99 % alcanzando un 1.16 % frente al 8.15 % de la prueba realizada con el monolito totalmente obstruido, el Oxígeno (O₂) alcanzó el 2.01 % presentando una disminución 20.05 % frente a promedio anterior de 21.94 %, de la misma manera se evidencia en los Hidrocarburos (HC) que experimentaron una variación en su valor en 4807 ppm, por lo contrario el Dióxido de Carbono (CO₂) que presenta una incremento de 4.97 % lo cual muestra que el catalizador cumple con su función principal.

Figura 47

Emisiones 2000 km – crucero



Nota. La figura compara las emisiones del catalizador usado y tratado con 2000 km de recorrido del vehículo y régimen de giro en crucero.

4.1.4 Análisis Tratamiento a los 3000 km de Recorrido

a) Ralentí

Para el catalizador de dos vías antes y después del tratamiento, se efectuó las mediciones del comportamiento de los procesos postcombustión con siete ensayos de emisiones Tabla 19.

Tabla 19

Emisiones a ralentí y 3000 km de recorrido

RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 2 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 2 VÍAS				
	REGÍMEN	Prueba	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ
3000	RALENTÍ	1	6,44	7,69	19,62	4700	2,211	12,50	1,23	1,65	120	1,001
		2	6,46	7,63	19,88	4688	2,199	12,55	1,12	1,64	117	1,001
		3	6,17	7,62	19,86	4598	2,196	12,75	1,13	1,63	118	1,000
		4	6,33	7,66	19,91	4562	2,001	12,71	0,99	1,61	113	1,000
		5	6,34	7,52	19,93	4521	2,093	12,72	0,99	1,58	109	1,000
		6	6,28	7,55	19,91	4466	2,035	12,46	0,99	1,56	107	0,970
		7	6,33	7,41	19,93	4233	2,021	12,51	0,99	1,54	111	0,970
Promedio			6,34	7,58	19,86	4538,29	2,11	12,60	1,06	1,60	113,57	0,99

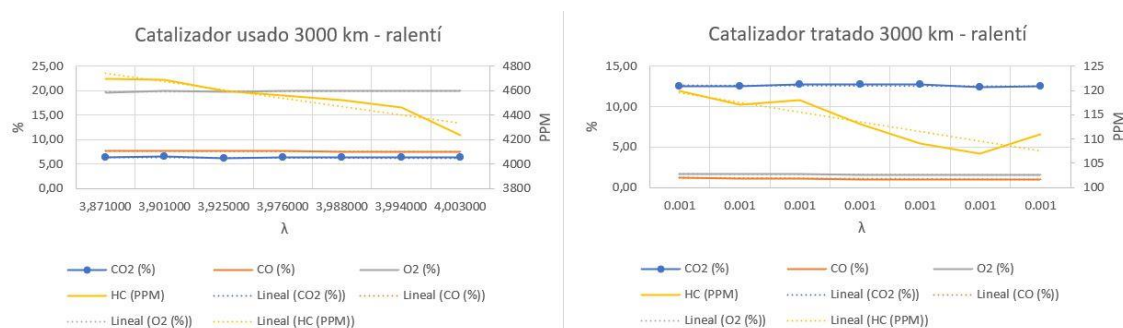
Nota. La tabla evidencia los promedios de los datos de las emisiones de cada gas a ralentí y 3000 km de recorrido.

Los datos de emisiones de gases del vehículo a prueba se evidencian en la Tabla 19 la cual muestra un promedio de las 7 pruebas estáticas realizadas antes y después de someter al monolito del convertidor catalítico al tratamiento de limpieza, en la Figura 48 los datos reflejan como la limpieza de este elemento contribuye a una disminución considerable de los porcentajes de emisión de cada gas como el Monóxido

de Carbono (CO) que con un valor de 7.58 % antes de su tratamiento alcanza un valor de 1.06 % después del mismo, presentando una diferencia de 6.52 %, el Oxígeno (O₂) de la misma manera presenta una disminución de 18.26 %, alcanzando un porcentaje de emisión de 1.60 % después de realizar la limpieza al monolito, los Hidrocarburos (HC) disminuyen en gran parte, alcanzando las 133.57 ppm frente a las 4538.29 ppm que se evidencian en las emisiones del vehículo con equipado con el convertidor catalítico totalmente obstruido, el Dióxido de Carbono (CO₂) se comporta de diferente manera ya que presenta un incremento de 6.26 % alcanzando un valor de 12.60 %.

Figura 48

Emisiones 3000 km – ralentí



Nota. La figura muestra las gráficas de dispersión de emisiones del catalizador usado y tratado con 3000 km de recorrido del vehículo y régimen de giro ralentí.

b) Crucero

Se realizó las mediciones del comportamiento de los procesos postcombustión con siete ensayos de emisiones al catalizador de dos vías antes y después del tratamiento Tabla 20.

Tabla 20

Emisiones a velocidad crucero y 3000 km de recorrido

RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 2 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 2 VÍAS				
	REGÍMEN	Prueba	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ
3000	CRUCERO	1	7,54	8,16	21,23	4100	2,051	12,43	0,78	1,39	156	1,000
		2	7,42	8,48	21,34	4101	2,088	12,15	0,78	1,33	134	1,000
		3	7,31	8,42	21,44	4089	2,021	12,15	0,78	1,32	134	1,000
		4	7,73	8,43	22,26	4075	2,071	12,32	0,78	1,23	156	1,100
		5	7,72	8,45	22,32	4066	2,101	12,35	0,78	1,23	176	1,001
		6	7,66	8,63	21,74	4070	2,056	12,34	0,74	1,17	165	1,001
		7	7,82	8,75	21,95	4081	2,054	12,40	0,73	1,16	167	1,001
Promedio			7,60	8,47	21,75	4083,14	2,06	12,31	0,77	1,26	155,43	1,01

Nota. La tabla muestra los promedios de los datos de las emisiones de cada gas a velocidad crucero y 3000 km de recorrido.

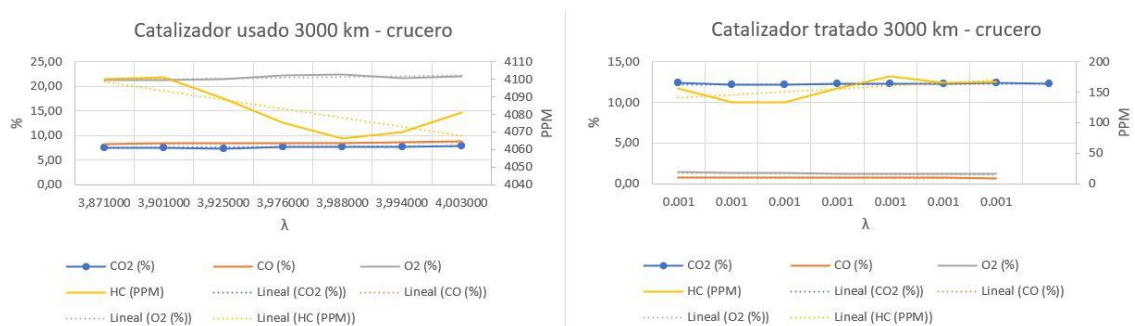
El analizador de gases AGS 688 BRAIN BEE proporcionó datos de emisiones de gases de escape del vehículo a prueba en una velocidad crucero y 3000 km de recorrido, estos datos se encuentran en la Tabla 20, además de los promedios de emisiones de cada gas de las 7 pruebas realizadas.

Las pruebas realizadas al vehículo equipado con un convertidor catalítico de dos vías total mente obstruido y posteriormente con el convertidor catalítico de dos vías sometido al tratamiento de limpieza evidencian en la Figura 49 como este elemento presenta una considerable mejora en su función principal, el Dióxido de Carbono (CO₂) ha alcanzado un valor de porcentaje de 12.31 % presentando un incremento de 4.71 %, por lo contrario el Monóxido de Carbono (CO) ha disminuido su valor al 0.77 % siendo su promedio de porcentaje de emisión sin aplicar el método de limpieza al monolito de 8.47 %, el Oxígeno se comportó de la misma manera y alcanzó una diferencia de 20.49 % y llegó al 1.26 %, Los Hidrocarburos (HC) evidencian una reducción de emisiones de

3927.71 ppm, alcanzando de esta manera a 155.43 ppm, por otro lado el factor Lambda llega a estabilizarse en 1.01 mientras que antes de desarrollar el método de limpieza en el monolito del convertidor catalítico de dos vías era de 2.06.

Figura 49

Emisiones 3000 km – crucero



Nota. La figura compara las emisiones del catalizador usado y tratado con 3000 km de recorrido del vehículo y régimen de giro en crucero.

4.2 Pruebas Estáticas Catalizador de 3 Vías

Las pruebas de emisiones de gases de escape en condiciones estáticas realizadas al vehículo de prueba equipado con un catalizador de tres vías antes (Usado) y después de su tratamiento de limpieza (Tratado) se las realizó con el equipo de medición de gases de escape AGS 688 BRAIN BEE, la Tabla 21 registra los datos obtenidos, para las que se contempló regímenes de giro del motor en ralentí y velocidad crucero considerando un recorrido del vehículo de 0 km a 3000 km, de tal manera de establecer el comportamiento del catalizador en las condiciones indicadas.

Tabla 21

Prueba estática de emisión de gases

RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 3 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 3 VÍAS				
	REGÍMEN	Prueba	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ
0	RALENTÍ	1	8,32	5,56	19,35	6520	3,625	10,25	5,21	14,20	987	1,256
		2	8,53	5,89	19,36	6895	3,682	10,21	5,35	14,23	986	1,234
		3	8,24	5,00	19,45	7596	3,762	10,34	5,36	14,16	984	1,223
		4	8,34	92,00	19,32	7623	3,791	10,36	5,34	14,25	976	1,241
		5	8,51	6,12	19,26	7853	3,956	10,40	5,32	14,24	973	1,231
		6	7,56	6,51	19,24	7824	3,983	10,59	5,31	14,18	971	1,261
		7	7,28	6,53	19,12	7862	4,111	10,57	5,29	14,16	970	1,156
0	CRUCERO	1	9,68	5,60	18,86	7523	4,198	10,35	4,98	15,13	886	1,158
		2	9,21	5,23	18,76	7621	4,234	10,89	4,86	15,11	875	1,152
		3	8,56	5,12	18,71	7534	4,241	10,96	4,72	15,26	873	1,123
		4	8,76	4,98	18,56	7520	4,249	10,86	4,71	15,20	868	1,124
		5	8,86	4,96	18,56	7423	4,253	10,98	4,69	15,15	853	1,111
		6	8,83	4,93	18,24	7413	5,263	11,01	4,67	15,13	849	1,864
		7	8,72	4,92	18,56	7365	4,269	11,02	4,65	15,16	835	1,851
1000	RALENTÍ	1	7,98	6,86	20,12	5892	3,852	11,36	1,91	9,76	586	1,302
		2	7,83	6,25	20,36	5876	3,763	11,42	1,97	9,71	552	1,299
		3	8,22	6,23	20,34	5842	3,712	11,49	1,98	9,65	531	1,299
		4	7,52	6,15	20,32	5789	3,652	11,53	1,96	9,63	489	1,289
		5	7,56	6,12	20,29	5756	3,651	11,59	1,94	9,59	425	1,287
		6	7,49	6,15	20,24	5742	3,581	11,62	1,92	9,52	401	1,287
		7	7,35	6,14	20,21	5741	3,579	11,70	1,89	9,36	387	1,286
1000	CRUCERO	1	8,89	6,98	20,92	5589	3,189	12,53	1,56	7,32	256	1,176
		2	8,45	6,86	21,56	5589	3,176	12,48	1,53	7,56	236	1,173
		3	8,25	6,70	21,53	5543	3,165	12,52	1,51	7,43	221	1,172
		4	7,99	6,53	21,45	5510	3,140	12,59	1,47	7,32	210	1,169
		5	7,89	6,20	21,43	5389	3,099	12,63	1,43	7,26	189	1,166
		6	7,82	5,83	21,41	5345	3,096	12,73	1,40	7,21	176	1,165
		7	7,75	5,70	21,35	5350	3,095	12,75	1,38	7,19	145	1,106
2000	RALENTÍ	1	7,8	6,86	21,56	5100	2,899	12,92	1,21	2,56	75	1,250
		2	7,79	6,79	20,45	4895	2,859	13,01	1,20	2,43	62	1,036
		3	7,56	6,65	20,95	4856	2,849	13,09	1,16	2,41	59	1,320
		4	6,89	6,63	20,45	4812	2,843	13,29	1,14	2,36	51	1,036
		5	6,78	6,62	20,65	4625	2,839	13,35	1,13	2,34	43	1,032
		6	6,58	6,65	20,85	4621	2,832	13,42	1,20	2,31	39	10,31
		7	6,31	6,32	20,45	4601	2,836	13,49	1,09	2,25	31	1,025
2000	CRUCERO	1	8,12	8,65	22,65	4253	2,300	13,20	1,19	1,19	28	1,040
		2	8,15	8,63	22,45	4103	2,279	13,29	1,15	1,13	19	1,021
		3	8,11	8,61	22,36	4023	2,200	13,98	1,12	1,12	12	1,023

RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 3 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 3 VÍAS					
	REGÍMEN	Prueba	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ	
3000	RALENTÍ	4	7,80	8,85	22,49	3982	2,775	13,86	1,05	1,06	18	1,080	
		5	7,76	8,76	22,43	3956	2,771	13,76	1,03	1,09	13	1,015	
		6	7,55	8,75	22,35	3899	2,653	13,82	1,01	1,10	10	1,012	
		7	7,42	8,81	22,34	3820	2,658	13,86	1,01	1,09	9	1,010	
		1	7,89	7,65	20,24	3709	2,200	13,13	0,95	0,98	12	1,009	
		2	7,86	7,63	20,29	3689	2,199	13,25	0,96	0,96	8	1,006	
		3	7,82	7,61	20,31	3685	2,186	13,63	0,93	0,97	6	1,004	
	4	7,73	7,85	20,36	3682	2,176	13,56	0,87	0,92	4	1,003		
	5	6,50	7,76	20,46	3650	2,169	13,64	0,82	0,89	5	1,001		
	6	6,12	7,75	20,53	3620	2,162	13,69	0,60	0,87	0	1,001		
	7	6,13	7,81	20,58	3610	2,158	13,72	0,55	0,89	0	1,000		
	3000	CRUCERO	1	7,53	7,89	22,23	3586	2,029	12,76	0,23	0,40	1	1,000
			2	7,43	7,86	22,25	3465	2,036	13,75	0,21	0,35	0	1,000
			3	6,59	7,82	22,31	3356	2,034	13,79	0,16	0,28	1	1,001
4			6,54	7,72	22,29	3205	2,031	13,85	0,13	0,26	0	1,000	
5			6,32	7,70	22,41	3189	2,028	13,89	0,08	0,21	0	1,000	
6			6,25	7,89	22,45	3102	2,023	13,92	0,06	0,10	2	1,000	
7			6,21	7,82	22,48	3057	2,021	13,95	0,07	0,12	0	1,000	

Nota. Tabulación de datos de las pruebas realizadas al vehículo con un convertidor catalítico totalmente obstruido antes y después de su tratamiento de limpieza.

Los datos obtenidos de emisiones de CO₂, CO, O₂ y HC del vehículo de prueba equipado con el catalizador usado de tres vías justifican que el porcentaje de ratio de conversión catalítica es defectuoso con base a la normativa nacional que establece los rangos permitidos de CO y HC que están en concordancia con el comportamiento de la relación aire – combustible referidos a lambda a través de los resultados alcanzados con indicativos de mezcla pobre; que demuestran el cambio en el porcentaje de emisión de CO₂, además de un incremento del porcentaje del monóxido de carbono y las partículas por millón de hidrocarburos no combustionados. Las mediciones realizadas muestran como el convertidor catalítico ha perdido su capacidad de conversión de gases tóxicos a gases inocuos.

Los datos tabulados reflejan que un convertidor catalítico de tres vías que fue sometido al proceso de limpieza (Tratado) experimenta una estabilización en las emisiones de gases de escape mientras pasa el tiempo de funcionamiento de monolito llegando a un punto donde estas emisiones entran en un rango admisible, mostrando un incremento en la presencia de dióxido de carbono en dichas emisiones y una disminución de las partes por millón de los hidrocarburos así como del porcentaje del monóxido de carbono los cuales hacen que el factor lambda entre en el rango de una mezcla estequiométrica aire – combustible.

Los valores de emisiones de gases emitidos por el convertidor catalítico usado en comparación como las emisiones del convertidor catalítico tratado, experimentan un gran cambio con respecto a la limpieza realizada dando a conocer como el catalizador tratado ha recuperado sus características y está cumpliendo con su función principal ya que los hidrocarburos (HC) tanto como el monóxido de carbono (CO) disminuyen alcanzando el rango permitido en la norma establecida, dejando así una emisión de gases con una concentración ideal en cada gas.

4.2.1 *Análisis Tratamiento a los 0 km de Recorrido*

a) Ralentí

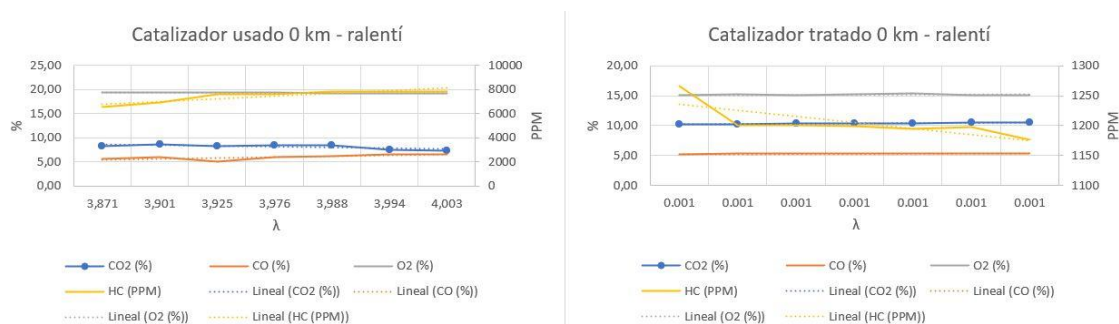
La Tabla 22 refleja los datos de las mediciones de los siete ensayos de emisiones al catalizador de tres vías antes y después del tratamiento y el comportamiento de los procesos postcombustión.

Tabla 22*Emisiones a ralentí y 0 km de recorrido*

RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 3 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 3 VÍAS				
	REGÍMEN	Prueba	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ
0	RALENTÍ	1	8,32	5,56	19,35	6520	3,625	10,25	5,21	14,20	987	1,256
		2	8,53	5,89	19,36	6895	3,682	10,21	5,35	14,23	986	1,234
		3	8,24	5,00	19,45	7596	3,762	10,34	5,36	14,16	984	1,223
		4	8,34	5,91	19,32	7623	3,791	10,36	5,34	14,25	976	1,241
		5	8,51	6,12	19,26	7853	3,956	10,40	5,32	14,24	973	1,231
		6	7,56	6,51	19,24	7824	3,983	10,59	5,31	14,18	971	1,261
		7	7,28	6,53	19,12	7862	4,111	10,57	5,29	14,16	970	1,156
Promedio			8,11	5,93	19,30	7453,29	3,84	10,39	5,31	14,20	978,14	1,23

Nota. Detalle de los promedios de los datos de las emisiones de cada gas a ralentí y 0 km de recorrido.

Los datos mostrados en la Tabla 22 son los porcentajes de los gases de emisiones de escape los cuales reflejan la recuperación del monolito del convertidor catalítico, lo dicho se puede notar de mejor manera en el promedio de porcentaje de emisiones de las siete mediciones realizadas al vehículo en ralentí y a 0 km de recorrido, el Dióxido de Carbono (CO₂) ha incrementado su valor alcanzando un porcentaje igual a 10.39 % frente al valor obtenido por el analizador de gases antes de haber tratado al monolito del convertidor catalítico que es igual a 8.11 %, por lo contrario el Monóxido de carbono (CO) ha disminuido su porcentaje alcanzando el 5.31 % después de tratar al monolito, de la misma manera los Hidrocarburos (HC) han presentado una diferencia de 6475.15 ppm alcanzando así las 978.14 ppm. La gráfica de dispersión mostrada en la Figura 50 detalla el cambio obtenido en el convertidor catalítico de tres vías sometido al tratamiento de limpieza.

Figura 50*Emisiones 0 km – ralentí*

Nota. La figura muestra la comparación de emisiones del catalizador usado y tratado con 0 km de recorrido del vehículo y régimen de giro ralentí.

b) Crucero

Las mediciones del comportamiento de los procesos postcombustión se las realizó con siete ensayos de emisiones al catalizador de tres vías antes y después del tratamiento Tabla 23.

Tabla 23*Emisiones a velocidad crucero y 0 km de recorrido*

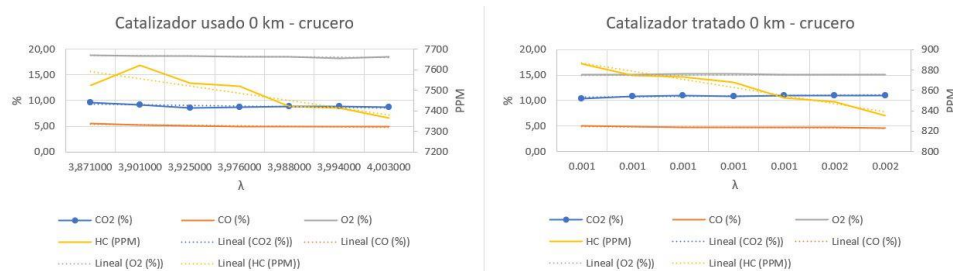
RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 3 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 3 VÍAS				
	REGÍMEN	Prueba	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ
0	CRUCERO	1	9,68	5,60	18,86	7523	4,198	10,35	4,98	15,13	886	1,158
		2	9,21	5,23	18,76	7621	4,234	10,89	4,86	15,11	875	1,152
		3	8,56	5,12	18,71	7534	4,241	10,96	4,72	15,26	873	1,123
		4	8,76	4,98	18,56	7520	4,249	10,86	4,71	15,20	868	1,124
		5	8,86	4,96	18,56	7423	4,253	10,98	4,69	15,15	853	1,111
		6	8,83	4,93	18,24	7413	5,263	11,01	4,67	15,13	849	1,864
		7	8,72	4,92	18,56	7365	4,269	11,02	4,65	15,16	835	1,851
Promedio			8,95	5,11	18,61	7485,57	4,39	10,87	4,75	15,16	862,71	1,34

Nota. La tabla revela los promedios de los datos de las emisiones de cada gas a velocidad crucero y 0 km de recorrido.

Las mediciones realizadas al vehículo a velocidad crucero en 0 km de recorrido han arrojado datos en porcentaje de los gases de emisiones de escape los cuales se encuentran tabulados en la Tabla 23, el promedio en porcentaje de cada gas presente en las emisiones de escape del vehículo a prueba evidencian una variación en los mismos después de realizar el proceso de limpieza al monolito del convertidor catalítico de tres vías, el Monóxido de carbono (CO) ha alcanzado un porcentaje de 4.75 % experimentando una disminución de 0.36 %, de la misma manera reacciona el Oxígeno (O₂) presentando una variación en su valor alcanzando con el catalizador tratado de 15.16 % frente a su valor anterior de 18.61 %, los Hidrocarburos (HC) al igual que los anteriores han disminuido su valor en 6622.86 ppm alcanzando las 862.71 ppm, por lo contrario el Dióxido de Carbono (CO₂) incrementa su valor llegado al 10.87 % frente a su valor de emisión del catalizador usado que es de 8.95 %, por otro lado el factor Lambda presenta un gran cambio ya que disminuyó 3.41 unidades casi alcanzando la unidad. La Figura 51 muestra la gráfica de dispersión por parte de los porcentajes de los gases vs el factor lambda que analizando la misma, se observa una mejora en el catalizador tratado.

Figura 51

Emisiones 0 km – crucero



Nota. Comparación de emisiones del catalizador usado y tratado con 0 km de recorrido del vehículo y régimen de giro en crucero.

4.2.2 Análisis Tratamiento a los 1000 km de Recorrido

a) Ralentí

Con siete ensayos de emisiones al catalizador de tres vías antes y después del tratamiento Tabla 24, se evidencia las mediciones del comportamiento de los procesos postcombustión.

Tabla 24

Emisiones a ralentí y 1000 km de recorrido

RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 3 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 3 VÍAS				
	REGÍMEN	Prueba	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ
1000	RALENTÍ	1	7,98	6,86	20,12	5892	3,852	11,36	1,91	9,76	586	1,302
		2	7,83	6,25	20,36	5876	3,763	11,42	1,97	9,71	552	1,299
		3	8,22	6,23	20,34	5842	3,712	11,49	1,98	9,65	531	1,299
		4	7,52	6,15	20,32	5789	3,652	11,53	1,96	9,63	489	1,289
		5	7,56	6,12	20,29	5756	3,651	11,59	1,94	9,59	425	1,287
		6	7,49	6,15	20,24	5742	3,581	11,62	1,92	9,52	401	1,287
		7	7,35	6,14	20,21	5741	3,579	11,70	1,89	9,36	387	1,286
Promedio			7,71	6,27	20,27	5805,43	3,68	11,53	1,94	9,60	481,57	1,29

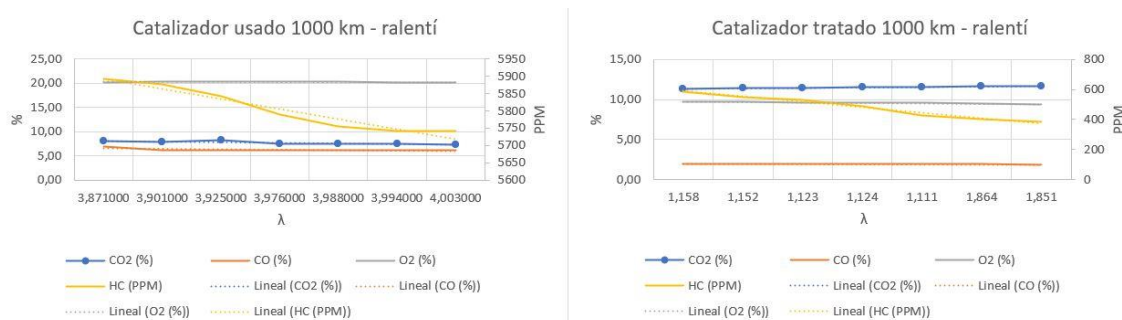
Nota. La tabla muestra los promedios de los datos de las emisiones de cada gas a ralentí y 1000 km de recorrido.

En los datos mostrados en la Tabla 24 se evidencia como los gases contaminantes reducen su porcentaje de emisión de una manera considerable después de que se ha equipado al vehículo con el convertidor catalítico tratado, cabe recalcar que a diferencia de los demás gases el Dióxido de Carbono (CO₂) aumenta su presencia en porcentaje ya que este alcanza un valor de 11.53 % después de incrementar el 3.82 % desde su dato inicial, el Monóxido de Carbono (CO) ha sufrido

una diferencia en su valor de 4.33 % llegando al 1.94 %, de la misma manera se comporta el Oxígeno (O_2) el cual ha disminuido su porcentaje en la prueba realizada al vehículo equipado con el convertidor catalítico tratado llegando al 9.60 %, los Hidrocarburos (HC) al igual que los gases nombrados anteriormente sufrió un cambio alcanzando las 481.57 ppm, por otro lado el factor lambda disminuye en 2.293 unidades alcanzando un valor de 1.286.

Figura 52

Emisiones 1000 km – ralentí



Nota. En la figura se compara las emisiones del catalizador usado y tratado con 1000 km de recorrido del vehículo y régimen de giro ralentí.

b) Crucero

Las mediciones del comportamiento de los procesos postcombustión se realizó con siete ensayos de emisiones al catalizador de tres vías antes y después del tratamiento Tabla 25.

Tabla 25*Emisiones a velocidad crucero y 1000 km de recorrido*

RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 3 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 3 VÍAS				
	REGÍMEN	Prueba	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ
1000	CRUCERO	1	8,89	6,98	20,92	5589	3,189	12,53	1,56	7,32	256	1,176
		2	8,45	6,86	21,56	5589	3,176	12,48	1,53	7,56	236	1,173
		3	8,25	6,70	21,53	5543	3,165	12,52	1,51	7,43	221	1,172
		4	7,99	6,53	21,45	5510	3,140	12,59	1,47	7,32	210	1,169
		5	7,89	6,20	21,43	5389	3,099	12,63	1,43	7,26	189	1,166
		6	7,82	5,83	21,41	5345	3,096	12,73	1,40	7,21	176	1,165
		7	7,75	5,70	21,35	5350	3,095	12,75	1,38	7,19	145	1,106
Promedio			8,15	6,40	21,38	5473,57	3,14	12,60	1,47	7,33	204,71	1,16

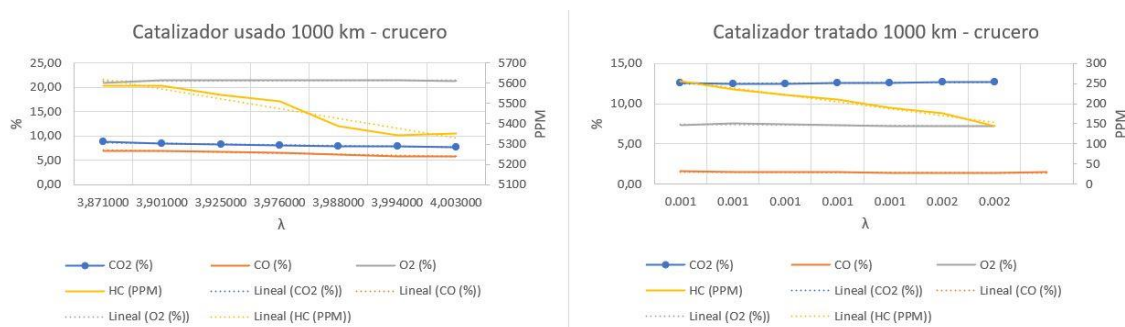
Nota. En la tabla se evidencia los promedios de los datos de las emisiones de cada gas a velocidad crucero y 1000 km de recorrido.

Al aplicar al monolito el proceso de tratamiento de limpieza y al ser instalado en el vehículo de prueba este experimenta una autolimpieza, y es por esto que los gases van disminuyendo su porcentaje de emisión poco a poco como se puede evidenciar en la Tabla 25 en la cual se encuentran los datos de emisiones de escape realizadas al vehículo, se puede evidenciar como los valores presentan un cambio significativo en las pruebas realizadas al convertidor catalítico tratado a diferencia de cuando este elemento se encuentra totalmente obstruido y presenta valores de emisión sin variación considerable, para analizar el porcentaje de los gases se muestra un promedio de las siete pruebas realizadas a velocidad crucero y 1000 km de recorrido, el Dióxido de Carbono (CO₂) con un convertidor catalítico tratado ha presentado un incremento de emisión alcanzando un valor de 12.75 % frente a su porcentaje de emisión con el convertidor catalítico obstruido el cual es de 7.82 %, el Monóxido de Carbono (CO) se comporta de diferente manera ya que este disminuye su valor alcanzando el 1.74 % siendo el valor de emisión anterior de 6.40 % teniendo una diferencia de 4.66 %, de la

misma manera el Oxígeno (O₂) experimenta una diferencia de reducción de 14.05 % entre los porcentajes de emisión antes y después de aplicar el método de limpieza al monolito del convertidor catalítico, los Hidrocarburos (HC) alcanzaron las 204.71 ppm presentando una variación de 5268.86 ppm, por otra parte el factor Lambda alcanza 1.16 unidades presentando una disminución de 1.98 unidades.

Figura 53

Emisiones 1000 km – crucero



Nota. La figura detalla la comparación de emisiones del catalizador usado y tratado con 1000 km de recorrido del vehículo y régimen de giro en crucero.

4.2.3 Análisis tratamiento a los 2000 km de Recorrido

a) Ralentí

Se efectuó las mediciones del comportamiento de los procesos postcombustión con siete ensayos de emisiones al catalizador de tres vías antes y después de aplicar el tratamiento de limpieza Tabla 26.

Tabla 26*Emisiones a ralentí y 2000 km de recorrido*

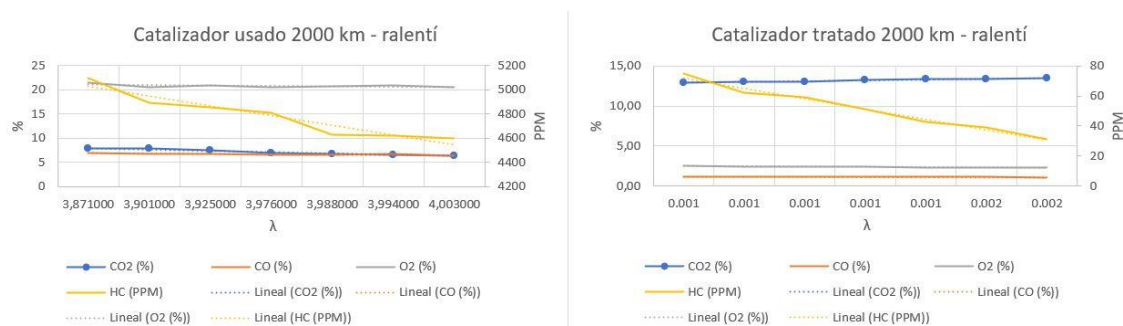
RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 3 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 3 VÍAS				
	REGÍMEN	Prueba	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ
2000	RALENTÍ	1	7,8	6,86	21,56	5100	2,899	12,92	1,21	2,56	75	1,250
		2	7,79	6,79	20,45	4895	2,859	13,01	1,20	2,43	62	1,036
		3	7,56	6,65	20,95	4856	2,849	13,09	1,16	2,41	59	1,320
		4	6,89	6,63	20,45	4812	2,843	13,29	1,14	2,36	51	1,036
		5	6,78	6,62	20,65	4625	2,839	13,35	1,13	2,34	43	1,032
		6	6,58	6,65	20,85	4621	2,832	13,42	1,20	2,31	39	1,031
		7	6,31	6,32	20,45	4601	2,836	13,49	1,09	2,25	31	1,025
Promedio			7,10	6,65	20,77	4787,14	2,85	13,22	1,16	2,38	51,43	1,10

Nota. En la tabla se muestra los promedios de los datos de las emisiones de cada gas a ralentí y 2000 km de recorrido.

En la Tabla 26 se encuentra la tabulación de los datos de emisión de escape del vehículo a prueba antes y después de someter al monolito del convertidor catalítico a su recuperación, las pruebas se las realizaron con el vehículo a ralentí y 2000 km de recorrido, el Dióxido de Carbono (CO₂) aumenta su presencia en porcentaje ya que este alcanza un valor de 13.22 % después de incrementar el 6.12 % desde su dato anterior, el Monóxido de Carbono (CO) ha disminuido su valor un 5.49 % llegando al 1.16 %, de la misma manera se comporta el Oxígeno (O₂) el cual ha disminuido su porcentaje en la prueba realizada al vehículo equipado con el convertidor catalítico tratado llegando al 2.38 %, los Hidrocarburos (HC) al igual que los gases nombrados anteriormente sufrió un cambio alcanzando las 51.43 ppm, por otro lado el factor lambda disminuye en 1.75 unidades alcanzando un valor de 1.10.

Figura 54

Emisiones 2000 km – ralentí



Nota. La figura detalla la comparación de emisiones del catalizador usado y tratado con 2000 km de recorrido del vehículo y régimen de giro ralentí.

a) Crucero

La Tabla 27 detalla las mediciones del comportamiento de los procesos postcombustión con siete ensayos de emisiones al catalizador de tres vías antes y después del tratamiento.

Tabla 27

Emisiones a velocidad crucero y 2000 km de recorrido

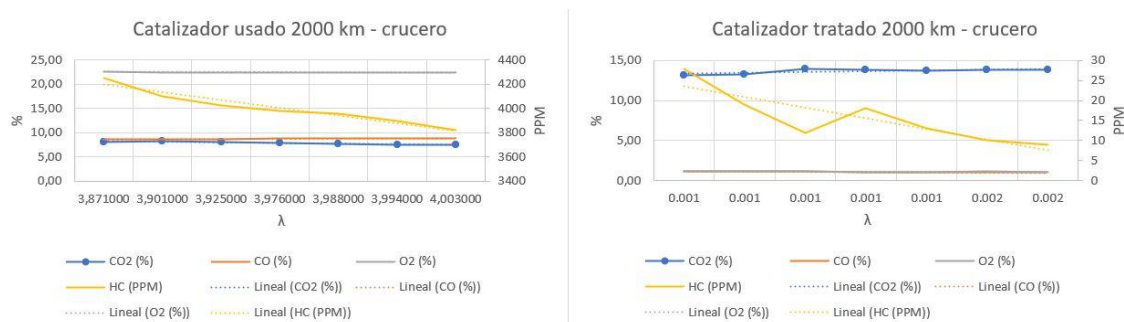
RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 3 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 3 VÍAS				
	REGÍMEN	Prueba	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ
2000	CRUCERO	1	8,12	8,65	22,65	4253	2,300	13,20	1,19	1,19	28	1,040
		2	8,15	8,63	22,45	4103	2,279	13,29	1,15	1,13	19	1,021
		3	8,11	8,61	22,36	4023	2,200	13,98	1,12	1,12	12	1,023
		4	7,80	8,85	22,49	3982	2,775	13,86	1,05	1,06	18	1,080
		5	7,76	8,76	22,43	3956	2,771	13,76	1,03	1,09	13	1,015
		6	7,55	8,75	22,35	3899	2,653	13,82	1,01	1,10	10	1,012
		7	7,42	8,81	22,34	3820	2,658	13,86	1,01	1,09	9	1,010
Promedio			7,84	8,72	22,44	4005,14	2,52	13,68	1,08	1,11	15,57	1,03

Nota. La tabla muestra los datos de las emisiones de cada gas a velocidad crucero y 2000 km de recorrido.

A velocidad crucero y con 2000 km de recorrido al vehículo se le realizó siete pruebas de emisiones de gases de escape antes y después de haber restaurado al monolito del convertidor catalítico con el método de limpieza seleccionado, en la Tabla 27 se evidencia en el promedio de los porcentajes de emisión de las siete pruebas de cada gas como el convertidor catalítico recupera su función principal después de haberle tratado ya que el Dióxido de Carbono (CO_2) aumenta su porcentaje hasta llegar al 13.68 % frente a su valor de emisión anterior de 7.84 %, por lo contrario el Monóxido de Carbono (CO) disminuye su valor en el 7.6 % alcanzado de esta manera una 1.08 %, de la misma manera el Oxígeno disminuye dicha emisión hasta el 1.11 %

Figura 55

Emisiones 2000 km – crucero



Nota. Comparación de los datos de emisiones del catalizador usado y tratado con 2000 km de recorrido del vehículo y régimen de giro en crucero.

4.2.4 Análisis tratamiento a los 3000 km de Recorrido

a) Ralentí

Se realizó las mediciones del comportamiento de los procesos postcombustión con siete ensayos de emisiones al catalizador de tres vías antes y después del tratamiento Tabla 28.

Tabla 28

Emisiones a ralentí y 3000 km de recorrido

RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 3 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 3 VÍAS				
	REGÍMEN	Prueba	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ
3000	RALENTÍ	1	7,89	7,65	20,24	3709	2,200	13,13	0,95	0,98	12	1,009
		2	7,86	7,63	20,29	3689	2,199	13,25	0,96	0,96	8	1,006
		3	7,82	7,61	20,31	3685	2,186	13,63	0,93	0,97	6	1,004
		4	7,73	7,85	20,36	3682	2,176	13,56	0,87	0,92	4	1,003
		5	6,50	7,76	20,46	3650	2,169	13,64	0,82	0,89	5	1,001
		6	6,12	7,75	20,53	3620	2,162	13,69	0,60	0,87	0	1,001
		7	6,13	7,81	20,58	3610	2,158	13,72	0,55	0,89	0	1,000
Promedio			7,15	7,72	20,40	3663,57	2,18	13,52	0,81	0,93	5,00	1,00

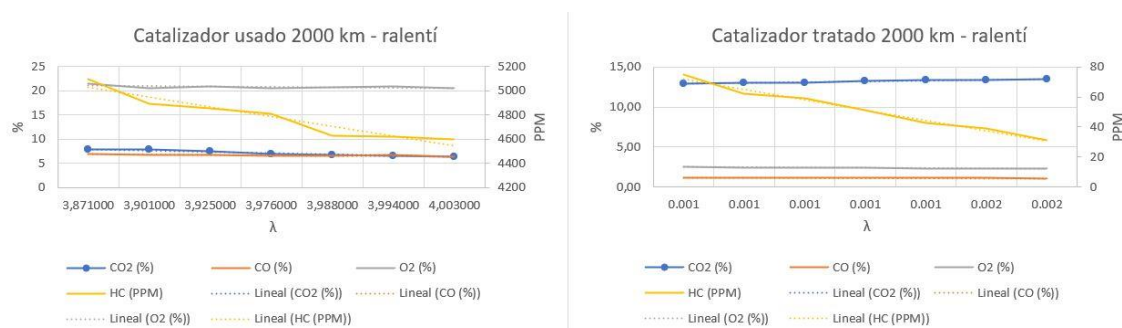
Nota. Promedios de los datos de las emisiones de cada gas a ralentí y 3000 km de recorrido.

En la Tabla 28 se muestran los datos de emisiones de gases de escape del vehículo el cual presenta un recorrido de 3000 km y se encuentra en un régimen de giro a ralentí, el promedio de los valores que presentan cada gas se encuentra en la última fila de la Tabla 28 el cual permite realizar un análisis de dichas emisiones antes y después de haber tratado al monolito del convertidor catalítico, el Dióxido de Carbono (CO₂) experimenta un incremento de 6.37 % en valor, alcanzado un porcentaje de

emisión de 13.52 % que es producido por el catalizador tratado, por lo contrario el Monóxido de Carbono (CO) presenta un cambio de un 6.91 % frente al valor de emisión con el monolito totalmente obstruido que es de 7.72 % y alcanza el 0.81 % cuando este elemento ya fue tratado, de la misma manera disminuye el porcentaje de emisión del Oxígeno alcanzado un 0.93 % de presencia en los gases de escape del vehículo a prueba, los Hidrocarburos (HC) experimentan una disminución muy considerable de 3658.57 ppm y alcanza las 5 ppm lo cual es un valor totalmente aprobado, por otra parte el factor Lambda alcanza la unidad (1), que es el valor en el cual debe permanecer este elemento.

Figura 56

Emisiones 3000 km – ralentí



Nota. Comparación de emisiones del catalizador usado y tratado con 3000 km de recorrido del vehículo y régimen de giro ralentí.

b) Crucero

Con siete ensayos de emisiones al catalizador de tres vías antes y después del tratamiento Tabla 29, se realizó las mediciones del comportamiento de los procesos postcombustión.

Tabla 29

Emisiones a velocidad crucero y 3000 km de recorrido

RECORRIDO (KM)	PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR USADO 3 VÍAS							PRUEBA ESTÁTICA CATALIZADOR TRATADO 3 VÍAS				
	REGÍMEN	Prueba	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ
3000	CRUCERO	1	7,53	7,89	22,23	3586	2,029	12,76	0,23	0,40	1	1,000
		2	7,43	7,86	22,25	3465	2,036	13,75	0,21	0,35	0	1,000
		3	6,59	7,82	22,31	3356	2,034	13,79	0,16	0,28	1	1,001
		4	6,54	7,72	22,29	3205	2,031	13,85	0,13	0,26	0	1,000
		5	6,32	7,70	22,41	3189	2,028	13,89	0,08	0,21	0	1,000
		6	6,25	7,89	22,45	3102	2,023	13,92	0,06	0,10	2	1,000
		7	6,21	7,82	22,48	3057	2,021	13,95	0,07	0,12	0	1,000
Promedio			6,70	7,81	22,35	3280,00	2,03	13,70	0,13	0,25	0,57	1,00

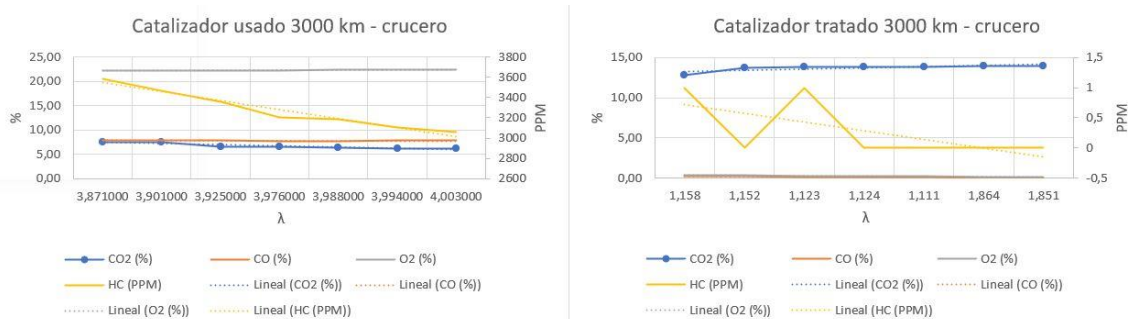
Nota. En la tabla se observa los datos de las emisiones de cada gas a velocidad crucero y 3000 km de recorrido.

Cuando el vehículo tiene un recorrido de 3000 km y experimente una velocidad crucero, el monolito del convertidor catalítico tratado ha terminado de realizar su autolimpieza y sus valores de emisión comienzan a estabilizarse como se evidencia en la Tabla 29, los promedios de las 7 pruebas realizadas al vehículo en las condiciones descritas muestran como la diferencia de los datos recuperados por el analizador de gases AGS 688 BRAIN BEE son totalmente considerables después de que el monolito del convertidor catalítico fue sometido al tratamiento de limpieza, el Dióxido de Carbono (CO₂) aumenta su porcentaje alcanzando el 13.70 % como promedio de emisión, por lo

contrario el Monóxido de Carbono (CO) experimenta una diferencia de 7.68 % en su valor el cual llega a ser de 0.13 %, el porcentaje de presencia del Oxígeno en los gases de escape con el monolito tratado el de 0.25 % frente a su valor anterior con el monolito totalmente obstruido de 22.35 %, los Hidrocarburos de igual manera alcanza una presidencia de 0.57 ppm presentando una diferencia de 3279.43 ppm frente a su valor anterior de 3280 ppm, el factor Lambda se estabiliza el 1 e indica que los datos emisiones son las requeridas.

Figura 57

Emisiones 3000 km – crucero



Nota. La figura detalla la comparación de emisiones del catalizador usado y tratado con 3000 km de recorrido del vehículo y régimen de giro en crucero.

4.3 Pruebas Dinámicas

Las pruebas dinámicas realizadas al vehículo equipado con un convertidor catalítico antes (Usado) y después de su tratamiento de limpieza (Tratado) están basadas en el protocolo armonizado WLTP, con la ayuda del analizador de gases portátil KANE Autoplus 4-2 se tomarán datos de los gases de escape en cada caso.

En la Tabla 30 se observa siete mediciones realizadas al vehículo de prueba a velocidades de 30 Km/h, 50 Km/h, 70 Km/h y 100 Km/h y una octava medición sin carga, con una duración de 60 segundos cada una, además de los promedios de de emisiones en cada prueba.

Tabla 30*Prueba dinámica de emisión de gases*

VELOCIDAD (Km/h)	Prueba	PRUEBA DINÁMICA WLTP CATALIZADOR USADO						PRUEBA DINÁMICA WLTP CATALIZADOR TRATADO				
		TIEMPO (S)	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ
30	1	60	11	0,26	0	568	0,963	12,1	0,02	0	19	0,998
	2	120	10,7	0,17	0	232	0,981	12,1	0,04	0	24	0,997
	3	180	11,3	0,49	0	316	0,966	12,1	0,13	0	34	0,994
	4	240	12,1	0,07	0	274	0,985	12,1	0,02	0	28	0,998
	5	300	11,4	0,23	0	283	0,977	12,1	0,06	0	39	0,996
	6	360	10,8	0,13	0	236	0,982	12,1	0,03	0	35	0,997
	7	420	10,9	0,13	0	217	0,983	12	0,05	0	46	0,996
Prueba sin carga	8	60	11,7	0,34	0	164	0,98	13,6	0,01	0	14	0,999
PROMEDIO		217,50	11,24	0,23	0,0	286,25	0,98	12,28	0,05	0,00	29,88	1,00
50	1	480	11,8	0,09	0	144	0,962	8,5	0,08	0	5	0,996
	2	540	12,1	0,09	0	105	0,992	11,5	0,03	0	2	0,999
	3	600	11,3	0,15	0	183	0,985	12,4	0	0	0	1
	4	660	11,4	0,07	0	93	0,992	12,7	0,03	0	0	0,999
	5	720	11,7	0,04	0	62	0,995	12,5	0,02	0	2	0,999
	6	780	0,3	0,13	0	130	0,722	10,5	0	0	0	1
	7	840	0,2	0,03	0	6	0,935	12	0,03	0	0	0,999
Prueba sin carga	8	60	12,2	0,15	0	0,09	0,995	13,2	0	0	0	1
PROMEDIO		585,00	8,88	0,09	0,0	90,39	0,95	11,66	0,02	0,00	1,13	1,00
70	1	900	0,4	0,03	0	7	0,969	11,1	0,03	0	0	0,999
	2	960	0,1	0,03	0	3	0,897	10,7	0,04	0	0	0,998
	3	1020	0,4	0,04	0	3	0,962	11,4	0,07	0	0	0,997
	4	1080	0,4	0,14	0	151	0,74	13,2	0,13	0	0	0,996
	5	1140	0,3	0,04	0	8	0,929	12,9	0,01	0	0	1
	6	1200	0,5	1,37	0	217	.....	13,3	0,01	0	0	1
	7	1260	0,3	3,12	0	75	.....	11,3	0,01	0	0	1
Prueba sin carga	8	60	10,9	0,01	0	46	0,999	13,5	0,01	0	1	1
PROMEDIO		952,50	1,66	0,60	0,0	63,75	0,92	12,18	0,04	0,00	0,13	1,00
100	1	1320	0,4	0,35	0	36	0,751	13,1	0	0	0	1
	2	1380	0,6	0,32	0	0	0,838	13,2	0	0	0	1

VELOCIDAD (Km/h)	PRUEBA DINÁMICA WLTP CATALIZADOR USADO							PRUEBA DINÁMICA WLTP CATALIZADOR TRATADO				
	Prueba	TIEMPO (S)	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ
1000	3	1440	0,4	0,26	0	135	0,72	13,2	0,02	0	0	0,999
	4	1500	0,5	0,14	0	107	0,815	13,2	0	0	0	1
	5	1560	0,4	2,19	0	252	.....	13,2	0,17	0	0	0,994
	6	1620	0,5	1,08	0	159	.....	11,4	0	0	0	1
	7	1680	0,5	0,19	0	0	.....	11,4	0	0	0	1
Prueba sin carga	8	60	12,3	0	0	21	0,999	12,61	0,03	0,00	0,02	1,00
PROMEDIO		1320	1,95	0,57	0,0	88,75	0,82	12,66	0,03	0,00	0,00	1,00

Nota. La tabla refleja la tabulación de datos de las pruebas realizadas al vehículo con un catalizador antes y después de su tratamiento de limpieza.

Los valores obtenidos de los gases de CO₂, CO, O₂ y HC presentes en las emisiones de gases de escape del vehículo de prueba equipado con el catalizador usado evidencian que el porcentaje de ratio de conversión catalítica es ineficiente respecto los rangos de HC y CO que establece las normativa nacional además de encontrarse en concordancia con el comportamiento de la relación aire – combustible referidos a lambda a través de los resultados alcanzados con indicadores de mezcla pobre; que indican el incremento del porcentaje del monóxido de carbono y las partículas por millón de hidrocarburos no combustionados. Estas características de emisiones son indicadores que evidencian como el convertidor catalítico ha perdido su capacidad de conversión de gases tóxicos a gases inocuos.

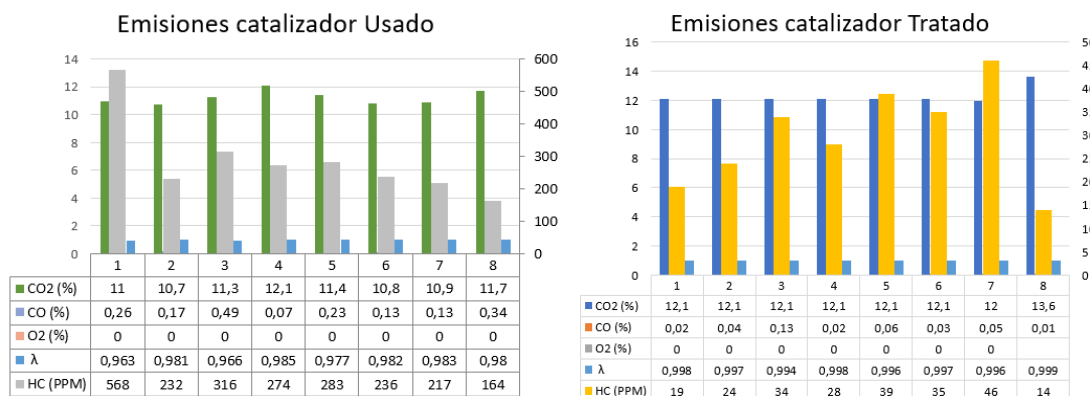
Los datos tomados de los gases provenientes del convertidor catalítico que fue sometido al proceso de limpieza (Tratado) reflejan una estabilización en los porcentajes de las emisiones de escape mientras pasa el tiempo de funcionamiento de monolito llegando a un punto donde el elemento a terminado la fase de auto limpieza, mostrando un incremento en la presencia de dióxido de carbono (CO₂) en dichas emisiones

además de una reducción de las partes por millón de los hidrocarburos así como también del porcentaje del monóxido de carbono los cuales hacen que el factor lambda entre en el rango de una mezcla estequiométrica aire – combustible.

Con los datos tomados de esta prueba se puede constatar como las emisiones de gases cambian después de que se ha tratado al convertidos catalítico, esto indica que los gases emitidos por el vehículo hacia el ambiente sean menos contaminantes ya que los hidrocarburos (HC) tanto como el monóxido de carbono (CO) disminuyen considerablemente dejando así una emisión de gases con concentraciones que se encuentran dentro del rango establecido en la norma nacional.

4.3.1 Emisiones a 30 km/h

La Figura 58 de emisiones de gases del catalizador usado da a conocer que los gases de emisión se encuentran en un rango muy elevado a diferencia de la emisión de estos con un catalizador que tratado, un ejemplo de esto son los hidrocarburos (HC) los cuales en la prueba 1 se encuentran en 558 ppm a diferencia de usar un catalizador en el cual ya se aplicó el método de limpieza y este valor se encuentra en 19 ppm, cabe recalcar que en las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) sucede lo contrario ya que estas aumenta cumpliendo así la función normar de una catalizador.

Figura 58*Emisiones a 30 Km/h*

Nota. El gráfico muestra los datos de las emisiones a 30 km/h del vehículo con un catalizador usado y tratado.

La Tabla 31 presenta los promedios de emisiones de gases en cada prueba, permitiendo analizar porcentualmente el cambio en cada una de ellas, el Dióxido de carbono (CO₂) emitido con un catalizador usado presenta un 11.24 % a diferencia de usar un catalizador tratado el cual se encuentra en un 12.28 % existiendo un 1.04 % mayor demostrando así que el catalizador está cumpliendo con su función principal, de la misma manera se puede analizar el promedio del Monóxido de Carbono (CO) el cual se encuentra en un 0.23 % con el catalizador usado y 0.05% con el catalizador tratado existiendo una disminución de 0.18%, el Oxígeno se encuentra en una emisión del 0% en las pruebas realizadas tanto con el catalizador usado como con el catalizador tratado, los Hidrocarburos (HC) se encuentran en un promedio de 286.25 ppm con un catalizador usado y en 29.88 ppm con el catalizador tratado existiendo una disminución de 256.37 ppm, el factor Lambda λ con el catalizador tratado se observa que en promedio se encuentra en 1 a diferencia del catalizador usado que está en 0.98.

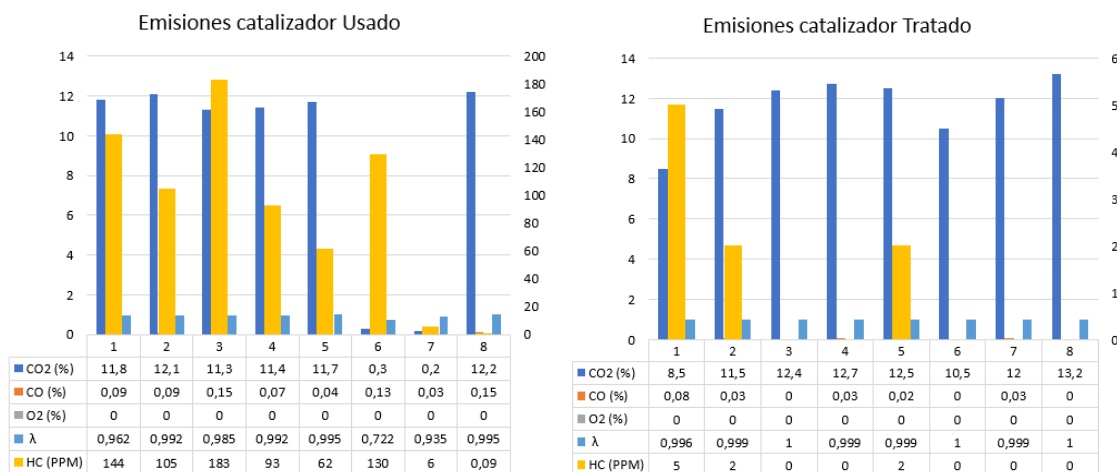
Tabla 31*Promedios de emisiones a 30 Km/h*

VELOCIDAD (Km/h)	PRUEBA DINÁMICA WLTP CATALIZADOR USADO							PRUEBA DINÁMICA WLTP CATALIZADOR TRATADO				
	Prueba	TIEMPO (S)	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ
30	1	60	11	0,26	0	568	0,963	12,1	0,02	0	19	0,998
	2	120	10,7	0,17	0	232	0,981	12,1	0,04	0	24	0,997
	3	180	11,3	0,49	0	316	0,966	12,1	0,13	0	34	0,994
	4	240	12,1	0,07	0	274	0,985	12,1	0,02	0	28	0,998
	5	300	11,4	0,23	0	283	0,977	12,1	0,06	0	39	0,996
	6	360	10,8	0,13	0	236	0,982	12,1	0,03	0	35	0,997
	7	420	10,9	0,13	0	217	0,983	12	0,05	0	46	0,996
	8	60	11,7	0,34	0	164	0,98	13,6	0,01	0	14	0,999
PROMEDIO		217,50	11,24	0,23	0,00	286,25	0,98	12,28	0,05	0,00	29,88	1,00

Nota. Promedios de los datos de las emisiones de cada gas a una velocidad del vehículo a 30 Km/h.

4.3.2 Emisiones a 50 km/h

Al aumentar la velocidad del vehículo se nota una leve disminución en el porcentaje de emisiones como se muestra en la Figura 59 pero cabe recalcar que los gases más contaminantes como los hidrocarburos aún se encuentran en un alto rango de (PPM), en la misma figura se puede notar como las emisiones de gases del vehículo después del proceso de tratamiento del catalizador disminuyen considerablemente a diferencia de la emisión cuando este se encuentra obstruido, con impresos y lleno de carbonilla.

Figura 59*Emisiones a 50Km/h*

Nota. El gráfico compara los datos de las emisiones a 50 km/h del vehículo con un catalizador usado y tratado.

En la Tabla 32 se observa los promedios de los datos tomados de las pruebas realizadas a los catalizadores antes y después de realizar el tratamiento de limpieza en los mismos, se puede notar un aumento de 2.78 % de emisión de Dióxido de Carbono (CO₂) con el catalizador tratado, por lo contrario, en las emisiones de Monóxido de Carbono (CO) se presenta una disminución de 0.07 %, la emisión de Oxígeno en cada prueba registra una emisión del 0 %, en los Hidrocarburos (HC) los cuales presentan una disminución de 90.74 ppm, el factor Lambda λ con el catalizador tratado es de 1 a diferencia de antes del tratamiento que se encuentra en 0.95, estos datos muestran como el catalizador después de haber recibido un el tratamiento de limpieza este vuelve a cumplir con su función principal.

Tabla 32*Promedios de emisiones a 50 Km/h*

VELOCIDAD (Km/h)	PRUEBA DINÁMICA WLTP CATALIZADOR USADO							PRUEBA DINÁMICA WLTP CATALIZADOR TRATADO				
	Prueba	TIEMPO (S)	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ
50	1	480	11,8	0,09	0	144	0,962	8,5	0,08	0	5	0,996
	2	540	12,1	0,09	0	105	0,992	11,5	0,03	0	2	0,999
	3	600	11,3	0,15	0	183	0,985	12,4	0	0	0	1
	4	660	11,4	0,07	0	93	0,992	12,7	0,03	0	0	0,999
	5	720	11,7	0,04	0	62	0,995	12,5	0,02	0	2	0,999
	6	780	0,3	0,13	0	130	0,722	10,5	0	0	0	1
	7	840	0,2	0,03	0	6	0,935	12	0,03	0	0	0,999
	8	60	12,2	0,15	0	0,09	0,995	13,2	0	0	0	1
PROMEDIO		585,00	8,88	0,09	0,00	90,39	0,95	11,66	0,02	0,00	1,13	1,00

Nota. En la tabla se encuentran los promedios de los datos de las emisiones de cada gas a una velocidad del vehículo a 50 Km/h.

4.3.3 Emisiones a 70 km/h

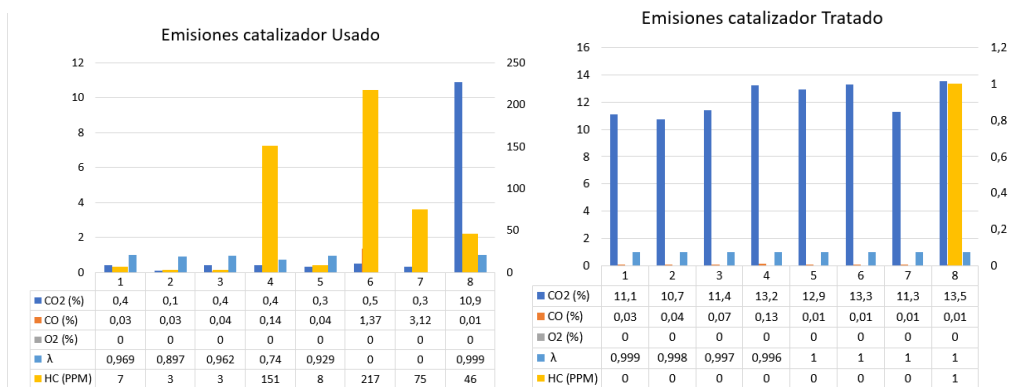
Las emisiones de gases del vehículo a 70 km/h disminuyen, en los datos proporcionados por el analizador de gases y tabulados como se muestra en la Figura 60, se conoce que las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) a esta velocidad siguen siendo considerables cuando el vehículo este equipado con un catalizador que ya haya terminado con su tiempo de vida útil.

En la Figura 60 la cual presenta la tabulación de datos de las emisiones de gases de un vehículo equipado con un catalizador tratado se observa como los gases más contaminantes que son los HC y el CO disminuyen casi en su totalidad, haciendo

así que los gases que envía el vehículo hacia la atmosfera no sean perjudiciales con el ambiente.

Figura 60

Emisiones a 70 Km/h



Nota. El gráfico compara los datos de las emisiones a 70 km/h del vehículo con un catalizador usado y tratado.

En la Tabla 33 se encuentra el promedio en porcentajes de emisiones de las pruebas dinámicas realizadas al vehículo en la cual se puede analizar porcentualmente los cambios que presentan dichas emisiones, el Dióxido de Carbono (CO₂) emitido por el vehículo con el catalizador usado es de 1.66 % mientras que con el catalizador tratado se encuentra en 12.18 % existiendo un aumento de 10.52 %, en el Monóxido de Carbono en la primera prueba se encuentra en 0.60 % mientras que el catalizador tratado emite el 0.04 % de este gas, teniendo una diferencia de 0.56 %, de la misma manera sucede con los Hidrocarburos (HC) que presentan una disminución de 63.62 ppm ya que en la prueba realizada al catalizador usado presenta una emisión de 63.75 ppm y después de haber recibido el tratamiento de limpieza la emisión es de 0.13 ppm, el factor Lambda λ se encuentra en 0.92 y des pues se encuentra en 1.

Tabla 33*Promedios de emisiones a 70 Km/h*

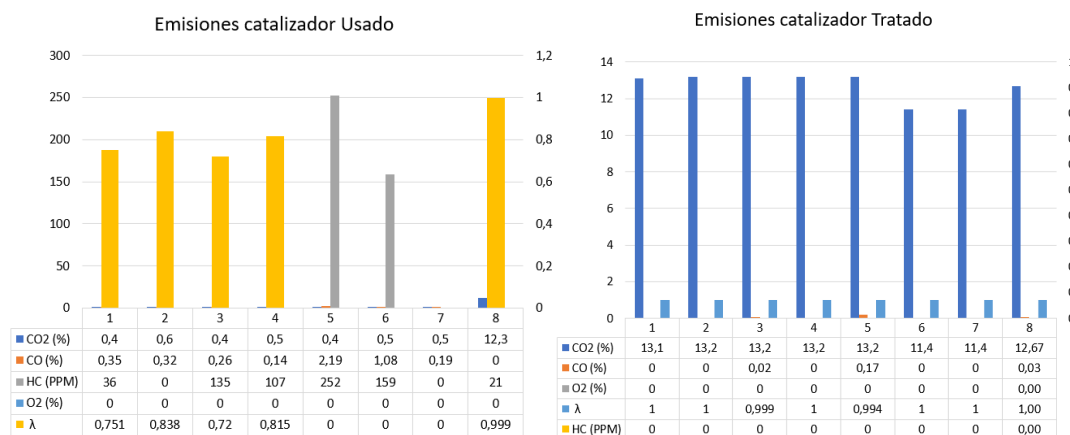
VELOCIDAD (Km/h)	PRUEBA DINÁMICA WLTP CATALIZADOR USADO							PRUEBA DINÁMICA WLTP CATALIZADOR TRATADO				
	Prueba	TIEMPO (S)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ
70	1	900	0,4	0,03	0	7	0,969	11,1	0,03	0	0	0,999
	2	960	0,1	0,03	0	3	0,897	10,7	0,04	0	0	0,998
	3	1020	0,4	0,04	0	3	0,962	11,4	0,07	0	0	0,997
	4	1080	0,4	0,14	0	151	0,74	13,2	0,13	0	0	0,996
	5	1140	0,3	0,04	0	8	0,929	12,9	0,01	0	0	1
	6	1200	0,5	1,37	0	217	.....	13,3	0,01	0	0	1
	7	1260	0,3	3,12	0	75	.....	11,3	0,01	0	0	1
	8	60	10,9	0,01	0	46	0,999	13,5	0,01	0	1	1
PROMEDIO		952,50	1,66	0,60	0,00	63,75	0,92	12,18	0,04	0,00	0,13	1,00

Nota. Promedios de los datos de las emisiones de cada gas a una velocidad del vehículo a 70 Km/h.

4.3.4 Emisiones a 100 km/h

El comportamiento de los gases del vehículo con un catalizador discontinuado a la velocidad de 100 km/h se evidencia en la Figura 61 la cual muestra la tabulación de estos, la gráfica evidencia una presencia de HC y CO aun elevada que hacen que la contaminación sea un evidente.

Al equipar al vehículo con el catalizador tratado y tomar datos de las emisiones a 100 km/h se evidencia como el CO₂ aumenta y los HC y CO son casi despreciables haciendo que la emisión proveniente del motor del vehículo no cause mayor impacto ambiental.

Figura 61*Emisiones a 100 Km/h*

Nota. El gráfico compara los datos de las emisiones a 100 km/h del vehículo con un catalizador usado y tratado.

En la Tabla 34 de promedios de emisiones a 100 km/h se muestra el cambio que presenta las emisiones antes y después de que el catalizador sea tratado, el Dióxido de Carbono (CO₂) está en un 1.95 % antes del tratamiento del catalizador y en un 12.67 % después del tratamiento, presentando un aumento de 10.72 %, así mismo sucede con el factor Lambda λ en cual se encuentra en 0.82 y después incrementa su valor a 1, en cambio con el Monóxido de Carbono (CO) presenta disminución de 0.54 %, los Hidrocarburos (HC) disminuyeron en 88.75 ppm alcanzando una emisión de 0 con el catalizador tratado.

Tabla 34

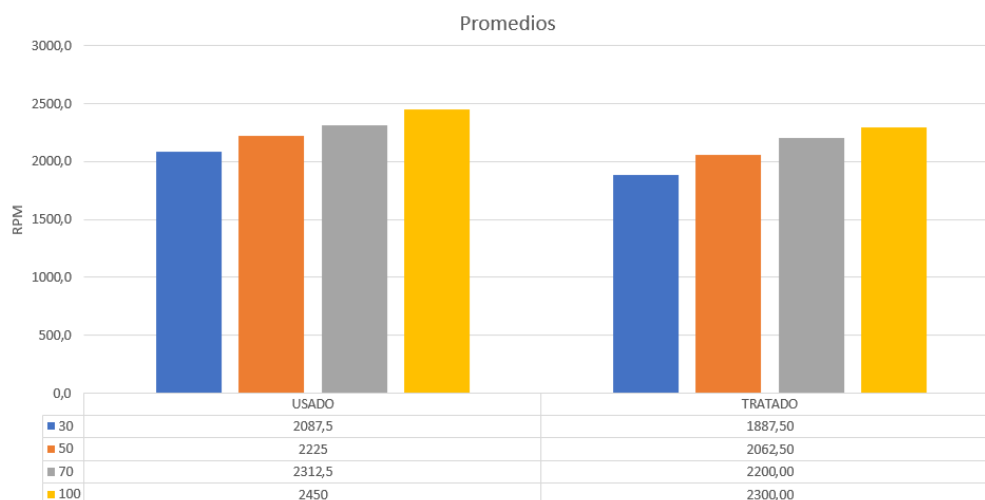
Tabla de Promedios de emisiones a 100 Km/h

PRUEBA DINÁMICA WLTP CATALIZADOR USADO								PRUEBA DINÁMICA WLTP CATALIZADOR TRATADO				
VELOCIDAD (Km/h)	Prueba	TIEMPO (S)	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ	CO ₂ (%)	CO (%)	O ₂ (%)	HC (PPM)	λ
100	1	1320	0,4	0,35	0	36	0,751	13,1	0	0	0	1
	2	1380	0,6	0,32	0	0	0,838	13,2	0	0	0	1
	3	1440	0,4	0,26	0	135	0,72	13,2	0,02	0	0	0,999
	4	1500	0,5	0,14	0	107	0,815	13,2	0	0	0	1
	5	1560	0,4	2,19	0	252	.....	13,2	0,17	0	0	0,994
	6	1620	0,5	1,08	0	159	.....	11,4	0	0	0	1
	7	1680	0,5	0,19	0	0	.....	11,4	0	0	0	1
	8	60	12,3	0	0	21	0,999	12,67	0,03	0,00	0,00	1,00
PROMEDIO		1320,00	1,95	0,57	0,00	88,75	0,82	12,67	0,03	0,00	0,00	1,00

Nota. El gráfico muestra los datos de las emisiones a 100 km/h del vehículo con un catalizador usado y tratado.

4.3.5 Régimen de Giro del Motor

Como se observa en la Figura 62 que muestran la tabulación de datos del régimen de giro del motor del vehículo equipado con el catalizador en desuso y con el catalizador tratador respectivamente, se observa claramente como el régimen de giro es menor cuando el catalizador se encuentra en buen estado ya que al no presentar obstrucciones en el mismo hace que los gases de escape del motor circulen libremente a lo largo del escape, se puede observar que a una velocidad de 30 km/h hay una diferencia de 200 rpm, a una velocidad de 50 km/h la diferencia es de 162.5 rpm, en la prueba realizada al vehículo a 70 km/h se encuentra una disminución de 112.5 rpm, 150 rpm es la diferencia en el régimen de giro del motor cuando el vehículo viaja a la velocidad de 100 km/h.

Figura 62*Régimen de giro del motor*

Nota. Gráfico comparativo de los datos del régimen de giro del vehículo con un catalizador usado y tratado.

4.3.6 Factor λ

EL factor lambda " λ " es el indicador si al motor está ingresando una mezcla rica o una mezcla pobre determinando una proporción entre el aire y el combustible que ingresan al cilindro, cuando este factor toma valores mayores a 1 significa que al motor está ingresando mezcla pobre es decir que la proporción entre el aire y combustible es mayor a la proporción de la mezcla estequiométrica, caso contrario cuando λ es menor a 1 indica que la mezcla presente en el cilindro es mezcla rica es decir que la proporción aire combustible es menor a la proporción estequiométrica, cuando λ es igual a 1 indica que la mezcla que ingresa al motor es estequiométrica es decir que la proporción aire combustible es 14.7:1.

Tabla 35

Factor Lambda medido y calculado

VELOCIDAD (Km/h)	Prueba	PRUEBA DINÁMICA WLTP CATALIZADOR USADO										PRUEBA DINÁMICA WLTP CATALIZADOR TRATADO							
		TIEMPO (S)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	K1	Hcv	Ocv	λ Medido	λ Calculado	λ Calculado SS	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (PPM)	λ Medido	λ Calculado	λ Calculado SS
30	1	60	11	0,26	0	568	0,0006	1,7261	0,0176	0,963	0,96077139	0,9608	12,1	0,02	0	19	0,998	0,97194691	0,9719
	2	120	10,7	0,17	0	232	0,0006	1,7261	0,0176	0,981	0,98057597	0,9806	12,1	0,04	0	24	0,997	0,98723597	0,9872
	3	180	11,3	0,49	0	316	0,0006	1,7261	0,0176	0,966	0,96614519	0,9661	12,1	0,13	0	34	0,994	0,98014115	0,9801
	4	240	12,1	0,07	0	274	0,0006	1,7261	0,0176	0,985	0,98418311	0,9842	12,1	0,02	0	28	0,998	0,98590375	0,9859
	5	300	11,4	0,23	0	283	0,0006	1,7261	0,0176	0,977	0,97704638	0,9770	12,1	0,06	0	39	0,996	0,9840951	0,9841
	6	360	10,8	0,13	0	236	0,0006	1,7261	0,0176	0,982	0,98205776	0,9821	12,1	0,03	0	35	0,997	0,98738978	0,9874
	7	420	10,9	0,13	0	217	0,0006	1,7261	0,0176	0,983	0,98322177	0,9832	12	0,05	0	46	0,996	0,98751106	0,9875
Prueba sin carga	8	60	11,7	0,34	0	164	0,0006	1,7261	0,0176	0,98	0,97957228	0,9796	13,6	0,01	0	14	0,999	0,9925023	0,9925
PROMEDIO		217,50	11,24	0,23	0,00	286,25	0,0006	1,7261	0,0176	0,98	0,97665149	0,9767	12,28	0,05	0,00	29,88	1,00	0,98467191	0,9847
50	1	480	11,8	0,09	0	144	0,0006	1,7261	0,0176	0,962	0,98949006	0,9895	8,5	0,08	0	5	0,996	0,98598099	0,9860
	2	540	12,1	0,09	0	105	0,0006	1,7261	0,0176	0,992	0,99163714	0,9916	11,5	0,03	0	2	0,999	0,99343157	0,9934
	3	600	11,3	0,15	0	183	0,0006	1,7261	0,0176	0,985	0,98480618	0,9848	12,4	0	0	0	1	0,99122288	0,9912
	4	660	11,4	0,07	0	93	0,0006	1,7261	0,0176	0,992	0,99249567	0,9925	12,7	0,03	0	0	0,999	0,99460751	0,9946
	5	720	11,7	0,04	0	62	0,0006	1,7261	0,0176	0,995	0,99535268	0,9954	12,5	0,02	0	2	0,999	0,99633963	0,9963
	6	780	0,3	0,13	0	130	0,0006	1,7261	0,0176	0,722	0,72823704	0,7282	10,5	0	0	0	1	0,99262621	0,9926
	7	840	0,2	0,03	0	6	0,0006	1,7261	0,0176	0,935	0,92718305	0,9272	12	0,03	0	0	0,999	0,99860827	0,9986
Prueba sin carga	8	60	12,2	0,15	0	0,09	0,0006	1,7261	0,0176	0,995	0,99466541	0,9947	13,2	0	0	0	1	0,99999591	1,0000
PROMEDIO		585,00	8,88	0,09	0,00	90,39	0,0006	1,7261	0,0176	0,95	0,98943093	0,9894	11,66	0,02	0,00	1,13	1,00	0,9944943	0,9945
70	1	900	0,4	0,03	0	7	0,0006	1,7261	0,0176	0,969	0,95974369	0,9597	11,1	0,03	0	0	0,999	0,99844192	0,9984
	2	960	0,1	0,03	0	3	0,0006	1,7261	0,0176	0,897	0,882731	0,8827	10,7	0,04	0	0	0,998	0,99820019	0,9982
	3	1020	0,4	0,04	0	3	0,0006	1,7261	0,0176	0,962	0,95571608	0,9557	11,4	0,07	0	0	0,997	0,99716754	0,9972
	4	1080	0,4	0,14	0	151	0,0006	1,7261	0,0176	0,74	0,75469226	0,7547	13,2	0,13	0	0	0,996	0,98899962	0,9890
	5	1140	0,3	0,04	0	8	0,0006	1,7261	0,0176	0,929	0,93433314	0,9343	12,9	0,01	0	0	1	0,99928907	0,9993
	6	1200	0,5	1,37	0	217	0,0006	1,7261	0,0176	.....	0,56968109	0,5697	13,3	0,01	0	0	1	0,98998665	0,9900
	7	1260	0,3	3,12	0	75	0,0006	1,7261	0,0176	.....	0,44657756	0,4466	11,3	0,01	0	0	1	0,99565112	0,9957
Prueba sin carga	8	60	10,9	0,01	0	46	0,0006	1,7261	0,0176	0,999	0,997076	0,9971	13,5	0,01	0	1	1	0,99763758	0,9976
PROMEDIO		952,50	1,66	0,60	0,00	63,75	0,0006	1,7261	0,0176	0,92	0,86421492	0,8642	12,18	0,04	0,00	0,13	1,00	0,99549184	0,9955
100	1	1320	0,4	0,35	0	36	0,0006	1,7261	0,0176	0,751	0,7536292	0,7536	13,1	0	0	0	1	0,99835386	0,9984
	2	1380	0,6	0,32	0	0	0,0006	1,7261	0,0176	0,838	0,83765366	0,8377	13,2	0	0	0	1	1	1,0000
	3	1440	0,4	0,26	0	135	0,0006	1,7261	0,0176	0,72	0,72506338	0,7251	13,2	0,02	0	0	0,999	0,99325135	0,9933
	4	1500	0,5	0,14	0	107	0,0006	1,7261	0,0176	0,815	0,81854524	0,8185	13,2	0	0	0	1	0,9951599	0,9952
	5	1560	0,4	2,19	0	252	0,0006	1,7261	0,0176	.....	0,48924951	0,4892	13,2	0,17	0	0	0,994	0,98329944	0,9833
	6	1620	0,5	1,08	0	159	0,0006	1,7261	0,0176	.....	0,60735414	0,6074	11,4	0	0	0	1	0,99170103	0,9917
	7	1680	0,5	0,19	0	0	0,0006	1,7261	0,0176	.....	0,87352165	0,8735	11,4	0	0	0	1	1	1,0000
Prueba sin carga	8	60	12,3	0	0	21	0,0006	1,7261	0,0176	0,999	0,99897666	0,9990	13,6	0	0	0	1	0,99907439	0,9991
PROMEDIO		1320,00	1,95	0,57	0,00	88,75	0,0006	1,7261	0,0176	0,82	0,87907321	0,8791	12,79	0,02	0,00	0,00	1,00	0,99505169	0,9951

Nota. La tabla muestra los datos del factor lambda tomado por medio del analizador de gases y el dato realizado analíticamente.

El factor lambda se lo puede obtener con el analizador de gases portátil KANE Autoplus 4-2 y de manera analítica aplicando la Ecuación 1, en la cual intervienen datos de las emisiones tomados con el mismo analizador como son: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), Oxígeno (O₂) e hidrocarburos no combustionados, además de otros datos cuyos valores se encuentran en dicha imagen.

Conociendo esta manera analítica de encontrar el valor de lambda en la Tabla 35 se encuentran los valores de este factor los cuales presentan una variación despreciable comprobando así que los datos que emite el analizador de gases y los calculados son reales.

4.4 Oxidación del Monolito de Oro

La simulación en el software se realizó con distintos gases como son el Aire, Argón, CO₂, Etanol, H₂O, Hidrógeno, Metanol, Nitrógeno, Oxígeno y Xenón, de los cuales se hará énfasis en el análisis del Hidrogeno, Oxígeno y Nitrógeno que son los gases usados en el método de limpieza por oxidación-reducción y redistribución de los metales.

4.4.1 Conductividad Térmica del Fluido vs Longitud

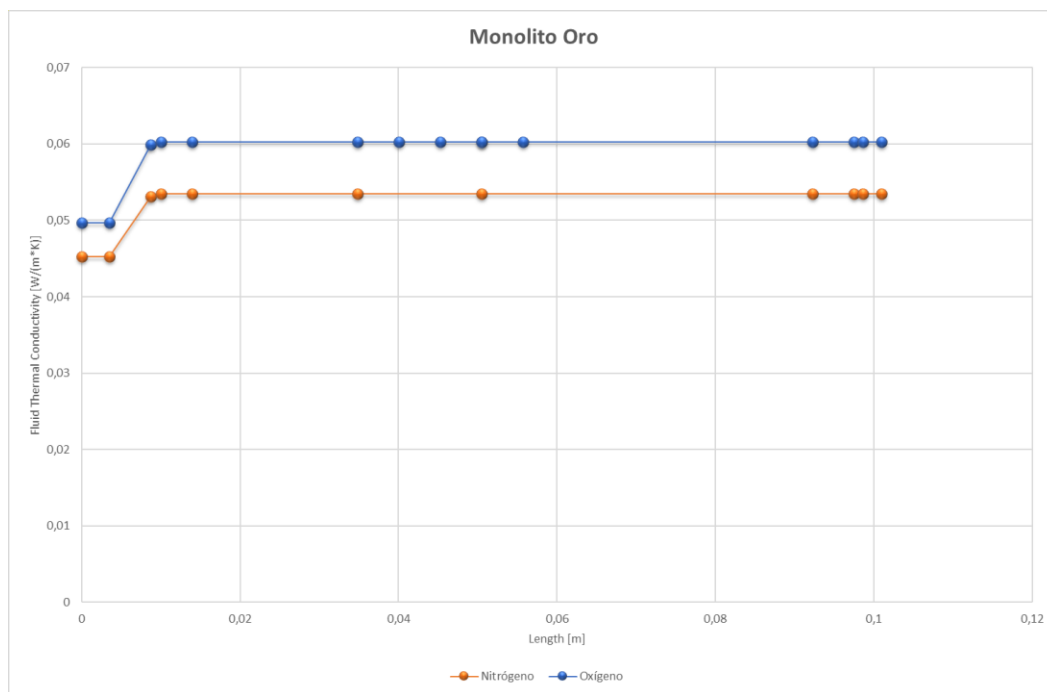
La Figura 63 muestra las curvas del oxígeno y nitrógeno en el momento que el monolito de Oro se encuentra sometido al proceso de oxidación, el cual se observa que el oxígeno está aportando una conductividad térmica inicial de $49.664 \frac{mW}{mK}$ hasta

alcanzar su máximo valor de $60.259 \frac{mW}{mK}$ al ir pasando por los 100 mm del total del monolito.

De igual manera se observa el aporte que realiza el nitrógeno en este proceso ya que es necesario tener estos dos gases presentes y a una temperatura aproximada de $300^{\circ}C$ para que el proceso de oxidación se realice eficientemente; por tal motivo el nitrógeno empieza su aporte con un valor de $45.261 \frac{mW}{mK}$ y mientras recorre al monolito, este valor sigue aumentando hasta estabilizarse en un valor de $53.511 \frac{mW}{mK}$.

Figura 63

Conductividad Térmica del Fluido vs Longitud



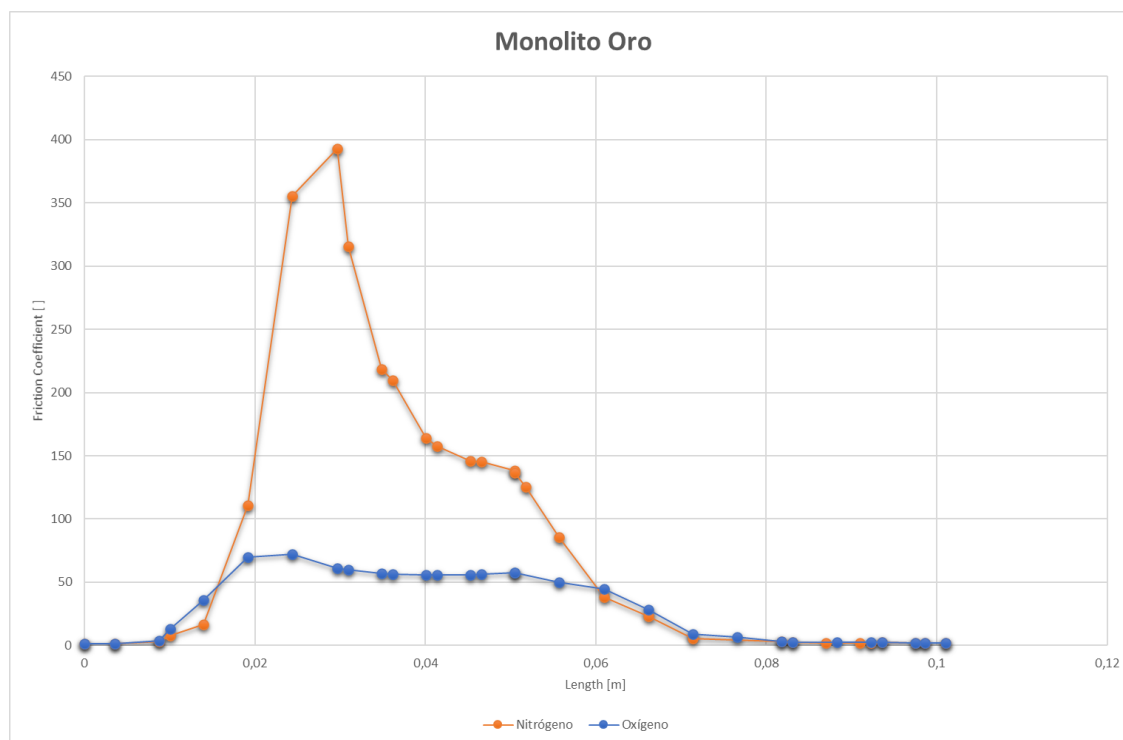
Nota. El gráfico muestra la conductividad térmica vs la longitud, de los gases de Nitrógeno y Oxígeno.

4.4.2 Coeficiente de fricción vs longitud

La Figura 64 muestra las curvas de los gases y su variación con respecto al coeficiente de fricción a lo largo de todo el monolito. El Nitrógeno por su parte es el gas con el mayor valor presente con un punto inicial de 1.383, un pico máximo de 392.772 a los 29.6 mm de la longitud total del monolito y una depresión hasta 1.859 a los 90.9 mm.

Figura 64

Coeficiente de Fricción vs Longitud



Nota. Representación del coeficiente de fricción vs la longitud de los gases de nitrógeno y oxígeno.

El oxígeno presenta un coeficiente de fricción más bajo con respecto al del nitrógeno teniendo dos elevaciones principales de 72.339 y 44.893 a los 24.4 mm y 60.9

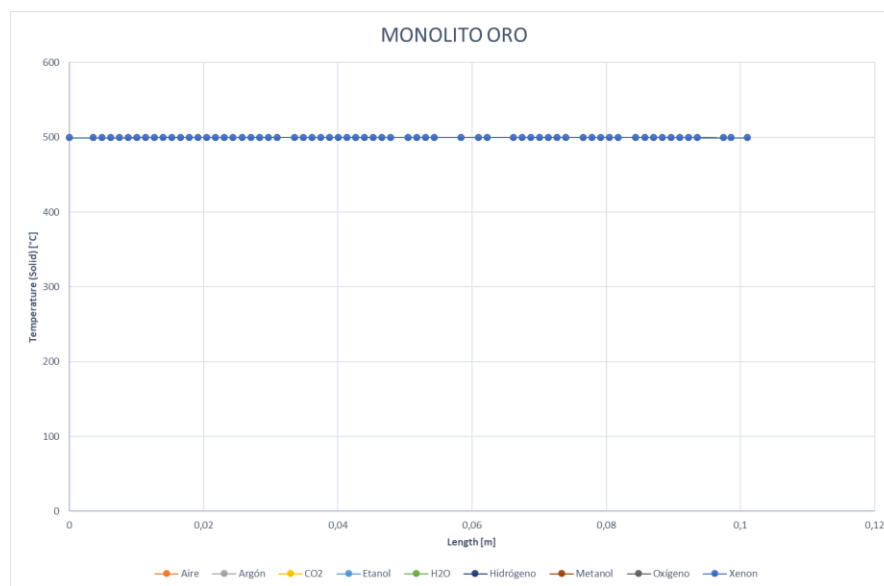
mm respectivamente. Con estos valores obtenidos de la gráfica, es el oxígeno el gas que más se mantiene constante con las variaciones de los valores del coeficiente de fricción y esto representa una mejor aportación al momento de oxidar los gases contaminantes que ingresan al monolito.

4.4.3 Temperatura del Sólido y Fluidos vs Longitud

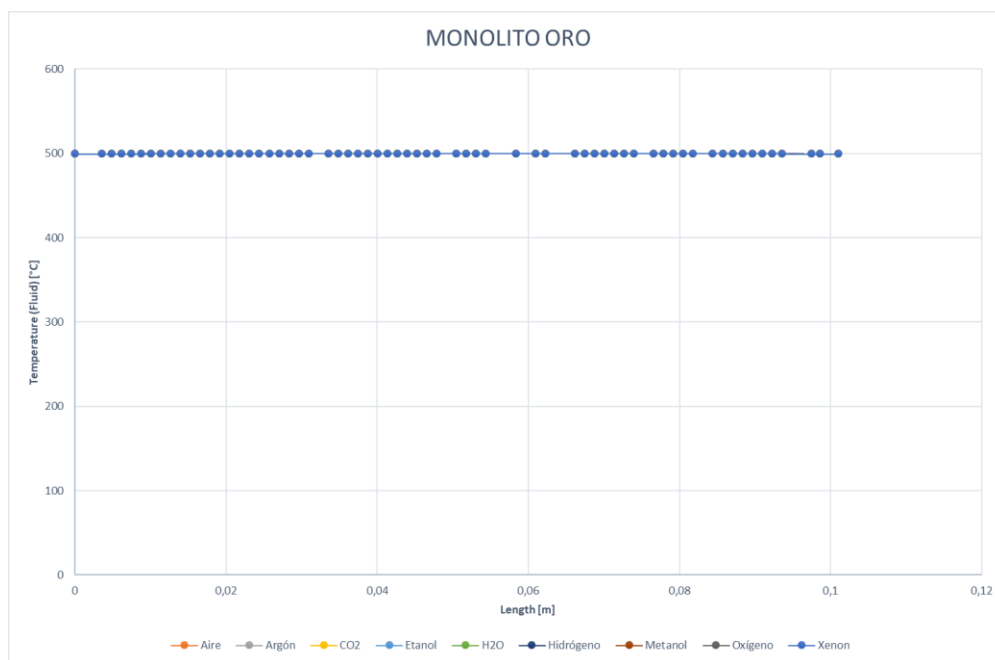
En la Figura 65 y Figura 66, se muestra una uniformidad en el valor de la temperatura (500°C), que se conserva tanto para el sólido (monolito), como para los gases puestos a prueba.

Figura 65

Temperatura del Sólido y Fluido vs Longitud



Nota. Temperatura del Sólido y Fluido vs la longitud, de los gases de Nitrógeno y Oxígeno.

Figura 66*Temperatura del Fluido vs Longitud*

Nota. Temperatura del Sólido y Fluido vs la Longitud, de los gases de Nitrógeno y Oxígeno.

4.4.4 Presión vs Longitud

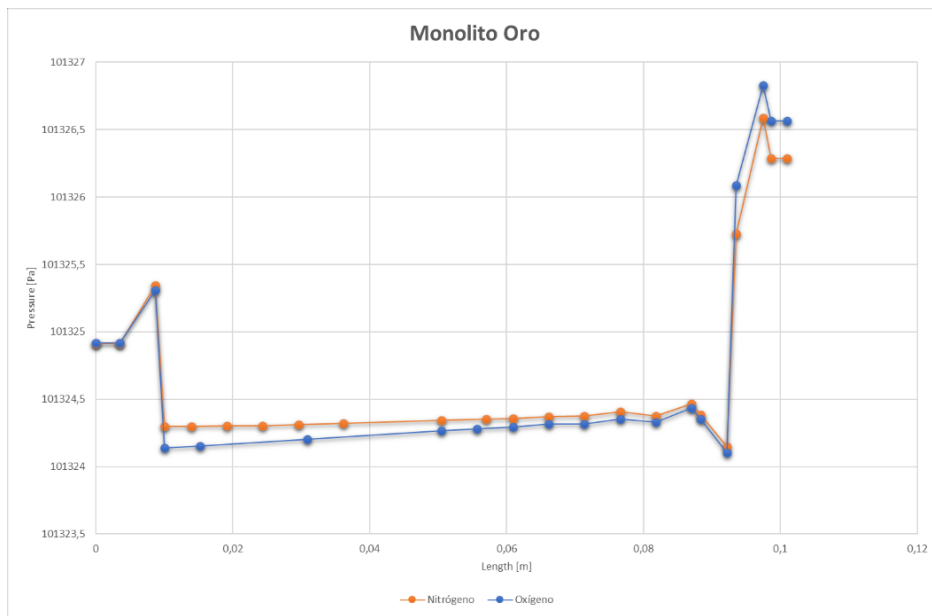
El incremento de la presión del oxígeno a lo largo del monolito se muestra en la Figura 67 con sus tres crestas principales que se pueden comparar visualmente con la del Nitrógeno ya que son muy semejantes, pero con ciertas diferencias en los valores medidos. Su primer valor de cresta en el punto 8.74 mm corresponde a 101.325 KPa de presión para el nitrógeno y en este mismo punto para el oxígeno es de 101.325 KPa, luego estos decrecen hasta los 101.324 KPa y 1010.324 KPa respectivamente a 10.0 mm del recorrido del monolito. Posteriormente vuelven a aumentar su presión hasta 101.324 KPa para el Nitrógeno y 101.324 KPa para el oxígeno, teniendo nuevamente

una caída de presión hasta los 101.324149 KPa (nitrógeno) y 101.324104 KPa (oxígeno).

Un punto muy importante en esta última cresta es que el oxígeno toma un valor un poco más elevado que el nitrógeno teniendo un valor total de 101.326831 KPa y 101.326586 KPa respectivamente en los 97.4 mm del monolito.

Figura 67

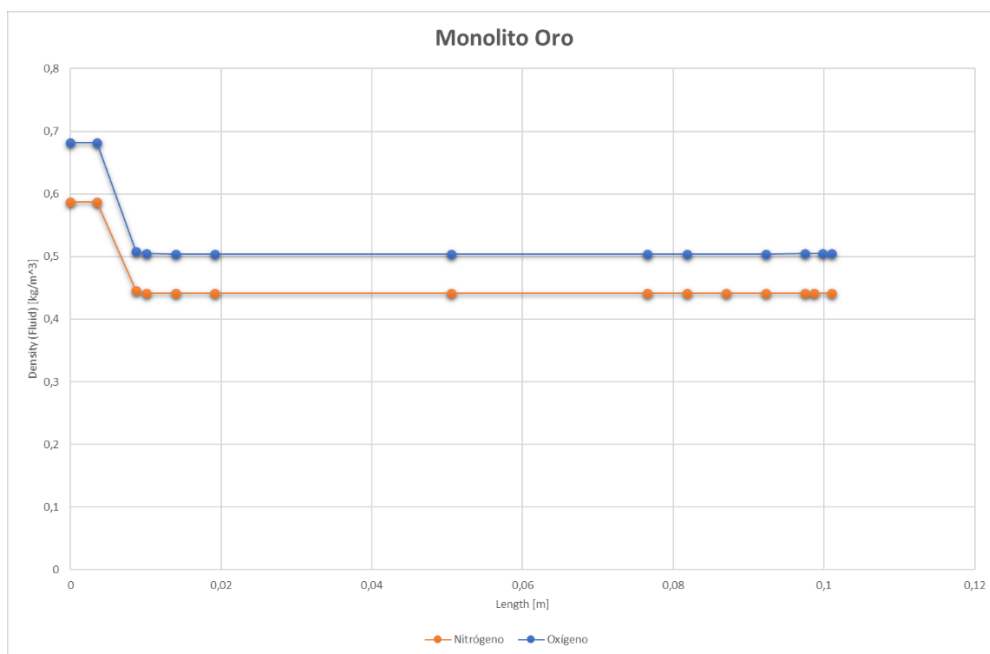
Presión vs Longitud



Nota. Representación de la Presión vs la Longitud, de los gases de nitrógeno y oxígeno.

4.4.5 Densidad del fluido vs longitud

Puesto que la densidad de un fluido se ve afectada inversamente con la temperatura, es decir mientras mayor sea la temperatura, menor será el valor de la densidad, la Figura 68 muestra el valor de los cambios que los fluidos sufren.

Figura 68*Densidad del Fluido vs Longitud*

Nota. La gráfica muestra la Densidad del Fluido vs la Longitud, de los gases de nitrógeno y oxígeno.

La primera curva representa al gas oxígeno con una densidad inicial de 0.681 kg/m³ hasta los 3.50 mm, a partir de ese punto la densidad del gas decrece hasta llegar a 0.504 kg/m³ y 10.0 mm del monolito y permanece constante hasta el final del mismo.

La curva del nitrógeno por otro lado es la que menor valor de densidad presenta ya que tiene un valor de 0.587 $\frac{kg}{m^3}$ en su punto inicial y posteriormente baja hasta un valor total de 0.441 $\frac{kg}{m^3}$.

4.5 Reducción del Monolito de Oro

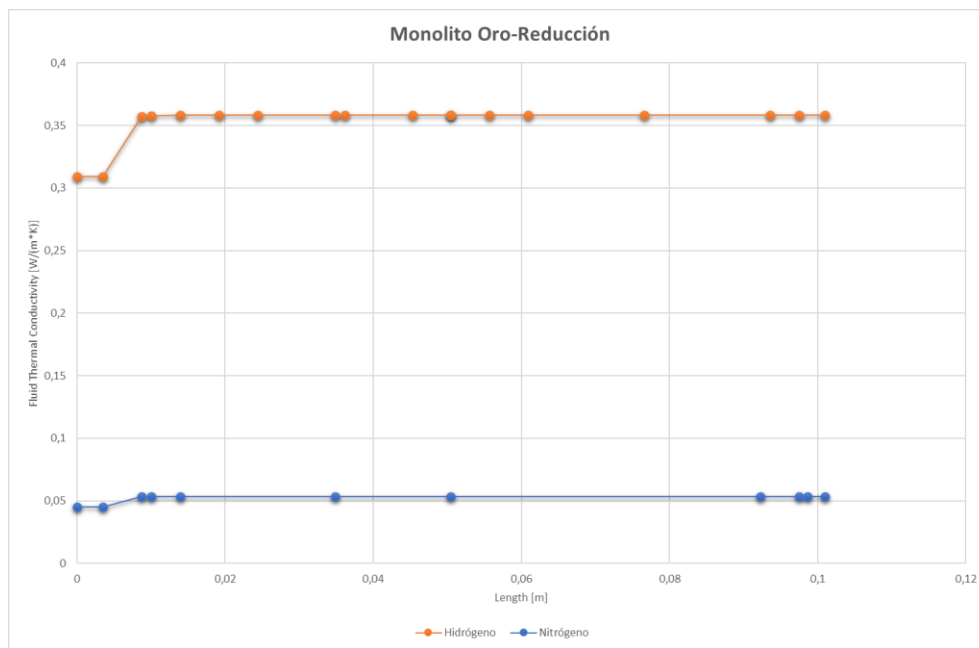
4.5.1 Conductividad Térmica del Fluido vs Longitud

Para el análisis de la conductividad térmica de los fluidos nitrógeno e hidrógeno en el proceso de reducción, la gráfica de la Figura 69 muestra las curvas de los gases vectores en el momento que el monolito de Oro se encuentra sometido a una temperatura de 500°C, el cual considerando esta temperatura se observa que el hidrógeno aporta una conductividad térmica inicial de $309.30 \frac{mW}{mK}$ hasta alcanzar su máximo valor de $358.10 \frac{mW}{mK}$ al ir pasando por los 100 mm del total del monolito.

Por otra parte, se observa el aporte que realiza el nitrógeno en este proceso en el cual empieza su aporte con un valor de $45.261 \frac{mW}{mK}$ hasta los primeros 3 mm de recorrido del monolito, posteriormente este valor sigue aumentando hasta llegar a estabilizarse en un valor de $53.511 \frac{mW}{mK}$.

Figura 69

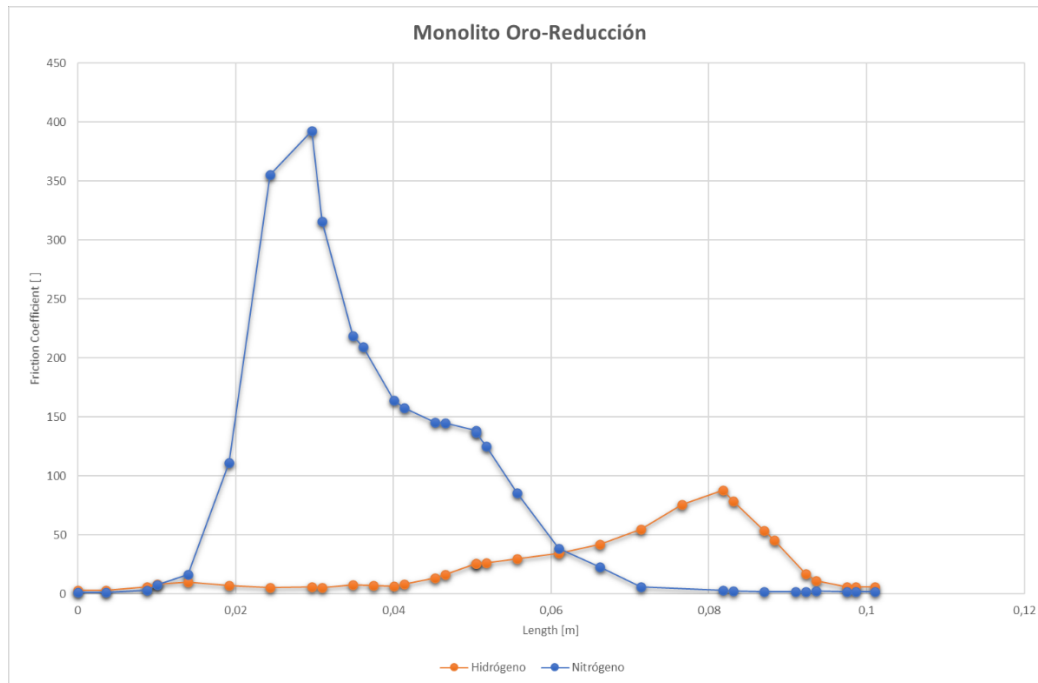
Conductividad Térmica del Fluido vs Longitud



Nota. Conductividad térmica vs la longitud, de los gases de hidrógeno y nitrógeno.

4.5.2 Coeficiente de Fricción vs Longitud

La Figura 70 muestra las curvas de los gases y su variación con respecto al coeficiente de fricción a lo largo de todo el monolito. El nitrógeno por su parte es el gas con el mayor valor presente con un punto inicial de 1.383, un pico máximo de 392.772 a los 29.6 mm de la longitud total del monolito y una depresión hasta 2.118 a los 97.46 mm.

Figura 70*Coeficiente de Fricción vs Longitud*

Nota. Representación del coeficiente de fricción vs la longitud de los gases de hidrógeno y nitrógeno.

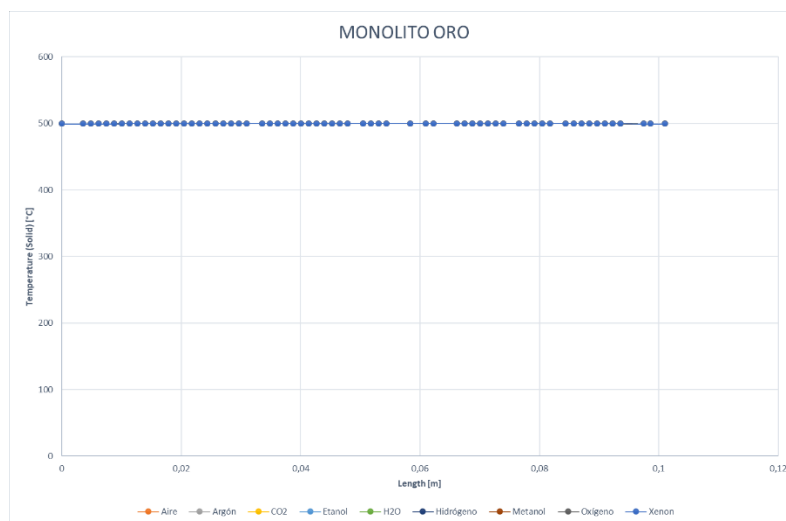
El hidrógeno presenta un de coeficiente de fricción más bajo con respecto al del nitrógeno teniendo dos elevaciones principales de 25.562 y 87.716 a los 50.49 mm y 81.81 mm respectivamente. Estos valores obtenidos de la gráfica representan el aporte de cada gas vector al momento del proceso de reducción.

4.5.3 Temperatura del Sólido y Fluidos vs Longitud

En la Figura 71 y Figura 72, se muestra una uniformidad en el valor de la temperatura (500°C), que se conserva tanto para el sólido (monolito), como para los gases puestos a prueba.

Figura 71

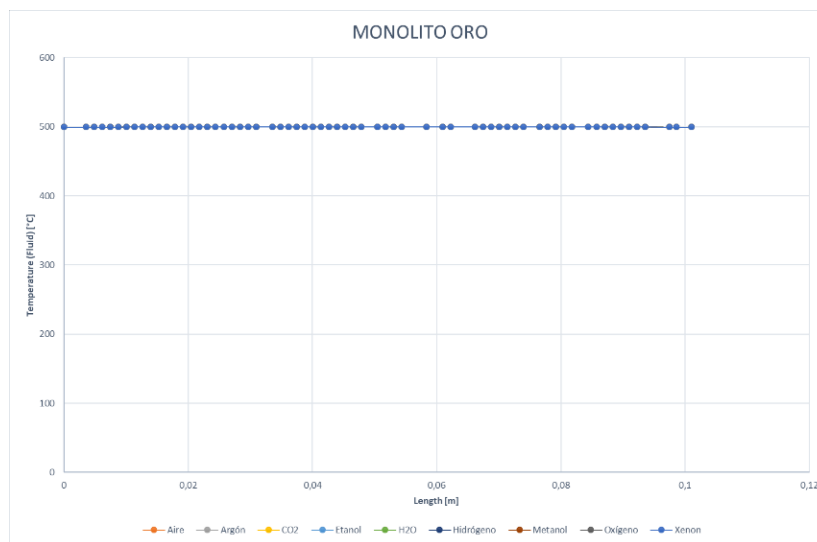
Temperatura del Sólido y Fluido vs Longitud



Nota. Temperatura del Sólido y Fluido vs la longitud, de los gases de Nitrógeno y Oxígeno.

Figura 72

Temperatura del Fluido vs Longitud



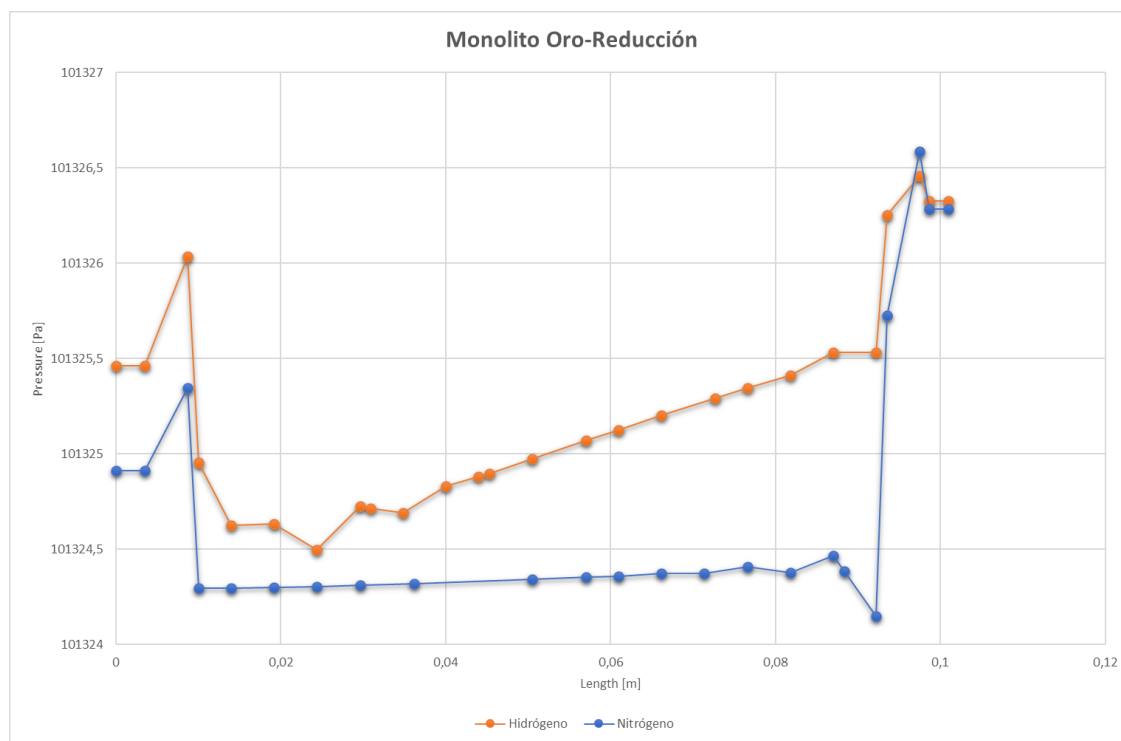
Nota. Temperatura del Sólido y Fluido vs la Longitud, de los gases de Nitrógeno y Oxígeno.

4.5.4 Presión vs Longitud

El incremento de la presión del nitrógeno a lo largo del monolito se muestra en la Figura 73 con sus tres crestas principales y con un valor superior al del hidrógeno, pero con ciertas diferencias en los valores medidos. Su primer valor de cresta en el punto 8.74 mm corresponde a 101.326 KPa de presión para el nitrógeno y en este mismo punto para el hidrógeno es de 101.325 KPa, luego estos decrecen hasta los 101.342 KPa y 101.324 KPa respectivamente a 10.0 mm del recorrido del monolito.

El hidrógeno por su parte tiene ciertas caídas y subidas de presión hasta los 34.8 mm que es donde empieza su incremento de presión hasta el final del recorrido de todo el monolito.

El gas nitrógeno tiene un poco más de estabilidad en su valor de presión casi hasta llegar al final de su recorrido donde en el punto 92.24 mm toma la caída más baja y se eleva inmediatamente hasta alcanzar los 101.326 KPa.

Figura 73*Presión vs Longitud*

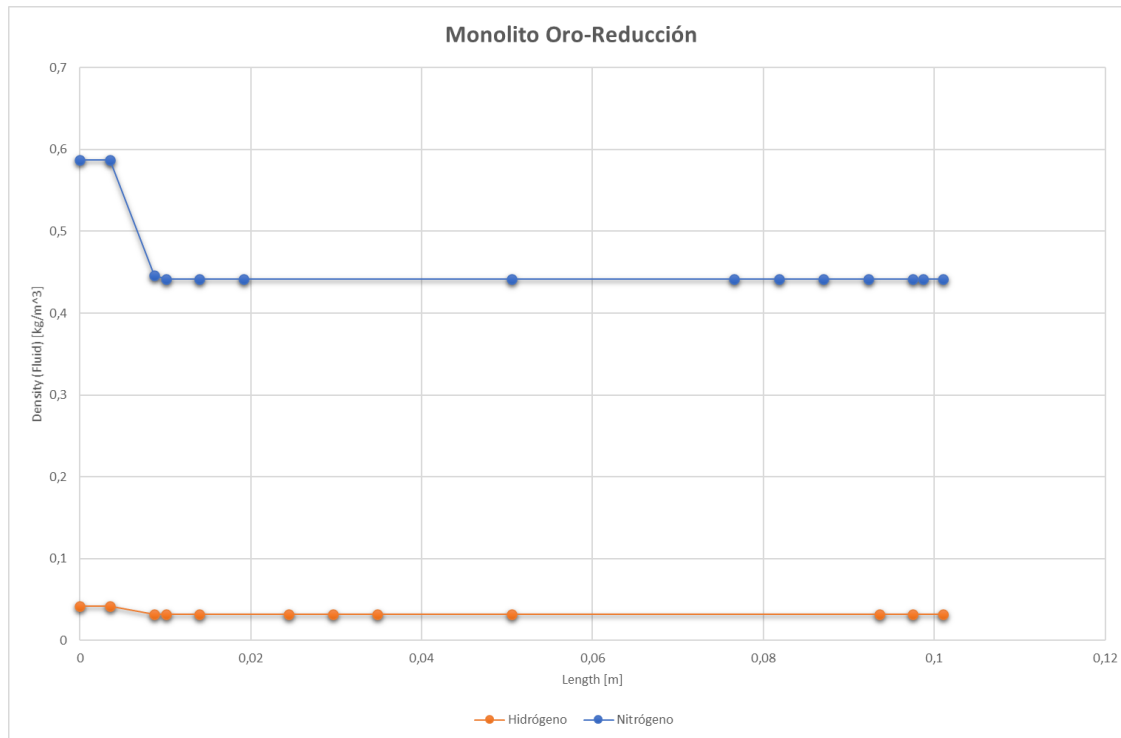
Nota. El gráfico muestra la Presión vs la Longitud, de los gases de Nitrógeno y Oxígeno.

4.5.5 Densidad del Fluido vs Longitud

Puesto que la densidad de un fluido se ve afectada inversamente con la temperatura, es decir mientras mayor sea la temperatura, menor será el valor de la densidad, la Figura 74 muestra el valor de los cambios que los fluidos sufren.

Figura 74

Densidad del Fluido vs Longitud



Nota. Densidad del Fluido vs la Longitud, de los gases de nitrógeno e hidrógeno.

La primera curva representa al gas nitrógeno con una densidad inicial de 0.587 $\frac{kg}{m^3}$ hasta los 3.52 mm, a partir de ese punto la densidad del gas decrece hasta llegar a 0.442 $\frac{kg}{m^3}$ y permanece constante hasta el final del mismo.

La curva del hidrógeno por otro lado es la que menor valor de densidad presenta ya que tiene un valor de 0.041 $\frac{kg}{m^3}$ en su punto inicial y posteriormente baja hasta un valor total de 0.318 $\frac{kg}{m^3}$.

4.6 Oxidación del Monolito de Platino

Para el análisis de las gráficas se tomará en consideración únicamente los gases hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, ya que son los gases vectores primordiales en este método de limpieza por oxidación – reducción y redistribución de materiales para el monolito del convertidor catalítico.

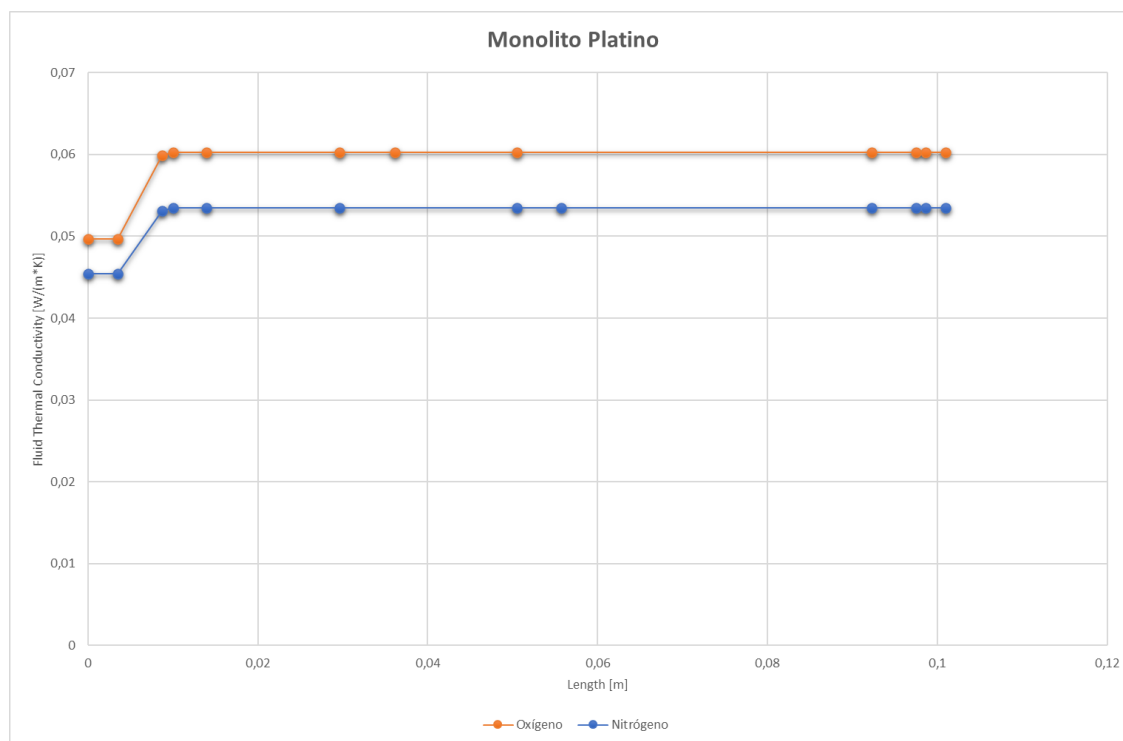
4.6.1 Conductividad Térmica del Fluido vs Longitud

La Figura 75 muestra las curvas del Oxígeno y Nitrógeno en el momento que el monolito de Platino se encuentra sometido al proceso de oxidación, el cual se observa que el Oxígeno está aportando una conductividad térmica inicial de $49.719 \frac{mW}{mK}$ hasta alcanzar su máximo valor de $60.259 \frac{mW}{mK}$ al ir pasando por los 100 mm de longitud total del monolito.

De igual manera se observa el aporte que realiza el Nitrógeno en este proceso ya que es necesario tener estos dos gases presentes y a una temperatura aproximada de 300°C para que el proceso de oxidación se realice eficientemente; por tal motivo el Nitrógeno empieza su aporte con un valor de $45.408 \frac{mW}{mK}$ y mientras recorre al monolito, este valor sigue aumentando hasta estabilizarse en un valor de $53.511 \frac{mW}{mK}$.

Figura 75

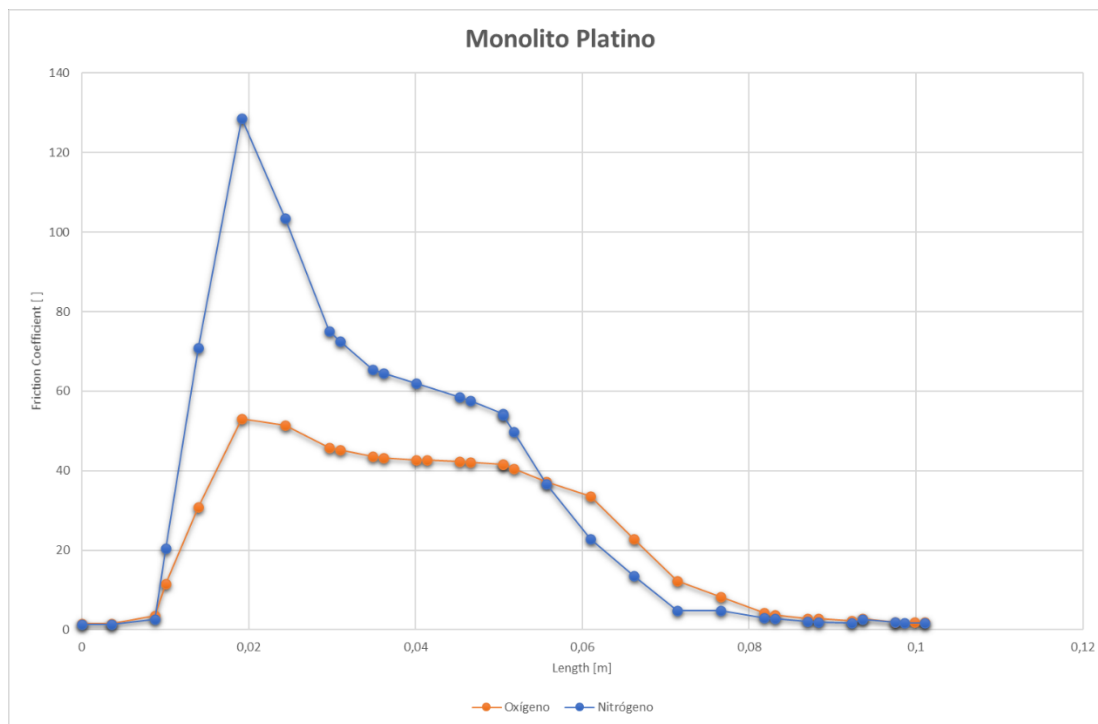
Conductividad térmica de Fluido vs Longitud



Nota. La gráfica muestra la Conductividad térmica del Fluido vs la Longitud, de los gases de Nitrógeno y Oxígeno.

4.6.2 Coeficiente de Fricción vs Longitud

La Figura 76 muestra las curvas de los gases y su variación con respecto al coeficiente de fricción a lo largo de todo el monolito. El Nitrógeno por su parte es el gas con el mayor valor presente con un punto inicial de 1.30, un pico máximo de 128.579 a los 19.2 mm de la longitud total del monolito y una depresión hasta 1.844 a los 97.4 mm.

Figura 76*Coeficiente de Fricción vs Longitud*

Nota. Coeficiente de Fricción vs la Longitud, de los gases de Nitrógeno y Oxígeno.

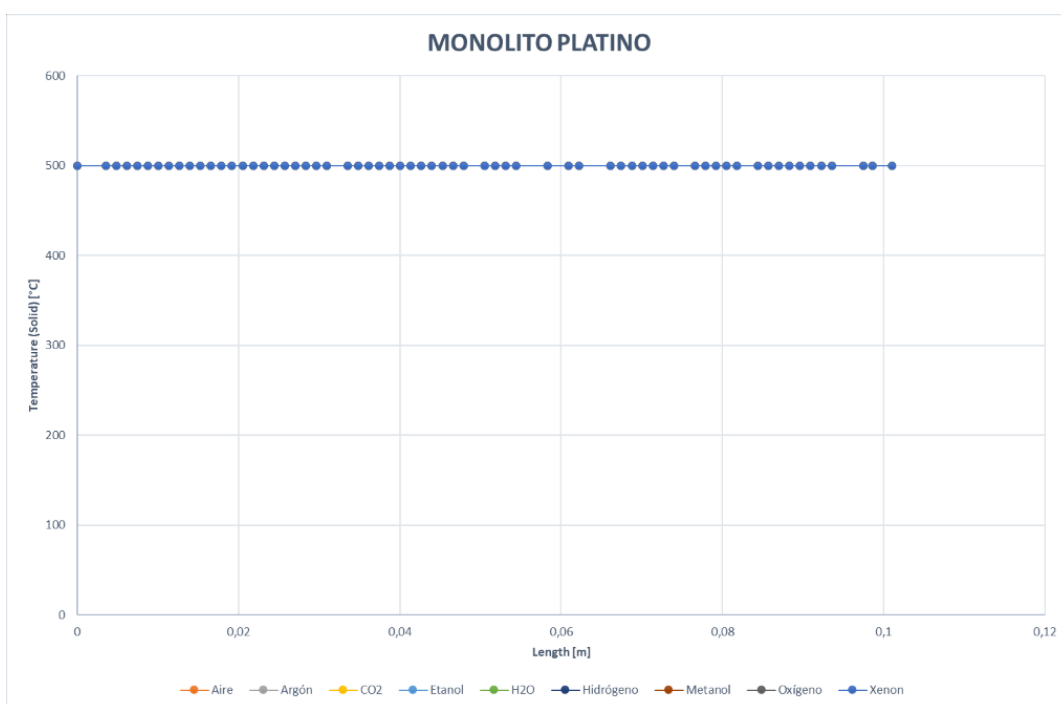
El Oxígeno presenta un coeficiente de fricción más bajo con respecto al del Nitrógeno teniendo dos elevaciones principales de 53.026 y 33.646 a los 19.2 mm y 60.9 mm respectivamente. Con estos valores obtenidos de la gráfica, es el Oxígeno el gas que más se mantiene constante con las variaciones de los valores del coeficiente de fricción y esto representa una mejor aportación al momento de oxidar los gases contaminantes que ingresan al monolito.

4.6.3 Temperatura del Sólido y Fluidos vs Longitud

En la Figura 77 y la Figura 78, se muestra una uniformidad en el valor de la temperatura (500°C), que se conserva tanto para el sólido (monolito), como para los gases puestos a prueba.

Figura 77

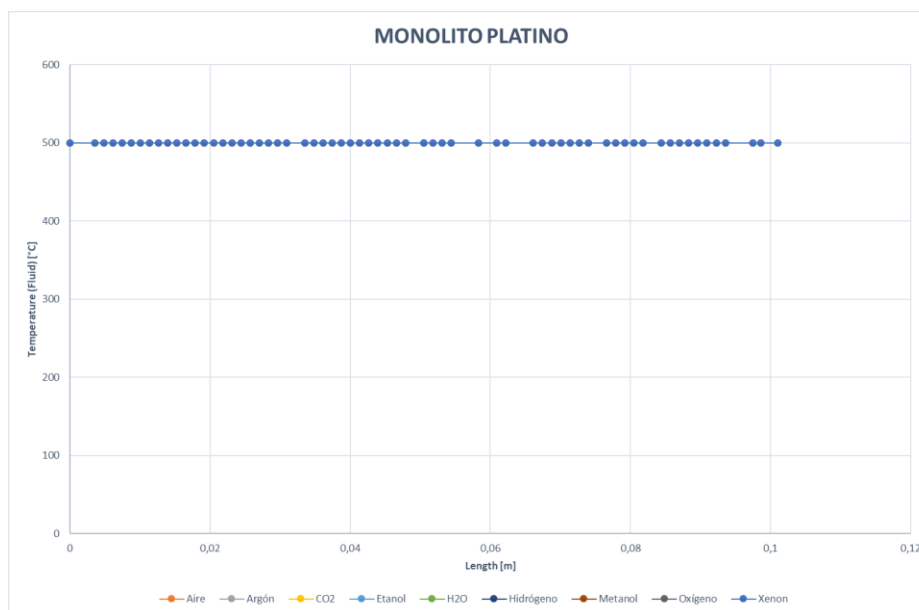
Temperatura del Sólido y Fluidos vs Longitud



Nota. Temperatura del Sólido y Fluidos vs la Longitud, de los gases de Nitrógeno y Oxígeno.

Figura 78

Temperatura del Sólido y Fluidos vs Longitud



Nota. Temperatura del Sólido y Fluidos vs la Longitud, de los gases de Nitrógeno y Oxígeno.

4.6.4 Presión vs Longitud

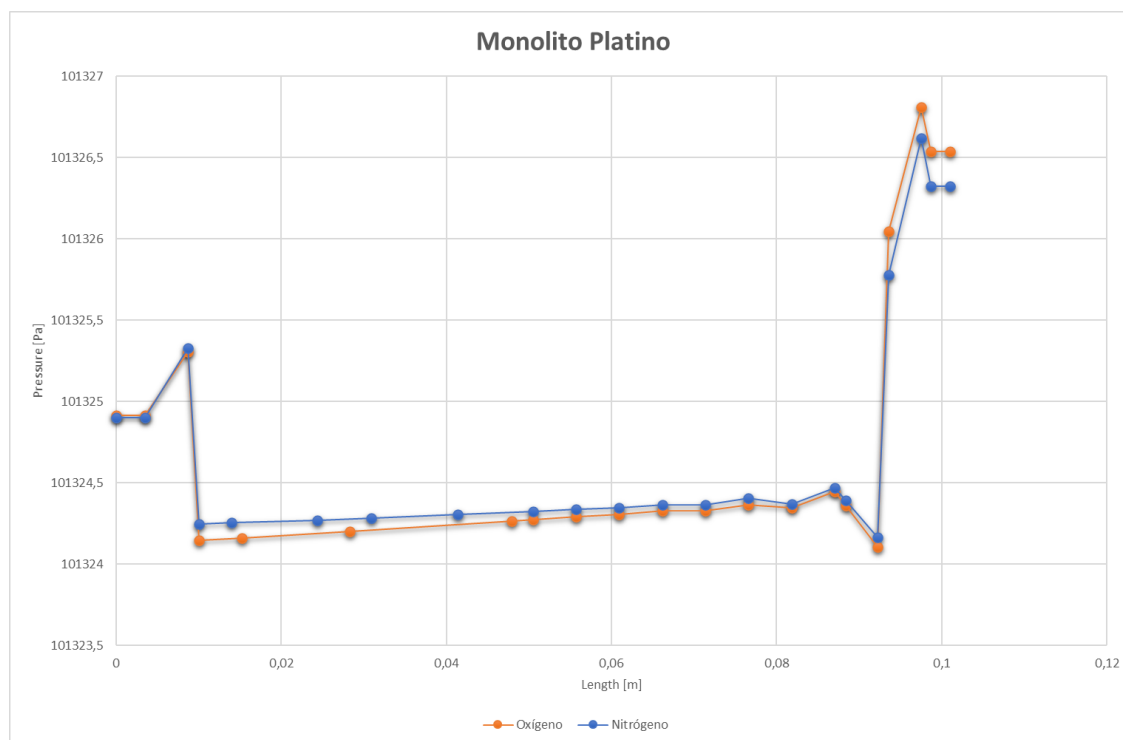
El incremento de la presión del Oxígeno a lo largo del monolito se muestra en la Figura 79 con sus tres crestas principales que se pueden comparar visualmente con la del Nitrógeno ya que son muy semejantes, pero con ciertas diferencias en los valores medidos. Su primer valor de cresta en el punto 8.74 mm corresponde a 101.325328 KPa de presión para el Nitrógeno y en este mismo punto para el Oxígeno es de 101.325305 KPa, luego estos decrecen hasta los 101.324247 KPa y 101.324147 KPa respectivamente a 10.0 mm del recorrido del monolito. Posteriormente vuelven a aumentar su presión hasta 101.324471 KPa para el Nitrógeno y 101.324446 KPa para

el Oxígeno, teniendo nuevamente una caída de presión hasta los 101.324166 KPa (Nitrógeno) y 101.32107 KPa (Oxígeno).

Un punto muy importante en esta última cresta es que el Oxígeno toma un valor un poco más elevado que el Nitrógeno teniendo un valor total de 101.326811 KPa y 101.326618 KPa respectivamente en los 97.4 mm del monolito.

Figura 79

Presión vs Longitud



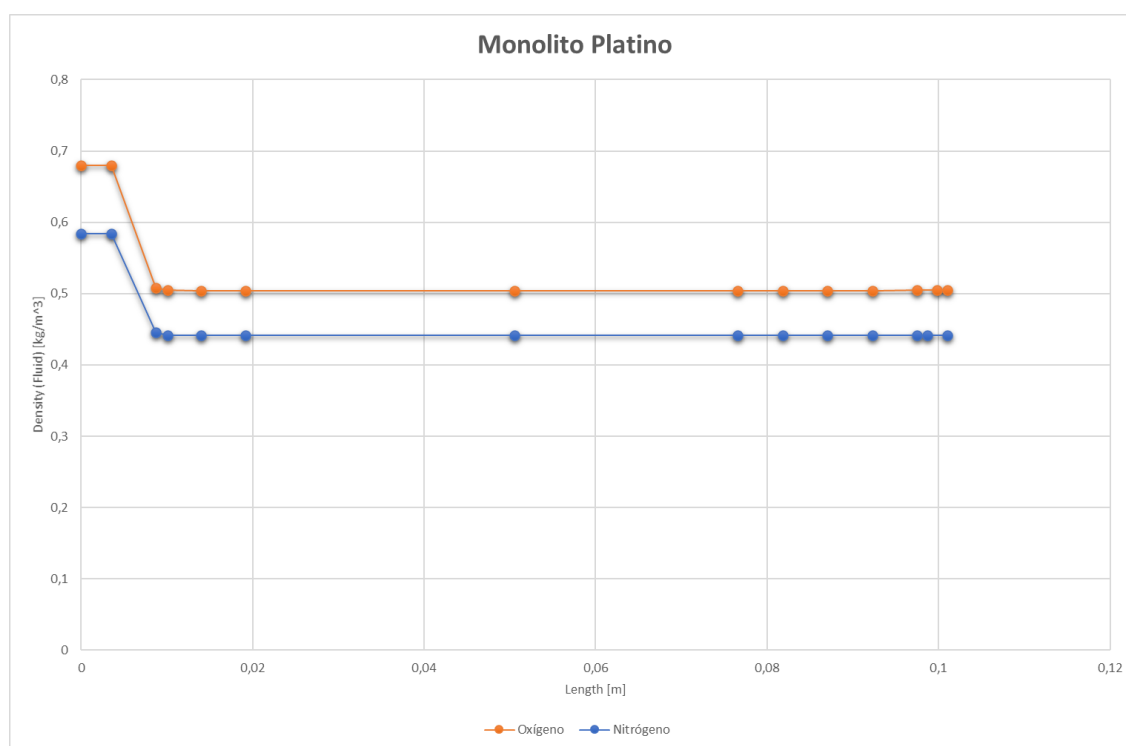
Nota. El gráfico muestra la Presión vs la Longitud, de los gases de Nitrógeno y Oxígeno.

4.6.5 Densidad del Fluido vs Longitud

Puesto que la densidad de un fluido se ve afectada inversamente con la temperatura, es decir mientras mayor sea la temperatura, menor será el valor de la densidad, la Figura 80 muestra el valor de los cambios que los fluidos sufren.

Figura 80

Densidad del Fluido vs Longitud



Nota. Densidad del Fluido vs la Longitud, de los gases de Nitrógeno y Oxígeno.

La primera curva representa al gas Oxígeno con una densidad inicial de 0.679 kg/m³ hasta los 3.50 mm, a partir de ese punto la densidad del gas decrece hasta llegar a 0.505 $\frac{kg}{m^3}$ y 10.0 mm del monolito y permanece constante hasta el final del mismo.

La curva del Nitrógeno por otro lado es la que menor valor de densidad presenta ya que tiene un valor de $0.584 \frac{kg}{m^3}$ en su punto inicial y posteriormente baja hasta un valor total de $0.442 \frac{kg}{m^3}$.

4.7 Reducción del Monolito de Platino

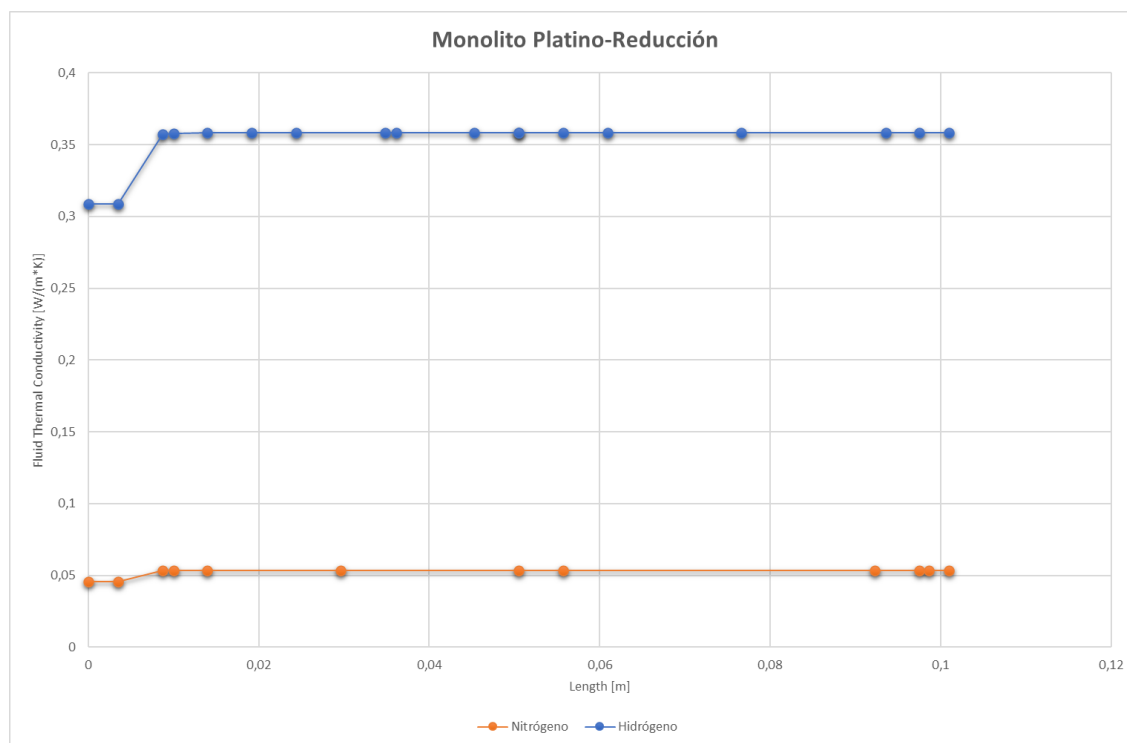
4.7.1 Conductividad Térmica del Fluido vs Longitud

Para el análisis de la conductividad térmica de los fluidos nitrógeno e hidrógeno en el proceso de reducción, la gráfica de la Figura 81 muestra las curvas de los gases vectores en el momento que el monolito de Platino se encuentra sometido a una temperatura de $500^{\circ}C$, el cual considerando esta temperatura se observa que el hidrógeno aporta una conductividad térmica inicial de $308.67 \frac{mW}{mK}$ hasta alcanzar su máximo valor de $358.10 \frac{mW}{mK}$ al ir pasando por los 100 mm del total del monolito.

Por otra parte, se observa el aporte que realiza el nitrógeno en este proceso en el cual empieza su aporte con un valor de $45.408 \frac{mW}{mK}$ hasta los primeros 3.52 mm de recorrido del monolito, posteriormente este valor sigue aumentando hasta llegar a estabilizarse en un valor de $53.511 \frac{mW}{mK}$.

Figura 81

Conductividad Térmica del Fluido vs Longitud



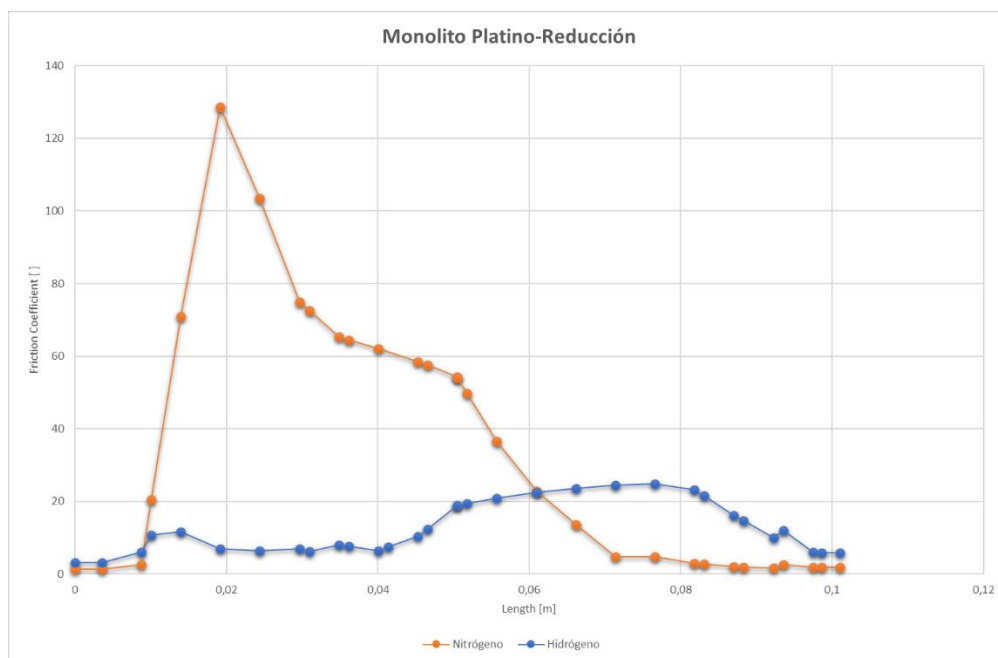
Nota. Representación de la conductividad térmica vs la longitud, de los gases de hidrógeno y nitrógeno.

4.7.2 Coeficiente de Fricción vs Longitud

La Figura 82 muestra las curvas de los gases y su variación con respecto al coeficiente de fricción a lo largo de todo el monolito. El nitrógeno por su parte es el gas con el mayor valor presente con un punto inicial de 1.299, un pico máximo de 128.578 a los 19.18 mm de la longitud total del monolito y una depresión hasta 1.792 a los 98.64 mm.

Figura 82

Coefficiente de Fricción vs Longitud

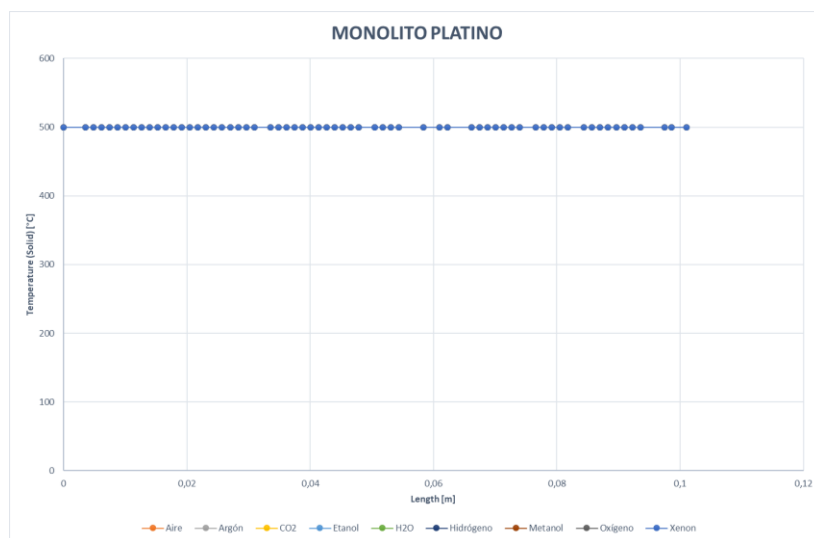


Nota. La gráfica muestra el coeficiente de fricción vs la longitud de los gases de hidrógeno y nitrógeno.

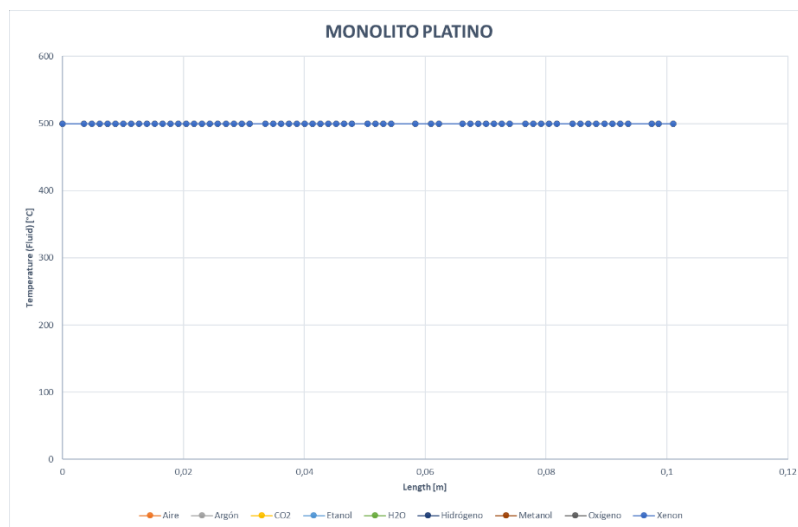
El hidrógeno presenta un coeficiente de fricción más bajo con respecto al del nitrógeno teniendo dos elevaciones principales de 11.621 y 24.784 a los 13.96 mm y 76.59 mm respectivamente. Estos valores obtenidos de la gráfica representan el aporte de cada gas vector al momento del proceso de reducción.

4.7.3 Temperatura del Sólido y Fluidos vs Longitud

En la Figura 83 y Figura 84, se muestra una uniformidad en el valor de la temperatura (500°C), que se conserva tanto para el sólido (monolito), como para los gases puestos a prueba.

Figura 83*Temperatura del Sólido y Fluido vs Longitud*

Nota. Temperatura del Sólido y Fluido vs la longitud, de los gases de hidrógeno y nitrógeno.

Figura 84*Temperatura del Fluido vs Longitud*

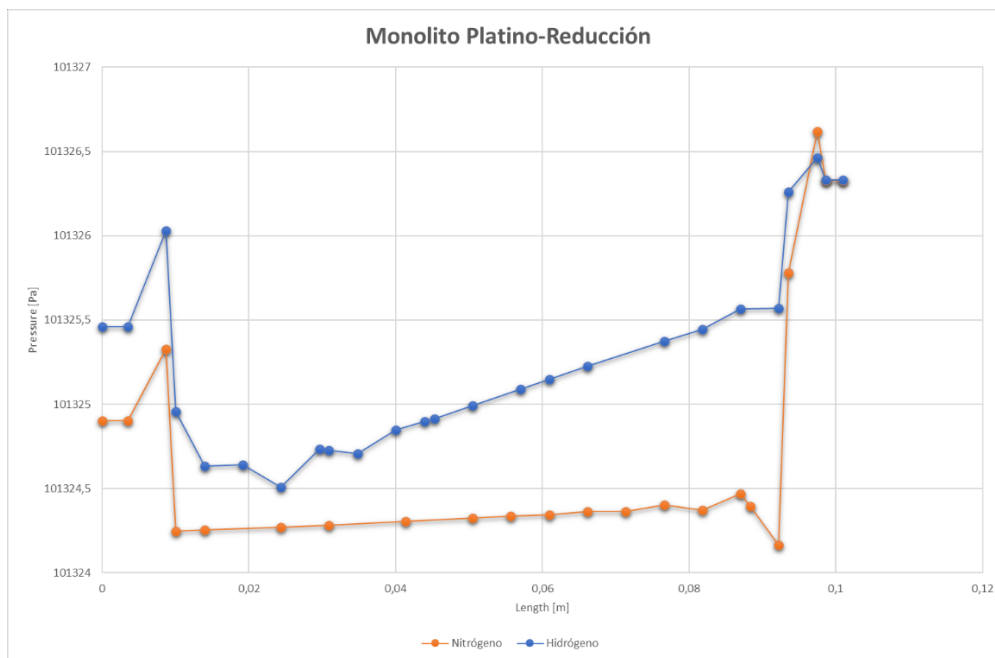
Nota. Temperatura del Sólido y Fluido vs la Longitud, de los gases de hidrógeno y nitrógeno.

4.7.4 Presión vs Longitud

El incremento de la presión del nitrógeno a lo largo del monolito se muestra en la Figura 85 con sus tres crestas principales y con un valor superior al del hidrógeno, pero con ciertas diferencias en los valores medidos. Su primer valor de cresta en el punto 8.74 mm corresponde a 101.326 KPa de presión para el nitrógeno y en este mismo punto para el hidrógeno es de 101.325 KPa, luego estos decrecen hasta los 101.342 KPa y 101.324 KPa respectivamente a 10.0 mm del recorrido del monolito.

El hidrógeno por su parte tiene ciertas caídas y subidas de presión hasta los 34.8 mm que es donde empieza su incremento de presión hasta el final del recorrido de todo el monolito.

El gas nitrógeno tiene un poco más de estabilidad en su valor de presión casi hasta llegar al final de su recorrido donde en el punto 92.24 mm toma la caída más baja y se eleva inmediatamente hasta alcanzar los 101.326 KPa.

Figura 85*Presión vs Longitud*

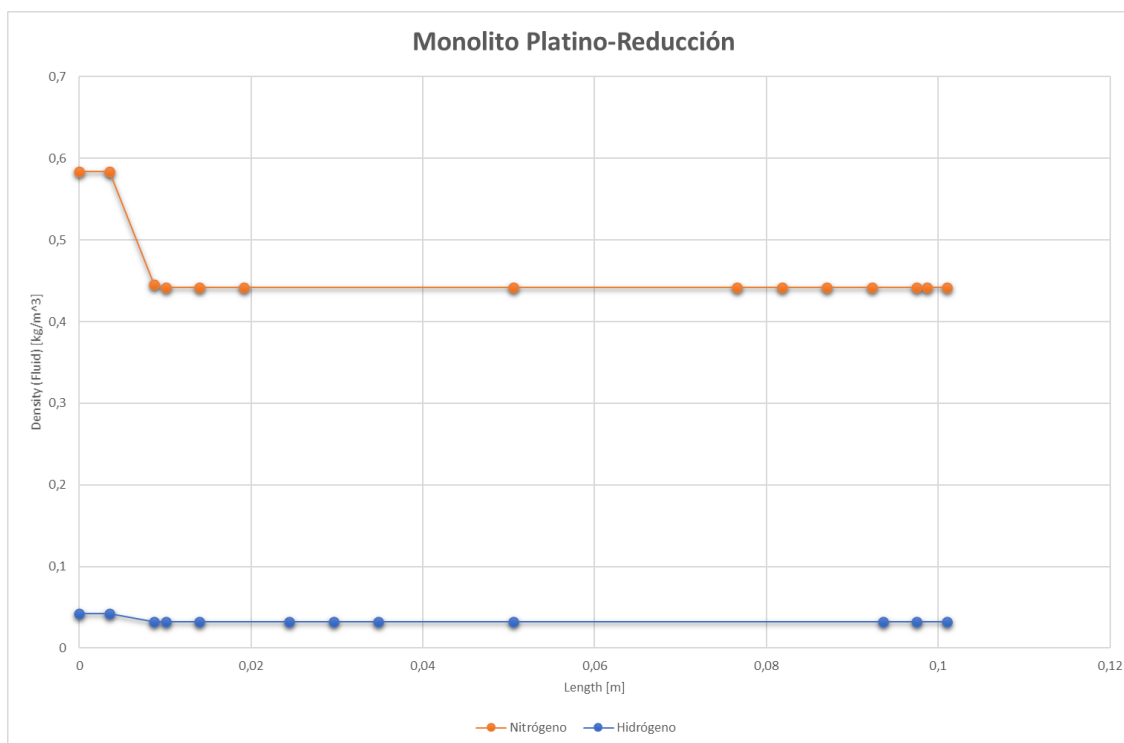
Nota. Representación de la Presión vs la Longitud, de los gases de hidrógeno y nitrógeno.

4.7.5 Densidad del Fluido vs Longitud

Puesto que la densidad de un fluido se ve afectada inversamente con la temperatura, es decir mientras mayor sea la temperatura, menor será el valor de la densidad, la Figura 86 muestra el valor de los cambios que los fluidos sufren.

Figura 86

Densidad del Fluido vs Longitud



Nota. Densidad del Fluido vs la Longitud, de los gases de nitrógeno e hidrógeno.

La primera curva representa al gas nitrógeno con una densidad inicial de 0.584 $\frac{kg}{m^3}$ hasta los 3.53 mm, a partir de ese punto la densidad del gas decrece hasta llegar a 0.442 $\frac{kg}{m^3}$ y permanece constante hasta el final del mismo.

La curva del hidrógeno por otro lado es la que menor valor de densidad presenta ya que tiene un valor de 0.041 $\frac{kg}{m^3}$ en su punto inicial y posteriormente baja hasta un valor total de 0.031 $\frac{kg}{m^3}$.

Capítulo V

5. Marco Administrativo

5.1 Recursos

Para realizar la presente investigación de manera organizada y detallada, y que el proyecto sea factible, se detalla a continuación el análisis y optimización de los recursos humanos, materiales y tecnológicos.

5.1.1 Recursos Humanos

El recurso humano que intervino en la ejecución de la investigación se lo muestra en la Tabla 36.

Tabla 36

Recursos Humanos

Ord.	Descripción	Cantidad	Función
1	Sr. Pérez Guzmán Erik Sebastián	1	Investigador
2	Sr. Ordoñez Espinoza Jonathan Patricio	1	Investigador
3	Ing. Leonidas Antonio Quiroz Erazo	1	Colaborador Científico Asesor de emisiones Asesor oxidación – reducción
4	Ing. Washington German Erazo Laverde	1	Colaborador Científico Asesor de emisiones

Nota. La tabla muestra los recursos humanos para realizar el proyecto.

5.1.2 Recursos Tecnológicos

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

Tabla 37

Recursos Tecnológicos

Ord.	Detalle	Cantidad	Costo
1	Mantenimiento computador e instalación software emisiones	1	\$ 50.00
	TOTAL		\$ 50.00

Nota. Costo del mantenimiento e instalación del software en el que se realizaron las pruebas.

5.1.3 Recursos Materiales

Para el desarrollo de la investigación es necesario establecer los materiales principales a utilizar, los cuales se detallan en la Tabla 38:

Tabla 38*Recursos Materiales*

Ord.	Cantidad	Detalle	Costos unitarios	Costo total USD
1	4	Catalizador	\$ 100.00	\$ 400.00
2	1	Imprevistos	\$ 50.00	\$ 50.00
3	1	Reactor	\$ 500.00	\$ 500.00
4	1	Sistema de control de temperatura	\$ 250.00	\$ 250.00
5	1	Sistema de control de Gases	\$ 190.00	\$ 190.00
TOTAL				\$ 1390.00

Nota. Gastos necesarios en los materiales utilizados en la investigación.

5.2 Presupuesto

5.2.1 Costo de Pruebas en los Laboratorios

Para realizar las pruebas en el laboratorio se deba calibrar los equipos y obtener una certificación del mismo y estos costos se encuentran en la Tabla 39.

Tabla 39*Costo de pruebas en los laboratorios*

Ord	DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
1	Calibración analizadora de gases	2	\$ 100	\$ 200
2	Certificado de calibración	2	\$ 70	\$ 140
TOTAL				\$ 340

Nota. Representación de los costos de las pruebas realizadas en los laboratorios.

5.2.2 Costo neto del Proyecto

El costo neto del proyecto titulado como: “INVESTIGACIÓN DE LOS MÉTODOS DE LIMPIEZA POR OXIDACIÓN Y REDISTRIBUCIÓN DE METALES DEL MONOLITO DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS DE VEHÍCULOS MEDIANTE PROTOCOLOS ARMONIZADOS” resulta de la suma total de los recursos a utilizar y la movilidad.

Tabla 40

Costo neto del proyecto

Descripción	Costo total USD
Recursos materiales	\$1390,00
Pruebas	\$340,00
Recursos tecnológicos	\$50,00
TOTAL	\$ 1780,00

Nota. La tabla muestra el costo total del proyecto de investigación.

Capítulo 6

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Se fundamentó la reutilización de convertidores catalíticos de media y alta gama a través de procesos de oxidación – reducción y redistribución de metales del monolito con el flujo de gases inertes a condiciones de tiempo de exposición y temperatura sustentado mediante pruebas de emisiones estáticas y dinámicas a los convertidores catalíticos antes y después del tratamiento de limpieza y redistribución de metales, donde la eficiencia de la metodología fue la validada desde una visión matemática y gráfica.
- Los catalizadores después del tratamiento de oxidación – reducción, el Dióxido de Carbono (CO_2) experimenta un incremento de 6.37% en valor, alcanzando un porcentaje de emisión de 13.52% que es producido por el catalizador tratado, por lo contrario el Monóxido de Carbono (CO) presenta una disminución de un 6.91% frente al valor de emisión con el monolito totalmente obstruido que es de 7.72% y alcanza el 0.81% cuando este elemento ya fue tratado, de la misma manera disminuye el porcentaje de emisión del Oxígeno alcanzando un 0.93%.
- Los valores de las emisiones de gases en las pruebas dinámicas, los Hidrocarburos (HC) se encuentran en un promedio de 286.25 ppm con un catalizador usado y en 29.88 ppm con el catalizador tratado existiendo una disminución de 256.37 ppm, el factor Lambda λ con el catalizador tratado se observa que en promedio se encuentra en 1 a diferencia del catalizador usado

que está en 0.98. Estos valores reflejan la efectividad del tratamiento realizado al convertidor catalítico el cual ha recuperado su función principal que es la de transformar los gases tóxicos en inocuos.

- Considerando el análisis en el monolito de Oro que se encuentra sometido al proceso de oxidación, se toma el aporte de la conductividad térmica del oxígeno inicial de $49.664 \frac{mW}{mK}$ hasta alcanzar su máximo valor de $60.259 \frac{mW}{mK}$ al recorrer los 100 mm de longitud total del monolito, por otro lado, el nitrógeno aporta $45.261 \frac{mW}{mK}$ de conductividad térmica siendo este el valor mínimo de aporte que tiene dicho gas, el valor sigue aumentando hasta alcanzar los $53.511 \frac{mW}{mK}$.
- La presión del nitrógeno en el proceso de reducción en el monolito de Platino presenta su valor máximo en el punto 92.24 mm de longitud del monolito y corresponde a 101.326 KPa de presión, en este mismo punto para el hidrógeno el valor de la presión es de 101.325 KPa, así el aporte de presión de cada gas es indispensable para el tratamiento mencionado en la investigación de tal manera que mejore la eficiencia en la redistribución de los metales presentes en el monolito.
- El factor lambda obtenido mediante el analizador de gases en comparación con el cálculo realizado utilizando el análisis matemático evidencian como estos valores son muy semejantes y por ende se comprueba la efectividad del cálculo realizado y los datos obtenidos por medio de los equipos de medición, en la prueba realizada al vehículo con una velocidad de $100 \frac{Km}{h}$ con un catalizador obstruido, el promedio calculado del factor lambda es de 0.8791 mientras que el obtenido por el analizador de gases es de 0.82.

6.2 Recomendaciones

- Ejecutar un estudio con los catalizadores tratados y analizar la efectividad del tratamiento en función al del test oficial para aprobación de emisiones de gases de escape de la revisión técnica vehicular dispuesta en el país.
- Con el fin de mejorar el método de tratamiento de limpieza y redistribución de metales del convertidor catalítico se debe tomar en cuenta los flujos del gas vector tomando en consideración que se necesitan flujos más altos y que la dimensión del monolito y el reactor son a tamaño real.
- La calibración de los analizadores y sus filtros deben estar actualizadas y limpios respectivamente para obtener datos más precisos en las pruebas realizadas, además de proteger a los equipos excesivo gases nocivos y humedad.
- Para determinar con mayor exactitud le efectividad del proceso de limpieza es necesario utilizar mayor número muestras de convertidores catalíticos que hayan cumplido con su vida útil de funcionamiento para de esta manera evidenciar dicha eficiencia.
- Para la obtención de datos más precisos es necesario seguir el procedimiento de revisión del equipo para comprobar que se encuentren en buen estado y funcionando correctamente.
- Para evitar fisuras o fracturas en el monolito, es necesario manipularlo con sumo cuidado al momento de retirarlo de su carcasa metálica y colocarlo en el acople de fijación dentro del reactor.

- Fomentar el interés en futuras investigaciones para salvaguardar al medio ambiente reutilizando los convertidores catalíticos para disminuir la contaminación emitida por mal reciclaje de este elemento.

BIBLIOGRAFÍA

- Aharon, G. (23 de Julio de 2017). *engie Blog*. Recuperado el 19 de Marzo de 2020, de <https://engieapp.com/es/convertidor-catalitico/>
- ANSED DIAGNOSTIC SOLUTIONS. (Diciembre de 2013). Manual de uso . *AUTOplus analizador de gases de automotrices*. New York, New York, Estados Unidos.
- Avance, A. (11 de Octubre de 2013). *Auto Avance*. Recuperado el 2 de mayo de 2020, de Funcionamiento del Convertidor Catalítico: <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/174-funcionamiento-del-convertidor-catalitico/>
- Blancarte, J. (03 de Enero de 2011). *Autocosmos*. Recuperado el 4 de junio de 2020, de ¿Cuáles son los gases contaminantes más comunes que emiten los autos?: <https://noticias.autocosmos.com.pe/2011/01/03/cuales-son-los-gases-contaminantes-mas-comunes-que-emiten-los-autos>
- Cengel, Y. (2009). *Termodinámica* (Septima ed.). México D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Recuperado el 23 de Febrero de 2020
- Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de Calor Masa*. Mexico D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. Recuperado el julio de 2020
- Centi, G. (20 de Diciembre de 2000). *ScienceDirect*. Recuperado el 23 de julio de 2020, de ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1381116901001558>
- DSAUTOMOBILES. (25 de Agosto de 2016). *DSAUTOMOBILES*. Recuperado el 16 de Junio de 2020, de <https://www.dsautomobiles.es/universo-ds/tecnologia/wltp.html>
- El Comercio. (10 de Junio de 2016). *Seis urbes en Ecuador se exceden en contaminación ambiental, según OMS*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2020,

- de El Comercio: <https://www.elcomercio.com/tendencias/ciudades-ecuador-polucion-enfermedades-contaminacion.html>
- Fernandez, S. (29 de Septiembre de 2010). *CISE electronica*. Recuperado el 6 de agosto de 2020, de Monitoreo del convertidor catalítico:
<http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/172-monitoreo-del-convertidor-catal%C3%ADtico.html>
- Hidalgo, M. G. (20 de Junio de 2010). *Metodología de pruebas para la evaluación de convertidores catalíticos en motores gasolina*. Recuperado el 8 de septiembre de 2020, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2255/1/CD-2998.pdf>
- Ibáñez, P. (09 de Mayo de 2014). *El ocaso de los diésel: el filtro de partículas*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2020, de motor pasion:
<https://www.motorpasion.com/compactos/el-ocaso-del-diesel-el-filtro-de-particulas>
- INFORMACIÓN, L. (03 de Septiembre de 2018). *LA INFORMACIÓN*. Recuperado el 23 de Septiembre de 2020, de <https://www.lainformacion.com/motor/protocolo-de-emisiones-wltp-que-es-en-que-consiste-norma/6383410/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2000). *DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MINIMA O RALENTI. PRUEBA ESTATICA*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Manual AGS 688. (s.f.). Analizador de gases para motores de gasolina de 2 y 4 tiempos. *MANUAL DE USO AGS BRAIN BEE 688*. PARMA, ITALIA.
- Marza, I. C. (2013). MANTENIMIENTO, RECICLAJE Y RENOVACIÓN DE CATALIZADORES DE. *Revista Tecnológica*(11), 6. Recuperado el 22 de Septiembre de 2019

- Montúfar Paz, P., & Cáceres Veintimilla, D. A. (12 de Abril de 2018). *Análisis de emisiones de óxidos de nitrógeno de un motor de ciclo OTTO SI, a partir del comportamiento de la relación aire-combustible y del avance del encendido*. Recuperado el 5 de Enero de 2021, de Ciencia Digital: <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/download/112/103/>
- Norma Ecuatoriana de Construcción. (05 de Febrero de 2018). *Instalaciones Eléctricas*. Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI).
- Nunige, O. (2018). *Evaluación y comparación de metodos de medición consumo de combutible para laboratorio y ruta en un vehiculo liviano*. Pereira: Universidad Tecnologica de Pereira.
- Pérez, D. (01 de Marzo de 2018). *Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales*. Recuperado el Febrero3 de 2021, de Revistas UIDE: <https://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/635/1028>
- Plan Nacional de Desarrollo. (2021). Plan Nacional de Desarrollo. 64. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Prado, D. d. (07 de Febrero de 2020). *GAS COMMUNITY*. Recuperado el 10 de Enero de 2021, de ¿Cómo funciona el convertidor catalítico o catalizador?: <https://gascommunity.com/como-funciona-el-convertidor-catalitico-o-catalizador/>
- Santillán, M. L. (18 de Mayo de 2015). *Ciencia UNAM*. Recuperado el 23 de Octubre de 2020, de Convertidores catalíticos de autos disminuyen emisiones de gases contaminantes: http://ciencia.unam.mx/leer/459/Convertidores_cataliticos_de_autos_disminuyen_emisiones_de_gases_contaminantes

- Satorra, J. (27 de Enero de 2010). *ELS BLOGS D'EN JAUME SATORRA*. Recuperado el 14 de Junio de 2020, de Tipos de gases producidos en la combustion y sus consecuencias: <https://jaumesatorra.wordpress.com/2010/01/27/tipos-de-gases-producidos-en-la-combustion-y-sus-consecuencias/>
- Schrader, R. (1979). Lambda. *Bosch Technische Berichte*, 177-186.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2017). *Gestion ambiental. aire. vehiculos automotores. limites permitidos de emisiones producidas por fuentes moviles terrestres que emplean gasolina*. Quito.
- Servicios ITV. (22 de Octubre de 2020). *Servicios ITV*. Recuperado el 1 de Abril de 2020, de QUE ES EL VALOR LAMBDA: <https://www.serviciositv.es/sgs-te-informa/que-es-el-valor-lambda-itv-y-que-implica-en-la-inspeccion>
- Vida Sostenible. (08 de Enero de 2015). *Historia de las tecnologias de reduccion de emisiones contaminantes en vehiculos*. Recuperado el 25 de junio de 2020, de Vida Sostenible: <https://www.vidasostenible.org/historia-de-las-tecnologias-de-reduccion-de-emisiones-contaminantes-en-vehiculos/>

ANEXOS