



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ANÁLISIS PARA EL REACONDICIONAMIENTO DE CATALIZADORES DE 3 VÍAS
EN LOS VEHÍCULOS CON MOTOR A GASOLINA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Automotriz

**AUTORES: KARELIS ELIZABETH LITARDO AROCA
DAVID ALEJANDRO LÓPEZ LUGMANIA**

TUTOR: MARIO ALEXANDER PERALVO CLAVON

Quito - Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Karelis Elizabeth Litardo Aroca con documento de identificación N° 1718596255 y David Alejandro López Lugmania con documento de identificación N° 1725481673 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 12 septiembre del año 2023

Atentamente,



Karelis Elizabeth Litardo Aroca
1718596255



David Alejandro López Lugmania
1725481673

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Karelis Elizabeth Litardo Aroca con documento de identificación N° 1718596255 y David Alejandro López Lugmania con documento de identificación N° 1725481673, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy somos autores del Artículo Académico: “Análisis para el reacondicionamiento de catalizadores de 3 vías en los vehículos con motor a gasolina”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 12 septiembre del año 2023

Atentamente,



Karelis Elizabeth Litardo Aroca
1718596255



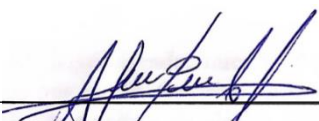
David Alejandro López Lugmania
1725481673

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Mario Alexander Peralvo Clavon con documento de identificación N° 1718133448 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS PARA EL REACONDICIONAMIENTO DE CATALIZADORES DE 3 VÍAS EN LOS VEHÍCULOS CON MOTOR A GASOLINA, realizado por Karelis Elizabeth Litardo Aroca con documento de identificación N° 1718596255 y David Alejandro López Lugmania con documento de identificación N° 1725481673, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 12 septiembre del año 2023

Atentamente,



Ing. Mario Alexander Peralvo Clavon, MSc.

1718133448

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios y a mis padres, por haberme dado la oportunidad y apoyo de estudiar una carrera como es Ingeniería Automotriz, dando todo mi esfuerzo y aprovechando cada paso que ellos me brindan.

Agradezco también a mi tutor de tesis el Ing. Mario Alexander Peralvo Clavon, por brindarme la oportunidad de recurrir a sus conocimientos y por la paciencia para guiarme en el proceso de la tesis, también incluyo este agradecimiento a cada uno de los docentes que forman esta carrera, por cada enseñanza tanto personal y académica.

Y para finalizar, agradezco a todos los que fueron mis compañeros y amigos de clase, puesto que juntos compartimos este proceso universitario, gracias por el compañerismo, amistad y apoyo moral que le han dado un aporte a mis ganas de seguir en mi carrera profesional.

Karelis Elizabeth Litardo Aroca

Mi mayor agradecimiento es para mis padres, que junto a ellos yo he podido cumplir una de mis metas, forjarme como persona y llenarme de valores, aprovecho cada oportunidad que mis padres de alguna manera siempre han buscado darme y cumplir mis sueños, son mi razón y motivo de seguir adelante.

A mi tutor el Ing. Alexander Peralvo, por el aporte que me ha dado en este proceso de titulación y poder culminar con este artículo académico, estoy agradecido ya que fue muy importante para mi desempeño de aprendizaje y profesionalismo, también agradezco a los docentes que forman la carrera de Ing. Automotriz por darme sus conocimientos y la motivación de seguir estudiando.

David Alejandro López Lugmania

ANÁLISIS PARA EL REACONDICIONAMIENTO DE CATALIZADORES DE 3 VÍAS EN LOS VEHÍCULOS CON MOTOR A GASOLINA

ANALYSIS FOR THE OVERHAUL OF 3-WAY CATALYTIC CONVERTERS ON GASOLINE ENGINE VEHICLES

Karelis Elizabeth Litardo Aroca¹, David Alejandro López Lugmania²

Resumen

El estudio presentado se refiere a dos métodos para el reacondicionamiento del catalizador de tres vías en los vehículos a gasolina realizado en la ciudad de Quito, dicho procedimiento se centra en el uso de 2 métodos de limpieza con una máquina que emplea un proceso de electrólisis con fuentes de energía disociando el oxígeno y el hidrógeno y un aditivo que cuida la acumulación de hollín y limpia la cámara de combustión e inyección reduciendo las emisiones contaminantes de gases. Las posibles causas de la disminución en la eficiencia del catalizador pueden comprender por la mezcla de aire/combustible inadecuadas, bujías y sensores de oxígeno defectuosos, así como una sincronización incorrecta del motor. Para llevar a cabo estas pruebas se utilizó dos vehículos que tenga un mayor kilometraje de 100.000, un vehículo Aveo GTA5 año 2009 y un Nissan Xtaril año 2008, siguiendo las normativas de regularización de gases y metodología propuesta se obtiene como resultado datos favorables en los hidrocarburos con una reducción del 90% no obstante en el O₂ no funciona porque tiene un aumento con el reacondicionamiento con la máquina. Con el aditivo se presenta una eficiencia del 50%, porque el motor no tiene una buena aceptación al aplicar el aditivo. En resumen, al aplicar los dos métodos de reacondicionamiento no existe una mejora en las emisiones de gases.

Palabras Clave: gases nocivos, hidrocarburos, monóxidos de carbono, oxígeno, hollín, reducción, reacondicionamiento, gases de escape, normativas.

Abstract

The study presented refers to two methods for the reconditioning of the three-way catalytic converter in gasoline vehicles carried out in the city of Quito, this procedure focuses on the use of two cleaning methods with a machine that uses a process of electrolysis with energy sources dissociating oxygen and hydrogen and an additive that takes care of the accumulation of soot and cleans the combustion chamber and injection reducing polluting gas emissions. Possible causes of the decrease in catalyst efficiency may include inadequate air/fuel mixture, faulty spark plugs and oxygen sensors, as well as incorrect engine timing. To carry out these tests we used two vehicles that have a higher mileage of 100,000, a vehicle Aveo GTA5 year 2009 and a Nissan Xtaril year 2008, following the regulations of regularization of gases and proposed methodology is obtained as a result favorable data in hydrocarbons with a reduction of 90% however in the O₂ does not work because it has an increase with the reconditioning with the machine. With the additive there is an efficiency of 50%, because the engine does not have a good acceptance when applying the additive.

In summary, when applying the two reconditioning methods there is no improvement in gas emissions.

Keywords: noxious gases, hydrocarbons, carbon monoxides, oxygen, soot, reduction, reconditioning, exhaust gases, regulations.

1. Introducción

La presente investigación se fundamenta en el estudio de los parámetros de funcionamiento y eficiencia de los catalizadores de 3 vías, los cuales se han implantado por varios fabricantes desde los años 70 para disminuir la generación de emisiones contaminantes por fuentes móviles [1]. Estudiar la eficiencia de los catalizadores ha sido uno de los temas investigativos más profundos, varios autores se han enfocado en mejorar su principio de trabajo en los compuestos como el rodio (Rh) que causará una proporción para reducir los NOx, llamándolo como catalizador de tres vías [2], el uso del óxido de cerio (CeO₂) fue descartado por temperaturas elevadas, poca termoestabilidad y por el sufrimiento de pérdidas y liberación de propiedades química [3]. “Los catalizadores permiten el transcurso de reacciones que estarían bloqueadas o provocando una desaceleración por una barrera cinética” [4]. “Para el autor Corain en su libro indica que cuanto menor sea el tamaño de partículas del catalizador, mayor será el área específica para una masa dada de partículas” [5]. “En base a la investigación los catalizadores para ser ideal deben ser heterogéneos a menudo se encuentran respaldados, lo que significa que la fase activa está ampliamente dispersa en un material inorgánico. Esto le otorga al catalizador una propiedad adicional, como la capacidad de proporcionar sitios ácidos o básicos que pueden interactuar con el sustrato, aumentando la concentración en la superficie del catalizador. Además, cuando la fase activa se dispersa en un segundo material, a menudo se mejora la eficacia catalítica, lo que a su vez reducirá su costo. A nivel de la investigación realizada demuestra que el soporte no es simplemente una superficie sobre la cual se depositan las fases activas para aumentar su dispersión, sino que cumple una función más amplia. [6], [7].” Como se ha señalado anteriormente, “en los motores de gasolina, la combustión produce tres contaminantes principales: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx). Estos gases tienen efectos significativos y permanentes tanto en la salud humana como en los ecosistemas”. Se ha comprobado que las emisiones de los vehículos han experimentado reducciones significativas, en un rango que va

desde una disminución de dos veces hasta cien veces, durante las últimas décadas, con el fin de cumplir con los estándares regulatorios [8]. Mediante estudios realizados los convertidores catalíticos (CTV) también pueden experimentar obstrucciones parciales o totales “debido a fugas de líquido refrigerante y aceite causadas por sellos de válvulas dañados, juntas defectuosas y desgaste de los pistones. Además, algunos componentes químicos presentes en los aditivos” de la gasolina pueden depositarse en la superficie catalítica [9]. En determinadas situaciones, los convertidores catalíticos pueden experimentar un sobrecalentamiento debido a la obstrucción de los gases que no son liberados y pueden llegar a derretir la estructura interna en el panel del catalizador [10]. En la actualidad y con el desarrollo de investigaciones los convertidores catalíticos de tres vías modernos son capaces de lograr eficiencias de conversión cercanas al 100% cuando el catalizador se calienta correctamente y “la relación aire-combustible se controla en una banda estrecha” alrededor del valor estequiométrico. El comportamiento dinámico del (TWC) está dominado por su capacidad para almacenar y liberar oxígeno. [11]. Para los autores Fornalczyk y Saternus comentan que existe una aproximación entre el 15-20% de la demanda global de platino que cubre mediante el reciclaje de convertidores catalíticos usados, el platino es muy importante porque se emplea en las reacciones de hidrogenación, deshidrogenación, isomerización, ciclización, deshidratación, deshaligenación y oxidación, por lo cual, la cantidad de platino obtenida a través del reciclaje no es suficiente para satisfacer la creciente demanda mundial, lo que ha llevado a una disminución en las reservas de platino y al aumento de su precio [12]. Es necesario que las condiciones de temperatura dentro del convertidor catalítico sean adecuadas para reducir al mínimo las emisiones durante el arranque en frío y mantener una alta eficiencia en la conversión de gases contaminantes en gases no contaminantes [8]. “A medida que aumenta la temperatura del catalizador”, la eficiencia de conversión del catalizador aumentaría para el CO y los hidrocarburos no quemados [13]. Para el autor Whelan las emisiones de arranque en frío se definen como las emisiones producidas por un motor durante el período de calentamiento inicial,

después de un período suficientemente largo de inactividad y antes de que el motor, el convertidor catalítico o cualquier otro sistema de reducción de emisiones alcance su funcionamiento óptimo [14]. Por medio de este estudio un incremento en la caída de presión puede ser un signo de que el catalizador está propenso a obstruirse [15], “el convertidor catalítico es uno de los dispositivos de postratamiento de gases de escape más eficientes disponibles”, capaz de mejorar significativamente la eficiencia en la combustión de combustible y reducir las emisiones de manera efectiva [16]. Por este motivo, en dicho artículo se presentará un análisis comparativo de dos tipos de reacondicionamiento por medio de una máquina y un aditivo, en dos vehículos con catalizadores de tres vías, verificando si cumple las normativas vigentes en la ciudad de Quito y su reacondicionamiento es o no factible para el vehículo.

2. Materiales y Métodos

2.1. Equipos y materiales

- Máquina de limpieza

El equipo de la Imagen 2, utiliza un proceso de electrólisis altamente eficiente con una fuente de energía de pulso activo para descomponer el agua en oxígeno e hidrógeno, transformando este último en un gas potente y eficiente conocido como orto-oxihidrógeno. El gas oxihidrógeno (HHO) inyectado posee un alto poder calorífico, lo que aumenta rápidamente la temperatura de combustión y permite una pirólisis controlada para eliminar los depósitos de carbono acumulados en el motor. Esta tecnología de descarbonización es adecuada para una amplia gama de vehículos, incluyendo automóviles, camionetas, camiones y motocicletas, y puede ser aplicada a motores de cualquier tipo de combustible. El gas generado por la máquina se introduce a través del sistema de admisión, donde se mezcla con el aire aspirado a través del filtro. Su efectividad se manifiesta cuando se quema en la cámara de combustión, donde aumenta la temperatura y concentra el calor hacia el centro del motor. Es importante destacar que el gas no tiene ninguna influencia, ya sea positiva o negativa, mientras atraviesa los tubos y componentes antes de

alcanzar la cámara de combustión. La máquina (DAQUING), cumple con la normativa ISO 12100 (2010), el cual especifica como se realiza la reducción de riesgo y el diseño de una máquina, garantizando la seguridad al usuario que controla dicha maquinaria, las características de la máquina se detallan en la Tabla 3.



Imagen 1: Máquina de limpieza.

Producción de Gas	1500 L/H
Voltaje de funcionamiento	AC 110V± 10%
Potencia	Menos 3kw
Frecuencia	50/60Hz
Temperatura de trabajo	0-40°C
Presión de trabajo	0.25Mpa

Tabla 1: Manual de la máquina.

- Analizador de gases

En el analizador de gases con su ficha técnica de la Tabla 4, tiene la capacidad de medir y monitorear automáticamente la concentración de volumen de CO, CO₂, HC y O₂ en los gases que provienen de las tuberías de escape de los automóviles que están equipados con motores de gasolina de 4 tiempos hechos de gasolina, GLP (gas licuado) o GNC (gas natural). Debe cumplir con la recomendación internacional de OIML R 99 (Clase 1) / ISO 3930 e NTE INEN 2203, que debe confirmarse por el certificado del fabricante. Capacidad para medir e informar automáticamente la velocidad del motor, el factor Lambda y la temperatura del aceite. La capacidad de aceleración no se limita a un sistema de arranque motor, sea convencional (ruptor y condensador) o electrónicamente. DIS,

EDIS, bobinas independientes, descarga de capacitación, etc [17].



Imagen 2: Analizador de gases Capelec [17].

Modo dual	Diagnostico ITV-RTV
Medida de las concentraciones	HC, CO, CO ₂ , O ₂
Tiempo de calentamiento	Inferior a 9 minutos a 0°C
Temperatura de funcionamiento	-10°C a 55°C
Tiempo de respuesta	5 segundos
Presión atmosférica	750mBar a 1150mBar
Coefficiente Lambda	0 a 9.99
Altitud	4000 msnm
Humedad Relativa	0 a 95%
Rango de Medición	90%
Calibración	90%

Tabla 2: Manual máquina Capelec [17].

-Vehículos a prueba

Para la prueba del reacondicionamiento se utilizan dos vehículos livianos a gasolina, con una similitud de kilometraje entre los 100.000 a 200.000, el vehículo Aveo GTA5 2009 fue el más cotizado por su bajo costo tanto en su mantenimiento, venta de repuestos y una buena eficiencia en el consumo de combustible, el vehículo Nissan Xtrail 2008 ofrece una buena versatilidad, comodidad y por ser la SUV todo terreno más vendida por ende tiene una disponibilidad de respuestos y servicios técnicos. Son datos que la Asociación de empresas automotrices del Ecuador (AEADE) anunció en el anuario del 2009.

El primer vehículo Aveo GTA5



Imagen 3: Aveo GTA5.

Ficha técnica Chevrolet Aveo GTA5	
Kilometraje actual	146.000
Cilindra	1600
N° de cilindros	4
Potencia máxima (CV/rpm)	105.47 CV / 6.000 rpm
Par máximo (torque)	143.38Nm
Tipo de combustible	Gasolina
Transmisión	5 velocidades
Tracción	Delantero
Catalizador	3 vías

Tabla 3: Chevrolet Aveo GTA5.

El segundo vehículo Nissan Xtrail



Imagen 4: Nissan Xtrail.

Ficha técnica Nissan Xtrail	
Kilometraje actual	110.560
Cilindra	2500
N° de cilindros	4
Potencia máxima (CV/rpm)	169 CV / 6.000 rpm
Par máximo (torque)	233Nm
Tipo de combustible	Gasolina
Transmisión	5 velocidades
Tracción	Total
Catalizador	3 vías

Tabla 4: Ficha técnica Nissan Xtrail.

- **Aditivo Catalytic-System Clean**

El aditivo Catalytic-System Clean tiene una influencia en la limpieza del catalizador con características descritas en la Tabla 5, en la clase VBF A 11 se denomina como líquido inflamable con una sustancia UVCB (Sustancias de composición desconocida o variable), En tales casos, una identificación clara basada únicamente en la composición química no será posible, por lo que habrá que considerarlas sustancias de composición desconocida o variable, productos de reacción compleja y materiales biológicos [18], por motivos de patentes realizadas por el propietario del producto. El aditivo de la Imagen 3, protege el catalizador de la acumulación de hollín. Limpia la cámara de combustión y el sistema de inyección. Todos los motores de gasolina con convertidores catalíticos son compatibles. Especialmente útil para el cuidado preventivo, 300 ml son suficientes para hasta 70 L de gasolina. El efecto dura 2000 kilómetros [19].



Imagen 5: Aditivo Catalytic-System Clean.

Base	Combinación de aditivos en el flujo portador
Color/Aspecto	Amarillo claro, transparente/amarillo
Clase VbF	A 11
Punto de combustión	61 °C
Punto de fluidez	-45°C
Forma	Flussing/líquido
Olor	Característica
Viscosidad a 40°C	7mm ² /s
Densidad a 15°C	0.765 g/cm ³

Tabla 5: Manual aditivo Catalytic-System Clean [19].

- **Líquido de limpieza**

El líquido de limpieza con descripción de la Tabla 6, se utiliza para la maquina está compuesta de algunos elementos químicos que son, cloruro de sodio (NaCl) el cual puede acelerar la corrosión en partes metálicas del vehículo, aminoácidos no afectan directamente al vehículo por qué no se encuentran en el funcionamiento del motor, sin embargo se encuentran en aditivos o productos que contenga este elemento para mejorar la eficiencia del motor y para finalizar el agua (H₂O) actúa como el disolvente principal y facilita la acción de limpieza. Este líquido puede variar según el fabricante por lo general water based carbon cleaning agent (Agente de limpieza de carbono a base de agua) de la Imagen 5, contienen una combinación de ingredientes diseñados para disolver y eliminar el carbono acumulado en los componentes del motor hacia el catalizador.



Imagen 6: Líquido de limpieza catalítica.

Agente limpiador HHO	
H₂O	90%
Aminoácidos	7%
Cloruro de sodio	3%
Eficiencia	60%

Tabla 6: Agente limpiado.

2.2. Metodología experimental.

En primer lugar, es necesario reconocer los parámetros de funcionamiento del catalizador de tres vías en motores a gasolina de los vehículos a prueba. Por tal motivo, mediante un vacuómetro y el analizador de gases se recolectarán datos importantes para el análisis del reacondicionamiento del catalizador, como se visualiza en la Imagen 7, con los equipos

descritos y materiales usados, se obtendrán nuevos datos que se van a generar después de la limpieza.

Para el reacondicionamiento se procede con la toma de datos establecidos por la norma INEN 2204, que detalla las pruebas estáticas, y los parámetros establecidos por el instructivo de revisión técnica vehicular (2016), como se muestran en la tabla 7 y 8 respectivamente:



Imagen 7: Diagrama vacuómetro y analizador de gases

Gases	Vehículo tipo A 2		Vehículo tipo A 3	
	Ralentí	2500 min-1	Ralentí	2500 min-1
O ₂ (%)	4% ≤ x < 5%	4% ≤ x < 5%	x ≥ 5%	x ≥ 5%
HC (ppm)	180 ≤ x < 200	180 ≤ x < 200	x ≥ 200	x ≥ 200
CO (%)	0,8% ≤ x < 1%	0,8% ≤ x < 1%	x ≥ 1%	x ≥ 5%

Tabla 7: “Descripción umbral de la revisión técnica vehicular para emisiones de gases” [20].

Año modelo	% CO ^a		1500 – 3000 ^a	
	0 a 1500 ^b	1500 a 3000 ^b	0 a 1500 ^b	1500 a 3000 ^b
2000 y posteriores	1.0	1.0	200	200
1990 a 1999	3.5	4.5	650	750
1989 y anteriores	5.5	6.5	1000	1200

^a Volumen
^b Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm).

Tabla 8: “Límites máximos para fuentes móviles con motor de gasolina (INEN 2204)” [21].

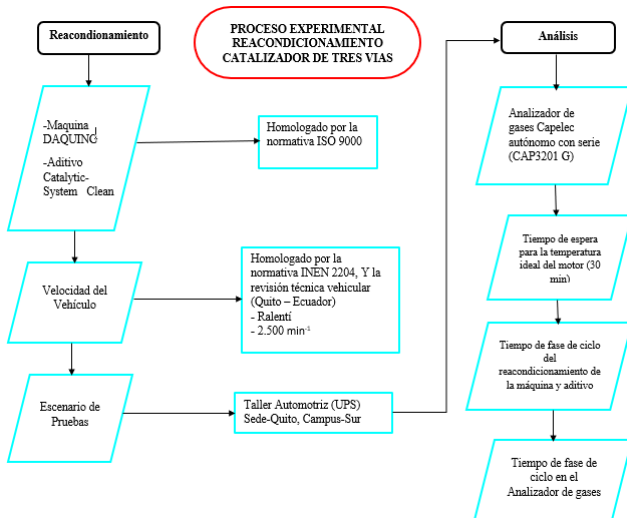


Imagen 8: : Flujo grama de proceso de Reacondicionamiento del catalizador de 3 vías.

Los vehículos seleccionados para el análisis son los mencionados en la tabla 7 y 8, su principal característica debe ser mayor a los 100.000km. Con el analizador de gases de acuerdo a la normativa INEN 2204 y a la revisión técnica vehicular de la ciudad de Quito, en los automóviles de prueba seleccionados, la norma sugiere realizar las pruebas estáticas propuestas en la Tabla 1 y 2, los datos que se obtuvieron antes del reacondicionamiento detallada en las Tablas 9 y 10.

2.4. Aplicación de Reacondicionamiento de catalizadores de 3 vías vehículo 1. (Máquina DAQUIN).

En el vehículo (Aveo GTA5) se usó el primer método de reacondicionamiento por medio de la máquina. Se realiza la inspección con un vacuómetro, el cual se lo conecta por una válvula de vacío, para saber el estado del motor y del catalizador con ello podremos verificar si está o no obstruido, se conecta la manguera de la máquina de limpieza a la válvula de vacío del vehículo, añadiendo a la máquina el líquido de limpieza, el cual permitirá la descarbonización de todo el sistema catalítico, posteriormente se conecta la máquina con un sensor piezoeléctrico al vehículo y se configura el tiempo de reacondicionamiento a 40 minutos. Se espera el tiempo del proceso estimado por la máquina, para la descarbonización catalítica y se observa la entrada del líquido por medio de la válvula de vacío, procedimiento detallada en la Imagen 9.

Aveo GTA5		
Gases	Ralentí	2 500 min-1
CO%	0.00	0.00
CO ₂ %	14.4	15.1
HCPPM	10	11
O ₂ %	2.66	1.05
Lambda	1.13	1.05

Tabla 9: Datos obtenidos antes del reacondicionamiento en ralentí y a 2500 min⁻¹ Aveo GTA5.

(Nissan Xtrail)		
Gases	Ralentí	2500 rpm
CO%	0.00	0.43
CO ₂ %	15.4	13.7
HC PPM	15	33
O ₂ %	0.51	2.62
Lambda	1.02	1.11

Tabla 10: Datos obtenidos antes del reacondicionamiento en ralentí y a 2500 min⁻¹ Nissan Xtrail.

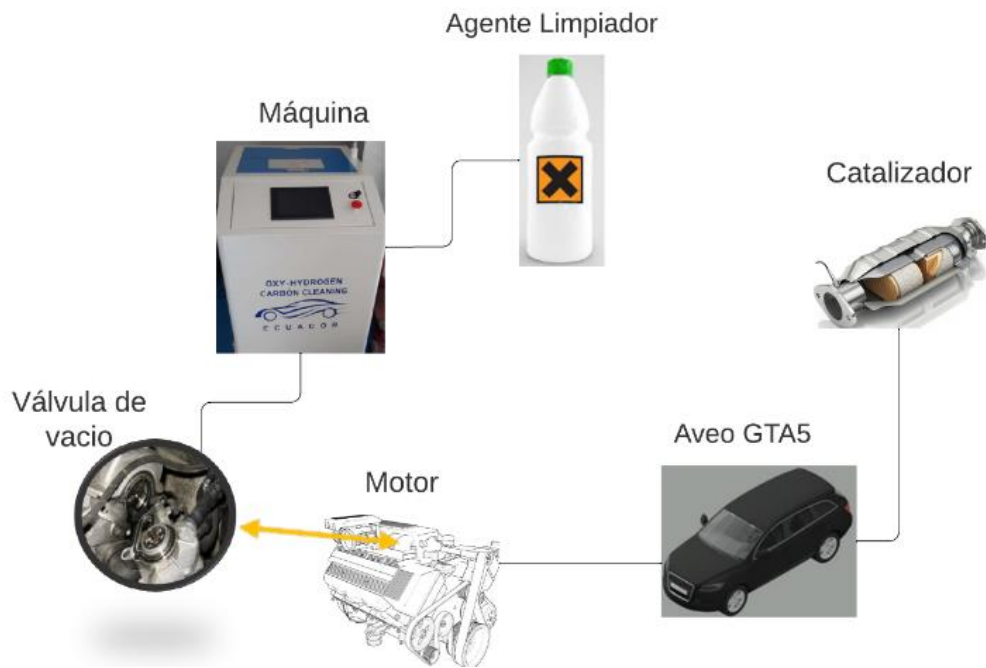


Imagen 9: Diagrama de proceso de trabajo de reacondicionamiento Oxy-hidrogen

En el vehículo (Nissan Xtrial) se usó el segundo método de reacondicionamiento por medio del aditivo Catalytic-System Clean. Se aplica el aditivo en el atomizador con bomba, se cierra el frasco y se presuriza de forma manual en vertical, se inspecciona el vehículo a utilizar y

se accede al conducto de admisión, a continuación, se arranca el motor y se va aplicando el aditivo en intervalos con un control de la presión de la bomba hasta que se termine el aditivo a 2500 rpm, indicado en la Imagen 10.



Imagen 10: Diagrama de proceso de trabajo del reacondicionamiento con aditivo.

Resultados y Discusión

3.1. Datos obtenidos

Durante cada prueba realizada, se captaron datos de las emisiones contaminantes luego de un periodo del reacondicionamiento de 10 días para cada caso de estudio, generando una comparativa del comportamiento de los

gases de escape, específicamente el CO, HC y O₂ como lo muestra la tabla 11 y 12.

<i>Pruebas en el vehículo (Aveo GTA5)</i>				
<i>Sin reacondicionamiento</i>			<i>Con reacondicionamiento con la máquina</i>	
<i>Gases</i>	<i>Ralentí</i>	<i>2 500 min-1</i>	<i>Ralentí</i>	<i>2500 min-1</i>
CO%	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂ %	14.4	15.1	12.2	15.4
HCPPM	10	11	0	0
O ₂ %	2.66	1.05	5.1	0.55
Lambda	1.13	1.05	1.29	1.02

Tabla 11: Datos obtenidos con y sin reacondicionamiento con la maquina.

<i>Pruebas en el vehículo (Nissan Xtrail)</i>				
<i>Sin reacondicionamiento</i>			<i>Con reacondicionamiento aditivo</i>	
<i>Gases</i>	<i>Ralentí</i>	<i>2500 min-1</i>	<i>Ralentí</i>	<i>2500 min-1</i>
CO%	0.00	0.43	0.00	0.31
CO ₂ %	15.4	13.7	15.6	10.4
HC PPM	15	33	0	49
O ₂ %	0.51	2.62	0.39	6.7
Lambda	1.02	1.11	1.02	1.42

Tabla 12: Datos obtenidos con o sin reacondicionamiento con el aditivo.

3. Discusión

Los resultados del reacondicionamiento se enfoca en una comparativa de las emisiones del cada catalizador luego del periodo de estabilización de 10 días, la máquina en ralentí muestra como resultado la disminución de los hidrocarburos, el óxido de

carbono se mantiene en cero mientras que en el caso del oxígeno aumenta, por lo tanto el vehículo tiene una mezcla pobre, por otro lado a 2500 min⁻¹ se observa que el reacondicionamiento cumple con la función de limpieza, disminuyendo las emisiones de gases del O₂, HC y el CO, en donde la imagen 11 muestra los valores de resultado.

Aveo GTA5

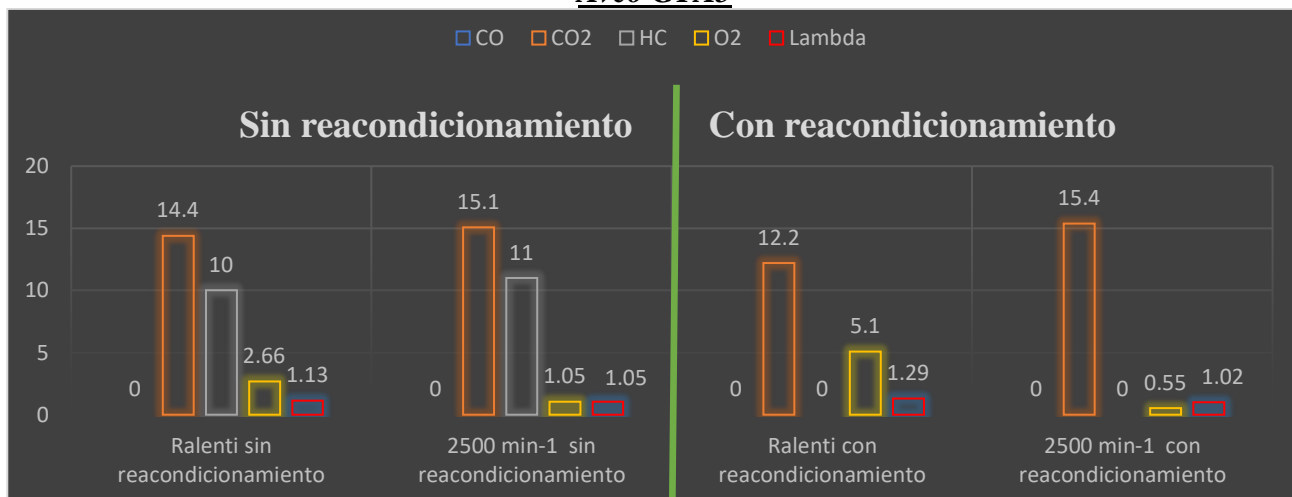


Imagen 11: Representación gráfica del comportamiento de los gases en el Aveo GTA5.

Con el aditivo Catalytic-System Clean se demostró que antes del reacondicionamiento en ralentí cumple con los parámetros establecidos de regularización de la Tabla 1 y 2, se presenta una mejora de los HC y O₂, en el CO no tuvo una alteración manteniéndose su resultado en cero, cuando el motor se acelera a 2500 min⁻¹ el limpiador no hace su función causando una

alteración en las emisiones de gases provocando que el vehículo no cumpla con las normativas y tiene un incremento en los hidrocarburos, el oxígeno pasa los límites de regularización vehicular, mientras que en el óxido de carbono el aditivo redujo su emisión como se muestra en la Imagen 12.

Nissan Xtrail



Imagen 12: Representación gráfica del comportamiento de los gases en el Nissan Xtrail.

4. Conclusiones

El reacondicionamiento de catalizadores de tres vías presenta una ineficiencia en los dos vehículos de prueba, en la máquina con su líquido descarbonizante controla un 60% en las emisiones de gases, no obstante el 40% no es suficiente para que cumpla con las normativas establecidas, por el motivo de la variación que

se obtuvo en ralentí y a 2500 rpm, de la misma forma el aditivo tiene una eficacia del 50% y teniendo una mala descarbonización del 50%, también es importante recalcar que mediante el analizador de gases que fue utilizado en el estudio simplifica la recopilación de datos y reduce el tiempo necesario para obtenerlos.

En la presentación de la Imagen 11, las emisiones de gases en ralentí el O₂ no cumple con la revisión técnica vehicular por motivo de un aumento de 2.66% sin reacondicionamiento, por otro lado, con el reacondicionamiento su valor nos da 5.1% de variación. También en la Imagen 11 a 2500 min⁻¹, nos refleja los resultados en el catalizador donde se capta el reacondicionamiento de la máquina mostrando una mejora en las emisiones de gases.

En la imagen 12, con el aditivo Catalytic-System Clean, los resultados del vehículo Nissan Xtrail en ralentí presenta un buen reacondicionamiento en el catalizador, haciendo que las partículas de emisiones de gases actúen y se vayan haciendo más pequeñas cumpliendo así las normativas de la Tabla 7 y 8, por otro lado a 2500 min⁻¹ con el aditivo, nos indica valores que cumplen con la regulación vehicular, en el O₂ sin reacondicionamiento tiene el 1,11%, después de la aplicación del aditivo marcó una diferencia de 6,7% como se muestra en la Imagen 12.

Finalmente, cabe resaltar que los catalizadores de 3 vías no necesitan de un reacondicionamiento ya que no presento los resultados esperados y no existe una mejora,

pero tomando en cuenta si el vehículo presenta un recorrido de 200.000km o mayor, aplicando cualquier método de limpieza mencionado el reacondicionamiento ayudará en un mantenimiento preventivo prolongando la reconstrucción interna de gases en el catalizador.

5. Referencias

- [1] D. , A. Farrauto.R, «Gasoline automobile catalysis and its historical journey to cleaner air,» *Nature Catalysis*, vol. 2, n° 7, pp. 603-613, 2019.
- [2] L. Summers y H. C., «Platinum-rhodium catalyst for automotive emission control,» 1978.
- [3] M. Benjaram, Reddy, K. Ataulah, L. Pandian, A. Mimoun, L. Stéphane y C. Jean, «Structural Characterization of Nanosized CeO₂-SiO₂, CeO₂-TiO₂, and CeO₂-ZrO₂ Catalysts by XRD, Raman, and HREM Techniques,» *J Phys Chem B*, vol. 109, n° 8, pp. 3355-3363, 2005.
- [4] R. Zanella, «Aplicación de los nanomateriales en catálisis,» *Mundo nano*, vol. 7, n° 12, pp. 66-82, 2014.
- [5] B. Corain, G. Schmid y N. Toshima, *Metal Nanoclusters in Catalysis and Materials Science: The Issue of Size Control*, Amsterdam: Elsevier, 2008.
- [6] G. Somorjai y P. Chen, «Surface materials: the frontier of solid state chemistry,» *Elsevier*, Vols. %1 de %2141-142, pp. 3-19, 2001.
- [7] G. Somorjai y Li., «Introduction to surface chemistry and catalysis,» de *Wiley*, Hoboken, New Jersey, 2010.
- [8] N. Kritsanaviparkporn, M. Baena y T. Reina, «Catalytic Converters for Vehicle Exhaust: Fundamental Aspects and Technology Overview for Newcomers to the Field,» *Chemistry*, vol. 3, n° 2, pp. 630-646, 2021.

- [9] S. Christou, J. García, L. Fierro y M. Efstathiou, «Deactivation of Pd/Ce_{0.5}Zr_{0.5}O₂ model threeway catalyst by P, Ca and Zn deposition,» *Applied Catalysis B:Environmenta*, vol. 111, pp. 233-245, 2012.
- [10] E. Navarro, D. Meza, R. Guzmán, H. DuarteMoller, F. Ponce, B. Moreno, O. Grijalva, B. Álvarez, D. Schiavo, D. Puebla y M. Pedroza, «Release of Nanoparticles in the Environment and,» *Nanomaterials*, vol. 11, n° 12, p. 3406, 2021.
- [11] S. Sabatini, I. Kil, J. Dekar, T. Hamilton, J. Wuttke, M. Smith, M. Hoffman y O. Onori, «A New Semi-Empirical Temperature Model for the Three Way Catalytic Converter,» *Sciencedirect*, p. 2, 2015.
- [12] A. Fornalczyk y M. Saternus, «Eliminación de metales del grupo del platino del convertidor catalítico de automóviles usado,» *Metalurgija*, n° 48, pp. 133-136, 2009.
- [13] C. R. Online, In *Internal Combustion Engine Fundamentals*, vol. 26, New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 1988, p. 26–943.
- [14] I. Whelan, D. Timoney, W. Smith y S. Samuel, «The Effect of a Three-Way Catalytic Converter on Particulate Matter from a Gasoline Direct-Injection Engine During Cold-Start,» *SAE Int. J. Engines*, n° 6, p. 1035–1045, 2013.
- [15] M. Durilla, W. Hizny y S. Mack, «Carbon monoxide oxidizers. In Heat Recover Steam Generator Technology,» *Elsevier*, pp. 199-229, 2017.
- [16] JIE y LU., «Environmental Effects of Vehicle Exhausts, Global and Local Effects A Comparison between Gasoline and Diesel,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:427347/FULLTEXT01.pdf>. [Último acceso: 13 julio 2023].
- [17] «Capelec.com,» 29 05 2023. [En línea]. Available: <https://www.capelec.com/es/equipements/emisiones/cap3201-g>.
- [18] «ECHA European Chemicals Agency,» 2017. [En línea]. Available: https://echa.europa.eu/documents/10162/13643/nutshell_guidance_substance_es.pdf/4530aa1d-30d2-498f-9ee7-8048fb361703. [Último acceso: 14 07 2023].
- [19] L. MOLY, «Catalytic-SYSTEM Clean,» Alemania, 2019.
- [20] A. A. M. d. tránsito, *Revisión Técnica Vehicular*, vol. 1.13, Quito, 2016, pp. 183 - 185.
- [21] G. d. Ecuador, «GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES.,» segunda revision, Quito-Ecuador, 2017.

