



*Optimización de conductos del múltiple de escape en los materiales bajo su rendimiento experimental en el MEP de un vehículo liviano*

*Optimization of exhaust manifold ducts in materials under its experimental performance in the MEP of a light vehicle*

*Otimização de dutos de coletor de exaustão nos materiais sob seu desempenho experimental no MEP de um veículo leve*

Luis Carlos Chiriboga-Solano <sup>I</sup>

[lchiriboga.mdm@uisek.edu.ec](mailto:lchiriboga.mdm@uisek.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-3025-252X>

Ángel Guillermo Masaquiza-Yanzapanta <sup>II</sup>

[amasaquiza.istg@gmail.com](mailto:amasaquiza.istg@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-1592-0822>

Fernando Enrique Maldonado-Páez <sup>III</sup>

[fernando.maldonado@itsfo.edu.ec](mailto:fernando.maldonado@itsfo.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-8657-634X>

Miguel Angel Guilcamaigua-Tarco <sup>IV</sup>

[miguel.guilcamaigua@itsfo.edu.ec](mailto:miguel.guilcamaigua@itsfo.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-3617-753X>

Gino Fernando Guevara-Betancourt <sup>V</sup>

[gino.guevara@itsfo.edu.ec](mailto:gino.guevara@itsfo.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-7158-1269>

**Correspondencia:** [lchiriboga.mdm@uisek.edu.ec](mailto:lchiriboga.mdm@uisek.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de investigación

\***Recibido:** 20 de diciembre de 2021 \***Aceptado:** 20 de enero de 2021 \* **Publicado:** 10 de febrero de 2021

- I. Ingeniero Mecánico Automotriz, Magister en Diseño Mecánico, Estudiante de la Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.
- II. Ingeniero Automotriz, Magister en Diseño Mecánico, Docente Investigador, Instituto Superior Tecnológico Guayaquil, Ambato, Ecuador.
- III. Ingeniero Automotriz. Magister en Diseño Mecánico Mención en Fabricación de Autopartes de Vehículos, Docente Investigador Instituto Superior Tecnológico Francisco de Orellana, Estudiante de la Universidad Internacional SEK, Puyo, Ecuador.
- IV. Ingeniero Automotriz, Formación de Formadores, Mecatrónica Automotriz, Prevención en Riesgos Laborales, Docente Investigador Instituto Superior Tecnológico Francisco de Orellana. Puyo, Ecuador.
- V. Ingeniero en Mantenimiento, Docente Investigador Instituto Superior Tecnológico Francisco de Orellana, Puyo, Ecuador.



## Resumen

Los gases expulsados del cilindro comprimen y desalojan los gases presentes en el conducto de escape. Conforme los gases se desplazan hacia la boca de escape, el proceso de transferencia de calor con las paredes se hace menos pronunciado, promoviendo la reducción de temperatura, esto es parte de proceso de análisis actual respecto al material de las paredes. El objetivo de este trabajo fue realizar prototipos de ductos escape que permitan diferenciar las mejoras dependiendo del material el cual están fabricados, esto permitirá mayor variedad en los materiales usados para el mercado ecuatoriano. Como método se aplicó los modelos unidimensionales de acción de ondas (WAM) permiten calcular el flujo en conductos, mediante la combinación de canales unidimensionales, depósitos cero dimensionales y elementos no dimensionales, en los modelos de acción de onda, a fin de obtener información rápida acerca de las modificaciones realizadas en la trayectoria de los gases. Además, para obtener los datos exactos de torque y potencia, de cada uno de los 3 diseños con materiales alternos, se realizó las pruebas dinamométricas según la norma INEN 960, obteniendo las curvas características del vehículo. Finalizando el estudio el múltiple de escape fabricado de configuración 4-1 con tubería aluminizada aumentó un 8.92% de torque con respecto al original, mientras que la potencia aumentó un 7.66% con respecto a la línea base, el diseño y el material responden positivamente a los objetivos planteados en este estudio.

**Palabras clave:** Vehículo; rendimiento; sistema de escape; materiales; diseño.

## Abstract

The gases expelled from the cylinder compress and dislodge the gases present in the exhaust duct. As the gases move towards the exhaust port, the heat transfer process with the walls becomes less pronounced, promoting the reduction of temperature, this is part of the current analysis process regarding the material of the walls. The objective of this work was to make prototypes of exhaust ducts that allow to differentiate the improvements depending on the material which they are manufactured, this will allow a greater variety in the materials used for the Ecuadorian market. As a method, one-dimensional wave action models (WAM) were applied to calculate the flow in ducts, by combining one-dimensional channels, zero-dimensional deposits and non-dimensional elements, in wave action models, in order to obtain fast information about the modifications made in the path of the gases. In addition, to obtain exact torque and power data for each of the 3 designs

with alternate materials, dynamometric tests were carried out according to the INEN 960 standard, obtaining the characteristic curves of the vehicle. At the end of the study, the exhaust manifold manufactured with a 4-1 configuration with aluminized pipe increased by 8.92% of torque with respect to the original, while the power increased by 7.66% with respect to the baseline, the design and the material respond positively to the objectives set in this study.

**Keywords:** Vehicle; performance; exhaust system; materials; design.

## Resumo

Os gases expelidos do cilindro comprimem e desalojam os gases presentes na conduta de exaustão. medida que os gases se deslocam para a porta de escape, o processo de transferência de calor com as paredes torna-se menos pronunciado, promovendo a redução da temperatura, isto faz parte do actual processo de análise relativo ao material das paredes. O objectivo deste trabalho foi fazer protótipos de condutas de exaustão que permitam diferenciar as melhorias em função do material que é fabricado, o que permitirá uma maior variedade nos materiais utilizados para o mercado equatoriano. Como método, foram aplicados modelos de acção de onda unidimensional (WAM) para calcular o fluxo nas condutas, através da combinação de canais unidimensionais, depósitos de dimensão zero e elementos não dimensionais, nos modelos de acção de onda, a fim de obter informação rápida sobre as modificações feitas na trajectória dos gases. Além disso, para obter os dados exactos de torque e potência para cada um dos 3 desenhos com materiais alternativos, foram efectuados ensaios dinamométricos de acordo com a norma INEN 960, obtendo-se as curvas características do veículo. Finalizando o estudo, o colector de escape fabricado em configuração 4-1 com tubo aluminizado aumentou 8,92% do binário em relação ao original, enquanto a potência aumentou 7,66% em relação à linha de base, o desenho e o material respondem positivamente aos objectivos estabelecidos neste estudo.

**Palavras-chave:** Veículo; desempenho; sistema de escape; materiais; desenho.

## Introducción

El sistema de escape es una parte fundamental del MEP (Motor De encendido Provocado), el cual permite a los gases que fluyen al medio ambiente, el problema se presenta debido a la monotonía de materiales al momento de la fabricación de sistemas de escape por lo que se pretende generar

diversidad de materiales que permitirán obtener diferentes beneficios dependiendo del material que va a ser utilizado en la producción de sistemas de escape (Guaman et al., 2019).

Durante el ciclo de trabajo completo, un motor de cuatro tiempos traza dos lazos en el diagrama p-V, en el cual el lazo superior corresponde al trabajo indicado y el lazo inferior al trabajo de bombeo (Payri González y Desantes Fernández, 2011). Entre los aspectos influyentes en las pérdidas mecánicas por bombeo en un MEP, según Bermúdez y Tormos (2011), se tiene: Pérdida de carga en el sistema de admisión por la resistencia en el paso de aire; Contrapresión de escape; avances y retrasos en el diagrama de distribución del motor a fin de optimizar los procesos de admisión y escape. Geometría de los sistemas de admisión y escape acordes al diagrama de distribución para mejorar el llenado del cilindro y reducir el trabajo de bombeo. Las pérdidas de bombeo al tener su origen en el proceso de renovación de la carga, se las puede reducir en base al dimensionamiento adecuado de válvulas de admisión y escape mediante el diseño de los conductos de admisión y escape sintonizados con el diagrama de distribución (Bermúdez & Tormos, 2011).

Al incrementar la velocidad del motor, reducir las pérdidas por fricción o aumentar la eficiencia volumétrica, térmica y de combustión se logra mejorar potencia en el motor. De donde la eficiencia volumétrica tiene un mayor impacto en el rendimiento, y consiste en la eficacia del intercambio de gases, es decir el reemplazo de los gases quemados y el llenado del cilindro con gases frescos, o como ya se dijo el proceso de renovación de la carga (Deshmukh, Kumar, Garg, Nayeem, y Lakshminarasimhan, 2004). Dentro del proceso de renovación de la carga existen fenómenos físicos como: rozamientos, compresibilidad del flujo, efectos de inercia del flujo, efectos de ondas y transmisión de calor. Particularmente, el proceso de escape provoca ondas de presión que se transmiten en los conductos, donde la duración del pulso de presión se admite como la duración de la carrera de escape más el avance a la apertura del escape. Este fenómeno provoca interferencias entre cilindros, es decir, en un motor de cuatro cilindros, el pulso espontáneo de un cilindro coincide con el cruce de válvulas del cilindro anterior según el orden de encendido (Galindo y Hernández, 2011). Según Gillieri (2007), menciona que el sistema de escape con una configuración 4-1 mejora el aumento de potencia a regímenes de giros altos del motor de combustión interna. El sistema de escape con dicha configuración ayuda a disminuir la

turbulencia que es generado en el motor, genera mejor caudal de salida de los gases combustionados generando mayor eficiencia en altas revoluciones.

En esta investigación se pretende mejorar el flujo de gases de escape rediseñando las salidas independientes de cada cilindro de motor. Se realizarán prototipos de escape que permitan diferenciar las mejoras dependiendo el material del cual están fabricados, esto permitirá mayor variedad en los materiales usados para la fabricación en los múltiples de escape dentro del mercado ecuatoriano.

## Metodología

Se analizó el comportamiento de cuatro tipos de materiales para el múltiple de escape, mediante el método de simulación para evaluarse el mejor rendimiento, optimización del auto y fiabilidad del material. Como la validación experimental a través de pruebas dinamométricas según la norma INEN 960.

Se considera un vehículo Sail 1.4, puesto que es un auto común en nuestro país, se evaluó el rendimiento y eficiencia del motor en la ciudad de Quito, se toma las consideraciones de altitud y presión atmosférica, sin olvidar que es también un vehículo muy comercial, por su bajo costo y buenas prestaciones, es necesario aumentar el rendimiento del motor puesto que en la ciudad hay pendientes prolongadas. Esta versión de automóvil, trae un múltiple de escape con una configuración 4-1 de fábrica. Las especificaciones del motor del vehículo utilizado se muestran en la tabla 1. En la tabla 2 se muestra las especificaciones de las válvulas, conductos de admisión y escape del motor.

**Tabla 1:** Especificaciones del motor

Parámetros	Valor
<b>Motor</b>	4 cilindros en línea
<b>Cilindrada</b>	1.349
<b>Diámetro de carrera</b>	73.8*78.8mm
<b>Relación de compresión</b>	10.8:1
<b>Torque</b>	131/4200 N*m/rpm
<b>Potencia</b>	102/6000 hp/rpm
<b>Combustible</b>	Gasolina
<b>Sistema de encendido</b>	Bobinas independientes
<b>Orden de encendido</b>	1-3-4-2
<b>Revoluciones en ralentí</b>	975 rpm
<b>Luz de bujía</b>	0.8-0.9 mm
<b>Temperatura de trabajo</b>	90°C

Fuente: Ficha técnica Chevrolet Sail, G.M. (2015)

**Tabla 2:** Especificaciones de válvulas

Parámetros	Admisión	Escape
<b>Diámetro de válvulas</b>	28mm	24mm
<b>Longitud de conductos</b>	90mm	90mm
<b>Diámetro del conducto</b>	42mm	40mm
<b>Elevación de válvula</b>	7.5mm	7.5mm

Fuente: Ficha técnica Chevrolet Sail, G.M. (2015)

### Determinación de dimensiones para los ductos

Según Gillieri (2007) la longitud del colector se determina según la ecuación 1. Donde  $L_c$  es longitud en cm que debe tener el colector de escape y corresponde al valor medido desde la válvula, de modo que se debe descontar de dicha cifra la longitud del conducto de escape en el cabezote;  $G_e$  es el valor en grados que corresponde a la fase de escape según el diagrama de distribución;  $n$  las revoluciones por minuto máximas del motor; y los valores 6 y 13.000 son constantes.

$$L_c = \frac{1300 * G_e}{n * 6} (cm) \quad (1)$$

El diámetro de los tubos se determina por medio de la ecuación 2, considerando  $V_c$  como la cilindrada unitaria en  $cm^3$ . El valor que se obtiene del diámetro, se aplica para colectores rectos, por lo cual es necesario añadir un 10 % a la cifra calculada para compensar las curvaturas. Para la unión de los tubos se sugiere una caja de expansión que permite la unión de los gases en un solo flujo.

$$\varnothing = 2 * \sqrt{\frac{V_c * 2}{L_c * \pi}} (cm) \quad (2)$$

El diámetro del trayecto final del tubo de escape se calcula por la ecuación 3, donde  $V_t$  es la cilindrada total en  $cm^3$ , mientras que la longitud se aconseja un valor múltiplo de la dimensión del colector  $L_c$  (incluyendo el conducto de la culata).

$$\varnothing T_e = 2 * \sqrt{\frac{V_t}{L_c * \pi}} (cm) \quad (3)$$

Según Heisler (2002) la longitud del conducto primario ( $L$ ) se puede encontrar por la ecuación 4, en donde,  $C$  es la velocidad del sonido a través de la tubería de escape (se sugiere 518 m/s a 400 °C),  $n$  las revoluciones por minuto del motor y  $\theta t$  el ángulo de desplazamiento del cigüeñal durante el cual la onda de presión en el escape viaja por el colector (ángulo sugerido 120°).

$$L = \frac{\theta t * C}{0.012 * n} (mm) \quad (4)$$

La longitud del conducto primario determina el tiempo que le tomará a la onda de presión creada en el escape, viajar por el colector y regresar, así que entre más largo el tubo o recorrido, mayor es el tiempo requerido; por otra parte, el tiempo que se mantiene abierta la válvula disminuye a medida que aumenta las revoluciones, por lo que un tubo más largo funcionará mejor a velocidades de motor menores.

#### Configuración del múltiple de escape

Se selecciona la configuración 4-1 que une los cuatro cilindros en un colector, en la siguiente tabla 3 se muestra el diagrama de orden de encendido y fases del vehículo (Rodríguez y Nogueira 2011).

**Tabla 3:** Diagrama de orden de encendido y fases del motor.

Cilindro	0° a 180°	180° a 360°	360° a 540°	540° a 720°
<b>1</b>	Combustión	Escape	Admisión	Compresión
<b>2</b>	Escape	Admisión	Compresión	Combustión
<b>3</b>	Compresión	Combustión	Escape	Admisión
<b>4</b>	Admisión	Compresión	Combustión	Escape

Fuente: Ficha técnica Chevrolet Sail, G.M.

#### Simulación 1D del sistema de escape

Para la simulación 1D se utiliza el programa OpenWAM, el cual trabaja con un sistema de bloques donde se ingresan los datos de cada componente del motor, desde la admisión de aire fresco hasta la salida de gases de combustión, por lo tanto, se establece el tipo de motor, número de cilindros, válvulas, conductos de admisión-escape y conexiones entre sistemas conforme al modelo que se requiere analizar. Para realizar la simulación en el programa OpenWAM, se debe tomar en cuenta las condiciones de trabajo y geometría para el motor, en la tabla 4 se muestran dichos datos. Mientras que en la tabla 5 se muestra las condiciones iniciales para el uso del programa openWAM. (OpenWam, 2011)

**Tabla 4:** Condiciones y geometría del motor.

Propiedades	Valor
<b>Tipo de motor</b>	Encendido por chispa
<b>Condiciones de operación</b>	Estacionario



<b>Numero de ciclos</b>	10
<b>Velocidad del motor(rpm)</b>	2000-6500
<b>Poder calorífico del combustible</b>	41870
<b>Densidad de combustible</b>	854
<b>Relación de compresión</b>	10.8:1

Fuente: Ficha técnica Chevrolet Sail, G.M.

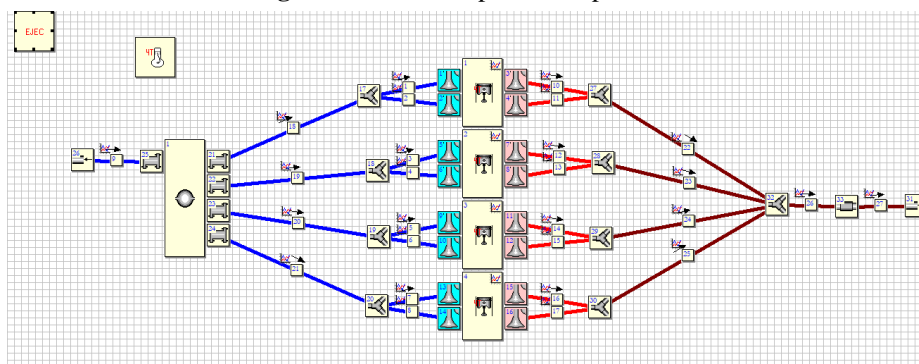
**Tabla 5:** Condiciones iniciales

Propiedades	Valor
<b>Método de calculo</b>	Independiente
<b>Número de ciclos de convergencia</b>	10
<b>Presión ambiente (bar)</b>	1
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	20
<b>Tipo de cálculo</b>	Simplificado
<b>Permitir cálculos externos</b>	No
<b>Sustancia de combustible</b>	Gasolina
<b>Método numérico</b>	Lax wendroff
<b>Sub-modelo</b>	Without-corretion

Fuente: openWAM.

Una vez ya digitado los datos correspondientes en el programa se procede a ordenar por cilindros y válvulas de acuerdo al motor seleccionado. En la figura 1 se indican los bloques que se usaran en la simulación 1D y la disposición del motor.

**Figura1:** Motor completo 1D openWAM.

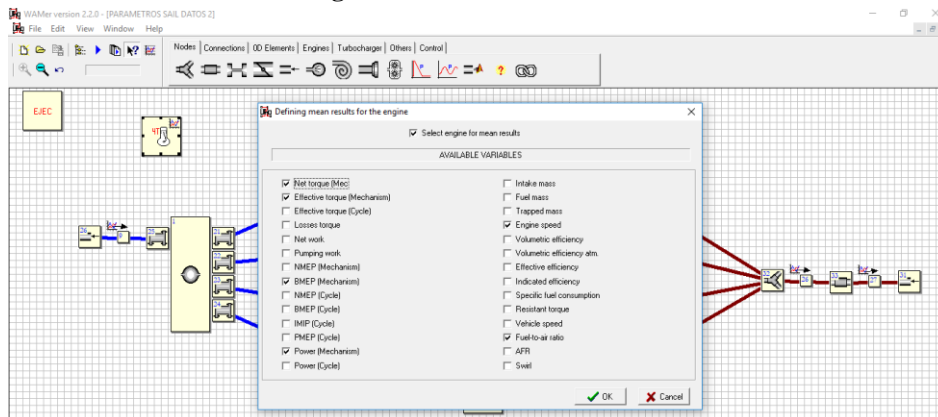


Fuente: Estudio de parámetros en open WAM

El programa openWAM tiene una herramienta para el estudio de parámetros, la misma que permite variar las velocidades, temperaturas, longitudes de tuberías. Brindando un mejor

rendimiento para el estudio de nuevos materiales en el sistema de escape del vehículo de prueba. En la figura 2 se muestran las opciones seleccionadas en cuanto a potencia, torque efectivo, velocidad del motor. Como también los parámetros de obtención de valores de temperatura, presión y flujo másico en las válvulas de admisión y escape.

**Figura 2:** Variables de resultados



**Fuente:** Estudio de parámetros en open WAM

Propiedades de los materiales usados en la construcción de los header's derivado de la simulación (Vega et al., 2018), se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6:** Datos Simulación

Propiedades	Tubería Galvanizada	Tubería Acero negro	Tubería Aluminizada
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	7833.0	7849.0	2707.0
Poder calorífico (J/kg-K)	465.0	460.0	896.0
Volumen de masa (m <sup>3</sup> /s)	1.0689496	1.0689496	1.0689496
Temperatura max °C	425.8	425.3	420.0
Temperatura min °C	398.5	352.0	400.6
Velocidad de salida (m/s)	327.282	389.5737	417.5736
Presión (kPa)	102.15	104.27	118.05

**Fuente:** Vega et al., 2018

### Construcción de los múltiples de escape

La construcción de los múltiples de salida independiente de gases. El método empleado es el doblado de tubos, donde se observó el estrechamiento mínimo en la sección transversales de cada dobléz. Para realizar este proceso se cortó las tuberías a la longitud diseñada (figura 3) y se dobló

de acuerdo a los ángulos requeridos mediante una dobladora hidráulica, como se muestra en la figura 3.

Se realiza el proceso de soldadura de cada tubería, dando como resultado diseñado. También se realiza las pruebas con el múltiple original y con los 3 header's con materiales alternos (Guaman et al., 2019), como se muestra en la figura 4.

**Figura 3:** Corte y doblaje de tubería según su longitud



Fuente: Autores, 2020

**Figura 4:** Múltiple de escape original y 3 header's con materiales alternos



Fuente: Autores, 2020

### Pruebas Dinamométricas

Los datos exactos de torque y potencia, de cada uno de los 4 diseños de prueba, se realizó en el laboratorio CICCEV, el cual posee una acreditación como laboratorio de certificación de procesos industriales automotrices. Para las pruebas se utilizó el dinamómetro de rodillos marca MAHA (Maschinenbau Haldenwang) LPS 3000 (Barahona López y Rosas Huera, 2012). Las pruebas dinamométricas se llevaron según la norma INEN 960, basada en la ISO 1585 y la ISO 3173, obteniendo las curvas características del vehículo de torque y potencia mediante 3 ensayos con el

sistema de escape original y 9 header's con materiales alternos. Las pruebas se debe tomar en cuenta las dimensiones de las ruedas del vehículo. En este caso es una llanta 185/60R14.

Se realiza la ubicación del vehículo en el banco dinamométrico, se asegura, fija con correas. Se introducen los datos, parámetros del vehículo en el software LPS3000, se verifica la alineación de las ruedas y se calibra el dinamómetro a 2.000rpm del vehículo.

El motor debe estar a temperatura de funcionamiento 198°F, se enciende el ventilador de refrigeración del banco de pruebas LPS3000 y se inicia la prueba de medición; Al momento de iniciar la prueba, se acelera con el pedal a fondo en cuarta marcha hasta alcanzar 6.000rpm; Al momento de llegar a 6.000rpm, se debe pisar el embrague con la marcha puesta, el banco de pruebas desacelera hasta detenerse y el resultado se muestra en la pantalla (Rocha y Zambrano, 2015). Como se muestra de la figura 5.

Figura 5: Datos y parámetros del vehículo.



Fuente: Auores 2020

## Resultados

En la actualidad, la implementación de modelos que simulen el comportamiento real de los sistemas es fundamental en el mundo de la ingeniería. A la hora de diseñar o simplemente tratar de mejorar un elemento,

### Simulación 1D

Finalizado el proceso de simulación en el programa OpenWAM se crean dos archivos con resultados, el primero es un archivo "WAM" que corresponde a todos los datos que el programa nos genera, el segundo es un archivo "PCS" el que corresponde a valores instantáneos medidos al último cálculo. La simulación 1D permitió determinar los parámetros de presión, velocidad y

temperatura. Lo cual se usó para mejorar el diseño y rendimiento tanto en torque como en potencia del vehículo.

Obtención resultados Torque y Potencia del vehículo

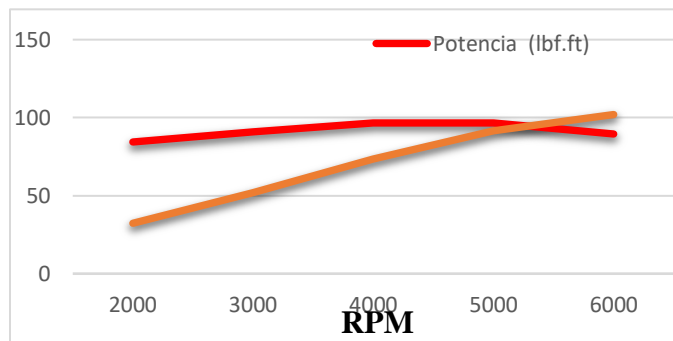
Los resultados del estudio en la simulación 1D, para cada régimen de giro de motor 1.4 cm<sup>3</sup>. Se muestra en la tabla 7 y figura 6.

**Tabla 7:** Resultados obtenidos en la simulación 1D.

Rpm.	Potencia	Torque
2.000	84.8	32.3
3.000	90.8	51.8
4.000	96.6	73.5
5.000	96.0	91.7
6.000	89.4	102.0

Fuente: Autores, 2020

**Figura 6:** Curvas de Torque y Potencia – openWAM.



Fuente: Autores, 2020

### Simulación de los sistemas de escapes

Los parámetros iniciales se obtienen mediante la simulación 1D, que fue realizada en el programa OPENWAM, en la tabla 8 se muestra las condiciones de inicial para la simulación de cada sistema de escape y sus materiales no tradicionales.

**Tabla 8:** Parámetros iniciales para la simulación.

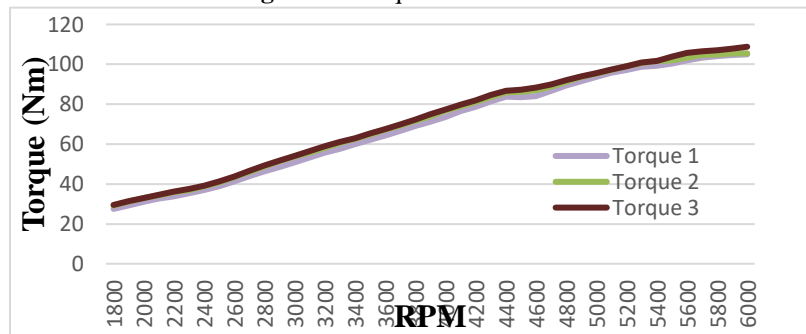
Velocidad	Presión de salida	Temperatura
<b>260 m/s</b>	126.8 kPa	426 °C

Fuente: Autores, 2020

### Pruebas Dinamométricas en el laboratorio

En el laboratorio CICCEV el cual nos permitió realizar las pruebas dinamométricas se obtuvieron los datos de Torque y Potencia. En la figura 7, se muestra en forma gráfica los datos de Torque del header con tubería aluminizada.

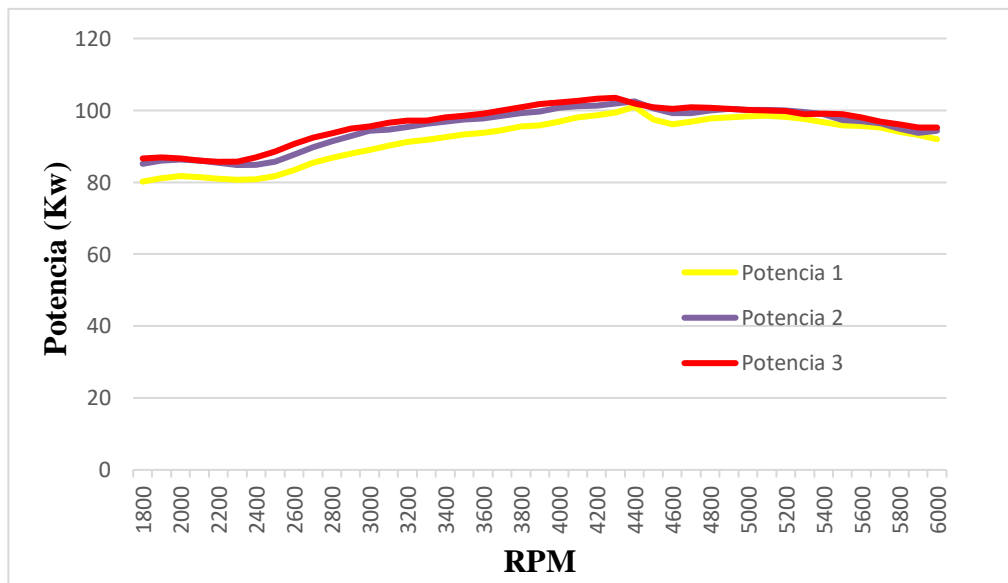
Figura 7: Torque header aluminizado.



Fuente: Autores, 2020

En la figura 8, se muestra en forma gráfica los datos de Potencia del header con tubería aluminizada.

Figura 8: Potencia header aluminizado.



Fuente: Autores, 2020

**Pruebas Dinamométricas de los distintos vehículos**

En la tabla 9 se presenta un cuadro estadístico para analizar la variación de resultados en las pruebas dinamométricas con el múltiple de escape original, el múltiple de escape galvanizado, múltiple de escape de acero negro y múltiple de escape aluminizado. Usando el programa “Minitab” el cual nos permite tener resultados de mediana, desviación estándar, promedio y rango (Rocha-Hoyos et al., 2019). Gracias a los datos estadísticos se puede obtener el porcentaje de aumento de torque y potencia de los sistemas de escapes fabricado con los materiales no tradicionales (Mohiuddin et al.,2007).

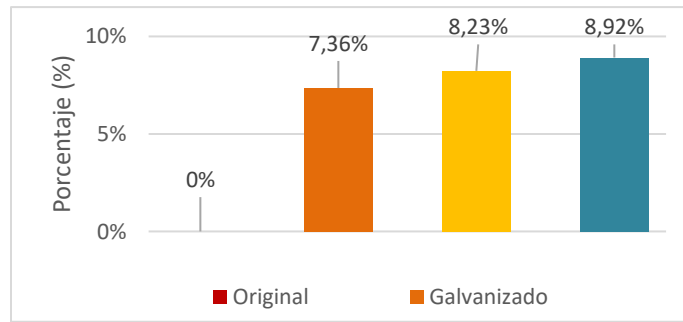
**Tabla 9:** Resultados de pruebas dinamométricas

Valor	Múltiple Original		Múltiple Tubo Galvanizado		Múltiple Tubo ac-negro		Múltiple Tubo Aluminizado	
	Torque (Nm)	Potencia (Kw)	Torque (Nm)	Potencia (Kw)	Torque (Nm)	Potencia (Kw)	Torque (Nm)	Potencia (Kw)
<b>Máximo prueba 1</b>	100,5	96,2	105,3	99,8	105,8	96,2	105,0	101,0
<b>Máximo prueba 2</b>	100,2	97,6	104,9	101,5	106,5	96,8	105,5	102,5
<b>Máximo prueba 3</b>	102,1	98,6	105,5	102,5	105,7	96,6	108,8	103,5
<b>Valor mínimo</b>	100,2	96,2	104,9	99,8	105,7	96,2	105,00	101,00
<b>Mediana</b>	100,93	97,47	105,23	101,27	106,00	96,53	106,43	102,33
<b>Valor máximo</b>	102,1	98,6	105,5	102,5	106,5	96,8	108,8	103,5
<b>Desviación Estándar</b>	1,02	1,21	0,31	1,37	0,44	0,31	2,06	1,26
<b>Rango</b>	1,90	2,40	0,60	2,70	0,80	0,60	3,80	2,50
<b>Promedio</b>	101,08	97,42	105,21	101,19	106,07	96,51	106,74	102,28

Fuente: Autores, 2020

El porcentaje de incremento de torque con los múltiples de escape fabricados con materiales no tradicionales en relación al original, se muestra en la figura 9. Se establece un aumento de torque usando el escape galvanizado del 7.36%, al usar el múltiple de escape de acero negro el aumento del torque es de 8.23%, mientras que usando el múltiple de escape aluminizado se obtiene un aumento de 8.92%. Se determina que el material de aluminio alcanza el mejor resultado de torque en relación al original, galvanizado y acero negro.

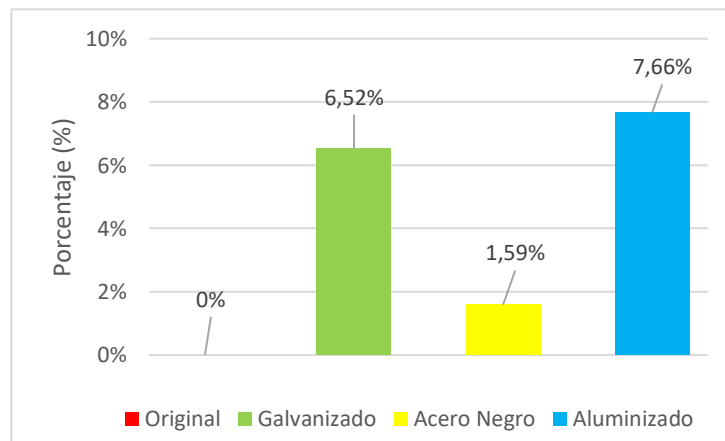
**Figura 9:** Porcentaje de variación de Torque.



Fuente: Autores, 2020

Se establece un aumento de potencia usando el escape galvanizado del 6.52%, al usar el múltiple de escape de acero negro el aumento de potencia es de 1.59%, mientras que usando el múltiple de escape aluminizado se obtiene un aumento de 7.66%. Se determina que el material de aluminio alcanza el mejor resultado de potencia en relación al original, galvanizado y acero negro. Como se presenta en la figura 10.

**Figura 10:** Porcentaje de variación de Potencia



Fuente: Autores, 2020

Deshmukh, Kumar, Garg, Nayeem, y Lakshminarasimhan, 2004 afirmaron que al incrementar la velocidad del motor reducir las pérdidas por fricción o aumentar la eficiencia volumétrica, térmica y de combustión se logra mejorar potencia en el motor. Coincidiendo los datos de la eficiencia volumétrica donde tiene un mayor impacto en el rendimiento, y consiste en la eficacia del intercambio de gases, es decir el reemplazo de los gases quemados y el llenado del cilindro con



gases frescos, o como ya se dijo el proceso de renovación de la carga, es decir que nuestro diseño del sistema de escape mejorar en todo sentido el rendimiento del motor (Arroyo et al., 2017).

## Conclusiones

En este artículo presentamos las alternativas de aplicaciones, las pruebas y los resultados del análisis del múltiple de escape con 4 alternativas de materiales.

El método empleado para evaluar el rendimiento del motor, tanto para el diseño de configuraciones y análisis de flujos según las formas del múltiple con la simulación 1D, permitió obtener mayor potencia y torque en el vehículo. La validez de este método se lo realizo con datos experimentales obtenidos de las pruebas dinamométricas basadas en la norma INEN 960.

El múltiple de escape fabricado de configuración 4-1 con tubería aluminizada aumentó un 8.92% de torque con respecto al original, mientras que la potencia aumentó un 7.66% con respecto al original, el diseño y el material responden positivamente a los objetivos planteados en este estudio.

Se recomienda el uso del sistema de escape con material galvanizado para vehículos que realicen trabajos que necesiten aumentar el rendimiento en torque, vehículos que realicen competiciones en rally se recomienda el uso del sistema de escape aluminizado ya que es el óptimo en momento de aumentar el torque y potencia, se recomienda el sistema de acero negro para automóviles que compitan en carreras de circuitos de velocidad ya que el material aumenta la potencia del motor.

## Referencias

1. Arroyo, E., Rocha-Hoyos, J., Cedeño, E. L., & Navarrete, L. M. (2015). Evaluación del múltiple de escape para el motor g13b suzuki. Metodología digital y experimental. Evaluation of the exhaust manifold for the g13b suzuki engine. Digital and experimental methodology. *Energía*, (3), 10.
2. Payri González, F., & Desantes Fernández, J. M. (2011). Motores de combustión interna alternativos. Editorial Universitat Politècnica de Valencia.
3. Bermúdez, Tormos, B. (2011). Pérdidas mecánicas. Motores de combustión interna alternativos (págs. 152-172). Barcelona, España: Editorial Reverté.
4. OpenWam. (2011). UPV. <https://www.cmt.upv.es/OpenWam01.aspx>

5. Deshmukh, D., Kumar, R., Garg, M., Nayeem, M. J., & Lakshminarasimhan, V. (2004). Optimisation of gas exchange process on a single cylinder small 4-stroke engine by intake and exhaust tuning: Experimentation and simulation. SAE transactions, 1741-1749.
6. Chevrolet. (2015). Chevrolet. [https://www.chevrolet.com.ec/autos/sail-sedan?ppc=GOOGLE\\_700000002067215\\_71700000069088117\\_58700006129062001\\_p55368747102](https://www.chevrolet.com.ec/autos/sail-sedan?ppc=GOOGLE_700000002067215_71700000069088117_58700006129062001_p55368747102)
7. Galindo, J., & Hernandez, J. (2011). Modelado de motores. Motores de combustión interna alternativos. Payri F, Desantes JM. España: Reverte, 746-796.
8. Gillieri, S. (2007). Preparación de motores de serie para competición. Grupo Planeta (GBS).
9. Guamán, E. R., Llanes-Cedeño, E. A., Celi-Ortega, S. F., & Rocha-Hoyos, J. C. (2019). Parámetros del Múltiple de Escape para su Diseño Computacional: una revisión. Información tecnológica, 30(6), 255-268.
10. Heisler, H. (2002). Advanced vehicle technology. Elsevier.
11. Mohiuddin, A. K. M., Rahamn, A., & Dzaidin, M. (2007). Optimal design of automobile exhaust system using GT-Power. International Journal of Mechanical and Materials Engineering, 2(1), 40-47.
12. Rocha Hoyos, J. C., & Zambrano León, V. D. (2015). Análisis del funcionamiento del motor de encendido provocado, debido a la presencia de aditivos (Master's thesis, Quito, 2015.).
13. Rocha-Hoyos, J. C., Llanes-Cedeño, E. A., Celi-Ortega, S. F., & Peralta-Zurita, D. C. (2019). Efecto de la Adición de Biodiésel en el Rendimiento y la Opacidad de un Motor Diésel. Información tecnológica, 30(3), 137-146.
14. Rodríguez, P., & Nogueira, J. (2011). Curvas características y aplicaciones. Payri, F. y Desantes, JM: 'Motores de Combustión Interna Alternativos, 952.
15. Barona López, G. A., & Rosas Huera, Á. J. (2012). Elaboración de un manual de mantenimiento para el dinamómetro de chasis LPS 3000, instalado en el Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV) (Bachelor's thesis, QUITO, 2012.).
16. Vega, W. H., Llanes-Cedeño, E. A., Molina, J. V., & Rocha-Hoyos, J. C. (2018). Revisión de las Características de Modelado y Optimización para el Diseño del Sistema de Suspensión Macpherson. Información tecnológica, 29(6), 221-234.