

# UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingenierías

Maestría en Diseño Mecánico

Mención en Fabricación De Autopartes De Vehículos

Evaluación De Flujo De Un Múltiple De Escape Chevrolet Sail Con Materiales No  
Tradicionales.

Nota del Autor

Luis Carlos Chiriboga, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK.

Director: Ing. Juan Carlos Rocha, M.Sc,

Codirector: PhD. Edilberto Llanes.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

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

**Declaración Juramentada**

Yo, Luis Carlos Chiriboga Solano, con cédula de identidad 1712849288, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

El presente trabajo pertenece al programa de Desarrollo Tecnológico y a la línea de Investigación Eficiencia, Impacto Ambiental e Innovación en la Industria a fin a la facultar de Arquitectura e Ingeniería.

Luis Carlos Chiriboga Solano

CI: 1712849288

Resumen .....	11
Abstract .....	12
Introducción .....	13
Antecedentes.....	13
Estado del Arte.....	15
Método .....	23
Diseño y configuración.....	27
Determinación de dimensiones.....	27
Configuración del múltiple de escape.....	29
Simulación 1D del sistema de escape.....	29
Modelado 3D.....	36
Simulación 3D.....	39
Propiedades de los materiales usados en la construcción de los header's.....	41
Tubería aluminizada.....	41
Tubería de acero galvanizado.....	41
Tubería de acero negro.....	42
Hierro fundido.....	42
Construcción de los múltiples de escape.....	43
Pruebas Dinamométricas.....	45
RESULTADOS.....	49
Simulación 1D.....	49

EVALUACIÓN DE FLUJO DE UN MÚLTIPLE DE ESCAPE CHEVROLET SAIL	4
Obtención resultados Torque y Potencia del vehículo.....	49
Simulación de los sistemas de escapes. ....	50
Múltiple de escape con salidas directas en CFD.....	51
Múltiple de escape configuración 4-2 en CFD. ....	52
Múltiple de escape configuración 4-1 en CFD. ....	53
Pruebas Dinamométricas en el laboratorio .....	54
Análisis y Discusión de Resultados. ....	60
Simulación 1D Programa OPENWAM.....	60
Simulación 3D CFD AUTODESK.....	60
Análisis estático. ....	60
Análisis de velocidad. ....	60
Análisis de Temperatura. ....	64
Análisis de Presión.....	67
Pruebas Dinamométricas. ....	73
Conclusiones.....	77
Recomendaciones .....	79
Bibliografía .....	80
Anexo 1 .....	84
Anexo 2 .....	89
Anexo 3 .....	91

Anexo 4 .....	92
Anexo 5 .....	93
Anexo 6 .....	94
Anexo 7 .....	95

**Índice de Figuras**

Figura 1. Diagrama de apertura de válvulas.....	15
Figura 2. Múltiple de escape Chevrolet Sail. ....	17
Figura 3. Header Chevrolet Aveo. ....	18
Figura 4. Sistema de escape CFD. ....	20
Figura 5. Tubería de acero inoxidable.....	21
Figura 6. Tubería Aluminada. ....	21
Figura 7. Tubería Galvanizada.....	22
Figura 8. Metodología que se usará en los múltiples de escape.....	25
Figura 9. Matriz de variable sistema de escape Chevrolet Sail.....	26
Figura 10. Marco metodológico de investigación para el sistema de escape Chevrolet Sail...	27
Figura 11. Motor completo 1D openWAM.....	32
Figura 12. Sección de admisión Chevrolet Sail. ....	33
Figura 13. Sección sistema de escape Chevrolet Sail. ....	33
Figura 14. Variables para estudio paramétrico.....	34
Figura 15. Variables de resultados. ....	35
Figura 16. Variables para resultados instantáneos del motor.....	35
Figura 17. Brida superior Chevrolet Sail. ....	36
Figura 18. Diseño de tuberías independientes.....	37
Figura 19. Diseño salida directa de escape. ....	37
Figura 20. Diseño de escape con una configuración 4-2. ....	38
Figura 21. Diseño junta de unión. ....	38

Figura 22. Diseño completo del header.....	39
Figura 23. Selección de materiales para simular.....	39
Figura 24. Diseños para simular: a) 4-1, b) salida directa, c) 4-2. ....	40
Figura 25. Mallado de diseños. ....	40
Figura 26. Simulación CFD completa.....	40
<i>Figura 27. DataSheet del acero aluminizado. ....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 28. DataSheet del acero galvanizado. ....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 29. DataSheet del acero negro.....</i>	<i>42</i>
Figura 30. DataSheet de hierro fundido. ....	42
Figura 31. Corte de tubería según su longitud. ....	43
Figura 32. Doblaje de tubos. ....	43
Figura 33. Dobles de tubos según el diseño.....	44
Figura 34. Header 4-1 completo de acero negro. ....	44
Figura 35. Dimensiones de ruedas Chevrolet Sail. ....	45
Figura 36. Fijación del vehículo en el banco dinamométrico. ....	46
Figura 37. Datos y parámetros del vehículo.....	46
Figura 38. Temperatura del motor y refrigeración del banco de pruebas. ....	47
Figura 39. Datos prueba en el dinamómetro. ....	47
Figura 40. Múltiple de escape original y 3 header's con materiales no tradicionales.....	48
Figura 41. Fin de proceso de simulación 1D.....	49
Figura 42. Curvas de Torque y Potencia – openWAM.....	50
Figura 43. Materiales no tradicionales escape con salida directa. ....	51
Figura 44. Mallado del dominio con el múltiple de salida directa. ....	51

Figura 45. Materiales no tradicionales configuración 4-2.....	53
Figura 46. Materiales no tradicionales configuración 4-1.....	53
Figura 47. Curvas Torque sistema original de escape.....	55
Figura 48. Curvas Potencia sistema original de escape. ....	55
Figura 49. Grafica Torque header galvanizado.....	56
Figura 50. Grafica Potencia header galvanizado.....	57
Figura 51. Grafica Torque header acero negro. ....	58
Figura 52. Grafica Potencia header acero negro. ....	58
Figura 53. Grafica Torque header aluminizado. ....	59
Figura 54. Grafica Potencia header aluminizado. ....	59
Figura 55. Resultados de velocidad en simulación CDF. ....	61
Figura 56. Porcentaje de aumento de velocidad con tubería galvanizada.....	62
Figura 57. Porcentaje de aumento de velocidad con tubería de acero negro. ....	63
Figura 58. Porcentaje de aumento de velocidad con tubería aluminizada. ....	63
Figura 59. Resultados de temperatura en simulación CDF.....	64
Figura 60. Resultados de temperatura máxima y mínima.....	65
Figura 61. Resultados de temperatura máxima y mínima en el trayecto de flujo de gases.....	66
Figura 62. Resultados de temperatura máxima y mínima en el trayecto de flujo de gases.....	67
Figura 63. Resultados de presión en simulación CDF. ....	68
Figura 64. Presión máxima con material galvanizado. ....	69
Figura 65. Presión máxima con material de acero negro. ....	70
Figura 66. Presión máxima con material de aluminizado. ....	71
Figura 67. Datos de Torque y Potencia de cuatro sistemas de escape. ....	74

Figura 68. Porcentaje de variación de Torque. .... 75

Figura 69. Porcentaje de variación de Potencia. .... 76

## Índice de Tablas

Tabla 1 Especificaciones del motor. ....	23
Tabla 2. Especificaciones de válvulas.....	24
Tabla 3 Diagrama de orden de encendido y fases del motor. ....	29
Tabla 4 Bloques usados en Opem WAM. ....	30
Tabla 5 Condiciones y geometría del motor. ....	31
Tabla 6 Condiciones iniciales .....	31
Tabla 7. Resultados obtenidos en la simulación 1D. ....	50
Tabla 8 Parámetros iniciales para la simulación.. ....	51
Tabla 9. Datos Simulación CDF configuración directa .....	52
Tabla 10. Datos Simulación CDF configuración 4-2.....	53
Tabla 11. Datos Simulación CDF configuración 4-1.....	54
Tabla 12. Análisis estático simulación 3D.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 13. Resultados de pruebas dinamométricas. ....	73

## Resumen

En el presente estudio se analizó los efectos que causan los cambios de materiales en la fabricación del múltiple de escape, para poder mejorar el rendimiento del vehículo Chevrolet Sail 1.4 se debe rediseñar las tuberías de cada cilindro del motor.

Se fabricó tres múltiples de escape con diferentes materiales, para el vehículo Chevrolet Sail 1.4cc 2014, mediante un proceso de simulación computacional 1D-3D, los cuales fueron validados con las pruebas experimentales en un banco dinamométrico marca MAHA LPS 3000 del Centro de Transferencia Tecnológico para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV), el mismo que cuenta con la certificación de calibración según las normas INEN.

Con el uso del Software Siemens 3D se diseñó tres diferentes múltiples de escapes con las configuraciones de salida directa, 4-2 y 4-1, se obtuvo la geometría adecuada para realizar la simulación. El Software CDF de Autodesk permitió simular el flujo de salida de gases combustionados para obtener velocidad, presión, temperatura máxima y mínima, generados en los diseños de escapes con los materiales no tradicionales. El análisis del flujo en modelos tridimensionales con el uso del Software CDF de Autodesk permitió observar la evolución del fluido en el interior de las tuberías, lo cual permite tomar una decisión al momento de seleccionar el diseño adecuado para la fabricación del múltiple de escape, en este caso fue el diseño de escape de configuración 4-1.

Palabras claves: rendimiento, sistema de escape independiente, diseño, diseño de flujo.

**Abstract**

In the present study it is proposed to analyze the effects caused by the changes of materials in the manufacture of the exhaust manifold, in order to improve the performance of the Chevrolet Sail 1.4 vehicle, the pipes of each cylinder of the engine must be redesigned.

Build four header's with different non-traditional materials for a Chevrolet Sail vehicle. With the help of programs for the simulation and improved design of the exhaust gas flow, to increase the performance of the engine when using non-traditional materials in the exhaust system.

Keywords: performance, independent exhaust system, design, flow design.

## **Introducción**

### **Antecedentes**

Los vehículos constan de un sistema de escape, el sistema cumple con la función de evacuar los gases de combustión que genera el MCI, para mejorar el rendimiento del vehículo se puede cambiar las direcciones y formas del múltiple de escape. Los múltiples de escape son fabricados con tuberías redondas de distintos materiales según el fabricante que lo diseñe.

El diseño de un sistema mejorado de escape requiere el uso de materiales no tradicionales, esta investigación tiene como objetivo general diseñar, construir y mejorar el rendimiento de un vehículo marca Chevrolet Sail 2014.

Para lograr ese objetivo es necesario rediseñar el sistema de escape, simular y caracterizar los diferentes materiales que serán usados para la fabricación del header para el vehículo. Se analizará las dimensiones del múltiple de escape original, con la ayuda de herramientas para la simulación y diseño, se mejorará las curvas de las tuberías del sistema de escape.

## **Justificación**

El sistema de escape es una parte fundamental del MCI(Motor de combustión interna), 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, 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. Con la ayuda de diferente software de aplicación se mejorará el flujo de gases de escape el cual ayuda aumentar la potencia del motor. Según la AEADE (Anexo 1) entre enero y noviembre del 2017 se comercializaron un total de 56.869 autos nuevos, de los cuales el 87,9% corresponden a vehículos livianos dentro del país, según el INEC una de las marcas líderes del mercado automotriz es la marca Chevrolet y uno de sus modelos más vendido el Sail durante el año 2015 al primer semestre del 2017.

### Estado del Arte

Un motor es un dispositivo que transforma la energía química, en energía mecánica, de aquí entonces, se puede definir en el motor térmico como el dispositivo que permite obtener energía mecánica a partir de la energía térmica contenida en un fluido compresible. (Benajes & Navarro, 2011).

Los motores alternativos según el ciclo de trabajo pueden ser de dos tiempos (2T) o de cuatro tiempos (4T), los motores de cuatro tiempos para realizar el trabajo de un ciclo se debe considerar las fases de: admisión, compresión, expansión y escape. En las fases se requiere adelantos y retrasos en la apertura-cierre de válvulas y en el inicio de la combustión, debido a la compresibilidad del aire y al hecho de que la combustión no puede producirse a volumen constante (Benajes & Navarro, 2011).

Los adelantos, retrasos en la apertura y cierre de las válvulas optimizan el llenado y vaciado del motor, mejorando las prestaciones y rendimiento del mismo (Lecuona & Rodríguez, 2011).

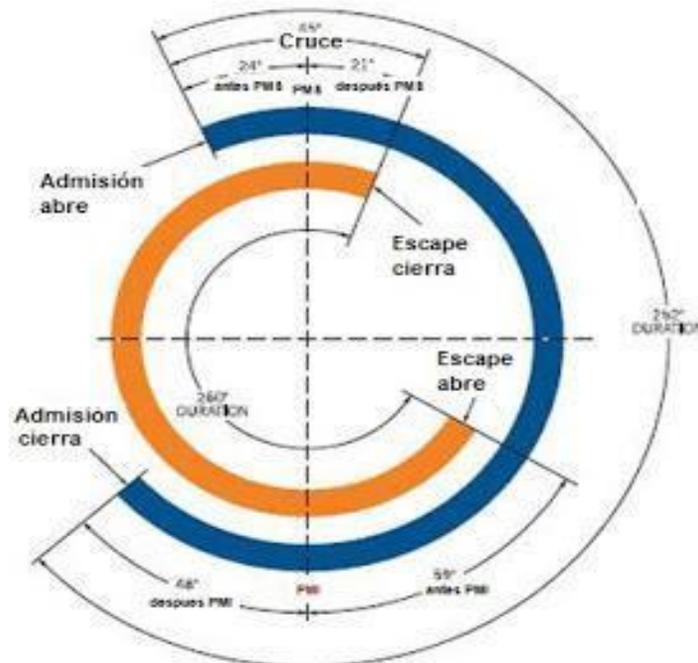


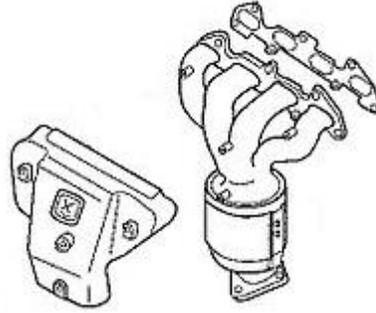
Figura 1. Diagrama de apertura de válvulas (Benajes & Navarro, 2011).

La figura 1 muestra el diagrama de apertura de válvulas de un motor de cuatro tiempos con los respectivos ángulos: la apertura de admisión, cierre de admisión, la apertura de escape y al cierre de escape

El uso de combustible de mayor octanaje, bujías de alto rendimiento, instalación de computadoras programables, rediseño de múltiples de admisión y escape, trucaje de motores, sobrealimentación, entre otros, son modificaciones que apuntan en dos direcciones, una es mejorar los procesos termodinámicos del ciclo de trabajo, incrementando el trabajo del motor y otra, incrementar el rendimiento mecánico mediante la reducción de pérdidas entre el trabajo transferido por los gases al pistón y el trabajo mecánico disponible en el eje de salida o trabajo efectivo. La diferencia entre el trabajo indicado y el trabajo efectivo se conoce como el trabajo de las mecánicas, las cuales pueden ser fricción, de bombeo o de accionamiento de auxiliares (Bermúdez & Tormos, 2011).

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 (Serrano & Galindo, 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 (filtro, mariposa, conductos de admisión y válvulas).
- Contrapresión de escape, que depende de la caída de presión en los elementos del sistema de escape debido a la resistencia ofrecida en el trayecto, puesto que la presión en el cilindro en la carrera de escape dependerá de ello.
- 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).



*Figura 2.* Múltiple de escape Chevrolet Sail (GM, 2014).

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, & 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 (Serrano & Galindo, 2011).

Los colectores de escape de impulsos, con una configuración 4-2-1, tienen como propósito generar un efecto de flujo direccional, que permita el incremento de energía cinética del flujo y evite la interferencia entre los pulsos de presión de escape debido al orden de encendido en los cilindros (Galindo, Luján, Serrano, Dolz, & Guilain, 2014). Dicha configuración de múltiple 4-2-1, uniendo los conductos primarios del cilindro 1-2 y el 3-4 para luego conectarlos en una junta tipo Y, fue usada por Masi, (Toffolo & Antonello, 2010) en una motocicleta Kawasaki ZX6R-07 con motor de 599 cc, orden de encendido 1-2-4-3, al cual se aplicó además varias modificaciones en cámaras de combustión y volumen para aumenta.

La temperatura de los gases que salen del cilindro en el escape es muy elevada, por lo que no puede despreciarse la transferencia de calor entre los gases y la pared de los conductos. Dicho intercambio de calor determina la temperatura de los gases en los colectores de escape y la velocidad de propagación de las ondas de presión, que pueden ser aprovechadas mediante el diseño adecuado de la geometría del sistema de escape para mejorar el rendimiento del vehículo (Torregrosa & Giménez, 2011).

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 (Torregrosa & Giménez, 2011).

En la actualidad, para lograr el máximo desempeño en el diseño de autopartes, se utiliza software de ingeniería que permita simular condiciones de trabajo reduciendo costosas pruebas experimentales.



*Figura 3.* Header Chevrolet Aveo (Cascajosa M, 2011).

El modelado del motor o sus sistemas hace referencia al cálculo mediante modelos matemáticos que se implementa computacionalmente y permite evaluar varias opciones de diseño, predecir las prestaciones que el motor alcanzaría e identificar las variables de control de los procesos, modificando las variables de entrada para observar su repercusión en las variables de salida, de gran utilidad en estudios paramétricos; sin embargo, es necesario validarlos mediante el ensayo experimental (Galindo & Hernández, 2011).

En los modelos según se considere la variación temporal pueden ser estacionarios, cuasiestacionarios o transitorios, de igual manera según la representación espacial de los fenómenos físicos se pueden tener modelos cerodimensionales (0D), unidimensionales (1D) o multidimensionales (2D o 3D) (Galindo & Hernández, 2011).

Los modelos unidimensionales de acción de ondas (wave action model o WAM) permiten calcular el flujo en conductos, mediante la combinación de canales unidimensionales, depósitos cero dimensionales y elementos no dimensionales (Galindo & Hernández, 2011). CMT-Motores Térmicos ha desarrollado la herramienta gas-dinámica 1D de código libre, llamada OpenWAM. En los modelos de acción de onda, se puede representar el motor mediante conductos, considerando la propagación de ondas en una sola dimensión, lo que ha permitido su aplicación en competición y desarrollo de motores de alto rendimiento, brindando soporte durante el proceso de diseño de los elementos presentes en los sistemas de admisión y de escape, a fin de obtener información rápida acerca de las modificaciones realizadas en la trayectoria de los gases (CMT-Motores Térmicos, 2017).

El programa OpenWAM calcula el flujo interno en los conductos asumiendo flujo unidimensional, no viscoso y no-lineal. La unión entre conductos y reservorios, así como el cálculo de los elementos donde el flujo no es unidimensional, lo realiza usando ecuaciones de conservación simplificadas sin resolución espacial y normalmente cuasiestacionario (Galindo, Tiseira, Fajardo, & Navarro, 2011).

Los modelos 1D ofrecen una buena relación precisión-tiempo de cálculo, sin embargo, necesitan información experimental para caracterizar fenómenos que no se resuelven en las ecuaciones de Euler como fricción y transmisión de calor en los conductos, lo cual se ingresa como términos específicos. Adicional estos modelos no calculan el flujo de forma adecuada al tratarse de elementos donde el flujo es claramente no unidimensional, como en las uniones de conductos, difusores, turbinas, entre otros (Galindo & Hernández, 2011).

Los modelos multidimensionales ofrecen la posibilidad de realizar un cálculo detallado del flujo, basándose en la resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes, mediante las técnicas de volúmenes finitos o elementos finitos y se los conoce como cálculo CFD, Computational Fluid Dynamics (Galindo & Hernández, 2011). El flujo en motores se da en un entorno fluido-dinámico turbulento, para lo cual puede usarse la técnica RANS (Reynolds-Averaged Navier-

Strokes) para la resolución de ecuaciones donde se consideran todas las escalas de la turbulencia y se obtiene valores promedio de las magnitudes fluidas.

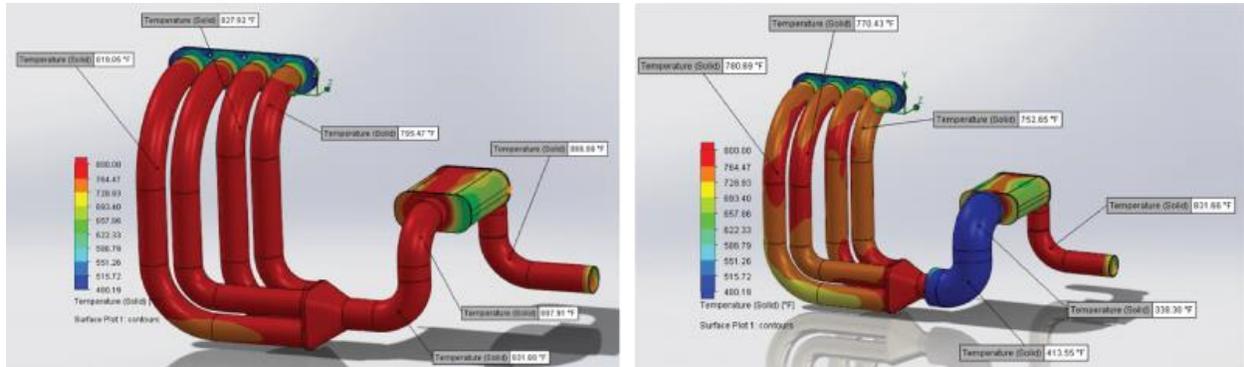


Figura 4. Sistema de escape CFD (Brebba, Hernández & Rohman, 2014).

ANSYS CFX es una herramienta robusta y rápida que ofrece soluciones precisas y fiables en el análisis de dinámica de fluidos computacional CFD (ANSYS, 2017). Este software es utilizado para modelar el flujo de fluidos y la transferencia de calor en geometrías complejas (Bisane & Katpatal, 2014). El uso de este software brindará soporte durante el diseño del sistema de escape. Entre los parámetros de diseño se requiere resistencia mínima posible en los conductos, geometría adecuada del múltiple para reducir la caída de presión y eliminar la turbulencia innecesaria (McKee, McCullough, Cunningham, Taylor, McDowell, Taylor & McCullough como se citó en Bisane & Katpatal, 2014).

El uso efectivo de las ondas de presión de escape ayuda a maximizar la eficiencia volumétrica y el par motor, por lo cual se requiere llevar a cabo simulaciones numéricas, basadas en CFD, que permitan predecir con eficacia el comportamiento bajo condiciones de flujo inestables y proporcionar datos detallados que son difíciles de medir a partir de un motor. Se puede utilizar modelos 1D para reducir las opciones de diseño y complementar el estudio con modelos 3D, para finalmente corroborar las simulaciones con datos experimentales (Callies, Anderson, & Prucka, 2012).

Esta técnica permite ahorrar tiempo computacional, simulando los componentes complejos con buena resolución geométrica por medio de un código 3D y modelando con un código 1D el resto del sistema (Galindo et al., 2011). Ayala (2015) realiza una optimización del sistema de escape para un ciclomotor de 49cc y 2T, a partir de la simulación con el programa OpenWAM. Los datos requeridos por el programa fueron extraídos directamente del motor,

adquiriendo las medidas geométricas con micrómetros, calibradores, transportador de ángulos y los volúmenes mediante el llenado de cavidades.

El acero inoxidable se caracteriza por su buena resistencia a la corrosión, soldabilidad, maleabilidad y biocompatibilidad, estas propiedades ayudan al material a ser versátil y funcional, en ciertas condiciones ambientales las propiedades corrosivas pueden disminuir generando falla del material, rotura y degradación (Alféreza Jhon, Olayaa Jorge, & HernandoBautista 2018).



*Figura 5.* Tubería de acero inoxidable (Alféreza Jhon, Olayaa Jorge, & HernandoBautista 2018).

La propiedad principal del aluminio es una alta conductividad térmica y eléctrica, alta ductilidad bajo peso específico y bajo costo de mecanizado. El aluminio es un excelente material para diferentes aplicaciones ya sea en el campo de la industria automotriz, aeronáutica, aeroespacial, etc (Yhasmin Reyes, AliciaDurán, & YolandaCastro 2015).



*Figura 6.* Tubería Aluminada (Yhasmin Reyes, AliciaDurán, & YolandaCastro 2015).

El recubrimiento es considerado con un sistema de protección del acero, generando una ayuda eficaz y duradero que no es necesario un tratamiento adicional. Para realizar un recubrimiento de galvanización se necesita una inmersión en caliente a la pieza que se usara, la ventaja de este tratamiento ayuda a la agresividad atmosférica y componentes expuestos en el ambiente (Suárez X, López R, Pérez F & Marrero R, 2014).



*Figura 7.* Tubería Galvanizada (Suárez X, López R, Pérez F & Marrero R, 2014)

### Método

En el presente estudio diseñará y construirá el sistema de escape con tres materiales diferentes para evaluar el mejor material en rendimiento, optimización del auto y fiabilidad del material. Con la ayuda de la simulación computacional, se obtendrá las mejores condiciones de trabajo del motor y flujo de los gases combustionados mediante el uso de herramientas 1D y 3D.

En el trabajo se investiga el comportamiento de cuatro tipos de materiales para el múltiple de escape, mediante el método de simulación computacional 1D/3D y la validación experimental a través de pruebas dinamométricas según la norma INEN 960.

Se considera un vehículo Chevrolet Sail 1.4, puesto que es un auto común en nuestro país, como se va a evaluar el rendimiento y eficiencia del motor en la ciudad de Quito se deben tomar 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.

Tabla 1

*Especificaciones del motor*

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
Motor	4 cilindros en línea
Cilindrada	1.349
Diámetro de carrera	73.8*78.8mm
Relación de compresión	10.8:1
Torque	131/4200 N*m/rpm
Potencia	102/6000 hp/rpm
Combustible	Gasolina
Sistema de encendido	Bobinas independientes
Orden de encendido	1-3-4-2

Revoluciones en ralentí	975 rpm
Luz de bujía	0.8-0.9 mm
Temperatura de trabajo	90°C

Fuente: Ficha técnica Chevrolet Sail, G.M.

En la tabla 2 se muestra las especificaciones de las válvulas, conductos de admisión y escape del motor Chevrolet Sail.

Tabla 2  
*Especificaciones de válvulas*

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

Fuente: Ficha técnica Chevrolet Sail, G.M.

En el trabajo se investigará el comportamiento de cada material que se usará para la construcción de los múltiples de escape, en la figura 8 se detalla la metodología que se usará en este estudio.

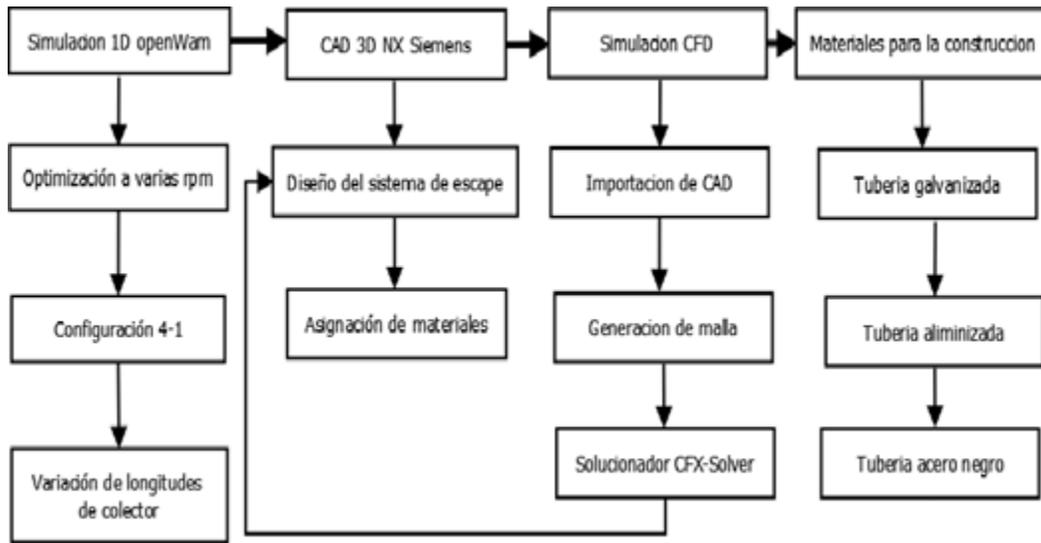


Figura 8. Metodología que se usará en los múltiples de escape.

En la figura 9 se detalla una matriz de variables que será usada en la elaboración de los sistemas de escape.

Evaluación de flujo de un múltiple de escape Chevrolet Sail con materiales no tradicionales.			
Variable	Niveles		
Materiales	Galvanizado	Aluminizado	Acero negro
	Suárez X, López R, Pérez F & Marrero R, 2014 Poggiani, C., Cimarello, A., & Grimaldi, C. (2015).	Yhasmín Reyes, Alicia Durán, & Yolanda Castro 2015 Eshaghi, Am.; Eshaghi, Ak., (2012)	Study of the process of combustion in a high swirl engine using computational fluid dynamics. Romano, A.P.; Fedel, M.; Defflorian, F.; Olivier, M.G., (2011)
Tipos de doblado	Rotación	Mandril	Cilíndrico
	FRAGOSO ALCÁNTARA, R. A., RIVERA DOMÍNGUEZ, B. R. A. U. L. L. O., & RODRÍGUEZ DELGADO, M. Á. (2012). Zabala Marulanda, J. E., & Gómez Bustamante, N. (2013).	Galindo, J., Luján, J. M., Serrano, J. R., Doltz, V., & Guillain, S. (2004). García-Barberena Labiano, M. (2010).	Jícome, H., Estalin, D., & Piña Guamán, D. A. (2015). Fonseca Paredes, F. P., & Santo Guanoluisa, M. P. (2011).
Temperatura del escape	900°C		
	Arroyo Terán, E. S. (2017). CMT-Motores Térmicos. (2017). OpenWAM. Arroyo, E., Rocha-Hoyos, J., Cedeño, E. L., & Navarrete, L. M. (2015).		
Presión de escape	OpenWAM		
	Rosas, Á., & Barona, G. (2011). Galindo, J., Tiseira, A., Fajardo, P., & Navarro, R. (2011). Arroyo, E., Rocha-Hoyos, J., Cedeño, E. L., & Navarrete, L. M. (2015).		

Figura 9. Matriz de variable sistema de escape Chevrolet Sail.

En la figura 10 se detalla un marco metodológico de investigación para la elaboración de los sistemas de escape.

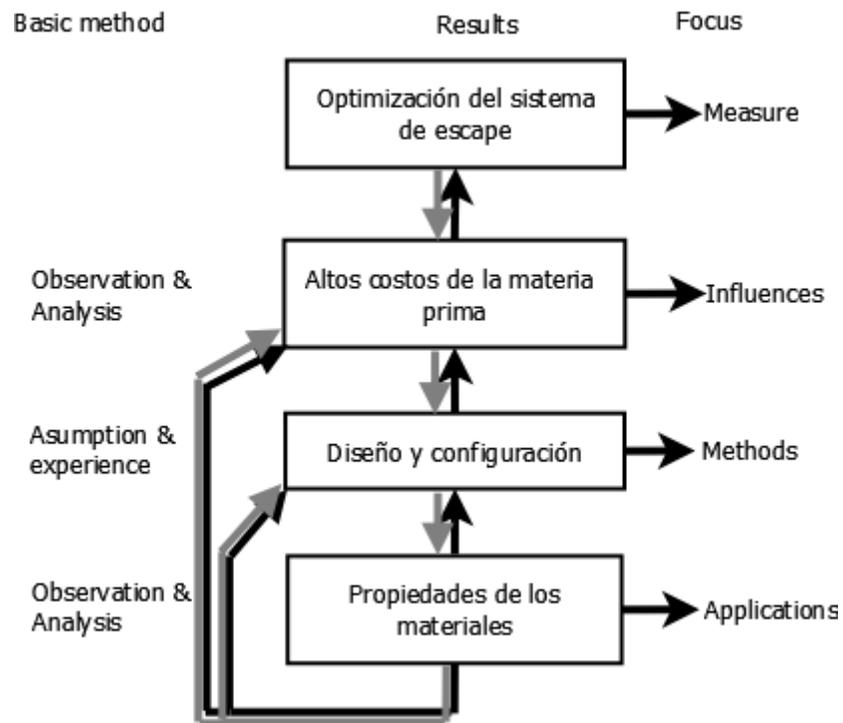


Figura 10. Marco metodológico de investigación para el sistema de escape Chevrolet Sail.

### Diseño y configuración.

### Determinación de dimensiones.

Según Gillieri (2007), en su libro de preparación de motores para competición, la longitud del colector se determina según la ecuación 1.

$$Lc = \frac{1300 * Ge}{n * 6} (cm) \quad (1)$$

Donde, Lc: 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, Ge: 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.

El diámetro de los tubos se determina por medio de la ecuación 2, considerando  $V_c$  como la cilindrada unitaria en  $\text{cm}^3$ . 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.

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

Para la unión de los tubos se sugiere una caja de expansión, como la mostrada en la Figura 8, que permite la unión de los gases en un solo flujo.

El diámetro del trayecto final del tubo de escape se calcula por la ecuación 7, donde  $V_t$  es la cilindrada total en  $\text{cm}^3$ , mientras que la longitud se aconseja un valor múltiplo de la dimensión del colector  $L_c$  (incluyendo el conducto de la culata).

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

En otros estudios de sistemas de escape, como los realizados por Jawad, Biggs, & Klein (2002), y Kanawade y Siras (2015), se han usado las relaciones establecidas por Heisler en el libro “Advanced engine technology”. Según Heisler (2002), la longitud del conducto primario ( $L$ ) se puede encontrar por la ecuación 8, 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°).

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

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 (Jawad et al.,2002).

### Configuración del múltiple de escape.

Según el autor Estefano 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.

Se selecciona la configuración 4-1 que une los cuatro cilindros en un colector, en la siguiente tabla se muestra el diagrama de orden de encendido y fases del vehículo Chevrolet Sail.

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

Cilindro	0° a 180°	180° a 360°	360° a 540°	540° a 720°
1	Combustión	Escape	Admisión	Compresión
2	Escape	Admisión	Compresión	Combustión
3	Compresión	Combustión	Escape	Admisión
4	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 combustionados, 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. En la tabla 4 se indican los bloques que se usaran en la simulación 1D.

Tabla 4  
 Bloques usados en Opem WAM.

Tipo	Bloque	Definición
Motores		Motor 4T
		Cilindro 4T
Nodos de unión		Ramificaciones
		Extremo a la atmosfera
		Unión de conductos
Conexiones		Unión a deposito
		Válvula Admisión
		Válvula escape
Elementos 0D		Cámara de volumen constante
Otros		Condiciones Iniciales
		Línea de conexión

Para realizar la simulación en el programa OpenWAM, se debe tomar en cuenta las condiciones de trabajo y geometría para el motor Chevrolet Sail, en la tabla 5 se muestran dichos datos.

Tabla 5

*Condiciones y geometría del motor.*

<b>Propiedades</b>	<b>Valor</b>
Tipo de motor	Encendido por chispa
Condiciones de operación	Estacionario
Numero de ciclos	10
Velocidad del motor(rpm)	2000-6500
Poder calorífico del combustible	41870
Densidad de combustible	854
Relación de compresión	10.8:1

Fuente: Ficha técnica Chevrolet Sail, G.M.

En la siguiente tabla 6, se muestra las condiciones iniciales para el uso del programa openWAM.

Tabla 6

*Condiciones iniciales.*

<b>Propiedades</b>	<b>Valor</b>
Método de calculo	Independiente
Número de ciclos de convergencia	10
Presión ambiente (bar)	1
Temperatura ambiente (°C)	20
Tipo de cálculo	Simplificado
Permitir cálculos externos	No

Sustancia de combustible	Gasolina
Método numérico	Lax wendroff
Sub-modelo	Without-correition

Una vez ya digitado los datos correspondientes en el programa se procede a ordenar por cilindros y válvulas de acuerdo al motor Chevrolet Sail. En la figura 11 se muestra la disposición del motor.

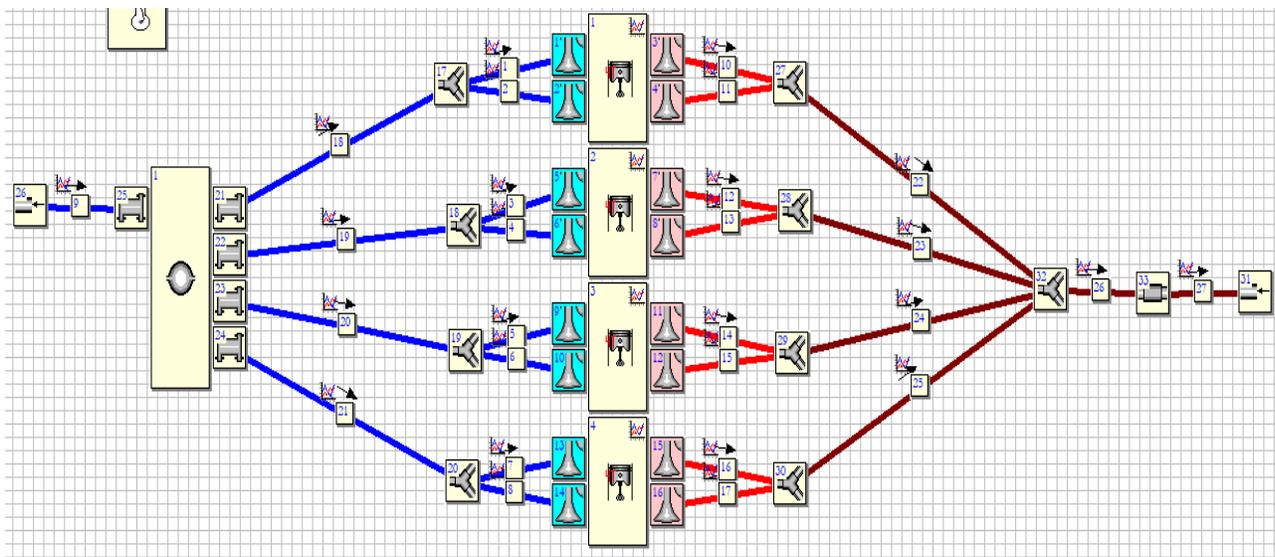


Figura 11. Motor completo 1D openWAM.

En el sistema de admisión se divide en tres secciones, la primera es de entrada de aire del ambiente, la segunda se hace referencia a los conductos de admisión y la tercera hace referencia a los conductos dentro del cabezote, como se muestra en la figura 12.

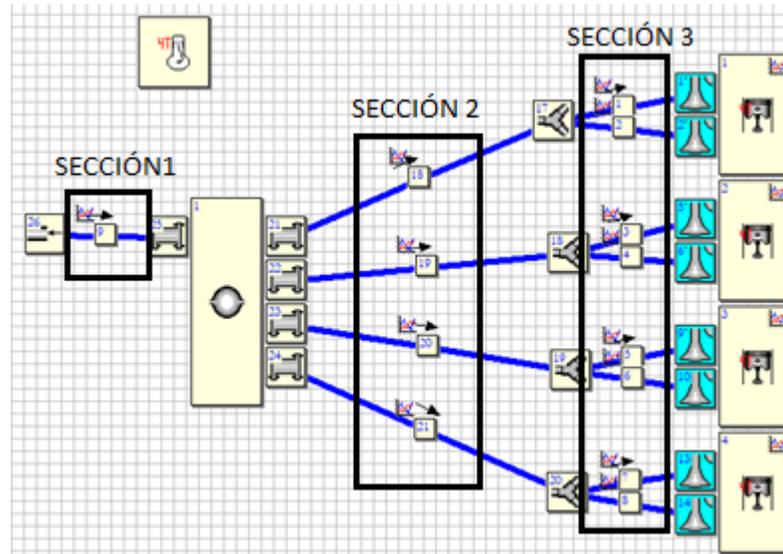


Figura 12. Sección de admisión Chevrolet Sail.

En el sistema de escape se divide en tres secciones, la primera hace referencia a las salidas de gases combustionados en los conductos del cabezote, la segunda hace referencia a nuestro nuevo sistema independiente de escape 4-1 y la tercera a la parte posterior del escape enviando los gases combustionados al medio ambiente. En la figura 13 se indica el nuevo sistema de escape.

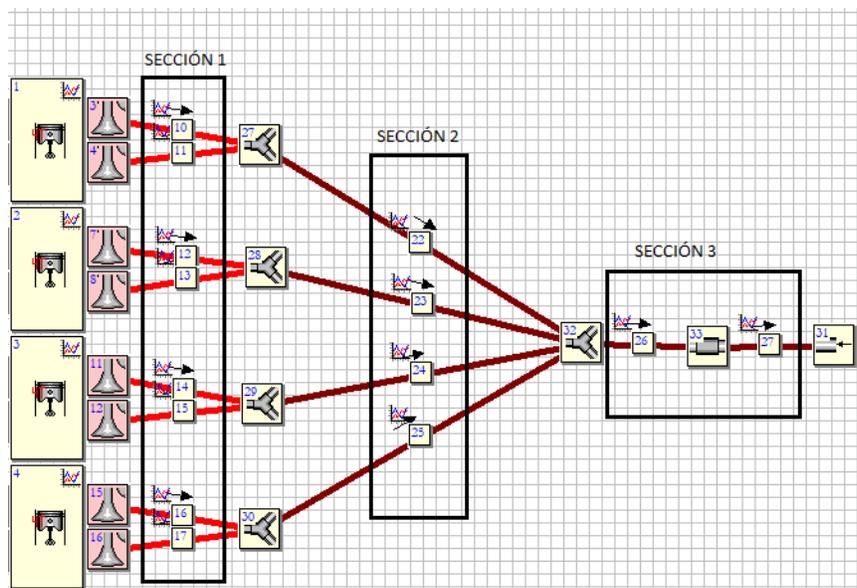
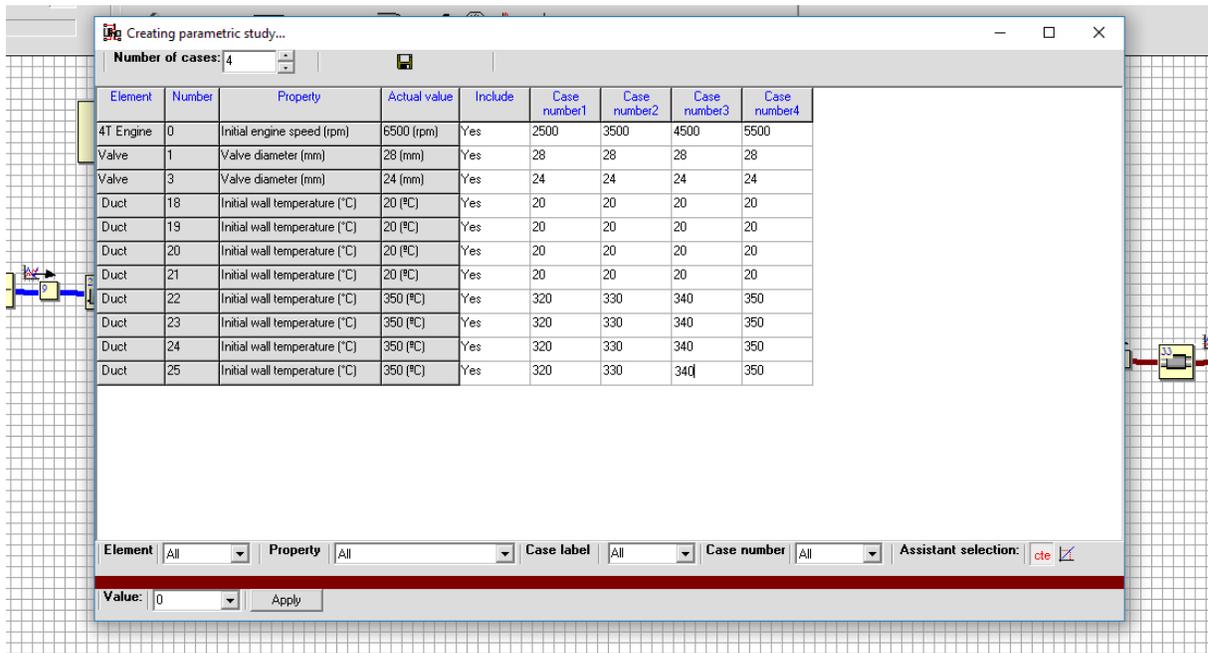


Figura 13. Sección sistema de escape Chevrolet Sail.

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 no tradicionales en el sistema de escape del vehículo Chevrolet Sail. En la figura 14 se muestra los parámetros.



Element	Number	Property	Actual value	Include	Case number1	Case number2	Case number3	Case number4
4T Engine	0	Initial engine speed (rpm)	6500 (rpm)	Yes	2500	3500	4500	5500
Valve	1	Valve diameter (mm)	28 (mm)	Yes	28	28	28	28
Valve	3	Valve diameter (mm)	24 (mm)	Yes	24	24	24	24
Duct	18	Initial wall temperature (°C)	20 (°C)	Yes	20	20	20	20
Duct	19	Initial wall temperature (°C)	20 (°C)	Yes	20	20	20	20
Duct	20	Initial wall temperature (°C)	20 (°C)	Yes	20	20	20	20
Duct	21	Initial wall temperature (°C)	20 (°C)	Yes	20	20	20	20
Duct	22	Initial wall temperature (°C)	350 (°C)	Yes	320	330	340	350
Duct	23	Initial wall temperature (°C)	350 (°C)	Yes	320	330	340	350
Duct	24	Initial wall temperature (°C)	350 (°C)	Yes	320	330	340	350
Duct	25	Initial wall temperature (°C)	350 (°C)	Yes	320	330	340	350

Number of cases: 4

Element: All | Property: All | Case label: All | Case number: All | Assistant selection: cte

Value: 0 | Apply

Figura 14. Variables para estudio paramétrico.

En la figura 15 se muestran los resultados seleccionados en cuanto a potencia, torque efectivo, velocidad del motor.

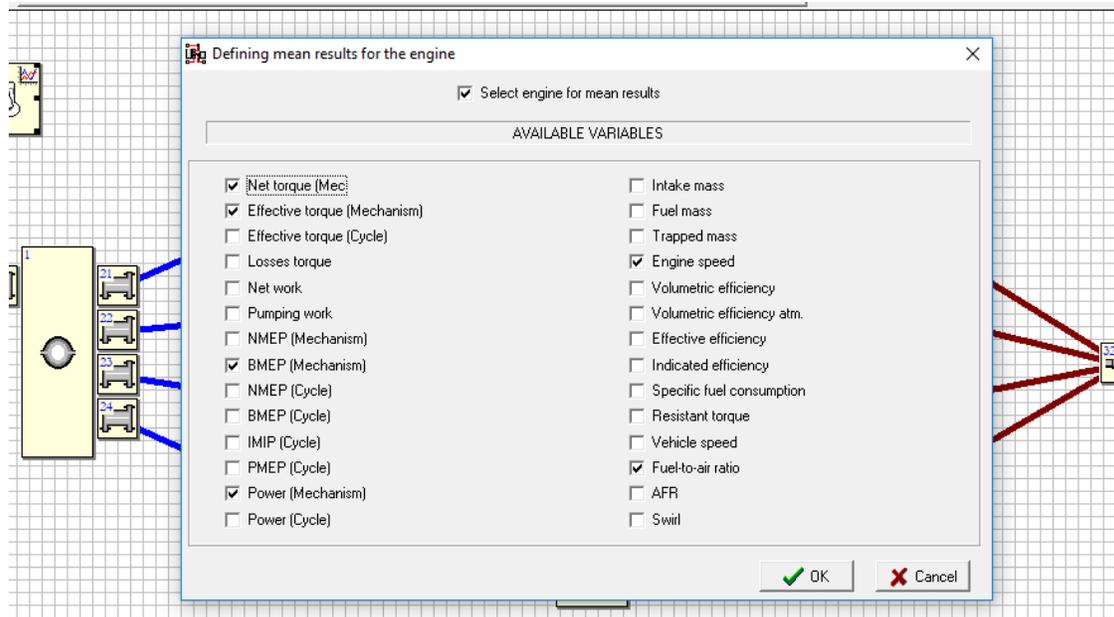


Figura 15. Variables de resultados.

Por último, se desea mostrar los parámetros de obtención de valores de temperatura, presión y flujo másico en las válvulas de admisión y escape. En la figura 16 se muestra la sección de las variables.

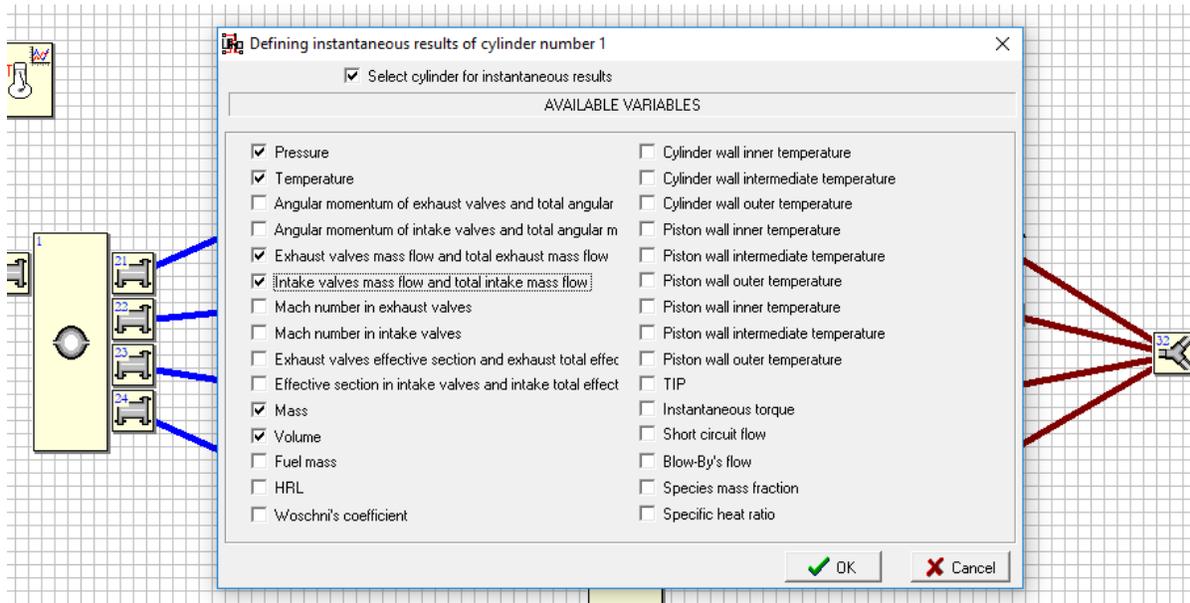


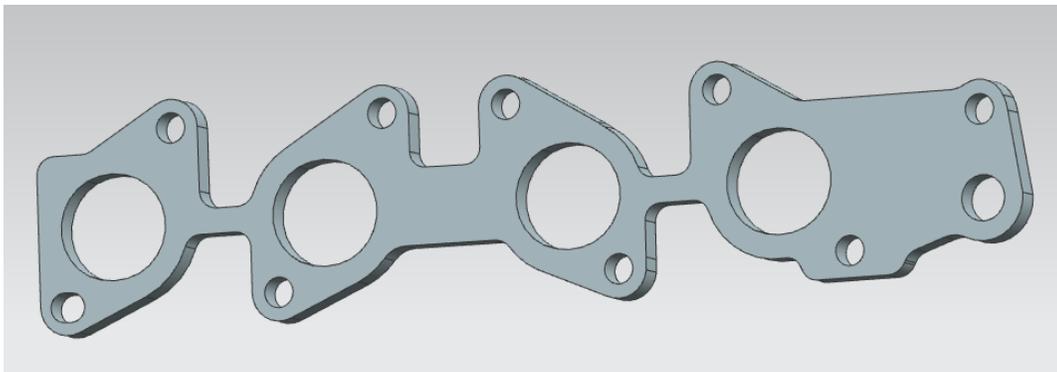
Figura 16. Variables para resultados instantáneos del motor.

### Modelado 3D.

El modelado 3D se realizará en el software NX Siemens, el cual permite la obtención del volumen interno del múltiple para utilizarlo como el dominio del fluido en la simulación CFD.

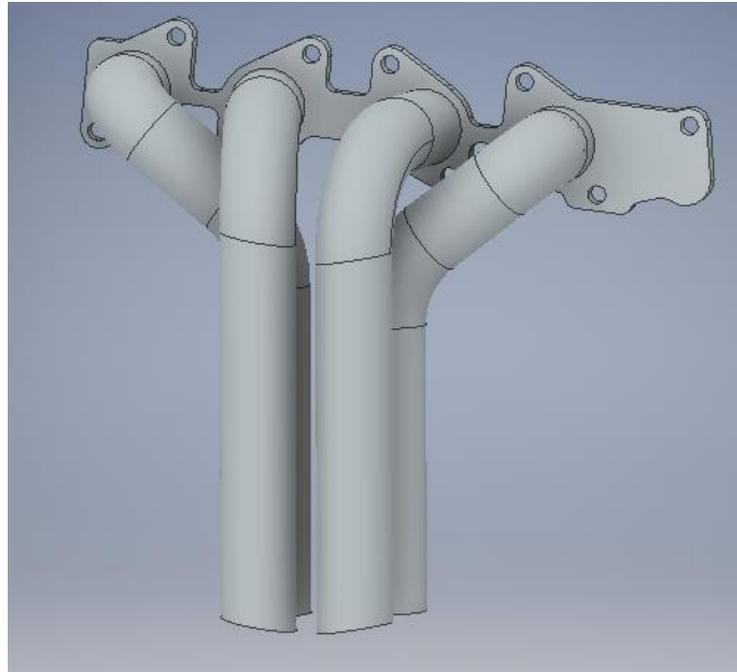
Para el diseño de los múltiples de escape se considera las dimensiones del cabezote, espacio físico disponible en el vehículo por la parte delantera e inferior del motor y las longitudes obtenidas del software OpenWAM. Dentro del diseño se buscará reducir el número de curvaturas de los tubos y hacerlas con radios de giro amplios. Entre más cantidad de dobleces, curvaturas pronunciadas y bordes ásperos dentro del tubo, resulta mayor la fricción interna de los gases de escape y se traduce en menor eficiencia del sistema de escape (Mohiuddin, Rahamn, & Dzaidin, 2007).

En la figura 17, se muestra el diseño de la brida superior la cual está ubicada en la salida de los gases de combustión.



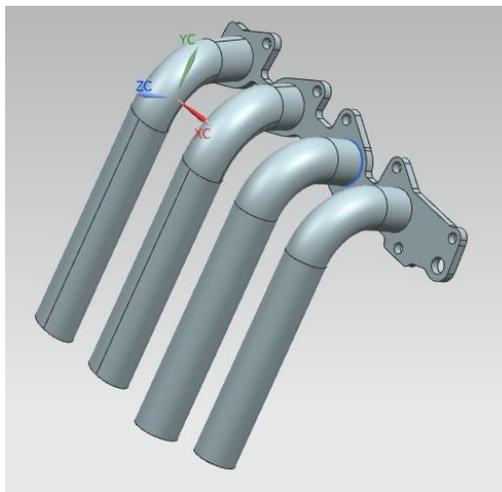
*Figura 17.* Brida superior Chevrolet Sail.

En la figura 18, se muestra el diseño de las tuberías independientes para la construcción del header, con las dimensiones referentes al diseño original del vehículo.



*Figura 18.* Diseño de tuberías independientes.

En la figura 19, se muestra un diseño de tubería directa, la cual nos permitirá definir las curvaturas al momento de realizar el nuevo sistema de escape.



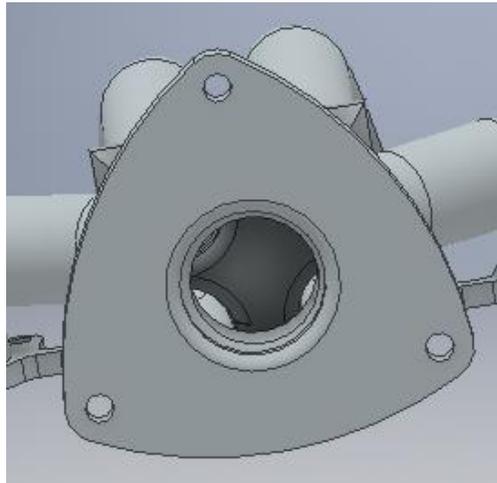
*Figura 19.* Diseño salida directa de escape.

En la figura 20, se muestra un diseño de escape 4-2 que nos permite determinar el flujo adecuado para realizar la simulación.



*Figura 20.* Diseño de escape con una configuración 4-2.

En la figura 21, se muestra la junta de unión del header, la cual es similar a la original del vehículo.



*Figura 21.* Diseño junta de unión.

En la figura 22, se muestra el diseño completo para la fabricación del sistema independiente de escape (Header).

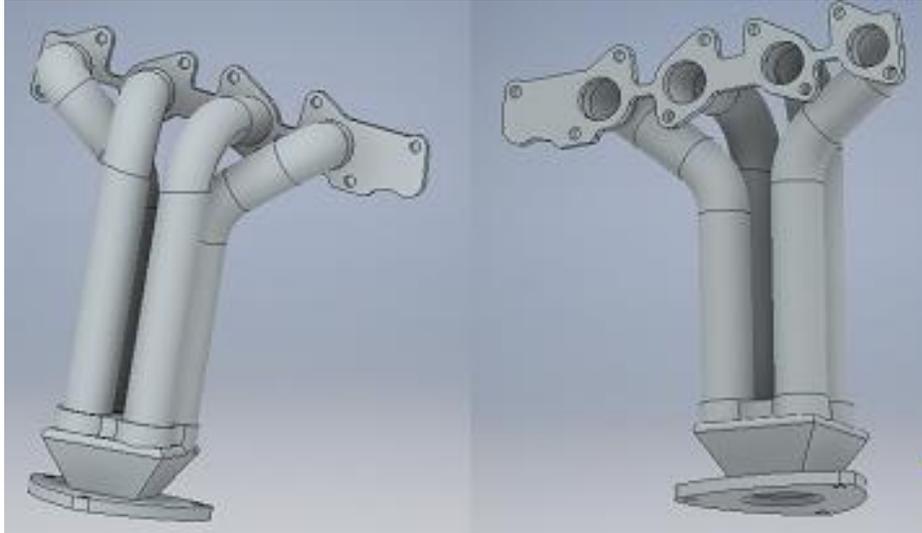


Figura 22. Diseño completo del header.

### Simulación 3D

En la simulación se usó el programa CFD de Autodesk, el cual nos da los datos referentes para seleccionar el mejor diseño de múltiple de escape para ser fabricado.

En la figura 23, se muestra el múltiple con salidas directas, con cada material no tradicional.

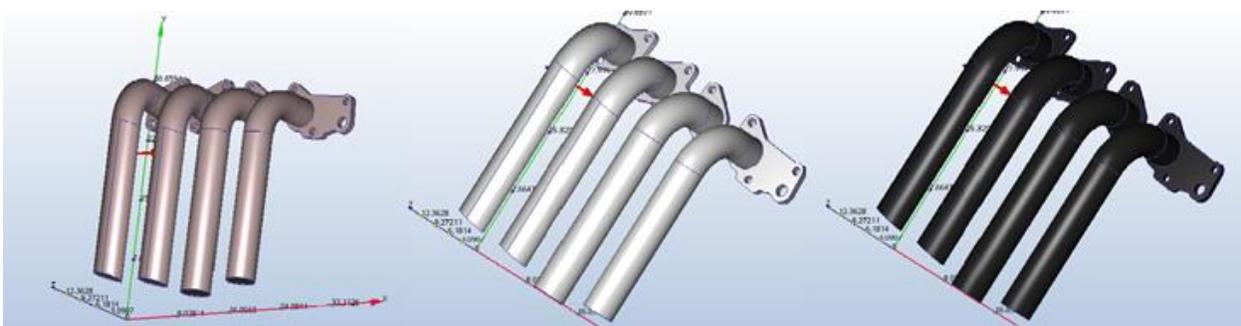


Figura 23. Selección de materiales para simular.

De la misma forma se realiza para cada diseño realizado. En la figura 24 se muestra los diseños completos.

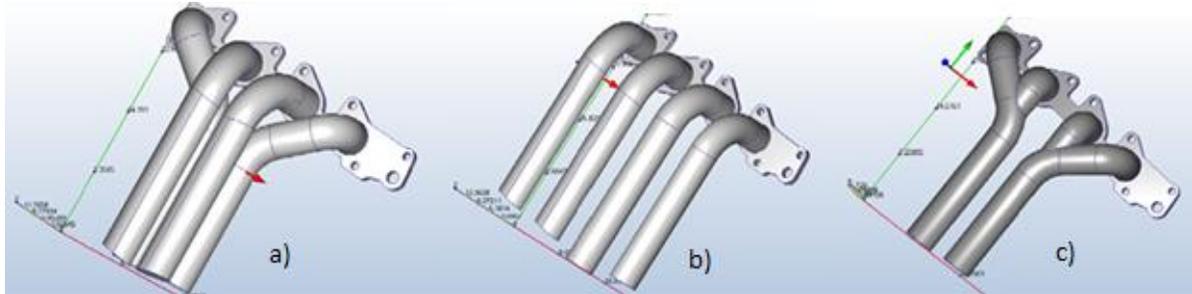


Figura 24. Diseños para simular: a) 4-1, b) salida directa, c) 4-2.

El siguiente paso a seguir es dar datos iniciales para poder realizar la simulación, generar la geometría y la cantidad de nodos en cada diseño (figura 25). El proceso se repite para cada diseño y material.

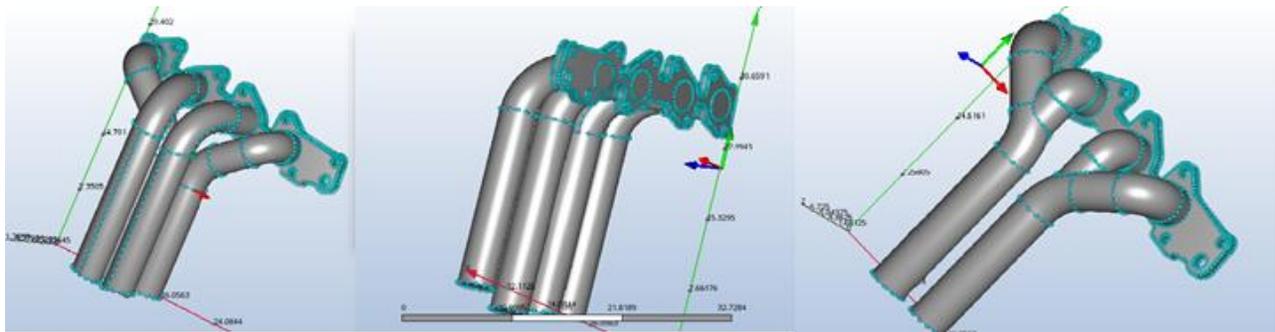


Figura 25. Mallado de diseños.

En la imagen 26 se muestra la simulación terminada, el programa CFD nos genera los datos completos de temperatura, presión, velocidad de salida, volumen másico, etc.

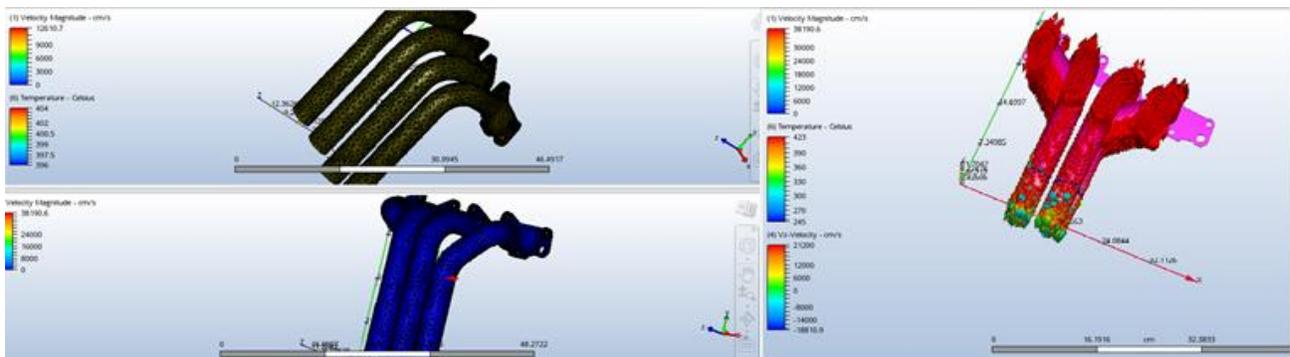


Figura 26. Simulación CFD completa.

**Propiedades de los materiales usados en la construcción de los header's.****Tubería aluminizada.**

<b>Propiedades</b>	<b>Métrico</b>
Densidad	8 g/cc
Dureza	90
Resistencia a la tracción	630 MPa
Elongación	45%
Módulo de elasticidad	195 GPa
Resistividad de eléctrica	0.000092 ohm*cm
Capacidad de calor	0.620 J/g°C

**Nota:** DataSheet del acero aluminizado. (MATWEB, (13 de julio del 2018)

Recuperado(<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=393ee5286e4242ec8d5fd07e65c27404>)

**Tubería de acero galvanizado.**

<b>Propiedades</b>	<b>Métrico</b>
Densidad	7.8 g/cc
Módulo de volumen	160 GPa
Resistencia a la tracción	240 MPa
Elongación	22%
Módulo de elasticidad	200 GPa
Resistividad de eléctrica	0.0000170 ohm*cm
Capacidad de calor	0.470 J/g°C

**Nota:** DataSheet del acero galvanizado. (MATWEB, (13 de julio del 2018)

Recuperado(<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=8b72b33770574af6b35bb250248660a7>)

**Tubería de acero negro.**

<b>Propiedades</b>	<b>Métrico</b>
Densidad	7.75 g/cc
Módulo de volumen	82 GPa
Resistencia a la tracción	275 MPa
Elongación	34%
Módulo de elasticidad	213 GPa
Resistividad de eléctrica	0.0000263 ohm*cm
Capacidad de calor	0.477 J/g°C

Nota: DataSheet del acero negro. (MATWEB, (13 de julio del 2018) Recuperado

<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=210fcd12132049d0a3e0cabe7d091eef>)

**Hierro fundido**

<b>Propiedades</b>	<b>Métrico</b>
Densidad	7.90 g/cc
Módulo de volumen	102 GPa
Resistencia a la tracción	340 MPa
Elongación	55%
Módulo de elasticidad	196 GPa
Resistividad de eléctrica	0.0000740 ohm*cm
Capacidad de calor	0.530 J/g°C

Nota: DataSheet de hierro fundido. (MATWEB, (14 de julio del 2018) Recuperado

<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=442c4d24706444eb9360838a2cfabde3&ckck=1>)

### Construcción de los múltiples de escape.

La construcción de los múltiples de salida independiente de gases, se realizaron con 3 diferentes tuberías ya mencionadas anteriormente.

El método empleado es el doblado de tubos, donde se observó el estrechamiento mínimo en la sección transversales de cada doblez. Para realizar este proceso se cortó las tuberías a la longitud diseñada (figura 31) y se dobló de acuerdo a los ángulos requeridos mediante una dobladora hidráulica, como se muestra en la figura 32.



Figura 27. Corte de tubería según su longitud.



Figura 28. Doblaje de tubos.

Se realiza el doblado de 4 tubos para cada salida independiente de los gases combustionados, como se muestra en la figura 33.



*Figura 29.* Dobles de tubos según el diseño.

Se realiza el proceso de soldadura de cada tubería, dando como resultado el header diseñado, como se puede observar en la figura 34.



*Figura 30.* Header 4-1 completo de acero negro.

### **Pruebas Dinamométricas.**

Para obtener los datos exactos de torque y potencia, de cada uno de los 3 diseños de header's con materiales no tradicionales, 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, las especificaciones técnicas del banco dinamométrico se detallan en el anexo 2.

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 3 header's con materiales no tradicionales.

Para poder realizar las pruebas se debe tener en cuenta las dimensiones de las ruedas del vehículo, como se muestra en la figura 35. En este caso es una llanta 185/60R14.



*Figura 31.* Dimensiones de ruedas Chevrolet Sail.

Se realiza la ubicación del vehículo en el banco dinamométrico, se asegura, fija con correas. Como se muestra en la figura 36.



Figura 32. Fijación del vehículo en el banco dinamométrico.

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.



Figura 33. Datos y parámetros 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. Como se muestra en la figura 38.



Figura 34. Temperatura del motor y refrigeración del banco de pruebas.

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. Como se muestra en la figura 39.



Figura 35. Datos prueba en el dinamómetro.

Se realiza las pruebas con el múltiple original y con los 3 header's con materiales no tradicionales, como se muestra en la figura 40.



*Figura 36.* Múltiple de escape original y 3 header's con materiales no tradicionales.

## RESULTADOS

El múltiple de escape original posee una configuración 4-2-1, se diseñó y se fabricó 3 header's con tubería de acero negro, tubería galvanizada y tubería aluminada.

### 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 calculo. En la figura 41 se muestra los valores encontrados importados con Excel para la obtención de las curvas Torque-Potencia.

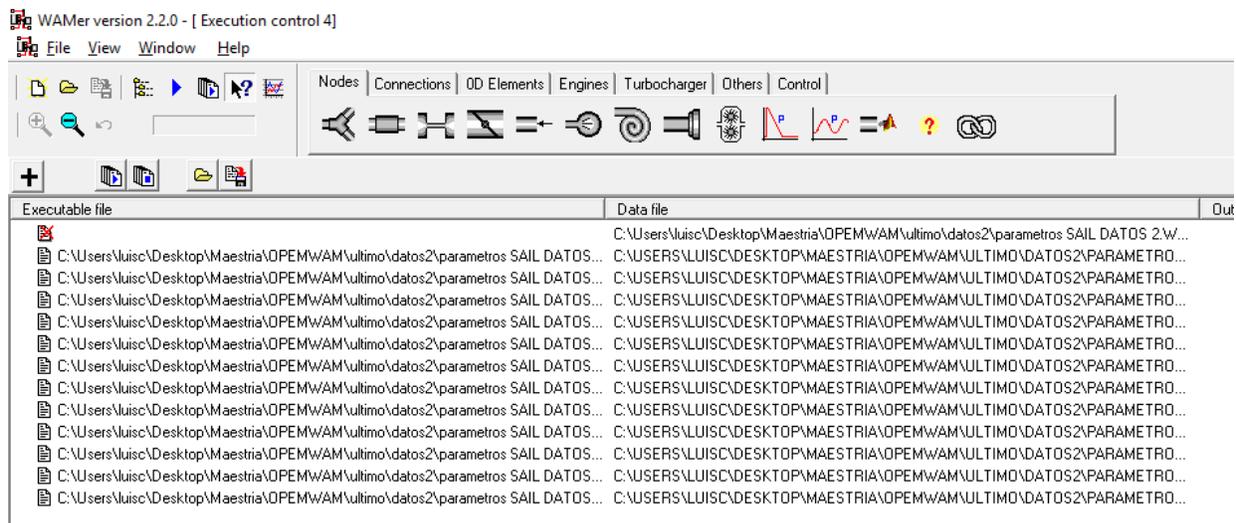


Figura 37. Fin de proceso de simulación 1D.

### Obtención resultados Torque y Potencia del vehículo.

Los resultados del estudio en la simulación 1D, para cada régimen de giro de motor Chevrolet Sail 1,4cc. Se muestra en la tabla 7 y figura 42.

Tabla 7

Resultados obtenidos en la simulación 1D.

Rpm.	Torque (Kw)	Potencia(Nm)
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

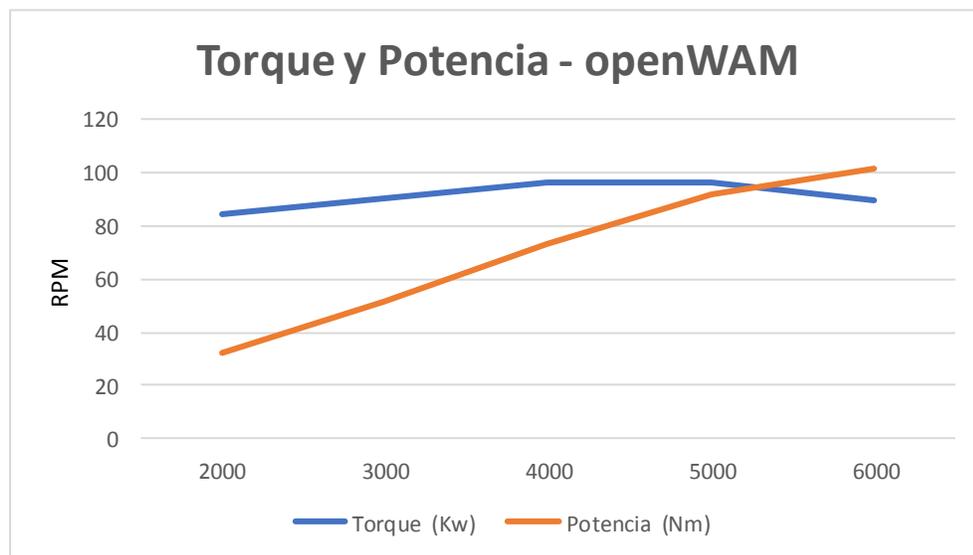


Figura 38. Curvas de Torque y Potencia – openWAM.

### 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
260 m/s	126.8 kPa	426 °C

### Múltiple de escape con salidas directas en CFD.

En el programa CFD de Autodesk se realizó la selección de los materiales, como se muestra en la figura 43.

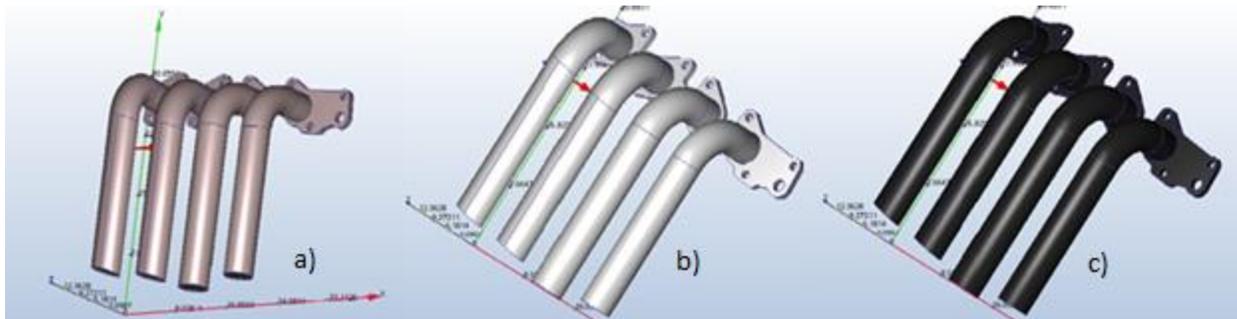


Figura 39. Materiales no tradicionales escape con salida directa: a) Tubería galvanizada, b) Tubería aluminizada, c) Tubería acero negro.

En el caso del flujo en el múltiple de escape con salida directa se tiene un mallado con 34298 nodos, en la figura 44 se muestra.

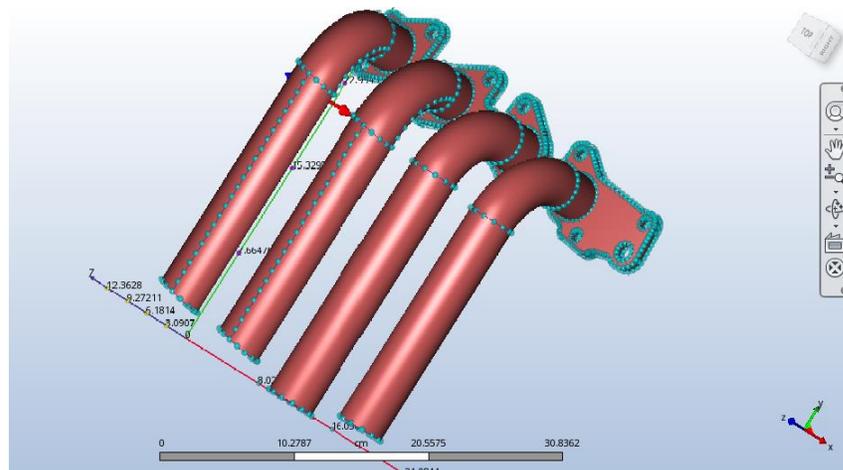


Figura 40. Mallado del dominio con el múltiple de salida directa.

En la tabla 9, se muestran los datos obtenidos en la simulación con los tres materiales.

Tabla 9  
Datos Simulación CDF.

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

### Múltiple de escape configuración 4-2 en CFD.

Para el múltiple de configuración 4-2, se realizó la simulación con los materiales elegidos. Como se muestra en la figura 45.

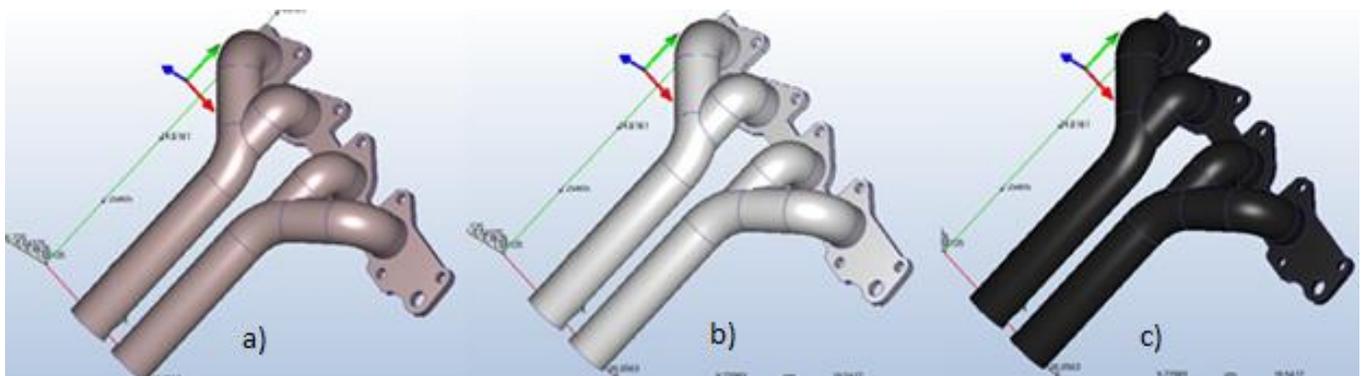


Figura 41. Materiales no tradicionales configuración 4-2: a) Tubería galvanizada, b) Tubería aluminizada, c) Tubería acero negro.

En la tabla 10, se muestran los datos obtenidos en la simulación con los tres materiales.

Tabla 10.

Datos Simulación CDF.

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)	1.043376	1.043376	1.043376
Temperatura max °C	425.2	425.9	422.0
Temperatura min °C	401.1	389.0	395.7
Velocidad de salida (m/s)	283.63	279.0855	274.8039
Presión (kPa)	132.34	124.29	128.5

### Múltiple de escape configuración 4-1 en CFD.

Para el múltiple de configuración 4-1, se realizó la simulación con los materiales elegidos. Como se muestra en la figura 46.

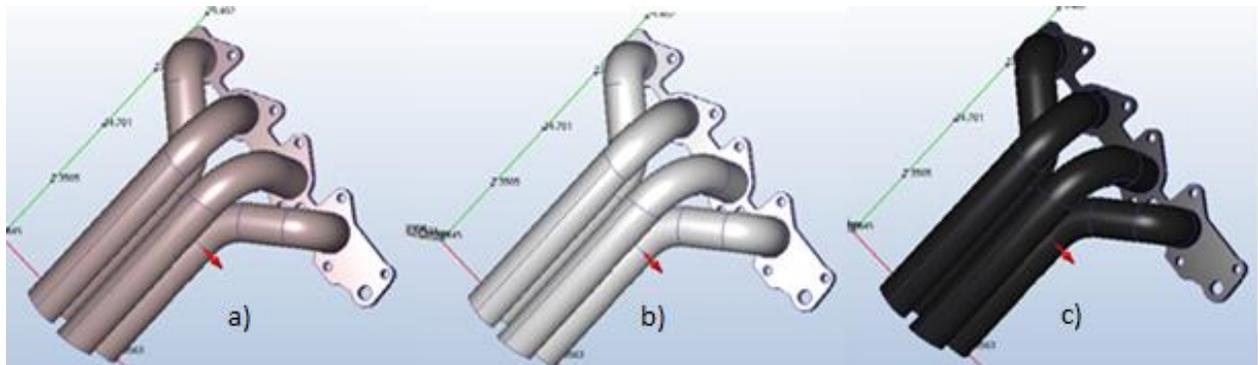


Figura 42. Materiales no tradicionales configuración 4-1: a) Tubería galvanizada, b) Tubería aluminizada, c) Tubería acero negro.

En la tabla 11, se muestran los datos obtenidos en la simulación con los tres materiales.

Tabla 11.

*Datos Simulación CDF.*

<b>Propiedades</b>	<b>Tubería Galvanizada</b>	<b>Tubería Acero negro</b>	<b>Tubería Aluminizada</b>
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)	1.9908	1.9908	1.9908
Temperatura max °C	425.3	425.0	423.0
Temperatura min °C	400.1	235.0	245.0
Velocidad de salida (m/s)	383.63	279.0855	412.0
Presión max (kPa)	168.59	166.44	169.94

### **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 el anexo 3 se muestra los datos realizados en las pruebas dinamométricas del escape original con sus tres mediciones.

En la figura 47, se muestra una gráfica de Potencia de las tres pruebas realizadas en el sistema de escape original.

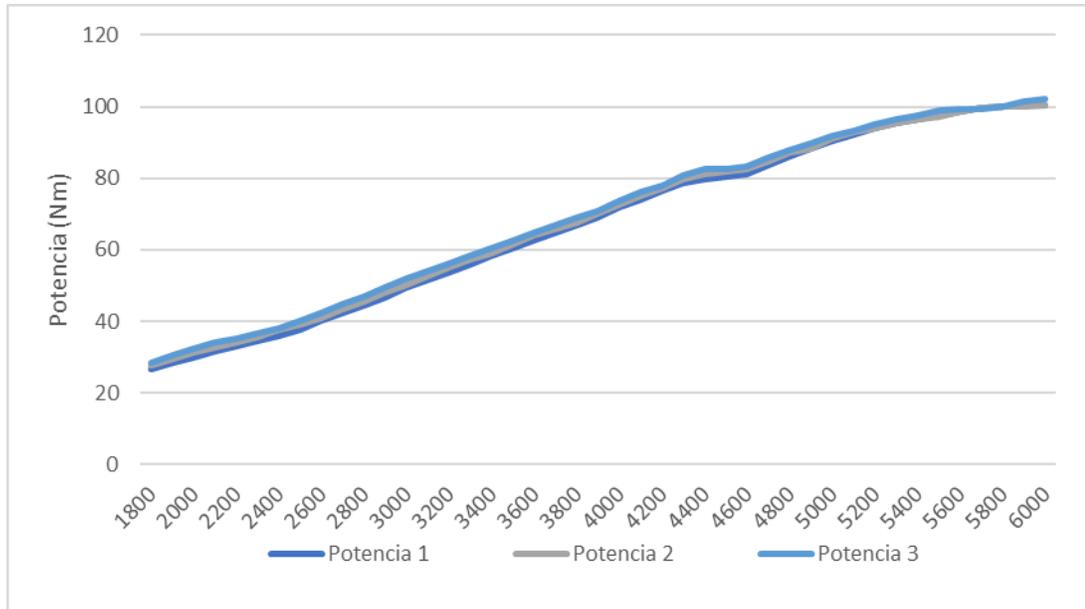


Figura 43. Curvas Potencia sistema original de escape.

En la figura 48, se muestra una gráfica de Torque de las tres pruebas realizadas en el sistema de escape original.

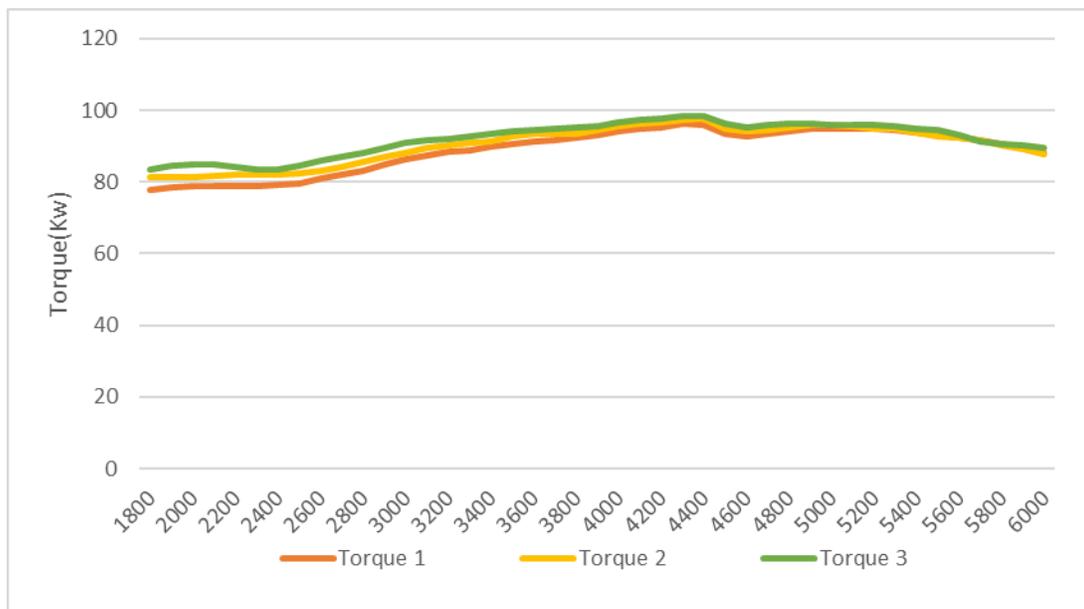


Figura 44. Curvas Torque sistema original de escape.

En el anexo 4, se muestra los resultados de las pruebas dinámicas de Torque y Potencia del header usando como material no tradicional una tubería galvanizada.

En la figura 49, se muestra en forma gráfica los datos de Potencia del header galvanizado.

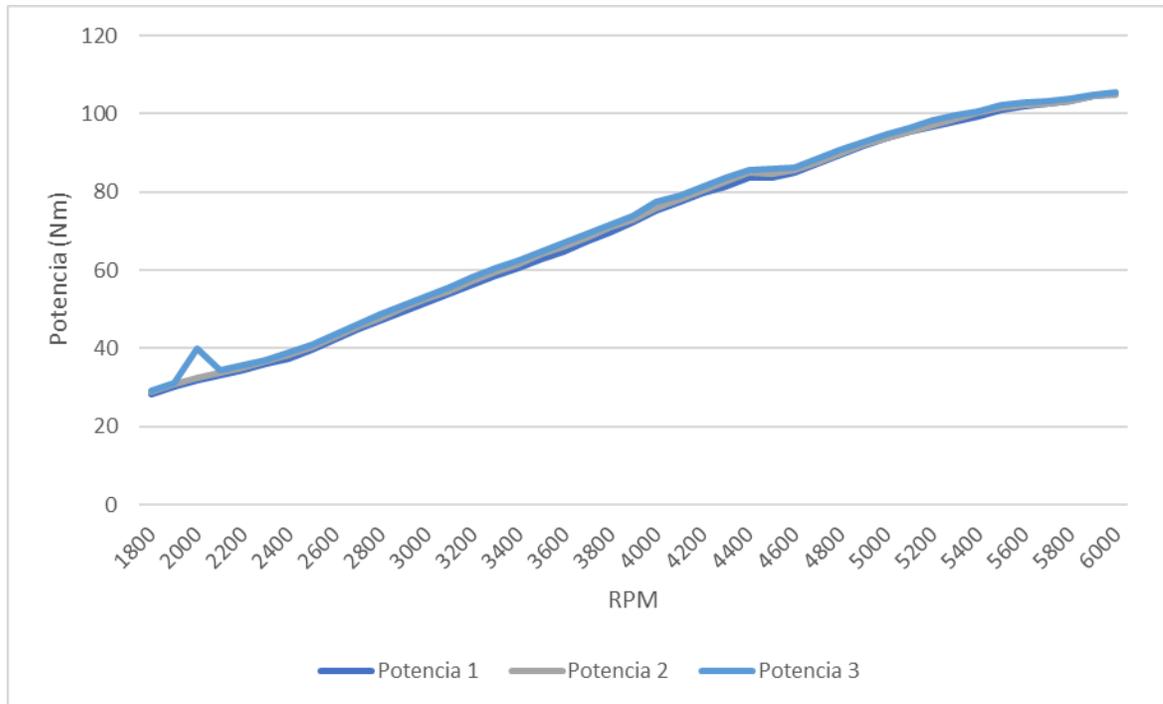


Figura 45. Grafica Potencia header galvanizado.

En la figura 50, se muestra en forma gráfica los datos de Torque del header galvanizado.

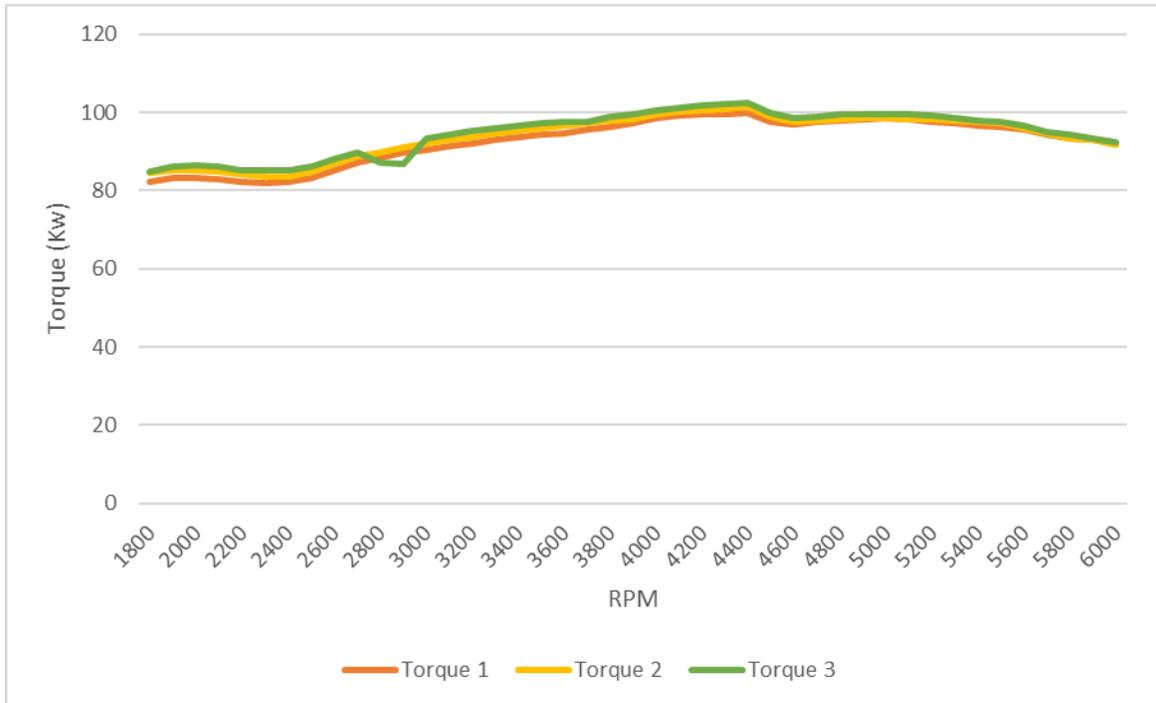


Figura 46. Grafica Torque header galvanizado.

En el anexo 5, se muestra los resultados de las pruebas dinamométricas de Torque y Potencia del header usando como material no tradicional una tubería de acero negro.

En la figura 51, se muestra en forma gráfica los datos de Potencia del header en acero negro.

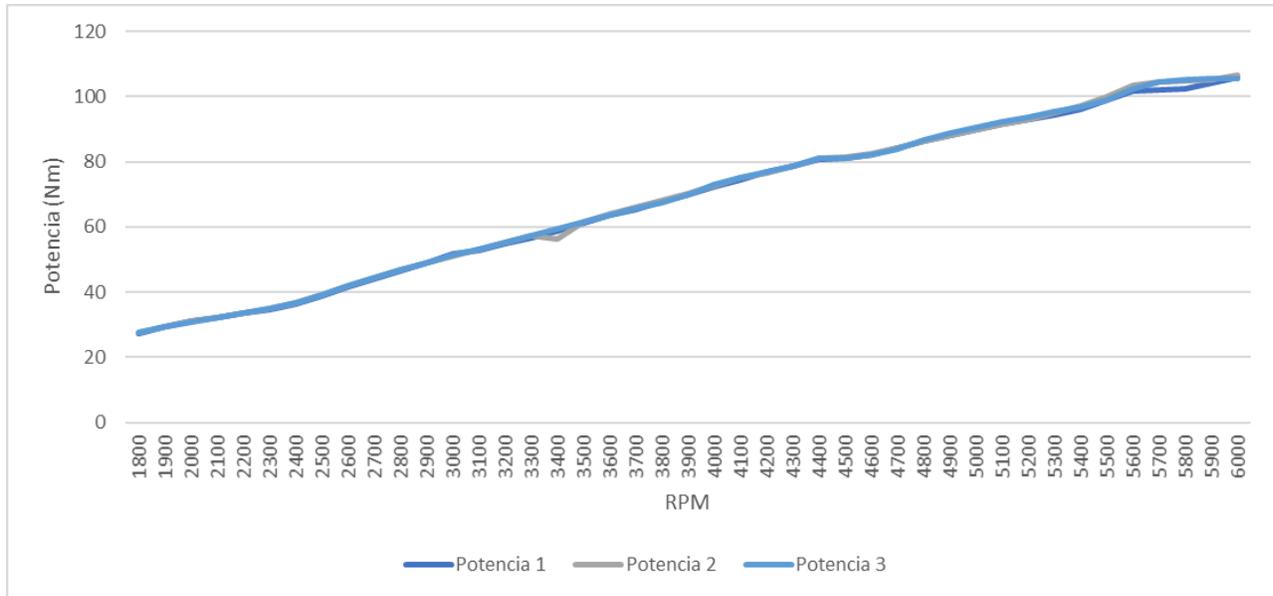


Figura 47. Grafica Potencia header acero negro.

En la figura 52, se muestra en forma gráfica los datos de Torque del header en acero negro.

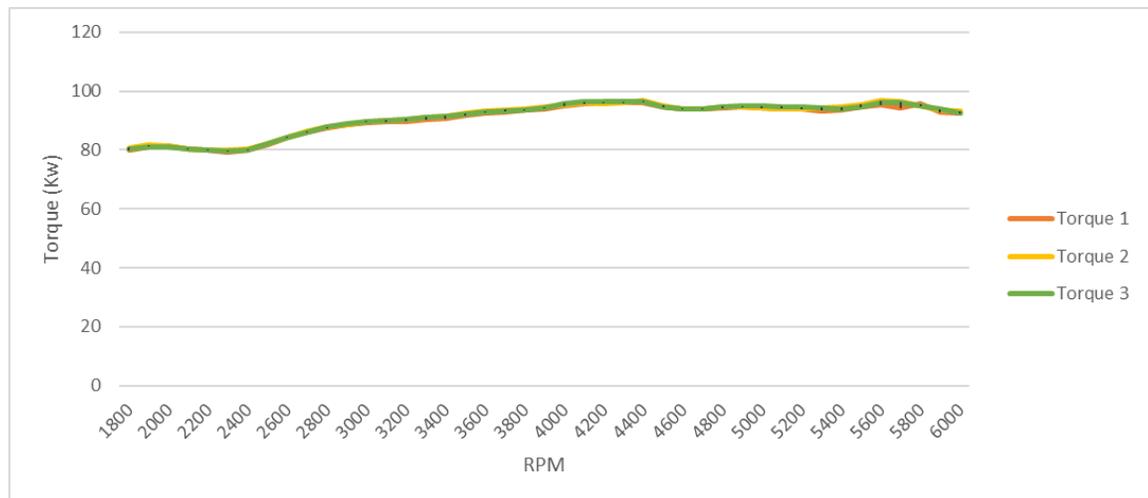


Figura 48. Grafica Torque header acero negro.

En el anexo 6, se muestra los resultados de las pruebas dinamométricas de Torque y Potencia del header usando como material no tradicional una tubería aluminizada.

En la figura 53, se muestra en forma gráfica los datos de Potencia del header con tubería aluminizada.

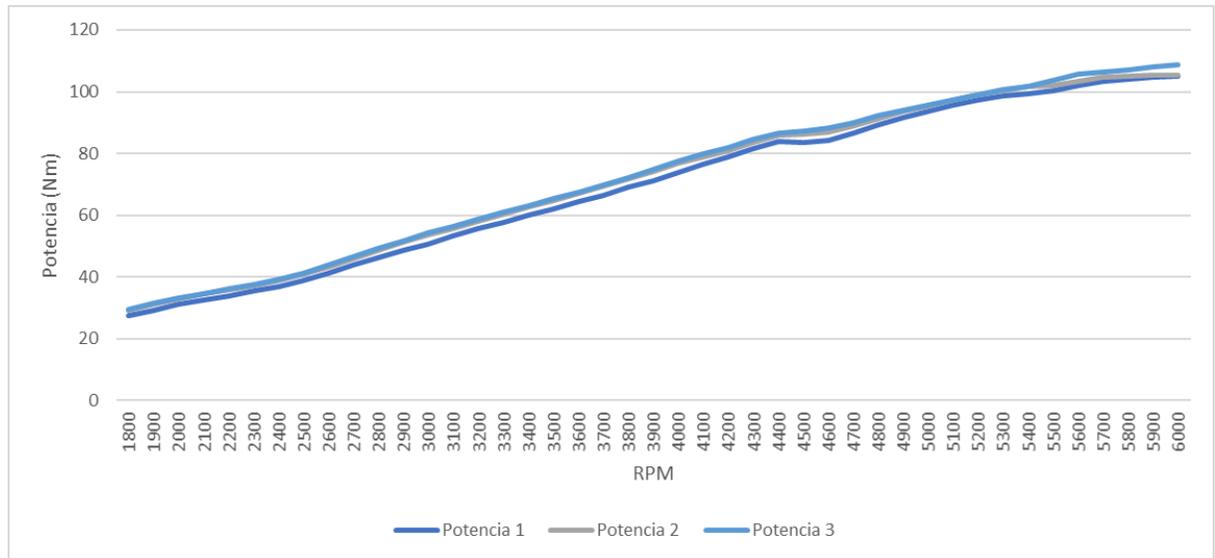


Figura 49. Grafica Potencia header aluminizado.

En la figura 54, se muestra en forma gráfica los datos de Torque del header con tubería aluminizada.

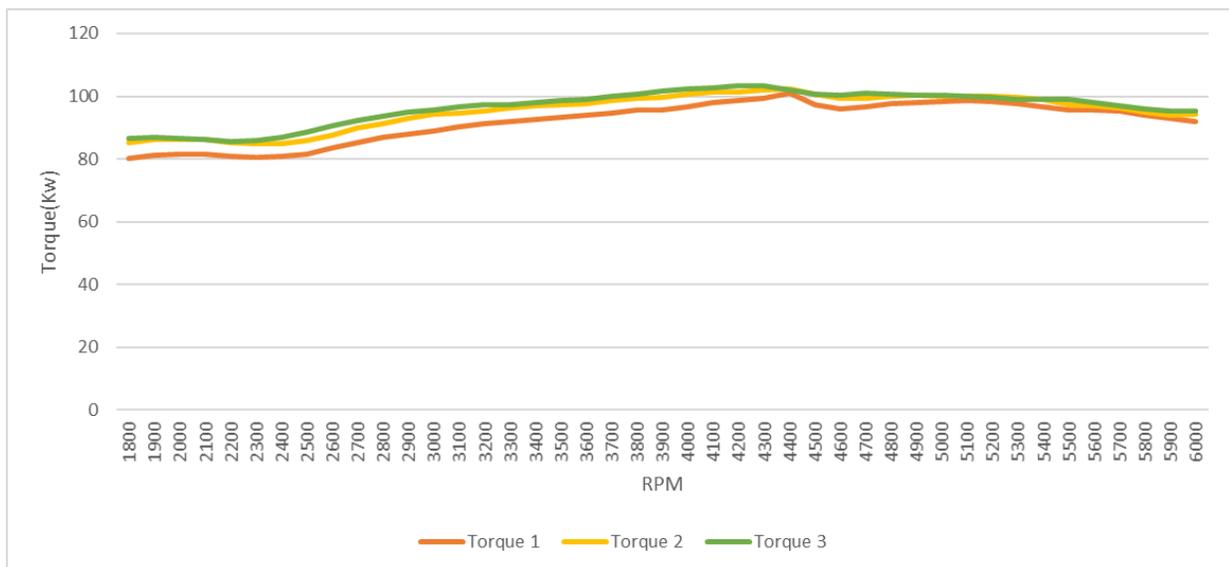


Figura 50. Grafica Torque header aluminizado.

## **Análisis y Discusión de Resultados.**

### **Simulación 1D Programa OPENWAM.**

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. Los resultados de la simulación 1D ayudaron para el desarrollo de cada simulación 3D con los diferentes materiales no tradicionales.

### **Simulación 3D CFD AUTODESK.**

Para los resultados de la simulación tridimensional se consideran los parámetros de velocidad, temperatura y presión, de los tres diseños de escape con materiales no tradicionales acero negro, galvanizado y aluminizado.

### **Análisis estático.**

Para el análisis estático se diseñó un escape de salidas directa, un escape de configuración 4-2 y configuración 4-1, el programa CFD generó diversos datos dependiendo el material a ser usado.

### **Análisis de velocidad.**

En la figura 55, se observan los resultados de velocidad en los tres materiales usados, con las diferentes configuraciones.

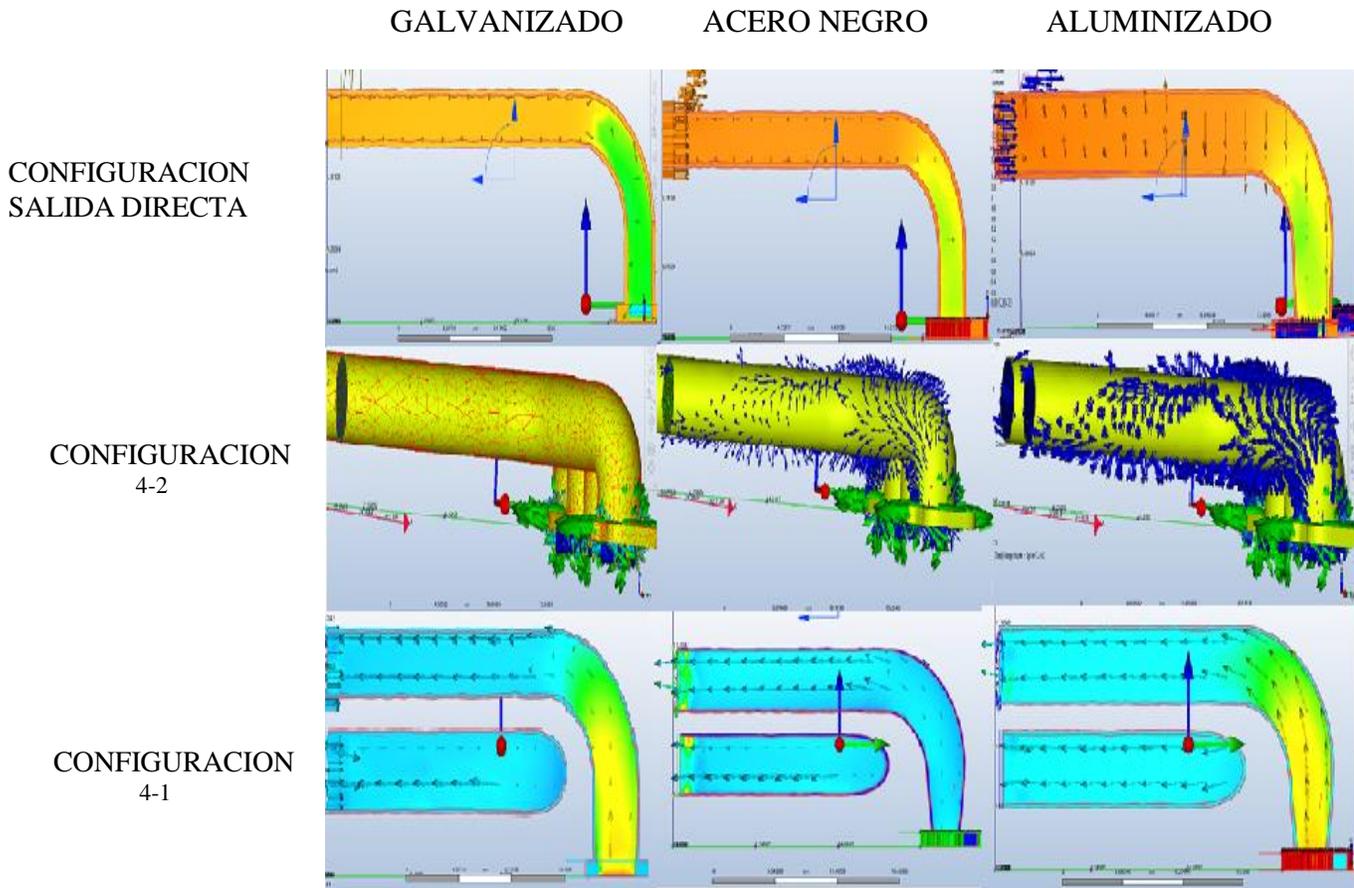


Figura 51. Resultados de velocidad en simulación CDF.

Los resultados en la tubería galvanizada, para la configuración de salidas directas muestra una velocidad 327.28(m/s), la configuración 4-2 muestra una velocidad 283.63(m/s), la configuración 4-1 muestra una velocidad 383.63(m/s). En la figura 56, se muestra un aumento de velocidad del 25.88% en la configuración de salida directa, la configuración 4-2 el aumento de velocidad es de 9.09% y en la configuración 4-1 el aumento de velocidad es de 47.55%, el diseño óptimo para construir el sistema de escape es de configuración 4-1.

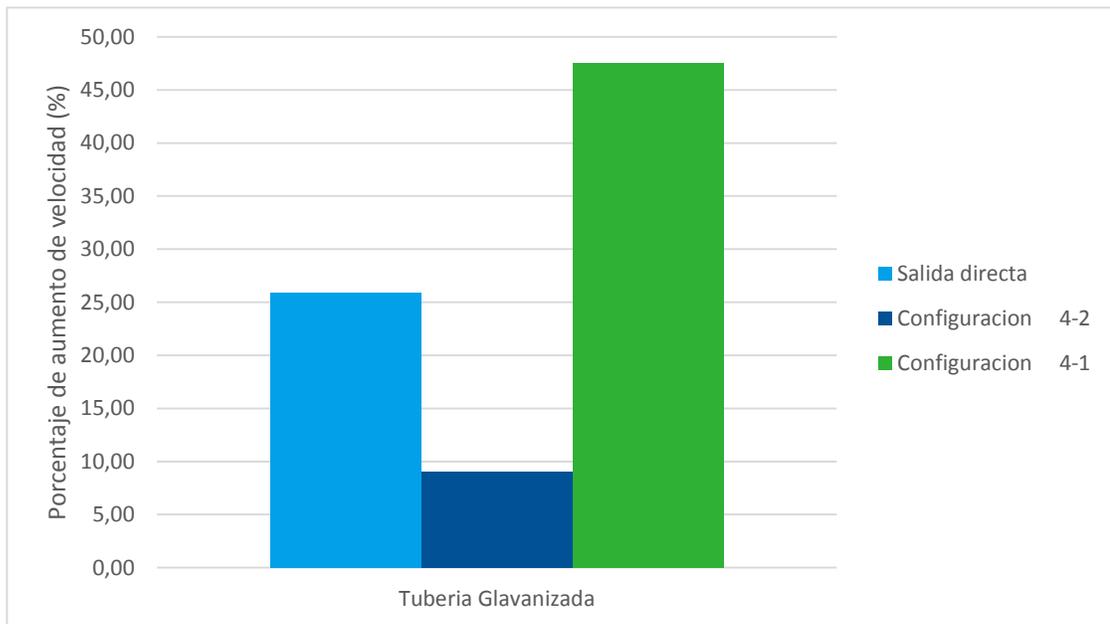


Figura 52. Porcentaje de aumento de velocidad con tubería galvanizada.

Los resultados en la tubería de acero negro, para la configuración de salidas directas muestra una velocidad 289.57(m/s), la configuración 4-2 muestra una velocidad 283.63(m/s), la configuración 4-1 muestra una velocidad 383.63(m/s). En la figura 57, se muestra un aumento de velocidad del 11.37% en la configuración de salida directa, la configuración 4-2 el aumento de velocidad es de 7.34% y en la configuración 4-1 el aumento de velocidad es de 7.35%, el diseño óptimo para construir el sistema de escape es de configuración de salida directa.

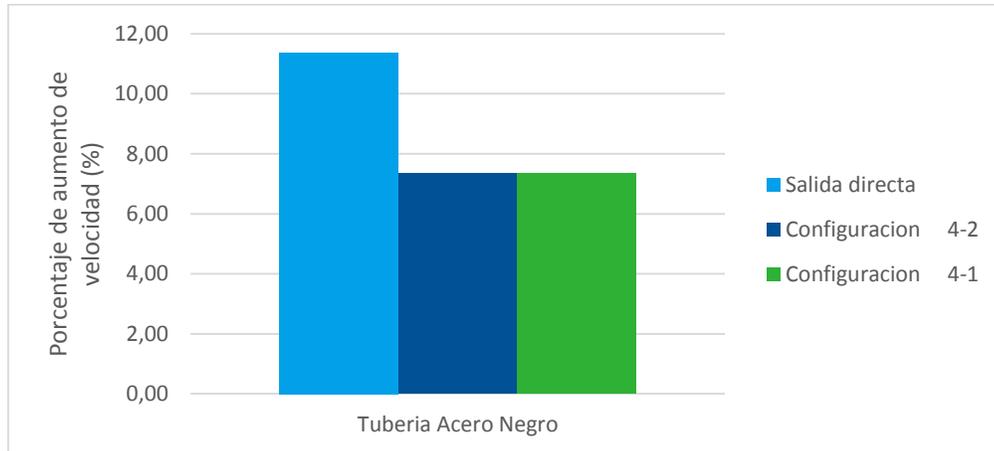


Figura 53. Porcentaje de aumento de velocidad con tubería de acero negro.

Los resultados en la tubería aluminizada, para la configuración de salidas directas muestra una velocidad 417.57(m/s), la configuración 4-2 muestra una velocidad 274.80(m/s), la configuración 4-1 muestra una velocidad 412.0(m/s). En la figura 58, se muestra un aumento de velocidad del 60.60% en la configuración de salida directa, la configuración 4-2 el aumento de velocidad es de 5.69% y en la configuración 4-1 el aumento de velocidad es de 58.46%, el diseño óptimo para construir el sistema de escape es de configuración de salida directa.

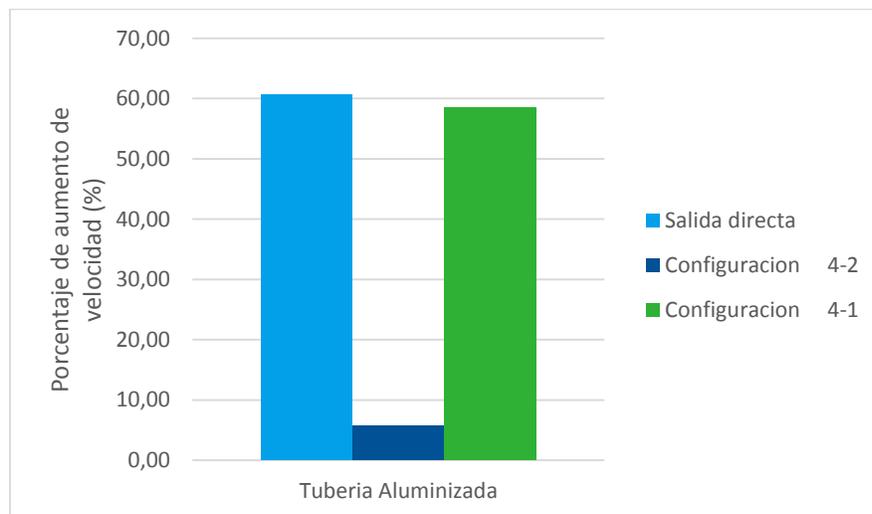


Figura 54. Porcentaje de aumento de velocidad con tubería aluminizada.

### Análisis de Temperatura.

En la figura 59, se observan los resultados de temperatura en los tres materiales usados, con las diferentes configuraciones.

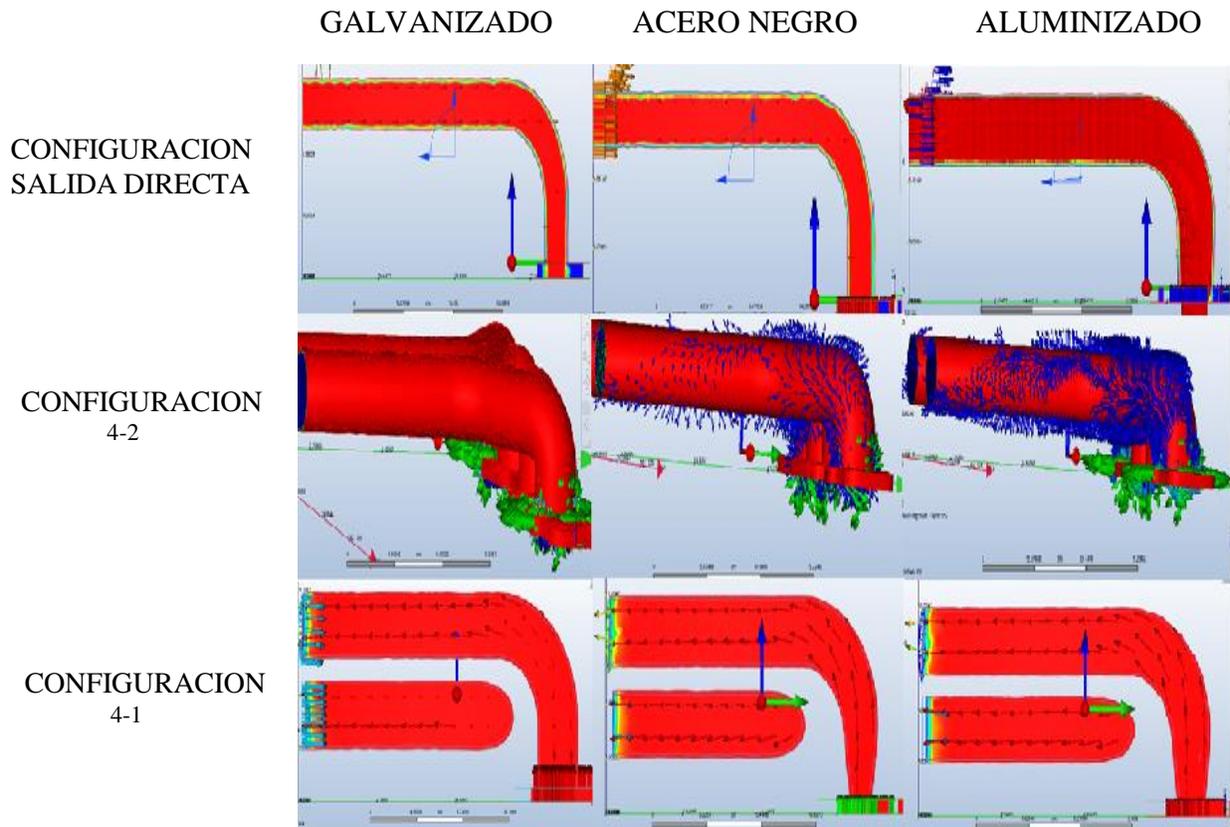
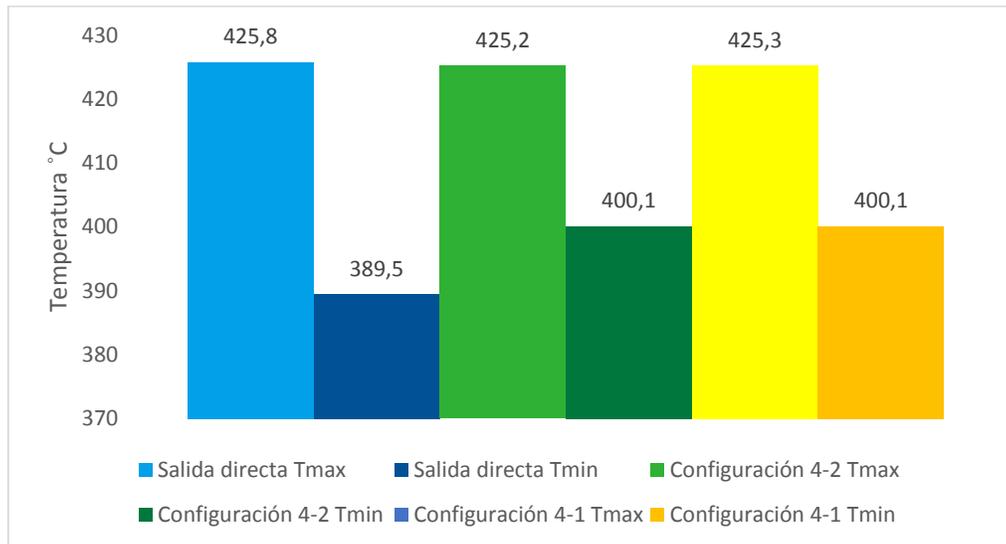


Figura 55. Resultados de temperatura en simulación CDF.

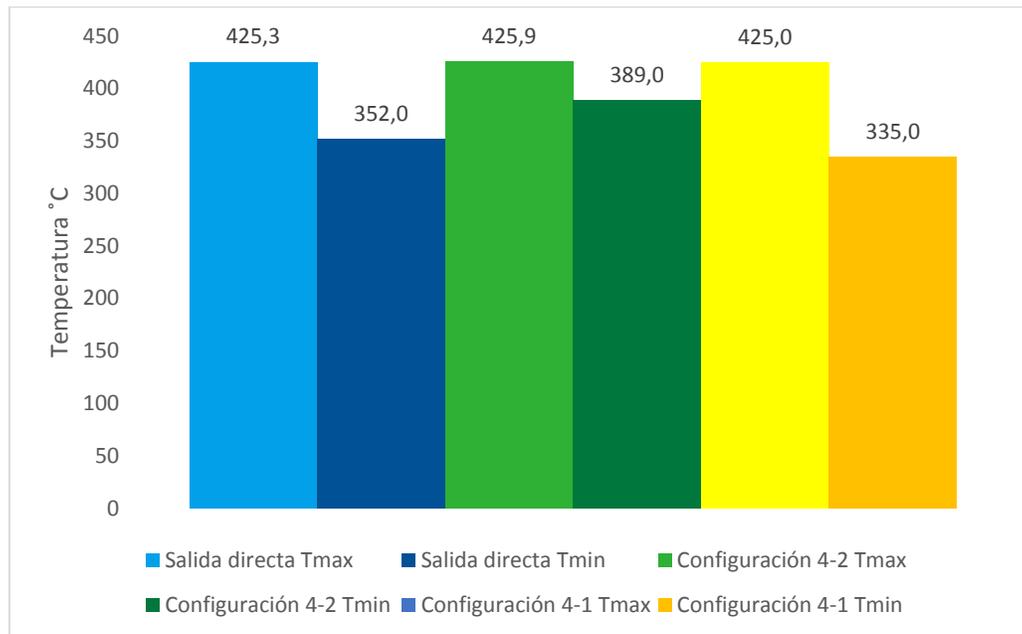
En la figura 60 se puede analizar el flujo y temperatura en el trayecto que realizan los gases combustionados con tubería galvanizada, la configuración de salida directa tiene un flujo laminar gracias al diseño de su tubería, con una temperatura máxima de  $425.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una temperatura mínima de  $389.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la configuración 4-2 tiene un flujo turbulento en la unión de las dos tuberías, con una temperatura máxima de  $425.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una temperatura mínima de  $400.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la configuración de 4-1 tiene un flujo laminar gracias al diseño de su tubería, con una temperatura

máxima de 425.3 °C y una temperatura mínima de 400.1 °C. El diseño óptimo para determinar el flujo y mantener la temperatura constante sería la fabricación del escape de configuración 4-1.



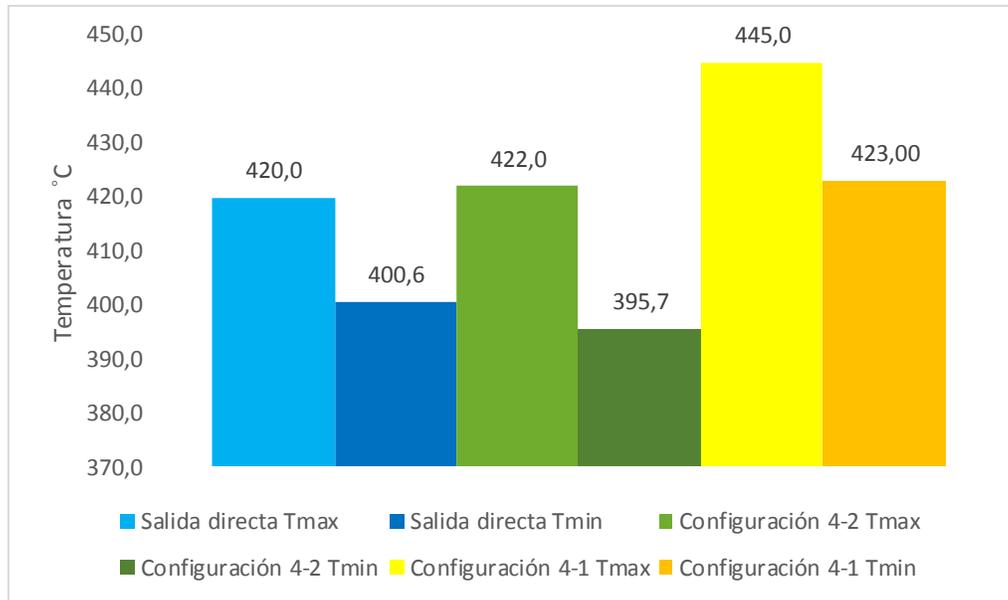
*Figura 56.* Resultados de temperatura máxima y mínima en el trayecto de flujo de gases con tubería galvanizada.

En la figura 61 se puede analizar el flujo y temperatura en el trayecto que realizan los gases combustionados con tubería de acero negro, la configuración de salida directa tiene un flujo laminar gracias al diseño de su tubería, con una temperatura máxima de 425.3 °C y una temperatura mínima de 352.0 °C, la configuración 4-2 tiene un flujo turbulento mayor en comparación de la tubería galvanizada, con una temperatura máxima de 425.9 °C y una temperatura mínima de 389.0°C , la configuración de 4-1 tiene un flujo laminar gracias al diseño de su tubería, con una temperatura máxima de 425.0 °C y una temperatura mínima de 335.0 °C. El diseño óptimo para determinar el flujo y mantener la temperatura constante sería la fabricación del escape de configuración 4-1.



*Figura 57.* Resultados de temperatura máxima y mínima en el trayecto de flujo de gases.

En la figura 62 se puede analizar el flujo y temperatura en el trayecto que realizan los gases combustionados, la configuración de salida directa tiene un flujo laminar gracias al diseño de su tubería, con una temperatura máxima de 420.0 °C y una temperatura mínima de 400.6 °C, la configuración 4-2 tiene un flujo turbulento en la unión de las dos tuberías, con una temperatura máxima de 422.0 °C y una temperatura mínima de 395.7°C , la configuración de 4-1 tiene un flujo laminar gracias al diseño de su tubería, con una temperatura máxima de 445.0 °C y una temperatura mínima de 423.0 °C. El diseño óptimo para determinar el flujo y mantener la temperatura constante sería la fabricación del escape de configuración 4-1.



*Figura 58.* Resultados de temperatura máxima y mínima en el trayecto de flujo de gases.

Torregrosa & Giménez (2011) dicen que, la temperatura de los gases que salen del cilindro en el escape es elevada, por lo que no puede despreciarse la transferencia de calor entre los gases y la pared de los conductos. En la simulación de esta investigación dicho intercambio de calor, determina la temperatura de los gases en los colectores de escape y la velocidad de propagación de las ondas de presión, pueden ser aprovechadas mediante el diseño adecuado de la geometría del colector para mejorar ciertas prestaciones, el diseño de configuración 4-1 mantiene constante el calor el cual mejora la salida de gases de escape.

### **Análisis de Presión.**

En la figura 63, se observan los resultados de presión en los tres materiales usados, con las diferentes configuraciones.

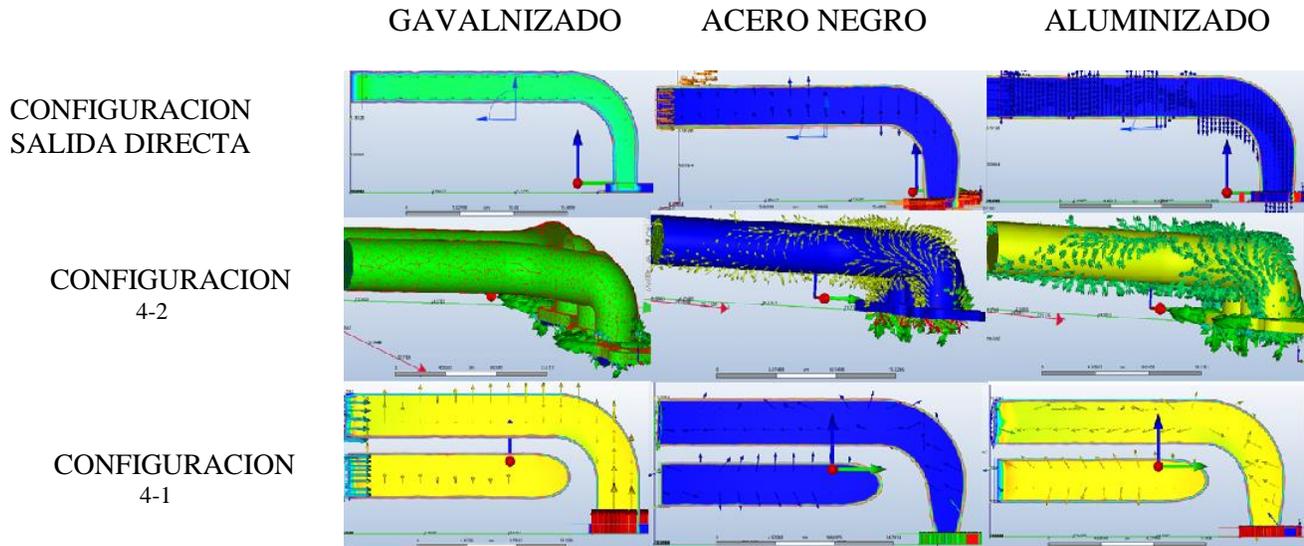
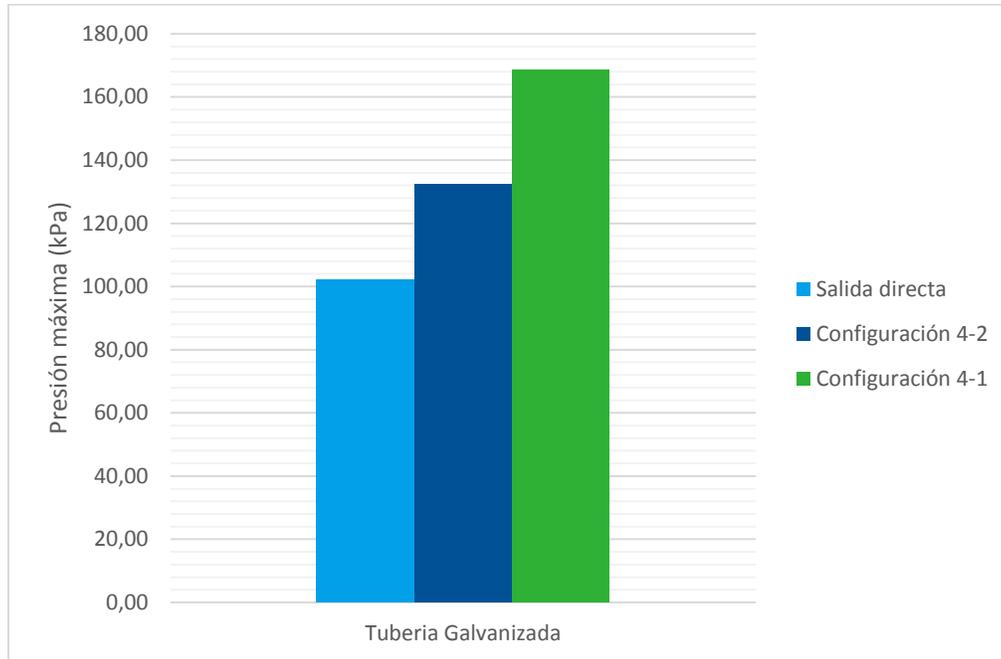


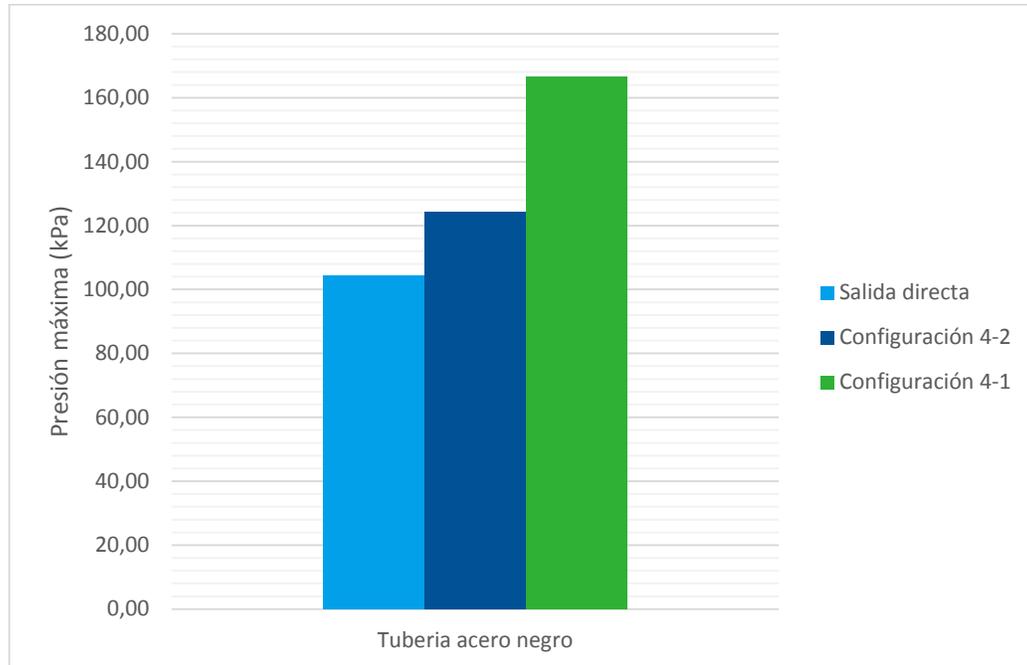
Figura 59. Resultados de presión en simulación CDF.

Los resultados en la tubería galvanizada, para la configuración de salidas directas tiene una presión max 102.15(kPa), la configuración 4-2 tiene una presión max 132.34(kPa), la configuración 4-1 tiene una presión max 168.59(kPa). En la figura 64 se muestra que la presión máxima obtenida en la simulación CFD para la tubería galvanizada, como mejor diseño la configuración 4-1.



*Figura 60.* Presión máxima con material galvanizado.

Los resultados en la tubería de acero negro, para la configuración de salidas directas tiene una presión max 104.27(kPa), la configuración 4-2 tiene una presión max 124.29(kPa), la configuración 4-1 tiene una presión max 166.44(kPa). En la figura 65, se muestra que la presión máxima obtenida en la simulación CFD para la tubería de acero negro, como mejor diseño la configuración 4-1.



*Figura 61.* Presión máxima con material de acero negro.

Los resultados en la tubería aluminizada, para la configuración de salidas directas tiene una presión max 118.05(kPa), la configuración 4-2 tiene una presión max 128.50(kPa), la configuración 4-1 tiene una presión max 169.94(kPa). En la figura 66, se muestra que la presión máxima obtenida en la simulación CFD para la tubería aluminizada, como mejor diseño la configuración 4-1.

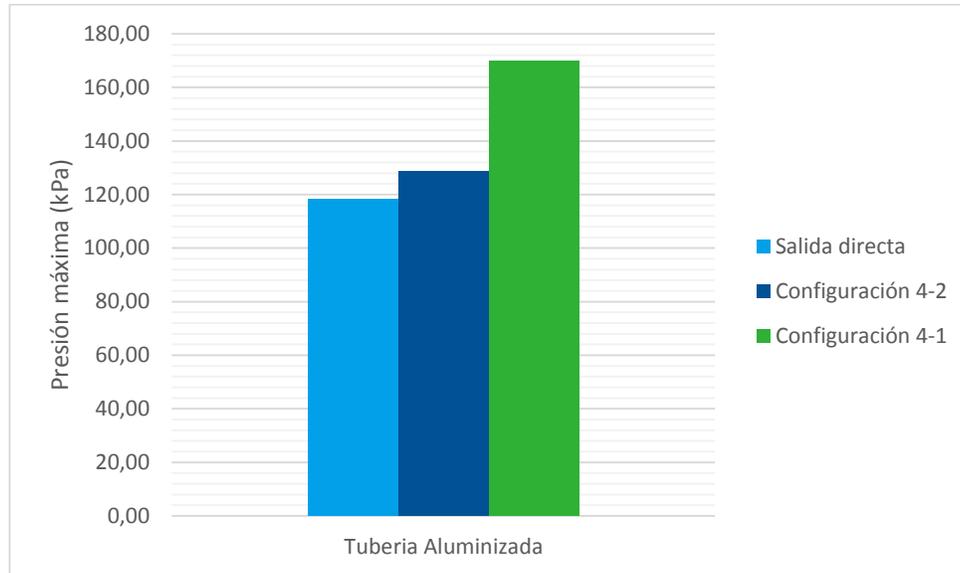


Figura 62. Presión máxima con material de aluminizado.

En la siguiente tabla 12 se compara los datos de cada escape con su respectivo material asignado.

Tabla 12.  
Análisis estático simulación 3D.

ANÁLISIS ESTÁTICO SIMULACIÓN 3D CDF						
	Material	Volumen de masa (m <sup>3</sup> /s)	Temperatura max (°C)	Temperatura min (°C)	Velocidad de salida (m/s)	Presión max (kPa)
<b>SALIDA DIRECTA</b>	Tubo galvanizada	1.0689	425.8	389.5	327.28	102.15
	Tubo ac-negro	1.0689	425.3	352.0	289.57	104.27
	Tubo aluminizado	1.0689	420.0	400.6	417.57	118.05
<b>CONFIGURACIÓN 4-2</b>	Tubo galvanizada	1.0434	425.2	400.1	283.63	132.34
	Tubo ac-negro	1.0434	425.9	389.0	279.08	124.29
	Tubo aluminizado	1.0434	422.0	395.7	274.80	128.50
<b>CONFIGURACIÓN 4-1</b>	Tubo galvanizada	1.9908	425.3	400.1	383.63	168.59
	Tubo ac-negro	1.9908	425.0	235.0	279.09	166.44
	Tubo aluminizado	1.9908	423.0	245.0	412.00	169.94

Como se muestra en la tabla 12, la configuración de salida de escape 4-1 es la adecuada ya que la velocidad y presión de los gases de escape aumentan. Estefano Gillieri (2007) señaló

que la configuración 4-1 mejorará el rendimiento ya que la turbulencia en la salida de los gases combustionados disminuirá y mencionó que el rendimiento óptimo se ve influenciado en altas revoluciones. Lo cual se corroborará en las imágenes siguientes.

**Pruebas Dinamométricas.**

En la tabla 13 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.

Tabla 13.  
Resultados de pruebas dinamométricas.

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

La tabla 13 consiste en una tabla estadística usando el programa “Minitab” el cual nos permite tener resultados de mediana, desviación estándar, promedio y rango. 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.

En la figura 67 se muestra en forma general el torque y potencia que se obtuvo en las pruebas dinamométricas en el laboratorio CCICEV.

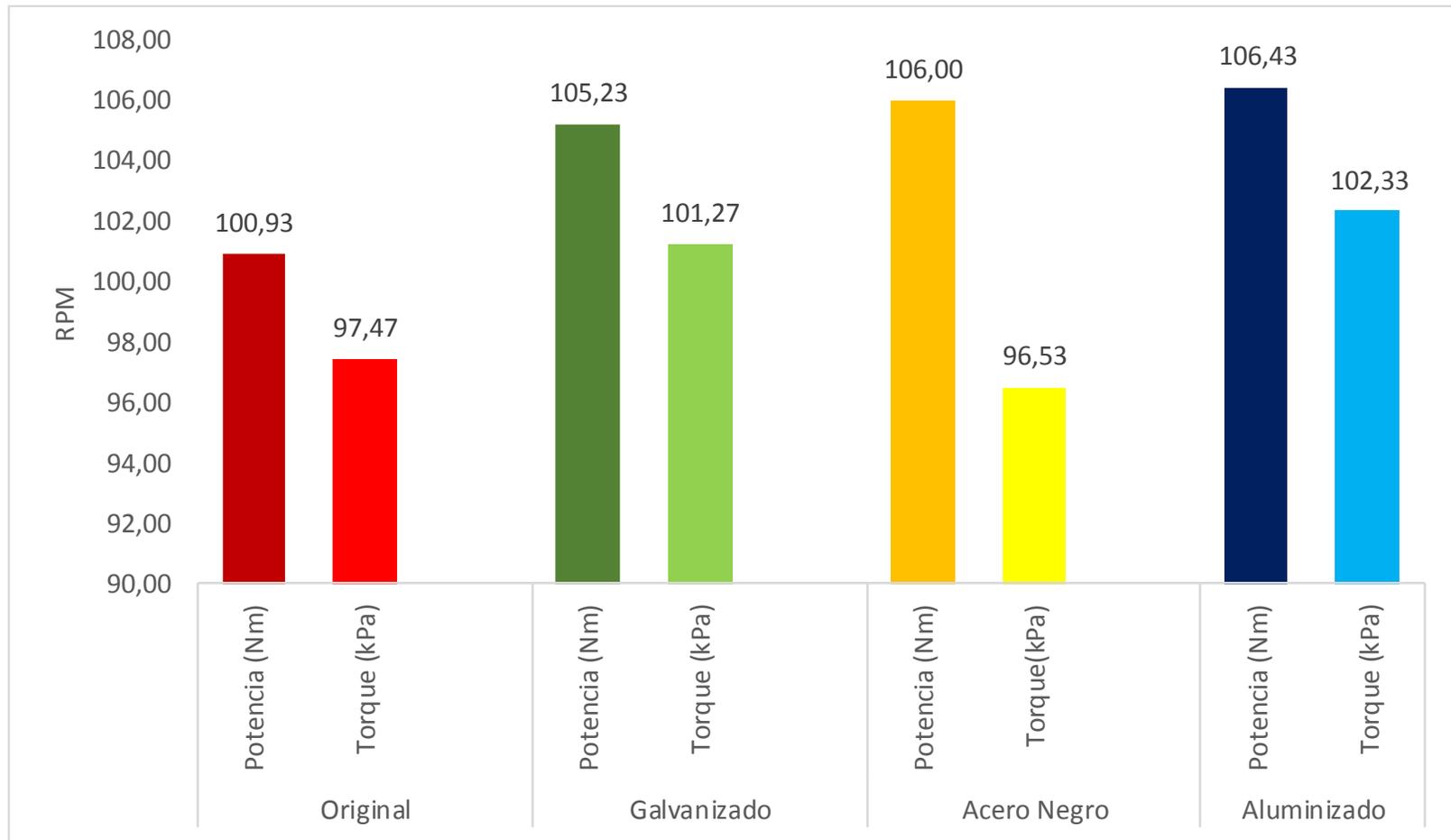


Figura 63. Datos de Torque y Potencia de cuatro sistemas de escape.

Para el análisis se trabajó con los valores promedios de torque y potencia máximos de cada prueba, los valores de elevación de torque al usar los múltiplos de escape con materiales no tradicionales con respecto al original.

El porcentaje de incremento de potencia con los múltiplos de escape fabricados con materiales no tradicionales en relación al original, se muestra en la figura 68. 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 potencia en relación al original, galvanizado y acero negro.

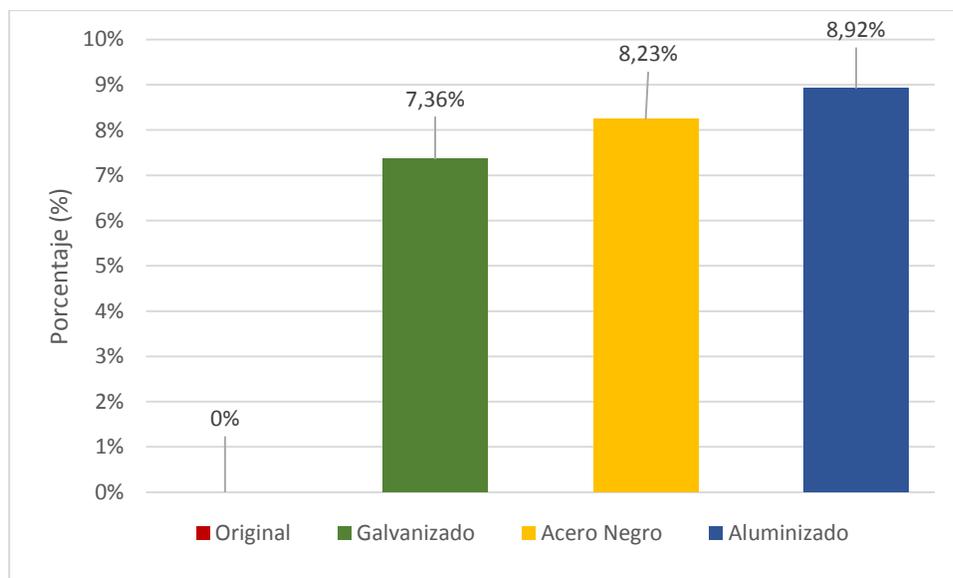


Figura 64. Porcentaje de variación de Potencia.

Se establece un aumento de Torque 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 torque en relación al original, galvanizado y acero negro.

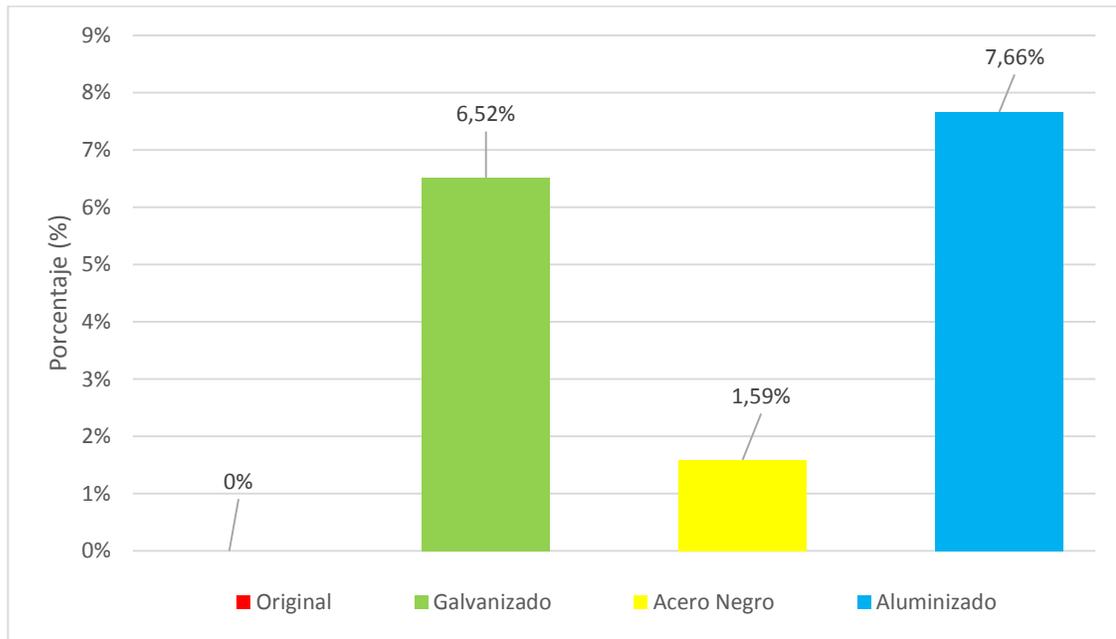


Figura 65. Porcentaje de variación de Torque.

Deshmukh, Kumar, Garg, Nayeem, & Lakshminarasimhan (2012) 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.

## Conclusiones

Se fabricó tres múltiples de escape con diferentes materiales, para el vehículo Chevrolet Sail 1.4cc 2014, mediante un proceso de simulación computacional 1D-3D, los cuales fueron validados con las pruebas experimentales en un banco dinamométrico marca MAHA LPS 3000 del Centro de Transferencia Tecnológico para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV), el mismo que cuenta con la certificación de calibración según las normas INEN.

Mediante el uso del Software OpenWAM y las características del motor del vehículo Chevrolet Sail, se obtuvo las curvas de torque-potencia del sistema de escape original y los parámetros iniciales de temperatura, presión y velocidad de salida de gases combustionados.

Con el uso del Software Siemens 3D se diseñó tres diferentes múltiples de escapes con las configuraciones de salida directa, 4-2 y 4-1, se obtuvo la geometría adecuada para realizar la simulación. El Software CDF de Autodesk permitió simular el flujo de salida de gases combustionados para obtener velocidad, presión, temperatura máxima y mínima, generados en los diseños de escapes con los materiales no tradicionales. El análisis del flujo en modelos tridimensionales con el uso del Software CDF de Autodesk permitió observar la evolución del fluido en el interior de las tuberías, lo cual permite tomar una decisión al momento de seleccionar el diseño adecuado para la fabricación del múltiple de escape, en este caso fue el diseño de escape de configuración 4-1.

El Software CFD como resultado de las simulaciones con los materiales no tradicionales, usando las configuraciones de salida directa, 4-2 y 4-1, el material óptimo que nos genera mayor velocidad de salida, presión constante de salida de gases no combustionados y una temperatura constante en todo el trayecto de la tubería fue la tubería aluminizada.

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.

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 3D, permitió obtener mayor potencia y torque en el vehículo Chevrolet Sail 1.4cc. La validez de este método se lo realizó con datos experimentales obtenidos de las pruebas dinamométricas basadas en la norma INEN 960.

### **Recomendaciones**

Se recomienda el uso de simulaciones 1D y 3D, para el diseño de múltiples de escape de otros vehículos equipados con diferentes tipos de motor, en los cuales se pueden especificar los parámetros y geometrías adecuadas para aumentar el torque y potencia, sin cambiar los tramos finales del presilenciador y silenciador.

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.

Se recomienda diseñar geometrías de múltiples de construcción sencilla, que pueda llevarse a cabo con los materiales usados en este estudio, lo que permitirá facilitar tanto el ensamblaje como la fabricación.

Este estudio tiene diferentes configuraciones tanto como diseño de escape y materiales no tradicionales, los materiales nos dan diferentes torque y potencias los cuales se pueden usar dependiendo las necesidades que el vehículo necesite.

### Bibliografía

- Ayala, E. (2016). Optimización del sistema de escape para un ciclomotor de 49 cm<sup>3</sup>(Tesis de maestría). Escola Politècnica Superior, Girona, España.
- Benajes, Navarro, E. (2011). Clasificación de los MCIA. En F. Motores de combustión interna alternativos (págs. 24-42). Barcelona, España: Editorial Reverté.
- Bermúdez, Tormos, B. (2011). Pérdidas mecánicas. Motores de combustión interna alternativos (págs. 152-172). Barcelona, España: Editorial Reverté.
- Jácome, H., Estalin, D., & Piña Guamán, D. A. (2015). Artículo Científico-Diseño y construcción del sistema de control de ingreso y salida de gases del motor Honda CBR 600 F4i para el prototipo Formula SAE.
- Billy Boat Exhaust. (2017). Chevy C5 Corvette Shorty Step Header CARB Legal. Obtenido de <http://www.bbexhaust.com/shop/chevy-c5-corvette-shorty-step-header-carb-legal/>
- Callies, Anderson, Prucka, R. (2012). Design of a stepped tube exhaust primary for high performance. ASME 2012 Internal Combustion Engine Division, Paper
- Arroyo, E., Rocha-Hoyos, J., Cedeño, E. L., & Navarrete, L. M. (2015). EVALUACIÓN DEL MULTIPLE 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.
- CMT-Motores Térmicos. (2017). OpenWAM. Valencia, España: Universidad de Valencia. Obtenido de <http://www.cmt.upv.es/OpenWam01.aspx>

Cuadrado, I., Agudelo, J., & Sánchez, C. (2008). Flujo compresible en múltiples de motores. Colombia: Universidad de Antioquia.

Deshmukh,, Kumar, Garg, Nayeem, Lakshminarasimhan, (2004). Optimisation of Gas Exchange Process on a Single Cylinder Small 4-Stroke Tuning: Experimentation and Simulation. SAE Technical Paper, 2004-32-0007.

Dietsche, K.-H., & Klingebiel, M. (2005). Manual del automóvil (Cuarta ed.). Alemania: Reverté.

Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo. (2017). Reglamento Técnico Campeonato Nacional de Circuito. Obtenido de <http://fedak-ec.org/wpcontent/uploads/2016/07/REGLAMENTO-T%C3%89CNICO-CAMPEONATONACIONAL-DE-CIRCUITO-2017.pdf>

Federación Internacional de Automovilismo. (2017). Código Deportivo Internacional. Anexo J - Artículo 255. Obtenido de <http://www.fia.com/regulation/categ>

Federación Internacional del Automóvil. (2017). Código Deportivo Internacional. Anexo J - Artículo 251. Obtenido de <http://www.fia.com/regulation/categ>

Galindo, Hernández, (2011). Modelado de motores. Payri,, Motores de combustión interna (págs. 746-796). Barcelona, España: Editorial Reverté.

García-Barberena Labiano, M. (2010). Desarrollo de tubos de cola flexibles para sistemas de escape.

Alcántara, F., Alonso, R., Rivera Domínguez, B., & Rodríguez Delgado, M.

A. Desarrollo de un sistema de escape para un motor ECOTEC 2.2 L con turbocompresor (Doctoral dissertation).

Galindo, Luján, Serrano, Dolz, Guilain. (2004). Design of an exhaust manifold to improve transient. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 28, 863-875. doi: 10.1016/j.expthermflusci.2004.01.003

Galindo, Tiseira, Fajardo, Navarro. (2011). Coupling methodology of 1D finite difference and 3D finite volume CFD, 54(7-8), 1738-1746. doi: 10.1016/j.mcm.2010.11.078

Gillieri, S. (2007). Preparación de motores de serie para competición. Barcelona, España: CEAC.

Guerrero González, E. (2004). Automation of the bending process of steel strapping for the forming of crown saws.

Fonseca Paredes, F. P., & Santo Guanoluisa, M. P. (2011). Diseño, construcción e implementación del Tornillo en el tubo de escape del vehículo.

Mohiuddin, Rahamn, Dzaidin. (2007). Optimal design of automobile exhaust system. *Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 2(1), 40-47.

Plasencia Méndez, M. A. (2016). Diseño y construcción de una máquina que optimice el doblado y ensamblaje de tubos dobles para los sistemas de escapes de motocicletas en los procesos de producción de la empresa INDIMA SA.

FRAGOSO ALCÁNTARA, R. A., RIVERA DOMÍNGUEZ, B. R. A. U. L. I. O., & RODRÍGUEZ DELGADO, M. Á. (2012). Desarrollo de un sistema de escape con turbocargador para motor ecotec (Doctoral dissertation).

Rocha, Zambrano, V. (2015). Análisis del funcionamiento del motor de encendido provocado, a la presencia de aditivos. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Rodríguez, P., & Nogueira, J. (2011). Curvas características y aplicaciones. (págs. 952-978). Barcelona, España: Editorial Reverté.

Arroyo Terán, E. S. (2017). Optimización del múltiple de escape para un vehículo de competición con motor de combustión interna.

Rosas, Á., & Barona, G. (2011). Elaboración de un manual de mantenimiento para el dinamómetro de chasis LPS 3000. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Romano, Fedel, Deflorian, Olivier, (2011): Silane sol-gel film as pretreatment for improvement of barrier properties and filiform corrosion resistance, 72(4): 695-702.

[http://dx.doi.org/10.1016/S0010-938X\(98\)00116-44271/2007-01-0492](http://dx.doi.org/10.1016/S0010-938X(98)00116-44271/2007-01-0492)

Eshaghi, Eshaghi, (2012): Effect of chromate conversion coatings on the adhesion 5083 aluminum alloy, 171-175. <http://dx.doi.org/10.1007/s11003-012-9487-9>.

Suárez X, López R, Pérez F & Marrero R: Weather Resistant Galvanized Steel Coated and Uncoated <https://www.sciencedirect.com/science/article/S1405774315300044>

## ANEXOS

### Anexo 1

#### Datos estadísticos de autos en el Ecuador

Estadísticas de autos matriculados en el año 2015-2017 se muestran en la figura 18.

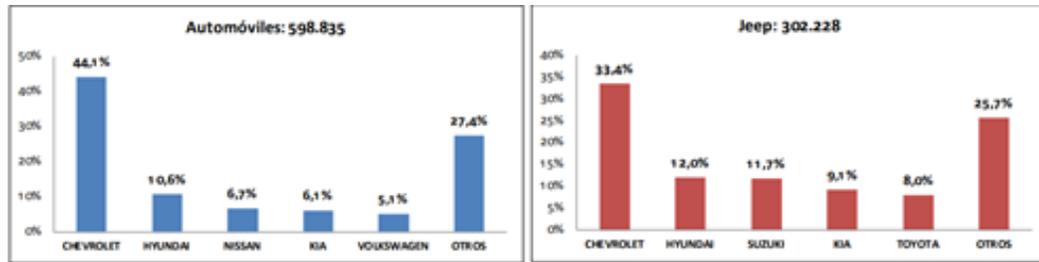


Figura 18. Principales marcas de vehículos matriculados, según clase.(INEC. Instituto nacional de estadística y censo. Recuperado <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/transporte/>)

En la figura 18 podemos ver que en el año 2015, Chevrolet es la marca líder de vehículos matriculados a nivel nacional, en clases como: Automóviles con el 44,1%, Jeep con el 33,4% , Camioneta con el 35,1% y camion con el 32,7%, respecto al total de cada clase.

En la figura 19 se muestra en porcentajes por provincias que más ventas tuvieron en el 2015-2016.



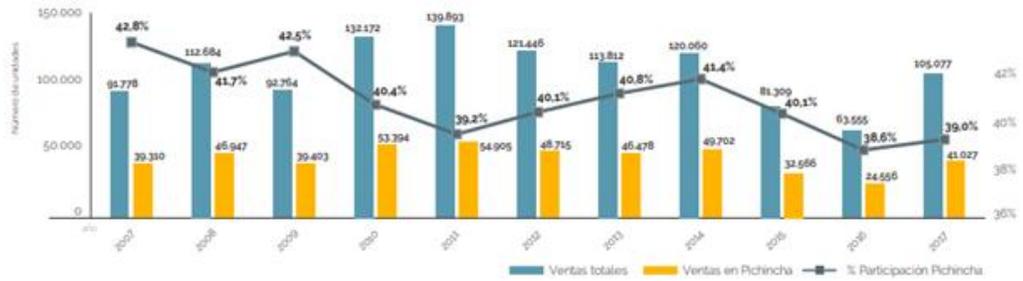
Figura 19. Participación de ventas de vehículos por provincias año 2015 y 2016. (AEADE, (24 de junio del 2018). Sector Automotor en cifras. Recuperado de <http://.aeade.net/anuario-2016/>)



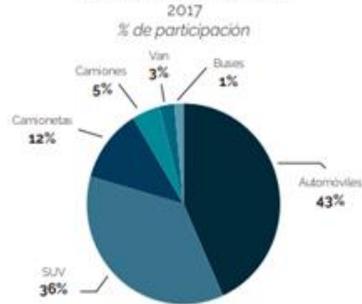
Figura 20. Principales modelos vendidos y venta de vehículos en Pichincha(AEADE, (24 de junio del 2018). Sector Automotor en cifras. Recuperado de <http://.aeade.net/anuario-2016/>)

54 | 2017

Ventas de vehículos en Pichincha  
2007-2017  
Unidades / Porcentaje de participación



Ventas de vehículos en Pichincha por segmento



Principales modelos vendidos en Pichincha  
En unidades, 2016-2017

Modelo	Marca	2016	2017
AVEGO FAMILY 1.4L STD	CHEVROLET	1.485	2.623
NUEVO SAIL	CHEVROLET	-	2.330
PICANTO R 1.2	KIA	278	1.451
Sportage R 2.0L GSL MT AC	KIA	353	1.266
GRAND VITARA SZ 2.0L SP TM 4X2-C	CHEVROLET	205	1.130

Figura 21. Venta de vehículos en pichincha por segmento (AEADE, (24 de junio del 2018). Sector Automotor en cifras, (8).Recuperado de <http://.aeade.net/anuario-2017/>)

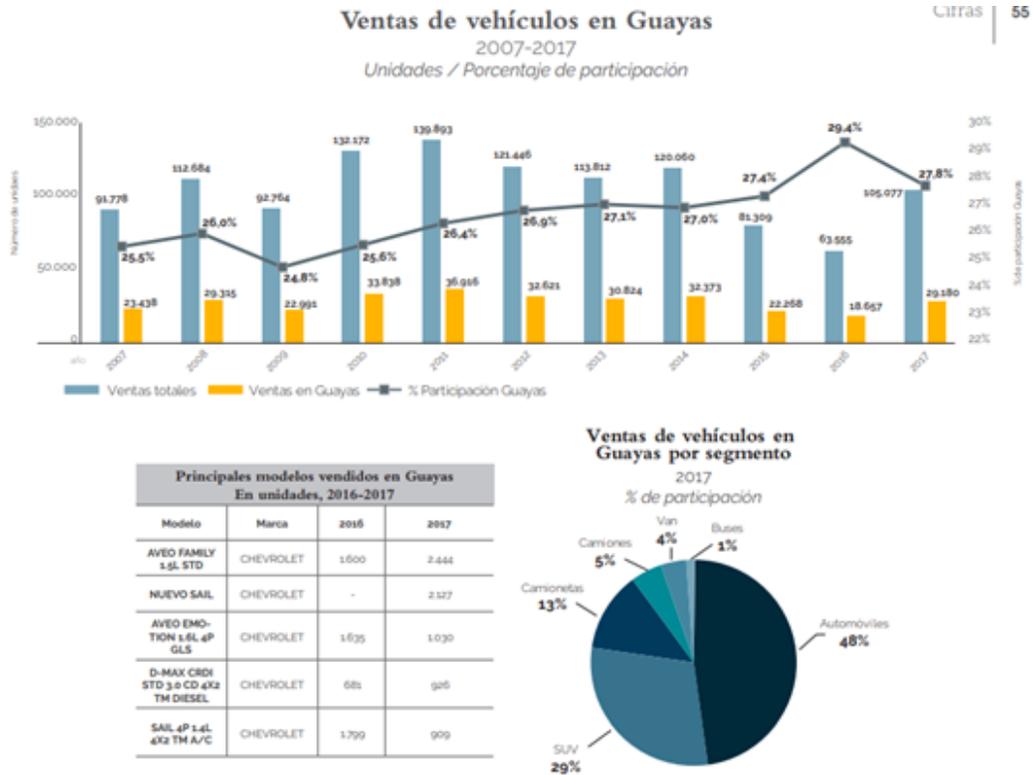


Figura 22. Venta de vehículos en Guayas (AEADE, (24 de junio del 2018). Sector Automotor en cifras. Recuperado de <http://.aeade.net/anuario-2017/>)

Ventas de vehículos Chevrolet por segmento



Ventas de vehículos Chevrolet por provincia En unidades, 2016-2017		
Provincia	2016	2017
Pichincha	9.921	15.689
Guayas	9.413	12.894
Azuay	1.776	2.748
Manabí	1.601	2.389
Tungurahua	1.243	1.649
Otras	4.421	5.732
<b>Total</b>	<b>28.375</b>	<b>41.101</b>

Principales modelos Chevrolet vendidos En unidades, 2016-2017		
Modelo	2016	2017
AVEO FAMILY 1.5L STD	4.050	6.629
NUEVO SAIL	-	6.060
D-MAX CRDI STD 3.0 CD 4x2 TM DIESEL	2.239	3.090
SPARK GT 5P A/C 1.2L TM FULL	562	2.737
AVEO EMOTION 1.6L 4P GLS	4.262	2.637

Figura 23. Ventas de vehículos Chevrolet por segmento. (AEADE, (24 de junio del 2018). Sector Automotor en cifras. Recuperado de <http://.aeade.net/anuario-2017><)

Anexo 2



**POWERDYNO**

VP 430004

Juego de rodillos para turismos, camiones, autobuses

**DESCRIPCIÓN:**

- Juego de rodillos separado autoportante para un mejor acceso durante el amarrado del vehículo
- Barrera de elevación hidráulica
- Ártel de cardán para la conexión de ambos rodillos de carga
- Pintura recubrimiento en polvo de alta calidad: azul genérica, RAL 5010 (bastidor del banco de pruebas, cubiertas)
- Rodillos de carga lacados, rojo rubí, RAL 3003



**DATOS TECNICOS:**

Carga axial	15000 kg
Ancho de vía	1000 mm - 2800 mm
Diámetro mínimo de rueda para prueba	400 mm
Diámetro de rodillo	318 mm
Velocidad de prueba máx.	200 km/h
Potencia de rueda máx.	300 kW
Potencia de neumático máx. (opcional)	660 kW
Fuerza de tracción máx.	15000 N
Precisión de medición Medición de la potencia del neumático (del valor de medición) +/-	2 %
Frenos de corrientes parásitas eléctricos máx. 2 x	150 kW
Fusible gG	63 A
Alimentación de corriente	3/N/PE 400 V 50 Hz
Dimensiones juego de rodillos (L x An x A)	2260 mm x 1100 mm x 865 mm
Dimensiones del embalaje (L x An x A)	4700 mm x 1300 mm x 1300 mm
Peso	2500 kg

**ACCESORIOS:**

VZ 935181	Rodillos recubiertos a la llama para juego de rodillos R 100/R 200
VZ 935111	Freno de corrientes parásitas reforzado. Potencia máxima sobre rueda 660 kW
VZ 935051	Simulador de carga hidráulico con 2 correas de retención para el juego de rodillos R 200/2
VZ 935102	Dispositivo de anclaje
VZ 930021	Juego de rodillos para pesados con eje gemelo. 1 rodillo puede ser ajustado manualmente
VZ 935054	Ventilador superior con termostato para la refrigeración del freno eléctrico
VZ 975650	Dispositivo de calibración LPS Standard
VZ 975651	Dispositivo de calibración para LPS
VZ 975652	Dispositivo de calibración LPS universal
VM 997404	Conexión y ajuste juegos de rodillos para banco de potencia R 200
VV 997019	Embalaje R 200/2 Europa
VV 997220	Embalaje R 200/2 Ultramar





Los juegos de rodillos de la Serie R200 no son apropiados para la medición de motocicletas!

Juego de rodillos	R200/1	R200/1 reforzado	R200/2	R200/2 reforzado
Carga sobre el eje	15 t	15 t	15 t	15 t
Longitud [mm]	4550	4550	2260 por rodillo	2260 por rodillo
Ancho [mm]	1100	1100	1100	1100
Altura [mm]	625	625	665	665
Peso	aprox. 2350 kg	aprox. 2410 kg	aprox. 1250 kg por rodillo	aprox. 1310 kg por rodillo
Longitud de rodillo	900 mm	900 mm	900 mm	900 mm
Vía mín.	620 mm	620 mm	1000 mm	1000 mm
Vía max.	2620 mm	2620 mm	2800 mm	2800 mm
Diámetro mínimo de rueda para ensayar	12"	12"	12"	12"
Diámetro rodillo	318 mm	318 mm	318 mm	318 mm
Distancia entre rodillos	565 mm	565 mm	565 mm	565 mm
Sobreelevación rodillo	45 mm	45 mm	--	--
<b>Sistema de elevación con bloqueo de rodillos</b>				
Neumática				
Hidráulica	x	x	x	x
<b>Datos eléctricos</b>				
Datos corr. parásita	2 x 200 kW	2 x 330 kW	2 x 200 kW	2 x 330 kW
Alimentación	400 V / 50 Hz			
Protección por fusible	35 A lento	63 A lento	35 A lento	63 A lento
<b>Campo de indicación</b>				
Velocidad de ensayo	max. 200 km/h	max. 200 km/h	max. 200 km/h	max. 200 km/h
Potencia rueda	30 - max. 400 kW	30 - max. 660 kW	30 - max. 400 kW	30 - max. 660 kW
Fuerza de tracción	max. 15 kN	max. 25 kN	max. 15 kN	max. 25 kN
Núm. de revoluciones	10 - 10 000 rpm			
Presión de medición	± 2 % del valor de medición	± 2 % del valor de medición	± 2 % del valor de medición	± 2 % del valor de medición

Anexo 3



Centro de Transferencia Tecnológica  
para la Capacitación e Investigación  
en Control de Emisiones Vehiculares

---

**REGISTRO DE DATOS DE ENSAYO DE TORQUE Y POTENCIA**

<b>CODIGO:</b> CCICEV-LI-ETP	Revisión: 0	N°: 18-875 - P3	
	Página: 1 / 1	FECHA: 19 de noviembre de 2018	
<b>TÉCNICOS RESPONSABLES</b>	Diego Lincango		

OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN	TIPO DE EVALUACIÓN
Evaluación Inicial <input type="checkbox"/> Reevaluación <input checked="" type="checkbox"/> No. Visitas: 3	Evaluación Regular <input type="checkbox"/> Evaluación RTV** rev <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>
	Prechequeo RTV* <input type="checkbox"/> Evaluación Total <input checked="" type="checkbox"/>

\*RTV: Revisión Técnica Vehicular \*\* Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para aperturar ningún proceso de RTV

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO			
Marca:	CHEVROLET	VIN Chasis / Placa:	PCK4804 / BLAU5277E025212B
Modelo:	SAIL	Kilometraje:	N/A
MOTOR (Datos del fabricante)**			
Posición de motor:	LÍNEA	No. Motor:	LCU140140623
No. de cilindros y disposición:	4 EN LÍNEA	Versión:	N/A
Máxima Potencia (kw/rpm):	102 HP @ 6000 RPM	Máximo Torque (Nm/rpm):	131 Nm @ 4200 RPM
Sistema de enfriamiento:	REFRIGERANTE	Neumáticos:	185/60 R14
Tipo de aspiración:	ATMOSFÉRICO	Transmisión (manual/automática):	MANUAL
Cilindrada [cm3]:	1398	Categoría-Subcategoría-Clase:	SEDÁN
Combustible / Fuente de energía:	GASOLINA	Año modelo vehículo:	2014
Tipo:	M_1	País de origen:	ECUADOR
Tonelaje:	0,384		

\*\*Opcional en RTV

Hora de inicio:	14 h 00	Hora final:	16 h 00	Código equipo:		
RESULTADOS DEL DINAMÓMETRO DE CHASIS - TORQUE Y POTENCIA						
Parámetros	POTENCIA			TORQUE		
	kw	hp	rpm	Nm	lbf.ft	rpm
PRUEBA 1	79,1	106,1	6040	130,4	95,2	4405
PRUEBA 2	79,7	106,9	6050	131,5	97	5625
PRUEBA 3	79,2	106,2	6070	131,1	95,7	5650
Norma de Corrección:	SAE J1349					

**OBSERVACIONES:** El múltiple de escape instalado fue proporcionado por el estudiante, el cual indica que el tipo de material utilizado es acero negro.

Técnico No 1

Firma Responsable:

Nombre: Diego Lincango

Técnico No 2

Firma Responsable de Unidad:

Nombre: Ing. Diego Lincango

Formulario de registro interno para ensayo de torque y potencia. Los resultados aplican únicamente al ítem evaluado.

Anexo 4

<b>CCICEV</b>		Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares				
<b>REGISTRO DE DATOS DE ENSAYO DE TORQUE Y POTENCIA</b>						
CODIGO: CCICEV-LI-ETP	Revisión: 0	Nº	18-875 - P4			
	Página: 1 / 1	FECHA:	19 de noviembre de 2018			
TÉCNICOS RESPONSABLES		Diego Lincango				
<b>OBJETIVO DE LA EVALUACION</b>		<b>TIPO DE EVALUACION</b>				
Evaluación Inicial <input type="checkbox"/>	Evaluación Regular <input type="checkbox"/>	Prechequeo RTV* <input type="checkbox"/>				
Reevaluación <input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación RTV** <sub>4</sub> RTV <input type="checkbox"/>	Evaluación Teato <input checked="" type="checkbox"/>				
No. Visita <input type="text" value="4"/>	Otros <input type="checkbox"/>					
*RTV: Revisión Técnica Vehicular ** Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para aprobar ningún proceso de RTV						
<b>DATOS GENERALES DEL VEHICULO</b>						
Marca	CHEVROLET	VIN Chasis / Placa:	PCK4504 / 8LALY5277E0252129			
Modelo	SAIL	Kilometraje:	N/A			
<b>MOTOR (Datos del fabricante)**</b>						
Posición de motor	LINEA	No. Motor	LCU140140623			
No. de cilindros y disposición	4 EN LINEA	Versión	N/A			
Máxima Potencia (kw/rpm)	102 HP @ 6000 RPM	Máximo Torque (Nm/rpm)	131 Nm @ 4200 RPM			
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Neumáticos	185/60 R14			
Tipo de aspiración	ATMOSFERICO					
Cilindrada [cm3]	1396	Transmisión (manual/automatica)	MANUAL			
Combustible / Fuente de energía	GASOLINA	Categoría-Subcategoría-Clase	SEDÁN			
Tipo	M_1	Año modelo vehículo	2014			
Tonelaje	0,304	País de origen	ECUADOR			
**Opcional en RTV						
Hora de inicio	08 h 00	Hora final	10 h 00			
<b>RESULTADOS DEL DINAMÓMETRO DE CHASIS - TORQUE Y POTENCIA</b>						
Parámetros	POTENCIA			TORQUE		
	kw	hp	rpm	Nm	lib.ft	rpm
PRUEBA 1	78,3	105,1	6035	135,7	100,1	4390
PRUEBA 2	78,8	105,7	5960	130	102,5	4405
PRUEBA 3	81,3	109,1	6050	140,3	103,5	4410
Norma de Corrección	SAE J1349					
OBSERVACIONES: El múltiple de escape instalado fue proporcionado por el estudiante, el cual indica que el tipo de material utilizado es acero aluminizado.						
Técnico No 1		Técnico No 2				
Firma Responsables:		Firma Responsable de Unidad:				
Nombres:	Diego Lincango	Nombre:			Ing. Diego Lincango	
Formulario de registro primario para ensayo de torque y potencia. Los resultados aplican únicamente al Bare evaluado.						

Anexo 5



Centro de Transferencia Tecnológica  
para la Capacitación e Investigación  
en Control de Emisiones Vehiculares

---

**REGISTRO DE DATOS DE ENSAYO DE TORQUE Y POTENCIA**

CODIGO: CCICEV-LI-ETP	Revisión 0	Nº	15-875 - P1
	Página 1 / 1	FECHA:	19 de noviembre de 2018
TÉCNICOS RESPONSABLES	Diego Lincango		

OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN	TIPO DE EVALUACIÓN	
Evaluación Inicial <input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación Regular <input type="checkbox"/>	Prochequeo RTV* <input type="checkbox"/>
Reevaluación <input type="checkbox"/>	Evaluación RTV** <sub>1</sub> RTV <input type="checkbox"/>	Evaluación Total <input checked="" type="checkbox"/>
No. Visita <input type="text" value="1"/>	Otros <input type="checkbox"/>	

\*RTV: Revisión Técnica Vehicular \*\* Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para aprobar ningún proceso de RTV

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO			
Marca	CHEVROLET	VIN Chasis / Placa:	PCK4604 / 8LAUY6277E0252129
Modelo:	SAIL	Kilometraje	N/A
MOTOR (Datos del fabricante)**			
Posición de motor	LINEA	No. Motor	LCU140140823
No. de cilindros y disposición	4 EN LINEA	Versión	N/A
Máxima Potencia [kw/rpm]	102 HP @ 6000 RPM	Máximo Torque [Nm/rpm]	131 Nm @ 4200 RPM
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Neumáticos	185/60 R14
Tipo de aspiración	ATMOSFÉRICO	Transmisión (manual/automática)	MANUAL
Cilindrada [cm3]	1396	Categoría-Subcategoría-Clase	SEDÁN
Combustible / Fuente de energía	GASOLINA	Año modelo vehículo	2014
Tipo	M_1	País de origen	ECUADOR
Tonelaje	0,384		

\*\*Opcional en RTV

Hora de inicio	08 h 00	Hora final	10 h 00	Código equipo		
RESULTADOS DEL DINAMÓMETRO DE CHASIS - TORQUE Y POTENCIA						
Parámetros	POTENCIA			TORQUE		
	kw	hp	rpm	Nm	lbf.ft	rpm
PRUEBA 1	78,9	106,8	6050	139	102,5	4305
PRUEBA 2	78,2	104,9	5970	137,6	101,5	4395
PRUEBA 3	78,6	105,4	6010	138,6	100	4375
Norma de Corrección	SAE J 1349					

OBSERVACIONES: El múltiple de escape instalado fue proporcionado por el estudiante, el cual indica que el tipo de material utilizado es acero inoxidable

Técnico No 1

Firma Responsable: 

Nombre: Diego Lincango

Técnico No 2

Firma Responsable de Unidad: 

Nombre: Ing. Diego Lincango

Fusilote de registro solamente para ensayo de torque y potencia. El resultado aplica únicamente al firmante

Anexo 6



Centro de Transferencia Tecnológica  
para la Capacitación e Investigación  
en Control de Emisiones Vehiculares

---

**REGISTRO DE DATOS DE ENSAYO DE TORQUE Y POTENCIA**

CODIGO: CCICEV-LI-ETP	Revisión 0	N°	18-875 - P2
	Página 1 / 1	FECHA:	19 de noviembre de 2018
TÉCNICOS RESPONSABLES	Diego Lincango		

OBJETIVO DE LA EVALUACION	TIPO DE EVALUACION	
Evaluación Inicial <input type="checkbox"/>	Evaluación Regular <input type="checkbox"/>	Prechequeo RTV* <input type="checkbox"/>
Reevaluación <input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación RTV** rev <input type="checkbox"/>	Evaluación Tesis <input checked="" type="checkbox"/>
No. Visita <input type="text" value="2"/>	Otros <input type="checkbox"/>	

\*RTV: Revisión Técnica Vehicular \*\* Los resultados expresados en el presente documento no pueden ser utilizados para aprobar ningún proceso de RTV

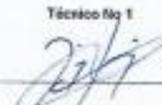
DATOS GENERALES DEL VEHICULO			
Marca	CHEVROLET	VIN Chasis / Placa	PCK4504 / BLAJYS277E0252129
Modelo	SAIL	Kilometraje	N/A
MOTOR (Datos del fabricante)**			
Posición de motor	LINEA	No. Motor	LCU140140023
No. de cilindros y disposición	4 EN LINEA	Versión	N/A
Máxima Potencia (kw/rpm)	102 HP @ 6000 RPM	Máximo Torque (Nm/rpm)	131 Nm @ 4200 RPM
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Neumáticos	185/60 R14
Tipo de aspiración	ATMOSFÉRICO	Transmisión (manual/automatica)	MANUAL
Cilindrada [cm <sup>3</sup> ]	1398	Categoría-Subcategoría-Clase	SEDÁN
Combustible / Fuente de energía	GASOLINA	Año modelo vehículo	2014
Tipo	M_1	País de origen	ECUADOR
Tonelaje	0,384		

\*\*Opcional en RTV

Hora de inicio	14 h 00	Hora final	18 h 00	Código equipo		
RESULTADOS DEL DINAMÓMETRO DE CHASIS - TORQUE Y POTENCIA						
Parámetros	POTENCIA			TORQUE		
	kw	hp	rpm	Nm	lbf.ft	rpm
PRUEBA 1	75,1	100,7	5830	131,1	96,7	4365
PRUEBA 2	74,7	100,2	5995	132,6	97,5	4360
PRUEBA 3	76,2	102,2	6015	134	98,6	4375
Norma de Corrección	SAE J 1349					

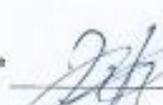
OBSERVACIONES: El múltiple de escape instalado fue proporcionado por el estudiante, el cual indica que es el original del vehículo automotor.

Técnico No 1

Firma Responsables: 

Nombres: Diego Lincango

Técnico No 2

Firma Responsable de Unidad: 

Nombre: Ing. Diego Lincango

Formulario de registro primario para ensayo de torque y potencia. Los resultados aplican únicamente al ítem evaluado

Anexo 7



**CCICEV**  
Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares



ESTADO PLURINACIONAL DEL ECUADOR

Quito, 23 de noviembre de 2018  
**CCICEV-CER-TESIS18 - 039**

### CERTIFICADO

El Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares – CCICEV, mediante solicitud de ensayos R75 por parte del Sr. LUIS CHIRIBOGA certifica que el vehículo detallado a continuación fue evaluado en el ensayo de:

- TORQUE Y POTENCIA

El tipo de material de los múltiplos proporcionados por el solicitante son:

- Original
- Acero negro
- Acero inoxidable
- Acero aluminizado

DATOS GENERALES DEL VEHICULO			
Marca	CHEVROLET	UTI Chevy / Fleets	PCN4R04 / BLA/R527E0202128
Modelo	SAIL	Motor/Tras	1.8
MOTOR (Datos del fabricante)*			
Posición de motor	LEEA	No Motor	10U142148021
Nº de cilindros y disposición	4 (81) LINEA	vertical	1.8
Potencia Potencia	100 HP @ 4000 RPM	Máximo Torque	131 Nm @ 4000 RPM
Sistema de enfriamiento	REFRIGERANTE	Mecánico	12560 R14
Tipo de aspiración	ATMOSFERICO		
Cilindrada (cm <sup>3</sup> )	1398	Transmisión	MANUAL
Configuración	GRABATA	Transmisión	5 velocidades
Estado de energía	GRABATA	Transmisión	5 velocidades
Tipo	M, T	Año modelo	2014
País de origen	ECUADOR	País de origen	ECUADOR

Fecha de ejecución del ensayo: 19 y 20 de noviembre de 2018.

Los informes técnicos de resultados de evaluación de los ensayos han sido remitidos al solicitante, pudiendo este utilizarlos dentro de su investigación.

El combustible fue proporcionado por el solicitante.

El CCICEV no se hace responsable por el mal uso de la documentación entregada y que motivo de esta ocasión repercusiones en el ámbito en que se dé uso.

Es todo cuanto se puede indicar en honor a la verdad.

Atentamente,



Ing. Diego Lincango

**RESPONSABLE TÉCNICO DE LA UNIDAD DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN  
CCICEV**