

# FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO

## “Evaluación del flujo de escape del múltiple del MCI en vehículos SUV con materiales no tradicionales”

Autor:

Ing. Germán Almeida Montenegro

Director:

PhD. Edilberto Antonio Llanes Cedeño.

Quito, Marzo 2019

# JUSTIFICACIÓN

- En el presente estudio se propone diseñar un chasis para una motocicleta eléctrica y cumpla con los estándares de calidad confort y seguridad establecidas en las normativas de tránsito ecuatorianas.
- La importancia de esta investigación no solo radica en la problemática medioambiental sino en la contribución por parte del sector manufacturero, con el aumento del producto nacional para motocicletas eléctricas



# INTRODUCCIÓN

- **Objetivo General:** Evaluar el flujo de escape del múltiple del MCI en vehículos SUV con materiales no tradicionales



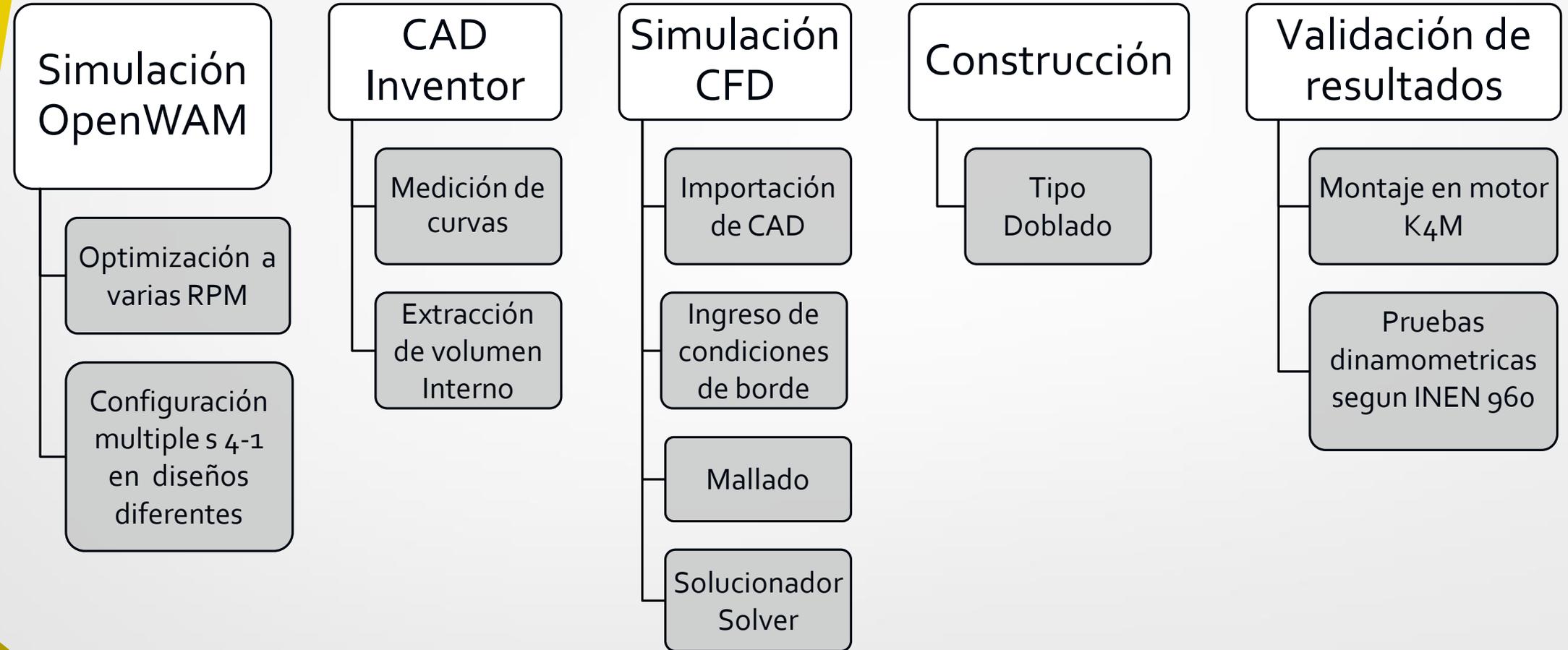
# INTRODUCCIÓN

## Objetivos Específicos:

- Evaluar el flujo del múltiple, mediante pruebas experimentales para obtenerse resultados de torque efectivo, potencia efectiva.
- Simulación en el Software OpenWAM para validarse mediante la simulación en CFD y pruebas experimentales.
- Comparar las curvas de rendimiento
- Sugerir la fabricación de múltiples de escape, con materiales no convencionales , para mejorar la eficiencia y reducir perdidas.



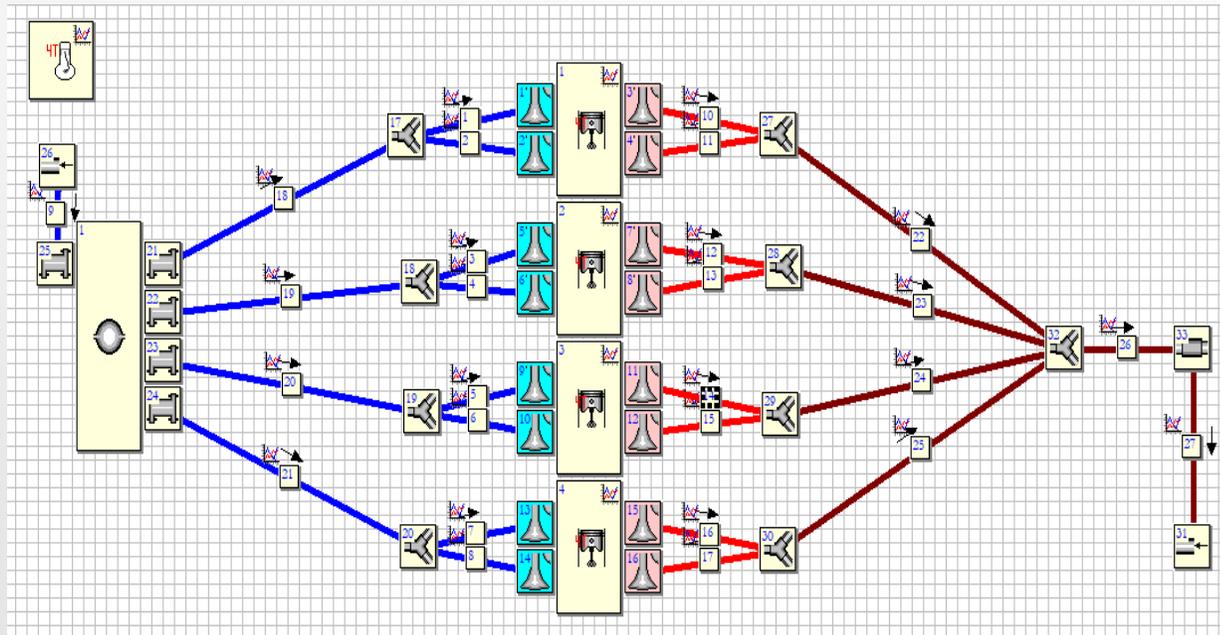
# METODOLOGÍA



# METODOLOGÍA

## Simulación 1D

Para la simulación 1D se utilizará el programa OpenWAM, el cual trabaja con un sistema de bloques donde se ingresaron los datos de cada componente del motor, desde la admisión de aire fresco hasta la salida de gases de combustión, por lo tanto, se establece el tipo de motor, número de cilindros, válvulas, conductos de admisión-escape y conexiones.

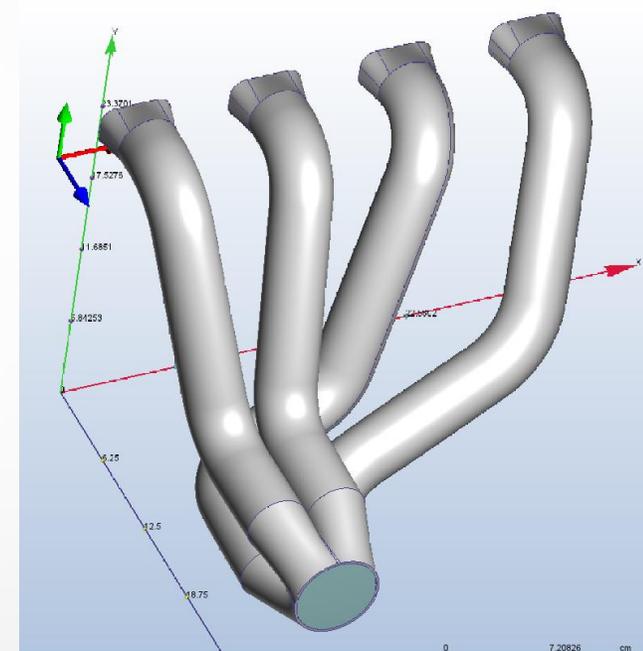


# METODOLOGÍA

## Modelado 3D.

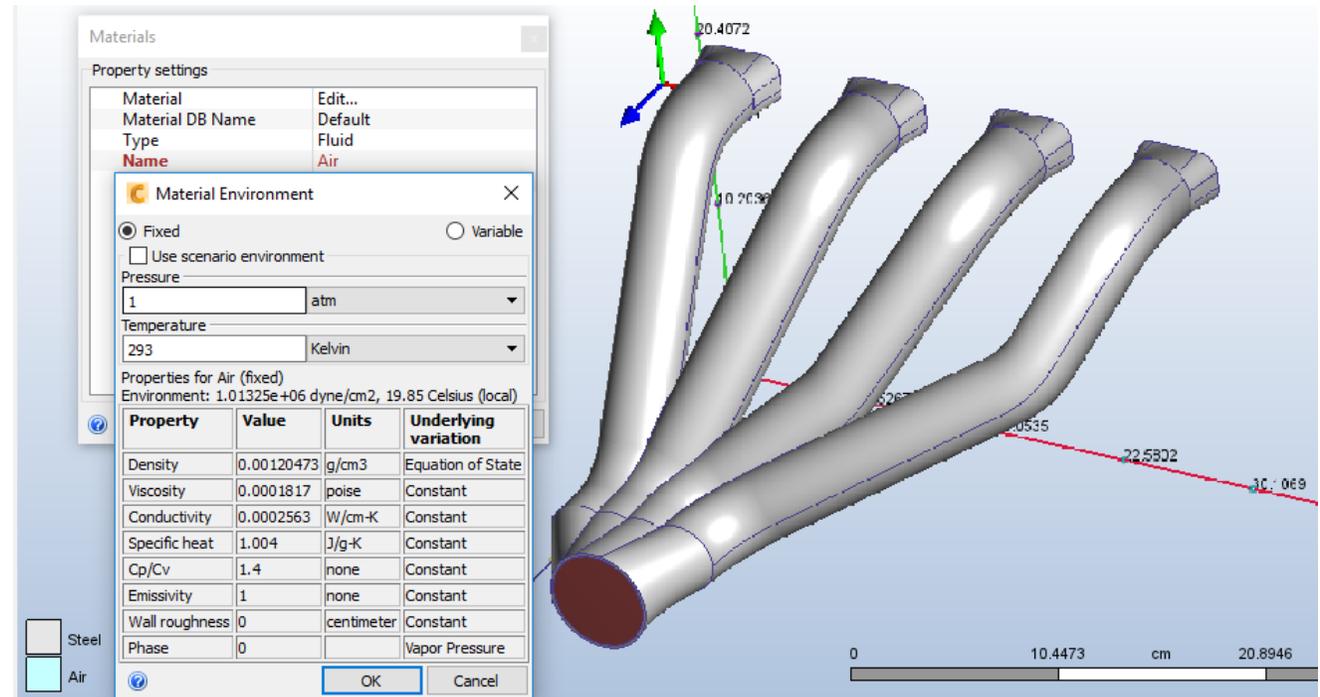
El modelado 3D se realizará en el software Autodesk CFD, el cual permite la obtención del volumen interno del múltiple para utilizarlo como el dominio del fluido en la simulación CFD.

Para el diseño de los múltiples de escape se considerará las dimensiones del cabezote, espacio físico disponible en el vehículo por la parte delantera e inferior del motor



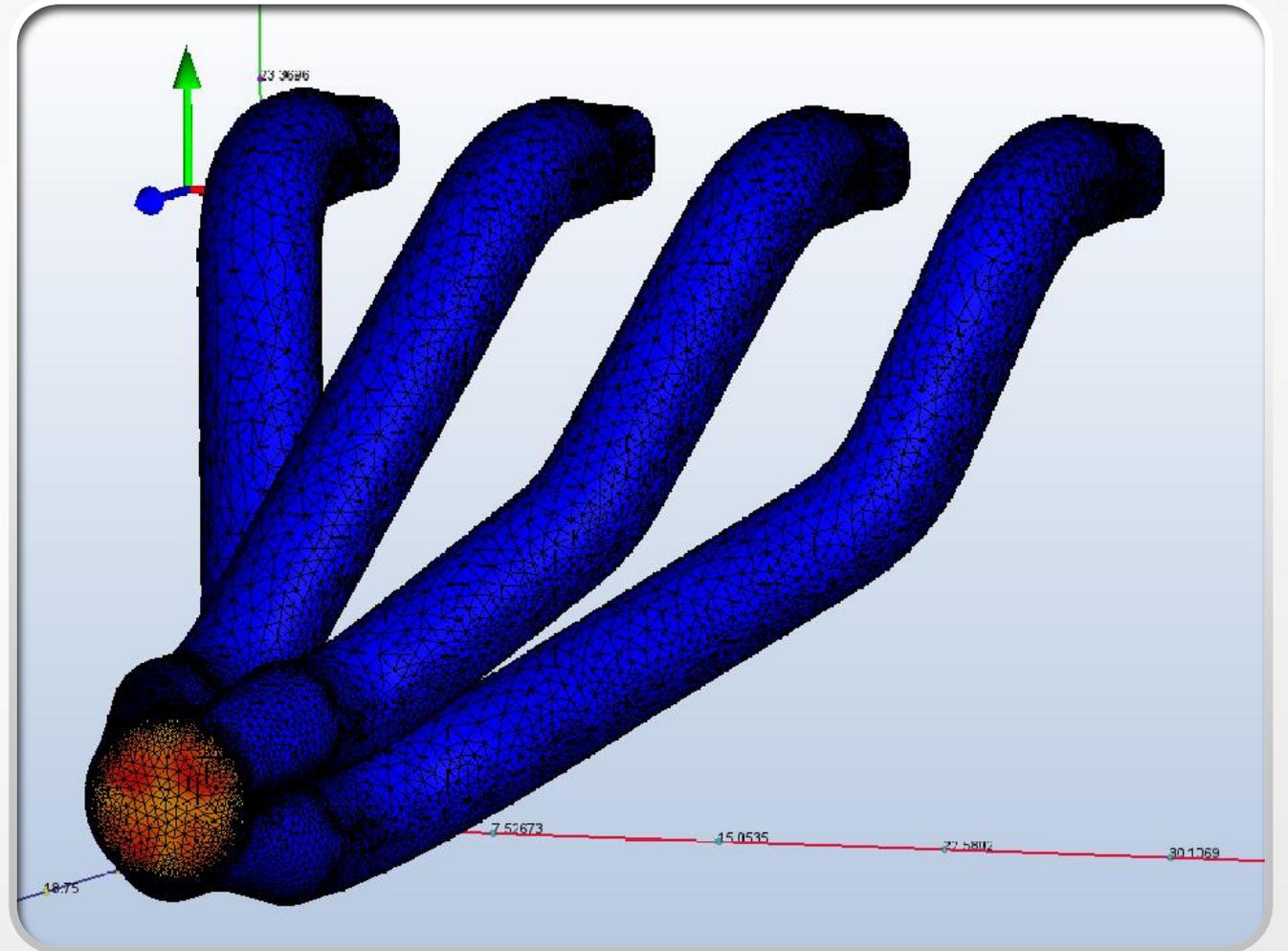
# PRE PROCESAMIENTO

- Condición de borde
- Ingreso Presión total 1.2 [bar]
- Ingreso Intensidad de turbulencia 5%
- Temperatura estática 975 [K]
- Salida Presión estática 1.013 [bar]



## MALLADO

Para el mallado se utilizarán elementos tetraédricos, con un tamaño de  $0 - 0.25$  m. La precisión de los resultados está ligada a la calidad de la malla. Para la verificación de los elementos de la malla se utilizará el factor de *Skewness* (oblicuidad).



# METODOLOGÍA

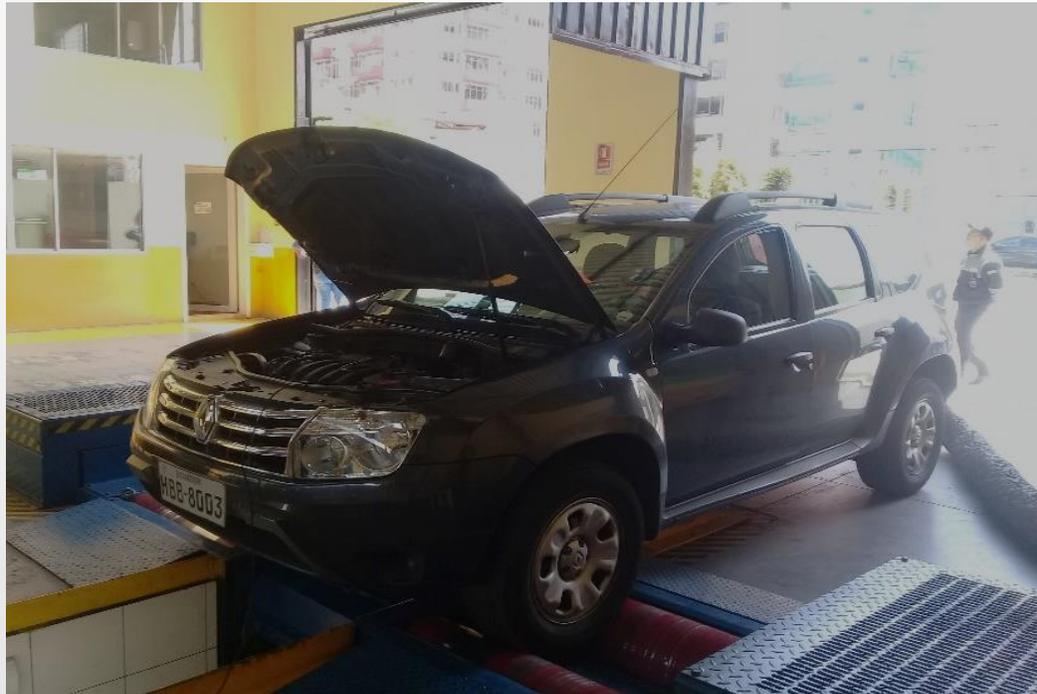
## Construcción de Múltiple de Escape

La construcción del múltiple de escape se lo realizará por el método de doblado, este consiste en el doblado de los tubos. Para este proceso se cortará los tubos de los diferentes materiales de la longitud especificada en el diseño y se doblará de acuerdo con los ángulos requeridos mediante una dobladora de tubos hidráulica



## PRUEBAS DINAMOMETRICAS

Las pruebas dinamométricas se llevarán a cabo según la norma INEN 960, fundamentada en las normas ISO 3173 e ISO 1585, obteniendo las curvas características del vehículo mediante tres ensayos con cada múltiple de escape analizado, aplicando el protocolo de pruebas planteado por Rocha y Zambrano (2015)

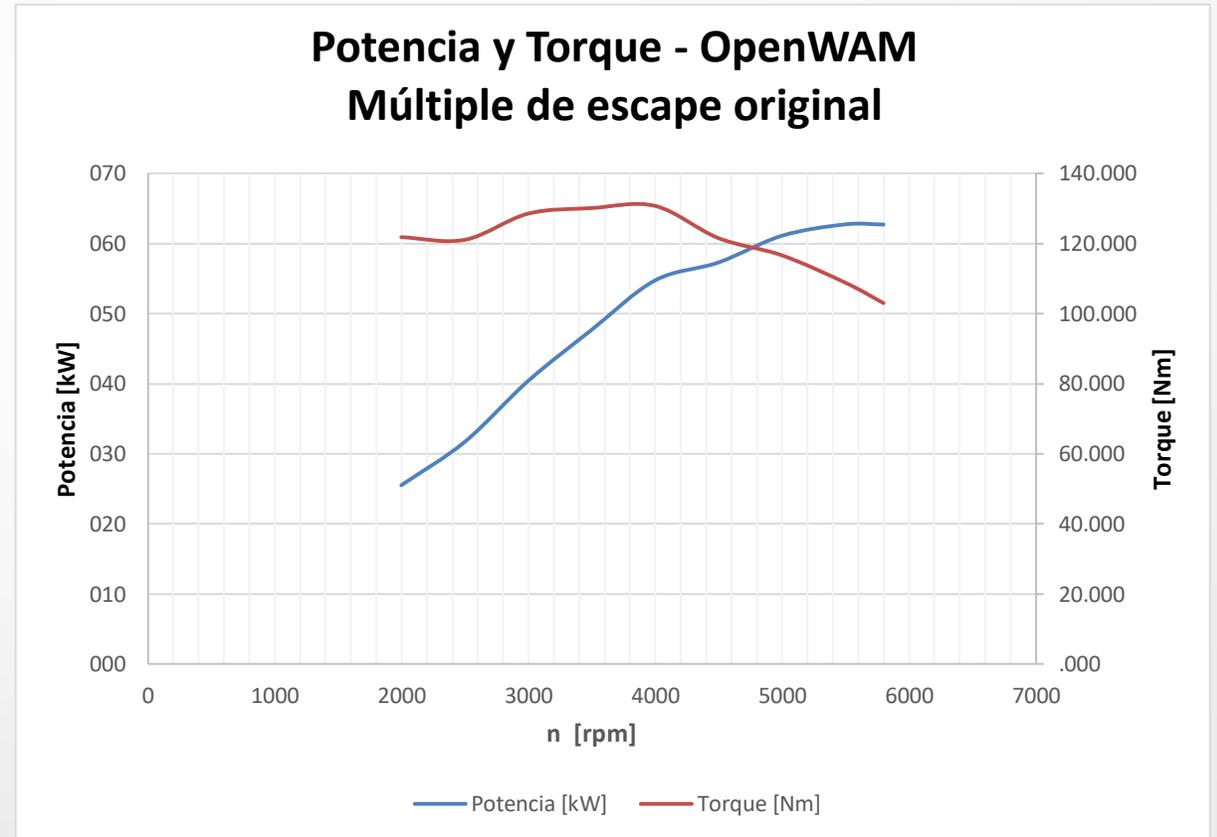


# RESULTADOS



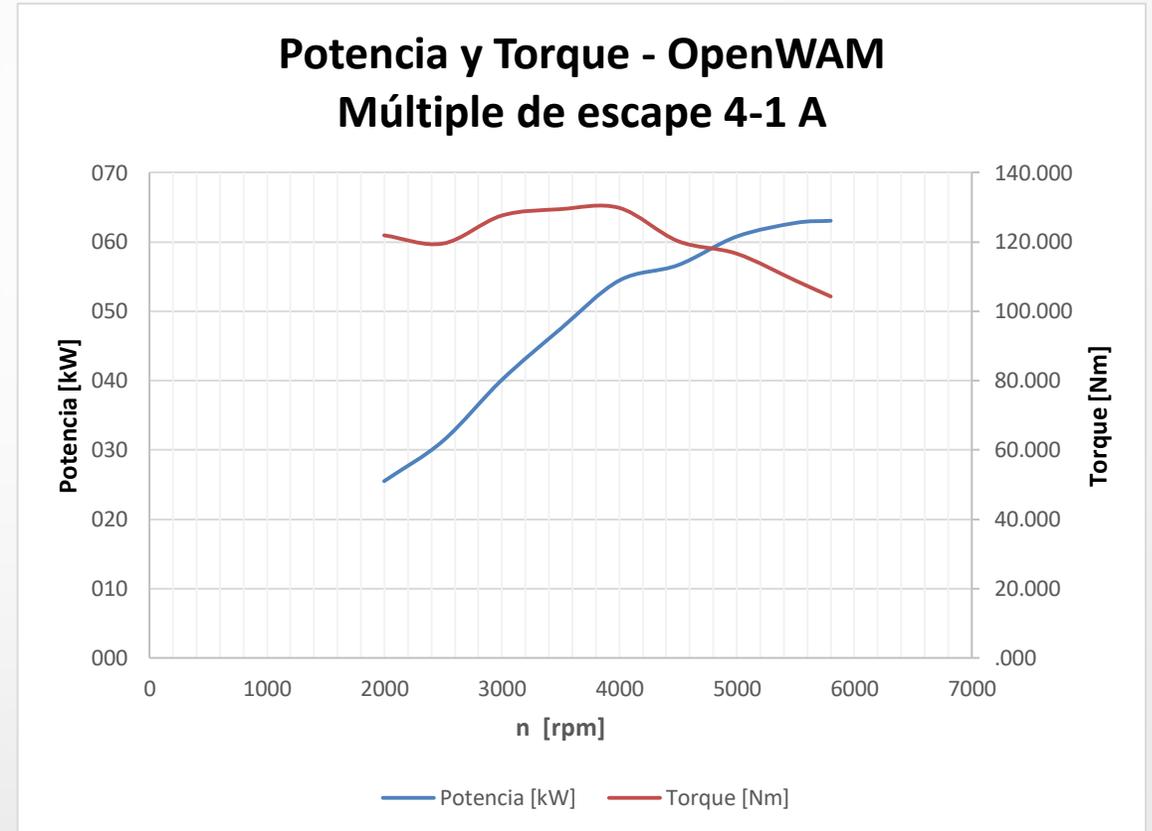
## SIMULACION 1D MULTIPLE ORIGINAL

| n [rpm] | Potencia [kW] | Torque [Nm] |
|---------|---------------|-------------|
| 2000    | 25.50         | 121.78      |
| 2500    | 31.69         | 121.02      |
| 3000    | 40.38         | 128.47      |
| 3500    | 47.66         | 130.04      |
| 4000    | 54.71         | 130.66      |
| 4500    | 57.26         | 121.50      |
| 5000    | 61.07         | 116.61      |
| 5500    | 62.69         | 108.83      |
| 5800    | 62.67         | 103.04      |



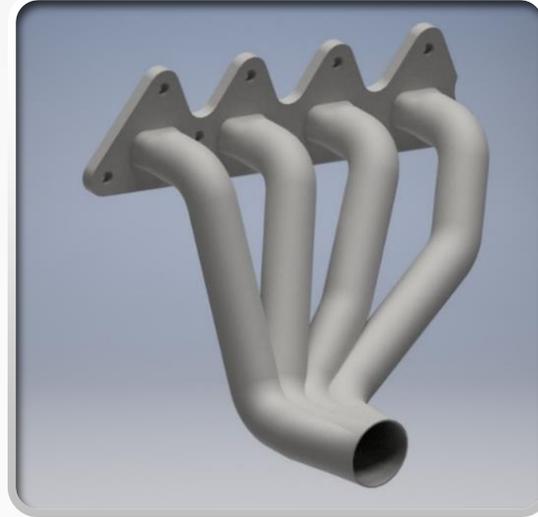
## SIMULACION 1D MULTIPLE FABRICADO

| n [rpm] | Potencia [kW] | Torque [Nm] |
|---------|---------------|-------------|
| 2000    | 25.53         | 121.92      |
| 2500    | 31.32         | 119.55      |
| 3000    | 40.09         | 127.62      |
| 3500    | 47.45         | 129.47      |
| 4000    | 54.42         | 129.85      |
| 4500    | 56.64         | 120.26      |
| 5000    | 60.76         | 116.64      |
| 5500    | 62.72         | 108.87      |
| 5800    | 63.03         | 104.29      |



## Modelado

- Modelado del multiple original y multiple fabricado



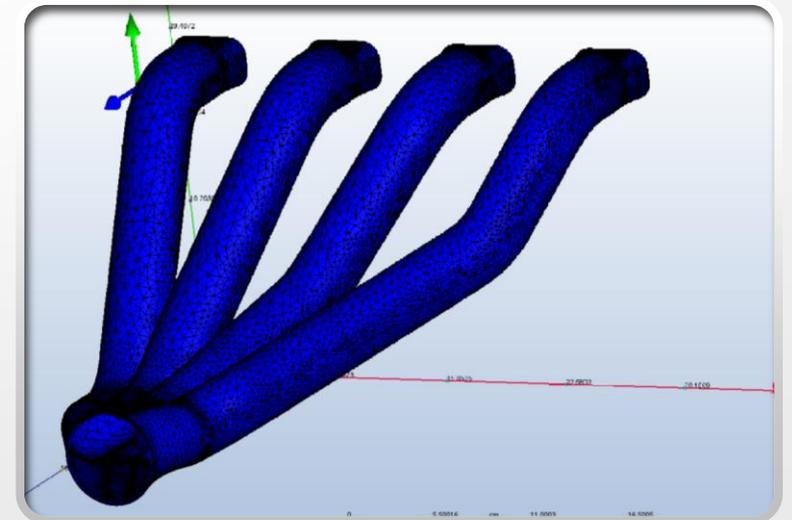
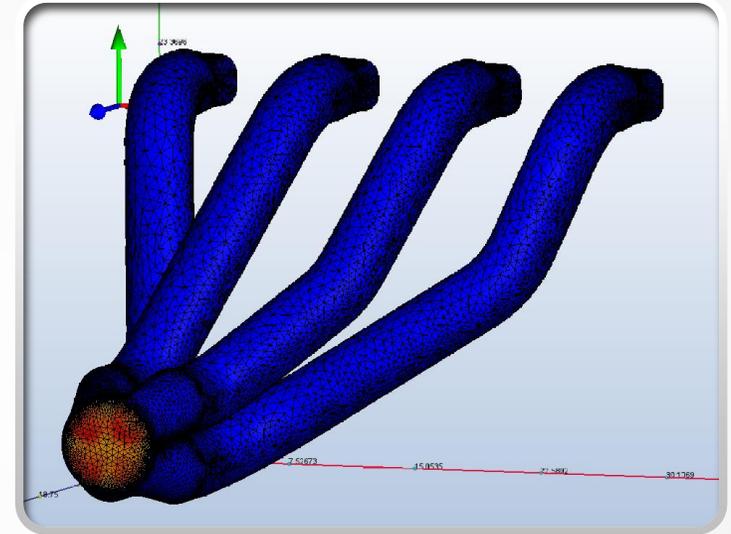
# MALLADO

## *Múltiple de escape original.*

- En el caso del flujo en el múltiple de escape original se tiene una malla con 190101 nodos, 756251 elementos y un valor de 0.2432 para el factor *Skewness* que indica una elevada calidad de mallado

## *Múltiple de escape configuración 4-1 longitud 420 mm*

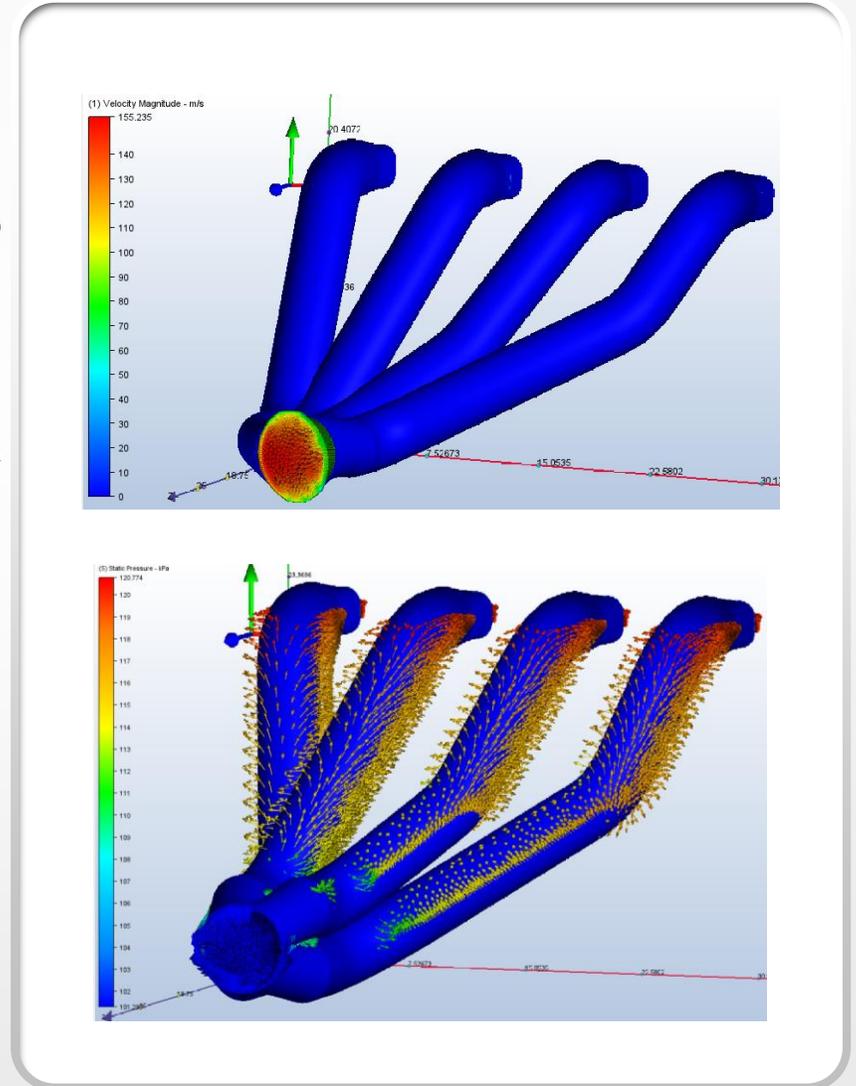
- La malla del múltiple de escape 4-1,, posee 319719 nodos, 1317162 elementos y un factor *Skewness* de 0.2432.



# RESULTADOS

En el original la velocidad promedio en la entrada del múltiple es de 85 m/s, alcanzando un valor máximo de 155 m/s en la zona de unión de los colectores secundarios. La presión promedio de las cuatro entradas es de 120 KPa, y una presión a la salida de 103 KPa.

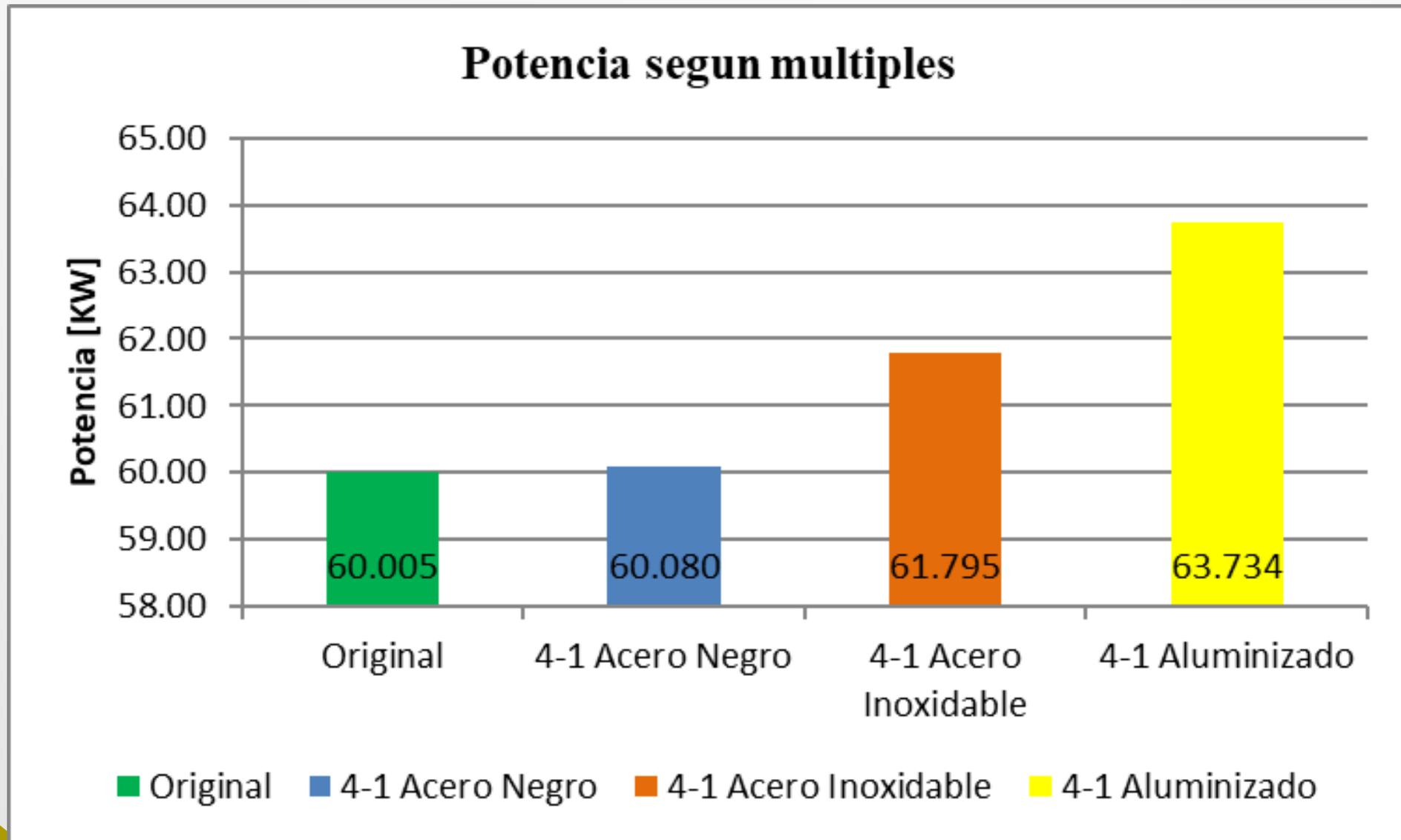
En el fabricado la velocidad promedio en la entrada del múltiple es de 87 m/s, alcanzando un valor máximo de 167 m/s en la zona de unión de los colectores secundarios. La presión promedio de las cuatro entradas es de 120 KPa, y una presión a la salida de 101 KPa.

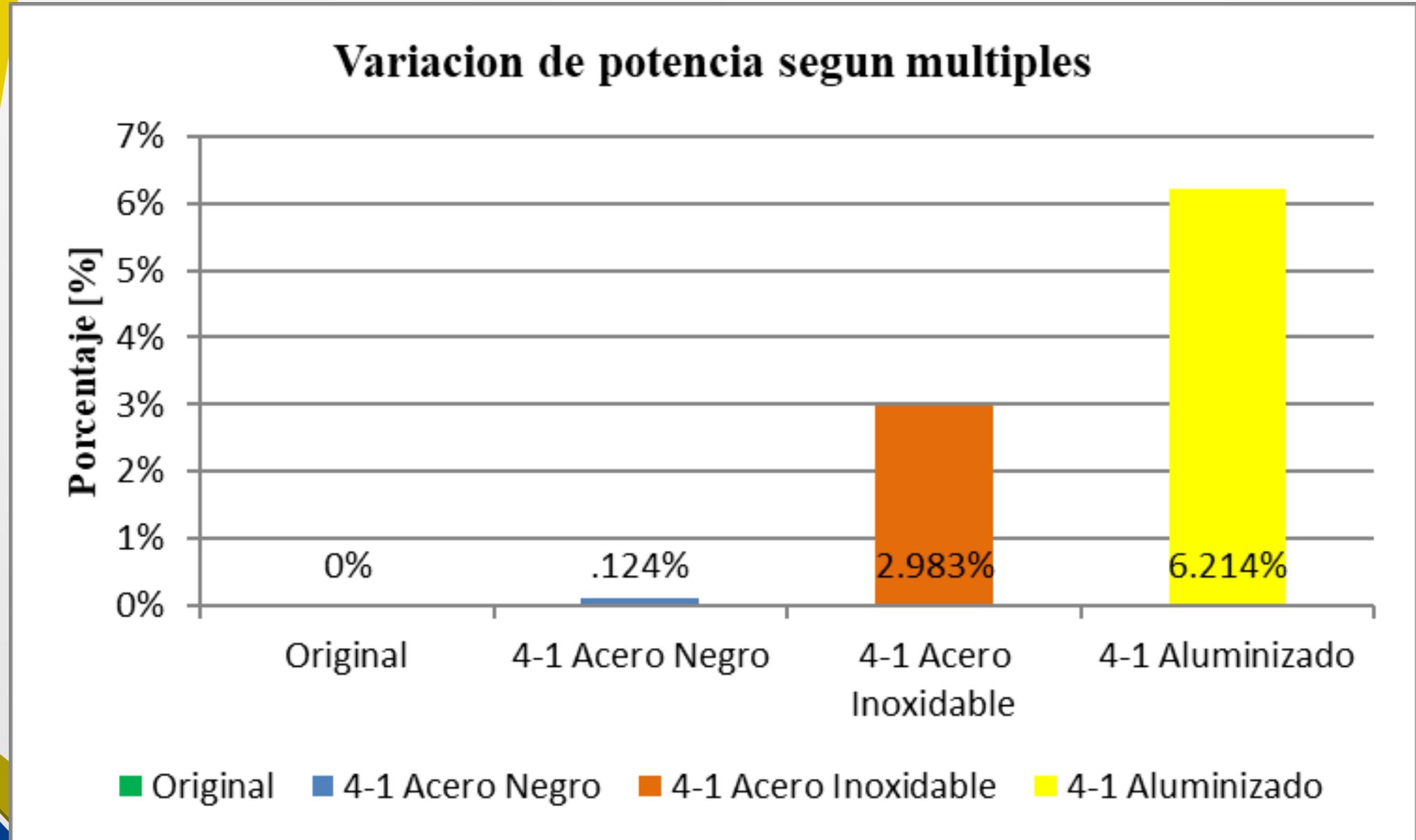


# PRUEBAS DINAMOMETRICAS

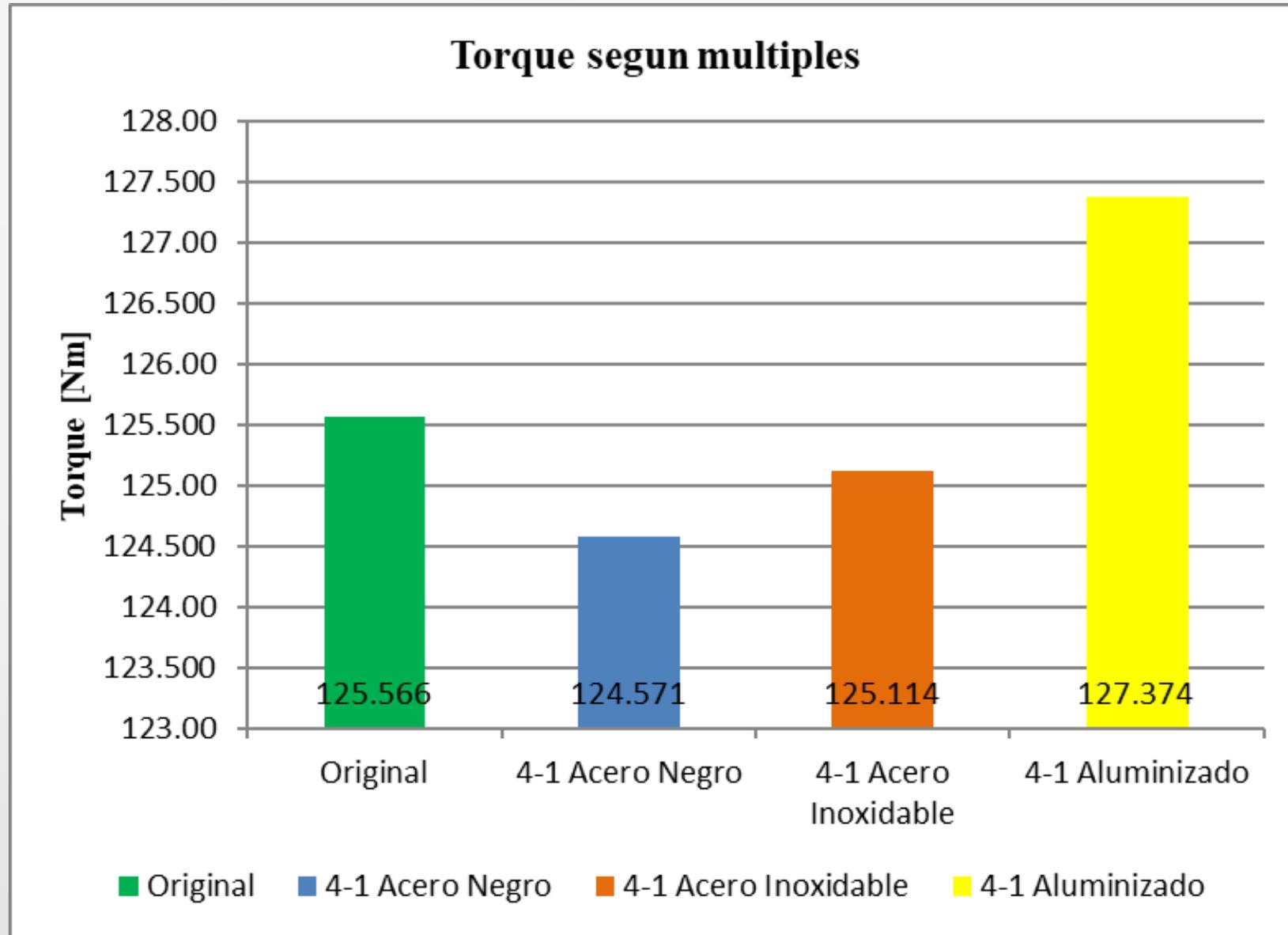
| Valor               | Múltiple original |             | Múltiple acero negro |             | Múltiple Inoxidable |             | Múltiple Aluminizado |             |
|---------------------|-------------------|-------------|----------------------|-------------|---------------------|-------------|----------------------|-------------|
|                     | Potencia [kW]     | Torque [Nm] | Potencia [kW]        | Torque [Nm] | Potencia [kW]       | Torque [Nm] | Potencia [kW]        | Torque [Nm] |
| Máximo prueba 1     | 59.060            | 124.210     | 59.806               | 124.888     | 61.372              | 124.345     | 61.521               | 126.515     |
| Máximo prueba 2     | 60.179            | 126.379     | 60.104               | 123.803     | 62.938              | 125.294     | 65.697               | 127.057     |
| Máximo prueba 3     | 60.776            | 126.108     | 60.328               | 125.023     | 61.074              | 125.701     | 63.982               | 128.549     |
| Valor mínimo        | 59.060            | 124.210     | 59.806               | 123.803     | 61.074              | 124.345     | 61.521               | 126.515     |
| Mediana             | 60.179            | 126.108     | 60.104               | 124.888     | 61.372              | 125.294     | 63.982               | 127.057     |
| Valor máximo        | 60.776            | 126.379     | 60.328               | 125.023     | 62.938              | 125.701     | 65.697               | 128.549     |
| Desviación estándar | 0.87              | 1.18        | 0.26                 | 0.67        | 1.00                | 0.70        | 2.10                 | 1.05        |
| Rango               | 1.72              | 2.17        | 0.52                 | 1.22        | 1.86                | 1.36        | 4.18                 | 2.03        |
| Promedio            | 60.0              | 125.6       | 60.1                 | 124.6       | 61.8                | 125.1       | 63.7                 | 127.4       |

# PRUEBAS DINAMOMETRICAS

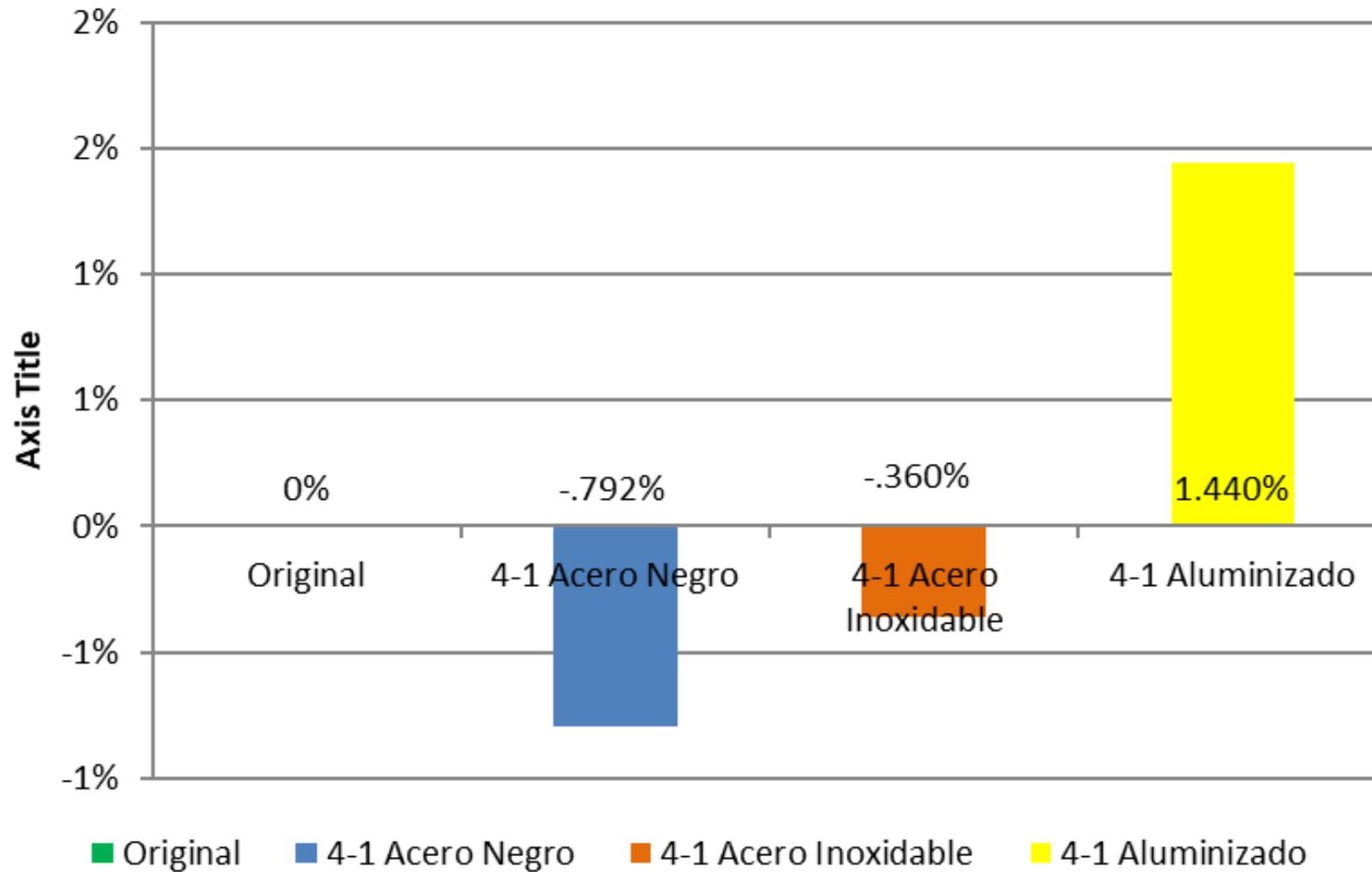




# PRUEBAS DINAMOMETRICAS

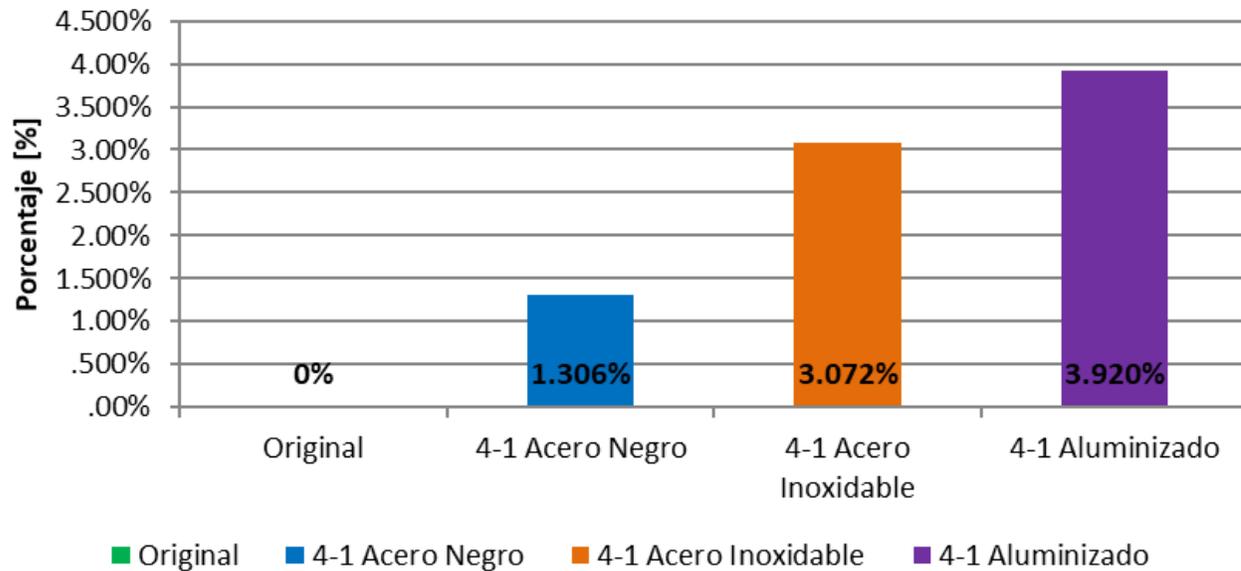


## Variacion de torque segun multiples

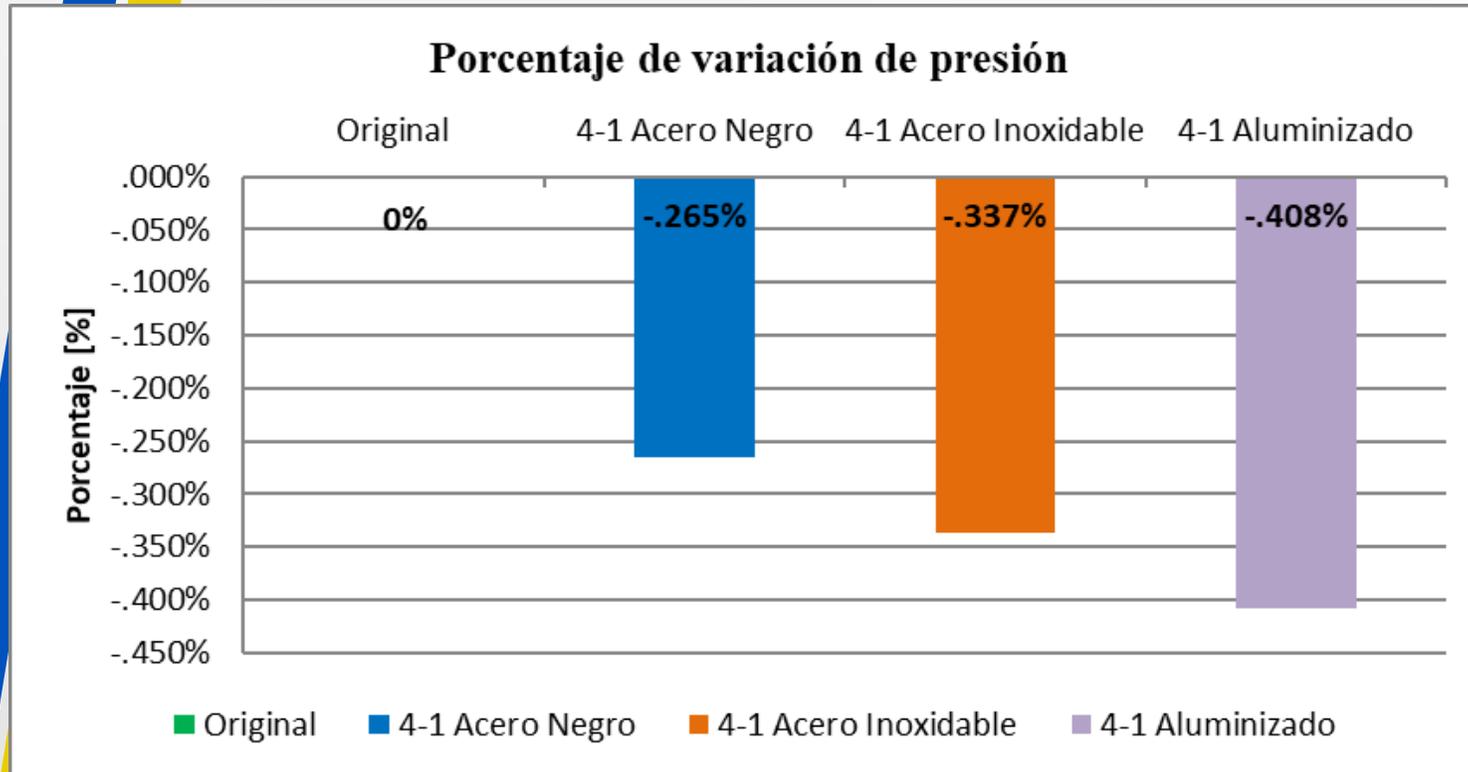


# DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Porcentaje de variación de la velocidad

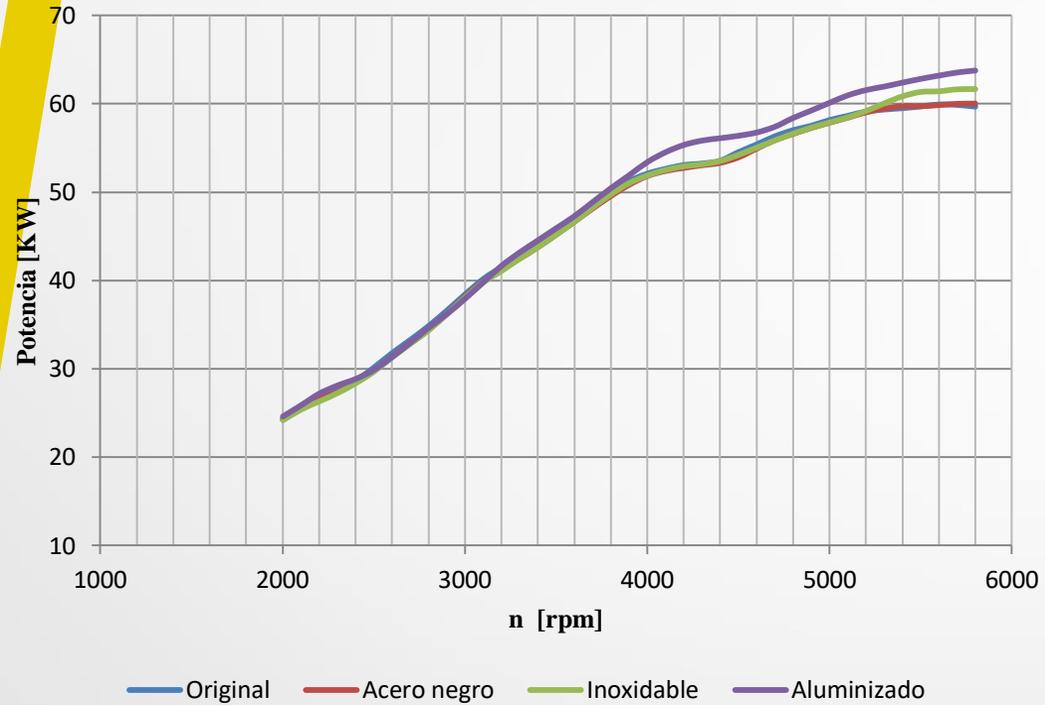


Se establece que existe un incremento de velocidad en la entrada del múltiple de escape entre 1.31 % y 3.92 % para los diseños propuestos, con respecto al modelo original. En la investigación de Bisane y Kaptapal (2014) en el cual se diseña un sistema de escape mediante la simulación de fluidos en la cual ingresaron como condiciones de contorno presión flujo másico y temperatura se obtiene un aumento de velocidad en el múltiple de escape de 0.29 %

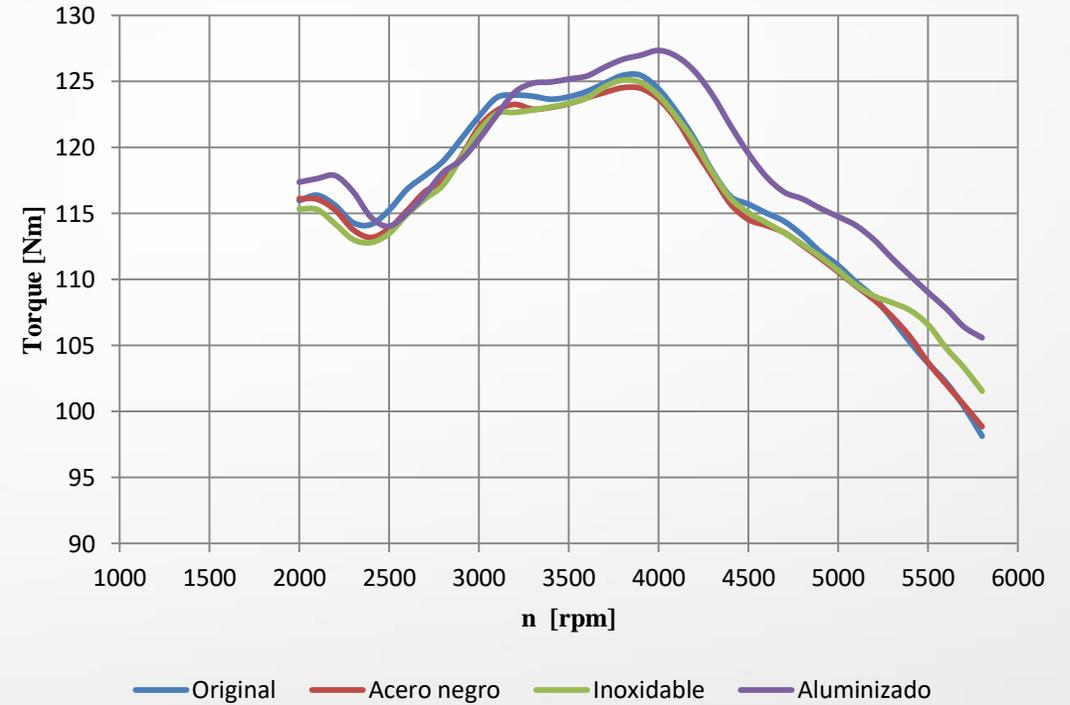


Según los resultados del análisis estático la variación de presión en la entrada es mínima de tal solo de -0.41% en relación al múltiple original, con el material aluminizado.

## Potencia por múltiplos



## Torque por múltiplos



La variación de resultados de la simulación en OpenWAM respecto a los ensayos experimentales, muestran que existe un error promedio de 8 % en el caso del múltiple de acero inoxidable, 5% en el caso de acero inoxidable y solo el 1 % para el aluminizado.

Se puede ratificar en la investigación de Ayala (2015), donde a pesar de tener diferencias en los valores de las simulaciones y las pruebas dinamométricas, estas diferencias se dan ya que en las simulaciones no se consideran las pérdidas mecánicas pero las siluetas de las curvas de torque y potencia tanto del múltiple original como el del múltiple fabricado tienen un alto grado de semejanza, y mas aun con el múltiple de aluminizado.

# DISCUSIÓN DE RESULTADOS

| n     | Dinamómetro:<br>Acero negro | Dinamómetro:<br>Inoxidable | Dinamómetro:<br>Aluminizado | 1D<br>OpenWAM          | Variación<br>1D-Acero<br>negro | Variación<br>1D-<br>inoxidable | Variación<br>1D-<br>aluminizado |
|-------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| [rpm] | [kW]                        | [kW]                       | [kW]                        | [kW]                   | [%]                            | [%]                            | [%]                             |
| 2000  | 24.31                       | 22.99                      | 24.58                       | 26.50                  | 9                              | 15                             | 8                               |
| 2500  | 29.83                       | 29.68                      | 29.85                       | 31.92                  | 7                              | 8                              | 7                               |
| 3000  | 38.18                       | 38.08                      | 37.91                       | 41.62                  | 9                              | 9                              | 10                              |
| 3500  | 45.19                       | 45.19                      | 45.89                       | 47.90                  | 6                              | 6                              | 4                               |
| 4000  | 51.83                       | 51.90                      | 53.37                       | 55.35                  | 7                              | 7                              | 4                               |
| 4500  | 53.94                       | 54.24                      | 56.35                       | 57.12                  | 6                              | 5                              | 1                               |
| 5000  | 57.87                       | 57.92                      | 60.08                       | 61.51                  | 6                              | 6                              | 2                               |
| 5500  | 59.73                       | 61.37                      | 62.79                       | 64.09                  | 7                              | 4                              | 2                               |
| 5800  | 60.03                       | 61.70                      | 63.73                       | 64.65                  | 8                              | 5                              | 1                               |
|       |                             |                            |                             | Valor<br>mínimo        | 6                              | 4                              | 1                               |
|       |                             |                            |                             | Mediana                | 7                              | 6                              | 4                               |
|       |                             |                            |                             | Valor<br>máximo        | 9                              | 15                             | 10                              |
|       |                             |                            |                             | Desviación<br>estándar | 1.2                            | 3.3                            | 3.1                             |
|       |                             |                            |                             | Rango                  | 3                              | 11                             | 8                               |
|       |                             |                            |                             | Promedio               | 7                              | 7                              | 4                               |

## CONCLUSIONES

- Se diseñó el múltiple de escape para el motor K<sub>4</sub>M del vehículo Renault Duster 1.6 mediante un proceso de simulación computacional 1D/3D, el cual fue validado con los ensayos experimentales en un banco de pruebas dinamométricas del Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV), el cual cuenta con el certificado de calibración según las normas INEN.
- Del análisis efectuado, al evaluar la variación de dimensiones en las configuraciones de múltiples de escape 4-1 en diferentes longitudes, se seleccionó el diseño 4-1, con tubos de 1 ½" de diámetro y 420 mm de longitud, puesto que es la dimensión en la cual no se tiene que realizar modificaciones en el sistema de escape de gases
- Los valores de torque y potencia obtenidos de la simulación con OpenWAM para el múltiple original tienen una diferencia promedio de 6.6 % con los resultados del dinamómetro de chasis, sin embargo, existe semejanza en la silueta de las curvas características, mediante las cuales se puede predecir el comportamiento del motor sin la necesidad de costosos ensayos experimentales.

# CONCLUSIONES

- El modelado unidimensional entrega resultados acordes al funcionamiento del motor, por tanto, es válida su aplicación en la optimización de longitudes y diámetros de múltiples de escape. Pero una desventaja es los datos solicitados
- El mejor múltiple de escape de configuración 4-1 es el que se fabricó en material aluminizado el cual incremento la potencia máxima respecto al sistema original en 6.4 %. De igual manera este múltiple presenta un incremento de torque de 1.4 % en relación al original. El aporte más significativo al desempeño del motor lo hace en altas revoluciones, esto es, sobre las 5 750 rpm, que es lo mismo que recomienda el fabricante.
- El método empleado para evaluar el rendimiento del motor, variando el material del múltiple de escape mediante la simulación 1D/3D permitió obtener mayor potencia y torque en el motor K4M La validez de este método se fundamenta en la proximidad de la silueta de las curvas características del motor y la mínima diferencia de valores, respecto a los datos experimentales obtenidos de las pruebas dinamométricas basadas en la norma INEN 960.



**GRACIAS UISEK**