



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

TEMA:

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ESCAPE
TUNED PIPE PARA UN MOTOR MONO CILÍNDRICO DE 2 TIEMPOS REALIZANDO
PRUEBAS MECÁNICAS Y DE CAMPO DETERMINANDO PARÁMETROS DE
RENDIMIENTO DEL GO KART**

Autores:

**Mejía Echeverría, Felipe Luciano
Sánchez Almeida, Jimmy alexander**

Director:

**Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio
Latacunga
2021**



“Si una persona no tiene sueños no tiene razón para vivir. Soñar es necesario aún cuando el sueño va más allá de la realidad”

Ayrton Senna



CONTENIDO

OBJETIVOS

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

METAS

HIPÓTESIS

MARCO TEÓRICO

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

PRUEBAS

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES



OBJETIVO GENERAL

Diseñar, construir e implementar un sistema de escape Tuned Pipe para un motor monocilíndrico de 2 tiempos realizando pruebas mecánicas y de campo para determinar parámetros de rendimiento del Go Kart

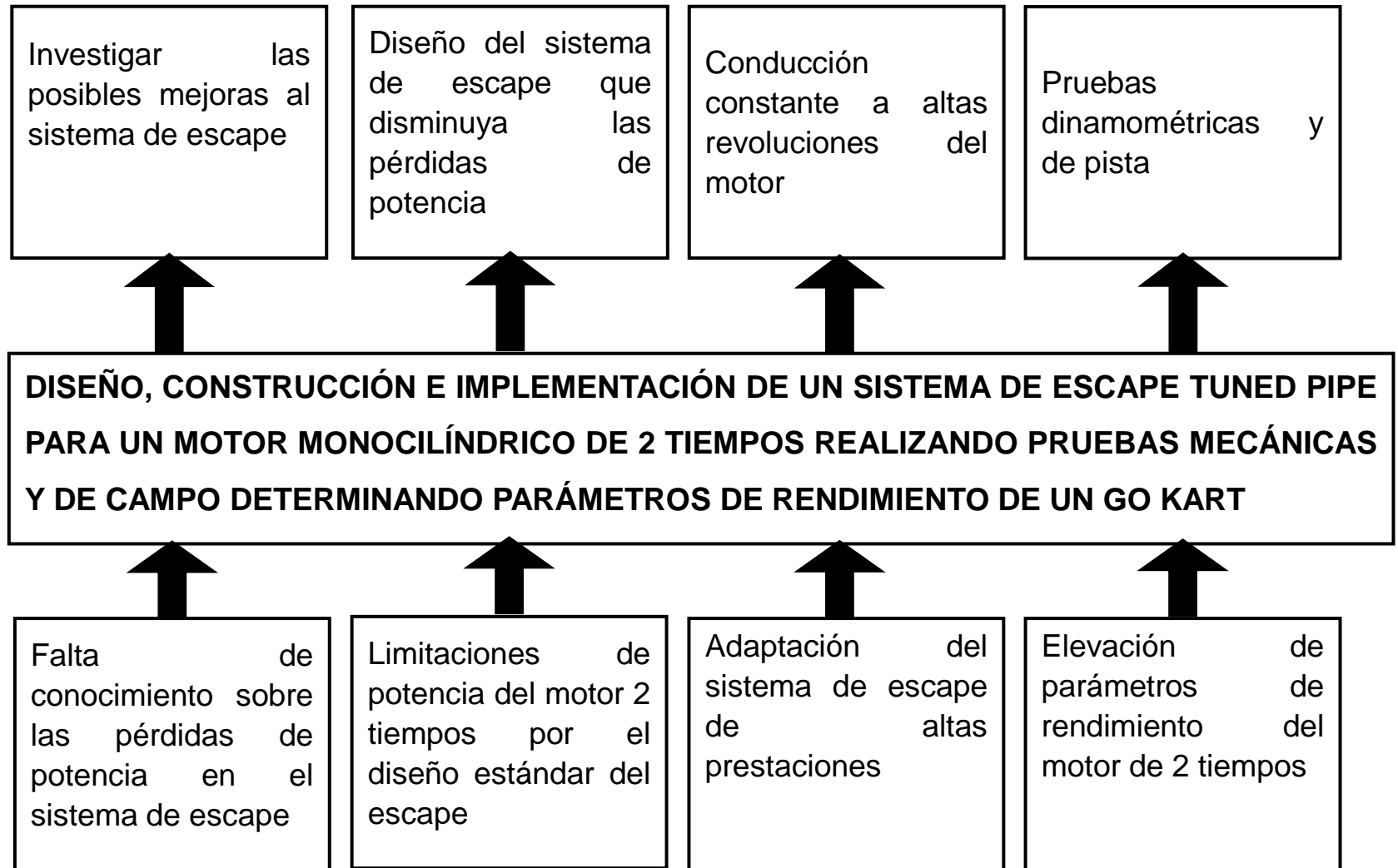


OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Investigar el funcionamiento del sistema de escape en motores de 2 tiempos
- Diseñar el sistema de escape Tuned Pipe para el motor del Go Kart de acuerdo con sus especificaciones
- Realizar un análisis de fluido dinámico computarizado (CFD) al sistema de escape diseñado
- Implementar el sistema de escape con el material acero inoxidable 304 para la aplicación de la investigación
- Efectuar pruebas mecánicas en laboratorio y campo para analizar los parámetros en el rendimiento del Go Kart
- Comparar los valores de desempeño del sistema de escape original en relación con el sistema de escape Tuned Pipe



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



METAS

- Marco teórico y referencial acerca del funcionamiento de sistemas de escape de alto rendimiento para motores de dos tiempos
- Modelo 3D del sistema de escape Tuned Pipe para el motor del Go kart
- Análisis de fluido dinámico computarizado del sistema de escape diseñado
- Prototipo del sistema de escape Tuned Pipe en acero inoxidable 304
- Parámetros de eficiencia y rendimiento del Go Kart
- Tabla comparativa de valores entre el sistema de escape original y el Tuned Pipe



HIPÓTESIS

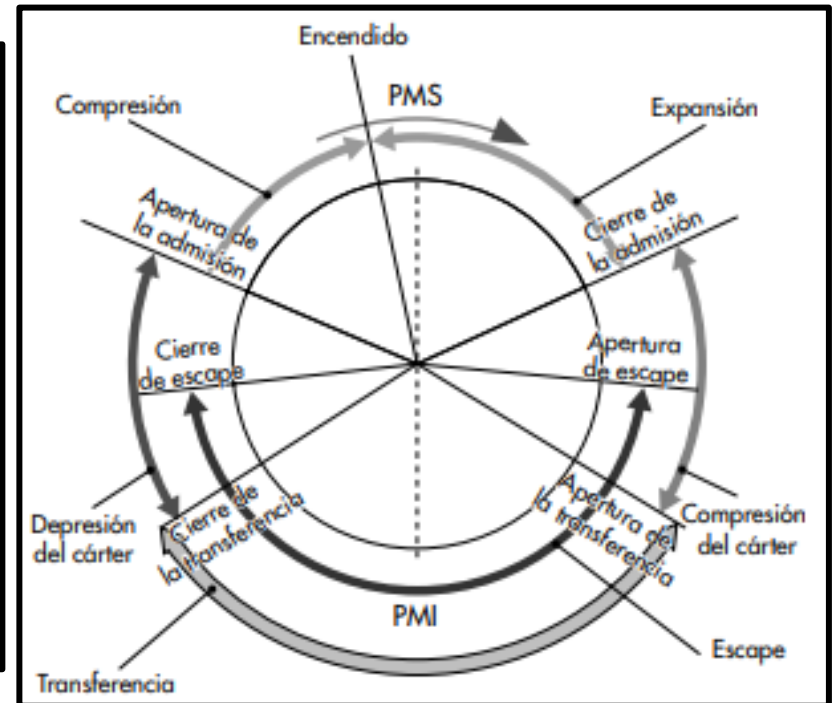
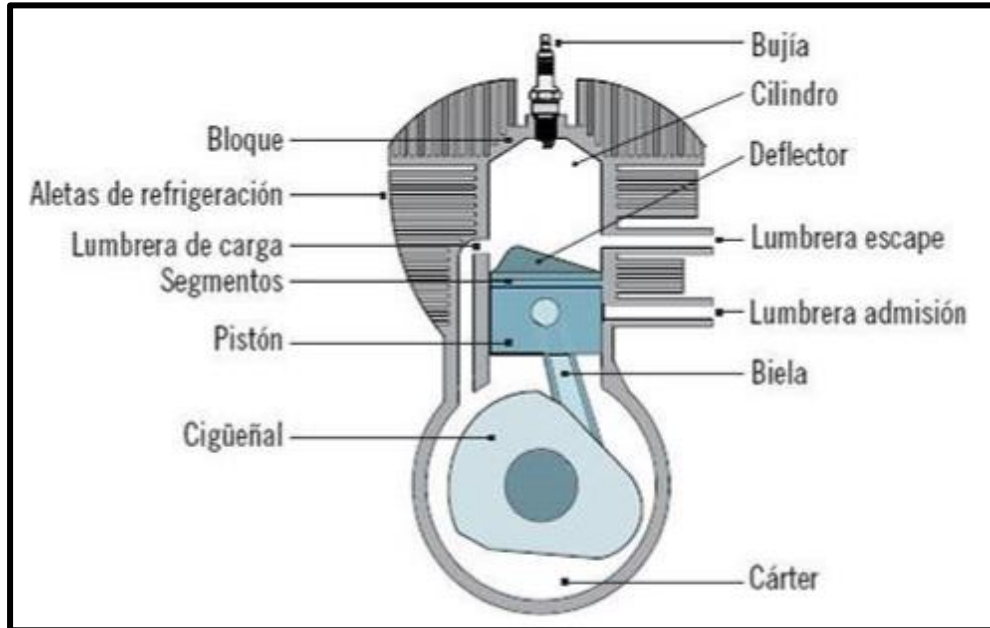
El sistema de escape Tuned Pipe diseñado y construido, presentará igual o mejor desempeño de los parámetros de rendimiento del Go Kart



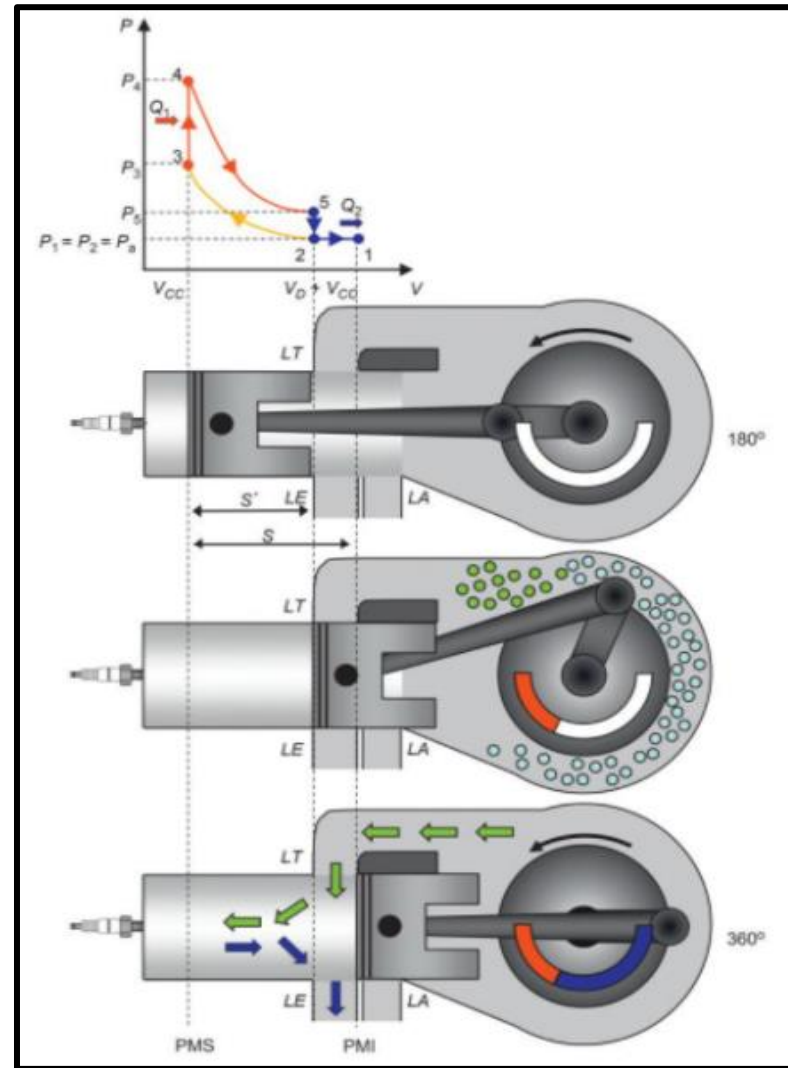
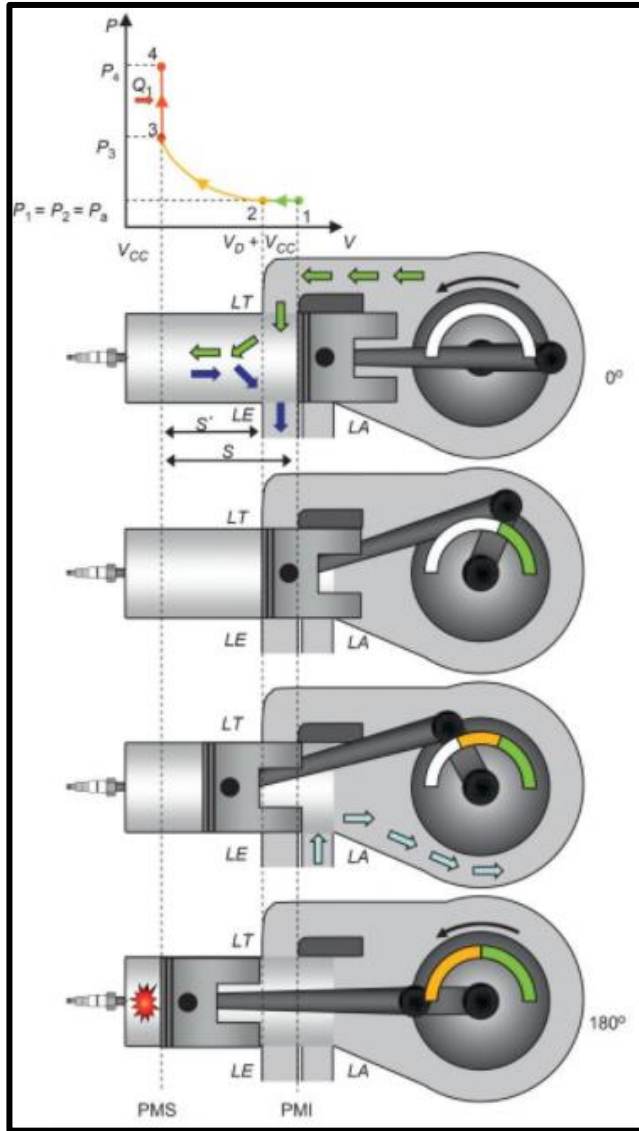
MARCO TEÓRICO



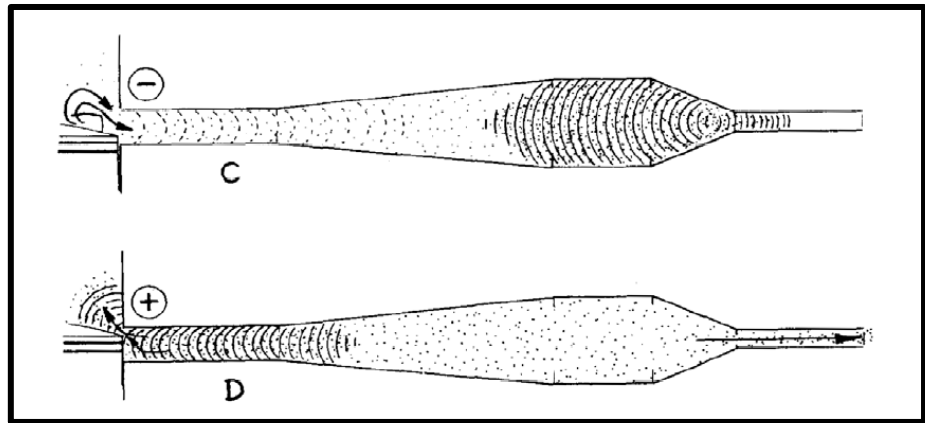
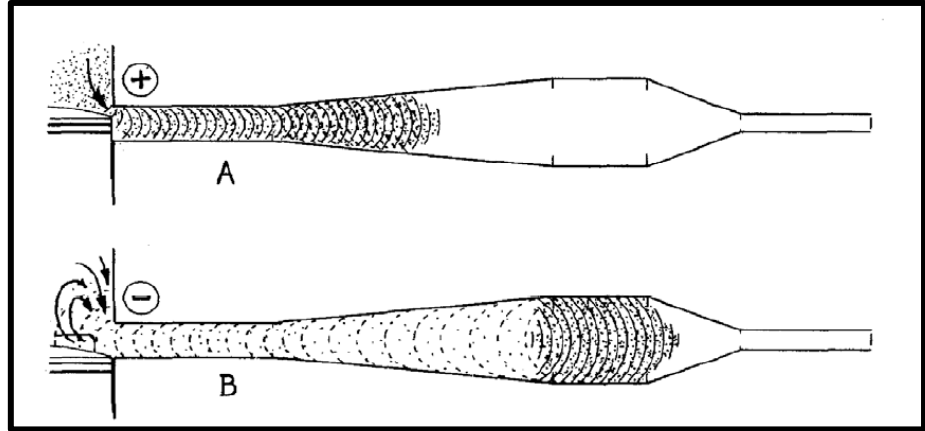
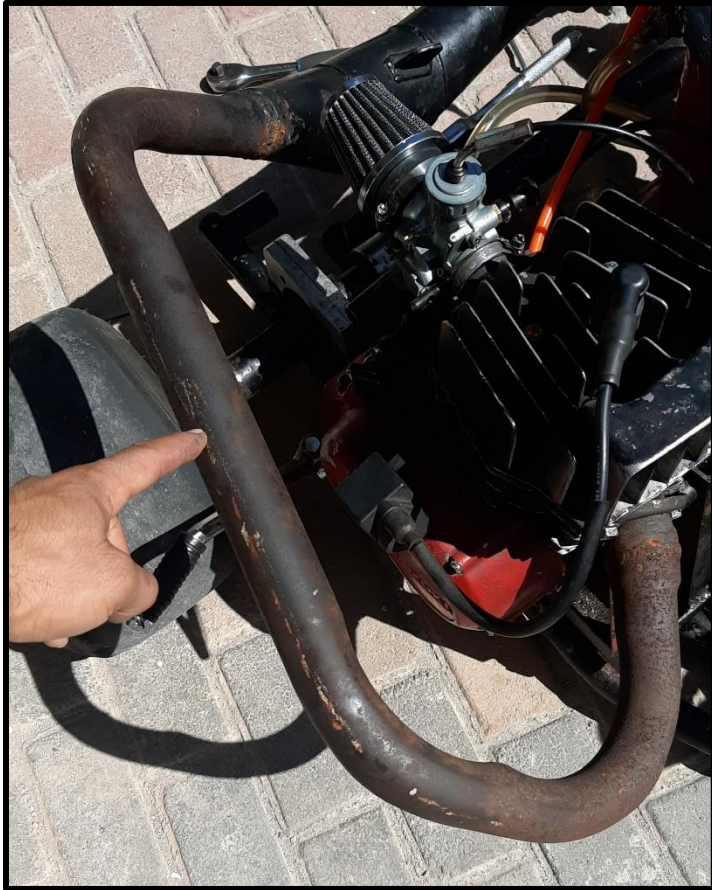
MOTORES 2 TIEMPOS



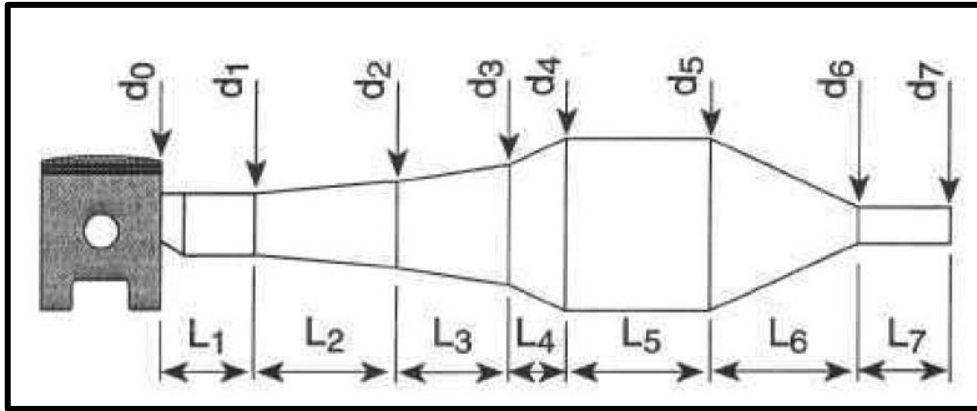
CICLOS DEL MOTOR 2 TIEMPOS



SISTEMAS DE ESCAPE



CALCULOS DEL TUNED PIPE



$$a_t = \sqrt{\gamma R(T + 273.15)}$$

γ = radio específico del calor

$R=287JKg*K$ = Constante de los gases

T = Temperatura del medio de propagación de la onda sonora °C

a_t = Velocidad acústica a determinada temperatura

$$L_T = \frac{83.3 a_t \theta_{ep}}{rpm}$$

L_T = Longitud total del sistema de escape

θ_{ep} = Duración del período total de escape

| Parámetro | Ecuación |
|------------|------------------|
| Longitud 1 | $L_1 = 0.1L_T$ |
| Longitud 2 | $L_2 = 0.275L_T$ |
| Longitud 3 | $L_3 = 0.183L_T$ |
| Longitud 4 | $L_4 = 0.092L_T$ |
| Longitud 5 | $L_5 = 0.11L_T$ |
| Longitud 6 | $L_6 = 0.24L_T$ |
| Longitud 7 | $L_7 = L_6$ |

| Parámetro | Ecuación |
|----------------|---|
| k1 | 1,05 |
| k2 | 3,25 |
| kh | 1,625 |
| x_{12} | $x_{12} = \left(\frac{L_2}{L_2 + L_3 + L_4} \right)^{k_h} * \log_e \left(\frac{d_4}{d_1} \right)$ |
| x_{13} | $x_{13} = \left(\frac{L_2 + L_3}{L_2 + L_3 + L_4} \right)^{k_h} * \log_e \left(\frac{d_4}{d_1} \right)$ |
| Diámetro 1 | $d_1 = k_1 d_0$ |
| Diámetro 2 | $d_2 = d_1 * e^{x_{12}}$ |
| Diámetro 3 | $d_3 = d_1 * e^{x_{13}}$ |
| Diámetro 4 y 5 | $d_4 = k_2 d_0 = d_5$ |
| Diámetro 6 y 7 | $d_7 = 0.6 d_0 = d_6$ |



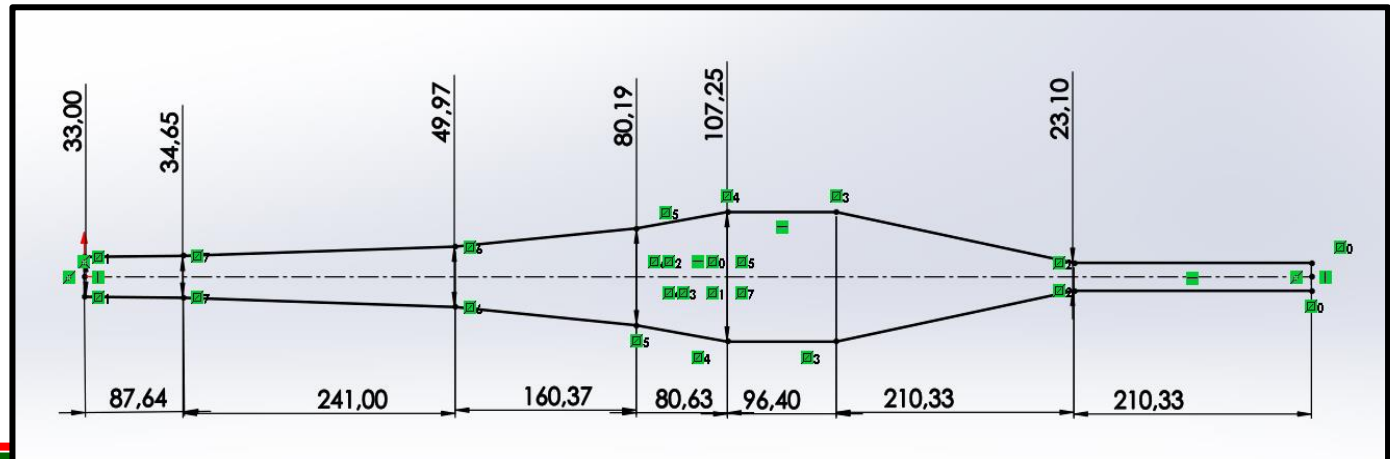
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN



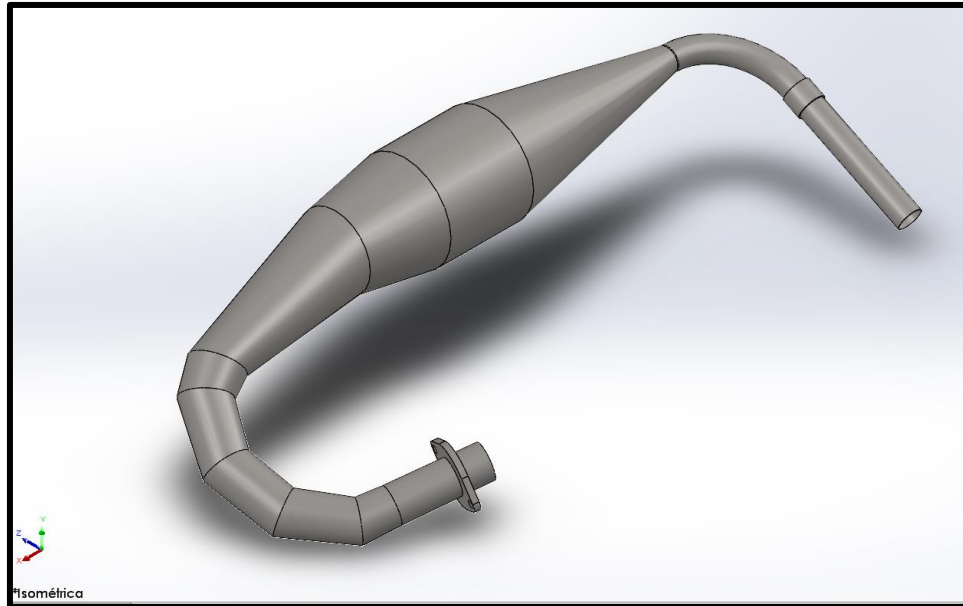
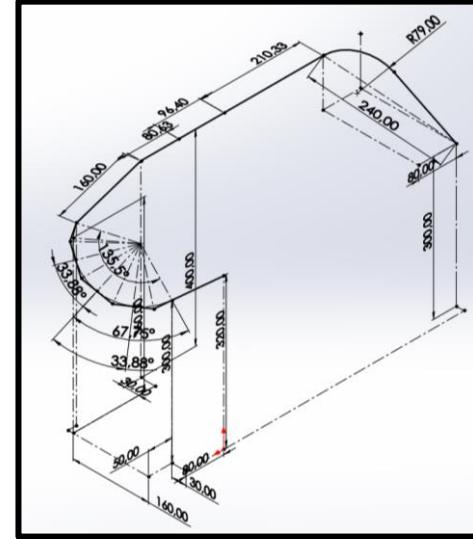
DISEÑO

| Datos del motor | Valor |
|---------------------------------|----------|
| Régimen de giro / máx. potencia | 7500 rpm |
| Temperatura de gases de escape | 280 °C |
| Duración ciclo de escape | 170° |

| Propiedad | Resultado | Unidades |
|------------------------|-----------|----------|
| Longitud sección 1 | 87,64 | mm |
| Longitud sección 2 | 241 | mm |
| Longitud sección 3 | 160,37 | mm |
| Longitud sección 4 | 80,63 | mm |
| Longitud sección 5 | 96,4 | mm |
| Longitud sección 6 y 7 | 210,33 | mm |
| Diámetro 0 | 33 | mm |
| Diámetro 1 | 34,65 | mm |
| Diámetro 2 | 49,97 | mm |
| Diámetro 3 | 80,19 | mm |
| Diámetro 4 y 5 | 107,27 | mm |
| Diámetro 6 y 7 | 23,10 | mm |



DISEÑO

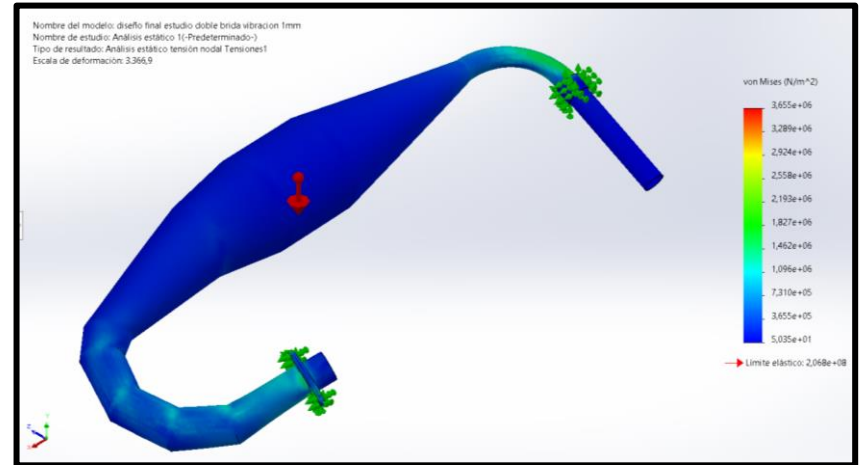
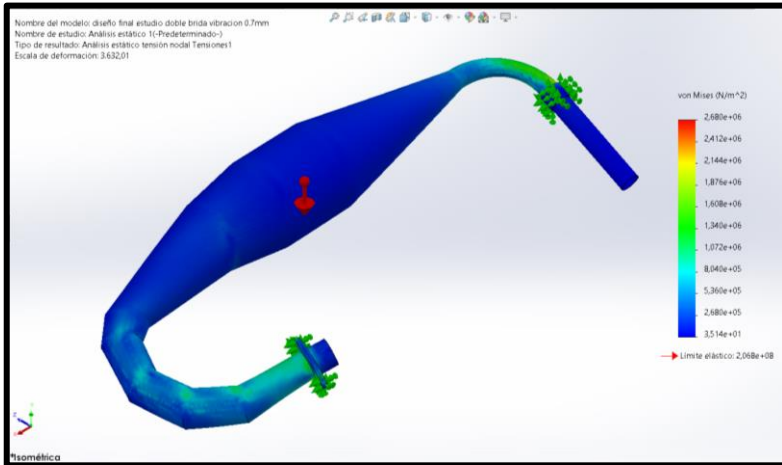


Isométrica



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SIMULACIONES



| Frecuencia nº. | Hertz | Régimen de giro (rpm) |
|----------------|-------|-----------------------|
| 1 | 28,2 | 1692,12 |
| 2 | 103,3 | 6197,4 |
| 3 | 140,3 | 8419,2 |
| 4 | 286,9 | 17211 |
| 5 | 475,3 | 28518 |

| Frecuencia nº. | Hertz | Régimen de giro (rpm) |
|----------------|-------|-----------------------|
| 1 | 29,68 | 1780,98 |
| 2 | 108,4 | 6501,6 |
| 3 | 141,1 | 8463,6 |
| 4 | 292,4 | 17543,4 |
| 5 | 503,2 | 30190,8 |



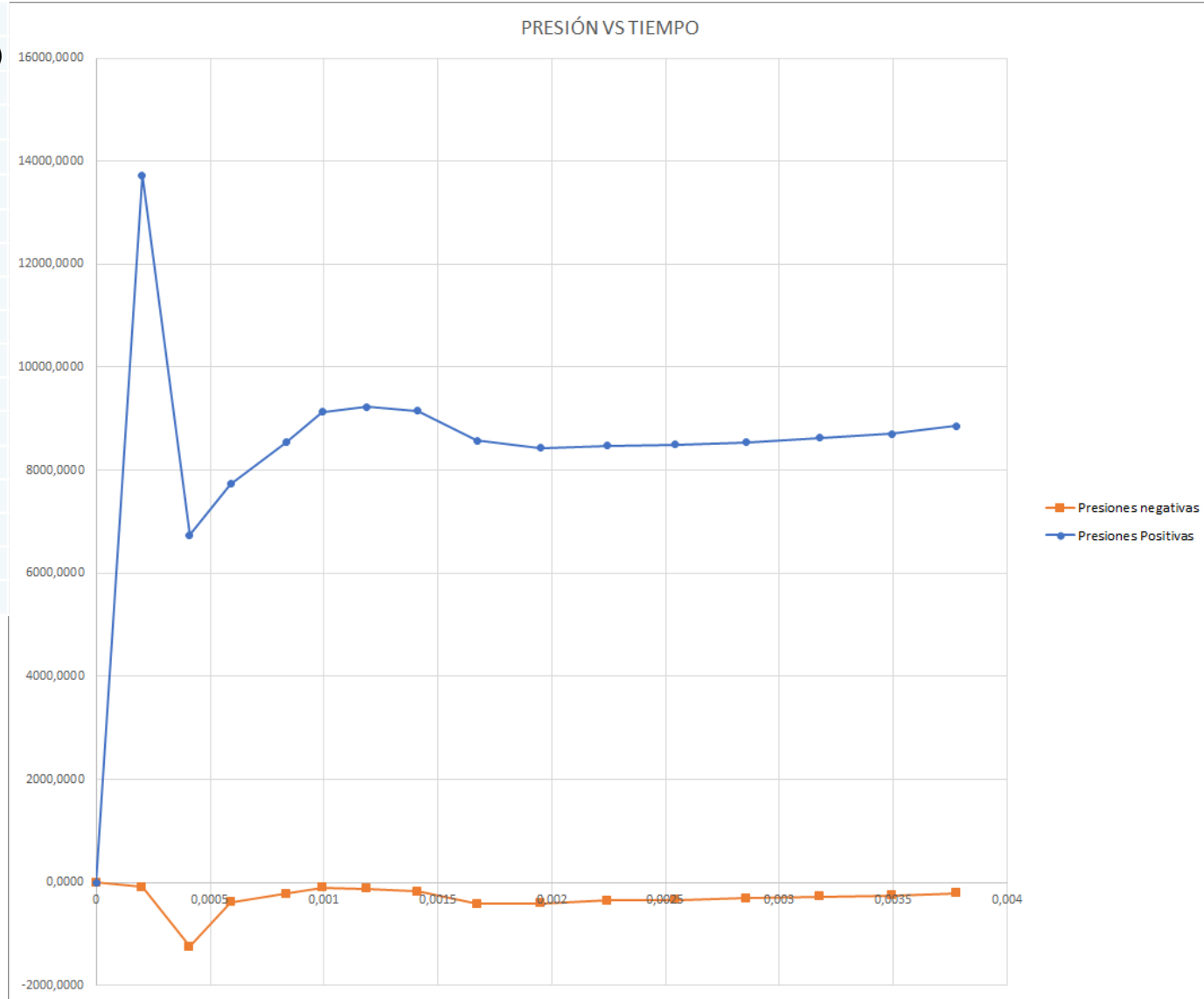
VALORES INICIALES CFD

| Parámetros | Valor | Unidades |
|---------------------------------|--------|----------|
| Velocidad de escape | 49,8 | m/s |
| Velocidad del aire del ambiente | 14,166 | m/s |
| Temperatura del aire del escape | 280 | °C |
| Temperatura ambiente | 20 | °C |
| Tiempo | 3,777 | ms |

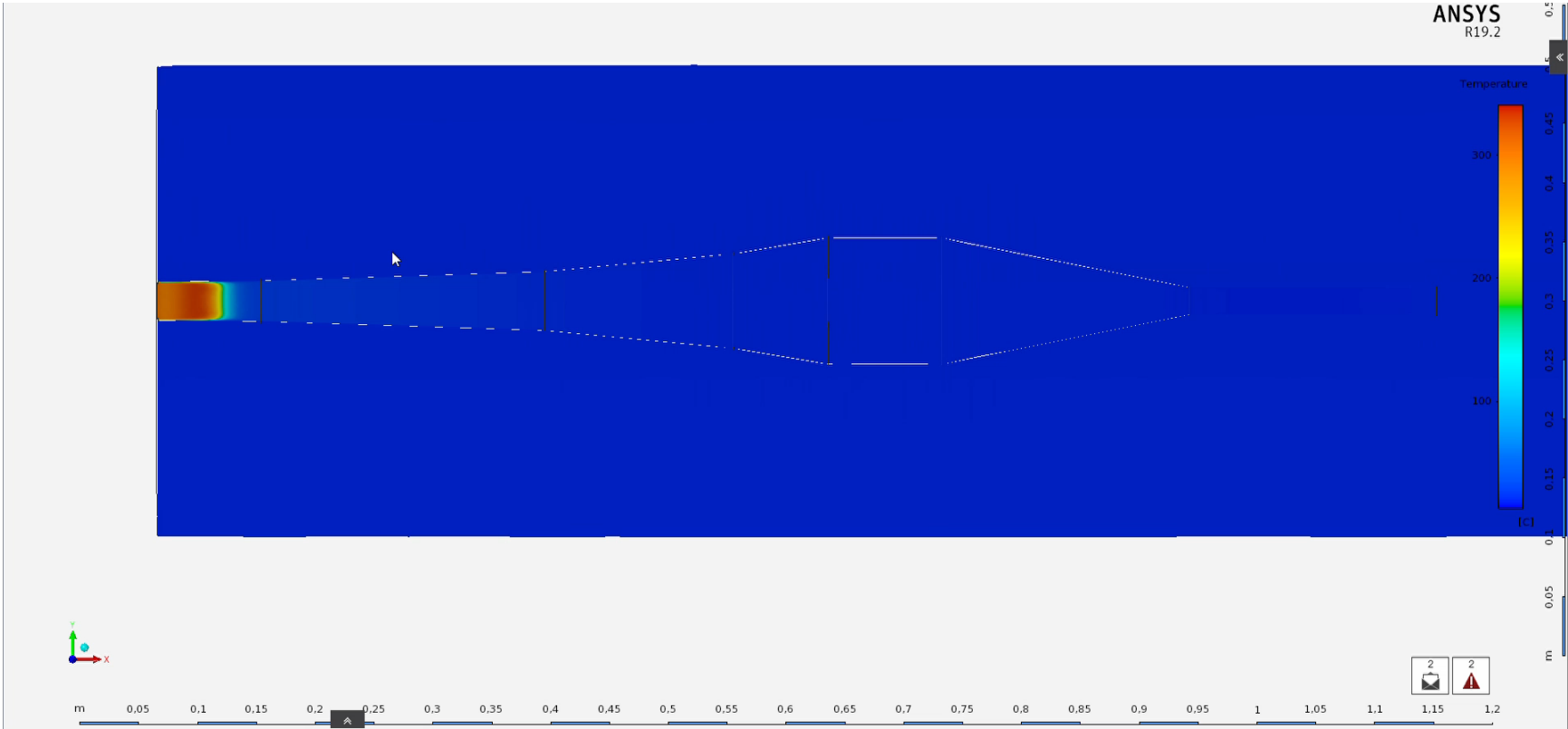


PRESIÓN VS TIEMPO

| PRESIÓN | | |
|----------|--------------|--------------|
| Time (s) | Presión (Pa) | Presión (Pa) |
| 0 | 0 | 0 |
| 0,0002 | -91,9351 | 13721,9181 |
| 0,0004 | -1244,336 | 6742,9214 |
| 0,0006 | -380,9596 | 7736,3178 |
| 0,0008 | -219,0557 | 8546,255 |
| 0,001 | -100,052 | 9131,6046 |
| 0,0012 | -123,4642 | 9227,7891 |
| 0,0014 | -176,49 | 9150,3291 |
| 0,0017 | -414,5323 | 8572,3623 |
| 0,002 | -403,0777 | 8429,2251 |
| 0,0022 | -355,44 | 8474,8034 |
| 0,0025 | -336,146 | 8502,6683 |
| 0,0029 | -307,6238 | 8546,5333 |
| 0,0032 | -273,4701 | 8631,2684 |
| 0,0035 | -256,2341 | 8702,5947 |
| 0,0038 | -205,4902 | 8856,6037 |



TEMPERATURA



CONSTRUCCIÓN



IMPLEMENTACIÓN



NORMATIVA CIK-FIA



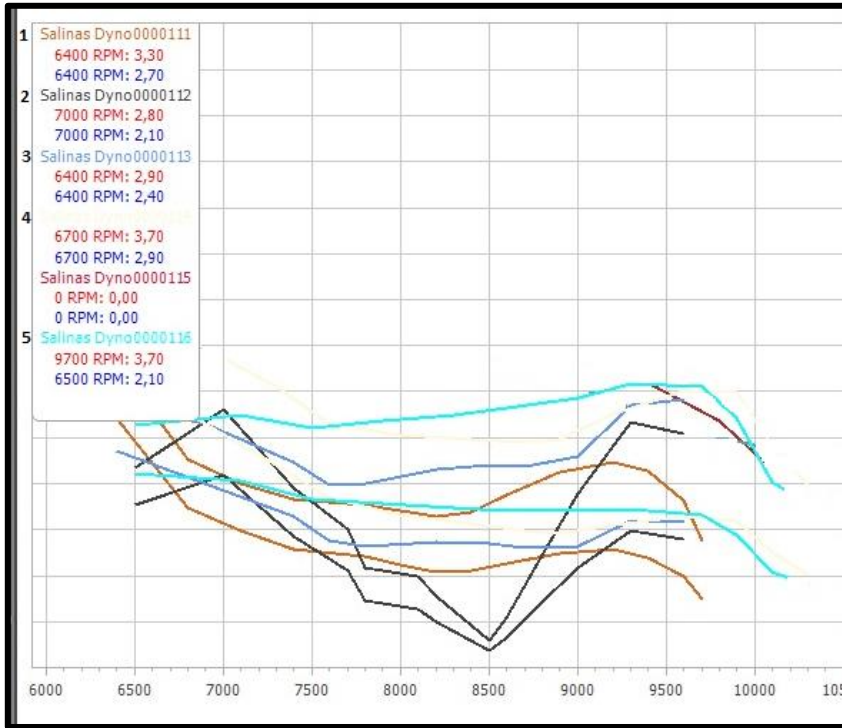
PRUEBAS



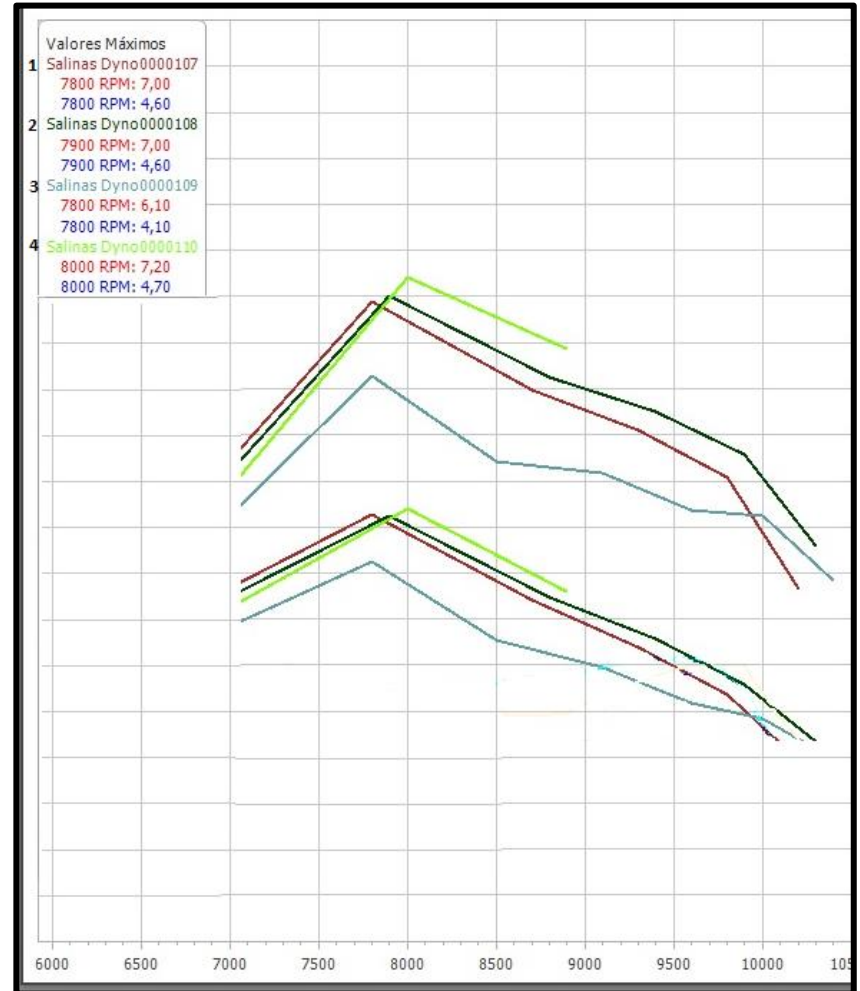
PRUEBAS DINAMOMÉTRICAS



POTENCIA Y TORQUE



ESCAPE ANTIGUO



ESCAPE TUNED PIPE



PRUEBAS DE VELOCIDAD



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

VELOCIDAD

| | | | |
|-----------------|------------------|-----------------|----------------|
| Tiempo Total | | 04min35s | |
| Distancia | | 3,2km | |
| Tiempo de viaje | Velocidad maxima | 04min13s | 51 km/h |
| Para el tiempo | Velocidad media | 00min22s | 28km/h |
| Altitud maxima | Altitud media | 2844m | 2841m |

| | | | |
|-----------------|------------------|-----------------|----------------|
| Tiempo Total | | 04min45s | |
| Distancia | | 3,2km | |
| Tiempo de viaje | Velocidad maxima | 04min23s | 50 km/h |
| Para el tiempo | Velocidad media | 00min22s | 24km/h |
| Altitud maxima | Altitud media | 2844m | 2841m |

ESCAPE ANTIGUO

| | | | |
|-----------------|------------------|----------------|----------------|
| Tiempo de viaje | Velocidad maxima | 3min49s | 76km/h |
| Para el tiempo | Velocidad media | 2min35s | 37 km/h |
| Altitud | Distancia | 2839,0m | 3,2km |

| | | | |
|-----------------|------------------|----------------|----------------|
| Tiempo de viaje | Velocidad maxima | 3min56s | 69km/h |
| Para el tiempo | Velocidad media | 2min37s | 27 km/h |
| Altitud | Distancia | 2839,0m | 3,2km |

ESCAPE TUNED PIPE



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

**VOLUMEN INICIAL
DE COMBUSTIBLE**

3000 cc

**CAPACIDAD DEL
DEPÓSITO**

3785 cc



CONSUMO DE COMBUSTIBLE

| PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE | | |
|----------------------------------|------------------------------|---------------------|
| TIPO DE COMBUSTIBLE | | Super de 92 octanos |
| VOLUMEN INICIAL DE COMBUSTIBLE | | 3000 cc |
| ESCAPE ANTIGUO | VOLUMEN FINAL DE COMBUSTIBLE | 2090,9 |
| | VOLUMEN CONSUMIDO | 909,09 |
| ESCAPE TUNED PIPE | VOLUMEN FINAL DE COMBUSTIBLE | 1750 |
| | VOLUMEN CONSUMIDO | 1250 |
| DISTANCIA RECORRIDA | | 10 km |
| CAPACIDAD DEL DEPÓSITO | | 3785 cc |

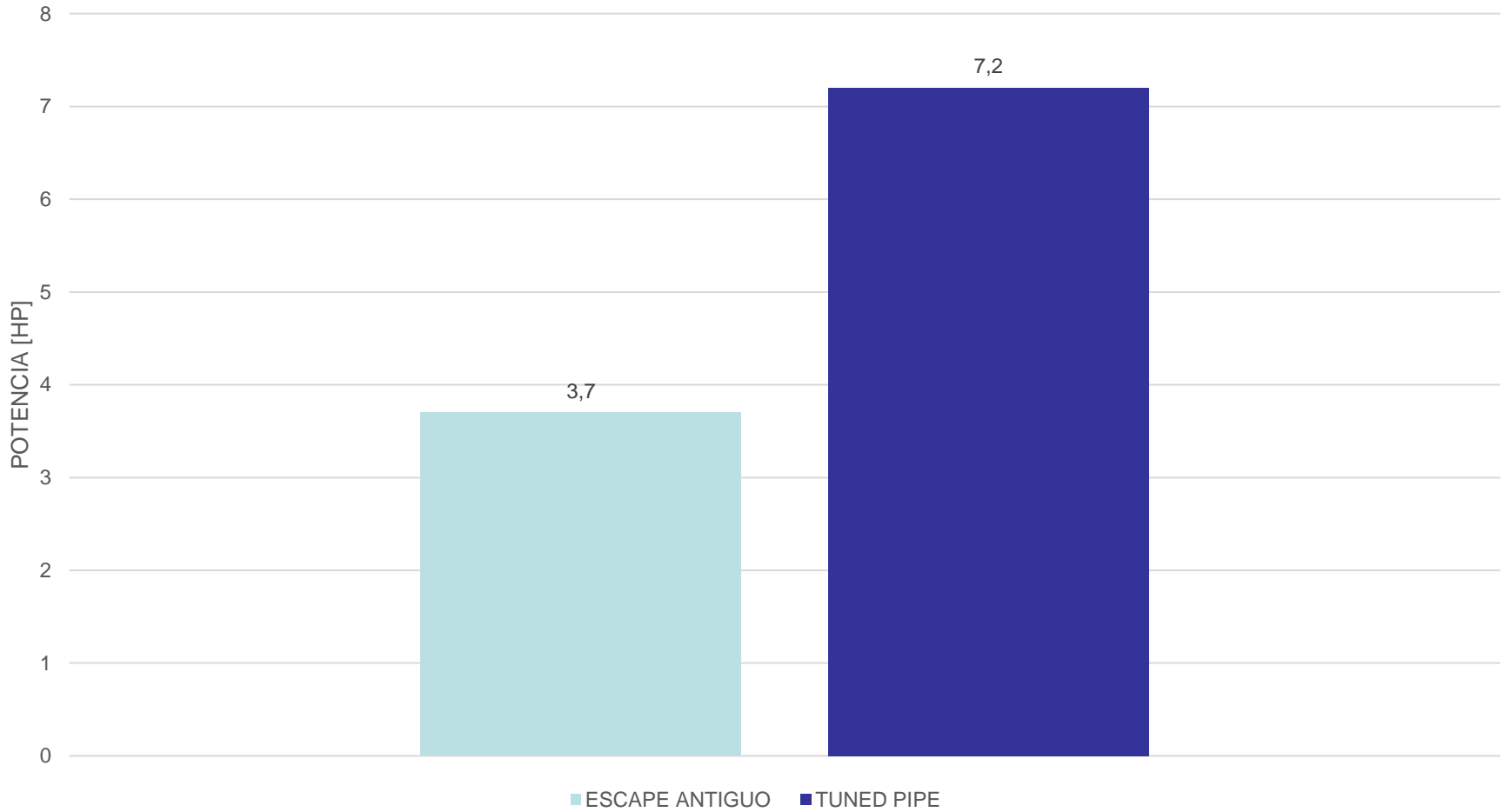


ANÁLISIS DE RESULTADOS



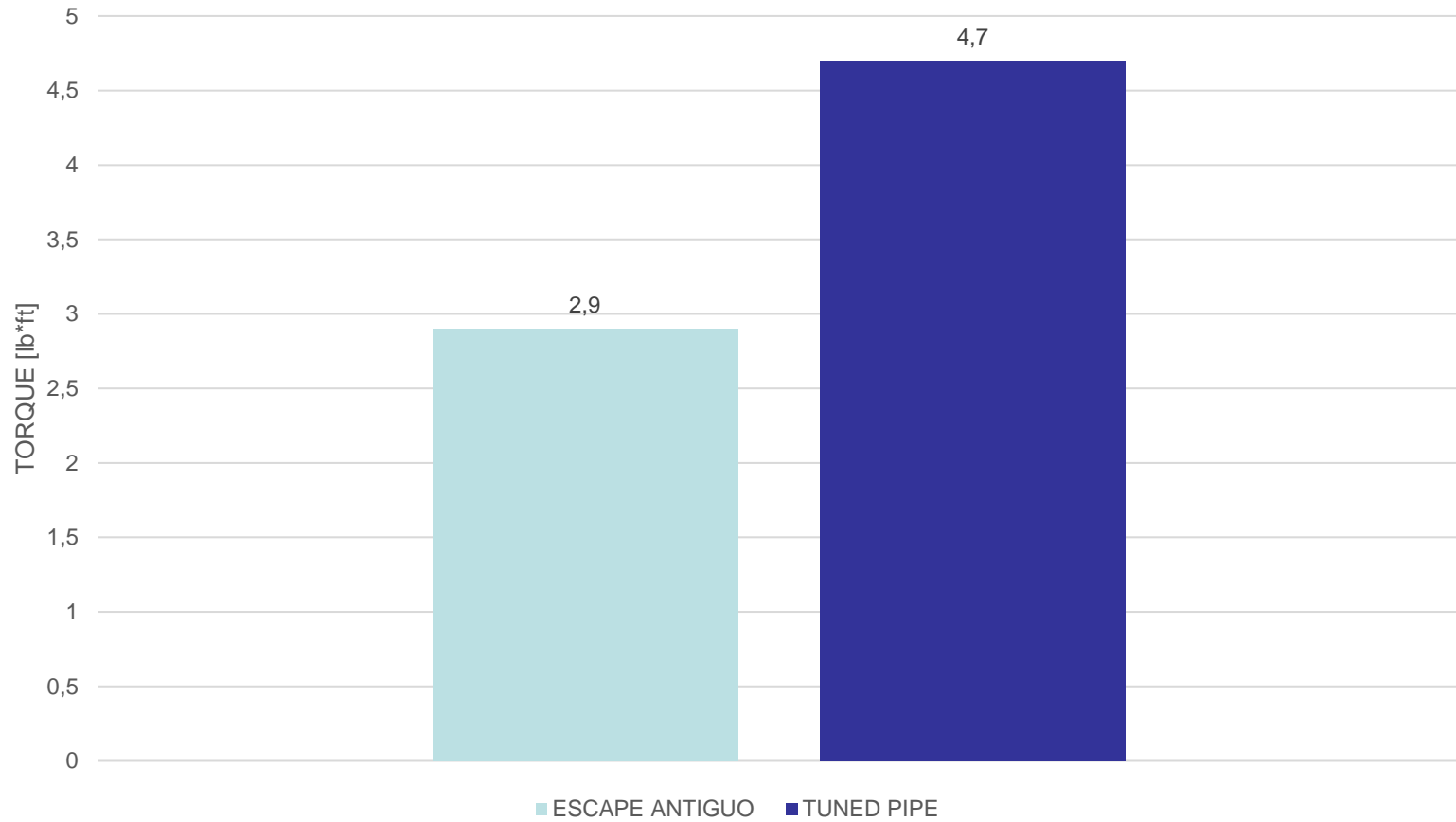
POTENCIA

POTENCIA MÁXIMA



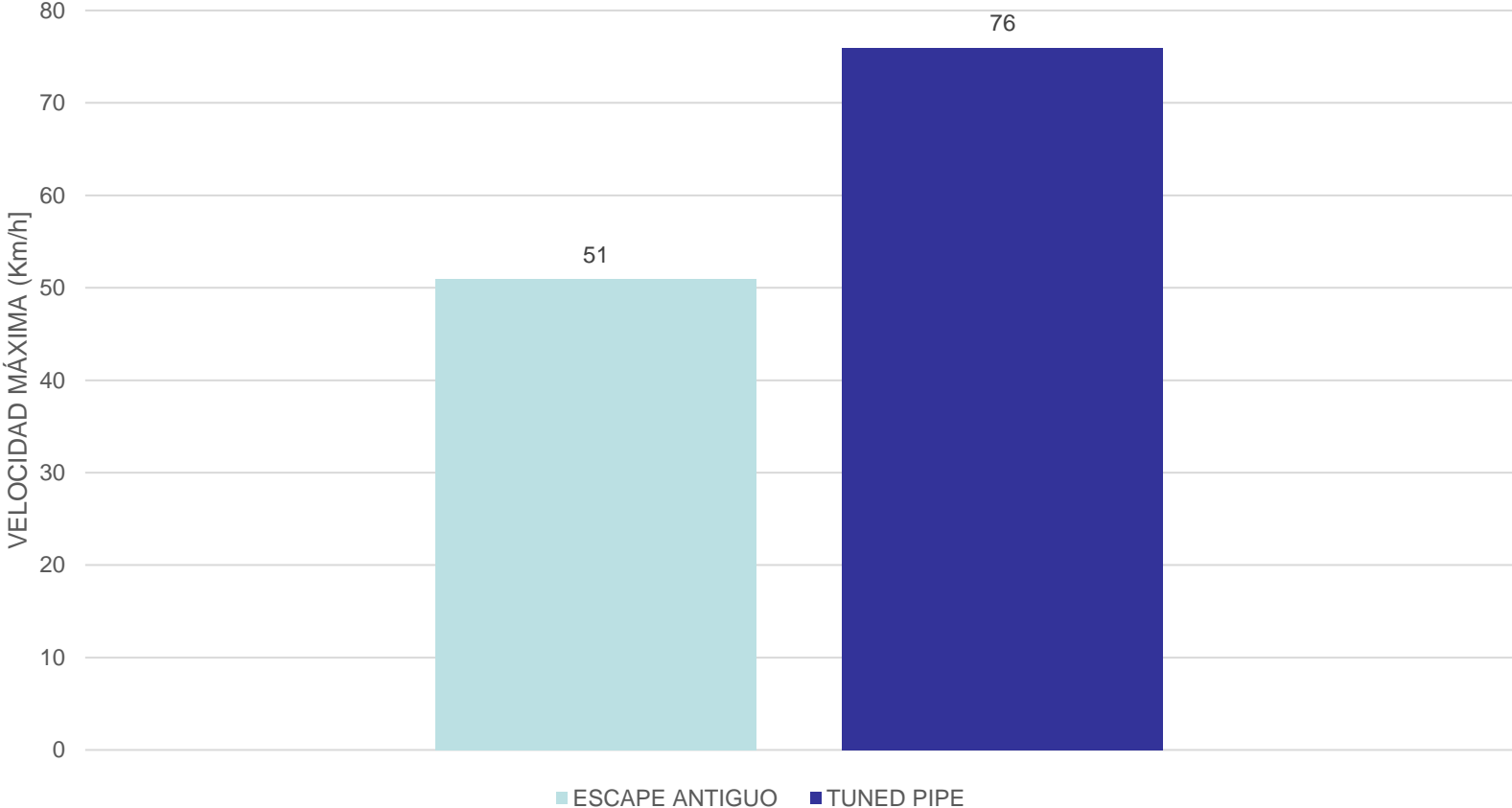
TORQUE

TORQUE MÁXIMO

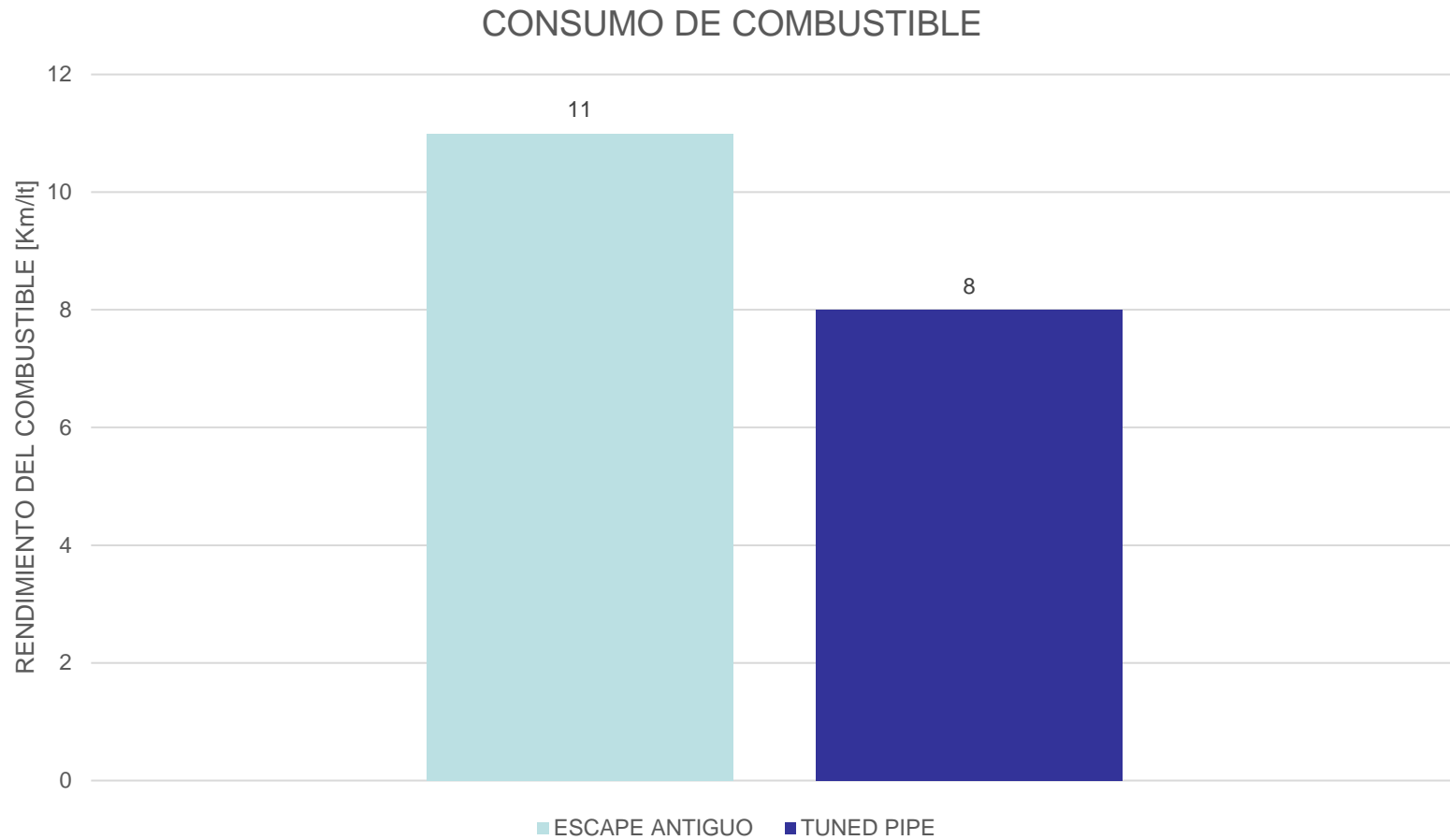


VELOCIDAD

VELOCIDAD MÁXIMA



CONSUMO DE COMBUSTIBLE



ANÁLISIS GENERAL

VALORES INICIALES Y FINALES DEL GO KART

| | ESCAPE | TUNED | PORCENTAJE |
|--|---------|-------|------------|
| | ANTIGUO | PIPE | [%] |
| POTENCIA MÁXIMA [HP] | 3.70 | 7.20 | 94.59 |
| TORQUE MÁXIMO [LB*FT] | 2.90 | 4.70 | 62.07 |
| VELOCIDAD MÁXIMA [KM/H] | 51 | 76 | 49 |
| RENDIMIENTO DEL COMBUSTIBLE [KM/LT] | 11 | 8 | -27.27 |
| AUTONOMÍA [KM] | 41.63 | 30.28 | -27.27 |



CONCLUSIONES

- Según lo investigado sobre el funcionamiento de los motores de 2 tiempos, en el tiempo de escape, existe una pérdida volumétrica de mezcla fresca de aire/combustible por lo que se hace necesario el desarrollo de un sistema de escape capaz de minimizar este efecto mejorando su eficiencia y rendimiento
- Analizadas las especificaciones del motor AX100 que consta como unidad de potencia del Go Kart de la Universidad de las Fuerzas Armadas, es necesario el diseño de un sistema de escape Tuned Pipe con un diámetro inicial de 33mm el cual se acopla a la lumbrera de escape del motor, seguido de una sección con un diámetro de 107.27mm como elemento de resonancia y un aguijón de salida de 23.1mm de diámetro para la evacuación de gases combustionados, con un diseño que permita el cumplimiento de la normativa CIK-FIA
- Con el diseño elaborado y probado a través de un prototipo rápido sobre el Go Kart se procedió a realizar un estudio fluidodinámico para analizar el flujo de gases en el sistema de escape Tuned Pipe comprendiendo el reflujo de gases combustionados existentes que influyen en la reinserción de combustible perdido por la lumbrera en el tiempo de escape



CONCLUSIONES

- Se implementó el sistema de escape Tuned Pipe cumpliendo los parámetros de diseño establecidos, mediante el ensamble de 11 piezas de acero inoxidable 304 de 1mm de espesor unidas a través de soldadura obteniendo un producto que se adecua perfectamente a las dimensiones del motor
- Con las pruebas de laboratorio y de pista realizadas al Go Kart con la implementación del sistema de escape Tuned Pipe se observa que se obtiene una potencia de 7.20 HP con un torque de 4.70 lb*ft, velocidad máxima de 76 km/h, un rendimiento del combustible de 8km/lt y una autonomía de 30.28km
- Mediante los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio y de pista comparado el sistema de escape antiguo y el sistema de escape Tuned Pipe se obtuvo una mejoría de 94.59% en la potencia máxima, 62.07% en torque máximo y 49% de velocidad máxima, sin embargo, el rendimiento del combustible se ve afectado directamente, reduciendo su autonomía en un 27.27%
- La implementación del sistema de escape Tuned Pipe genera un incremento de potencia la cual exige una mayor cantidad de aire como también de combustible, por lo que su consumo aumenta en un 27.27%.



RECOMENDACIONES

- Analizar el funcionamiento del sistema de escape Tuned Pipe utilizando sensores instalados en diferentes puntos del sistema realizando una validación con el estudio fluidodinámico por computador.
- Realizar un análisis experimentando con combustible de diferente octanaje, así como también variando la proporción de la mezcla combustible y aceite para identificar la variación de los parámetros de rendimiento del motor.
- Ejecutar un proceso de optimización al diseño original tomando nuevamente todos los datos necesarios y recalculando el diseño del escape con la finalidad de obtener mejores resultados considerando que con cada optimización puede aumentar el porcentaje de perfeccionamiento
- Generar un estudio de silenciadores que permitan la reducción de ruido sin comprometer la potencia máxima alcanzada con la implementación del sistema de escape Tuned Pipe.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

FECHA ÚLTIMA REVISIÓN: 03/05/2017

CÓDIGO: SGC.DI.260

VERSIÓN: 1.0

