



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“OPTIMIZACIÓN ACÚSTICA DE SILENCIADORES REACTIVOS DE MOTORES ESTACIONARIOS MONOCILÍNDRICOS, MEDIANTE INGENIERÍA ASISTIDA COMPUTACIONAL.”

AUTOR: PASTRANO ANDRANGO, JOSE ESTEBAN

DIRECTOR: ING. MANJARRES ARIAS, FELIX JAVIER M. Sc.



“ La mayor satisfacción que puedes tener de cualquier cosa que hagas en la vida, es la sensación que tienes cuando lo haces realmente bien. ”

Michael Schumacher.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CONTENIDO

- OBJETIVO GENERAL
- OBJETIVOS ESPECÍFICOS
- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- META
- HIPÓTESIS
- MARCO TEÓRICO
- DISEÑO Y CONSTRUCCION
- PRUEBAS Y RESULTADOS
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES



Objetivo General

Optimizar la geometría de silenciadores reactivos en motores monocilíndricos, mediante ingeniería asistida computacional; con la finalidad de reducir los niveles de ruido, garantizando el óptimo desempeño del motor



Objetivos Específicos

- Detallar las geometrías de silenciador que serán analizadas a través del método de elementos finitos.
- Obtener los valores de temperatura y velocidad de los gases de escape del motor; a través de técnicas de medición y análisis estadístico que permitan obtener valores confiables.
- Detallar las técnicas empleadas en la fase de preprocesamiento de la simulación mediante elementos finitos.
- Analizar el comportamiento del fluido en el interior del silenciador a través de la ingeniería asistida computacional.
- Construir los prototipos de silenciador capaces de reducir los niveles de presión acústica, producto de la combustión en los motores monocilíndricos.



Objetivos Específicos

- Describir los procesos, empleados en la fabricación de los prototipos de silenciador.
- Realizar un análisis comparativo a través de gráficos que permitan contrastar los valores de temperatura, velocidad y presión a lo largo de la geometría del silenciador.
- Comparar los parámetros de atenuación del sonido, del silenciador original y de las geometrías optimizadas mediante gráficos estadísticos.
- Determinar los niveles de contrapresión generados en el silenciador y su efecto en el desempeño del motor



Metas

- Obtener un prototipo de silenciador capaz de reducir los niveles de presión sonora y que garantice el correcto desempeño del motor.
- Obtención de los valores de presión, temperatura, y velocidad del flujo en el interior del silenciador.
- Análisis del fenómeno de contrapresión y su incidencia en el desempeño del motor



Hipótesis

A través del diseño asistido por computador y análisis CFD se obtendrá un modelo de silenciador, que aplicado al motor monocilíndrico estacionario de cuatro tiempos de 7HP, reducirá los niveles de presión sonora producto de la combustión, en un 15%.



Marco Teórico

Motores estacionarios monocilíndricos

- Diseño compacto
- Fácil de manipular
- Adapta a una variedad de máquinas

Características del MCI

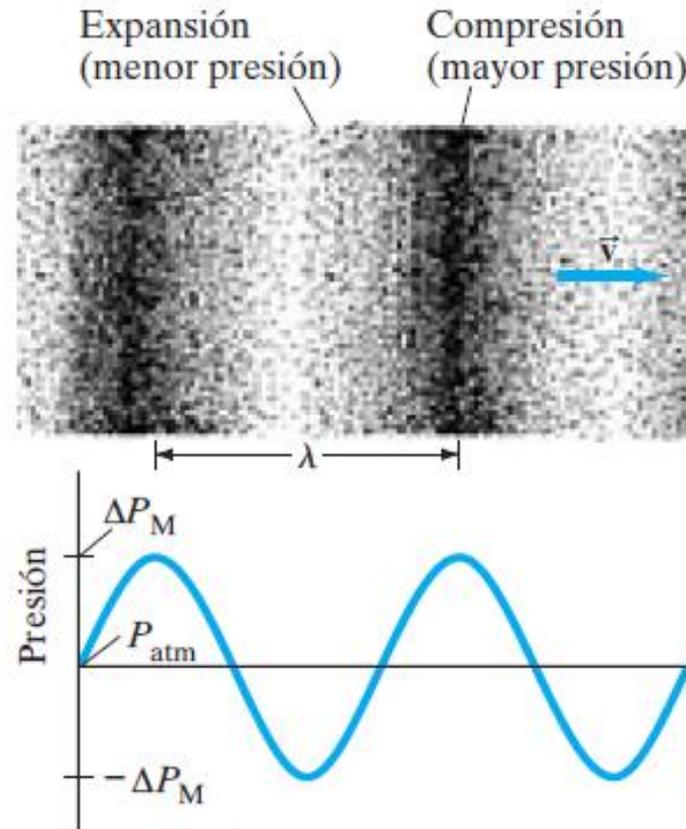


Marca	KYODO
Numero de cilindros	Monocilíndrico
Ciclo de trabajo	4T
Potencia	7 HP
rpm	3500
Combustible	Gasolina
Tipo de arranque	Manual
Disposición de las válvulas	OHV



El sonido y sus propiedades

Zonas de presión de una onda sonora



(Giancoli, 2008, p. 426)

El sonido y sus propiedades

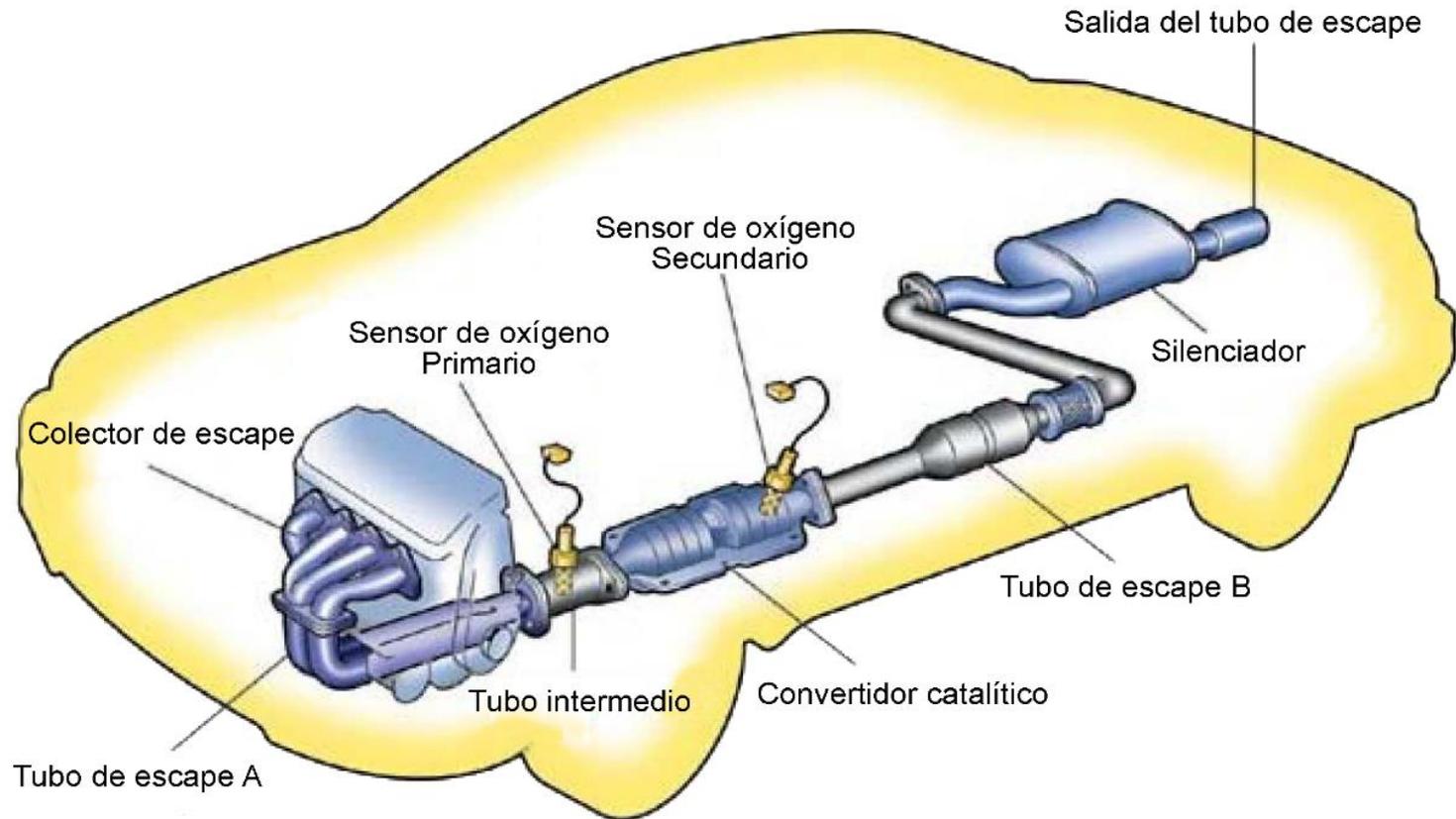
Gama audible	Presión sonora (Pa)	Intensidad sonora (W/m^2)	Escala logarítmica (dB)
Sonido tenue	3×10^{-5}	10^{-12}	0
Umbral del dolor	30	1	120

Tomado de: (Serway & Jewett, 2008, p. 481)



Sistema de escape

Partes del sistema de escape de un vehículo



Tomado de (TOYOCOSTANOTICIA, 2014)



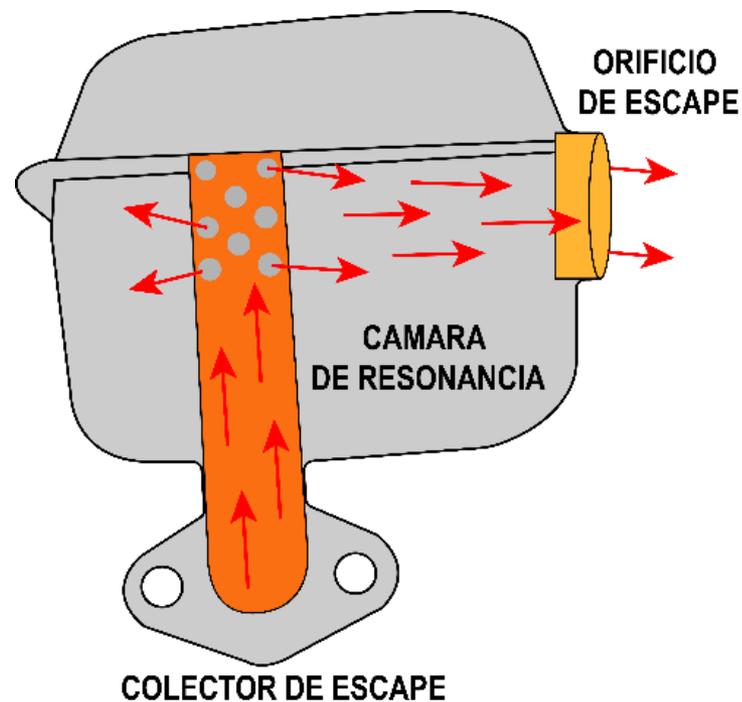
Sistema de escape

Sistema de escape de un motor estacionario a gasolina



Sistema de escape

Silenciador del motor KYODO 7HP



Niveles de contrapresión

- Los silenciadores reactivos reducen los niveles de ruido en función de la geometría interna.
- Los silenciadores en el interior poseen cambios de secciones
- La fase de escape requiere de energía para liberar los gases de escape



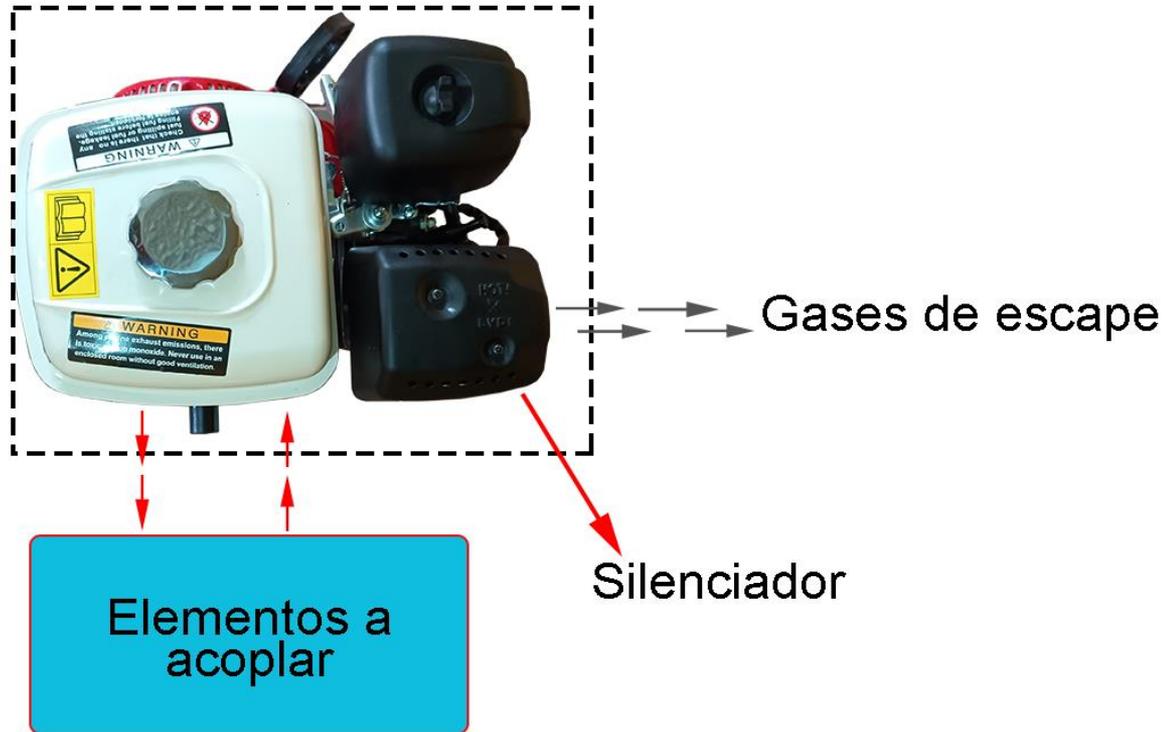
Tamaño del motor	Límite de contrapresión
Menos de 50kW	40kPa
50-500 kW	20kPa
Mas de 500kW	10kPa

Tomado de: (UMESH et al., 2013, p. 46)



Diseño y Construcción

Configuración del silenciador en el conjunto motor



Flujo de los gases de escape

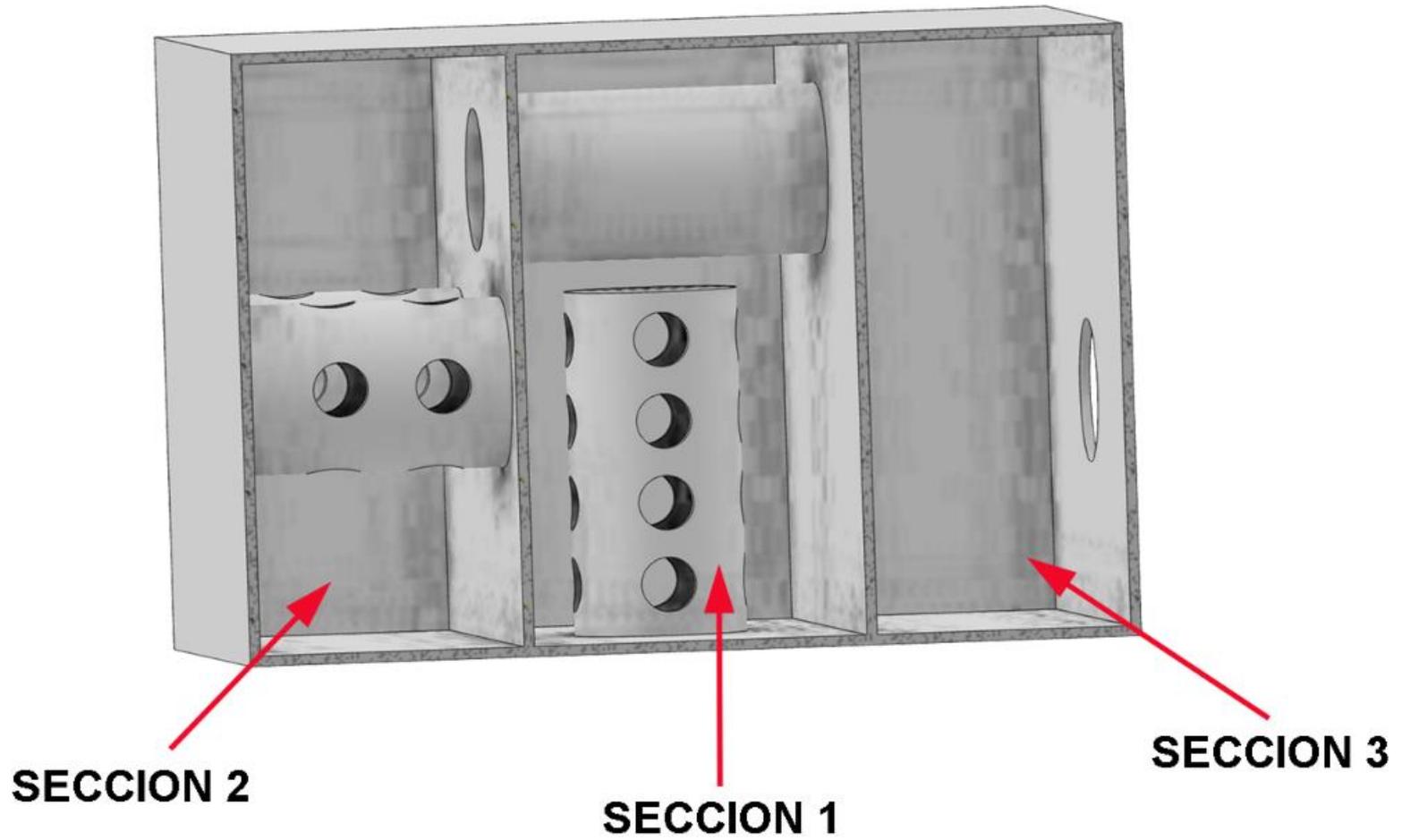
Instrumento	Rango de velocidades optimo	Rango aproximado de temperaturas
Anemómetros de molinete	5 - 40 m/s	<350 °C

Velocidad promedio	10.7 m/s
Temperatura promedio	310.5 °C

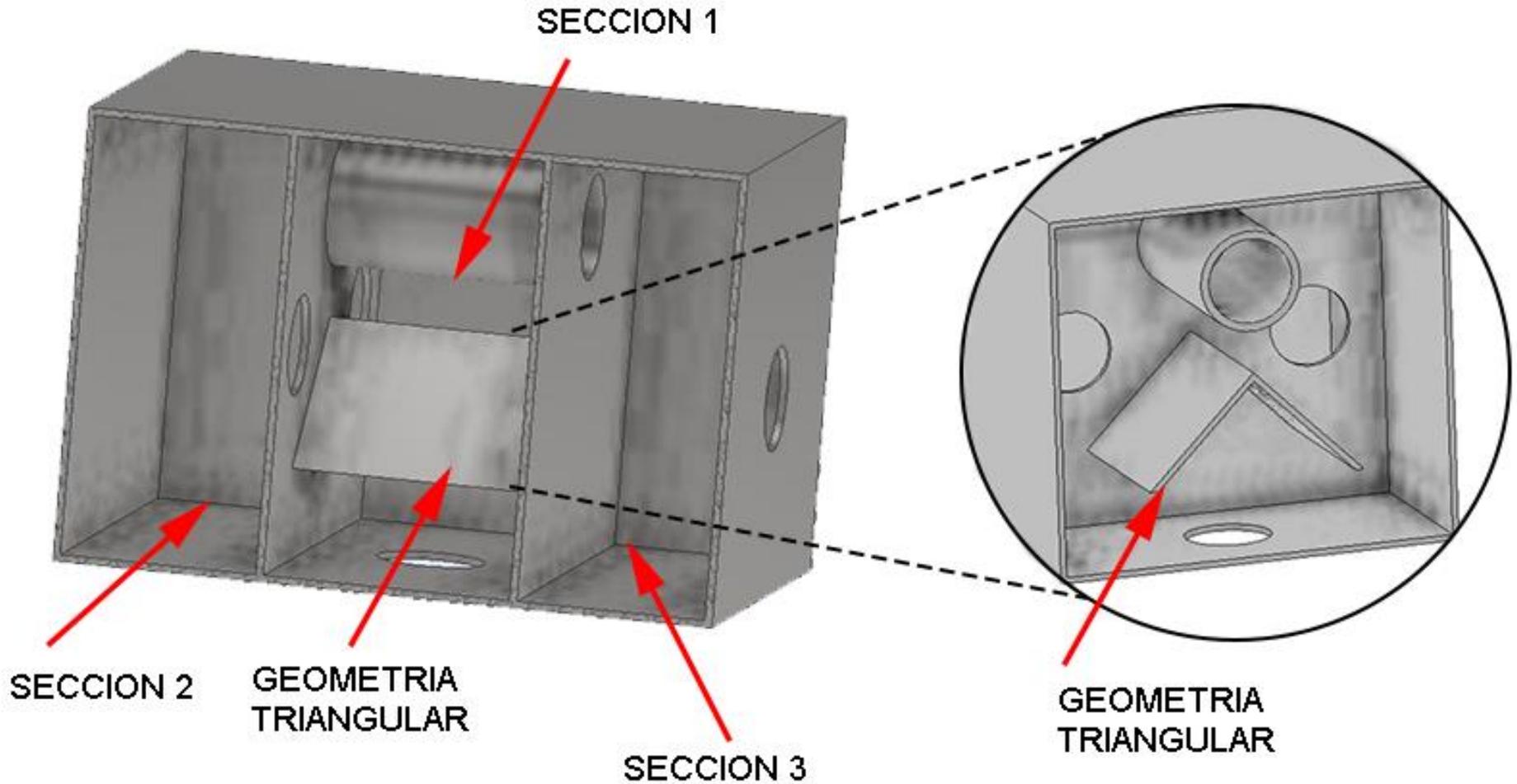
$$Re = \frac{v D}{\nu} = \frac{10.7 * 0.021}{4.091 * 10^{-5}} = 5492 \text{ Flujo turbulento}$$



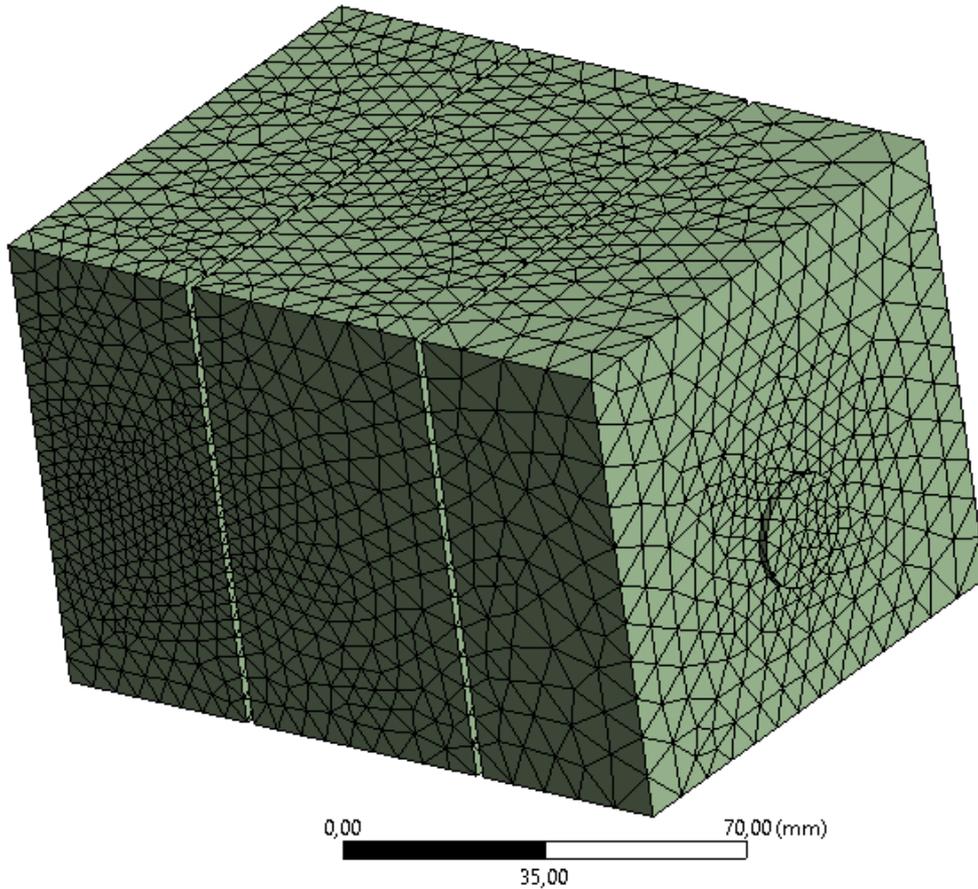
Geometría del Prototipo 1



Geometría del Prototipo 2



Mallado del Prototipo 1



Ansys
2021 R2
STUDENT

⊕	Defaults	
⊕	Sizing	
⊖	Quality	
	Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/>	Target Skewness	Default (0.900000)
	Smoothing	Medium
	Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/>	Min	5,174e-005
<input type="checkbox"/>	Max	0,71227
<input checked="" type="checkbox"/>	Average	0,22479
<input type="checkbox"/>	Standard Deviation	9,8529e-002
⊕	Inflation	
⊕	Advanced	
⊕	Statistics	

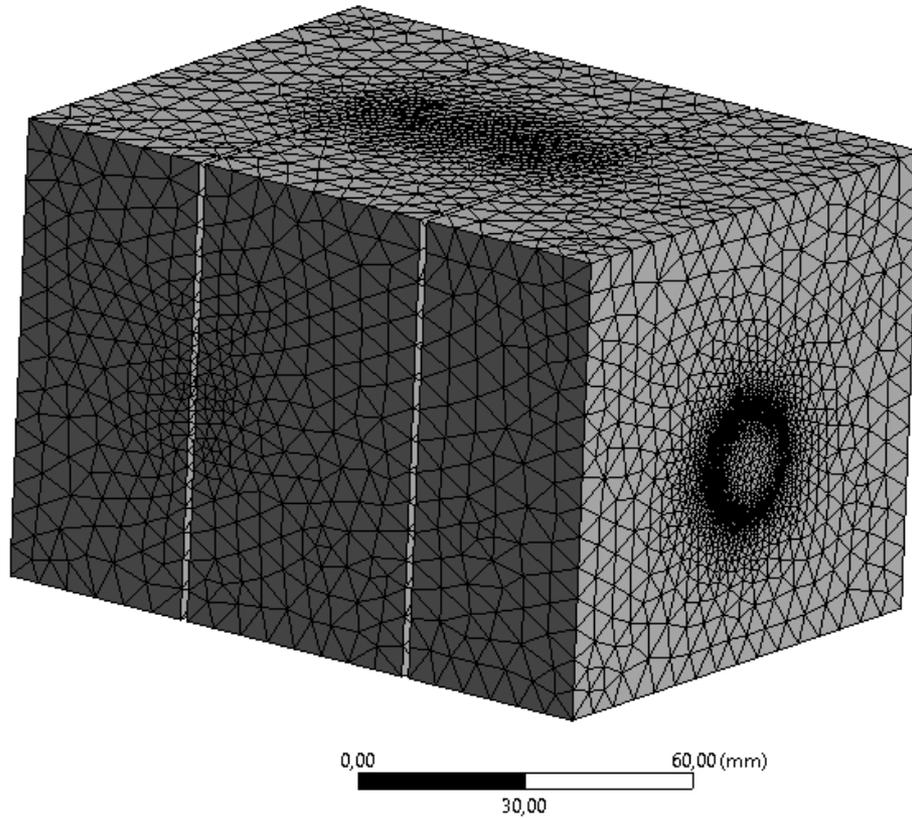
Details Section Planes

Skewness:0.224



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Mallado del Prototipo 2



Ansys
2021 R2
STUDENT

+	Display	
+	Defaults	
+	Sizing	
-	Quality	
	Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/>	Target Skewness	Default (0.900000)
	Smoothing	Medium
	Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/>	Min	1,5122e-005
<input type="checkbox"/>	Max	0,70844
<input type="checkbox"/>	Average	0,22907
<input type="checkbox"/>	Standard Deviation	0,10036
+	Inflation	
+	Advanced	
+	Statistics	

Details Section Planes

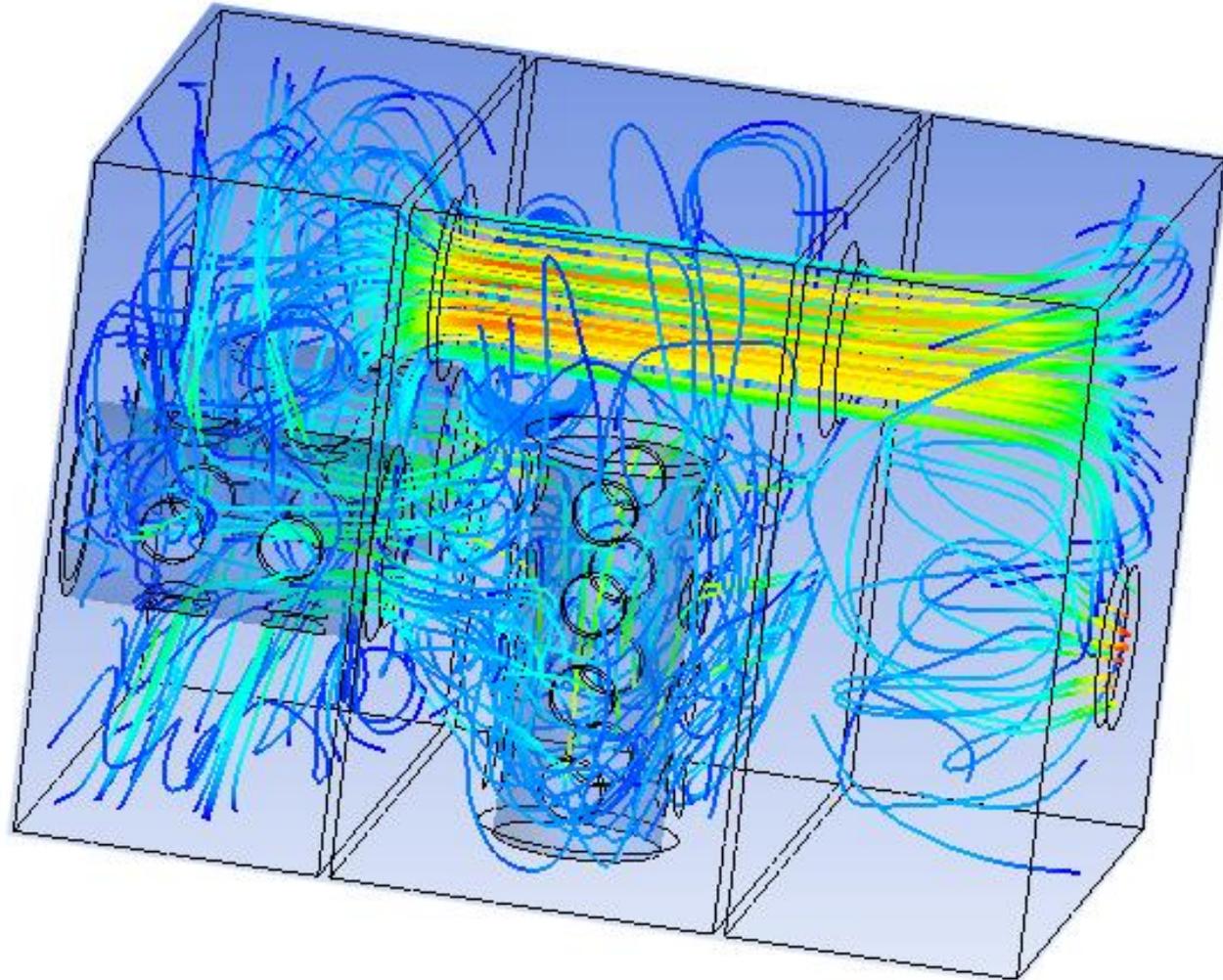
Skewness:0.229



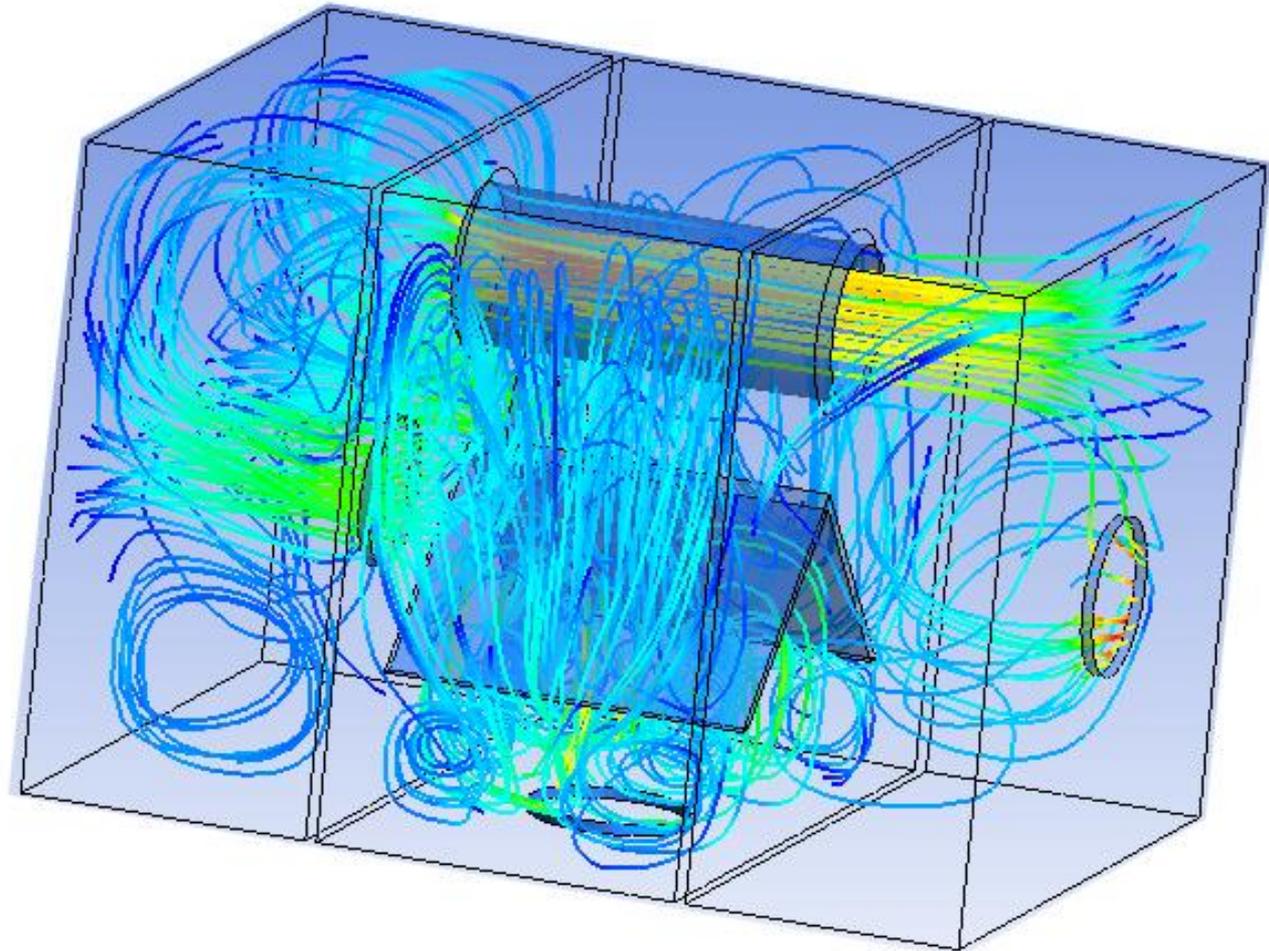
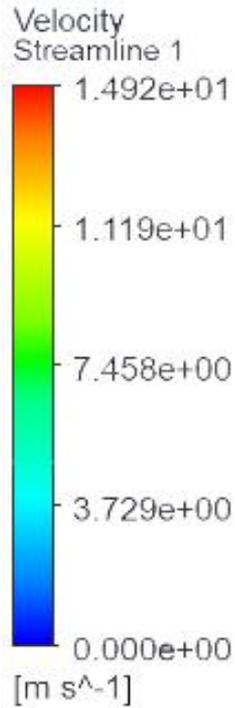
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Velocidad del fluido en el Prototipo 1

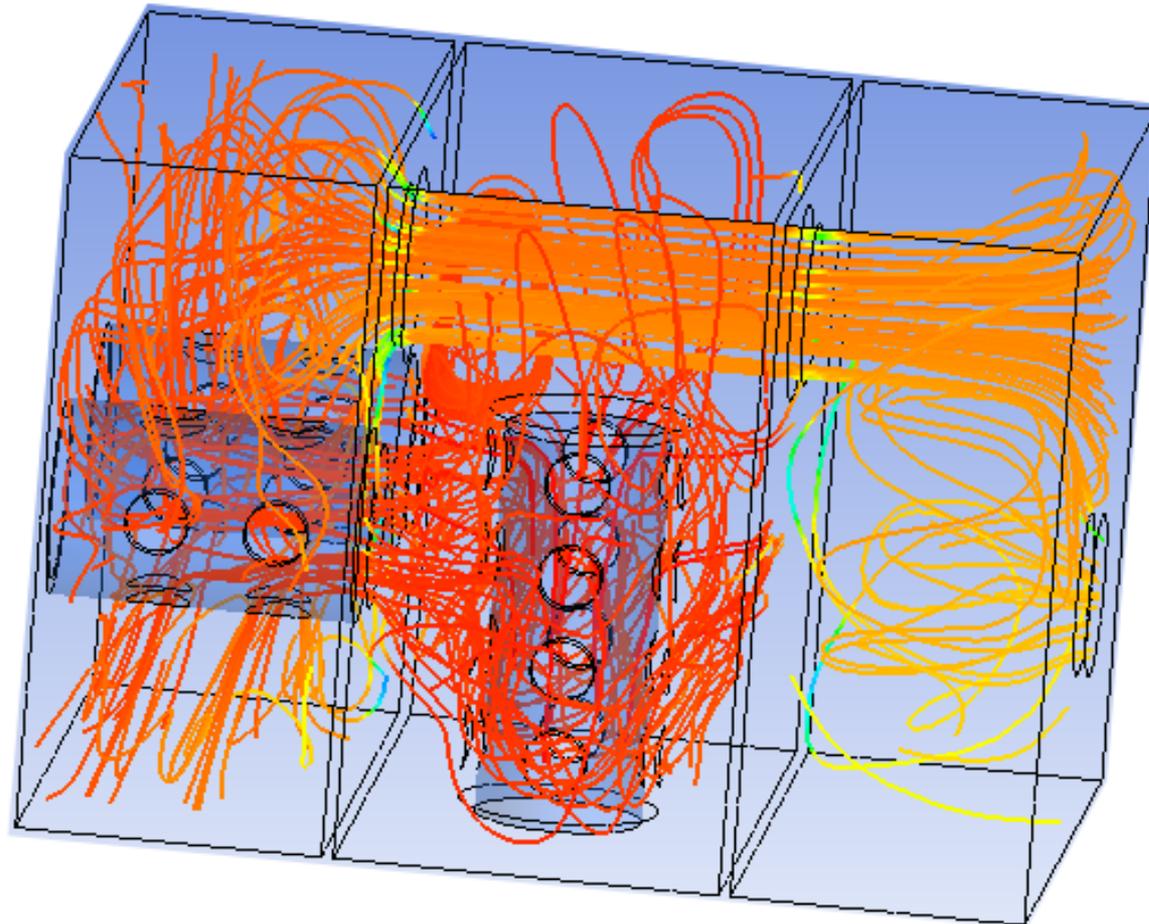
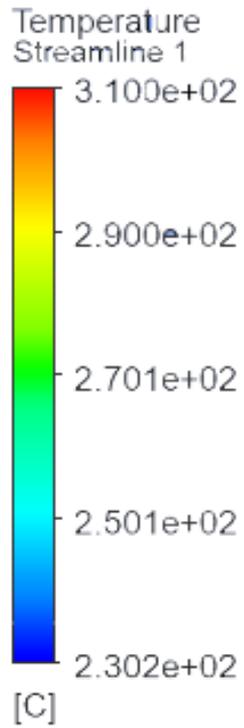
Velocity
Streamline 1
1.406e+01
1.054e+01
7.029e+00
3.515e+00
0.000e+00
[m s⁻¹]



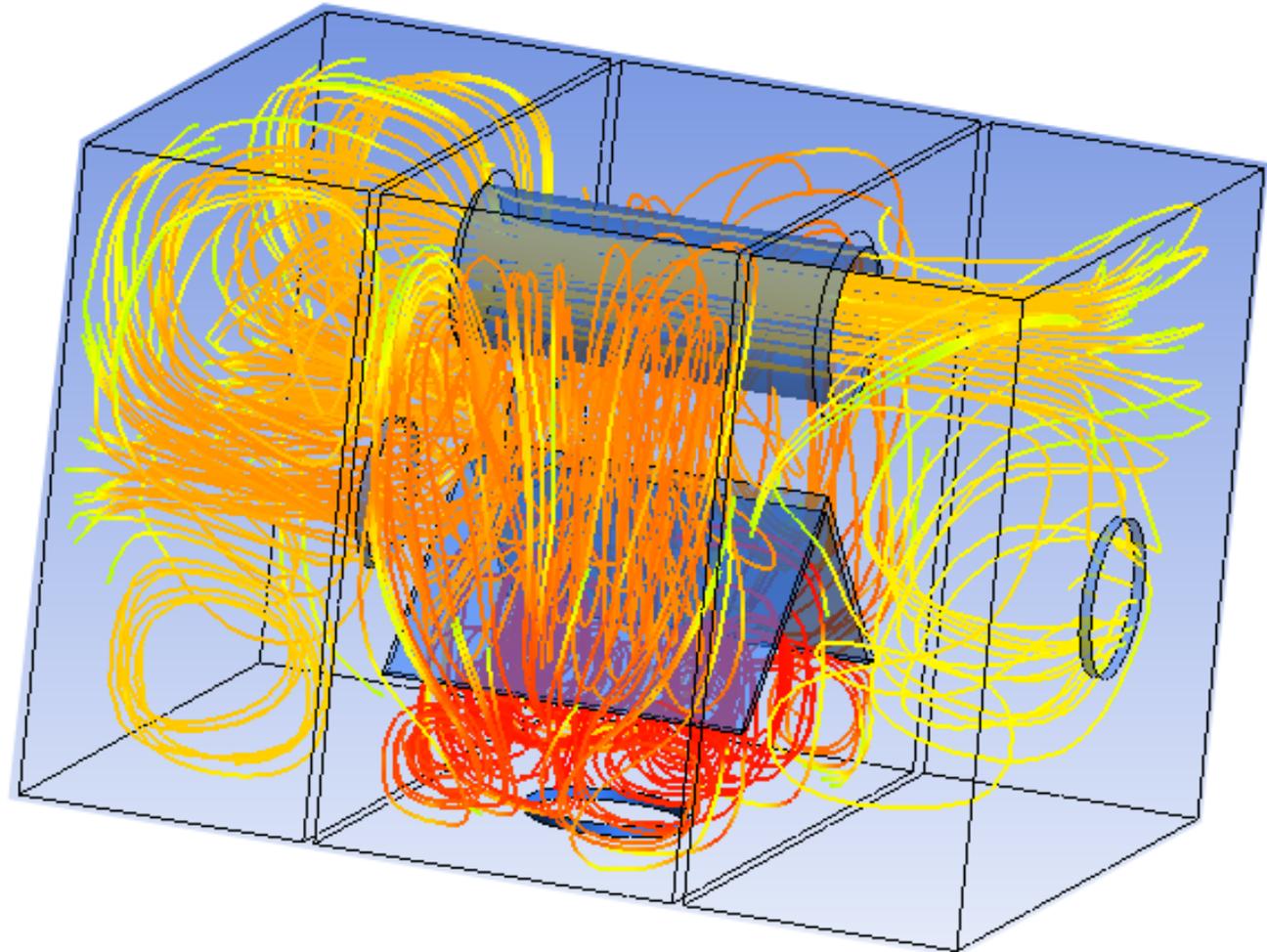
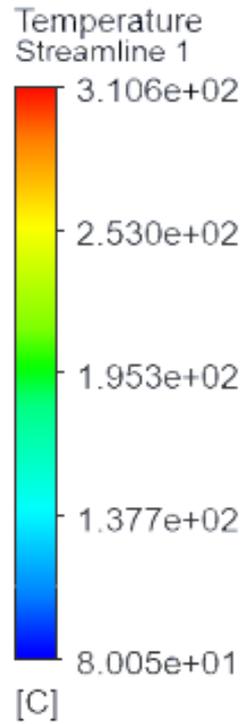
Velocidad del fluido en el Prototipo 2



Temperatura del fluido en el Prototipo 1

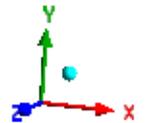
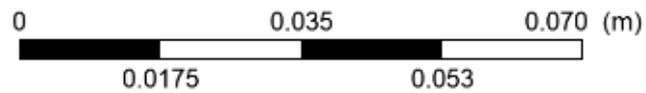
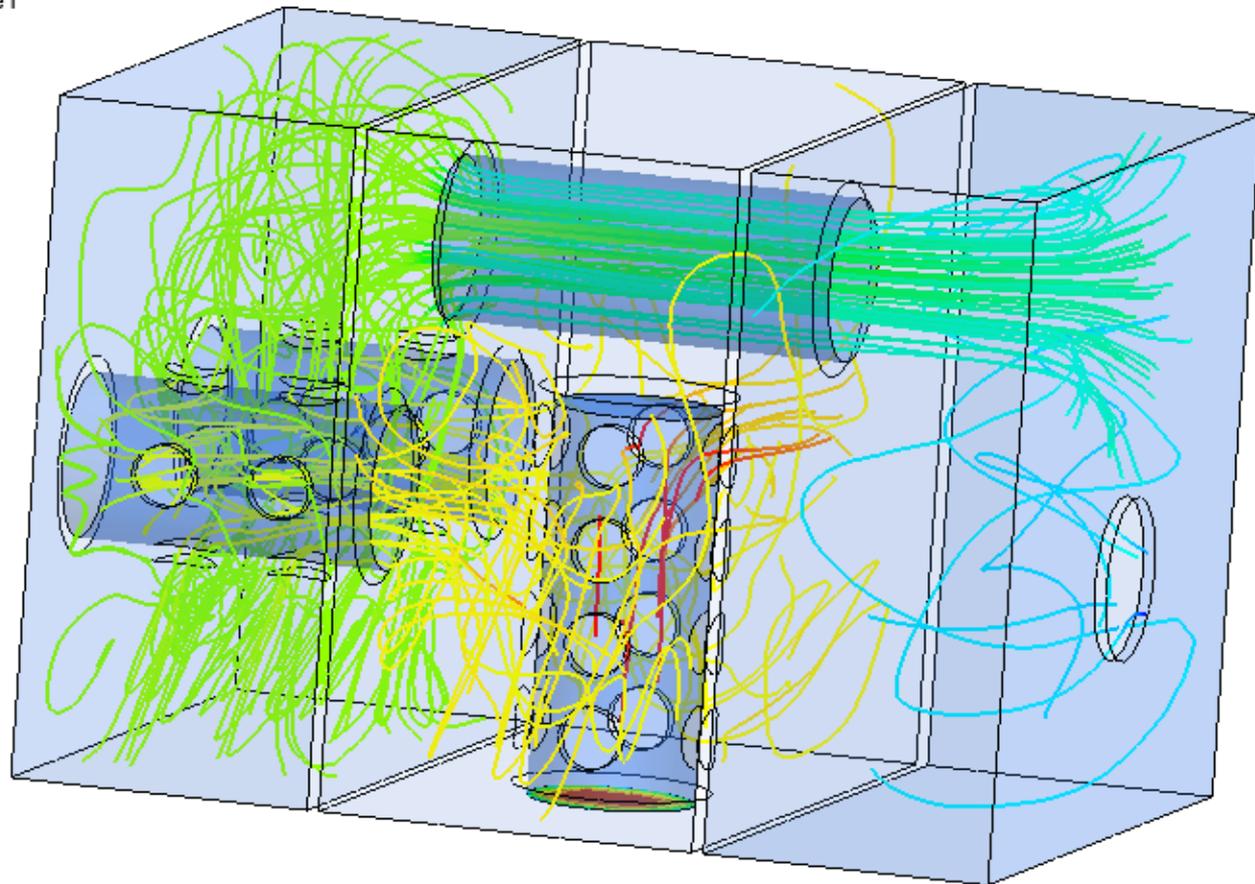
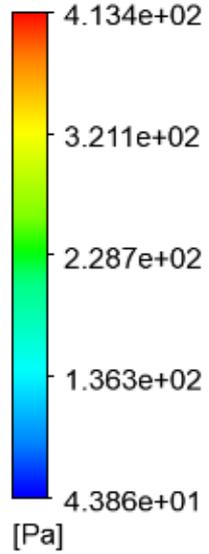


Temperatura del fluido en el Prototipo 2



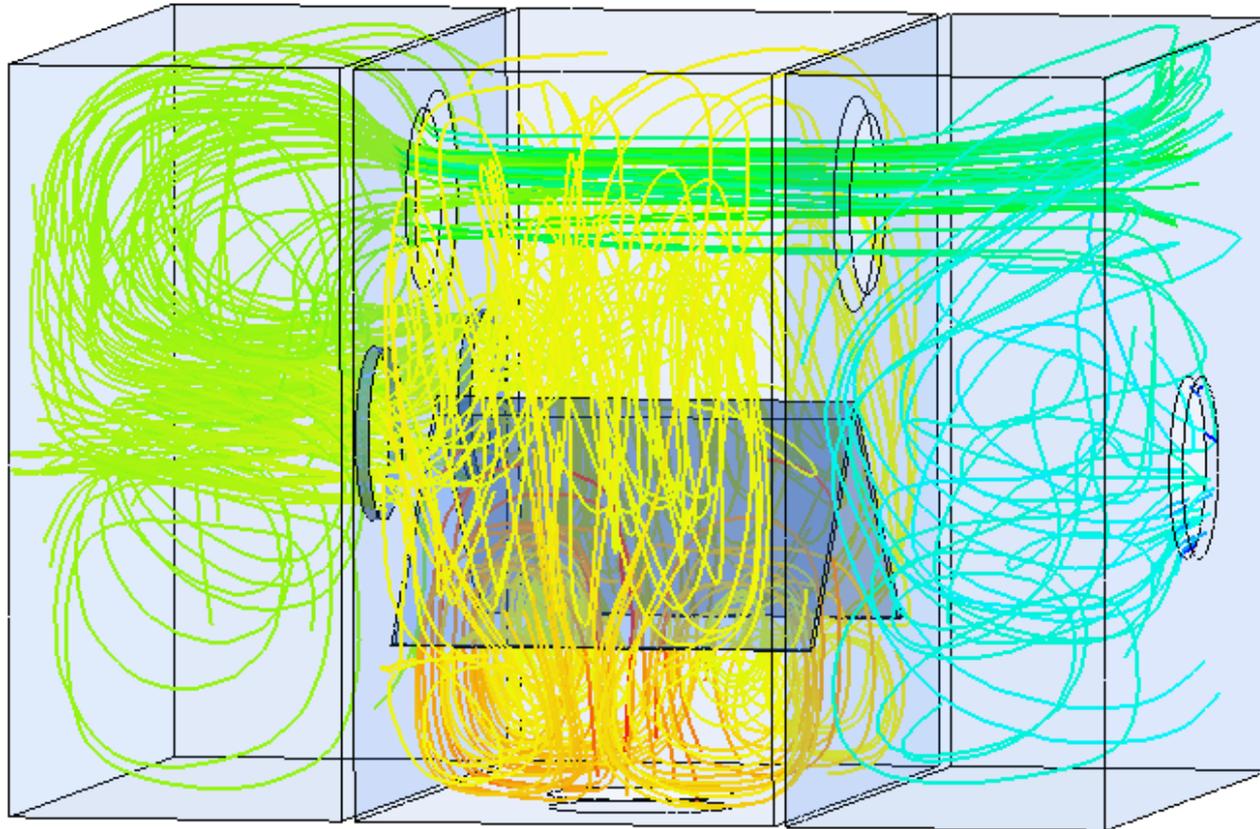
Presión del fluido en el Prototipo 1

Total Pressure
Streamline total pressure1

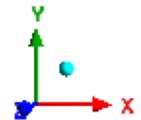


Presión del fluido en el Prototipo 2

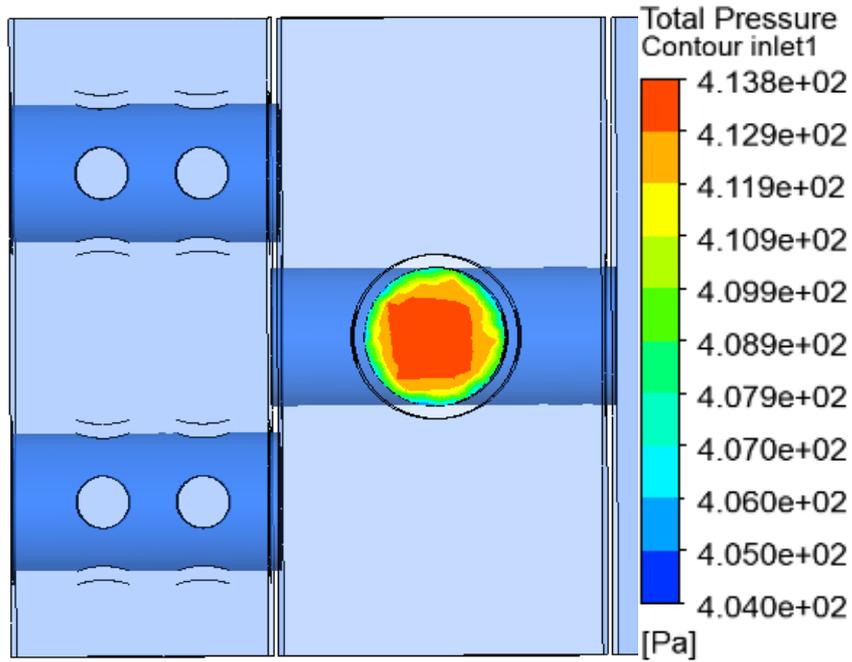
Total Pressure
Streamline 1
4.311e+02
3.335e+02
2.360e+02
1.384e+02
4.080e+01
[Pa]



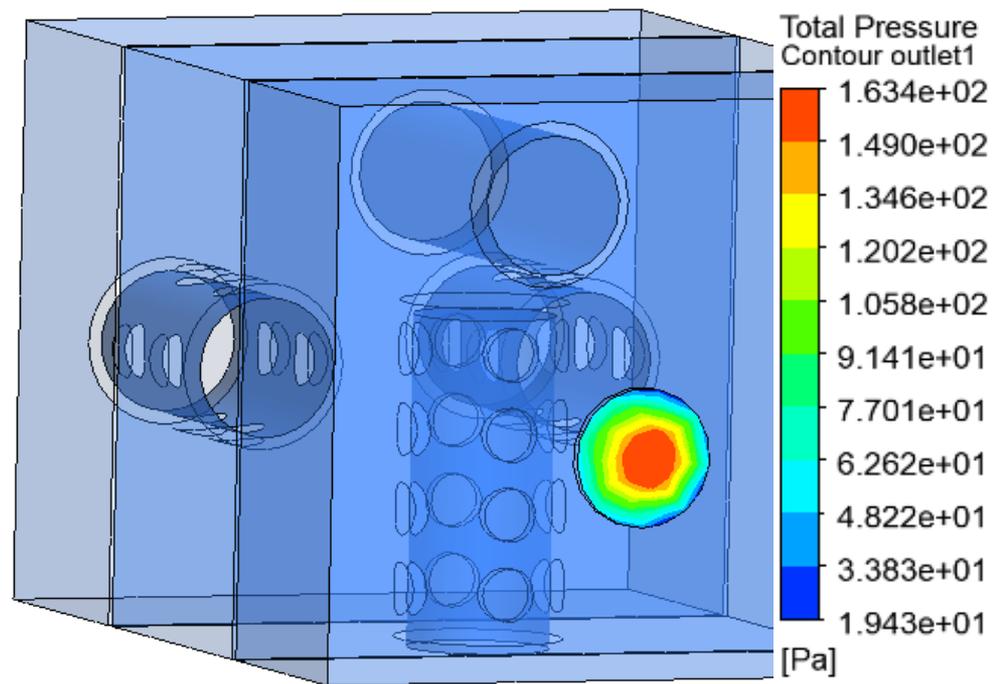
0 0.015 0.03 0.045 0.060 (m)



Niveles de contrapresión en el Prototipo 1



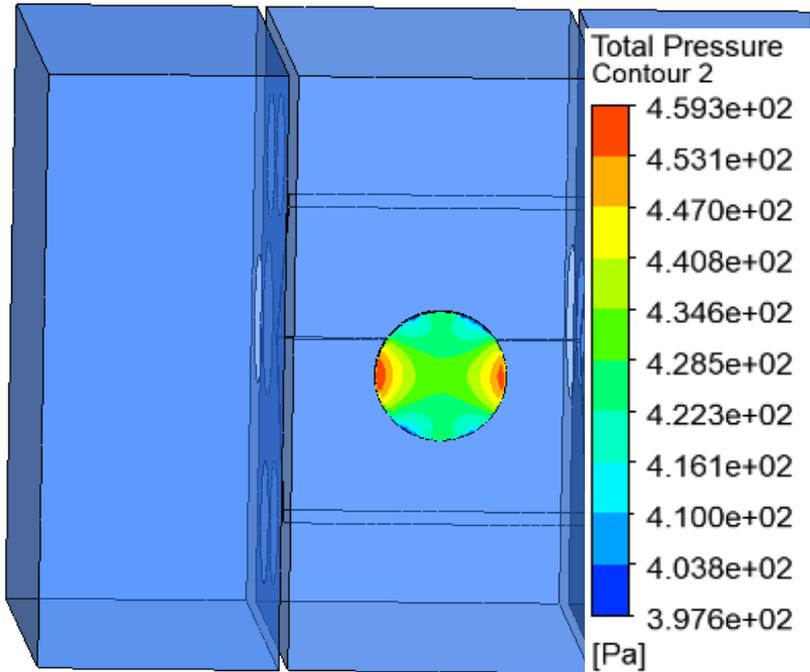
P1: 413.8 Pa.



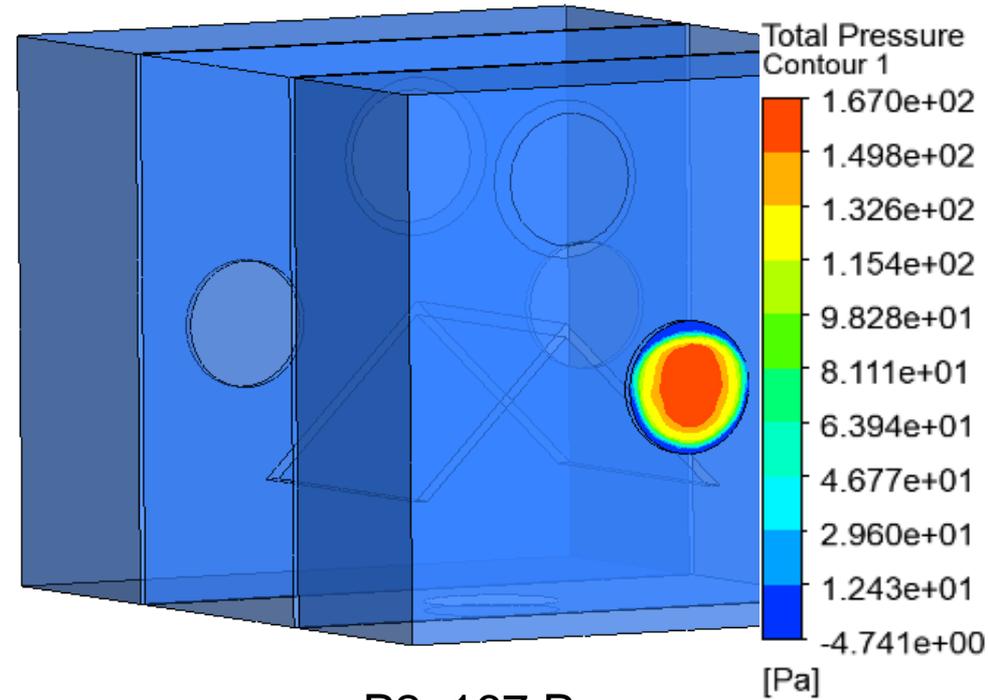
P2: 163.4 Pa.



Niveles de contrapresión en el Prototipo 2



P1: 459.3 Pa.



P2: 167 Pa.

	Presión de entrada	Presión de salida	Perdidas de presión Pa (inHg)
Prototipo 1	413.8	163.4	250.4 (0.07)
Prototipo 2	459.3	167	292.3 (0.08)



Trazado de las geometrias a cortar tomando en consideracion las medidas obtenidas en el software de diseño



Corte de las láminas y tubos acorde a las medidas establecidas



Pulido y eliminación de rebabas



Perforación de los agujeros



Suelda de las piezas mediante proceso MIG



Pulido y eliminacion de imperfecciones



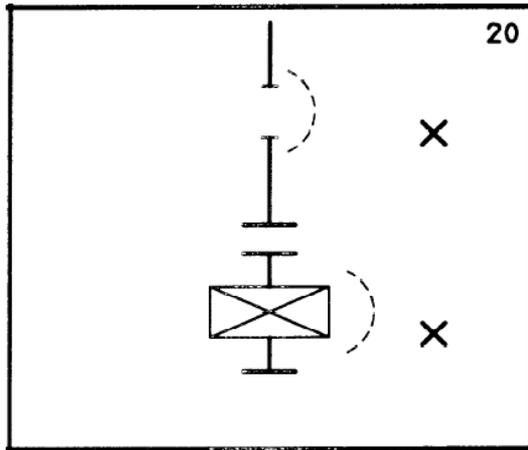
Fabricación de prototipos



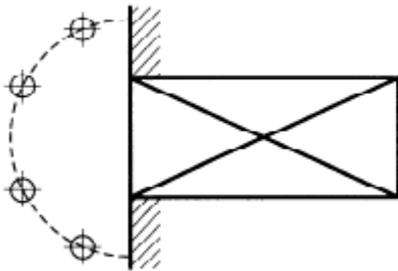
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Medición de los niveles de ruido

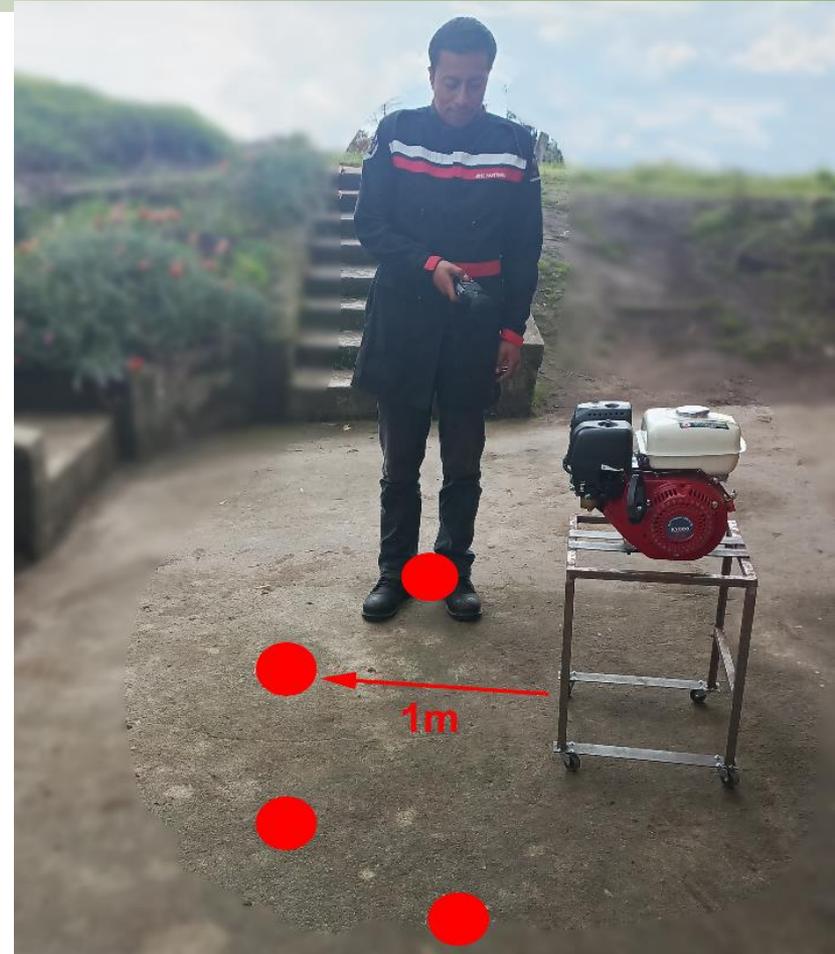
Esquema para realizar la medición



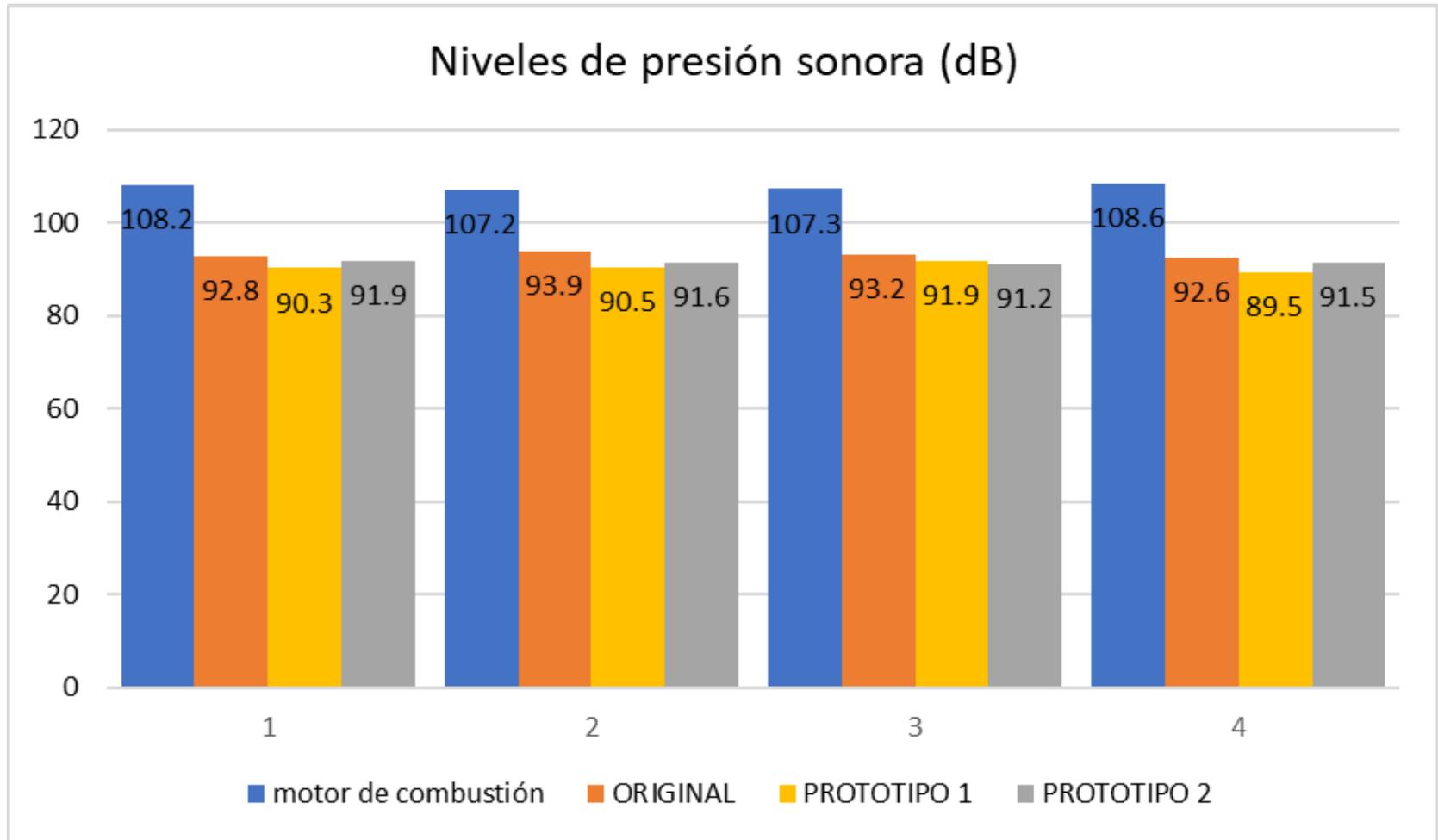
Puntos de medición



c) Spherical surface in front of a silencer

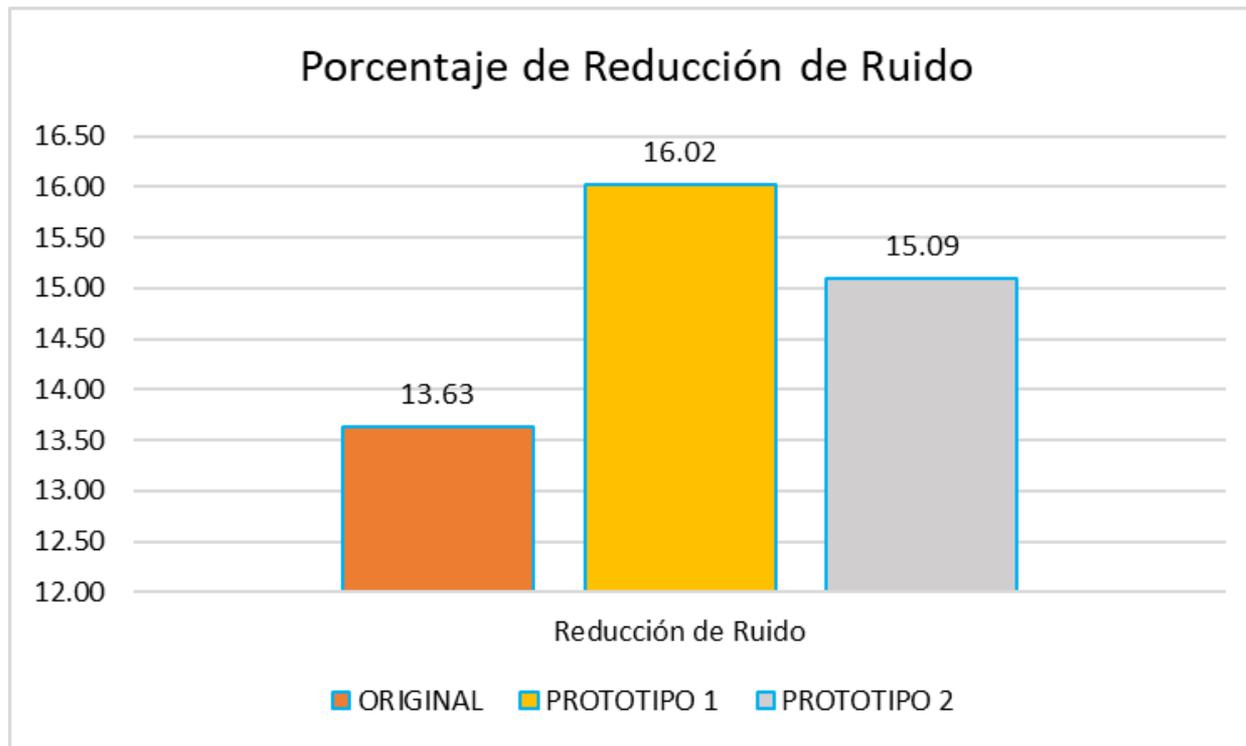


Niveles de ruido



Niveles de ruido

	Nivel de ruido dB	Perdidas por inserción dB	Reducción de ruido
Motor de combustión	107.83	-	-
Silenciador original	93.13	14.86	13.63 %
Prototipo 1	90.55	17.28	16.02 %
Prototipo 2	91.55	16.28	15.09 %



Conclusiones

- Mediante la ingeniería asistida computacional, se generó dos geometrías de silenciadores las cuales reducen los niveles de ruido en 15.09% y 16.02% frente a un 13.63% obtenido con el silenciador original; con lo cual se ha mejorado el desempeño de los silenciadores aplicados a motores monocilíndricos.
- Para efecto de la investigación se analizaron dos tipos de geometrías, el primer prototipo está compuesto por una configuración de ductos y galerías, basado en la diseño común de los silenciadores empleados en la industria automotriz, mientras que el segundo prototipo es una configuración poco convencional, que contiene en su interior un elemento de forma triangular, cuyo principal objetivo es reflejar las ondas sonoras para que se cancelen, el diseño está basado en las geometrías del fabricante de silenciadores Flow Master.
- El proceso de simulación se llevó a cabo mediante el software Ansys, por lo tanto, para realizar un proceso confiable, las condiciones de frontera se obtuvieron a través de la toma de datos en el motor de combustión monocilíndrico, los mismos procesos que fueron realizados bajo estándares y procesos estadísticos que respaldan la veracidad de los datos.
- A partir del análisis CFD se determinaron los valores de temperatura, alcanzando un valor máximo de 310 °C; esta temperatura se encuentra en la sección 1 de los silenciadores debido, a que es la primera zona que mantiene contacto con los gases de escape; no obstante a medida que el fluido atraviesa el silenciador este pierde energía en forma de calor con lo cual se reduce su valor, siendo los valores mínimos en la sección 3 de cada silenciador, debido a que es la zona más cercana al ducto de escape.



Conclusiones

- El fluido en el interior del silenciador alcanza velocidades superiores al valor de entrada, este fenómeno ocurre debido a los cambios de sección, siendo las secciones tubulares las zonas con mayor velocidad, para el prototipo 1 se obtuvo un incremento del 31.4% y para el prototipo 2 la velocidad se incrementó en 39.2%.
- Los prototipos de silenciador permitieron la reducción del ruido generado por la combustión siendo este valor igual 107.8 dB, no obstante, con la implementación de los silenciadores, los niveles de ruido disminuyeron; obteniendo un valor 90.55 dB para el prototipo 1 y 91.55dB para el prototipo 2
- El proyecto se centra en el estudio de silenciadores reactivos, lo que implica que la reducción de ruido se produce debido a la configuración de la geometría interna del silenciador. Por lo tanto, la elaboración de estas geometrías requiere procesos de fabricación convencionales como: trazado, corte, suelda y pulido.



Conclusiones

- En las dos configuraciones de silenciadores se distinguen tres zonas, de las cuales la zona 1 mantiene el primer contacto con los gases de escape, en este punto se encuentran los valores de presión velocidad y temperatura más elevados; la zona 2 o de expansión es donde se encuentran los valores intermedios de temperatura velocidad y presión, y finalmente la zona 3 en la cual se encuentra el ducto de escape es donde la presión temperatura y velocidad disminuyen.
- A partir de los niveles de ruido obtenidos para cada silenciador se concluye que el prototipo 1, mediante su configuración de ductos y galerías es el silenciador que reduce en mayor cantidad los niveles de ruido con un porcentaje de 16.02%; mientras que el prototipo 2 logra un valor de 15.09%; siendo estos valores superiores al 13.7% que alcanza el silenciador original.
- Al obtener valores de reducción de ruido de 16.02% y 15.09%, tanto con el silenciador 1 y 2 se valida la hipótesis del proyecto, con lo cual los dos prototipos superan la meta de reducción de ruido del 15%.



Recomendaciones

- Investigar la eficiencia de los silenciadores con material absorbente con la finalidad de obtener mejores resultados en la reducción de ruido.
- Aplicar el proceso de optimización a otro tipo de silenciadores para contrastar los valores con el presente estudio.
- Realizar un análisis de mercado que permita conocer la factibilidad de comercializar este tipo de silenciadores en el mercado.
- Implementar laboratorios que permitan experimentar con el diseño de autopartes.



***GRACIAS POR
SU ATENCIÓN***



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA