



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Departamento de Energía y Mecánica Carrera de Ingeniería Automotriz

**Trabajo de Unidad de Integración Curricular, Previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Automotriz**

**TEMA: “Investigación de la incidencia del sistema de inyección BI –  
FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, para el diseño y modelado por  
computador de la generación de hidrógeno a través del proceso de  
electrólisis”**

**Autores: Cevallos Suárez, Jorge Leonardo  
Iñacaza Simba, Lenin Paúl**

**Tutor: Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio**

**Latacunga, Agosto 2022**





# ➤ **CONTENIDO**

1

- Introducción

2

- Justificación

3

- Objetivos

4

- Metodología

5

- Resultados

6

- Conclusiones

7

- Recomendaciones



1

- Introducción

2

- Justificación

3

- Objetivos

4

- Metodología

5

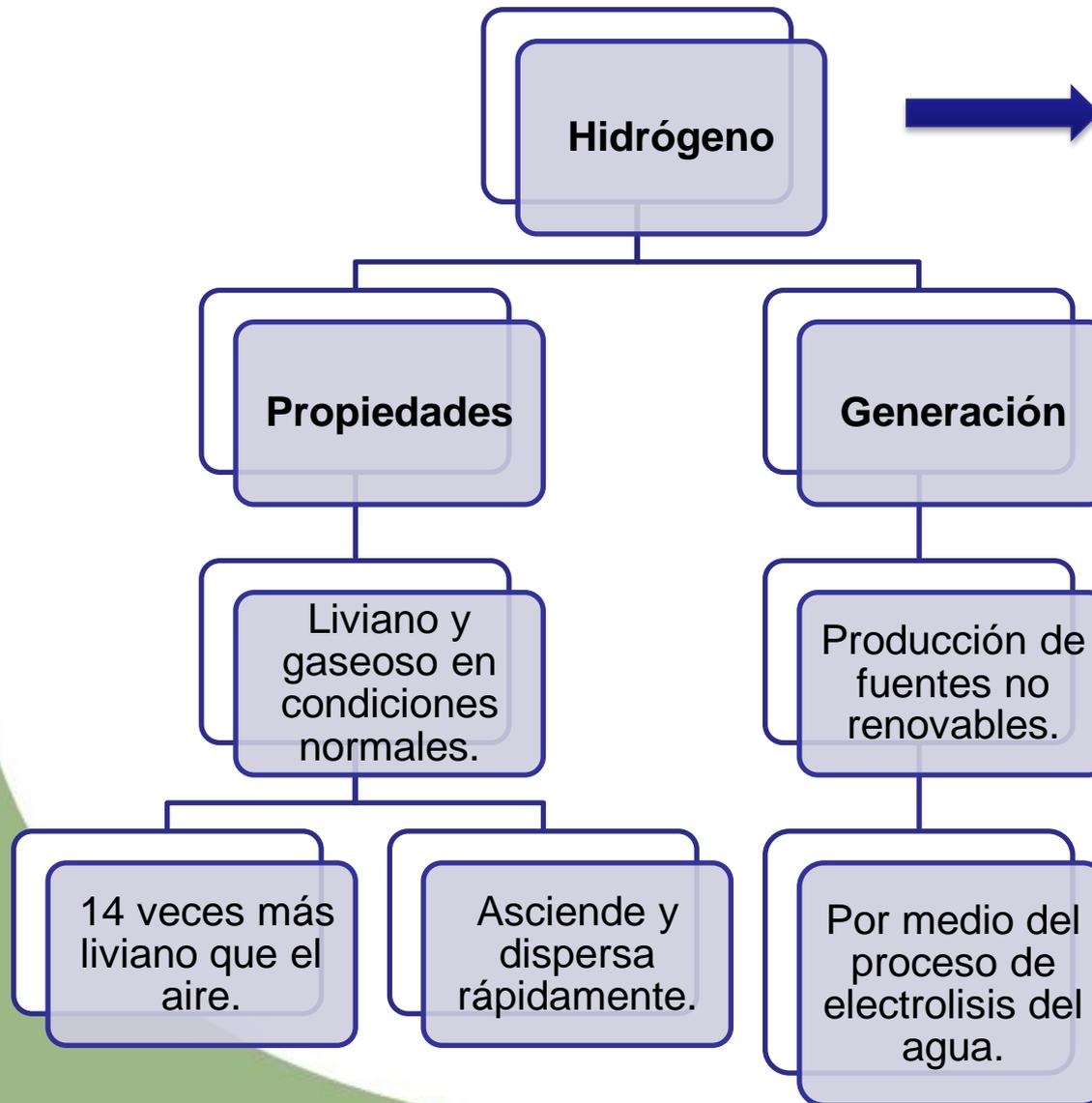
- Resultados

6

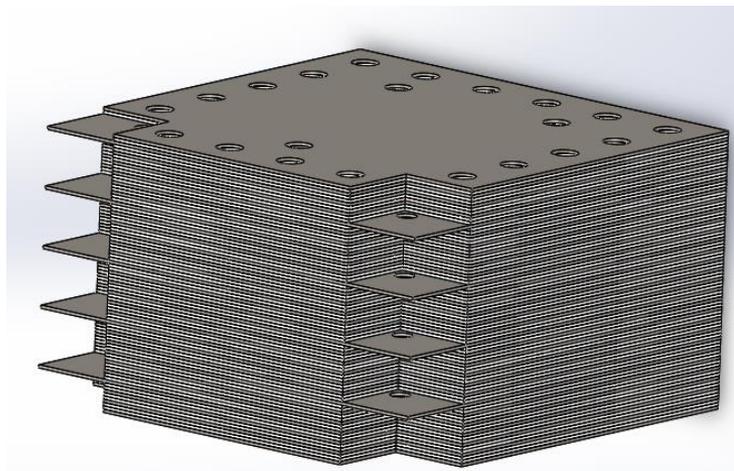
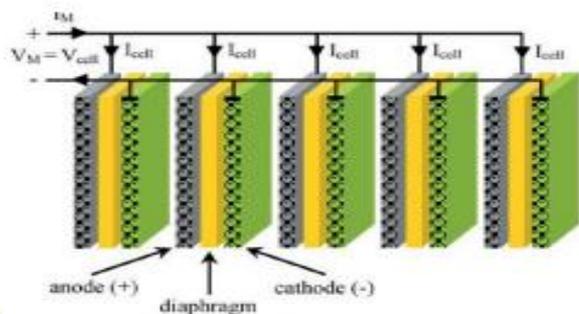
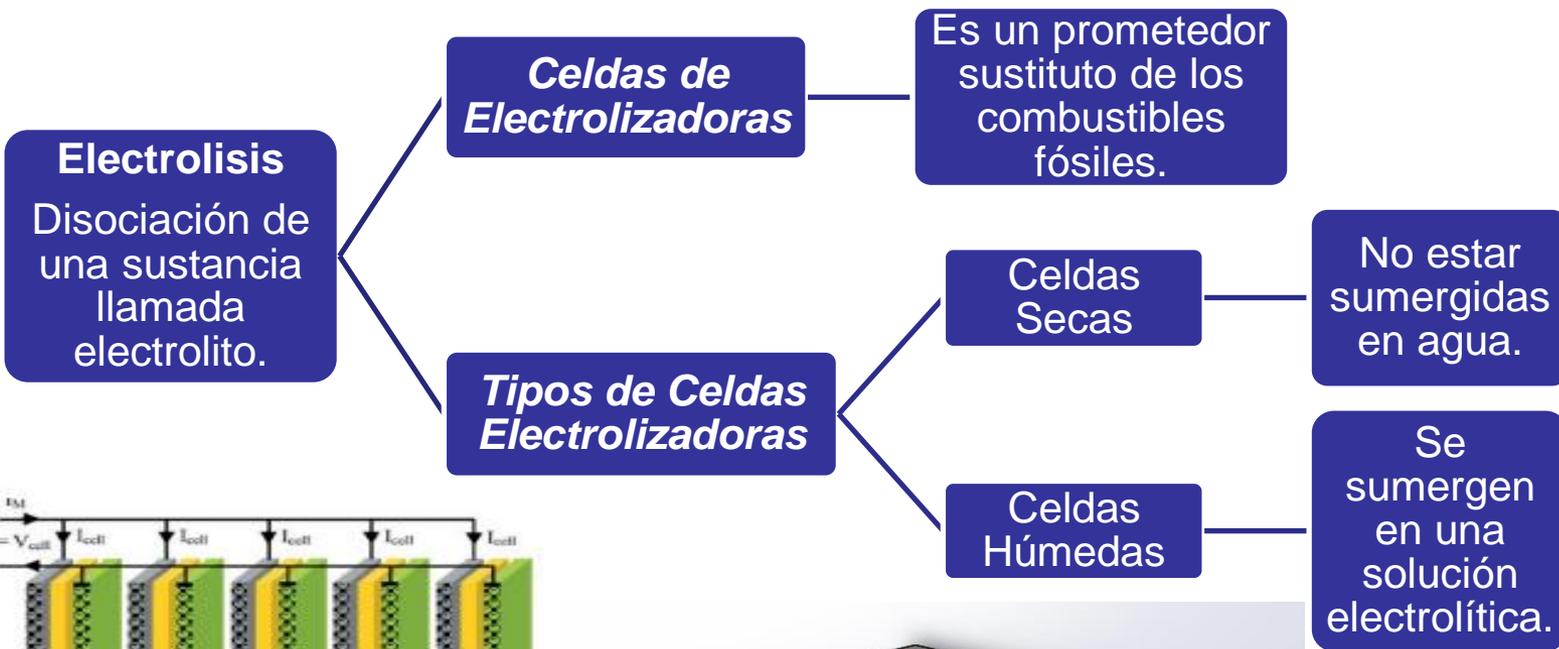
- Conclusiones

7

- Recomendaciones

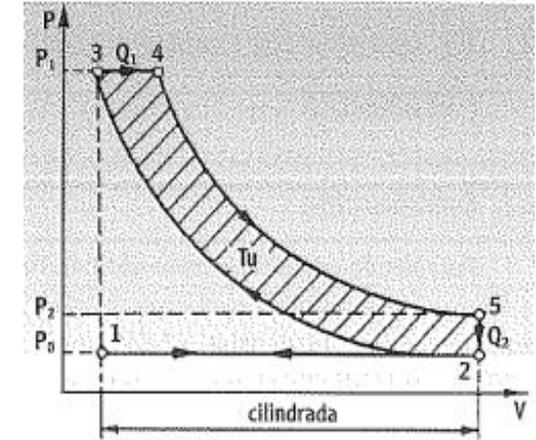
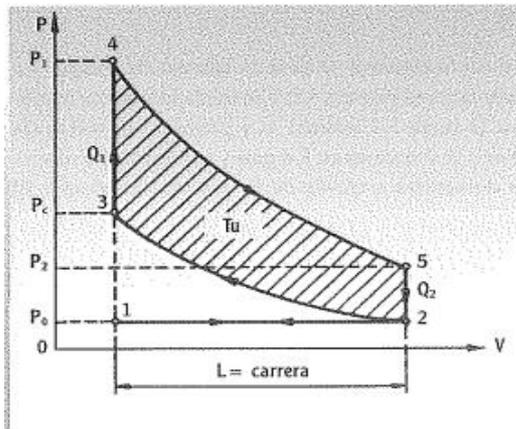


Los productos de la combustión, no emite gases de efecto invernadero, en comparación con los derivados del petróleo.





# ➤ INTRODUCCIÓN



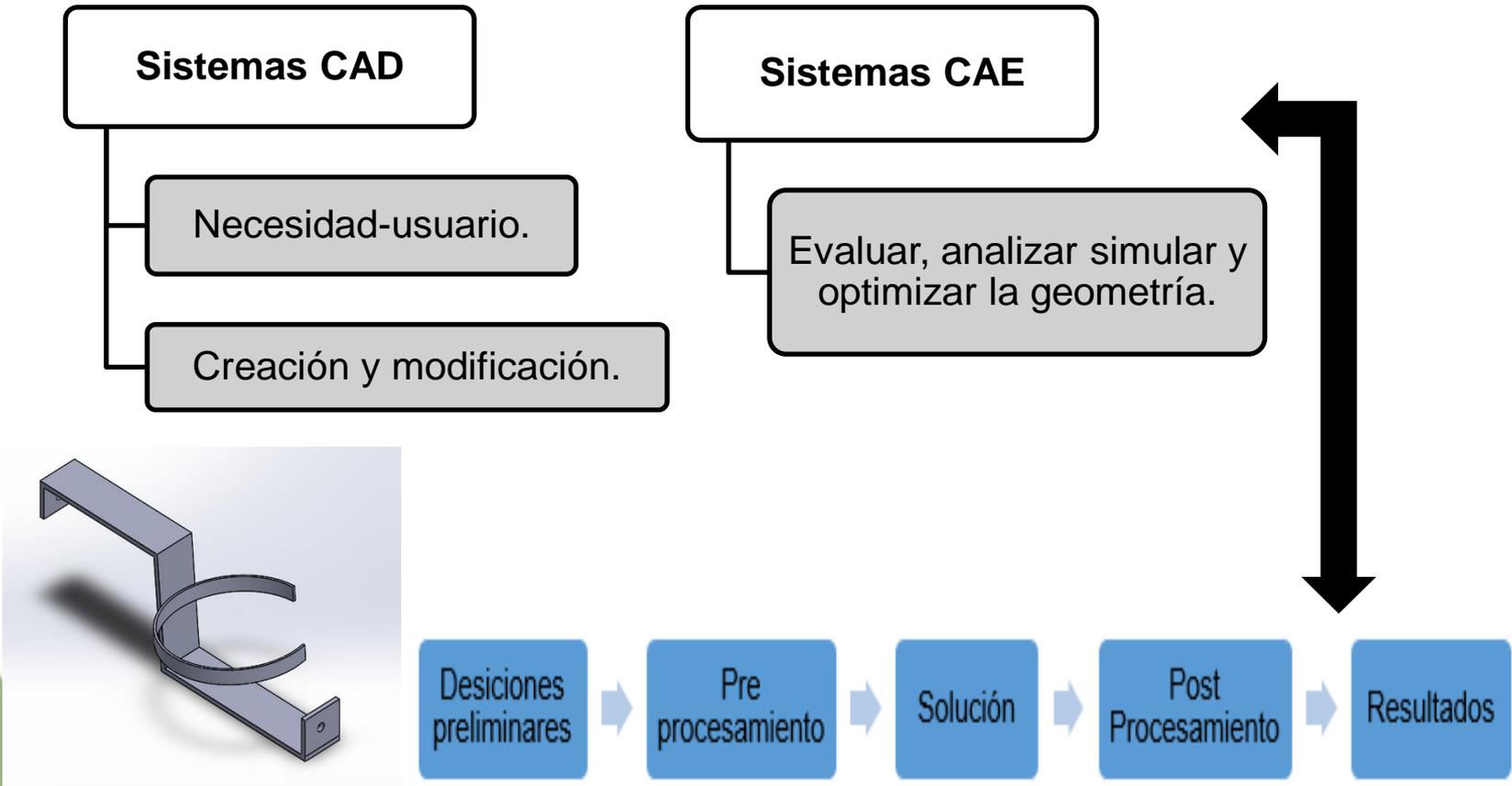
**Ciclos  
Termodinámicos**

**Ciclo Otto**

**Ciclo Diésel**

**ADMISION (1-2)  
COMPRESIÓN (2-3)  
EXPLOSIÓN (3-4-5)  
ESCAPE (5-2-1)**

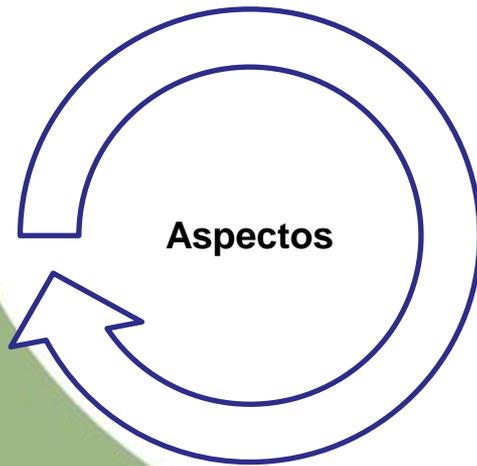
**ADMISION (1-2)  
COMPRESIÓN (2-3)  
EXPANSION (3-4-5)  
ESCAPE (5-2-1)**



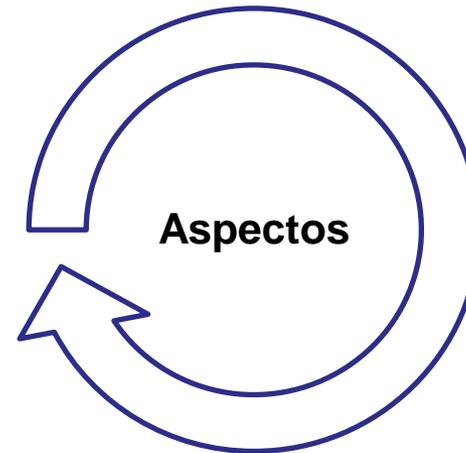
**Simulaciones Estáticas o Estructurales**

**Simulaciones Térmicas**

**Simulaciones CFD**



- Ensamble
- Material
- Condiciones
- Mallado
- Resultados



- Modelado
- Mallado
- Ajuste de Parámetros
- Ejecución de la simulación y resultados



1

- Introducción

2

- Justificación

3

- Objetivos

4

- Metodología

5

- Resultados

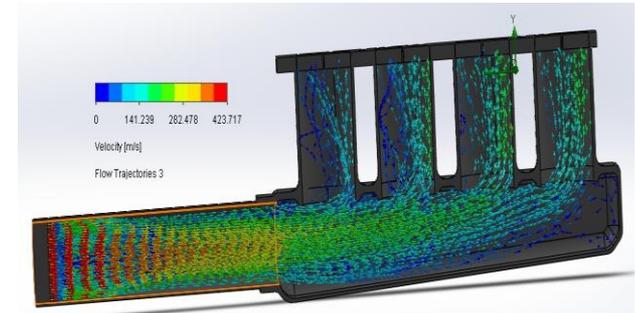
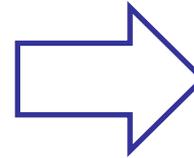
6

- Conclusiones

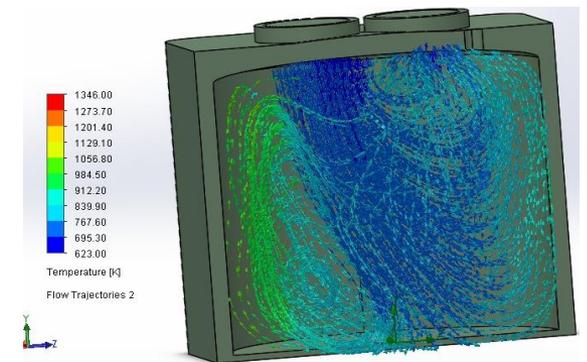
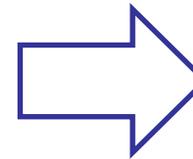
7

- Recomendaciones

Es importante conocer el comportamiento de los sistemas de combustión no convencionales, es aquí donde se utilizan los sistemas CAE con la finalidad de resolver un problema ingenieril y a su vez tener la opción de optimizar dicho proceso.



La implementación de un análisis CFD permite evaluar una gran cantidad de parámetros y fenómenos tanto físicos como químicos que pueden ocurrir dentro de la cámara de combustión de un M.C.I. generando valores muy cercanos a los reales, los cuales servirán para impulsar futuras investigaciones de estos sistemas.





# ➤ *CONTENIDO*

1

- Introducción

2

- Justificación

3

- Objetivos

4

- Metodología

5

- Resultados

6

- Conclusiones

7

- Recomendaciones



## Objetivo General

- Investigar de la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, para el diseño y modelado por computador de la generación de hidrógeno a través del proceso de electrólisis

## Objetivos Específicos

- Realizar la fundamentación teórica científica de la generación de hidrógeno por electrolisis del agua en oxihidrógeno que es una mezcla de hidrógeno atómico y oxígeno atómico en proporción de 2:1.
- Realizar el modelado y diseño de los sistemas mecánicos del reactor de hidrógeno a través de herramientas computacionales de ingeniería asistida por computador CAD.
- Utilizar la matemática aplicada al automóvil para motores MEC y MEP de los vehículos seleccionados para realizar un análisis termodinámico.
- Generar una simulación estática y térmica de los componentes de generador de hidrogeno durante el tiempo operativo de los vehículos analizados.
- Considerar los parámetros calculados para crear una simulación de dinámica computacional de fluidos que incluya al hidrógeno dentro del ciclo térmico para motores MEC y MEP.



1

- Introducción

2

- Justificación

3

- Objetivos

4

- Metodología

5

- Resultados

6

- Conclusiones

7

- Recomendaciones

## Diseño del Generador de Hidrógeno

ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR	
Número de placas	27
Número de placas negativas	5
Número de placas positivas	4
Número de placas neutras	18
Número de separadores	55
Cámaras generadoras	9
Toma de abastecimiento	1
Toma de salida de gas al burbujeador	2
Voltaje	12 VDC
Consumo eléctrico	12 A



## Dimensiones de los componentes y resultados

Componente	Medida
Placa	Metro (m)
Base	0,140 m
Altura	0,140 m
Espesor	$1 \times 10^{-3}m$
Excedente	0,015 m 0,015 m
Separador	(m)
Base Externa	0,140 m
Base Interna	0,090 m
Altura Externa	0,140 m
Altura Interna	0,090 m
Espesor	$1 \times 10^{-3}m$
Excedente	0,015 m 0,015 m

Áreas y Volumen	Resultado
Área interna	$0,019 m^2$
Área del excedente	$0,0025 m^2$
Área de la placa	$0,014 m^2$
Volumen de cada cámara	$0,84 \times 10^{-4}m^3$
Volumen de agua	$5,04 \times 10^{-4}m^3$
Volumen de HH0	$5,04 \times 10^{-4}m^3$



## Flujo de GAS

Se realiza el cálculo en cuanto al tiempo estimado, el cual se considera 1 minuto, con una intensidad de 12 A, tomando las consideraciones de presión y temperatura a condiciones normales, las cuales son 1 atm de presión y 25 °C.

PARAMETRO	FORMULA	VARIABLE	RESULTADO
Intensidad de corriente	$I = \frac{Q}{t}$	$I$	$Q = 720 C$
Peso Equivalente	$E = \frac{Pa}{V}$	$E$	$E = 0,5 mol$
Ley de Faraday	$m = \frac{E \times I \times t}{F}$	$m$	$m = 3,73 \times 10^{-3} mol$
Ley de los gases ideales	$P \times V = n \times R \times T$	$V$	$V_H = 9,1 \times 10^{-8} m^3$

## Valores obtenidos del Hidrógeno y Oxígeno

Parámetro	Valor
Volumen hidrogeno en cada celda	$V_H = 9,1 \times 10^{-8} m^3$
Volumen total de hidrogeno	$V_{totalH} = 8,19 \times 10^{-7} m^3$
Volumen de oxigeno encada celda	$V_o = 4,55 \times 10^{-8} m^3$
Volumen total de oxigeno	$V_{total o} = 4,05 \times 10^{-7} m^3$
Volumen de HHO producido	$V_{HHO} = 1,22 \times 10^{-6} m^3$

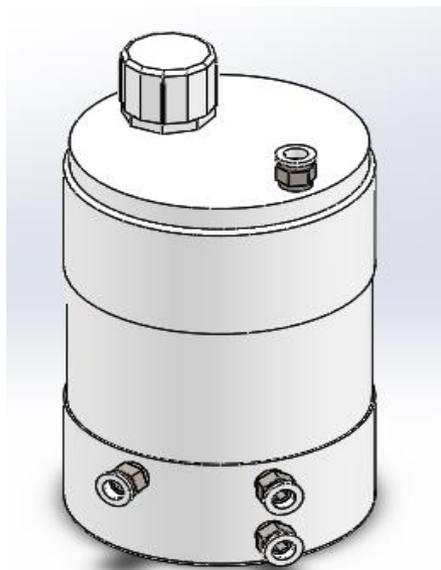
## Especificaciones para el diseño del Depósito

Fichas Técnica del Depósito	
<b>Capacidad</b>	1,5 L
<b>Altura</b>	204 mm
<b>Diámetro</b>	114,3 mm
<b>Toma de abastecimiento al generador</b>	2
<b>Toma de salida de gas a la admisión</b>	1
<b>Tapa de suministro al deposito</b>	1

## Especificaciones para el diseño del Depósito

Nombre	Característica	Cantidad
Tapa de llenado	PVC (Policloruro de Vinilo) Diámetro: 35 mm Peso: 0,017 Kg	1
Tapa Superior del recipiente	PVC (Policloruro de Vinilo) Diámetro: 114,3 mm Largo: 60mm Peso: 0,164 Kg	1
Cilindro Central del recipiente	PVC (Policloruro de Vinilo) Diámetro: 112,3 mm Largo: 160mm Peso: 0,072 Kg	1
Tapa Inferior del recipiente	PVC (Policloruro de Vinilo) Diámetro: 114,3 mm Largo: 50 mm Peso: 0,048 Kg	1

Nombre	Característica	Cantidad
Racor Neumático	Acero Inoxidable Diámetro: 7,94 mm Peso: 0,010 Kg	4
Tapa Superior del Recipiente	PVC (Policloruro de Vinilo) Diámetro: 34,64 mm Largo: 35 mm Peso: 0,011 Kg	1



## Especificaciones para el diseño del Generador

Nombre	Característica	Cantidad
Placa Neutra	Acero inoxidable 316L Dimensión: 140 mm x 140 mm Espesor: 1 mm Peso: 0,138 Kg	18
Placa Positiva	Acero inoxidable 316L Dimensión: 140 mm x 140 mm Espesor: 1 mm Peso: 0,143 Kg	4
Placa Negativa	Acero inoxidable 316L Dimensión: 140 mm x 140 mm Espesor: 1 mm Peso: 0,143 Kg	5
Placa Posterior	Acero inoxidable 316L Dimensión: 140 mm x 140 mm Espesor: 1 mm Peso: 0,140 Kg	1

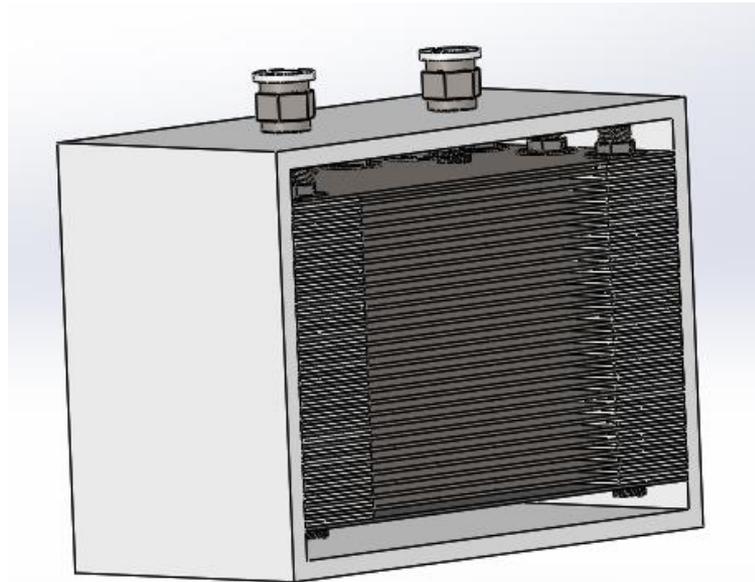


Nombre	Característica	Cantidad
Placa Frontal	Acero inoxidable 316L Dimensión: 140 mm x 140 mm Espesor: 1 mm; Peso: 0,138 Kg	1
Placa Separadora	Poliuretano Dimensión: 140 mm x 140 mm Espesor: 1 mm Peso: 0,009 Kg	55
Racores Neumáticos	Acero Inoxidable Diámetro: 7,94 mm Peso: 0,010 Kg	3
Perno de Sujeción	Acero inoxidable Largo: 94,50 mm Diámetro: 7,94 mm Peso: 0,034 Kg	18
Perno de Conexión Negativo	Acero inoxidable Largo: 104 mm Diámetro: 6 mm; Peso: 0,023 Kg	1



Nombre	Característica	Cantidad
Perno de Conexión Positivo	Acero inoxidable Largo: 95 mm ;Diámetro: 6 mm Peso: 0.021 Kg	1
Tuercas de Conexión	Acero inoxidable Diámetro ex:9,85 mm Diámetro in: 6 mm Peso: $0,7 \times 10^{-3} Kg$	18
Tuerca de Sujeción	Acero inoxidable Diámetro ex: 9,97 mm Diámetro in: 7,94 mm Peso: $0,3 \times 10^{-3} Kg$	18
Arandela de Conexión	Acero inoxidable Diámetro: 9 mm Peso: $0,1 \times 10^{-3} Kg$	18
Arandela de Sujeción	Acero inoxidable Diámetro:15 mm Peso: $0,4 \times 10^{-3} Kg$	18

Nombre	Característica	Cantidad
Caja de las Placas generadoras	PVC(Policloruro de Vinilo) Dimensión: 150 mm x 110 mm Espesor: 5 mm Peso: 0.668 Kg	1





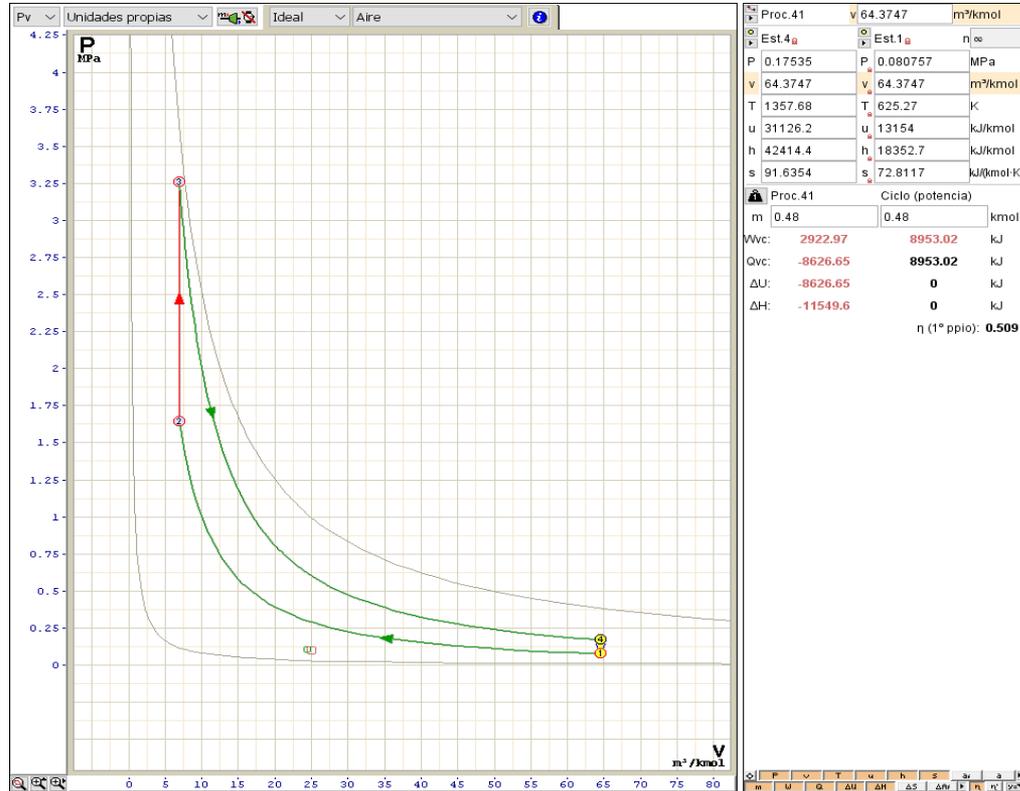
## Matemática aplicada para el vehículo gasolina

Parámetro	Resultado
Presión a la altitud	$P = 73,642 \text{ kPa}$
Presión al final admisión	$P_a = 0,080757 \text{ MPa}$
Temperatura final de admisión	$T_a = 625,26 \text{ K}$
Presión final de compresión	$P_c = 1,65 \text{ MPa}$
Temperatura al final de compresión	$T_c = 1344,29 \text{ K}$
Temperatura para el final de combustión	$T_z = 2645 \text{ K}$
Presión para el final de combustión	$P_z = 3,262 \text{ MPa}$
Presión al final de escape	$P_b = 0,174 \text{ MPa}$
Temperatura al final de escape	$T_b = 1346,197 \text{ K}$

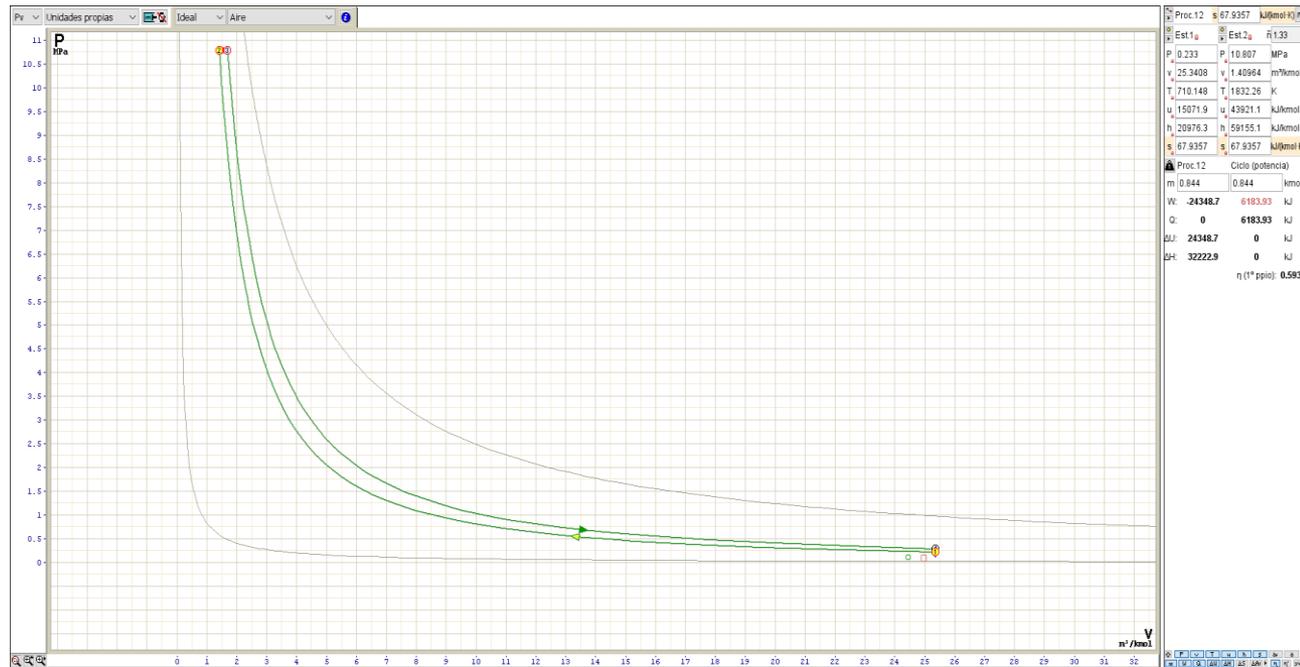
## Matemática aplicada para el vehículo diésel

Parámetro	Resultado
Presión a la altitud	$P = 73,642 \text{ kPa}$
Presión al final admisión	$P_a = 0,233 \text{ MPa}$
Temperatura final de admisión	$T_a = 710,148 \text{ K}$
Presión final de compresión	$P_c = 10,807 \text{ MPa}$
Temperatura al final de compresión	$T_c = 1344,29 \text{ K}$
Temperatura para el final de combustión	$T_z = 2173,75 \text{ K}$
Presión para el final de combustión	$P_z = 16,210 \text{ MPa}$
Presión al final de escape	$P_b = 0,583 \text{ MPa}$
Temperatura al final de escape	$T_b = 1082,51 \text{ K}$

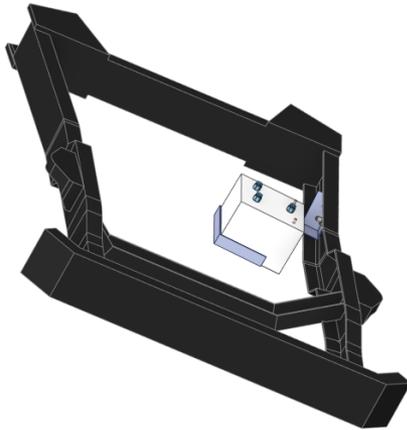
# Análisis simulador Termograf vehículo gasolina



# Análisis simulador Termograf vehículo diésel



# Desarrollo de simulación estática “Vehículo Gasolina”



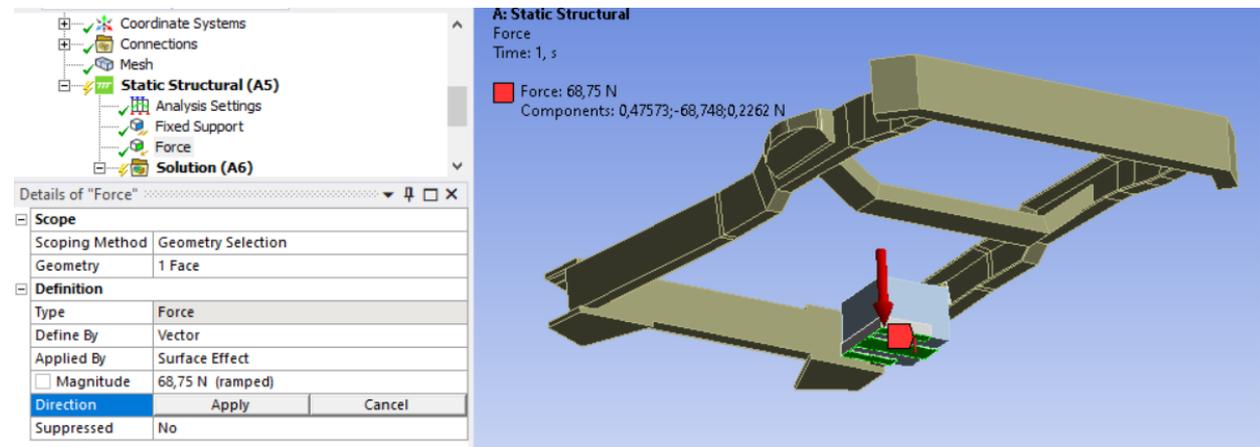
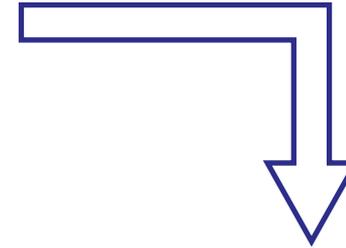
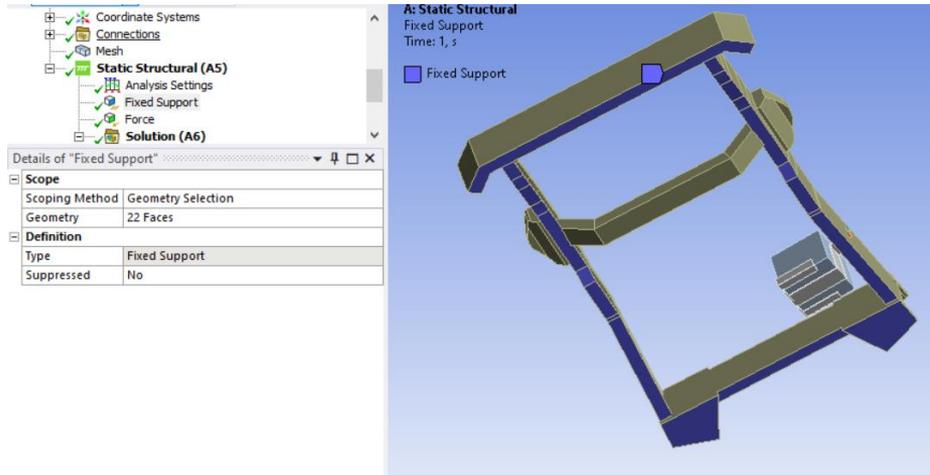
Project\*

- Model (A4)
  - Geometry
  - Materials
    - Structural Steel
    - Plastic, PVC (rigid)
    - Stainless Steel
    - Carbon steel, 1020, annealed
  - G1
  - Coordinate Systems
  - Connections
  - Mesh

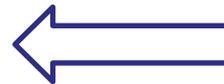
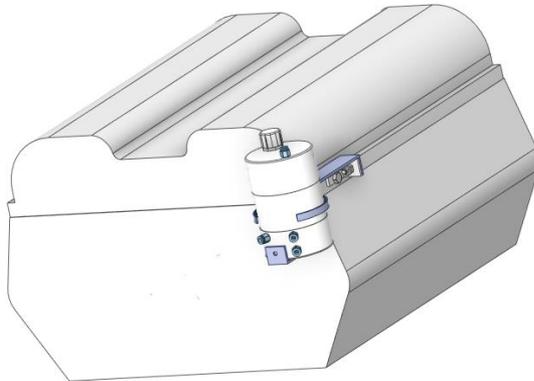
Details of "Mesh"

<b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	5, mm
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizi...	Yes
Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Fine
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Di...	1571,2 mm
Average Surface ...	3280,7 mm <sup>2</sup>
Minimum Edge L...	0,10351 mm
<b>Quality</b>	
<b>Inflation</b>	
<b>Advanced</b>	
<b>Statistics</b>	

# Desarrollo de simulación estática “Vehículo Gasolina”



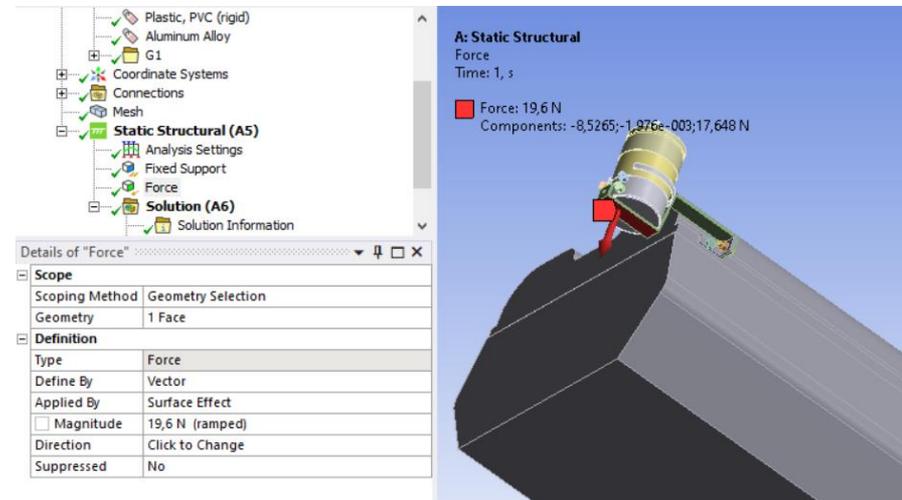
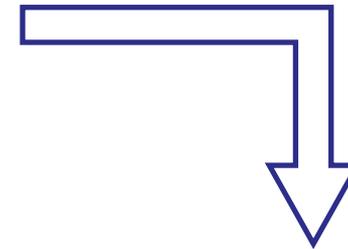
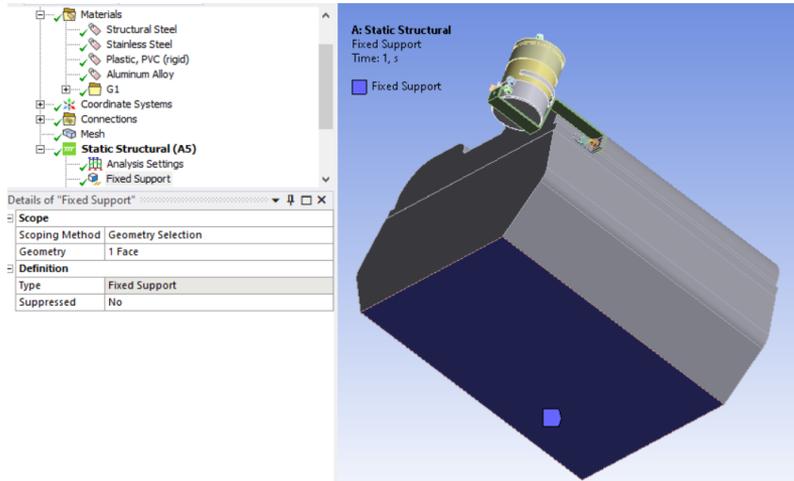
# Desarrollo de simulación estática “Vehículo Gasolina”



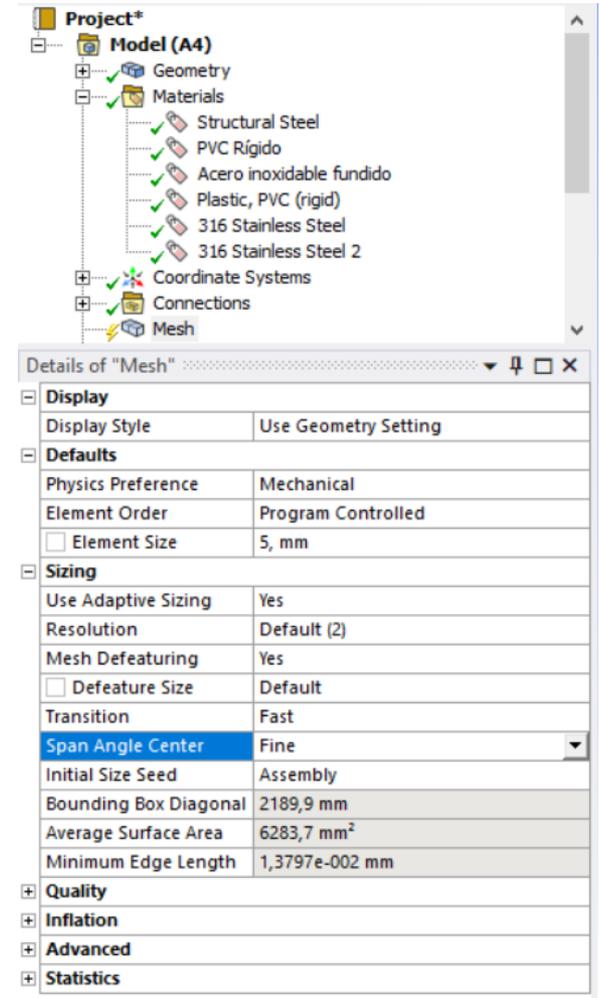
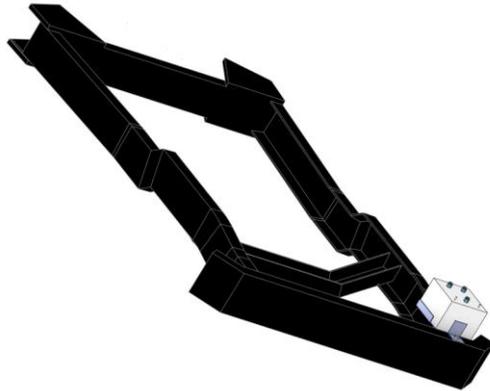
Details of "Mesh"

<b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	5, mm
<b>Sizing</b>	
<input type="checkbox"/> Use Adaptive Sizi...	Yes
Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Fine
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Di...	1292, mm
Average Surface ...	5595, mm <sup>2</sup>
Minimum Edge L...	0,26458 mm
<b>Quality</b>	
<b>Inflation</b>	
<b>Advanced</b>	
<b>Statistics</b>	

# Desarrollo de simulación estática “Vehículo Gasolina”



## Desarrollo de simulación estática “Vehículo Diésel”

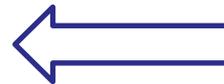
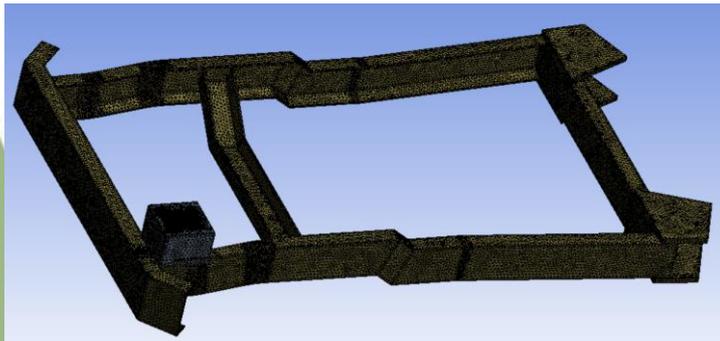


**Project\***

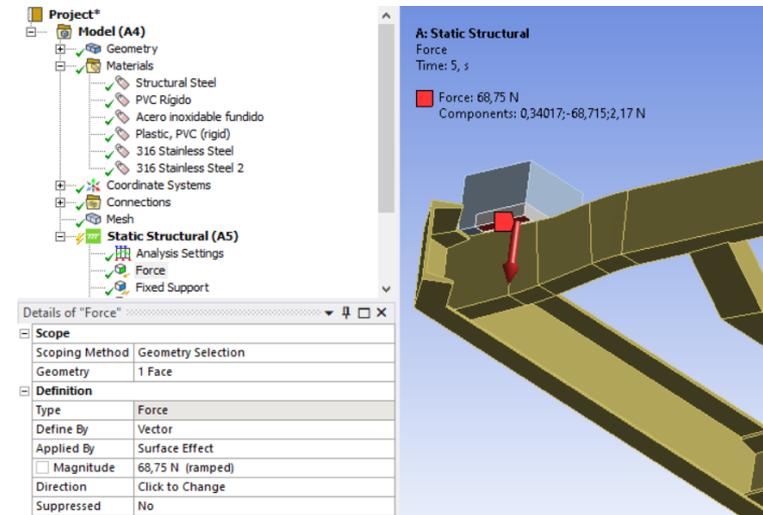
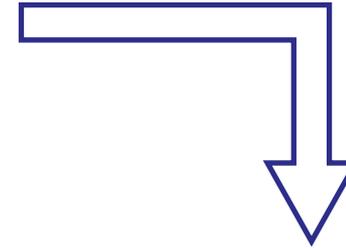
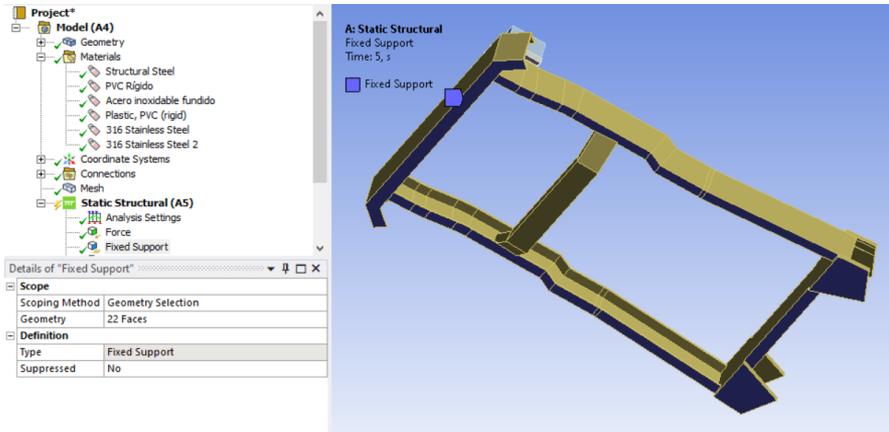
- Model (A4)
  - Geometry
  - Materials
    - Structural Steel
    - PVC Rígido
    - Acero inoxidable fundido
    - Plastic, PVC (rigid)
    - 316 Stainless Steel
    - 316 Stainless Steel 2
  - Coordinate Systems
  - Connections
  - Mesh

**Details of "Mesh"**

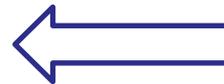
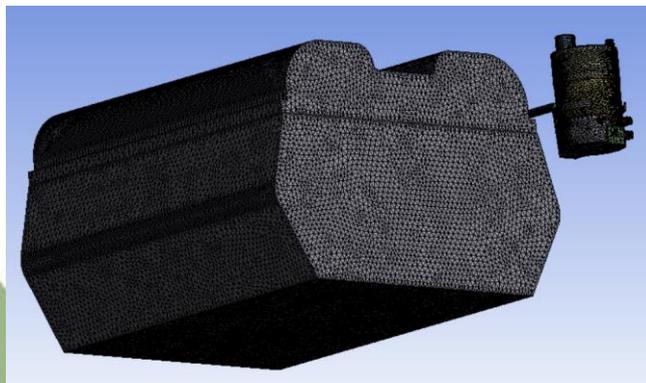
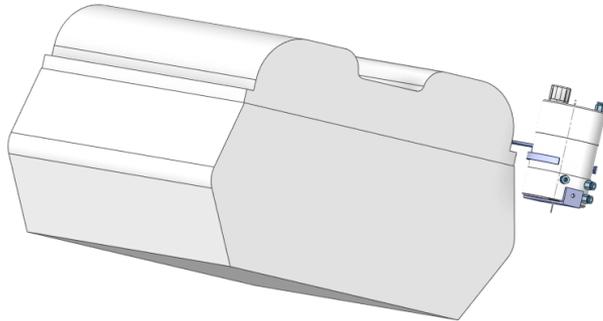
<b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	5, mm
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Fine
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	2189,9 mm
Average Surface Area	6283,7 mm <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	1,3797e-002 mm
<b>Quality</b>	
<b>Inflation</b>	
<b>Advanced</b>	
<b>Statistics</b>	



# Desarrollo de simulación estática “Vehículo Diésel”



## Desarrollo de simulación estática “Vehículo Diésel”



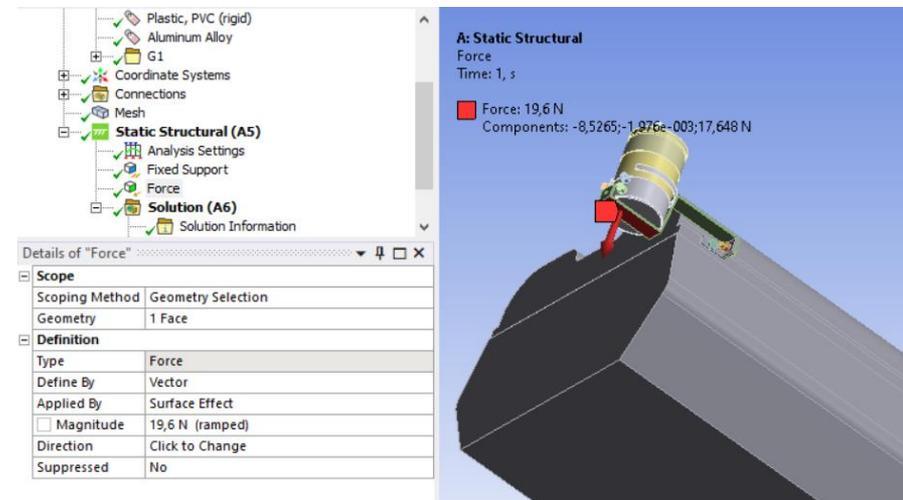
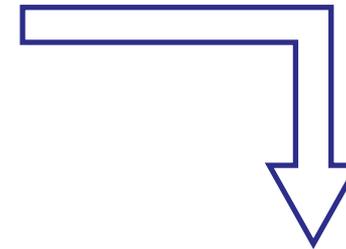
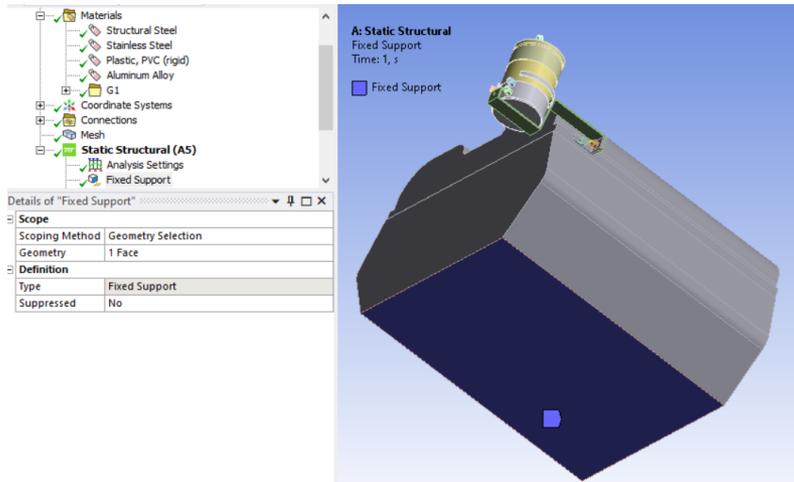
Project\*

- Model (A4)
  - Geometry
  - Materials
    - Structural Steel
    - Stainless Steel
    - Plastic, PVC (rigid)
    - Aluminum Alloy
  - G1
  - Coordinate Systems
  - Connections
  - Mesh

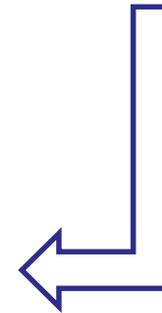
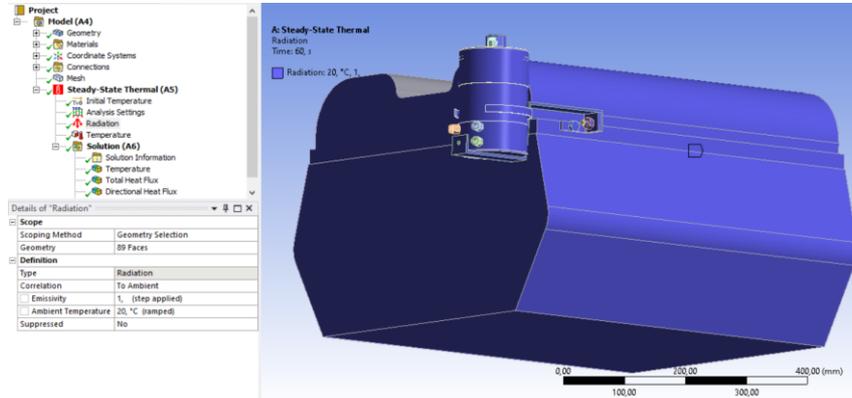
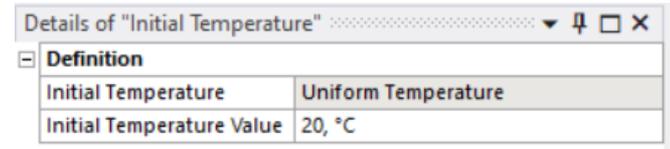
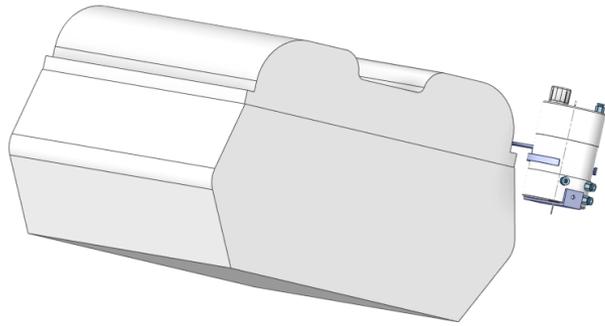
Details of "Mesh"

<b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	5, mm
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizi...	Yes
Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Fine
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Di...	1292, mm
Average Surface ...	5595, mm <sup>2</sup>
Minimum Edge L...	0,26458 mm
<b>Quality</b>	
<b>Inflation</b>	
<b>Advanced</b>	
<b>Statistics</b>	

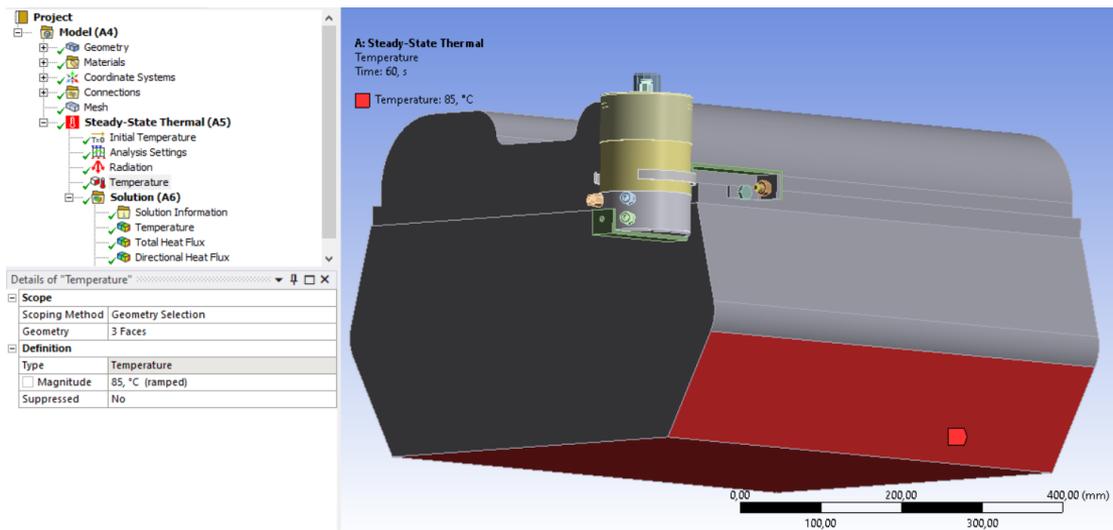
## Desarrollo de simulación estática “Vehículo Diésel”



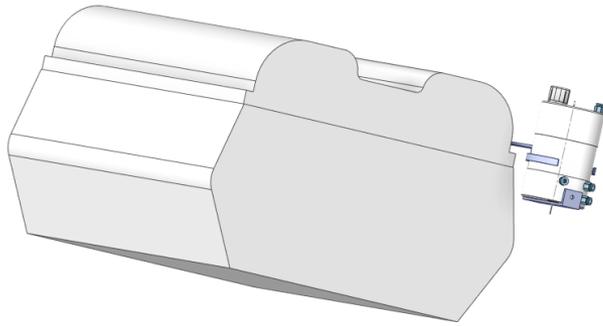
# Desarrollo de simulación térmica “Vehículo Gasolina”



## Desarrollo de simulación térmica “Vehículo Gasolina”



# Desarrollo de simulación térmica “Vehículo Diésel”



Details of "Initial Temperature" ▾ 📏 🗑 ✕

Definition	
Initial Temperature	Uniform Temperature
Initial Temperature Value	20, °C

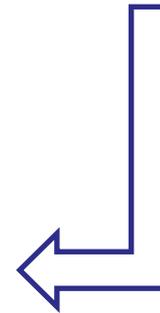
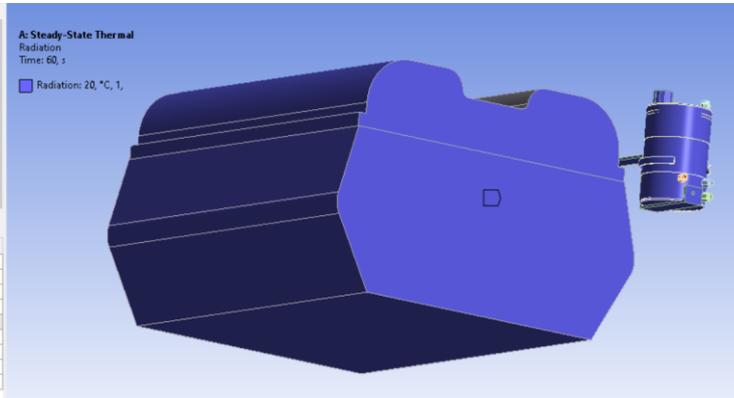
Project

- Model (A4)
  - Geometry
  - Materials
  - Coordinate Systems
  - Connections
  - Mesh
  - Steady-State Thermal (A5)
    - Initial Temperature
    - Analysis Settings
    - Radiation
    - Temperature
  - Solution (A6)
    - Solution Information
    - Temperature
    - Total Heat Flux
    - Directional Heat Flux

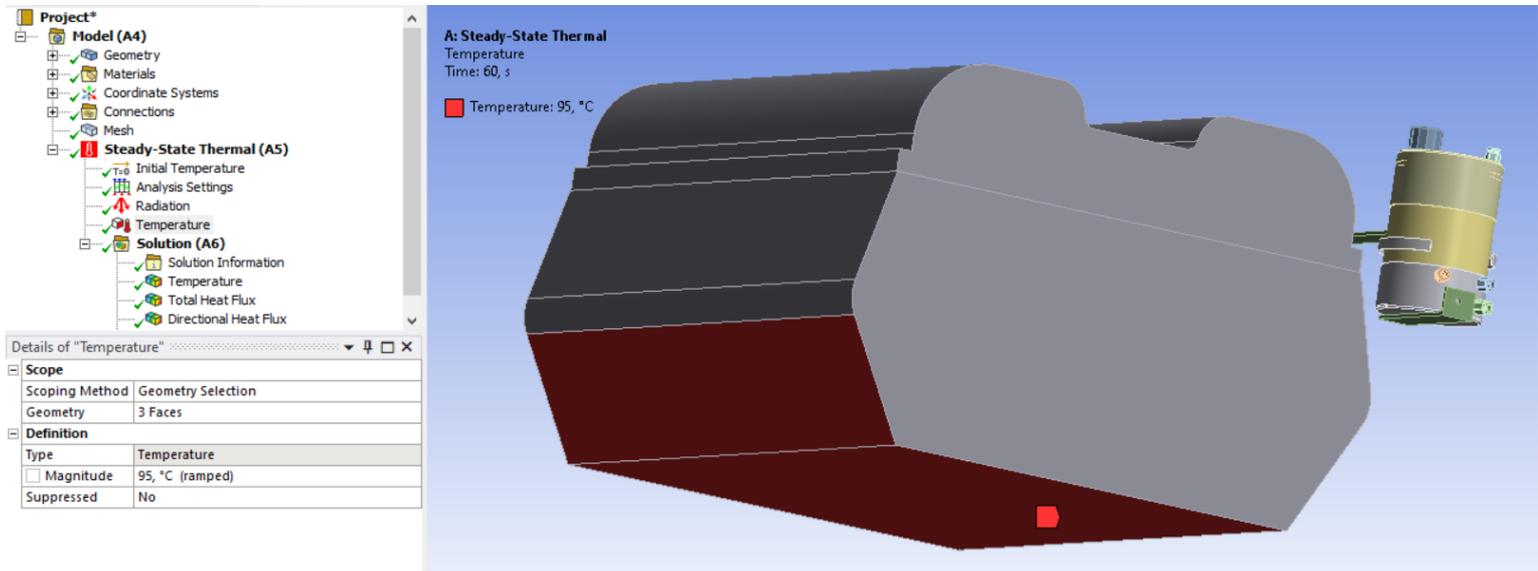
Details of "Radiation" ▾ 📏 🗑 ✕

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	89 Faces

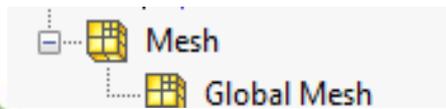
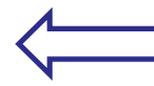
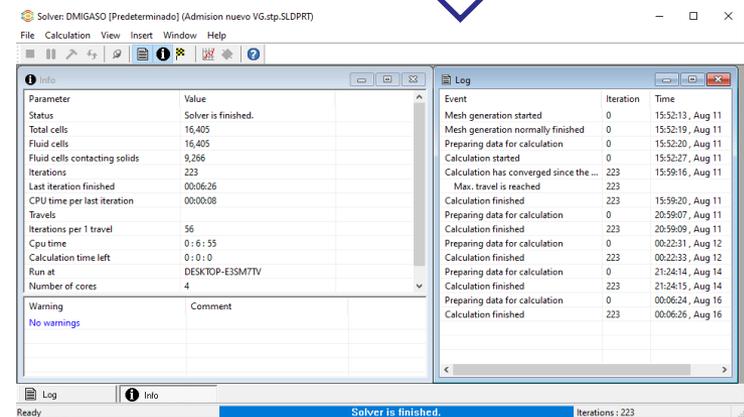
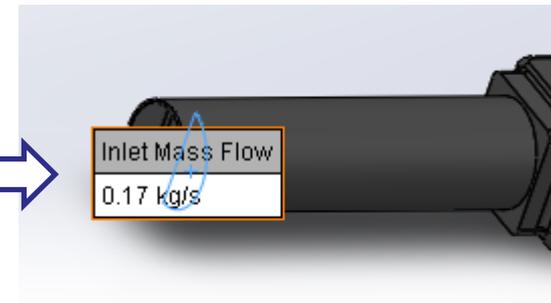
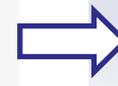
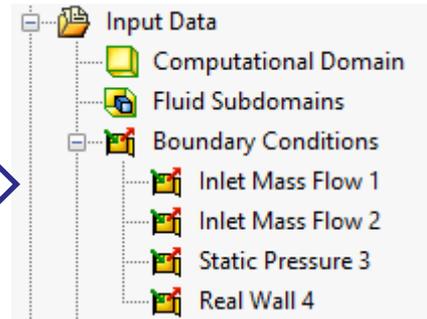
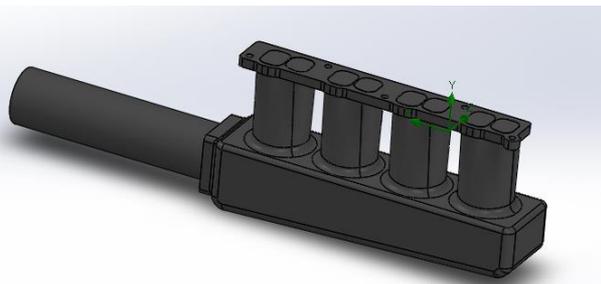
Definition	
Type	Radiation
Correlation	To Ambient
<input type="checkbox"/> Emissivity	1, (step applied)
<input type="checkbox"/> Ambient Temperature	20, °C (ramped)
Suppressed	No



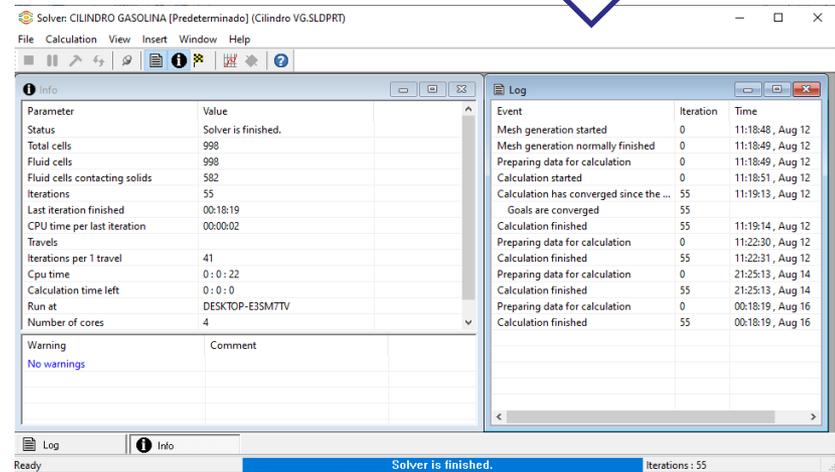
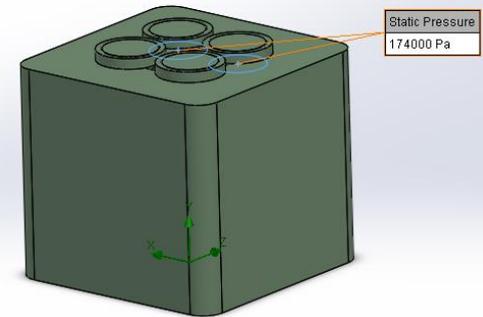
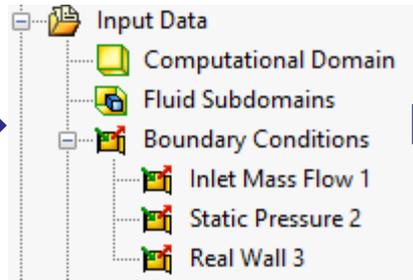
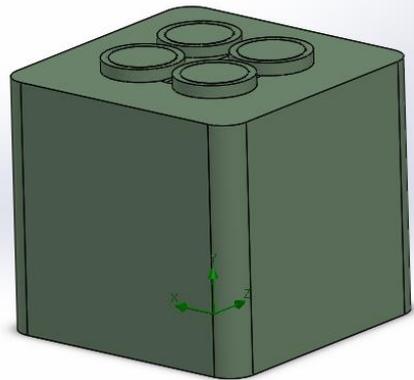
# Desarrollo de simulación térmica “Vehículo Diésel”



# Desarrollo de la simulación de dinámica de fluidos “Vehículo Gasolina” Múltiple de admisión



## Desarrollo de la simulación de dinámica de fluidos “Vehículo Gasolina” Cámara de Combustión



Solver: CILINDRO GASOLINA (Predeterminado) [Cilindro VG.SLDPR1]

File Calculation View Insert Window Help

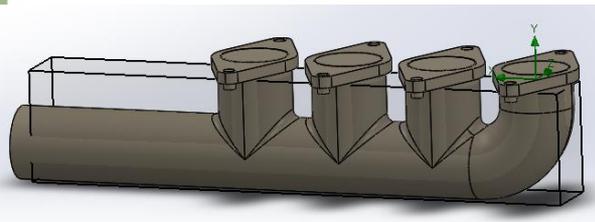
Parameter	Value
Status	Solver is finished.
Total cells	998
Fluid cells	998
Fluid cells contacting solids	582
Iterations	55
Last iteration finished	00:18:19
CPU time per last iteration	00:00:02
Travels	
Iterations per 1 travel	41
Cpu time	0: 0: 22
Calculation time left	0: 0: 0
Run at	DESKTOP-E3SM7TV
Number of cores	4

Event	Iteration	Time
Mesh generation started	0	11:18:48, Aug 12
Mesh generation normally finished	0	11:18:49, Aug 12
Preparing data for calculation	0	11:18:49, Aug 12
Calculation started	0	11:18:51, Aug 12
Calculation has converged since the ...	55	11:19:13, Aug 12
Goals are converged	55	
Calculation finished	55	11:19:14, Aug 12
Preparing data for calculation	0	11:22:30, Aug 12
Calculation finished	55	11:22:31, Aug 12
Preparing data for calculation	0	21:25:13, Aug 14
Calculation finished	55	21:25:13, Aug 14
Preparing data for calculation	0	00:18:19, Aug 16
Calculation finished	55	00:18:19, Aug 16

Warning  
No warnings

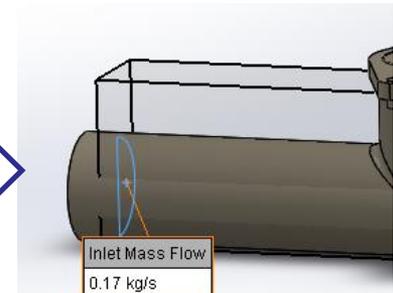
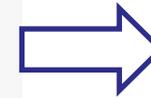
Ready Solver is finished. Iterations: 55

# Desarrollo de la simulación de dinámica de fluidos “Vehículo Diésel” Múltiple de Admisión



**Input Data**

- Computational Domain
- Fluid Subdomains
- Boundary Conditions
  - Inlet Mass Flow 1
  - Inlet Mass Flow 2
  - Static Pressure 3
  - Real Wall 4



Solver: DIESEL SIMULACION [Predeterminado] (Admission NUEVO DIESEL VD.stp.SLDPRT)

File Calculation View Insert Window Help

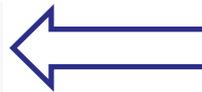
Parameter	Value
Status	Solver is finished.
Total cells	8,294
Fluid cells	8,294
Fluid cells contacting solids	4,402
Iterations	136
Last iteration finished	00:27:15
CPU time per last iteration	00:00:04
Travels	
Iterations per 1 travel	43
Cpu time	0 : 2 : 31
Calculation time left	0 : 0 : 0
Run at	DESKTOP-E3SM7IV
Number of cores	4

Event	Iteration	Time
Preparing data for calculation	0	23:44:24, Aug 11
Calculation started	0	23:44:27, Aug 11
Calculation has converged since the ...	136	23:46:57, Aug 11
Goals are converged	136	
Preparation finished	136	23:46:58, Aug 11
Preparing data for calculation	0	00:27:14, Aug 16
Calculation finished	136	00:27:15, Aug 16

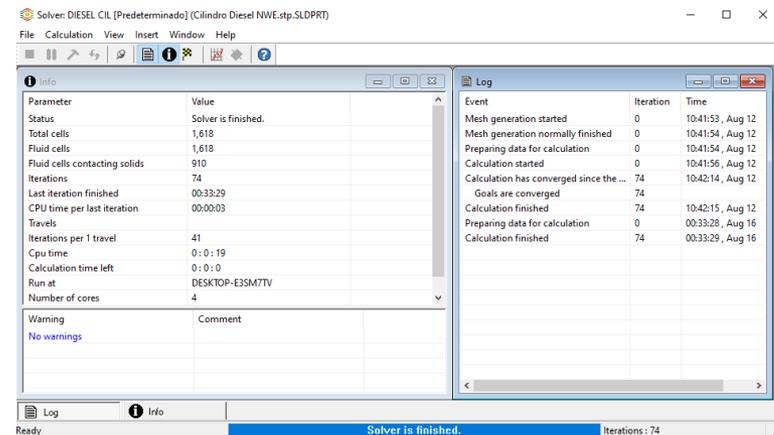
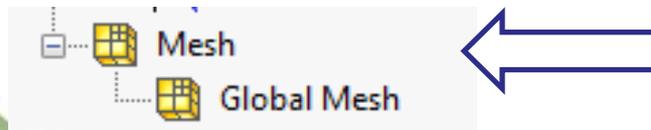
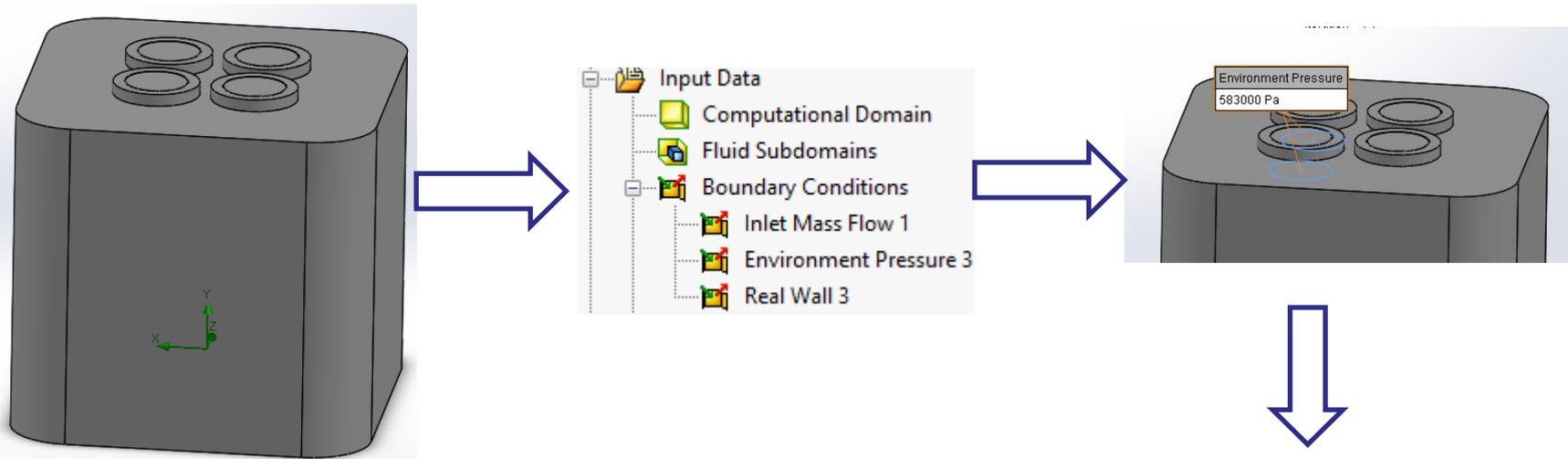
Ready Solver is finished. Iterations: 136

**Mesh**

**Global Mesh**



# Desarrollo de la simulación de dinámica de fluidos “Vehículo Diésel” Cámara de Combustión



The screenshot shows the 'Solver: DIESEL CIL [Predeterminado] [Cilindro Diesel NWE.stp.SLDPRD]' window. It displays the 'Info' and 'Log' panels. The 'Info' panel shows the simulation status as 'Solver is finished.' and provides various performance metrics. The 'Log' panel shows the timeline of the simulation process, including mesh generation and calculation steps.

Parameter	Value
Status	Solver is finished.
Total cells	1,618
Fluid cells	1,618
Fluid cells contacting solids	910
Iterations	74
Last iteration finished	00:33:29
CPU time per last iteration	00:00:03
Travels	
Iterations per 1 travel	41
Cpu time	0 : 0 : 19
Calculation time left	0 : 0 : 0
Run at	DESKTOP-E3SM7TV
Number of cores	4

Event	Iteration	Time
Mesh generation started	0	10:41:53, Aug 12
Mesh generation normally finished	0	10:41:54, Aug 12
Preparing data for calculation	0	10:41:54, Aug 12
Calculation started	0	10:41:56, Aug 12
Calculation has converged since the ...	74	10:42:14, Aug 12
Goals are converged	74	
Calculation finished	74	10:42:15, Aug 12
Preparing data for calculation	0	00:33:28, Aug 16
Calculation finished	74	00:33:29, Aug 16



1

- Introducción

2

- Justificación

3

- Objetivos

4

- Metodología

5

- Resultados

6

- Conclusiones

7

- Recomendaciones

## Resultados Termograf “Vehículo Gasolina”

Propiedades calculadas									
Unidades: MPa, K, m <sup>3</sup> , kmol, kJ, kW [Volumen de control, Energía]									
Estado	P	v	T	u	h	s			
Estado 2		1.65	6.80482	1350.43	30935.8	42163.8	72.8117		
Estado 3		3.262	6.80482	2669.76	67560.1	89757.5	91.6354		
Estado 4		0.17535	64.3747	1357.68	31126.2	42414.4	91.6354		
Estado 1		0.080757	64.3747	625.27	13154	18352.7	72.8117		
Proceso	m	W	Q	ΔU	ΔH				
Proceso 2-3		0.48	-5265.29	17579.7	17579.7	22845			
Proceso 3-4		0.48	22724.6	0	-17488.3	-22724.6			
Proceso 4-1		0.48	2922.97	-8626.65	-8626.65	-11549.6			
Proceso 1-2		0.48	-11429.3	0	8535.27	11429.3			
Ciclo	m	W	Q	ΔU	ΔH	η	COP1	COP2	
Ciclo θ1		0.48	8953.02	8953.02	0	0	0.50928	-0.96355	-1.96355

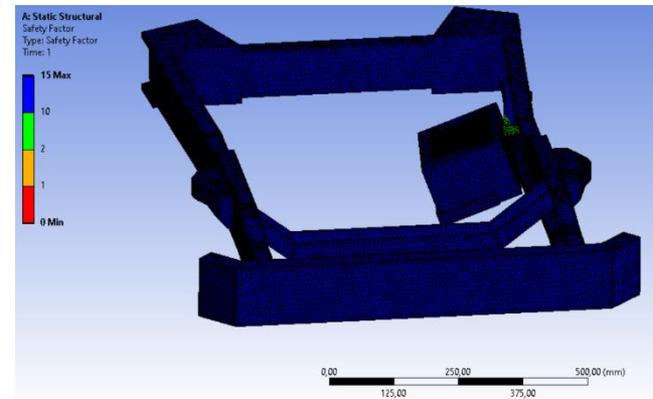
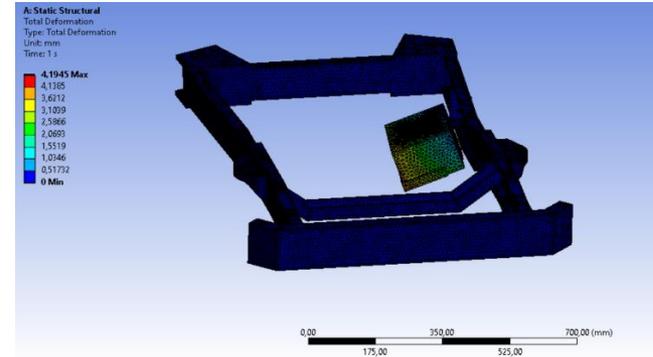
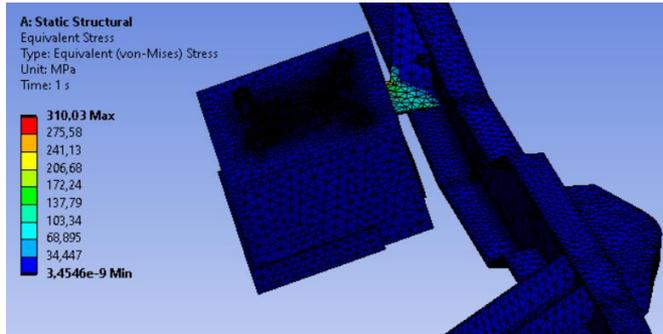
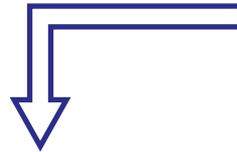
Parámetro	Resultado
Presión a la altitud	$P = 73,642 \text{ kPa}$
Presión al final admisión	$P_a = 0,080757 \text{ MPa}$
Temperatura final de admisión	$T_a = 625,26 \text{ K}$
Presión final de compresión	$P_c = 1,65 \text{ MPa}$
Temperatura para el final de combustión	$T_z = 2645 \text{ K}$
Presión para el final de combustión	$P_z = 3,262 \text{ MPa}$
Presión al final de escape	$P_b = 0,174 \text{ MPa}$
Temperatura al final de escape	$T_b = 1346,197 \text{ K}$

## Resultados Termograf “Vehículo Diésel”

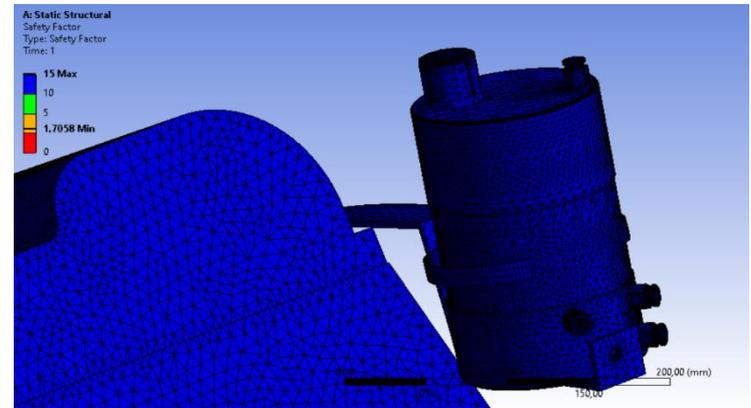
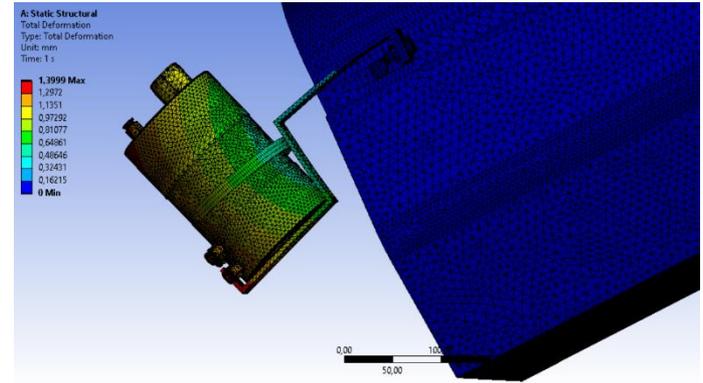
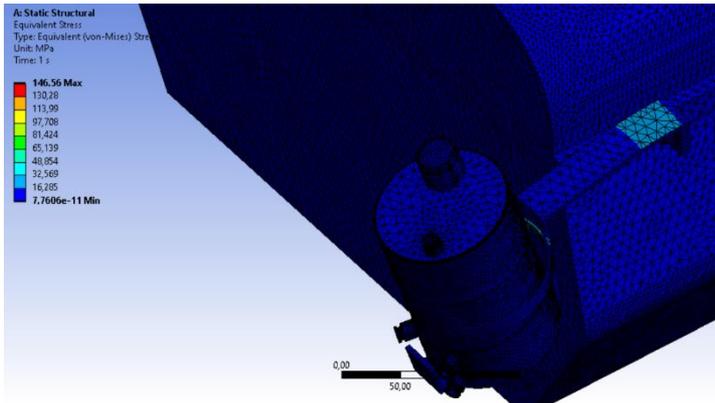
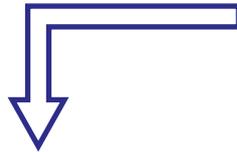
Propiedades calculadas									
Unidades: MPa, K, m³, kmol, kJ, kW [Masa de control, Energía]									
Estado	P	v	T	u	h	s			
Estado 2	10.807	1.40964	1832.26	43921.1	59155.1	67.9357			
Estado 3	16.021	1.67237	2173.75	53432.5	71505.8	74.1153			
Estado 4	0.30281	25.3408	922.925	20095.7	27769.2	74.1153			
Estado 1	0.233	25.3408	710.148	15071.9	20976.3	67.9357			
Proceso	m	W	Q	ΔU	ΔH				
Proceso 1-2	0.844	-24348.7	0	24348.7	32222.9				
Proceso 2-3	0.844	2396.35	10424	8027.61	10424				
Proceso 3-4	0.844	28136.3	0	-28136.3	-36913.7				
Proceso 4-1	0.844	0	-4240.03	-4240.03	-5733.15				
Ciclo	m	W	Q	ΔU	ΔH	η	COP1	COP2	
Ciclo θ1	0.844	6183.93	6183.93	0	0	0.59324	-0.68565	-1.68565	

Parámetro	Resultado
Presión a la altitud	$P = 73,642 \text{ kPa}$
Presión al final admisión	$P_a = 0,233 \text{ MPa}$
Temperatura final de admisión	$T_a = 710,148 \text{ K}$
Presión final de compresión	$P_c = 10,807 \text{ MPa}$
Temperatura al final de compresión	$T_c = 1344,29 \text{ K}$
Temperatura para el final de combustión	$T_z = 2173,75 \text{ K}$
Presión para el final de combustión	$P_z = 16,210 \text{ MPa}$
Presión al final de escape	$P_z = 0,583 \text{ MPa}$
Temperatura al final de escape	$T_b = 1082,51 \text{ K}$

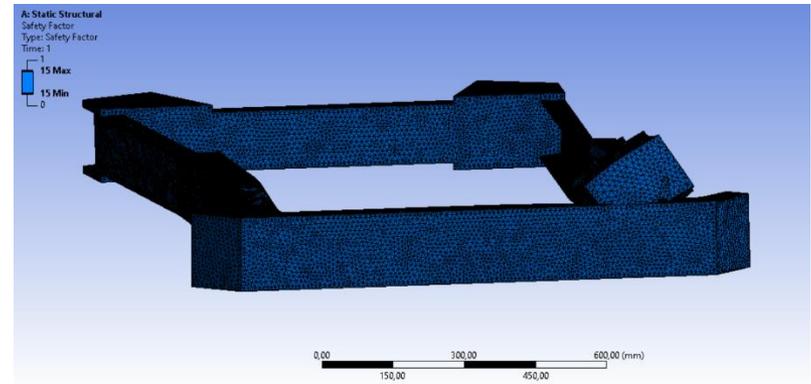
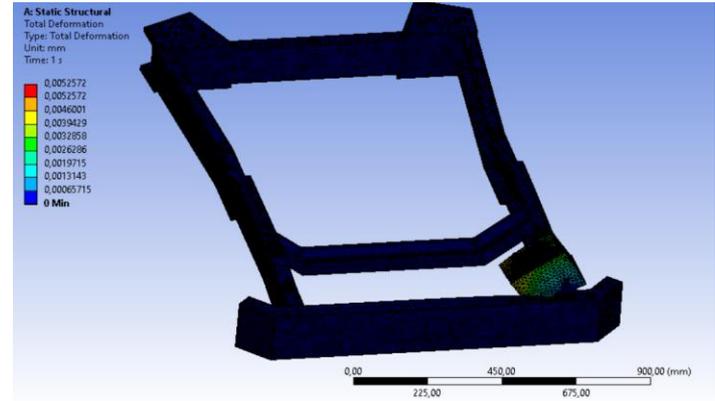
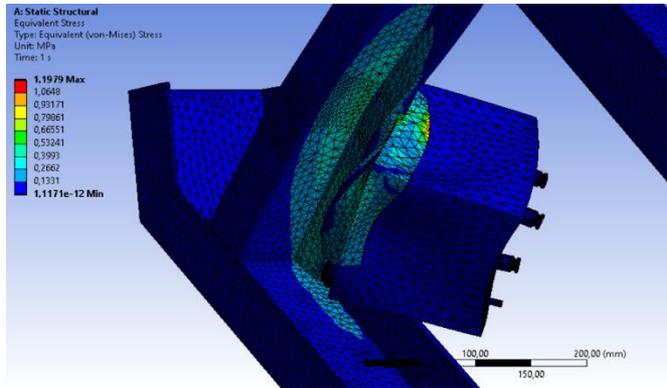
# Simulación estática “Vehículo Gasolina”



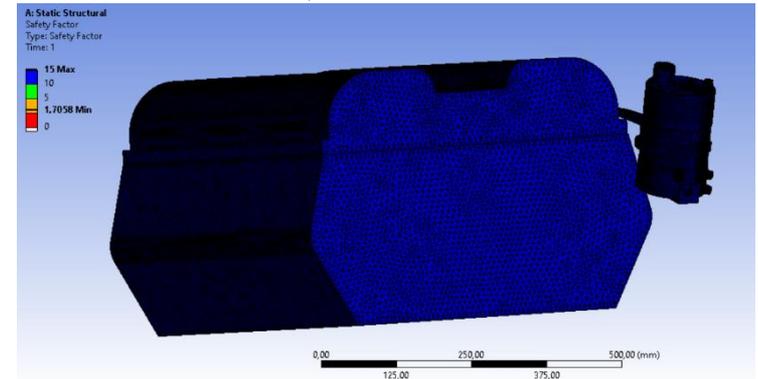
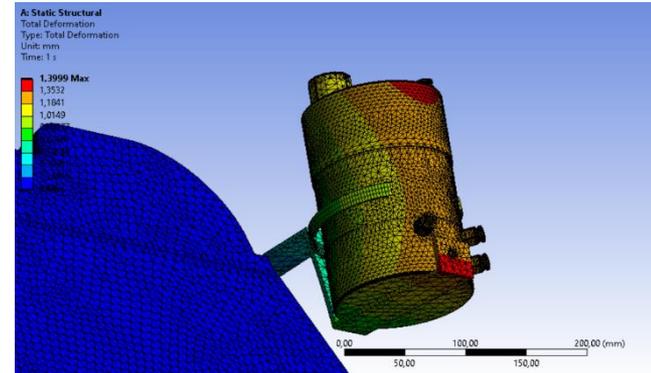
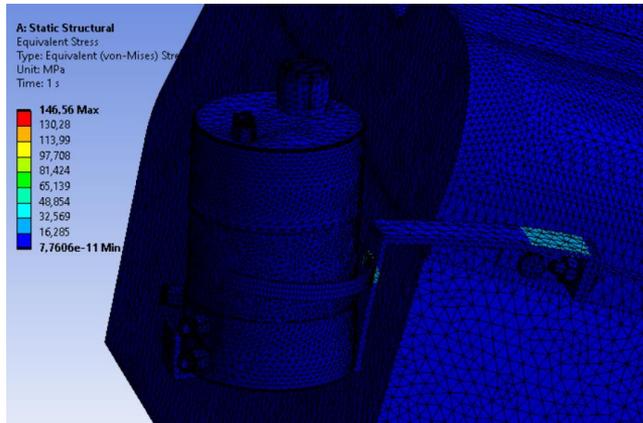
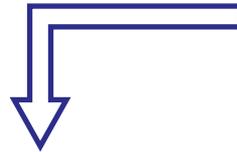
# Simulación estática “Vehículo Gasolina”



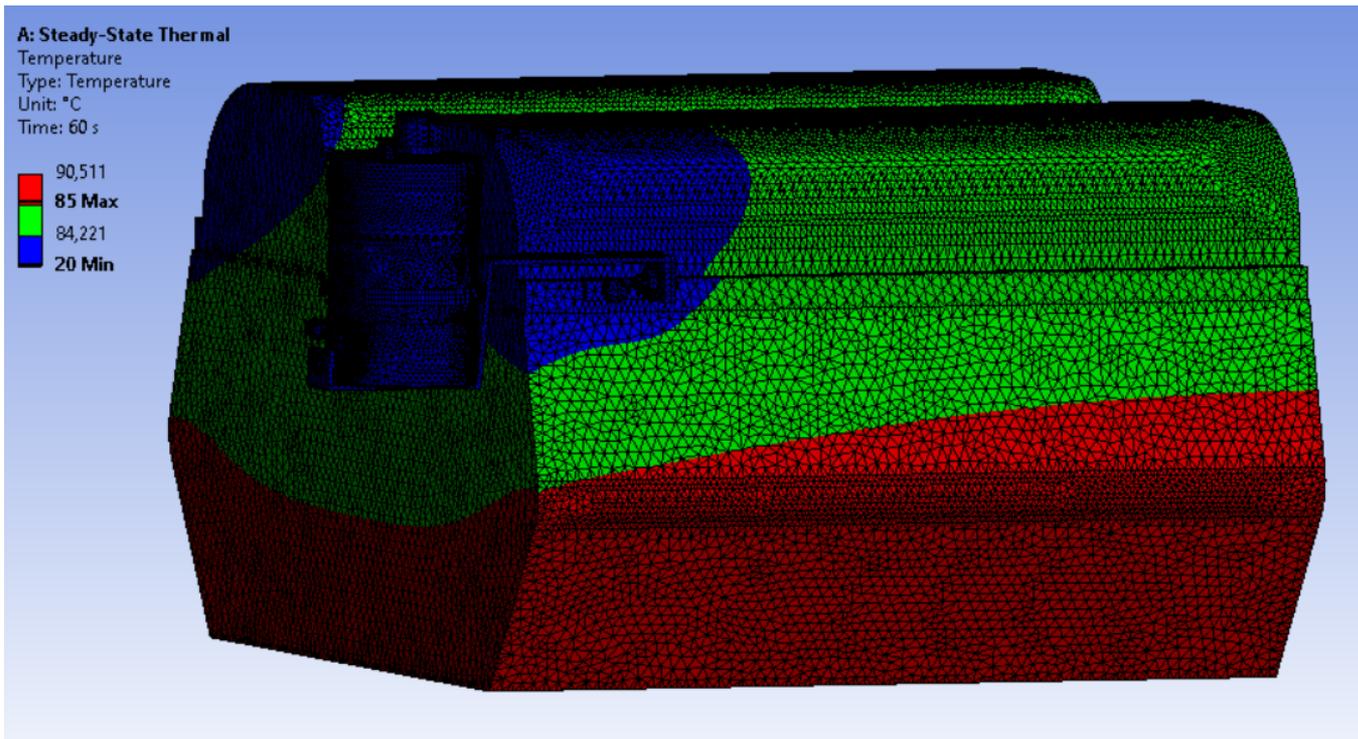
# Simulación estática “Vehículo Diésel”



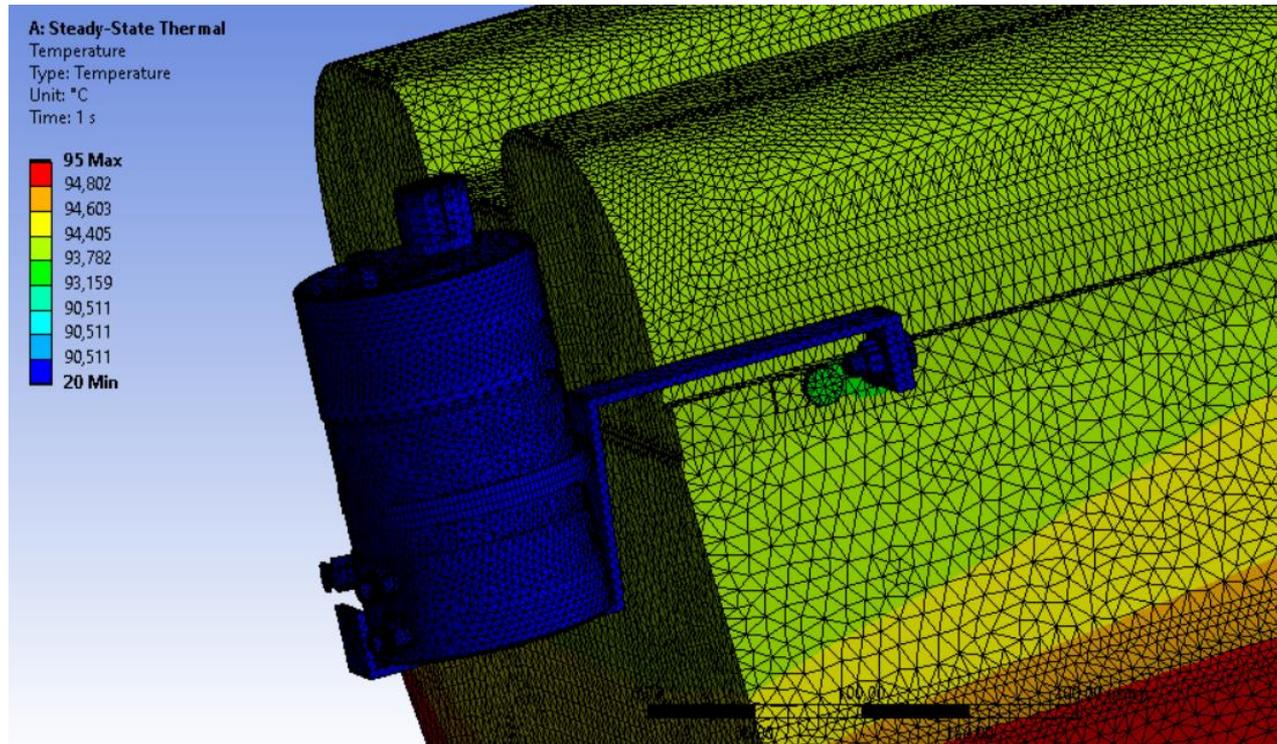
# Simulación estática “Vehículo Diésel”



## Simulación térmica “Vehículo Gasolina”



## Simulación térmica “Vehículo Diésel”



## Simulación Análisis de Fluidos “Vehículo Gasolina”

- Results (1.fld)
  - Mesh
  - Cut Plots
  - Surface Plots
  - Isosurfaces
  - Flow Trajectories
    - Flow Trajectories 1
    - Flow Trajectories 2
    - Flow Trajectories 3

### Análisis de Temperatura

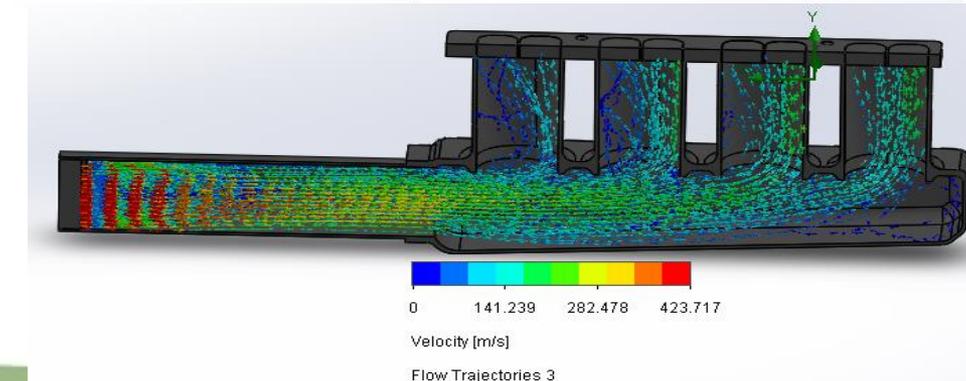
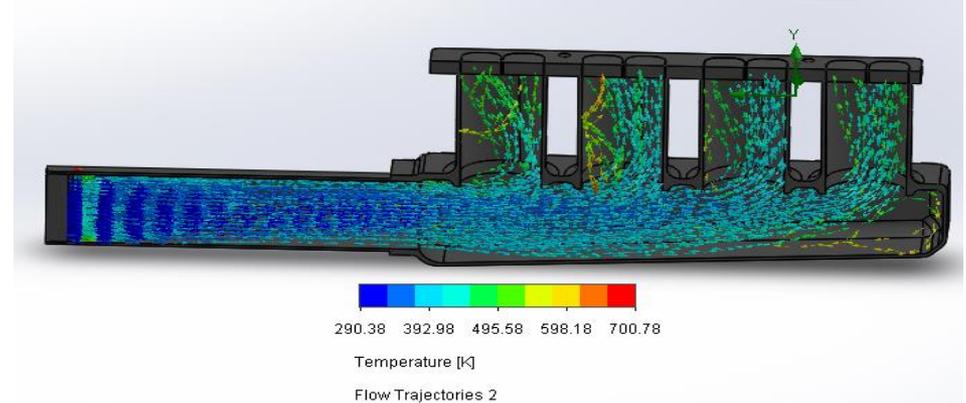
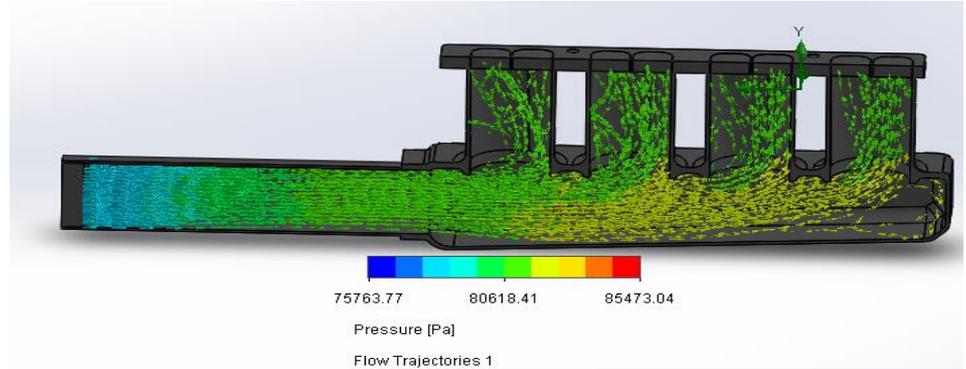
293,15 K - 625,26 K

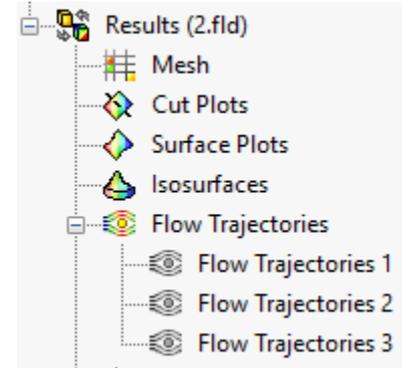
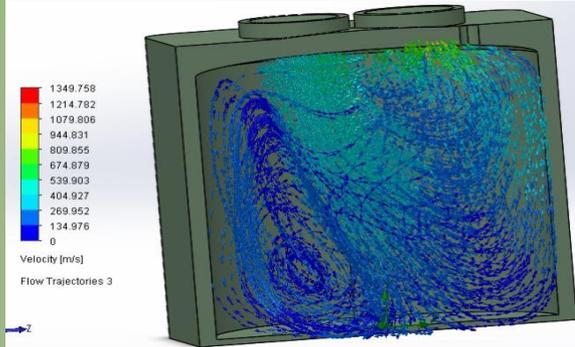
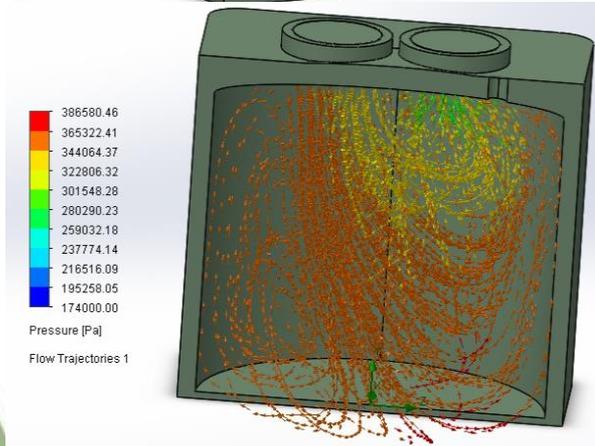
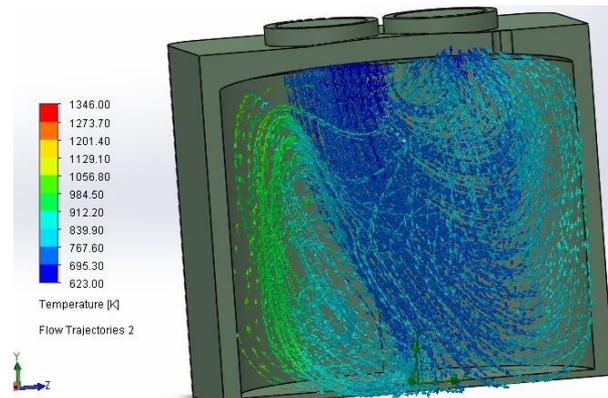
### Análisis de Presión

73642 Pa - 80757 Pa

### Análisis de Velocidad

141,239 m/s - 423,717 m/s.





## *Análisis de Temperatura*

625,26 K - 1346,197 K

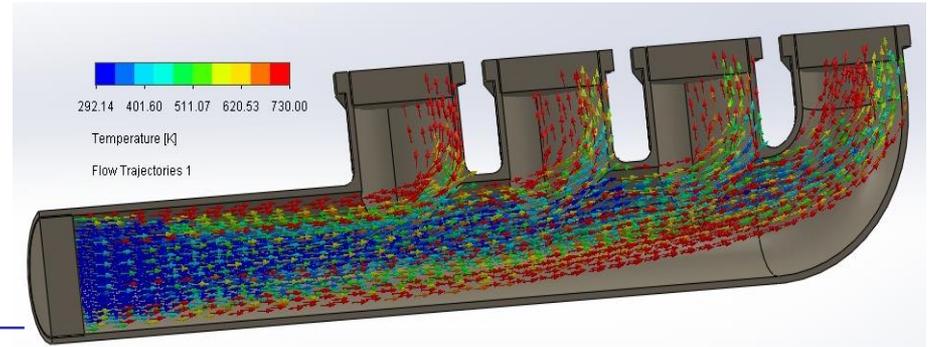
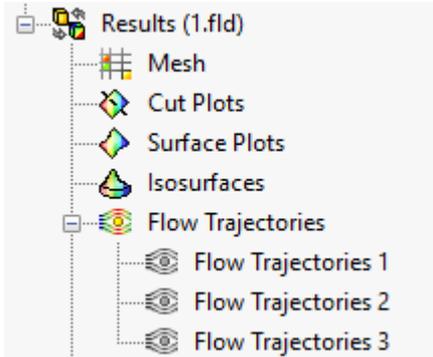
## *Análisis de Presión*

80757 Pa - 174000 Pa

## *Análisis de Velocidad*

134,976 m/s - 674,879 m/s

## Simulación Análisis de Fluidos “Vehículo Diésel”



### *Análisis de Temperatura*

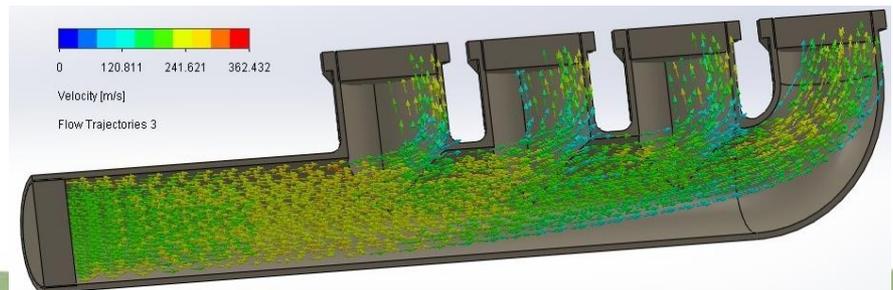
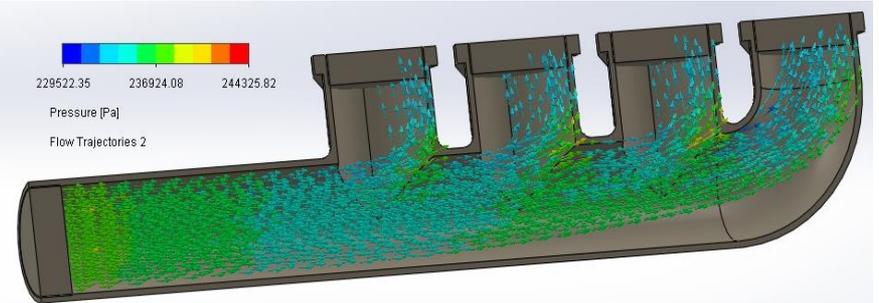
293,15 K - 710,148 K

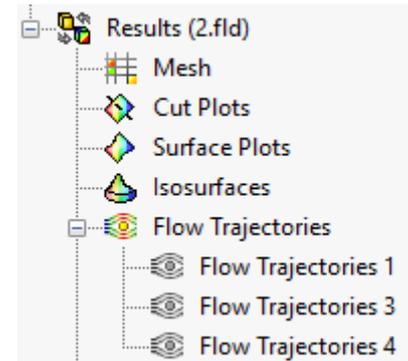
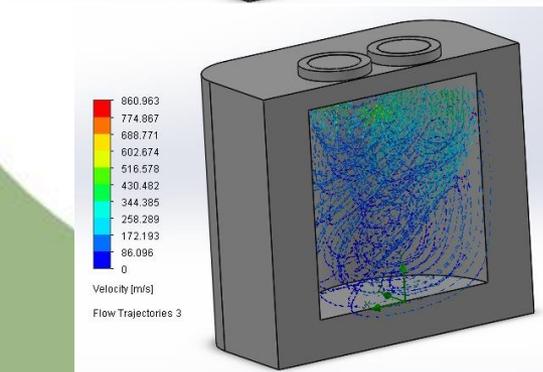
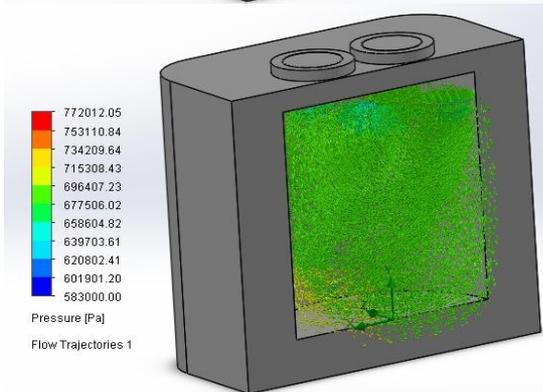
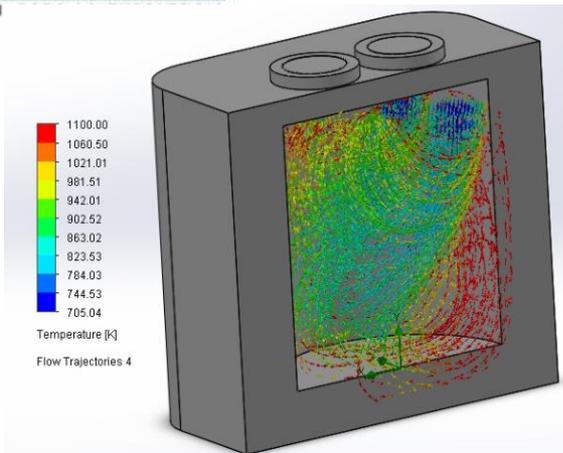
### *Análisis de Presión*

73642 Pa - 233000 Pa

### *Análisis de Velocidad*

120,811 m/s - 250,201 m/s





## *Análisis de Temperatura*

293,15 K - 1082,51 K

## *Análisis de Presión*

73642 Pa - 233000 Pa

## *Análisis de Velocidad*

86,096 m/s - 430,482 m/s



1

- Introducción

2

- Justificación

3

- Objetivos

4

- Metodología

5

- Resultados

6

- Conclusiones

7

- Recomendaciones



La generación del diseño y modelado del sistema permite determinar un valor teórico de la cantidad de hidrógeno que se generará a partir del proceso de electrólisis y esto está condicionado por la intensidad de la diferencia de potencial eléctrico, temperatura, presión, conductividad y pH del electrolito, materiales y dimensiones de las placas.

Mediante la fundamentación teórica se determinó que las proporciones para la mezcla entre el hidrogeno y el oxígeno es de 2:1, por lo que se induce una corriente eléctrica para disociar las moléculas de agua y mediante un electrolizador descomponer las moléculas de hidrogeno y oxigeno por medio de la electrolisis, la incidencia característica dentro de la cámara de combustión se ve reflejado en el proceso de combustión, obteniendo propiedades de energía e inflamabilidad.



Mediante el modelado en CAD del generador de hidrógeno se determinó las medidas específicas para el diseño, siendo el punto crucial para determinar los cálculos pertinentes de flujo y volumen de hidrogeno, por lo que teóricamente se deduce que la mitad del volumen de la cámara se ocupa para el agua destilada con hidróxido de potasio, la otra mitad ocupa el gas HHO, por lo que el generador aloja en su parte interna  $5,04 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup> de agua y  $5,04 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup> de gas, generando un volumen teórico de gas HHO de  $1,21 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/min, el cual es enviado directamente antes del filtro de aire de la admisión del motor.

Mediante la aplicación de las fórmulas matemáticas para motores de combustión interna (MCI) de encendido provocado (MEP) y encendido por compresión (MEC), se determina las temperaturas y presiones en todo el ciclo de trabajo calculadas teóricamente, además de las constantes y coeficientes propios de cada tipo de motor, siendo necesarios para generar un simulación termodinámica de cada ciclo, con lo cual se valida los resultados calculados teóricamente obteniendo un margen de precisión del 95% y 90% para motor a gasolina y diésel respectivamente.



Con las simulaciones estáticas se pudo evidenciar que en el vehículo a gasolina en la sección del chasis donde va sujeto el generador mediante el acople de una base el factor de seguridad generado oscilo entre 15 y 10, esto puede ser debido a la calidad del mallado, presentando una deformación máxima de 3,62 mm en la esquina inferior derecha del soporte. Para la sección del motor presento un factor de seguridad de 15, presentando una deformación máxima de 1,3 mm en el inferior de la base de la tapa inferior del depósito. Para los resultados del vehículo diésel, en la sección del chasis presento un factor de seguridad total de 15 con una deformación máxima de 0,046 mm en el costado izquierdo de la base del generador de hidrogeno y para la sección del motor presenta los mismos resultados de la implementación en el vehículo a gasolina.

La simulación térmica arrojó que a condiciones normales de funcionamiento tanto para el vehículo gasolina y diésel no se presenta cambio de temperatura en el soporte y depósito, por ende no dificulta la implementación del depósito.



Con la simulación de la dinámica de fluidos se obtiene el análisis para los vehículos gasolina y diésel en el múltiple de admisión con entrada de valores de presión y temperatura a condiciones normales y se obtiene el cambio de temperatura y presión al final de la admisión con valores de 625,26 K - 80757 Pa para gasolina y 710,148 K - 583000 Pa para diésel, mediante al análisis dentro de la cámara de combustión se toman valores teóricos y calculados en cuanto a condiciones de entrada, por lo que mediante el comportamiento de los gases se evidencio el cambio de temperatura y presión al final del proceso de combustión siendo las condiciones iniciales del escape con valores de 1346,197 K - 174000 Pa para gasolina y 1082,51K - 233000 Pa para diésel.



1

- Introducción

2

- Justificación

3

- Objetivos

4

- Metodología

5

- Resultados

6

- Conclusiones

7

- Recomendaciones



Realizar investigaciones futuras sobre la incidencia del hidrogeno en motores de combustión interna desde el punto de vista del análisis termodinámico.

Para no tener inconsistencia en los datos de ingreso para la simulación utilizar valores teóricos o calculados, con el fin de evitar datos erróneos y una simulación errónea.



Tomar en consideración las limitaciones del software de simulación, en cuanto a número de nodos, en el proceso de mallado, los cuales tienen un determinado número para realizar simulaciones por medio del modelado asistido por computador.

Tener en consideración los diferentes parámetros para el diseño asistido por computador, por lo que al momento de realizar una simulación los parámetros iniciales afectan directamente al procesamiento en el entorno de simulación generando un tiempo demasiado largo de espera.



Realizar diagramas de flujo que muestren los procesos para el entorno de simulación, para llevar una secuencia ordenada de los datos a ingresar y valores específicos.

Para los procesos de simulación CFD se debe tomar en cuenta los valores teóricos y reales para realizar una comparación entre estos valores, de esta forma se tiene un análisis más claro y conciso.



Para la utilización de softwares de simulación CAD, CAM, CAE se debe tomar en cuenta el tipo de licencia, ya que depende netamente de los recursos que cuenta la licencia.

GRACIAS  
POR SU  
ATENCIÓN