



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



# Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

**“Análisis de la turbulencia y proceso de combustión en motores de encendido provocado mediante el efecto “Squish – Tumble” en un go kart”**

Esparza Chiluisa, Alexander Manuel

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del Título de Ingeniero Automotriz

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc.

**Latacunga, Julio 2023**





Planteamiento del problema

Justificación

Objetivos

Introducción

Parametrización del motor de estudio

Diseño cámara de combustión tipo "Squish"

Modelado CAD - CAE

Simulación CFD

Proceso de manufactura e implementación

Puesta a punto Sist. Automotrices del prototipo

Protocolos y ejecución de pruebas

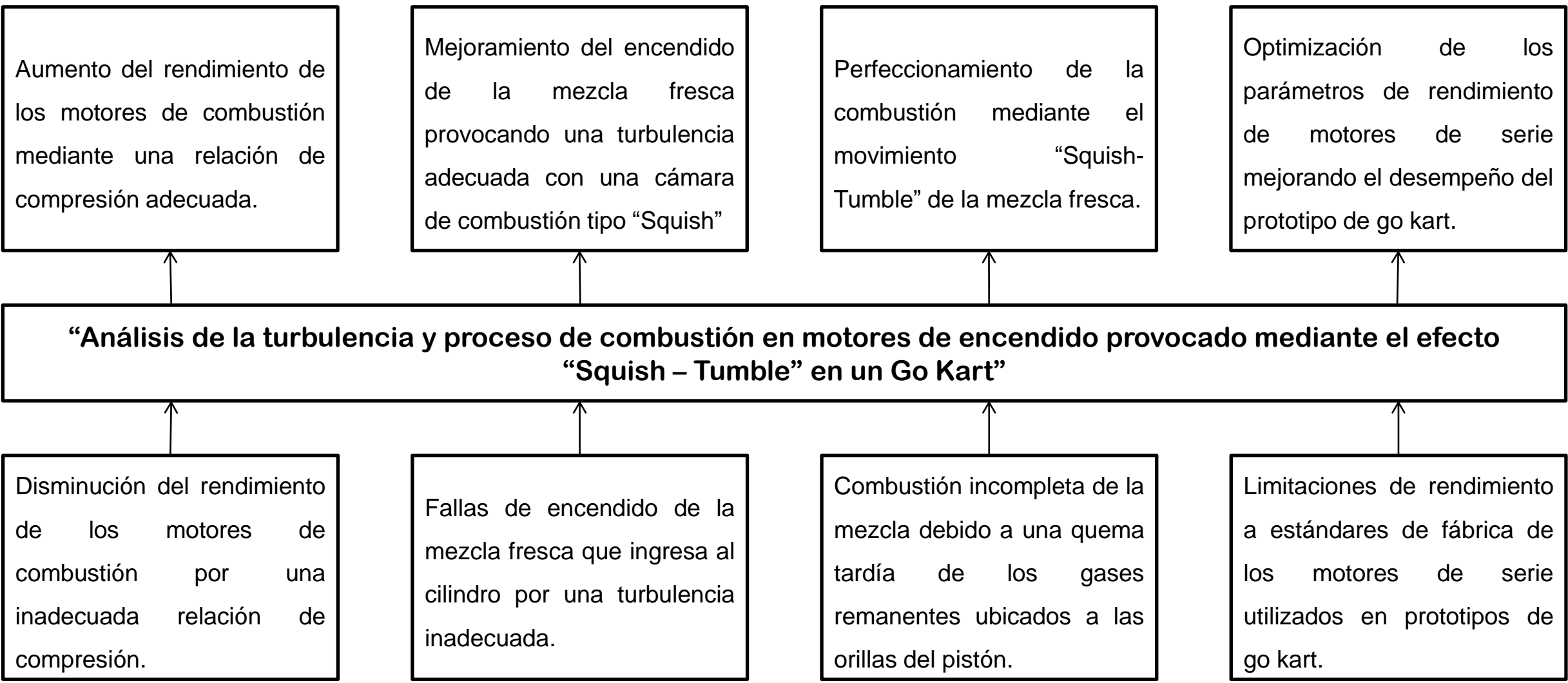
Resultados

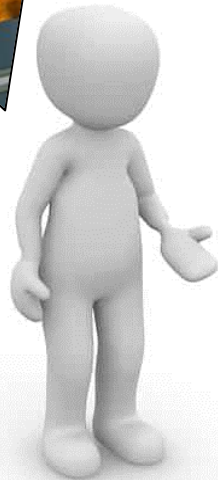
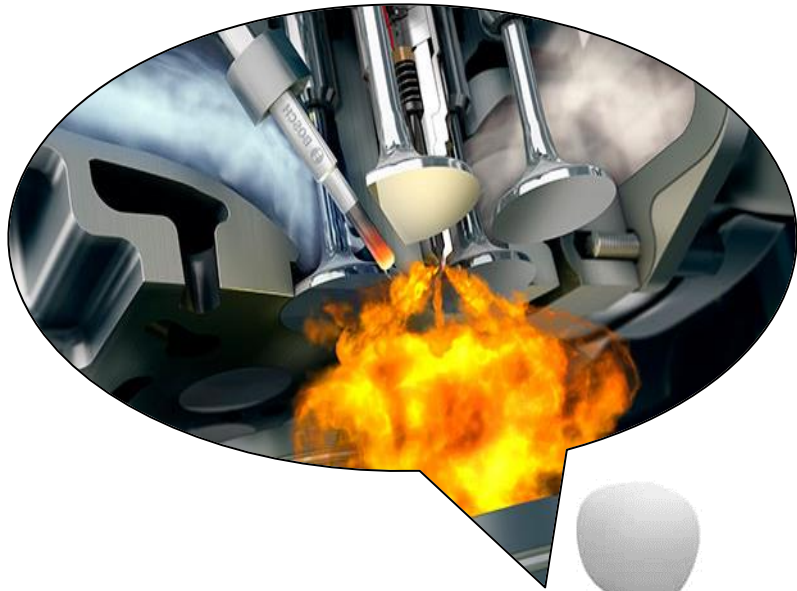
Conclusiones

Recomendaciones



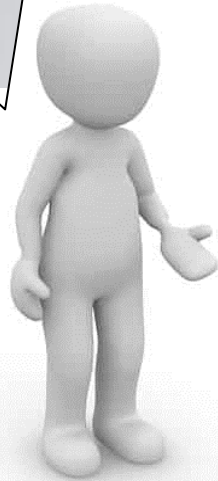
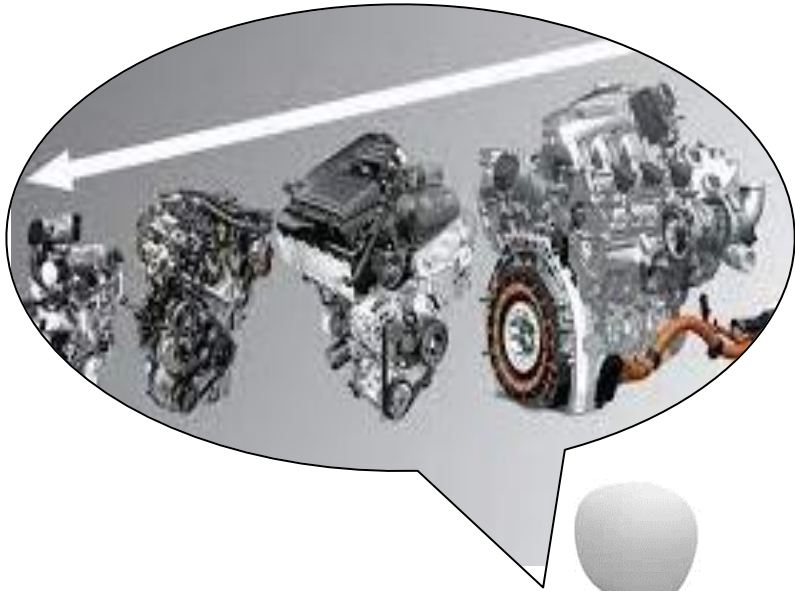
# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA





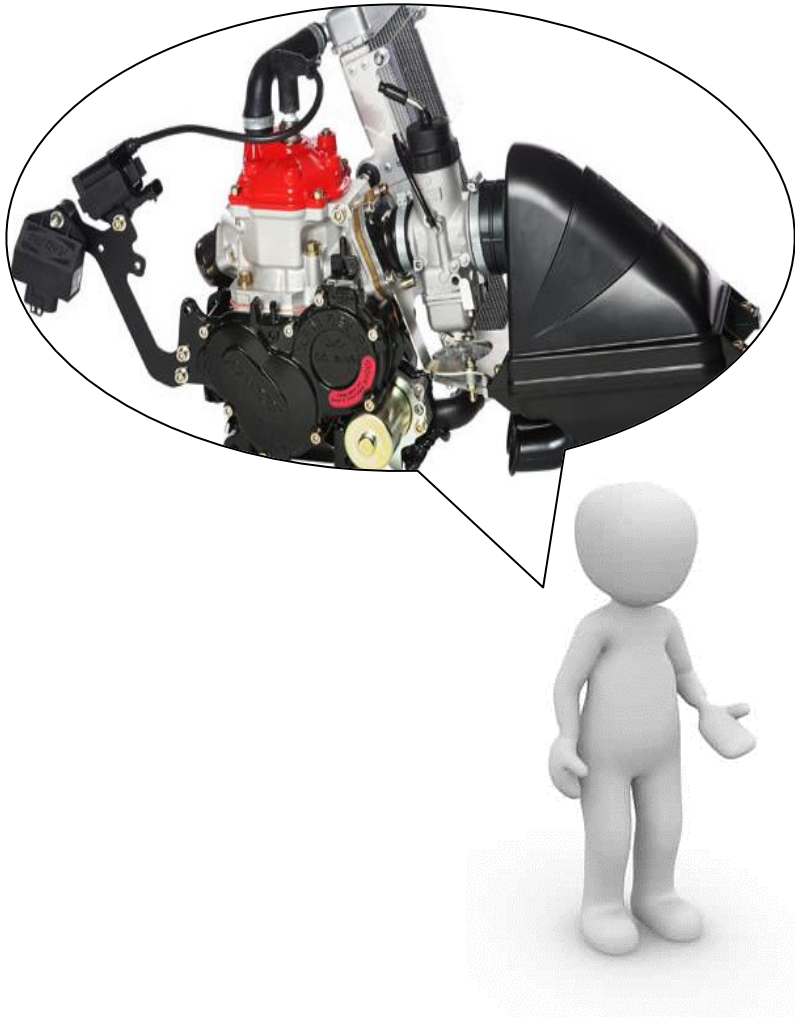
Los motores de combustión interna basan su funcionamiento en la conversión de energía térmica producida por la quema de combustible en energía mecánica, permitiendo la impulsión de un vehículo determinado; motivo por el cual, para el desarrollo y optimización de este tipo de motores, es menester el estudio del proceso de combustión.





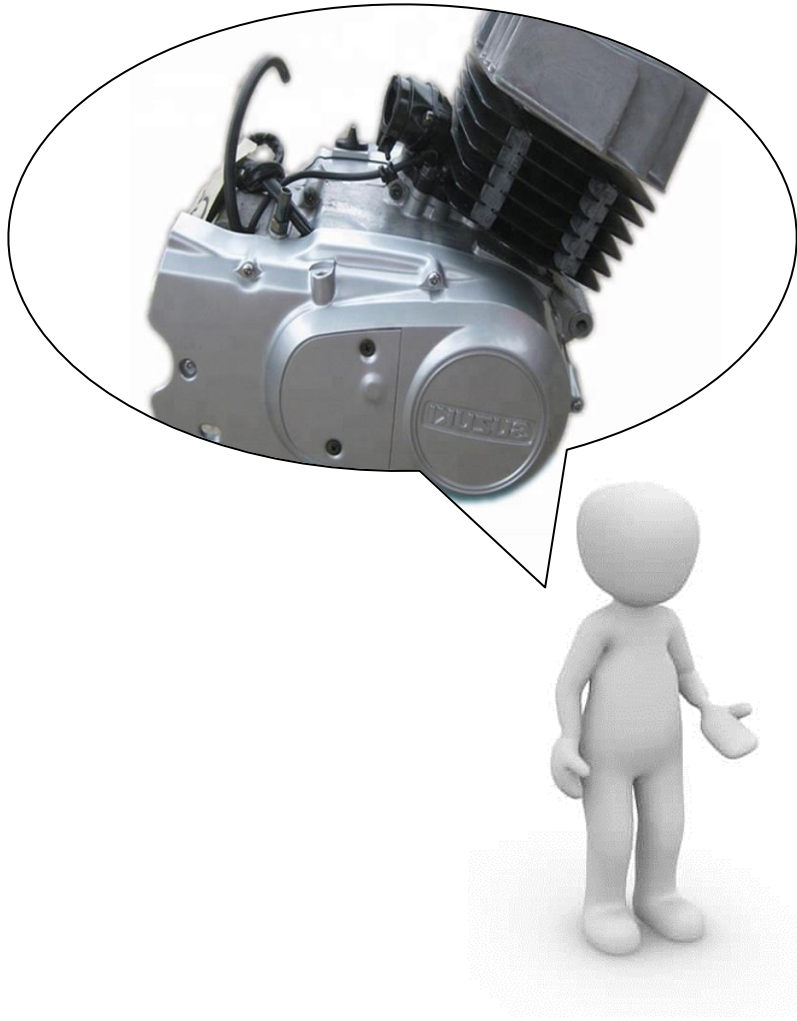
La tendencia por el “Downsizing” en la industria automotriz prolifera el estudio de los tipos de movimientos en la renovación y compresión de la mezcla para optimizar la combustión de los MCI, aprovechando mayor parte de energía térmica obtenida por la quema de combustible en energía mecánica.





En el karting una categoría del automovilismo se utiliza MEP de dos tiempos que cuentan con cámaras de combustión tipo “Squish”, esto se debe a que por su geometría al momento de la compresión se produce el efecto fluido dinámico “Squish – Tumble”.





Existen categorías donde los go kart tienen motores de uso comercial como unidad motora. Los cuales no cuentan con este tipo de movimientos a los cuales se les puede implementar sistemas que generen tales efectos. Partiendo de la investigación, matemática, diseño y manufactura. Que pueden ser comprobados mediante pruebas establecidas.



Analizar la turbulencia y proceso de combustión en motores de encendido provocado mediante el efecto “Squish – Tumble” en un Go Kart.

**OBJETIVO  
GENERAL**





## OBJETIVOS ESPECIFICOS

Fundamentar teórica y científicamente mediante fuentes bibliográficas confiables la turbulencia y el proceso de combustión en los MEP, además de la generación del efecto “*Squish – Tumble*” en motores de dos tiempos y la matemática aplicada al automóvil; asimismo recopilar los parámetros básicos del motor de dos tiempos marca Suzuki modelo AX100 mediante información de manuales y fichas técnicas del fabricante.

Dimensionar la geometría del motor de estudio y establecer dimensiones idóneas de la cámara de combustión de tipo “Squish”.

Obtener una correcta relación de compresión, mediante los parámetros simétricos optimizados y las investigaciones previas sobre la aplicación de este tipo de cámaras de tipo “Squish” en motores de encendido provocado utilizados para competencia.



## OBJETIVOS ESPECIFICOS



Modelar en 2D y 3D los mecanismos involucrados en la renovación de carga y comprensión de la mezcla del motor de prueba; a través de simulaciones del funcionamiento en softwares CAD – CAE, para un posterior análisis dinámico de fluidos computacional (CFD).

Realizar la simulación dinámica de fluidos computacional (CFD) sobre la mezcla aire – combustible en el motor de estudio con la cámara de combustión estándar y con la cámara de combustión de tipo “Squish” diseñada, para establecer niveles de turbulencia generados y la incidencia en los motores de combustión interna.

Realizar la inspección y puesta a punto, del motor y sistemas auxiliares del prototipo de Go Kart para garantizar un funcionamiento óptimo del monoplaza en ensayos estacionarios y pruebas de campo ejecutadas para el estudio a través de protocolos estándar.



## OBJETIVOS ESPECIFICOS



Establecer un proceso de modificación de la geometría de la cámara de combustión estándar a una de tipo “Squish” según las cotas dimensionales para implementarse a la culata original del motor de estudio mediante la modificación de características geométricas y de capacidad.

Matematizar los parámetros característicos del motor de dos tiempos Suzuki AX100 en condiciones estándar, y bajo las modificaciones de las características geométricas y capacidad, mediante la cámara de combustión “Squish”.

Determinar la incidencia en aspectos de rendimiento como torque y potencia entregados a la rueda del monoplaza mediante pruebas de aceleración estática en un dinamómetro del prototipo de Go Kart.



## OBJETIVOS ESPECIFICOS

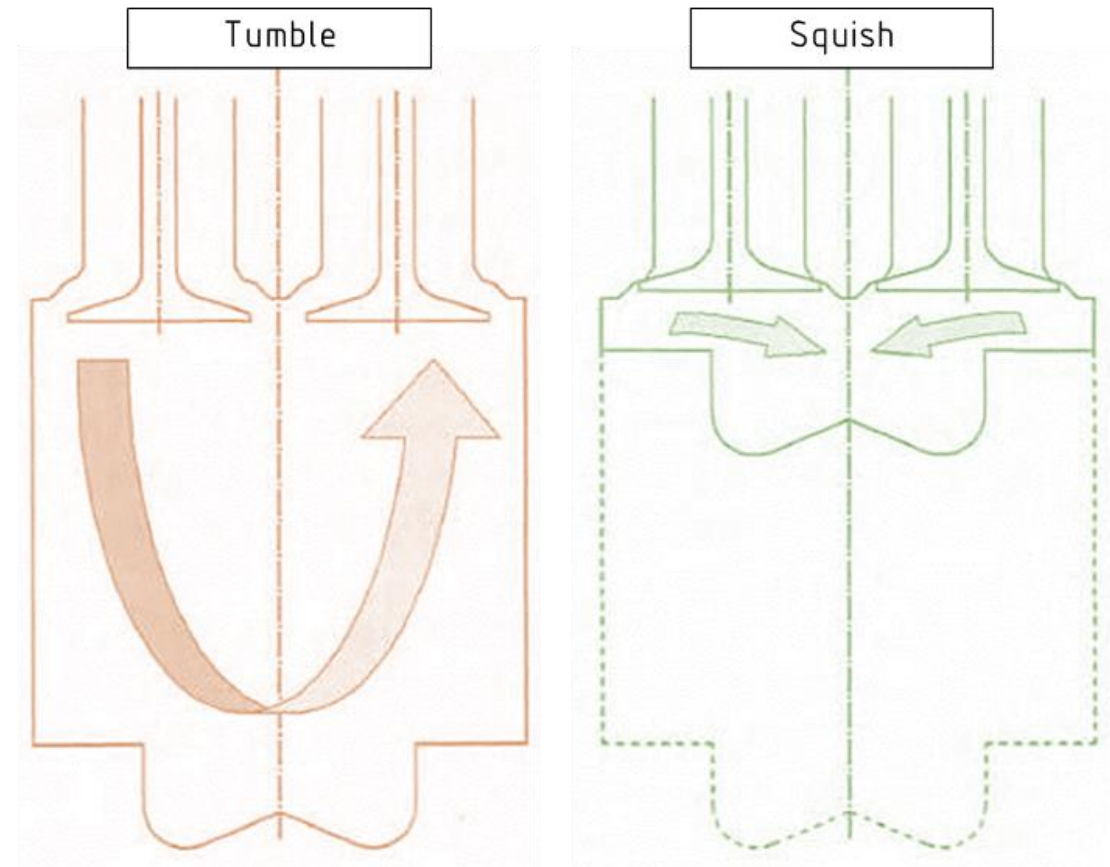
Establecer un protocolo de pruebas dinámicas en pista para evaluar el desempeño del motor en condiciones de funcionamiento de fábrica y con la variación, determinando consumo de combustible, aceleración y velocidad máxima del prototipo de Go Kart.

Realizar una comparativa de los resultados de las pruebas estáticas y dinámicas en campo para determinar la incidencia del efecto “Squish – Tumble” en el desempeño del prototipo de go kart.



## Efecto “Squish – Tumble”

La palabra “squish” hace referencia al efecto de aplastamiento de los gases que se encuentran en los bordes del cilindro hacia el centro de la cámara de combustión. Mientras que “Tumble” se refiere a la turbulencia provocada luego del rompimiento de las macroestructuras como el “Swirl” o el “Squish”,

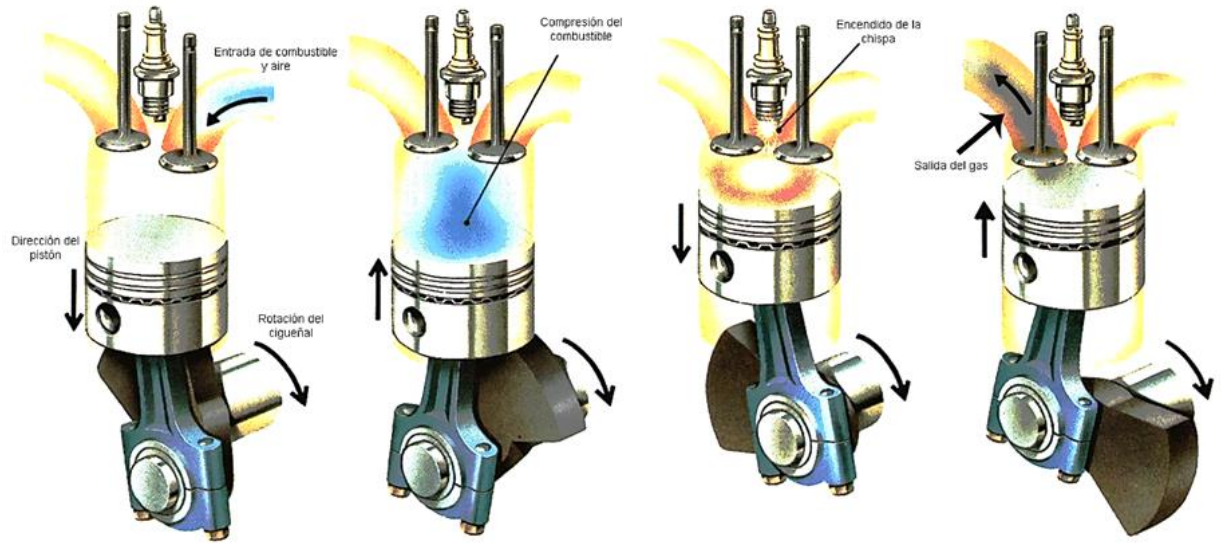


**Descripción.** Esquematización de los movimientos dentro del cilindro



## MEP (Motores de Encendido Provocado)

Son MCIA (Motores de Combustión Interna Alternativos) que requieren de un aporte de energía externa como el arco eléctrico generado por una bujía, para realizar la ignición de la mezcla aire combustible previamente comprimida al interior del cilindro.



**Descripción.** Procesos básicos de un MCIA de encendido provocado

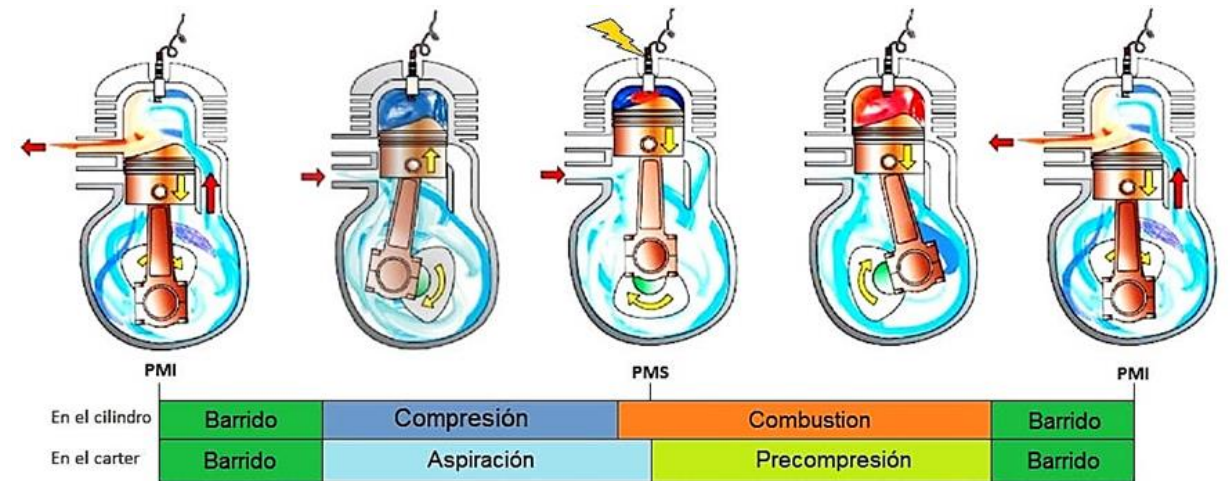


## MEP (Motores de Encendido Provocado)

Los MEP pueden ser de dos y cuatro tiempos. Difieren el uno del otro por la cantidad de carreras que se requieren para ejecutar el proceso básico de un MCIA.

2T: 1 ascendente y 1 descendente

4T: 2 ascendentes y 2 descendentes



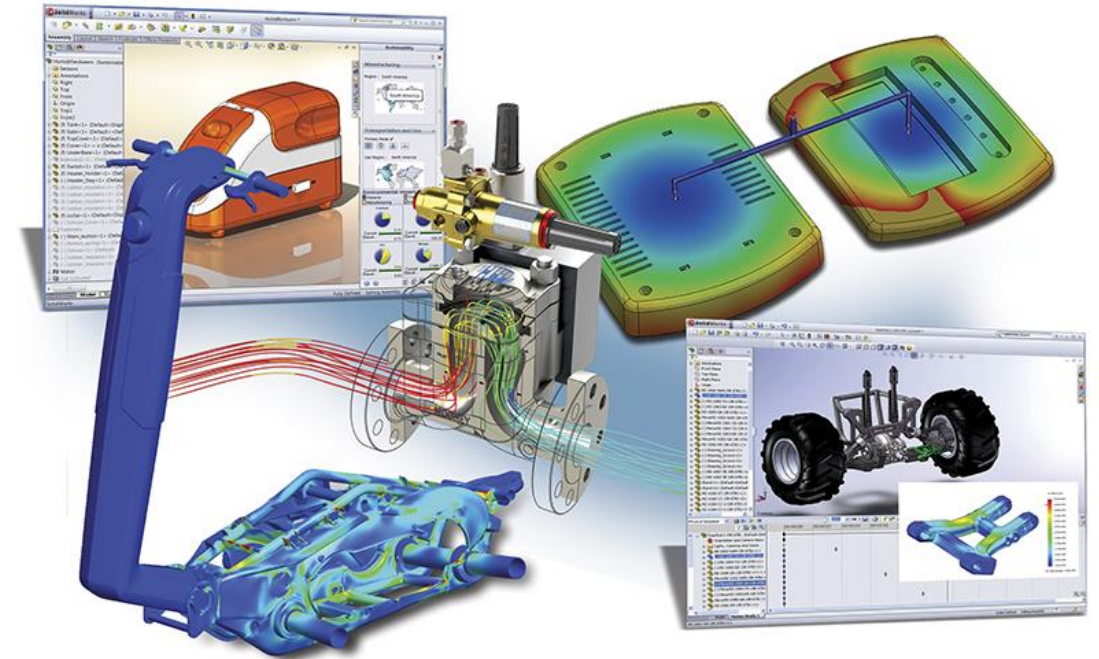
**Descripción.** Ciclo de trabajo de un motor de dos tiempos



## CAD & CAE

CAD  
(Diseño Asistido por Computador)

CAE  
(Ingeniería Asistida por computador)



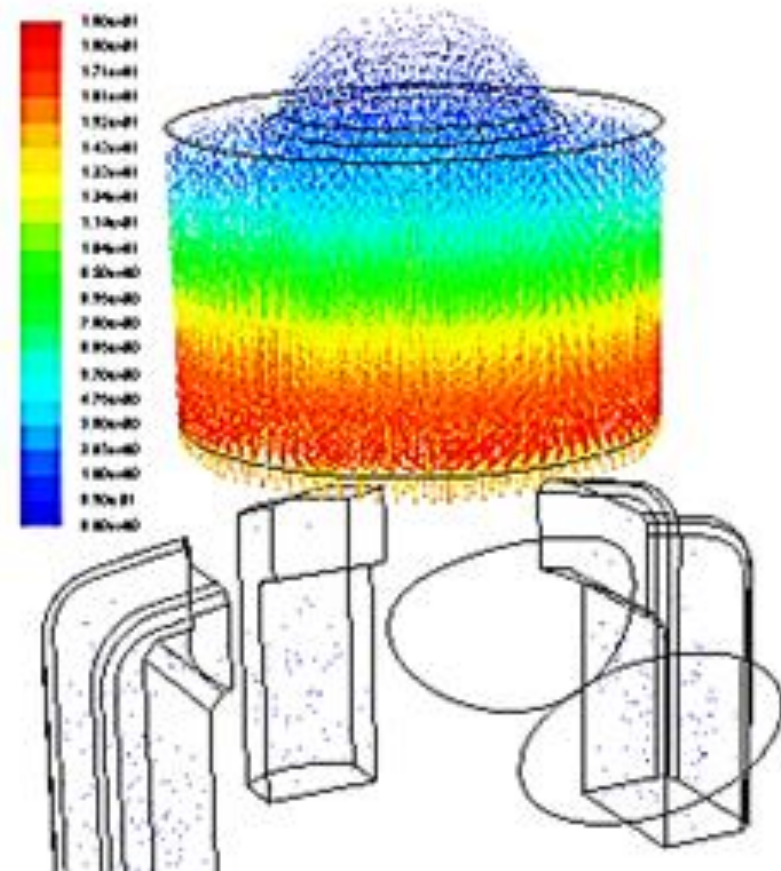
*Descripción. CAD & CAE en la automoción*





## Análisis CFD (Análisis Fluido Dinámico Computarizado)

Estudio que se realiza sobre un elemento o ensamble 3D modelado en un software CAD, para la obtención del comportamiento de un fluido o la evaluación de sus cambios térmicos.

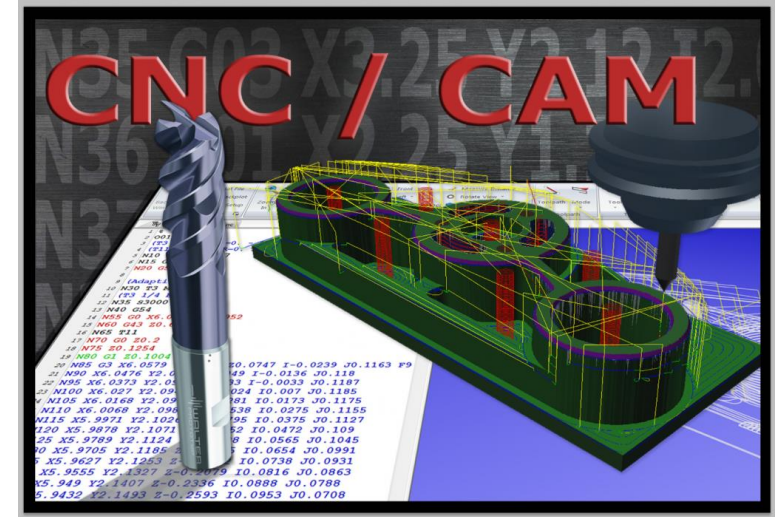


**Descripción.** Simulación CFD sobre motor de dos tiempos

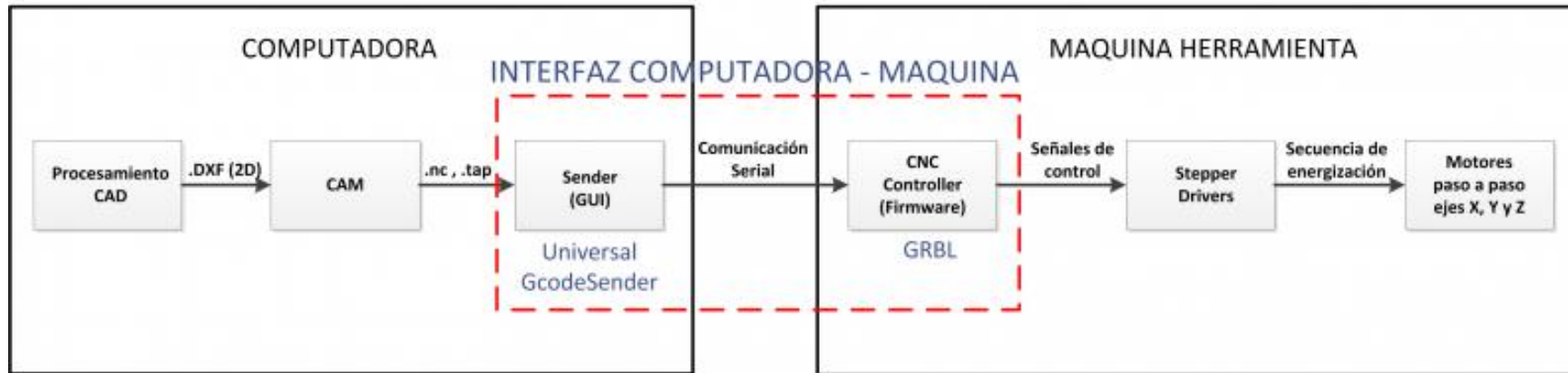


**CNC (Controlo Numérico Computarizado) & CAM (Manufactura asistida por Computador)**

Máquinas de manufactura controladas por computador para la creación de piezas automotrices de alta precisión.



**Descripción. Relación CNC/CAM**



# Parametrización del motor de estudio

## Características motor Suzuki AX100



Característica	Detalle
Modelo	2 tiempos, refrigeración por aire
Cantidad de cilindros	1
Diámetro del cilindro	50 mm
Carrera del pistón	50 mm
Desplazamiento Volumétrico	98 cc
Relación de compresión	6,6:1

**Descripción.** Motor 2T Suzuki AX100 adaptado al chasis del prototipo de go kart



# Parametrización del motor de estudio

Parámetros  
Geométricos

E  
S  
M t  
o á  
t n  
o d  
r a  
r

- *Relación carrera diámetro*

$$\frac{S}{D} = \frac{50}{50} = 1$$

- *Longitud de manivela (l)*

$$l = \frac{S}{2} = \frac{50 \text{ mm}}{2} = 25 \text{ mm}$$

- *Sección o área del pistón ( $A_p$ )*

$$A_p = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi}{4} (50 \text{ mm})^2$$

$$A = 625\pi \cong 1963,495 \text{ mm}^2$$

- *Cilindrada unitaria*

$$V_D = A_p * S = \frac{\pi * D^2 * S}{4}$$

$$V_D = A_p * S = 625\pi \text{ mm}^2 * 50 \text{ mm} = 31250\pi \text{ mm}^3$$

$$V_D \cong 98174,77 \text{ mm}^3 = 98,174 \text{ cc}$$

- *Volumen Camara de Combustión ( $V_c$ )*

$$V_c = \frac{V_D}{\varepsilon - 1}$$

$$V_c = \frac{98,174}{6.6 - 1} = 17.531 \text{ cc}$$



# Parametrización del motor de estudio

Parámetros Geométricos

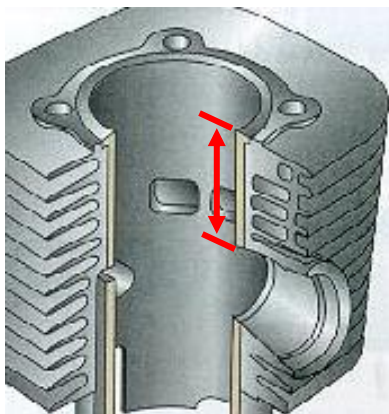
E  
s  
t  
o  
á  
m  
o  
d  
o  
d  
o  
r

- Velocidad media del pistón ( $V_p$ )

$$V_p = \frac{S * n}{30000} = \frac{50 \text{ mm} * 7500 \text{ rpm}}{30000} = 12.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Carrera Útil ( $L'$ )

$$L' = 32 \text{ mm}$$



- Volumen efectivo del cilindro ( $V'_D$ )

$$V'_D = A_p * L'$$

$$V'_D = 625\pi \text{ mm}^2 * 32 \text{ mm} = 62831,85307 \text{ mm}^3$$

$$V'_D = 62,832 \text{ cc}$$

- Relación compresión efectiva

$$\varepsilon' = \frac{V'_D + V_C}{V_C}$$

$$\varepsilon' = \frac{62,832 \text{ cc} + 17,531 \text{ cc}}{17,531 \text{ cc}} = 4,584 : 1$$



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

# Parametrización del motor de estudio

Parámetros  
Geométricos

E  
S  
M t  
o á  
t n  
o d  
r a  
r

- Volumen perdido

$$V_p = V_D - V'_D$$

$$V_p = 98,175 \text{ cc} - 62,832 \text{ cc} = 35,343 \text{ cc}$$

- Fracción de volumen perdido

$$\psi_p = \frac{V_p * 10^{-1}}{V_h}$$

$$\psi_p = \frac{35,343 * 10^{-1}}{98,175 \text{ cc}} = 0,036$$



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

# Parametrización del motor de estudio

Parámetros  
Geométricos

M  
o  
d  
i  
f  
i  
c  
a  
d  
o



Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad
Relación Carrera Diámetro	$\frac{S}{D}$	0,96	—
Área del pistón	$A_p$	2123,716	$mm^2$
Cilindrada Unitaria	$V_D$	106,185	$cc$
Volumen de la cámara de Combustión	$V_C$	14,158	$cc$
Carrera efectiva	$L'$	30	$mm$
Volumen efectivo del cilindro	$V'_D$	63,711 $cc$	$cc$
Relación compresión efectiva	$\varepsilon'$	5,5 : 1	—
Volumen Perdido	$V_p$	42,474 $cc$	$cc$
Fracción de Volumen Perdido	$\psi_p$	0,040	—



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

# Parametrización del motor de estudio

## Motor Condiciones Estándar

### Parametros de funcionamiento ciclo OTTO

#### Presión Atmosferica

Altura de la locación	2850	msnm		
Formula		Resultado		
$P_o = 1013.25 * (1 - 0.0000225577 * h)^{5.2559}$		=	714,561	mbar
		=	71456,110	Pa
		=	0,0715	MPa

#### Presión al final de la admisión

Presion en el sistema de escape	71456,1103	Pa		
Formula		Resultado		
$P_a \approx 0,5(P_{atm} + P_p)$		=	71456,110	Pa
		=	0,0715	MPa

#### Temperatura al terminar de la admisión

Temperatura ambiental		288,15	K	
Temperatura de calentamiento de la carga		15	°C	
Temperatura de gases residuales		1000	K	
Cantidad de gases residuales		0,4		
Formula		Resultado		
$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma_r * T_r}{1 + \gamma_r}$		=	502,250	K

## Motor Condiciones Modificadas

### Parametros de funcionamiento ciclo OTTO

#### Presión Atmosferica

Altura de la locación	2850	msnm		
Formula		Resultado		
$P_o = 1013.25 * (1 - 0.0000225577 * h)^{5.2559}$		=	714,561	mbar
		=	71456,110	Pa
		=	0,0715	MPa

#### Presión al final de la admisión

Presion en el sistema de escape	71456,1103	Pa		
Formula		Resultado		
$P_a \approx 0,5(P_{atm} + P_p)$		=	71456,110	Pa
		=	0,0715	MPa

#### Temperatura al terminar de la admisión

Temperatura ambiental		288,15	K	
Temperatura de calentamiento de la carga		15	°C	
Temperatura de gases residuales		1000	K	
Cantidad de gases residuales		0,4		
Formula		Resultado		
$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma_r * T_r}{1 + \gamma_r}$		=	502,250	K





# Parametrización del motor de estudio

## Motor Condiciones Estándar

Presión de Compresión			
Exponente politropico de compresion	1,34		
Formula		Resultado	
$P_c = P_a * \epsilon'^{n_1}$	=	549676,471 Pa	
	=	0,550 Mpa	
Temperatura de Compresión			
Formula		Resultado	
$T_c = T_a * \epsilon'^{n_1-1}$	=	842,836 K	
Temperatura de Combustión			
Coefficiente de elevación de presión durante la combustión		4	
Formula		Resultado	
$T_z = \lambda * T_a * \epsilon'^{n_1-1}$	=	3371,34427 K	
Presión de Combustión			
$P_z = P_c \left( \frac{T_z}{T_c} \right)$	=	2,199 Mpa	

## Motor Condiciones Modificadas

Presión de Compresión			
Exponente politropico de compresion	1,34		
Formula		Resultado	
$P_c = P_a * \epsilon'^{n_1}$	=	701657,829 Pa	
	=	0,702 Mpa	
Temperatura de Compresión			
Formula		Resultado	
$T_c = T_a * \epsilon'^{n_1-1}$	=	896,692 K	
Temperatura de Combustión			
Coefficiente de elevación de presión durante la combustión		4	
Formula		Resultado	
$T_z = \lambda * T_a * \epsilon'^{n_1-1}$	=	3586,76771 K	
Presión de Combustión			
$P_z = P_c \left( \frac{T_z}{T_c} \right)$	=	2,807 Mpa	



# Parametrización del motor de estudio

## Motor Condiciones Estándar

### Presión de Máxima del Ciclo

Formula

$$P'_z = P_z * 0,85$$

Resultado

= 1,869 Mpa

### Presión de Expansión

Coefficiente de elevación de presión durante la combustión

1,24

Formula

$$P_b = P_z \left( \frac{1}{\epsilon'^{n2}} \right)$$

Resultado

= 0,333 Mpa

### Temperatura de Expansión

Formula

$$T_b = T_z \left( \frac{1}{\epsilon'^{n2-1}} \right)$$

Resultado

= 2339,400 K

## Motor Condiciones Modificadas

### Presión Máxima del Ciclo

Formula

$$P'_z = P_z * 0,85$$

Resultado

= 2,386 Mpa

### Presión de Expansión

Coefficiente de elevación de presión durante la combustión

1,24

Formula

$$P_b = P_z \left( \frac{1}{\epsilon'^{n2}} \right)$$

Resultado

= 0,339 Mpa

### Temperatura de Expansión

Formula

$$T_b = T_z \left( \frac{1}{\epsilon'^{n2-1}} \right)$$

Resultado

= 2382,408 K



# Parametrización del motor de estudio

## Motor Condiciones Estándar

### Parametros indicados y Efectivos

#### 1. Presión indicada no redondeada

Formula

$$P_{inr} = P_a * \frac{\epsilon^{n_1}}{\epsilon - 1} \left[ \frac{\lambda}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{T_b}{T_z} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{T_a}{T_c} \right) \right]$$

Resultado

= 0,626 Mpa

#### 2. Presión indicada

Coefficiente de redondeamiento del diagrama 0,98

Formula

$$p_i = \varphi_i * p_{inr} * (1 - \psi)$$

Resultado

= 0,591 MPa

#### 3. Potencia indicada

Regimen de trabajo del motor 7500

Formula

$$N_i = \frac{P_i * V_H * n * i}{60}$$

Resultado

= 7,257 kW

= 9,73 HP

## Motor Condiciones Modificadas

### Parametros indicados y Efectivos

#### 1. Presión indicada no redondeada

Formula

$$P_a * \frac{\epsilon^{n_1}}{\epsilon - 1} \left[ \frac{\lambda}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{T_b}{T_z} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{T_a}{T_c} \right) \right]$$

Resultado

= 0,721 Mpa

#### 2. Presión indicada

Coefficiente de redondeamiento del diagrama 0,98

Formula

$$p_i = \varphi_i * p_{inr} * (1 - \psi)$$

Resultado

= 0,679 MPa

#### 3. Potencia indicada

Regimen de trabajo del motor 7500

Formula

$$N_i = \frac{P_i * V_H * n * i}{60}$$

Resultado

= 9,007 kW

= 12,08 HP



# Parametrización del motor de estudio

## Motor Condiciones Estándar

### 4. Presión media correspondiente a pérdidas mecánicas

Coficiente A	0,045			
Coficiente B	0,0145			

Formula

Resultado

$$p_m = A + B * V_p$$

= 0,226 Mpa

### 5. Potencia gastada en pérdidas mecánicas

Formula

Resultado

$$N_m = \frac{P_m * V_H * n * i}{60}$$

= 2,777 kW

= 3,723 HP

### 6. Potencia efectiva

Formula

Resultado

$$N_e = N_i - N_m$$

= 4,481 kW

= 6,009 HP

## Motor Condiciones Modificadas

### 4. Presión media correspondiente a pérdidas mecánicas

Coficiente A	0,03			
Coficiente B	0,0135			

Formula

Resultado

$$p_m = A + B * V_p$$

= 0,199 Mpa

### 5. Potencia gastada en pérdidas mecánicas

Formula

Resultado

$$N_m = \frac{P_m * V_H * n * i}{60}$$

= 2,638 kW

= 3,538 HP

### 6. Potencia efectiva

Formula

Resultado

$$N_e = N_i - N_m$$

= 6,369 kW

= 8,541 HP



# Parametrización del motor de estudio

## Motor Condiciones Estándar

### 7. Par efectivo

Regimen de trabajo del motor	6500	Resultado	
Formula			
$M_e = \frac{N_e * 60}{2\pi * \omega}$	=	6,583	Nm
	=	0,671	Kgm

### 8. Rendimiento mecánico

Formula		Resultado	
$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} * 100\%$	=	61,741	%

### 9. Rendimiento térmico

Formula		Resultado	
$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} * 100\%$	=	46,434	%

## Motor Condiciones Modificadas

### 7. Par efectivo

Regimen de trabajo del motor	6500	Resultado	
Formula			
$M_e = \frac{N_e * 60}{2\pi * \omega}$	=	9,357	Nm
	=	0,954	Kgm

### 8. Rendimiento mecánico

Formula		Resultado	
$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} * 100\%$	=	70,712	%

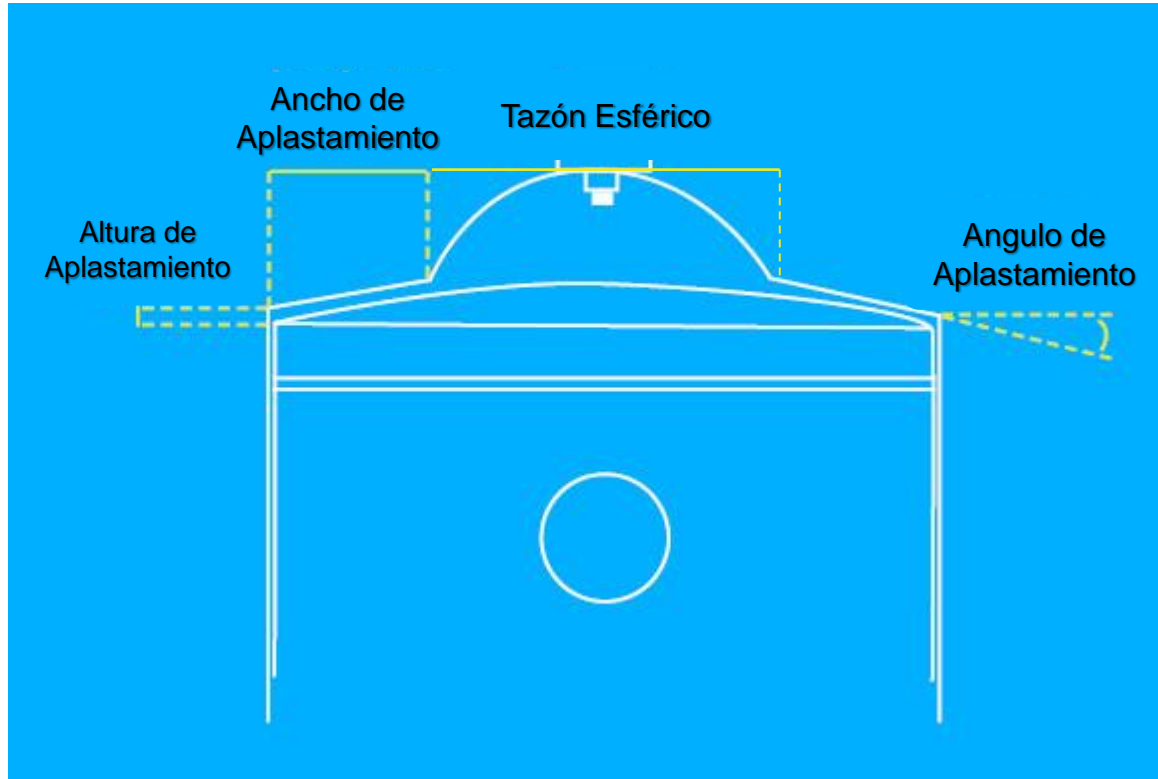
### 9. Rendimiento térmico

Formula		Resultado	
$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} * 100\%$	=	50,289	%



# DISEÑO CÁMARA DE COMBUSTIÓN TIPO “SQUISH”

## GEOMETRÍA DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE TIPO “SQUISH”



**Altura de aplastamiento.-** Distancia entre el pistón y la culata, donde se realizará el aplastamiento de los gases.

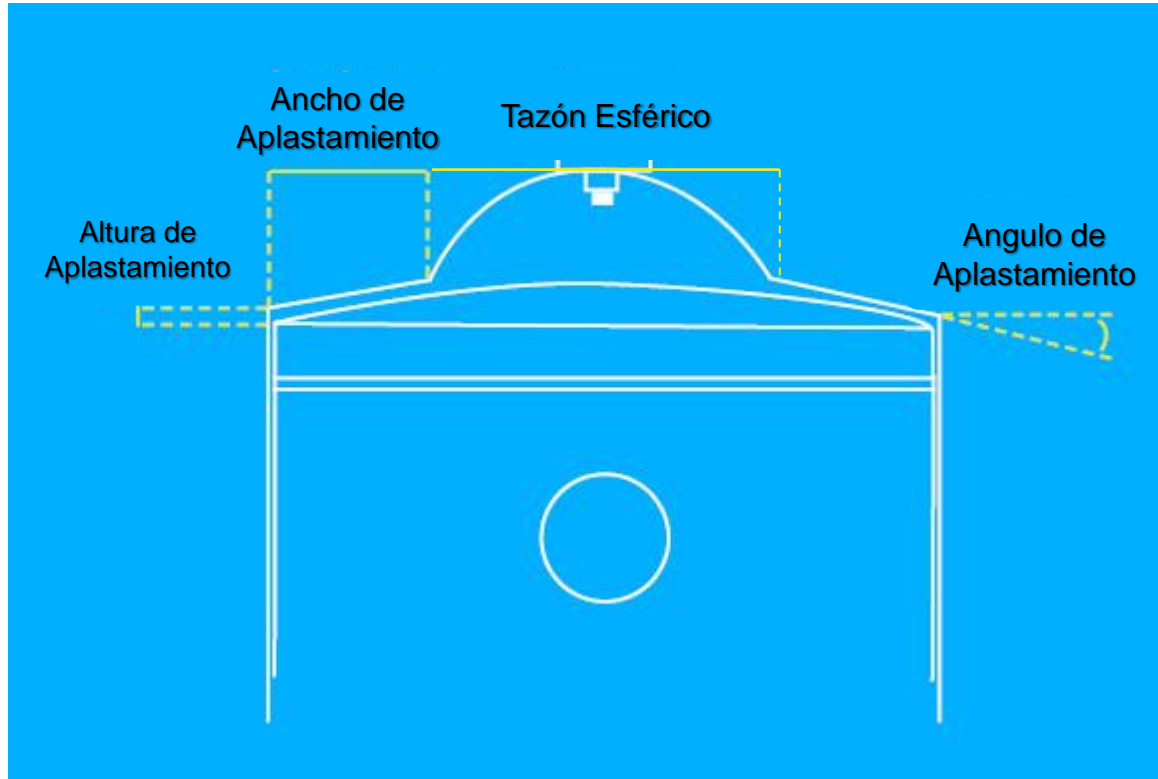
**Ancho de aplastamiento.-** Zona que cubre las orillas del pistón donde se ejerce el aplastamiento de los gases.

**Angulo de aplastamiento.-** Inclinación de la zona de aplastamiento para impulsar los gases hacia el centro de la cámara.



# DISEÑO CÁMARA DE COMBUSTIÓN TIPO “SQUISH”

## GEOMETRÍA DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE TIPO “SQUISH”



### Altura de aplastamiento

Rango optimo 0,6mm a 1,2 mm

(0,6 mm;  $V_D < 80$  cc)

(1,2 mm;  $V_D > 80$  cc)

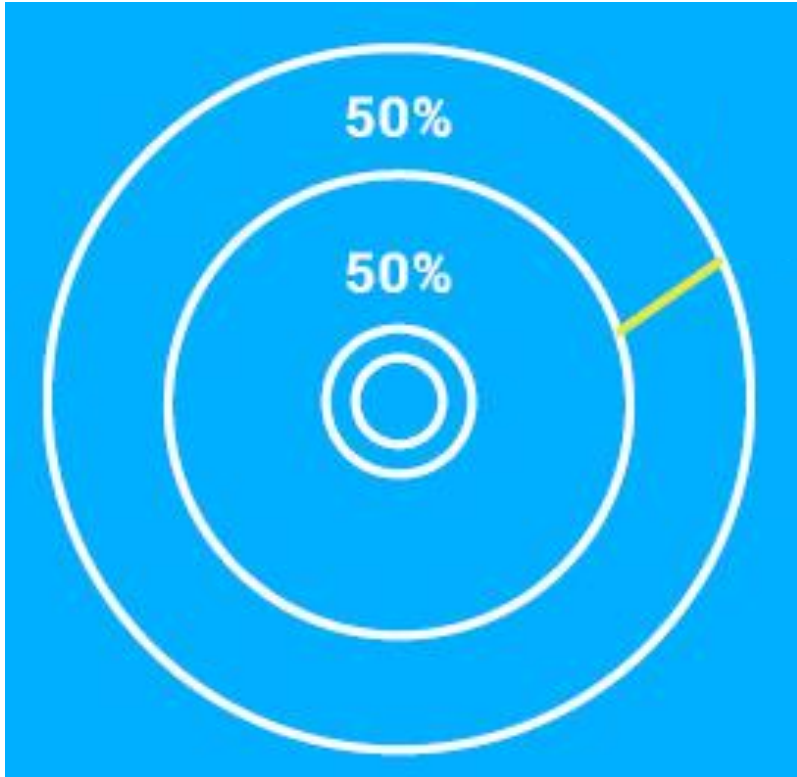
Selección en base al cilindraje modificado

$$V_D = 106,186 \text{ cc} \therefore h_{ap} = 1 \text{ mm}$$



# DISEÑO CÁMARA DE COMBUSTIÓN TIPO “SQUISH”

## GEOMETRÍA DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE TIPO “SQUISH”



### Ancho de aplastamiento

Sección del pistón motor modificado

$$A_p = 21,237 \text{ cm}^2$$

Determinación del área de aplastamiento en función del porcentaje de 50%.

$$A_{ap} = A_p * 10^2 - \frac{ap * A_p * 10^2}{100\%}$$

$$A_{ap} = 21,237 \text{ cm}^2 * 10^2 - \frac{50\% * 21,237 \text{ cm}^2 * 10^2}{100\%} = 1061,858 \text{ mm}^2$$

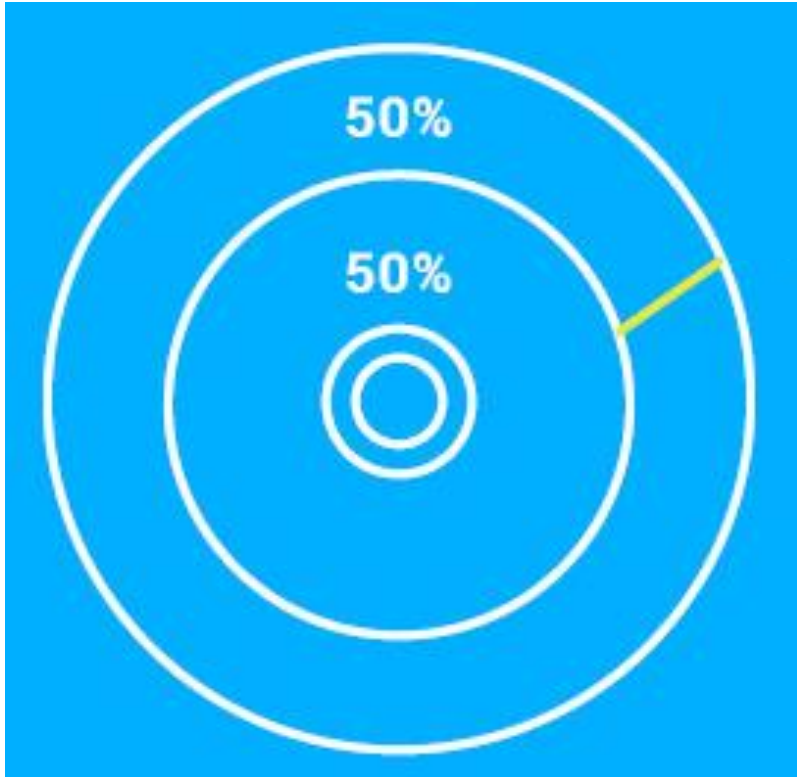
$$\text{Diámetro de no aplastamiento} \rightarrow D_{nap} = 2 \sqrt{\frac{1061,858 \text{ mm}^2}{\pi}} = 36.77 \text{ mm}$$





# DISEÑO CÁMARA DE COMBUSTIÓN TIPO “SQUISH”

## GEOMETRÍA DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE TIPO “SQUISH”



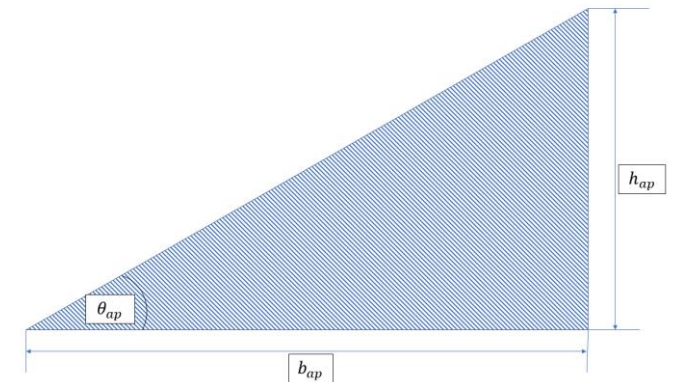
### Ancho de aplastamiento

$$b_{ap} = \frac{D - D_{ap}}{2}$$

$$b_{ap} = \frac{52 \text{ mm} - 36.76 \text{ mm}}{2}$$

$$b_{ap} = 7,615 \text{ mm}$$

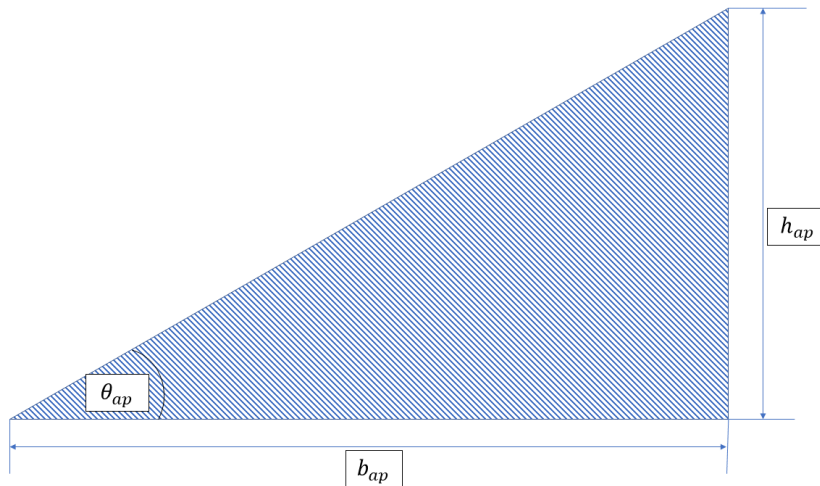
### Angulo de aplastamiento



# DISEÑO CÁMARA DE COMBUSTIÓN TIPO “SQUISH”

## GEOMETRÍA DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE TIPO “SQUISH”

### Angulo de aplastamiento



$$\theta_{ap} = \tan^{-1} \left( \frac{h_{ap}}{b_{ap}} \right)$$

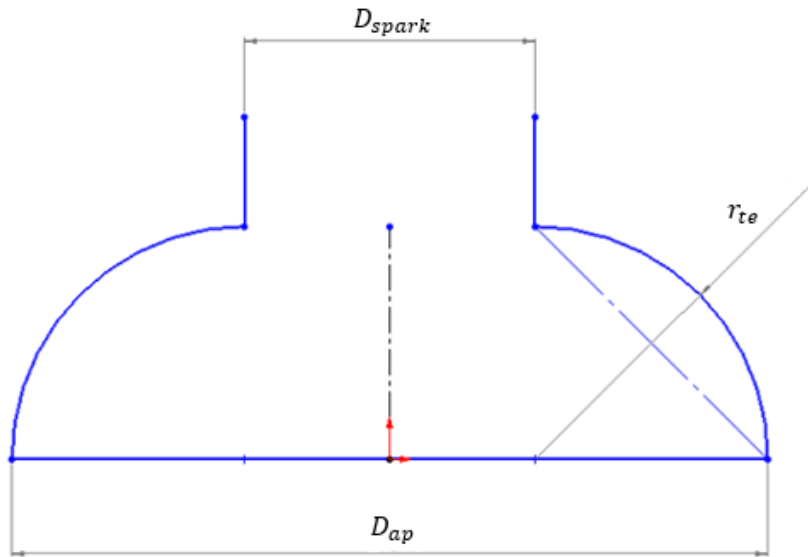
$$\theta_{ap} = \tan^{-1} \left( \frac{1 \text{ mm}}{7.62 \text{ mm}} \right) = 7,481^\circ$$



# DISEÑO CÁMARA DE COMBUSTIÓN TIPO “SQUISH”

## GEOMETRÍA DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE TIPO “SQUISH”

### Cotas Tazón Esférico



$$r_{te} = \frac{D_{nap} - D_{spark}}{2}$$

Donde:

$r_{te}$  = Radio del tazón esférico [mm]

$D_{nap}$  = Diámetro zona de no aplastamiento [mm]

$D_{spark}$  = Diámetro mayor de la rosca hembra de la bujía [mm]  
para este estudio se utiliza la bujía BP5ES, específica para el motor tiene una rosca M14x1.25 por tanto, el diámetro mayor correspondiente es de 14,125 mm.

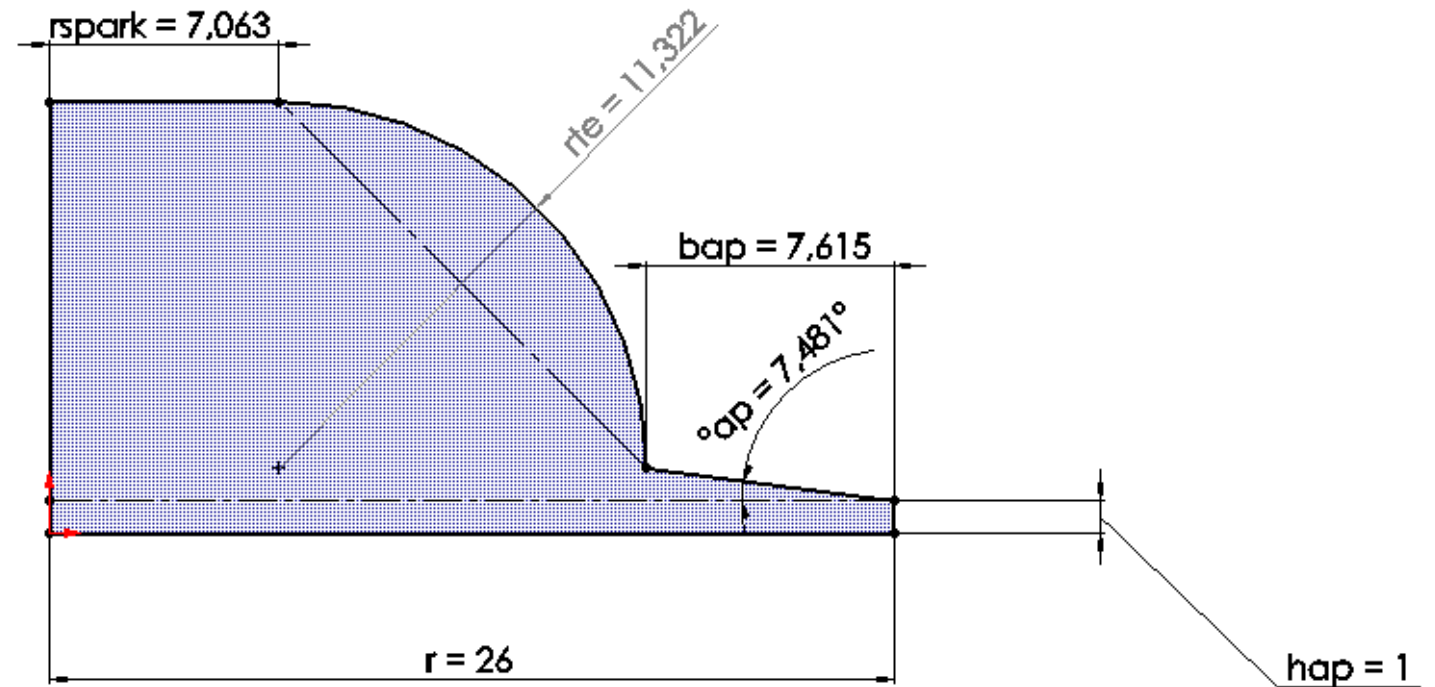
$$r_{te} = \frac{36,770 \text{ mm} - 14,125 \text{ mm}}{2} = 11,322 \text{ mm}$$



# DISEÑO CÁMARA DE COMBUSTIÓN TIPO "SQUISH"

## GEOMETRÍA DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE TIPO "SQUISH"

Cotas cámara de combustión  
tipo "Squish"



# DISEÑO CÁMARA DE COMBUSTIÓN TIPO “SQUISH”

COMPROBACIÓN VOLUMEN CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE TIPO “SQUISH”



Sección 3

Sección 2

Sección 1

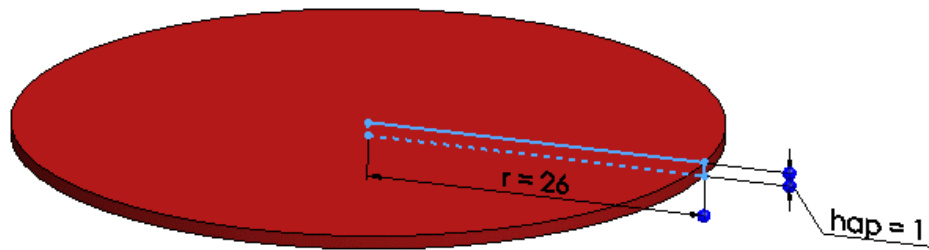


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# DISEÑO CÁMARA DE COMBUSTIÓN TIPO "SQUISH"

## COMPROBACIÓN VOLUMEN CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE TIPO "SQUISH"

### Sección 1

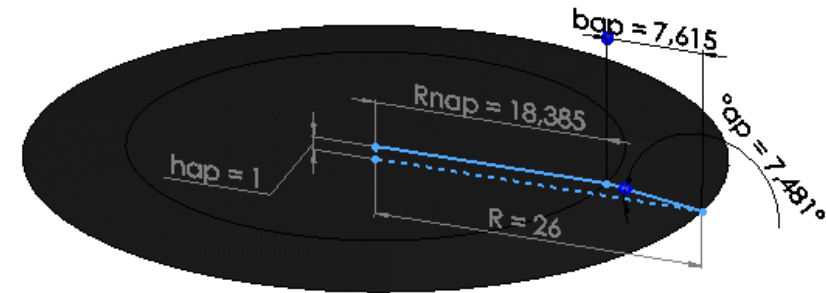


$$V_{sec1} = \pi * r^2 * h_{ap}$$

$$V_{sec1} = \pi * 26 \text{ mm}^2 * 1 \text{ mm} = 676\pi \text{ mm}^3$$

$$V_{sec1} \cong 2123.717 \text{ mm}^3$$

### Sección 2



$$V_{sec2} = \frac{h_{ap} * \pi}{3} (R^2 + R_{nap}^2 + R * R_{nap})$$

$$V_{sec2} = \frac{1 \text{ mm} * \pi}{3} ((26 \text{ mm})^2 + (18,385 \text{ mm})^2 + 26 \text{ mm} * 18,385 \text{ mm})$$

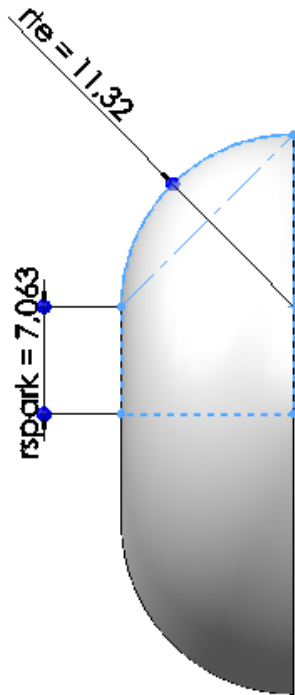
$$V_{sec2} = 1562,438 \text{ mm}^3$$



# DISEÑO CÁMARA DE COMBUSTIÓN TIPO "SQUISH"

## COMPROBACIÓN VOLUMEN CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE TIPO "SQUISH"

Sección 3



$$(x - h)^2 + (y - k)^2 = r^2$$

$$(x - 11,322)^2 + (y - 7,063)^2 = 11,322^2$$

$$y = 7,063 + \sqrt{22,644x - x^2}$$

$$V = \int_a^b \pi r^2 dx$$

$$V_{sec3} = \int_0^{11,322} \pi \left( 7,063 + \sqrt{22,644x - x^2} \right)^2 dx$$

*∴ luego de evaluar y resolver*

$$V_{sec3} = 9281,9997 \text{ mm}^3$$



# DISEÑO CÁMARA DE COMBUSTIÓN TIPO "SQUISH"

## COMPROBACIÓN VOLUMEN CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE TIPO "SQUISH"



$$V_T = V_{sec1} + V_{sec2} + V_{sec3}$$

$$V_T = 2123.717 \text{ mm}^3 + 1562,438 \text{ mm}^3 + 9281.9997 \text{ mm}^3$$

Volumen calculado

$$V_T = 12968.152 \text{ mm}^3$$

Volumen  
estimado

$$V_c = 14,158 \text{ cc}$$



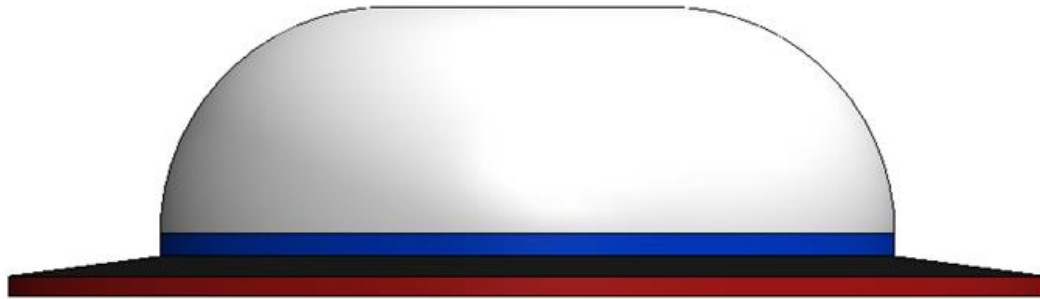
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# DISEÑO CÁMARA DE COMBUSTIÓN TIPO "SQUISH"

## AJUSTE VOLUMEN CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE TIPO "SQUISH"

Volumen Sección 4

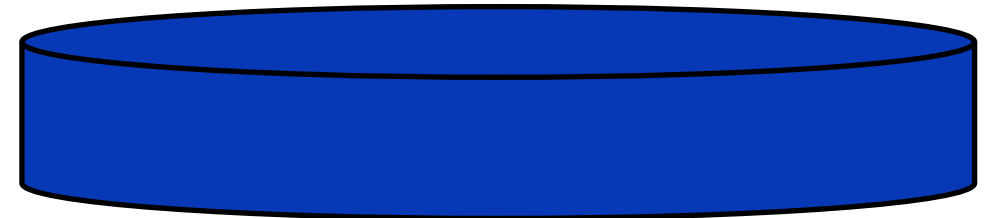


$$V_{sec4} = V_c - V_T$$

$$V_{sec4} = 14158 \text{ mm}^3 - 12968.152 \text{ mm}^3 = 1189,848 \text{ mm}^3$$

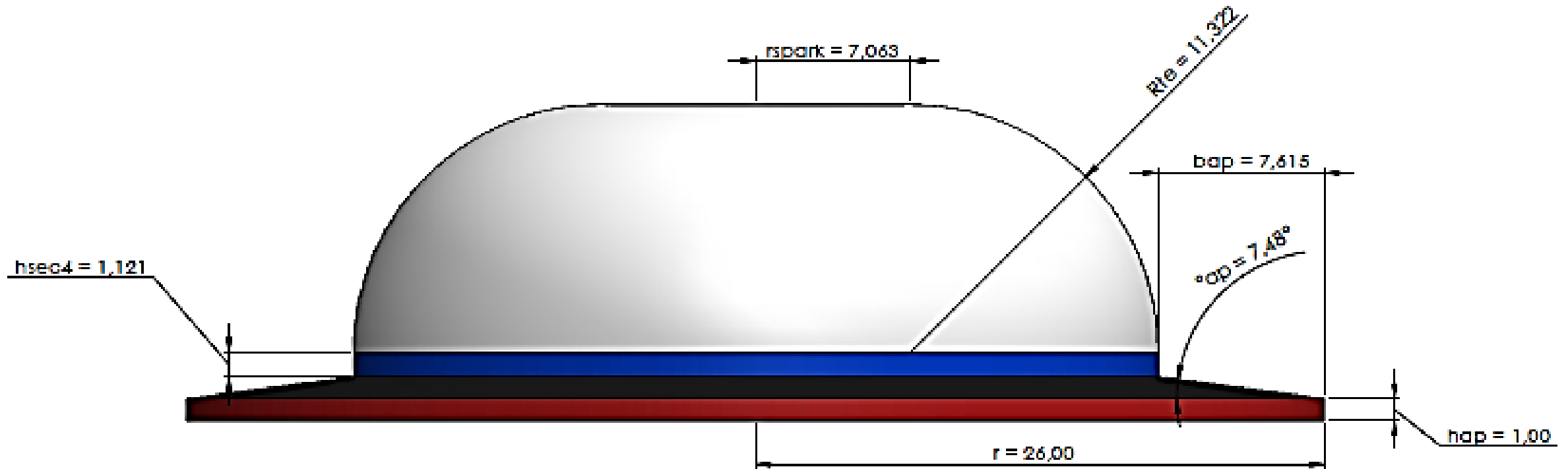
$$V_{sec4} = \pi * r_{nap}^2 * h_{sec4} \rightarrow h_{sec4} = \frac{V_{sec4}}{\pi * r_{nap}^2}$$

$$h_{sec4} = \frac{1189,848 \text{ mm}^3}{\pi * (18,385 \text{ mm})^2} = 1.121 \text{ mm}$$



# DISEÑO CÁMARA DE COMBUSTIÓN TIPO "SQUISH"

COTAS CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE TIPO "SQUISH" AJUSTADA AL VOLUMEN ESTIMADO



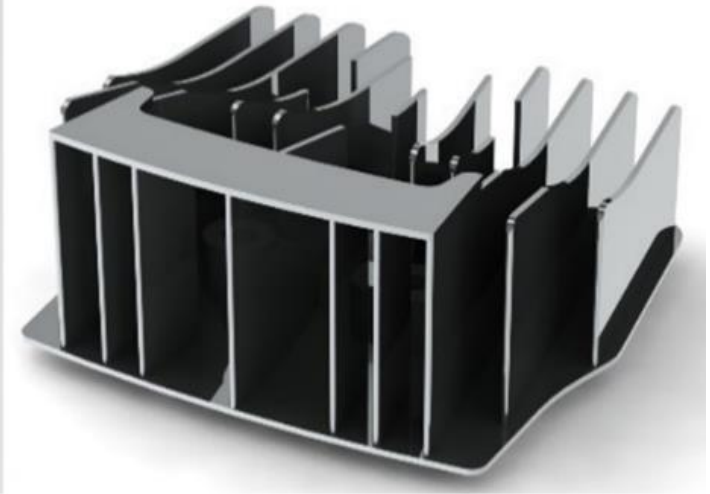
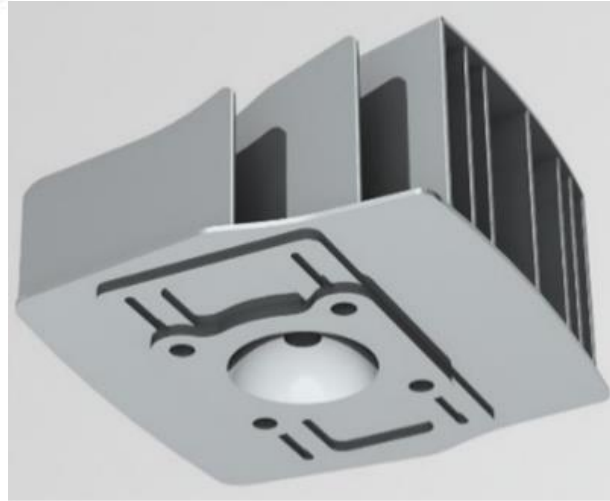
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**Descripción.**  
Modelado CAD  
cilindro

**Motor Estándar**

**Descripción.**  
Modelado  
CAD culata





**Descripción.**  
Modelado CAD  
Bulón



**Descripción.**  
Modelado CAD  
pistón



**Descripción.**  
Modelado CAD  
Biela



**Descripción.**  
Modelado CAD  
Cigüeñal

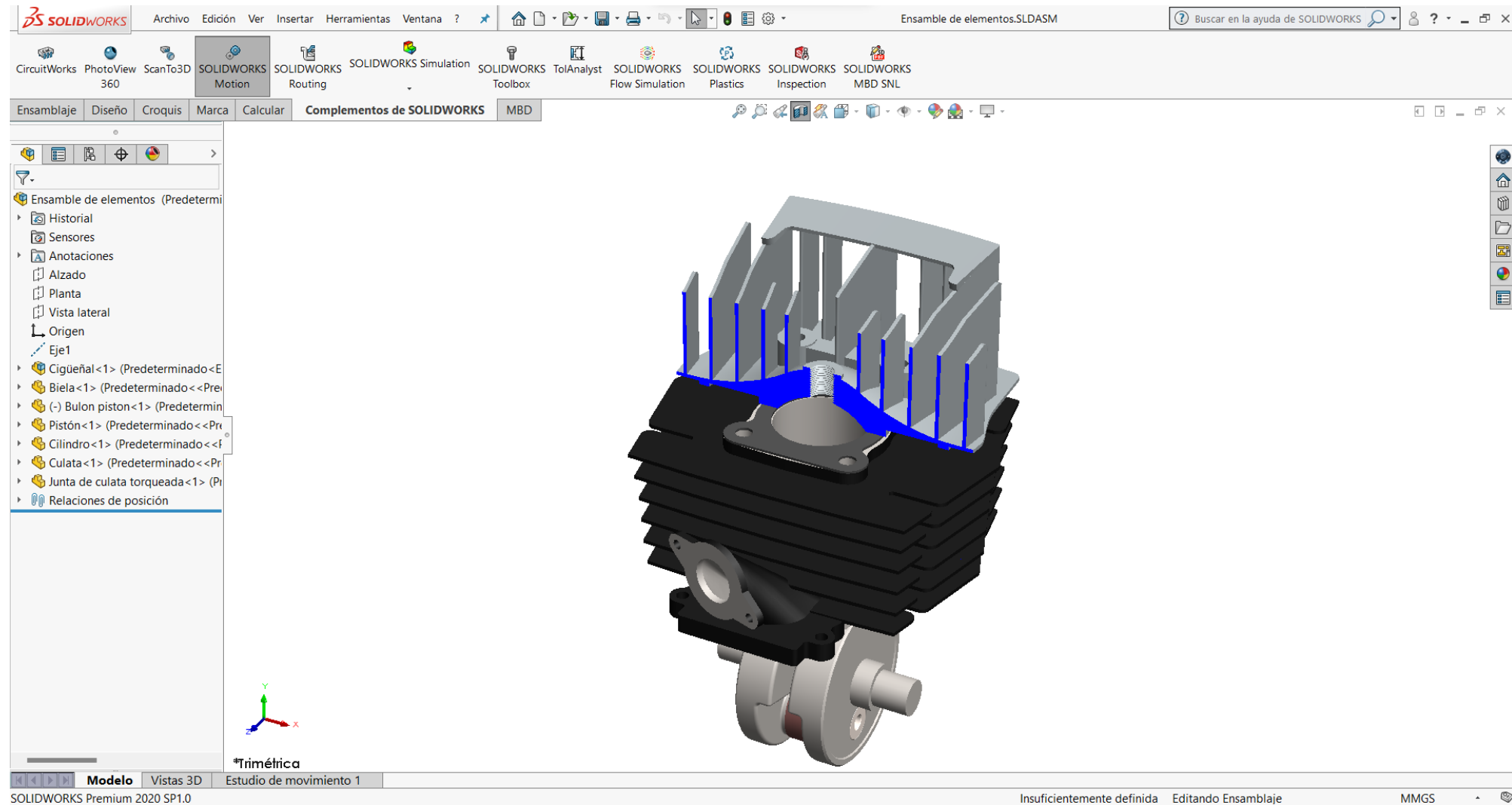


**Motor Estándar**

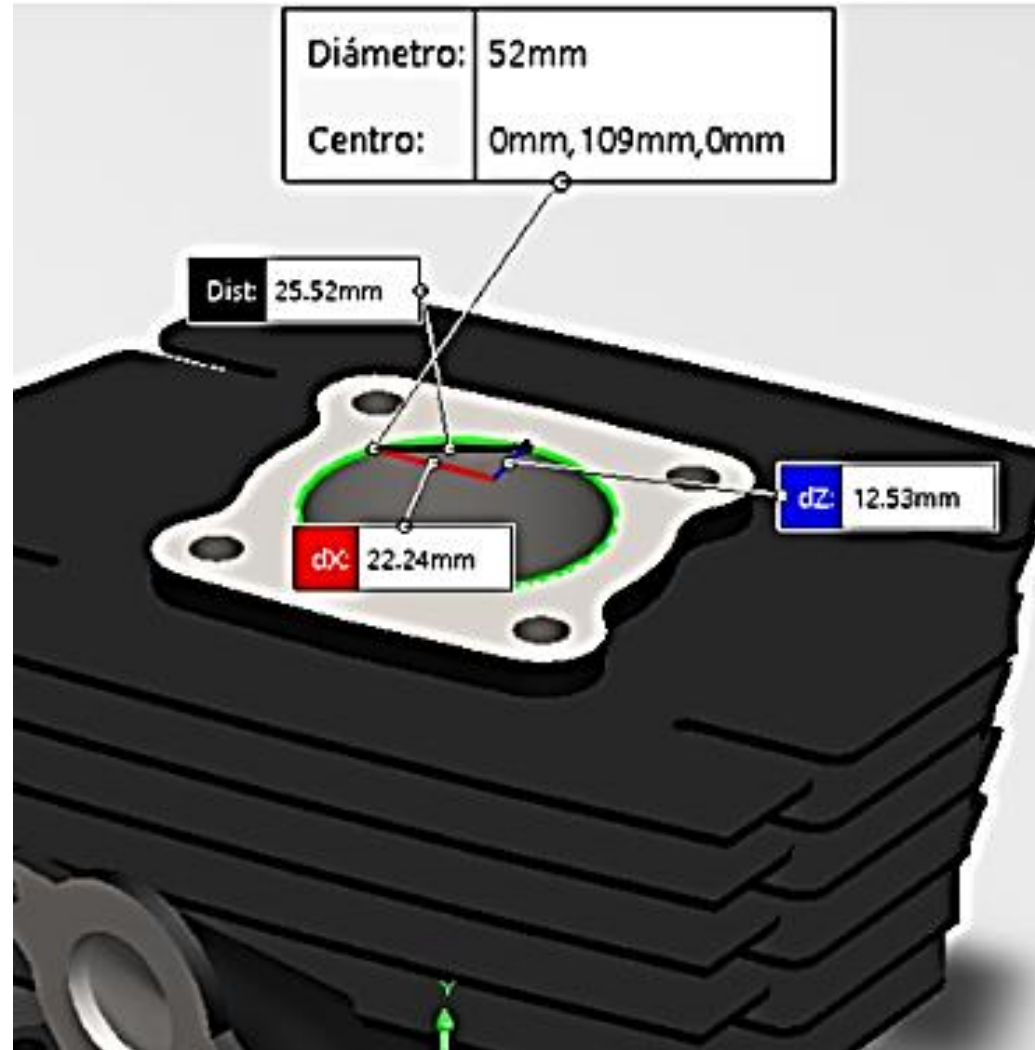


## Motor Estándar

**Descripción.**  
Ensamble archivos  
CAD



## Motor Modificado



### *Descripción.*

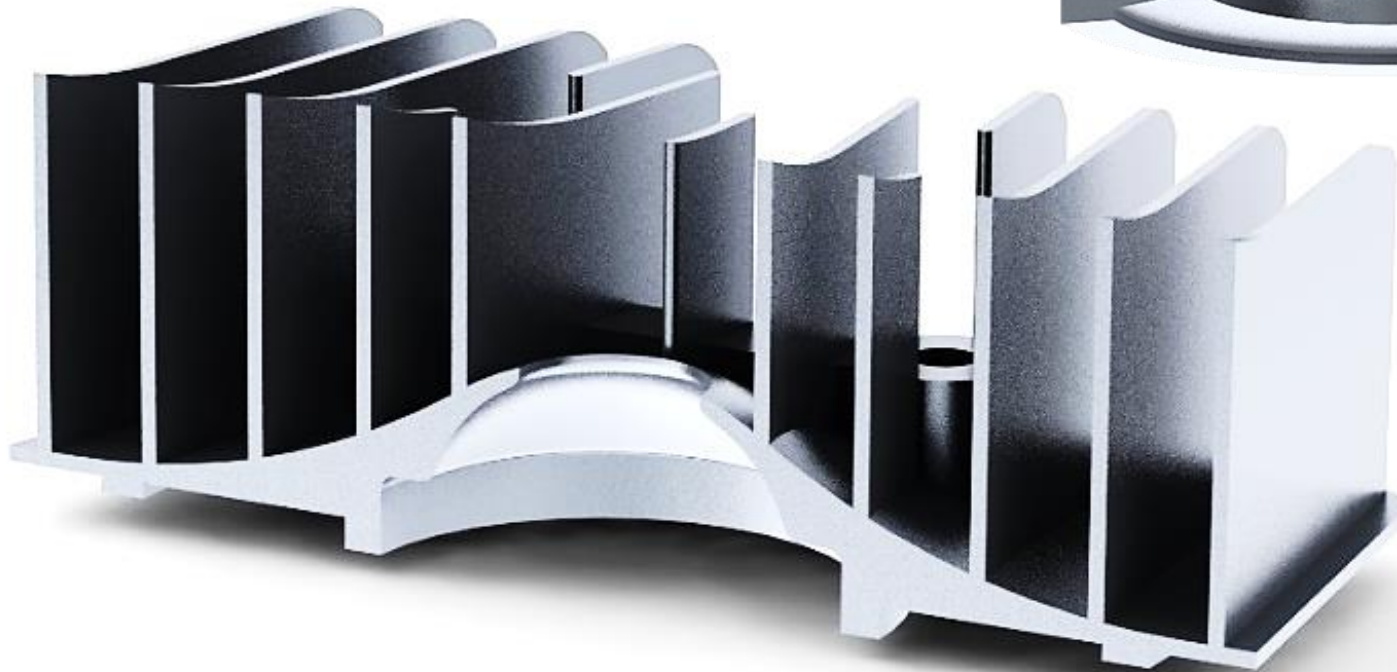
*Ajuste de diámetro de cilindro a condiciones modificadas*



**Motor  
Modificado**

**Descripción.**

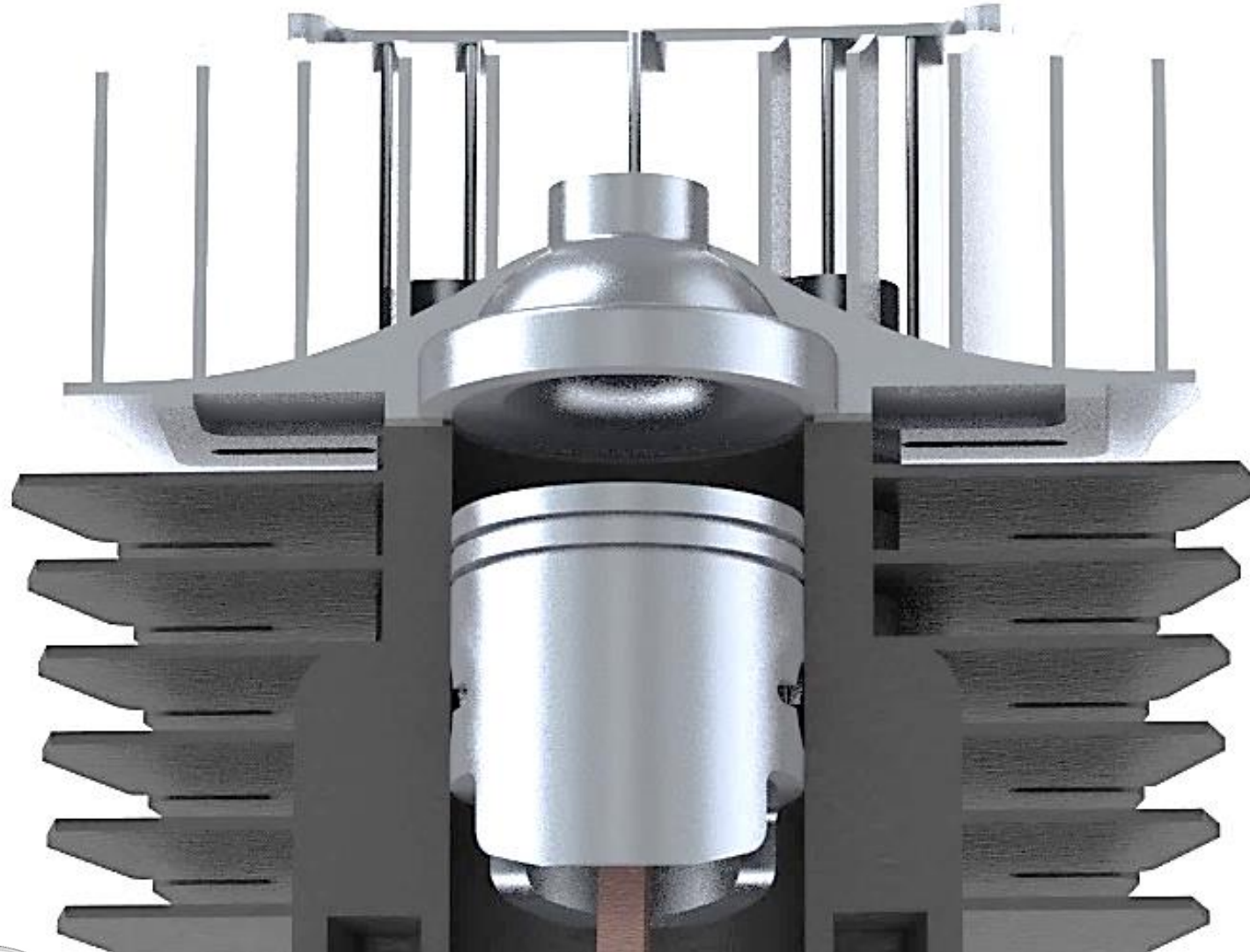
*Vista en corte culatín tipo  
inserto*



**Descripción.**

*Vista en corte culata  
modificada con cavidad*





**Motor  
Modificado**

## ***Descripción.***

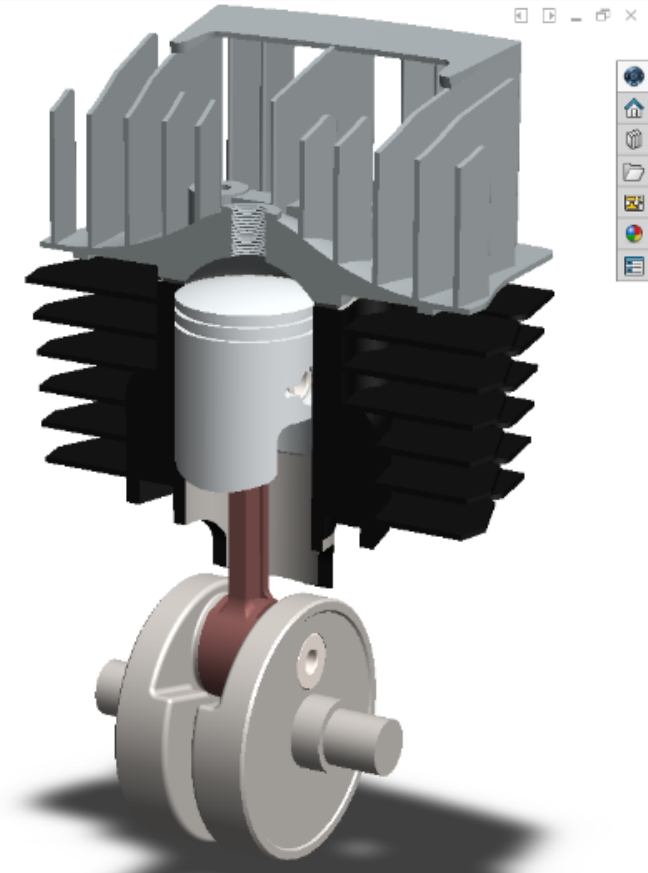
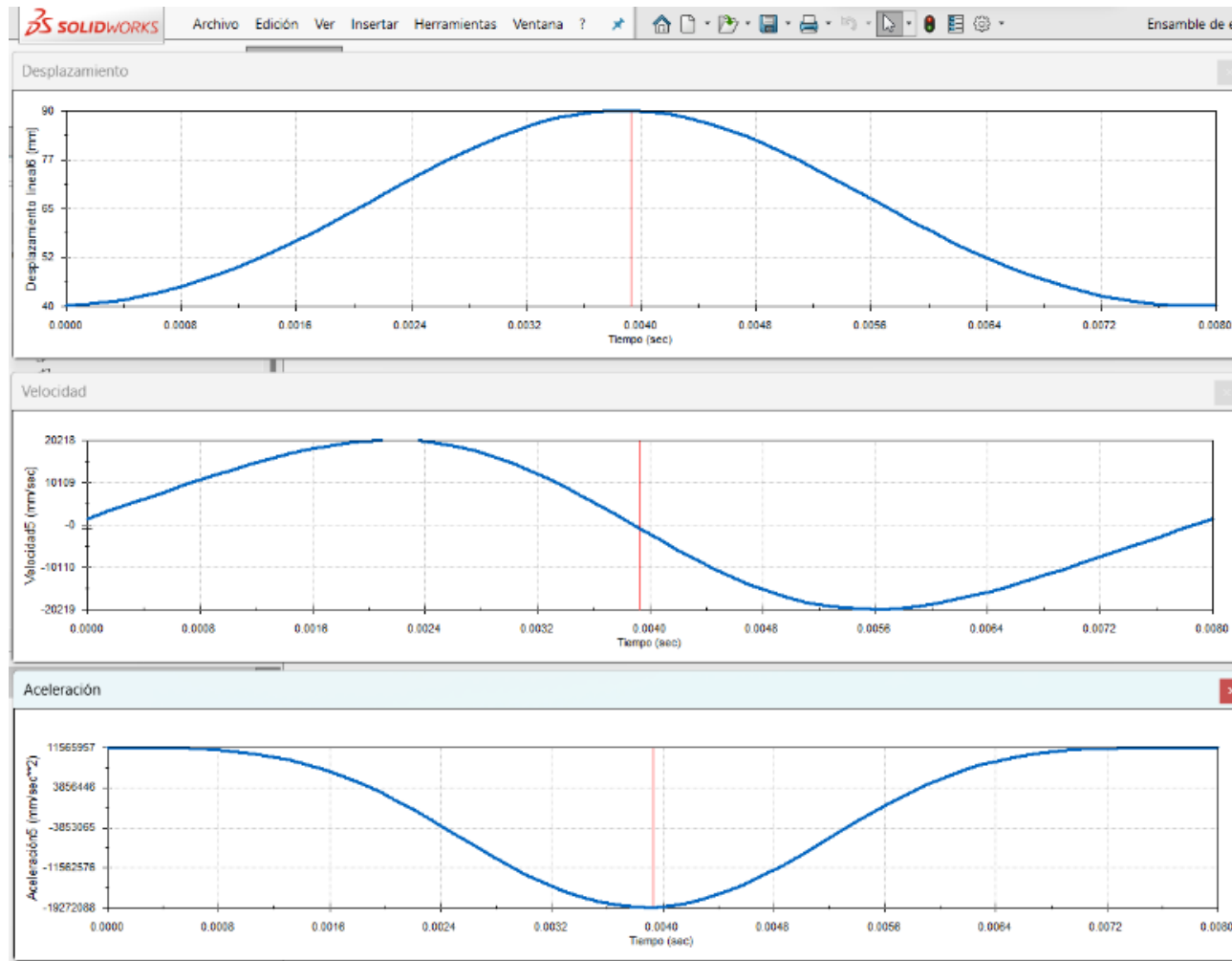
*Ensamble CAD con culata modificada e inserto tipo con cámara de combustión tipo "Squish"*





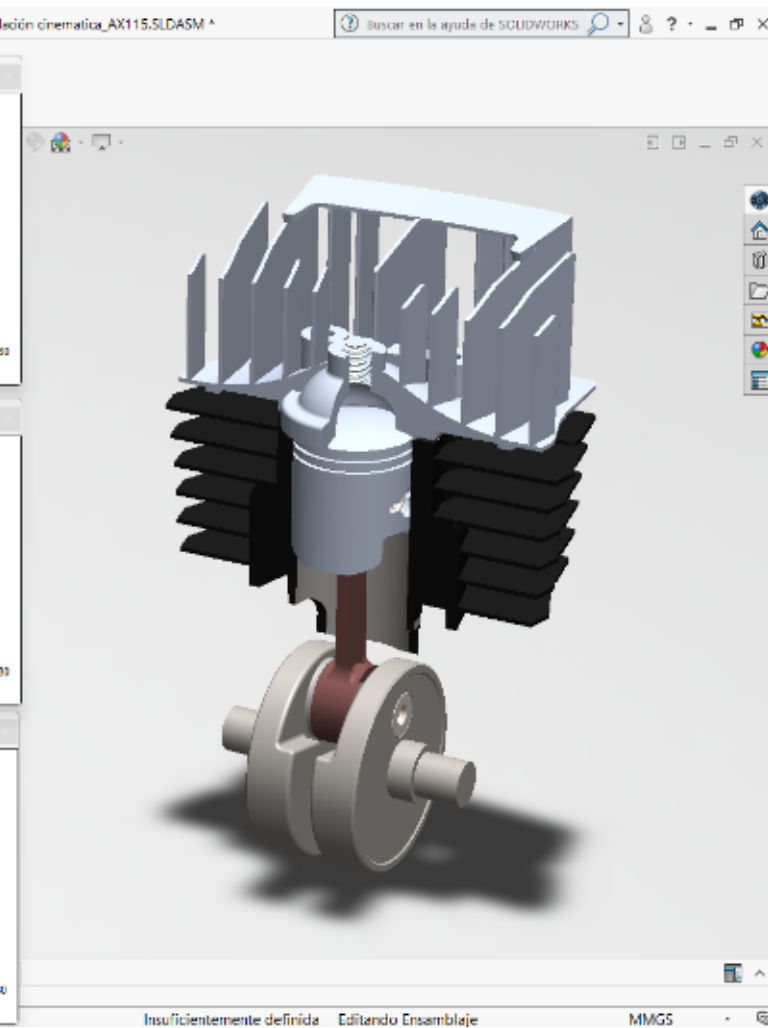
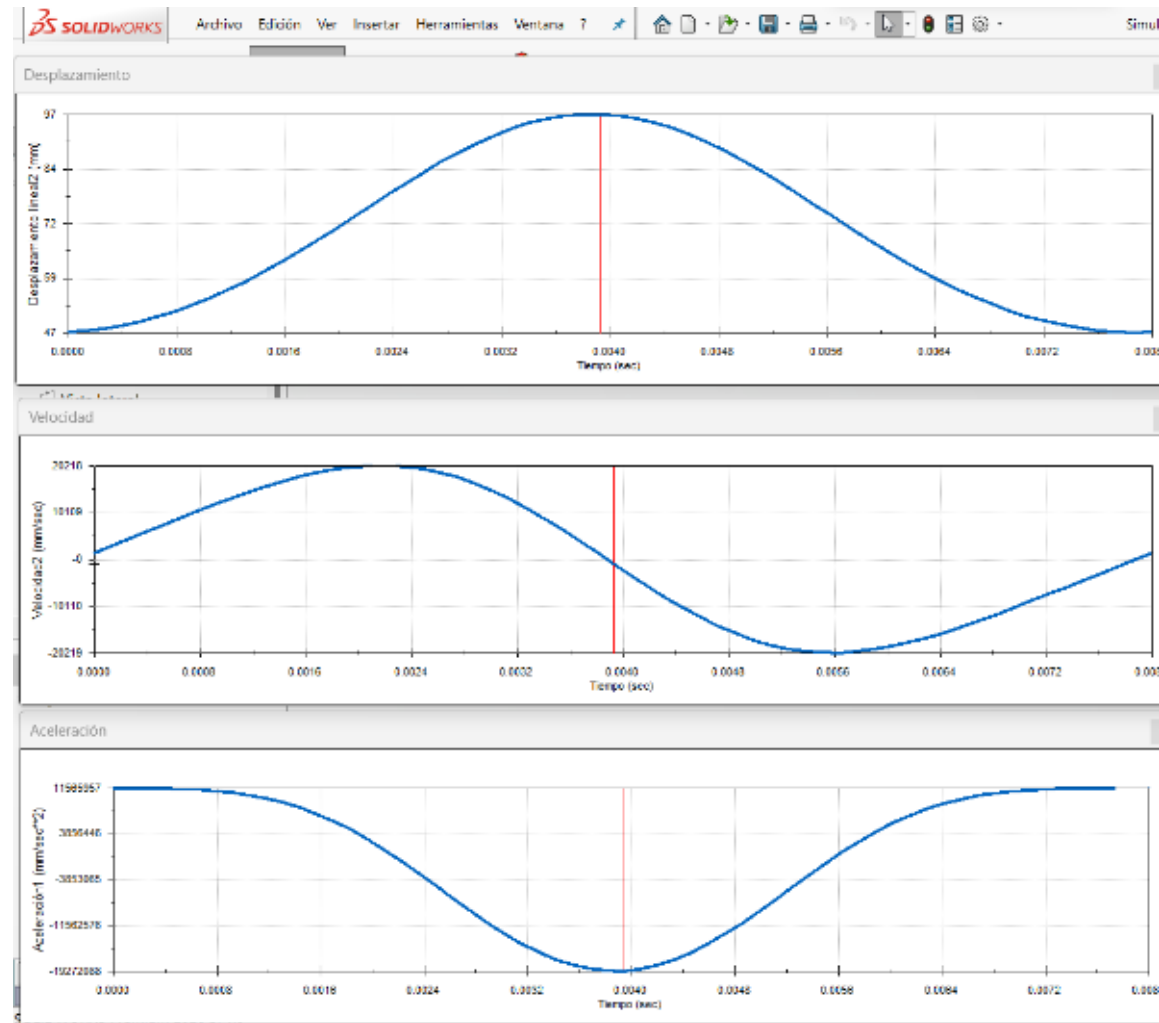
## Motor Estándar

### Análisis Cinemático



**Motor  
Modificado**

Análisis Cinemático



## Resultados

Análisis Cinemático

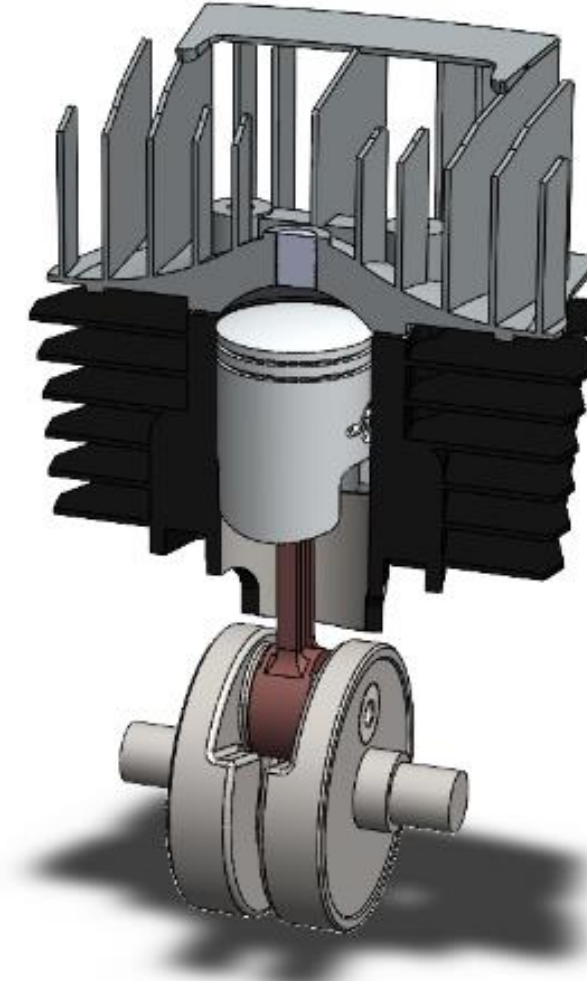
° Giro del cigüeñal	Tiempo [s]	Desplazamiento [mm]	Velocidad [m/s]	Aceleración [ $m/s^2$ ]	Movimiento del pistón
0	0	0	0	11565,957	Desacelerado
90	0,002	29	20,219	0	Acelerado
180	0,004	50	0	-19272,088	Desacelerado
270	0,006	29	-20,219	0	Acelerado
360	0,008	0	0	11563,970	Desacelerado



1

## Preparación del modelo

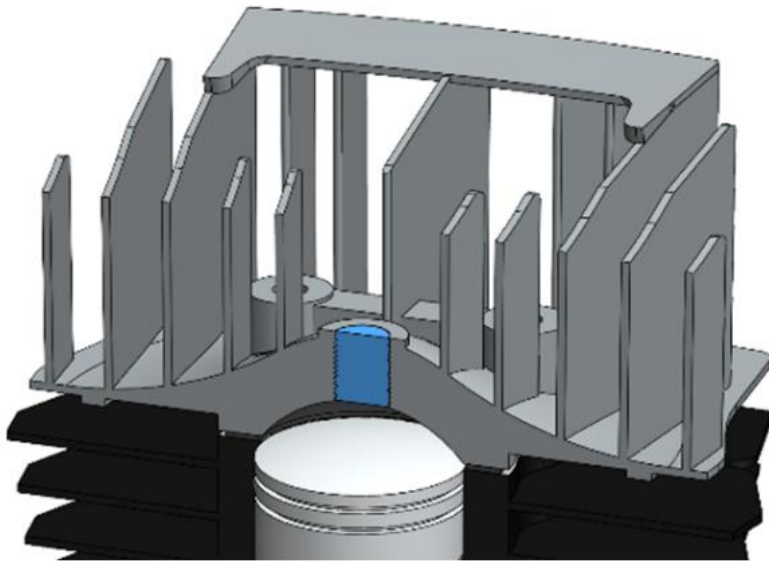
Pistón en PMS, para simular la condición del tiempo de compresión



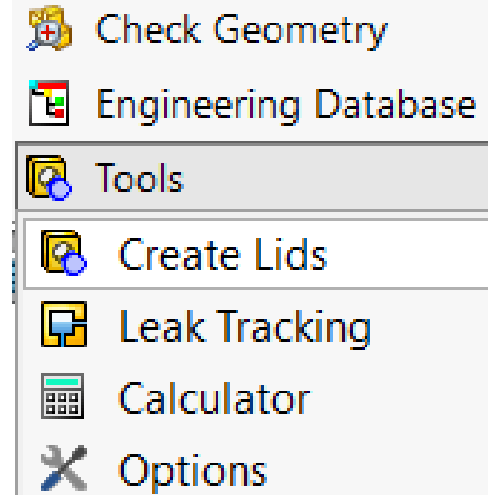
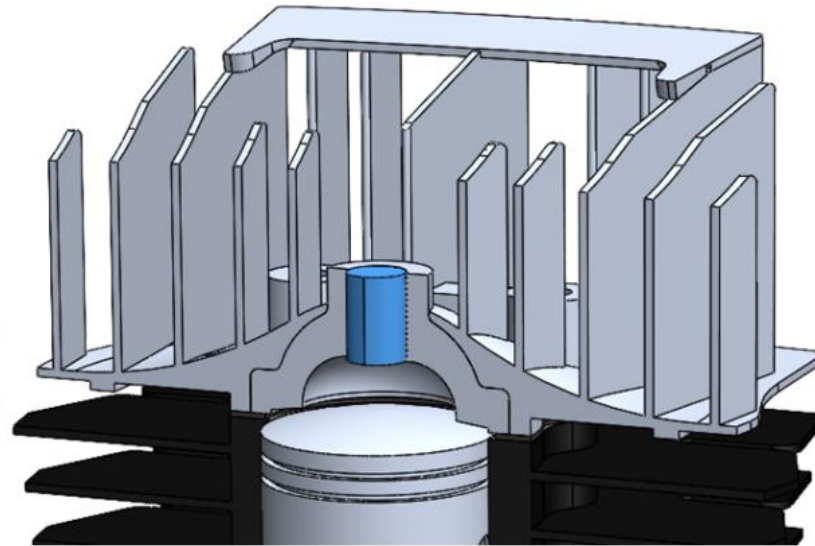
2

## Creación de tapas de la cámara

Motor Estándar



Motor Modificado

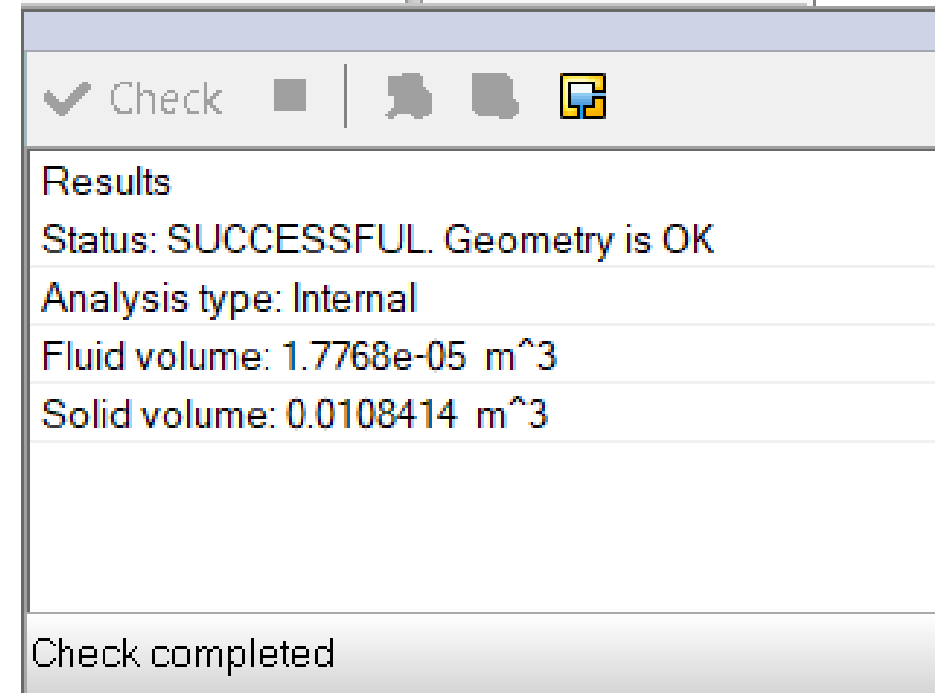
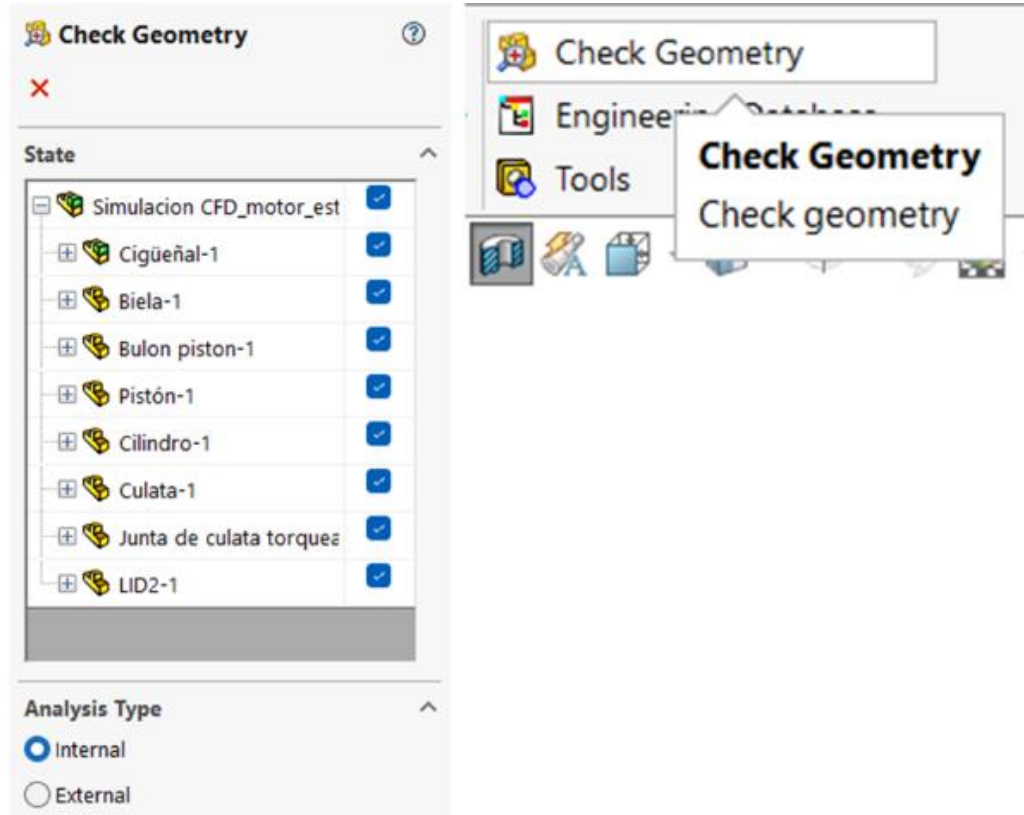


Taponamiento del orificio de la bujía para ambos casos.



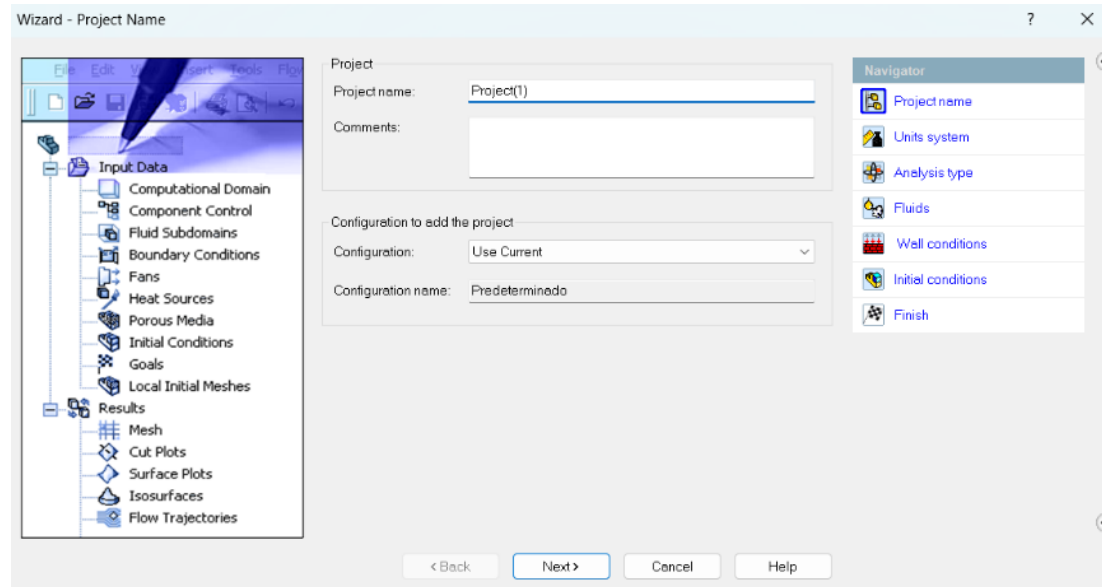
3

## Comprobación de hermeticidad



4

## Configuración del proyecto de simulación



Parameter	Unit	Decimals in results display	1 SI unit equals to
<b>Project Fluids</b>		<b>Default Fluid</b>	
Air ( Gases )	<input checked="" type="checkbox"/>		
<b>Main</b>			
Pressure & stress	MPa	.12	1e-06
Velocity	m/s	.123	1
Mass	kg	.123	1
Length	m	.123	1
Temperature	K	.12	1
Physical time	s	.123	1
Percentage	%	.12	1
<b>Thermodynamic Parameters</b>			
Parameters		Altitude	
Altitude		2850 m	
Pressure		0.0714668157 MPa	
Temperature		269.633302 K	
Temperature deviation		0 K	

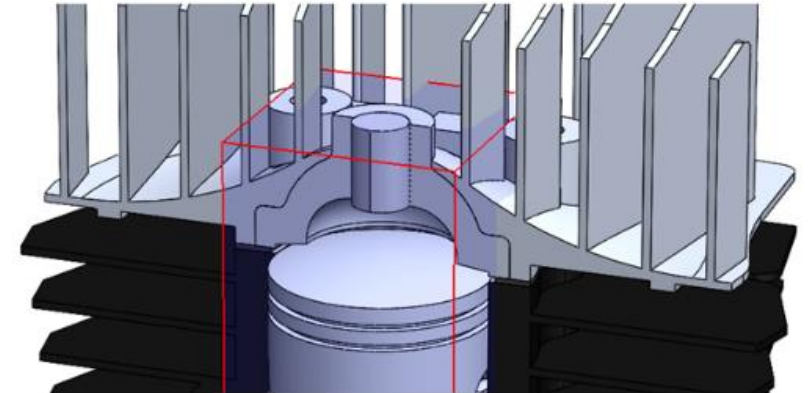
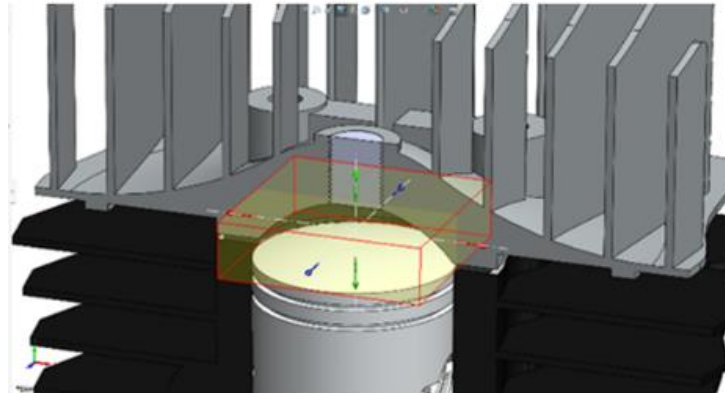
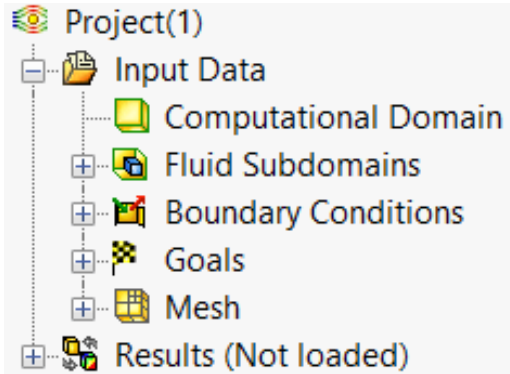


5

## Establecimiento de condiciones

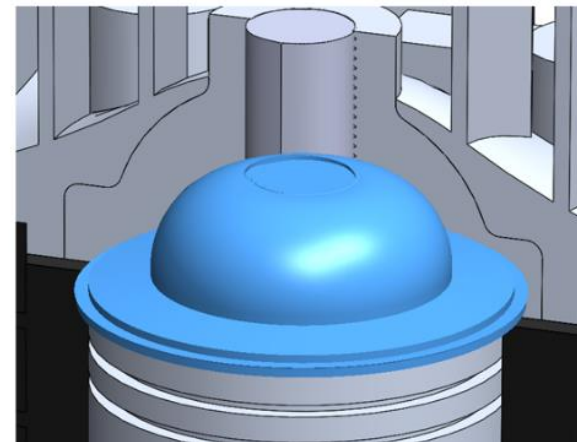
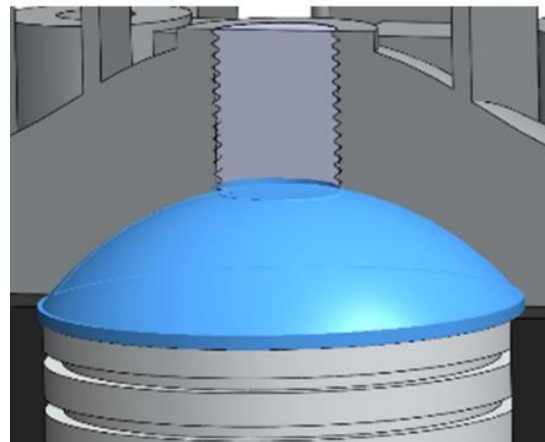
Motor Estándar

Motor Modificado



Motor Estándar

Motor Modificado



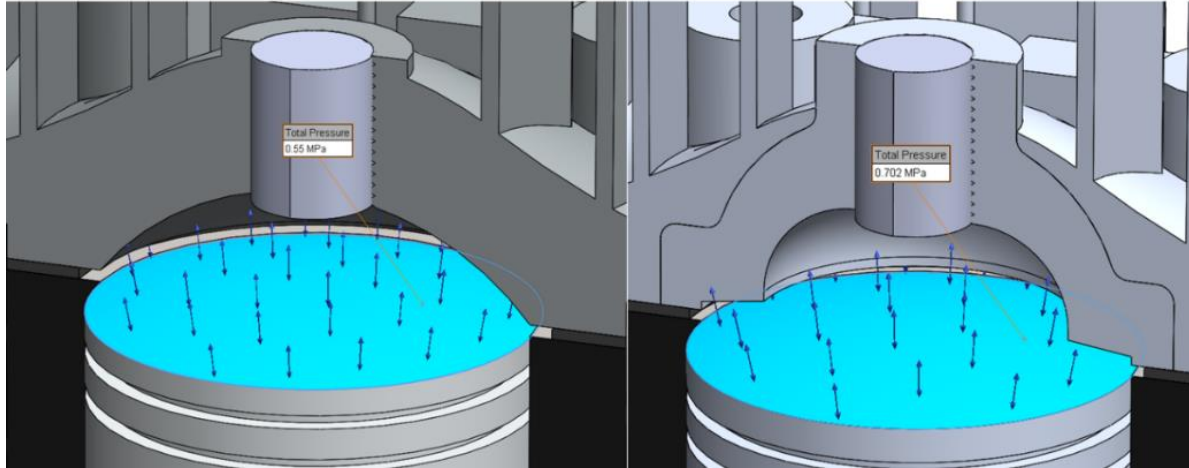


6

## Establecimiento de condiciones

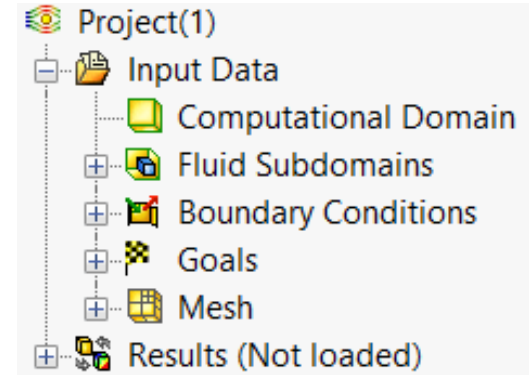
Motor Estándar

Motor Modificado

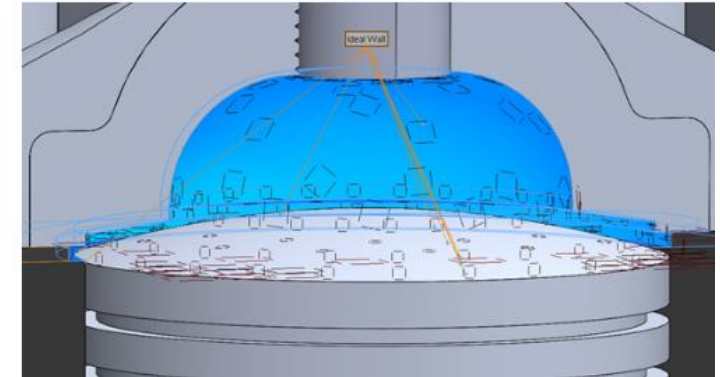
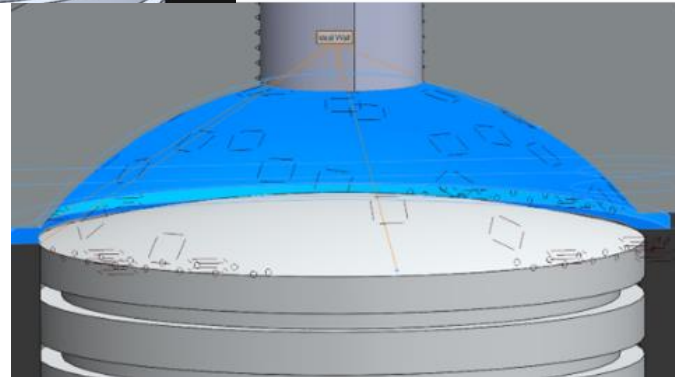


Motor Estándar

Motor Modificado

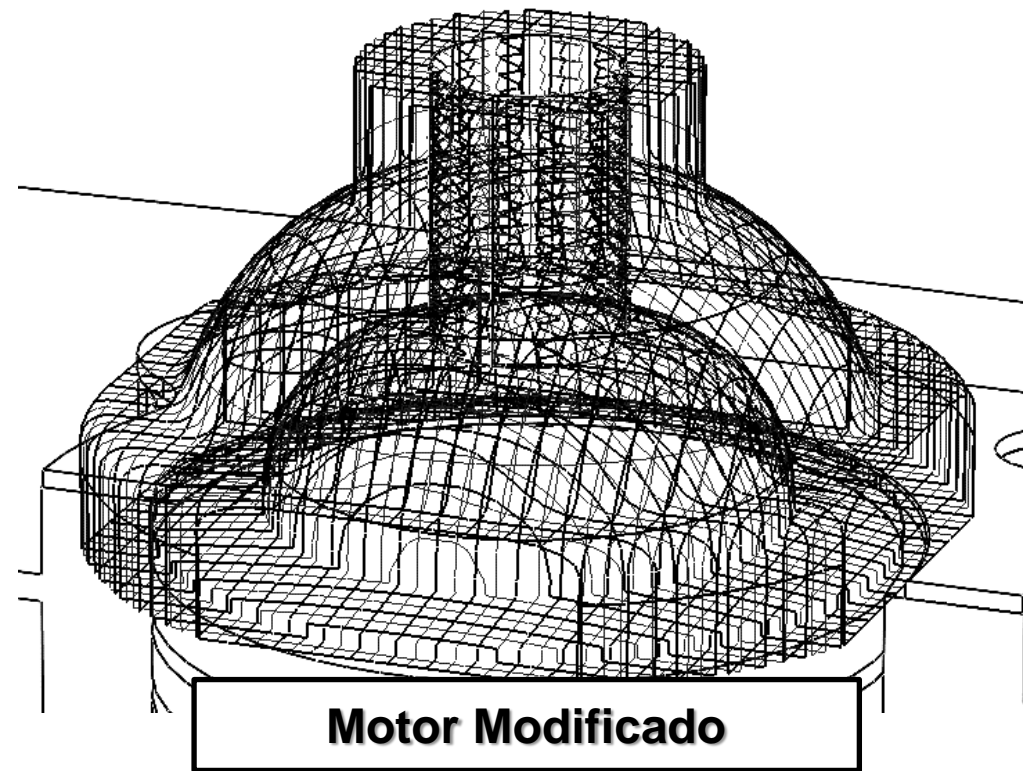
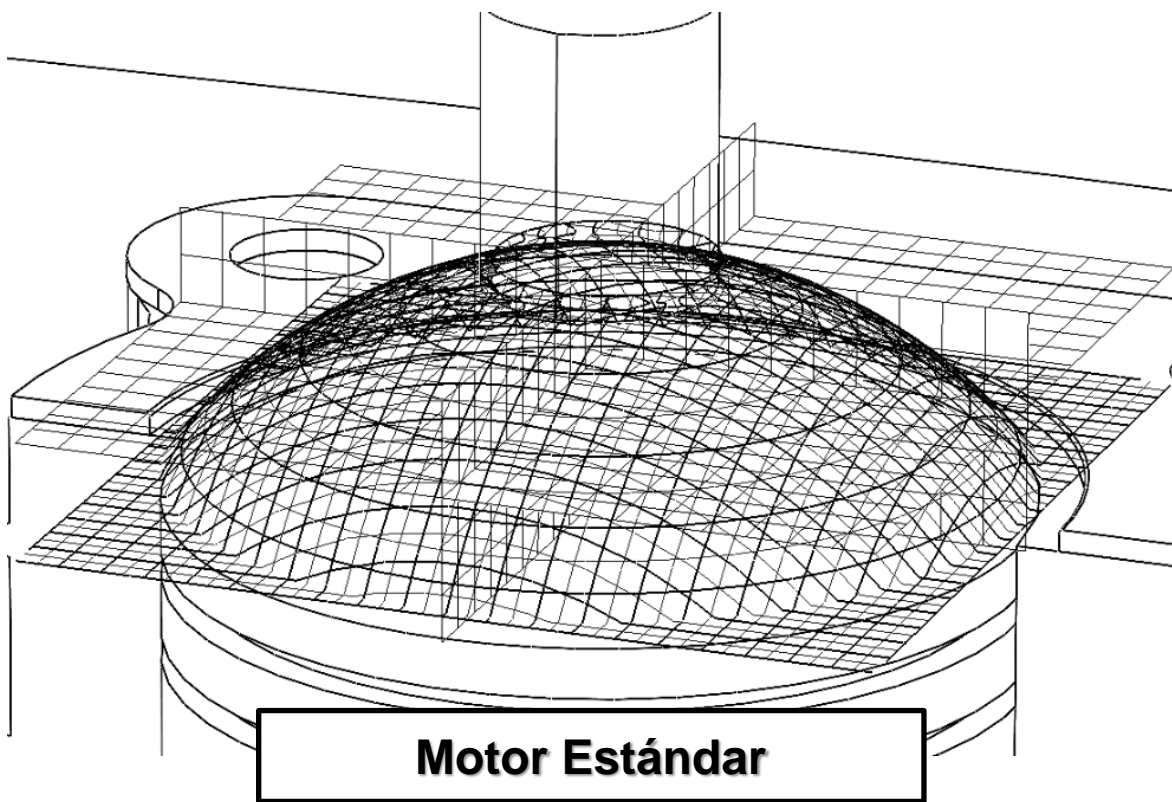


- Goals
- SG Minimum Velocity 1
  - SG Average Velocity 2
  - SG Maximum Velocity 3
  - SG Total Pressure 1 Velocity Av



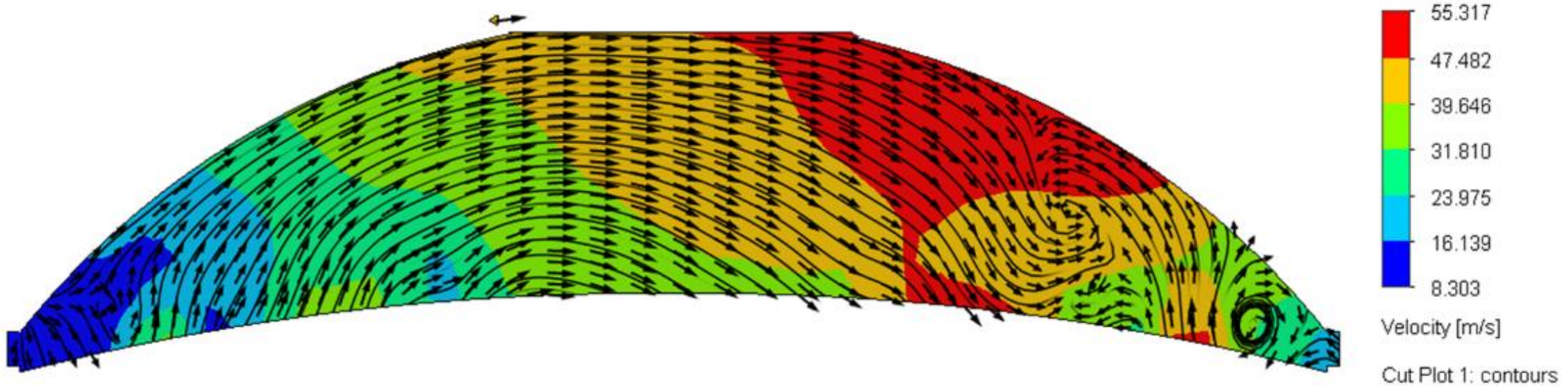
7

## Creación de mallado



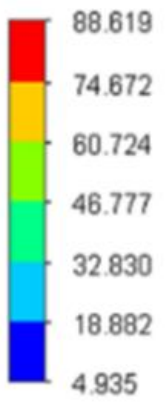
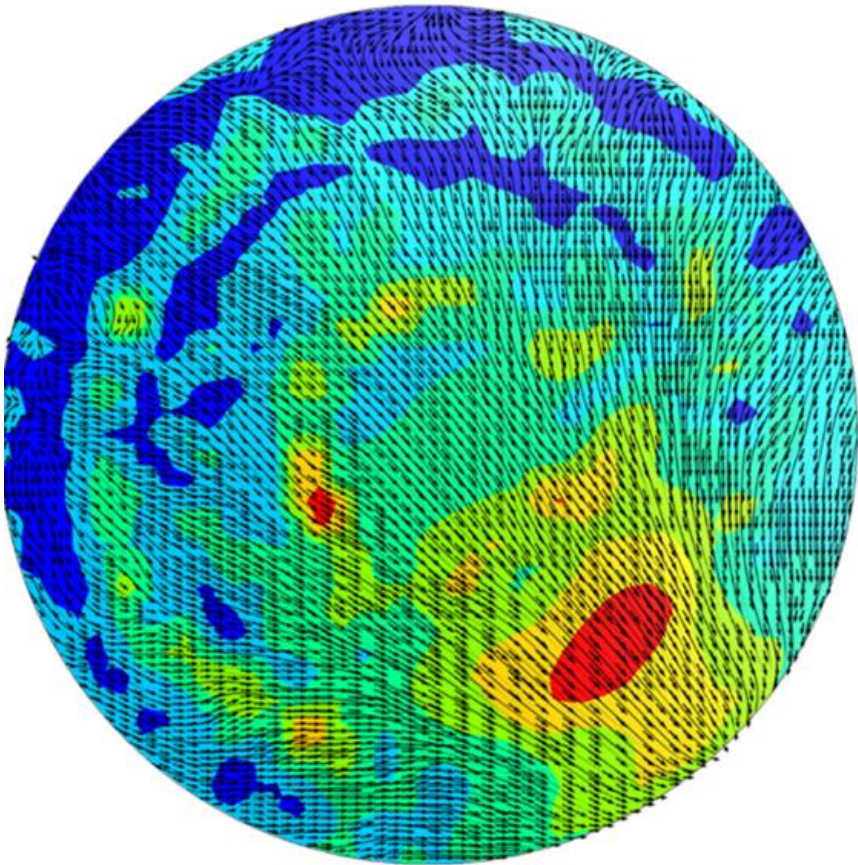
Resultados

## Velocidad cámara estándar



Resultados

## Velocidad cámara estándar

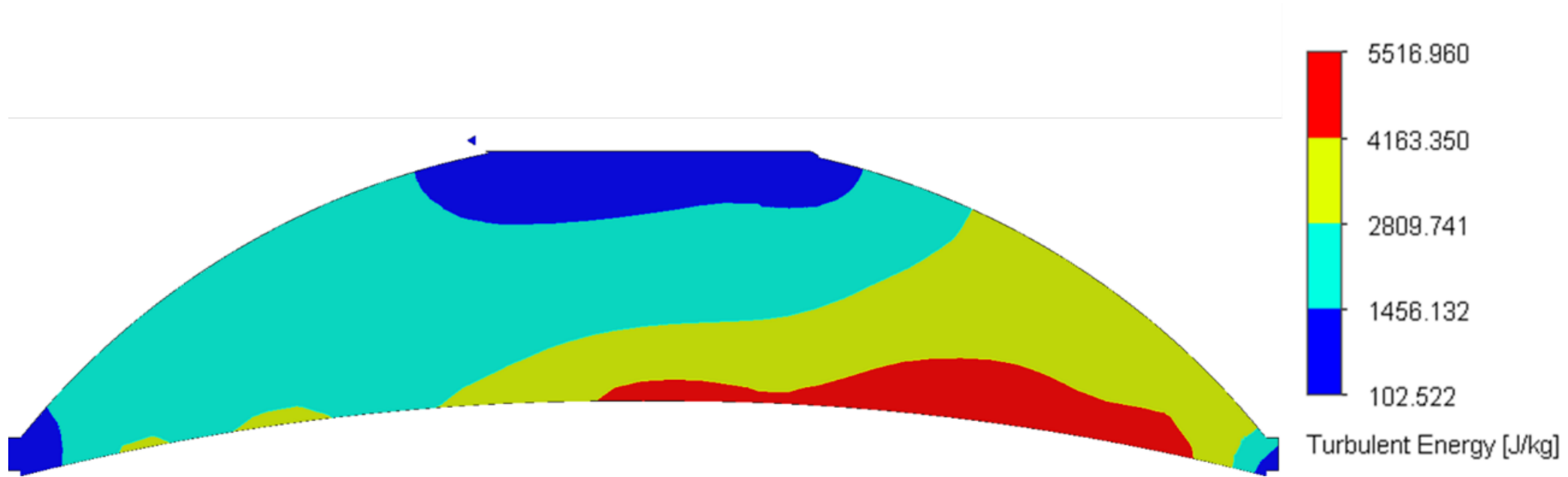


Velocity [m/s]  
Surface Plot 1: contours



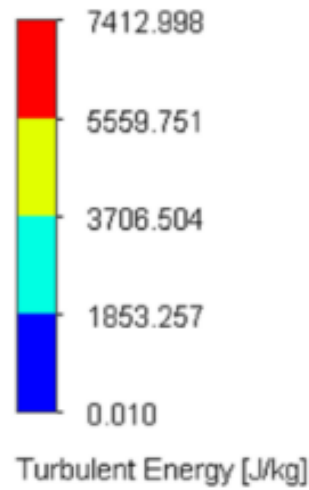
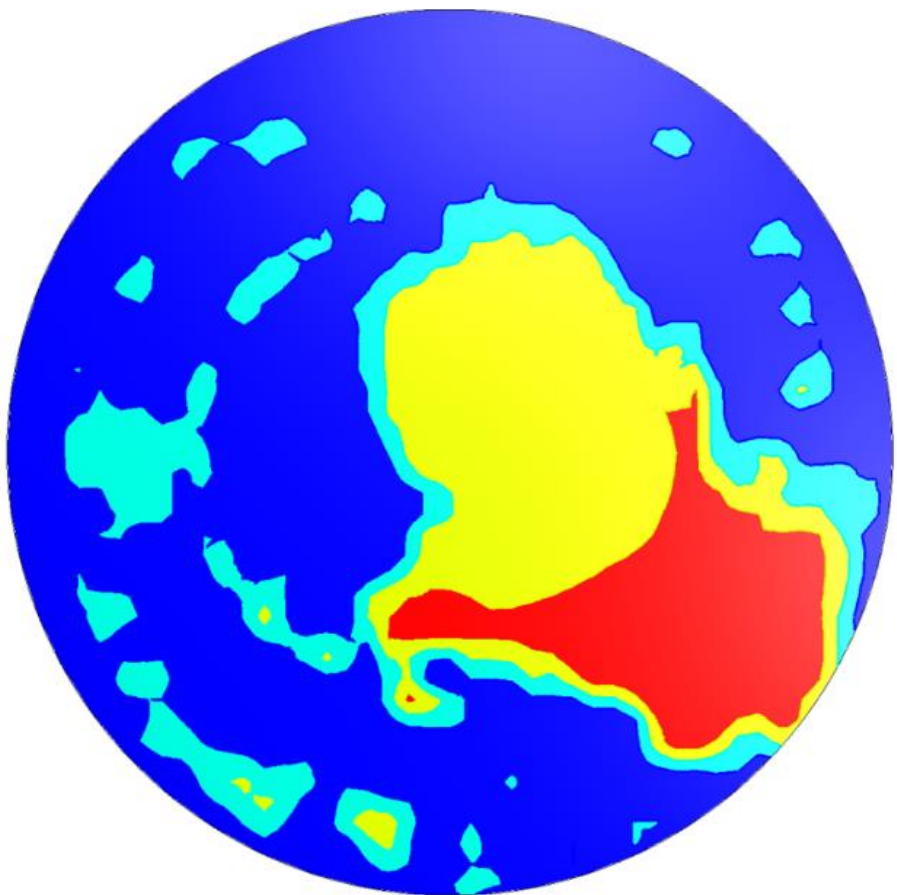
Resultados

## Turbulencia cámara estándar



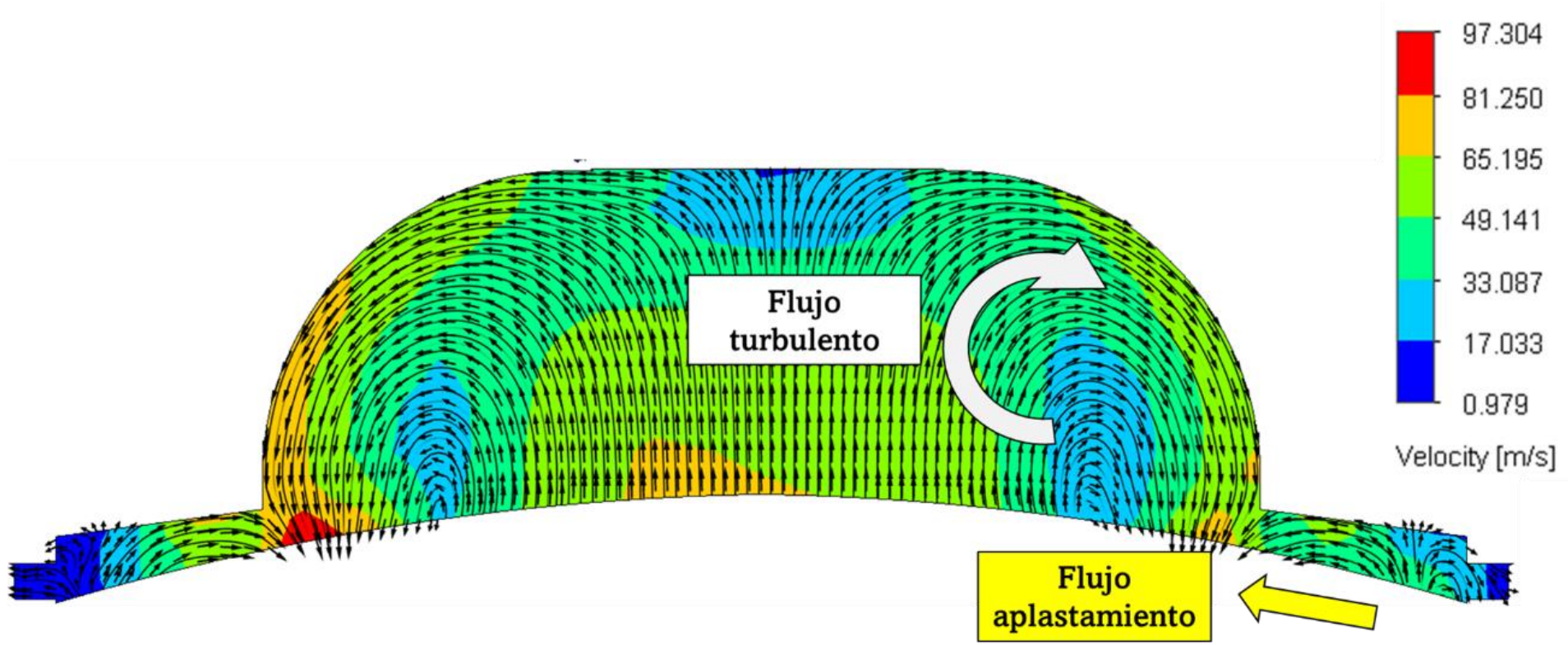
Resultados

## Turbulencia cámara estándar



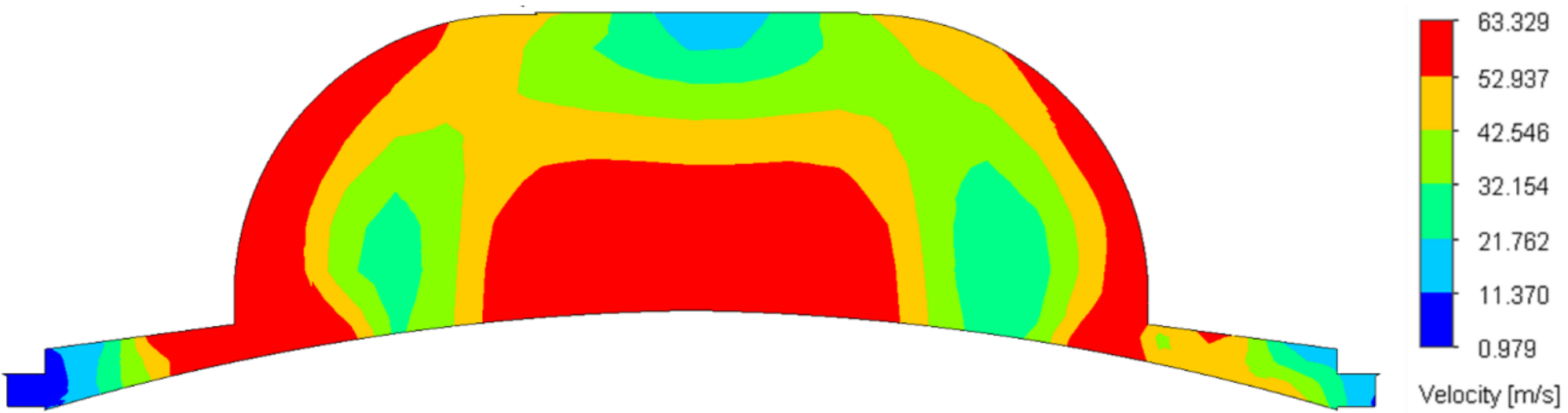
Resultados

## Velocidad cámara modificada



Resultados

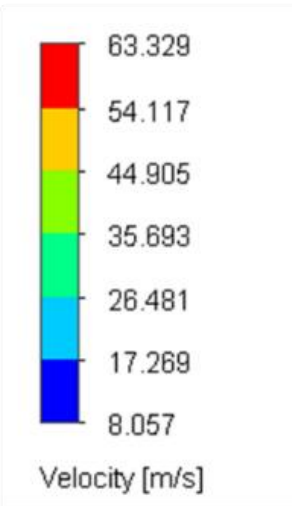
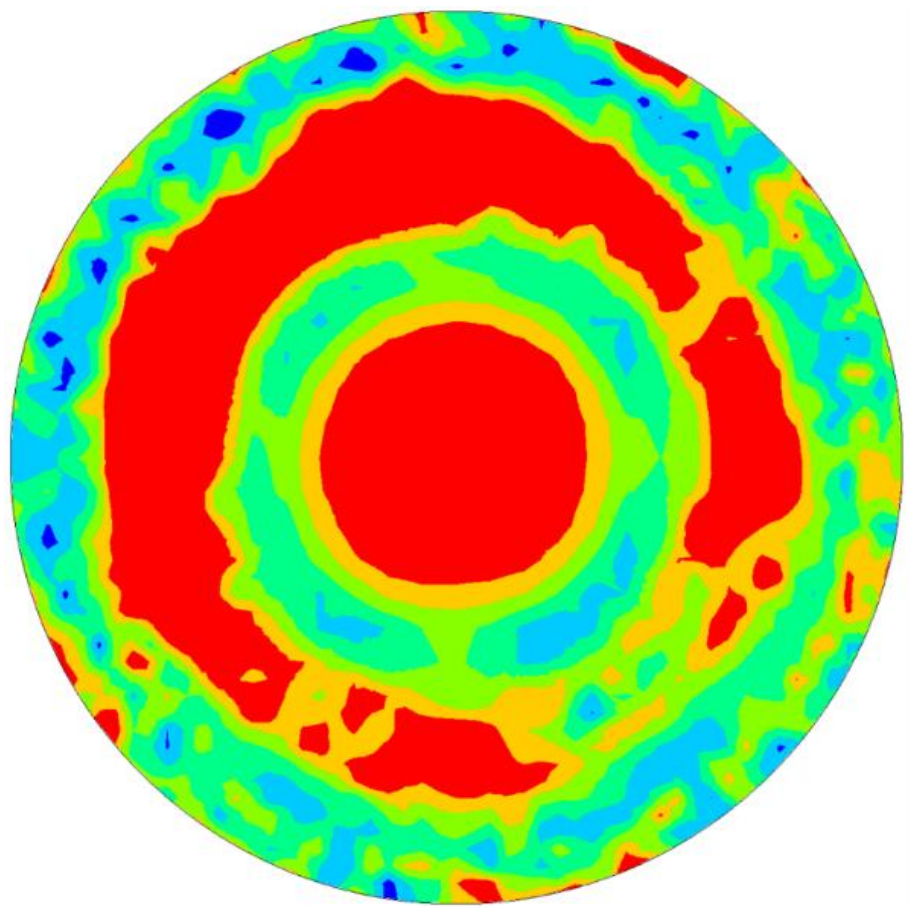
## Velocidad cámara modificada





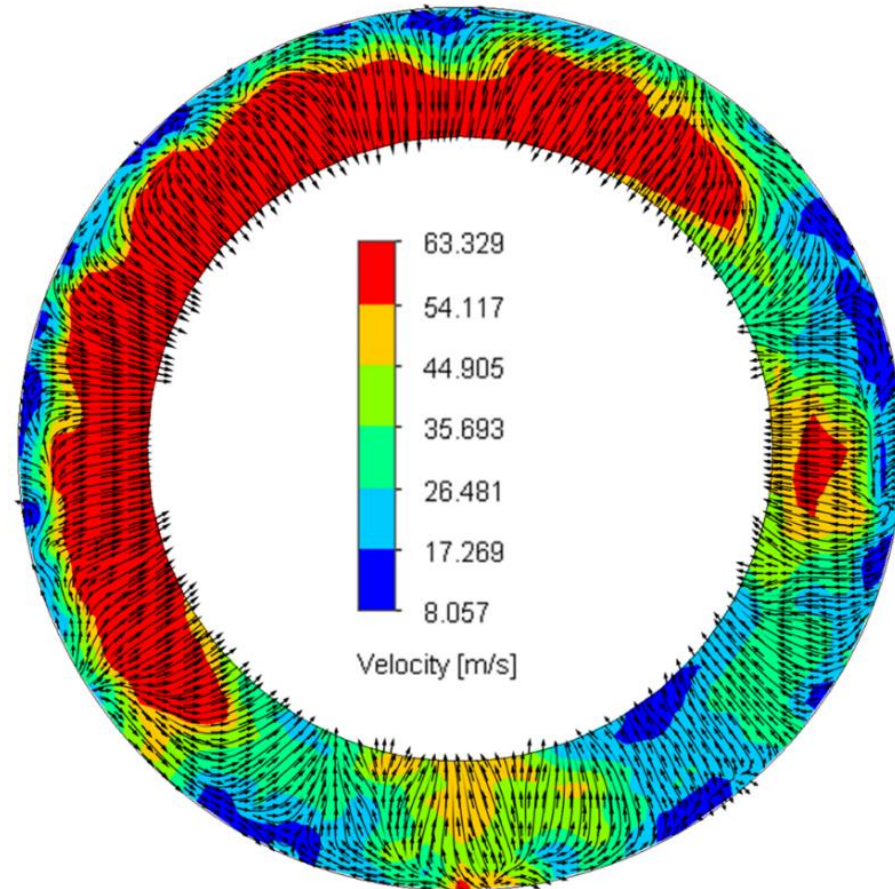
Resultados

## Velocidad cámara modificada



Resultados

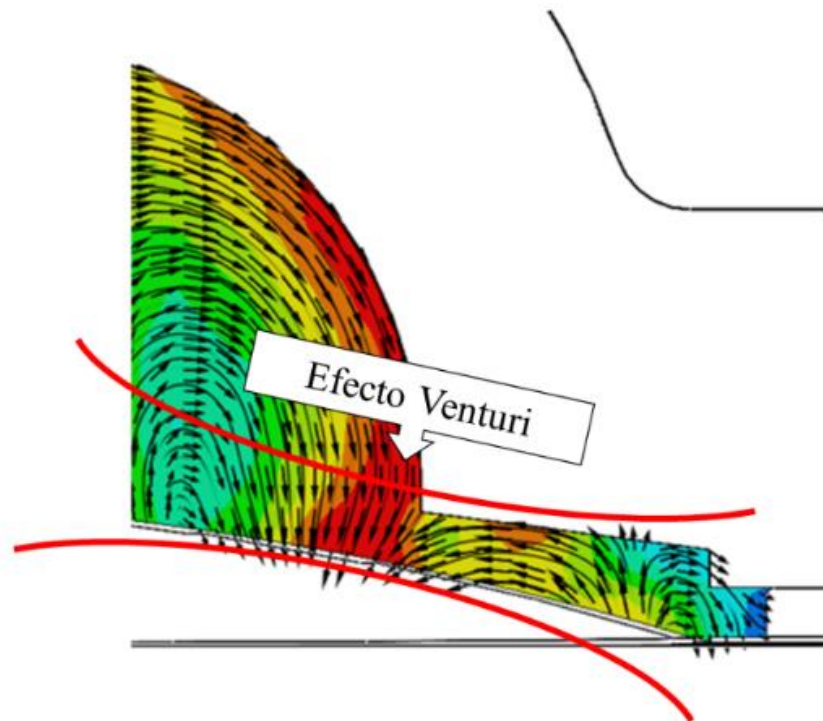
Velocidad cámara modificada



# MODIFICACIONES BASADAS EN LOS RESULTADOS

Ajustes

Detalles observados a corregir



Zona de aplastamiento, provoca un movimiento acelerado extra al aplastamiento de los gases, aumentando la velocidad drásticamente fuera del rango óptimo.

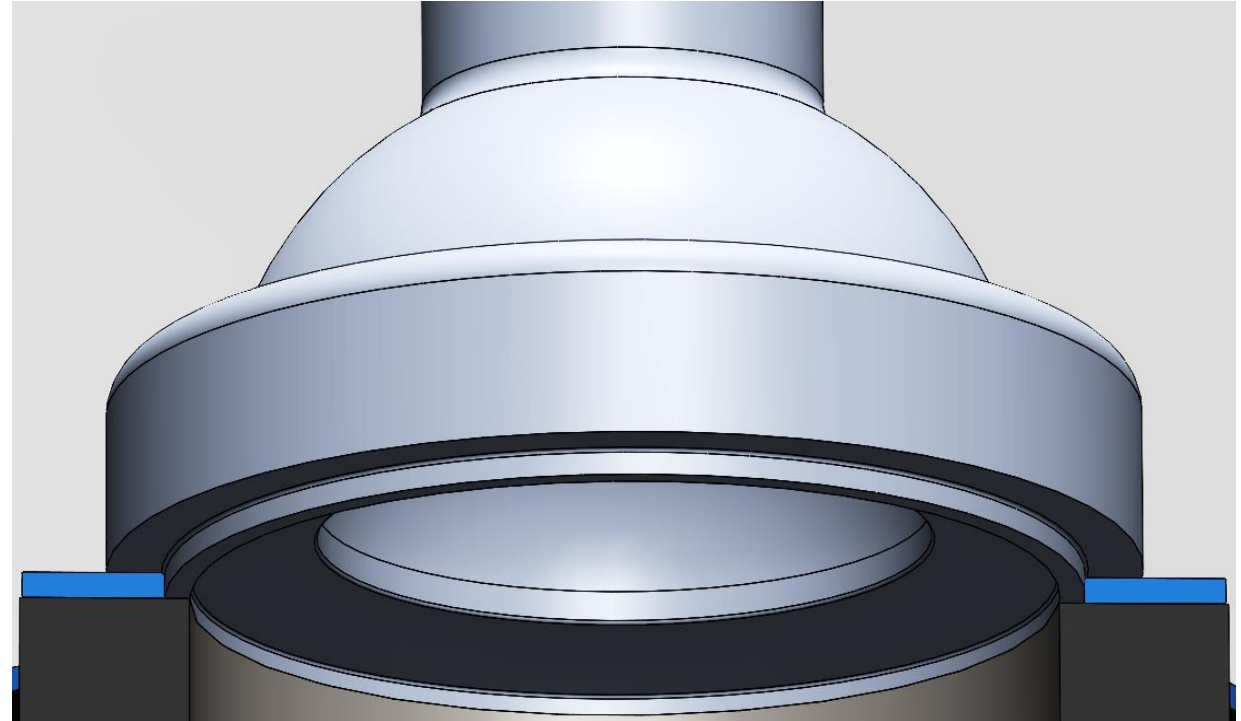
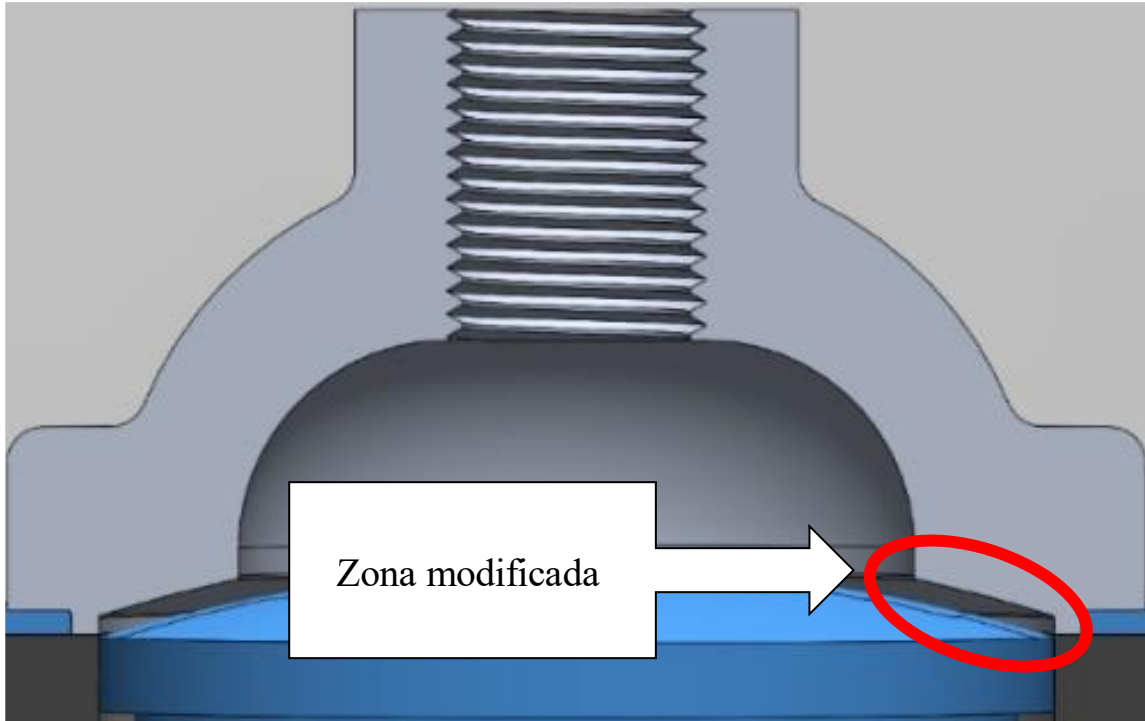


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# MODIFICACIONES BASADAS EN LOS RESULTADOS

Ajustes

Correcciones en el culatín

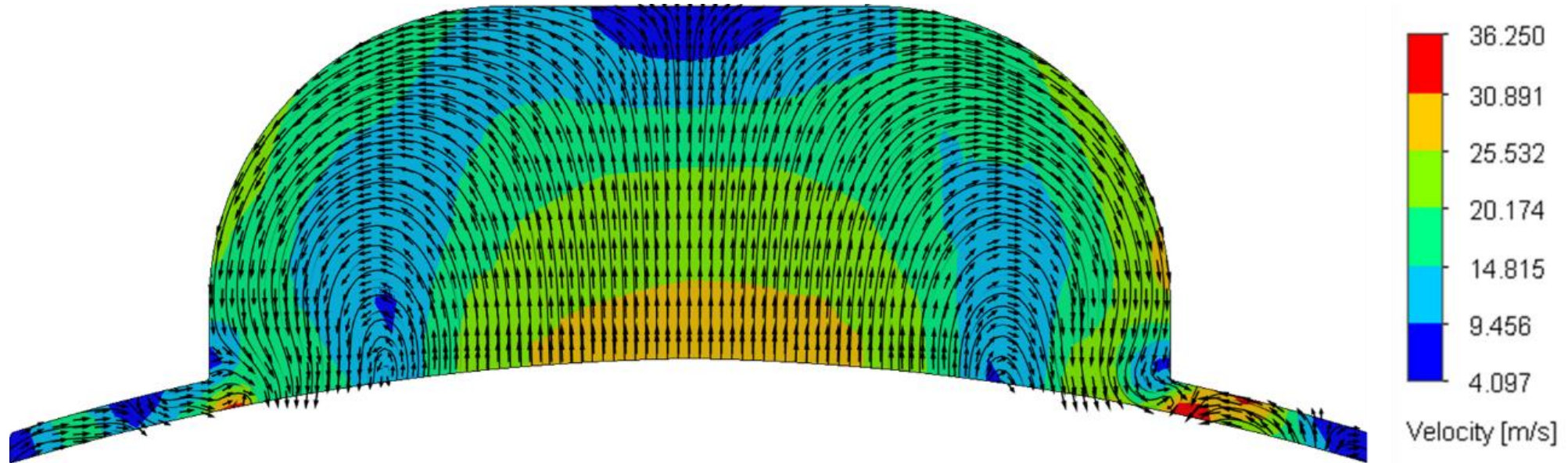


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# SIMULACION CFD POS AJUSTES

Resultados

Velocidad cámara modificada

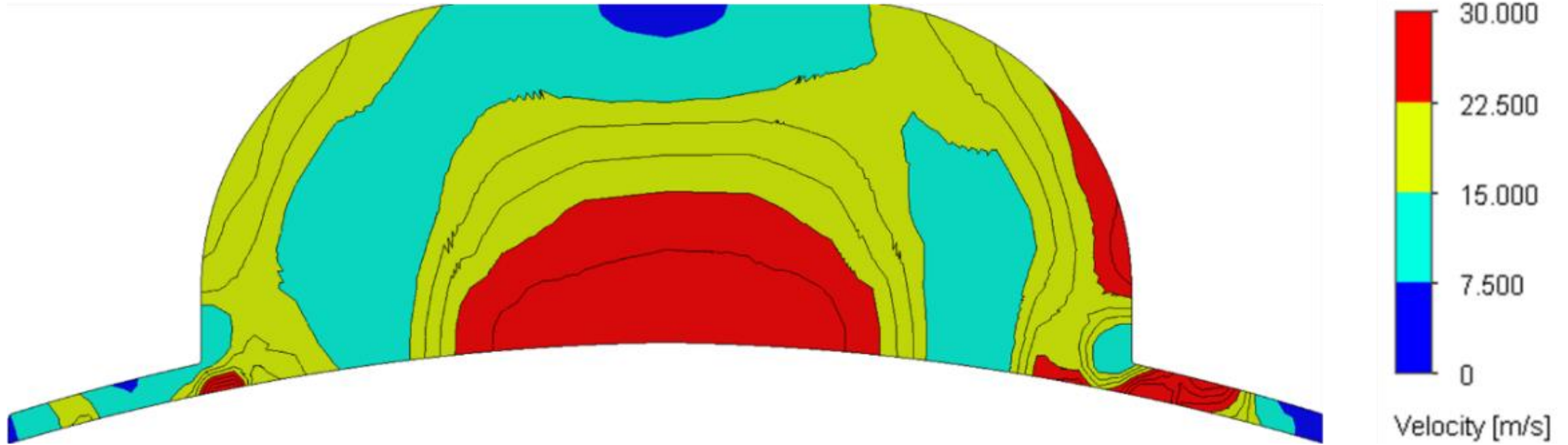


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# SIMULACION CFD POS AJUSTES

Resultados

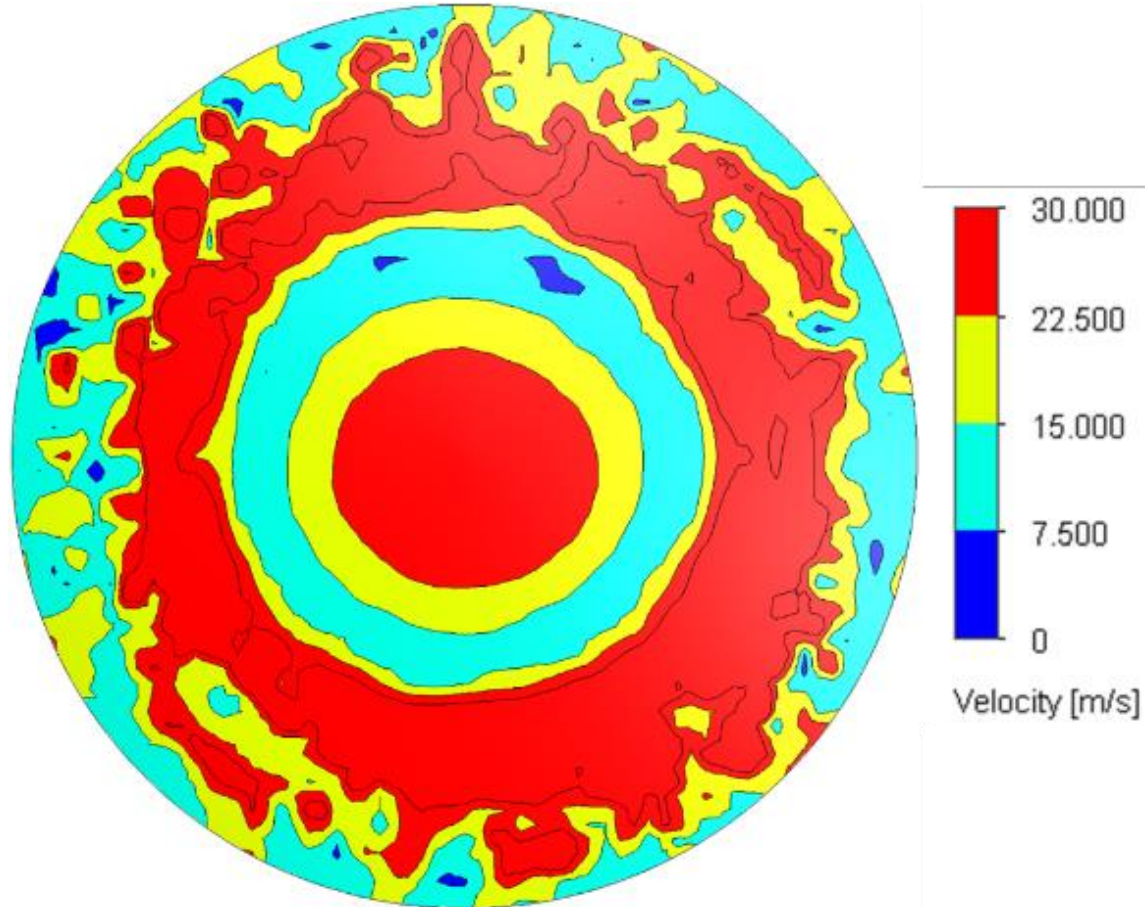
Velocidad cámara modificada



# MODIFICACIONES BASADAS EN LOS RESULTADOS

Resultados

Velocidad cámara modificada

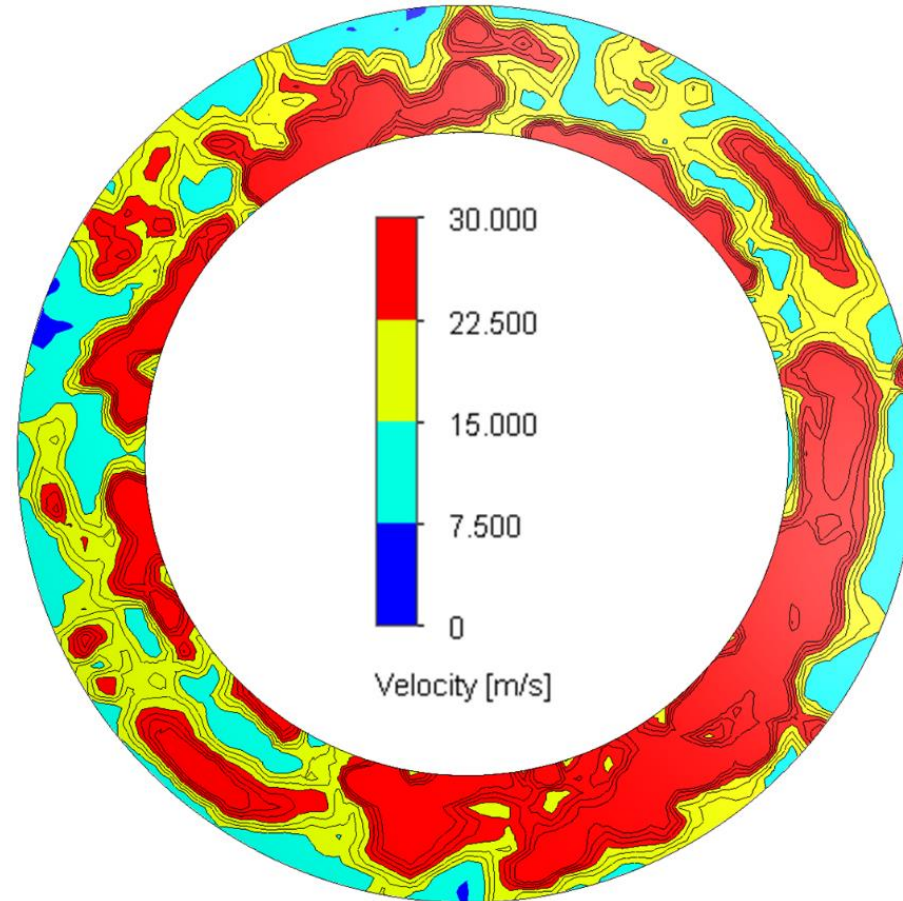


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# MODIFICACIONES BASADAS EN LOS RESULTADOS

Resultados

Velocidad cámara modificada



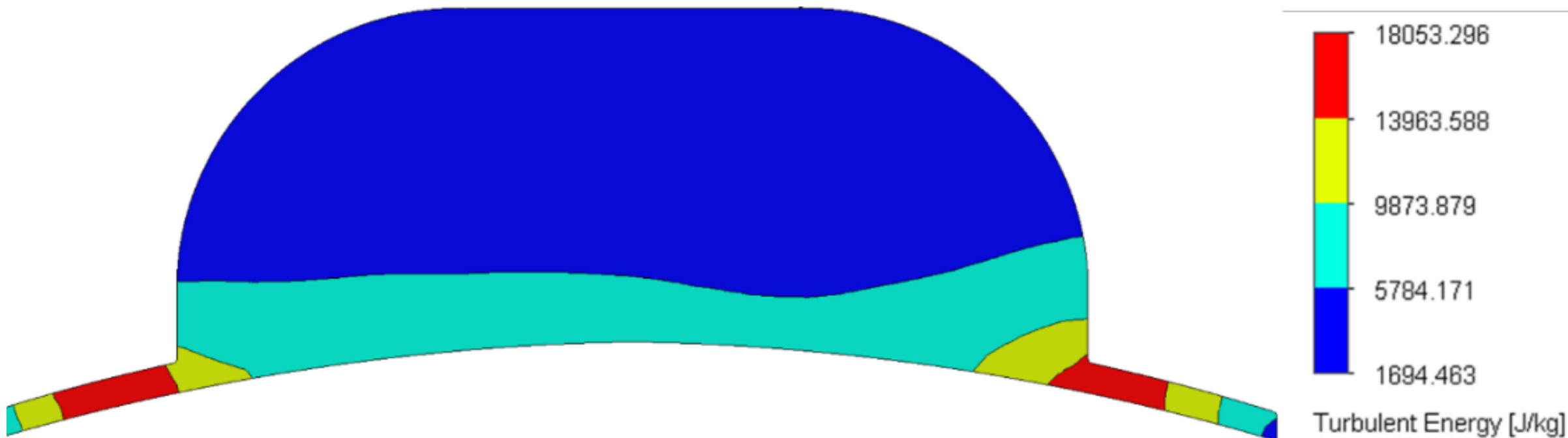
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# MODIFICACIONES BASADAS EN LOS RESULTADOS

Resultados

Turbulencia cámara modificada

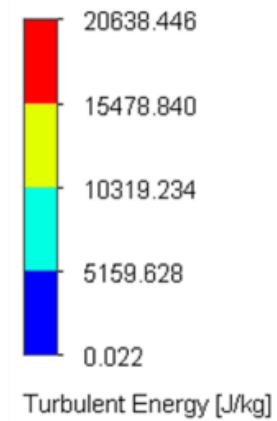
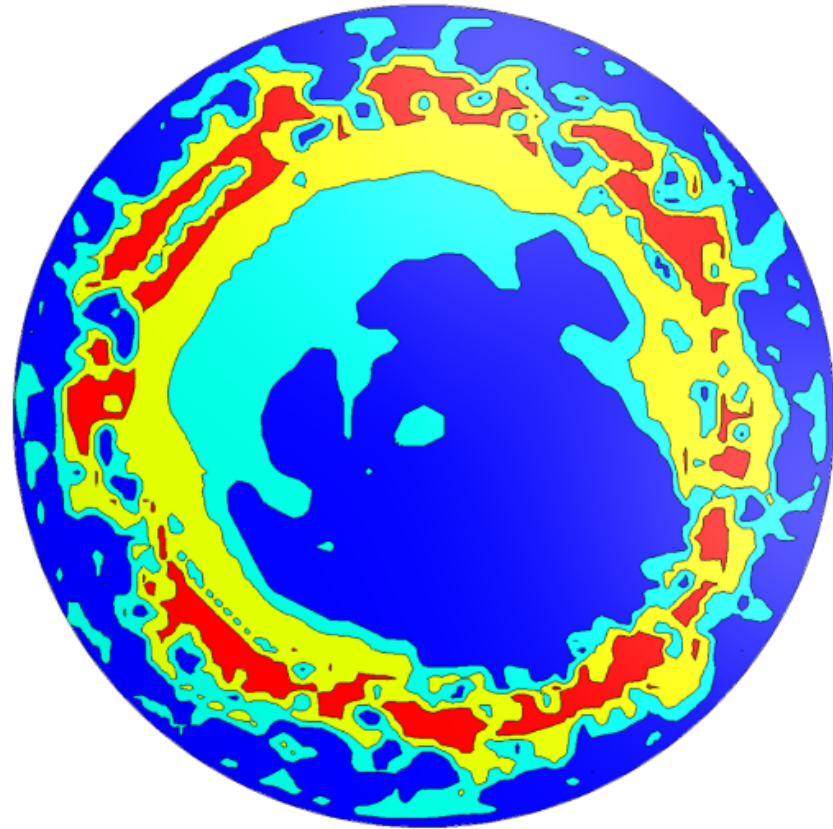


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# MODIFICACIONES BASADAS EN LOS RESULTADOS

Resultados

Turbulencia cámara modificada

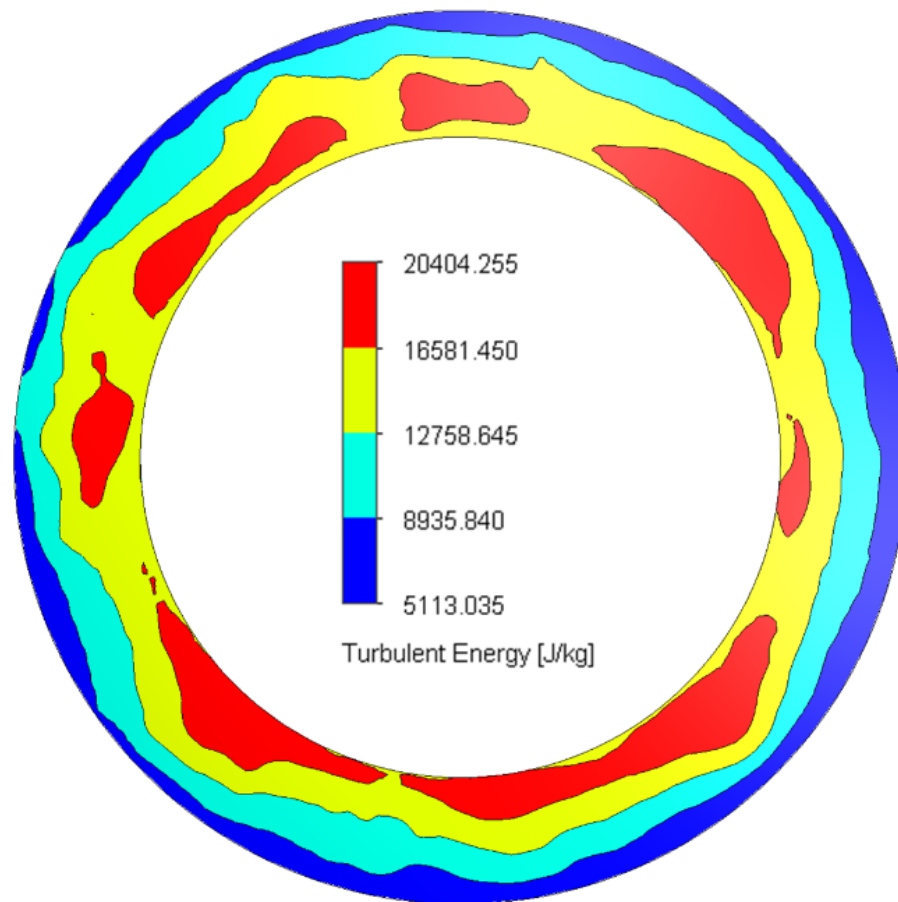


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# MODIFICACIONES BASADAS EN LOS RESULTADOS

Resultados

*Turbulencia cámara modificada*

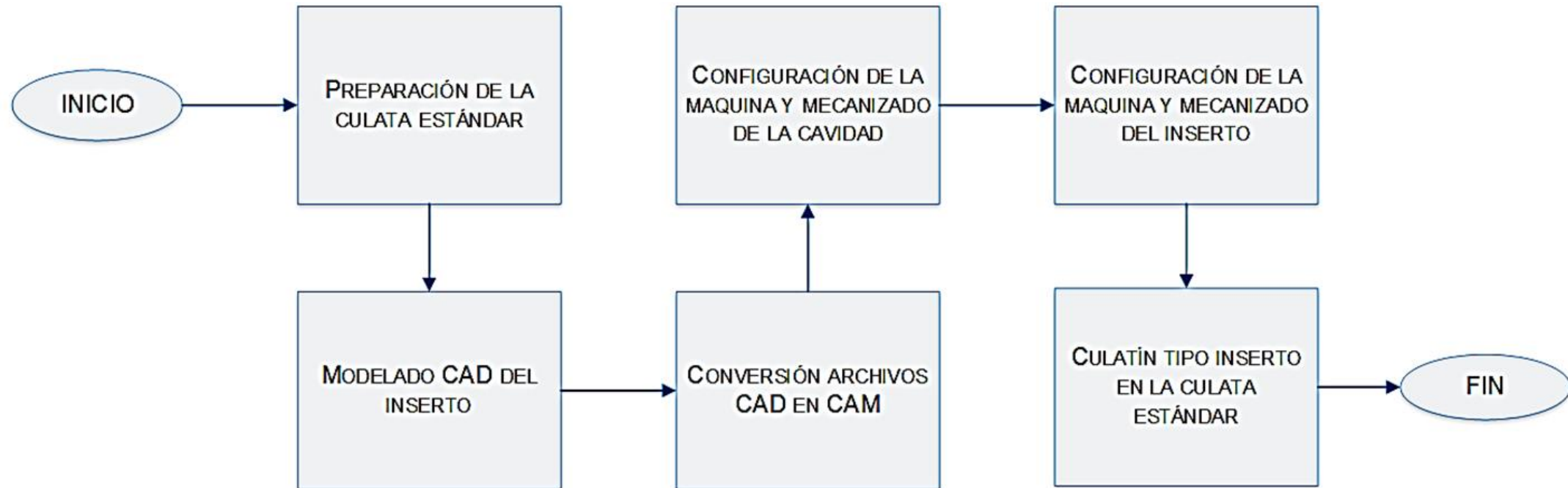


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



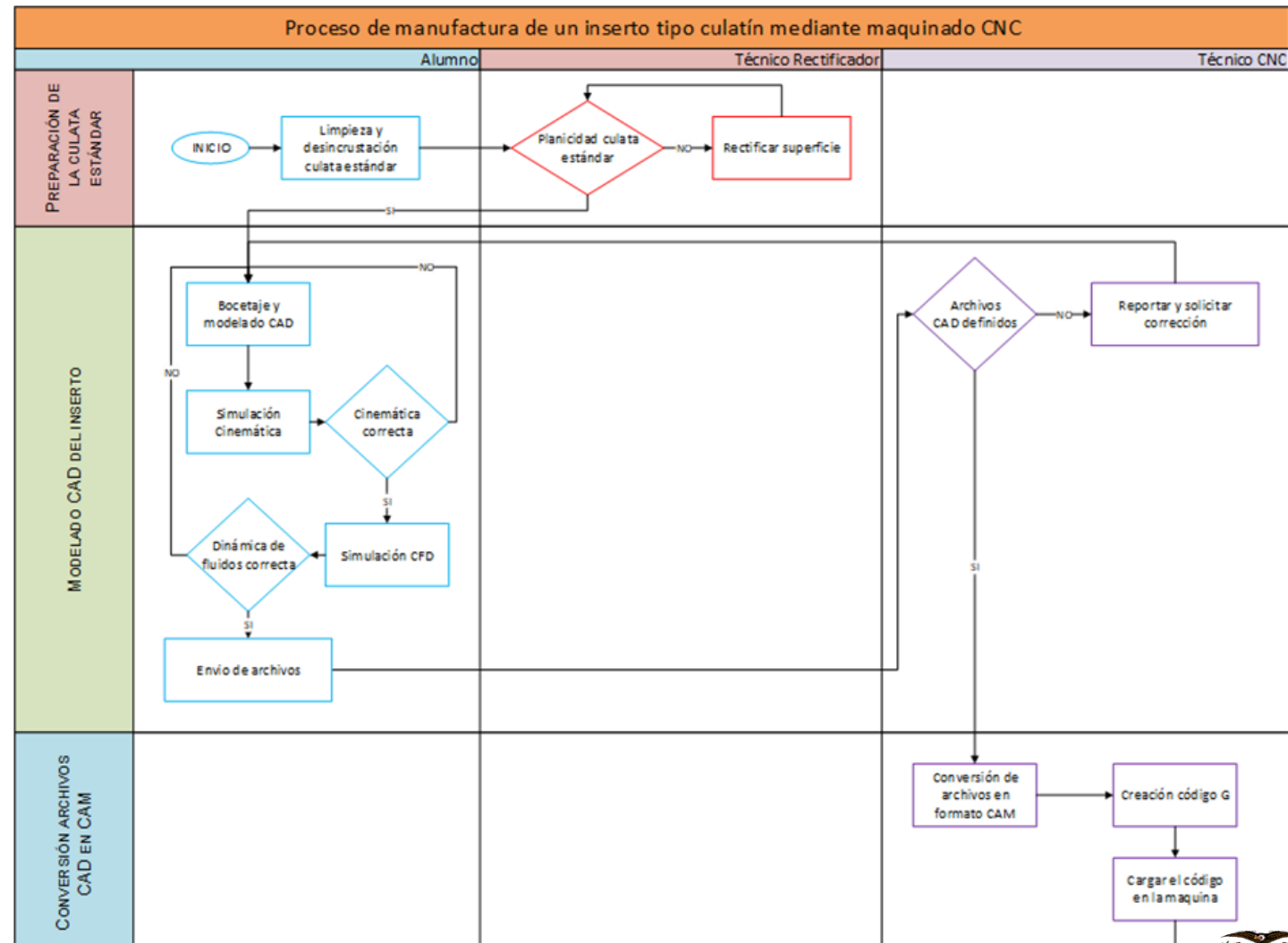
# PROCESO DE MANUFACTURA E IMPLEMENTACIÓN

## Proceso de manufactura establecido



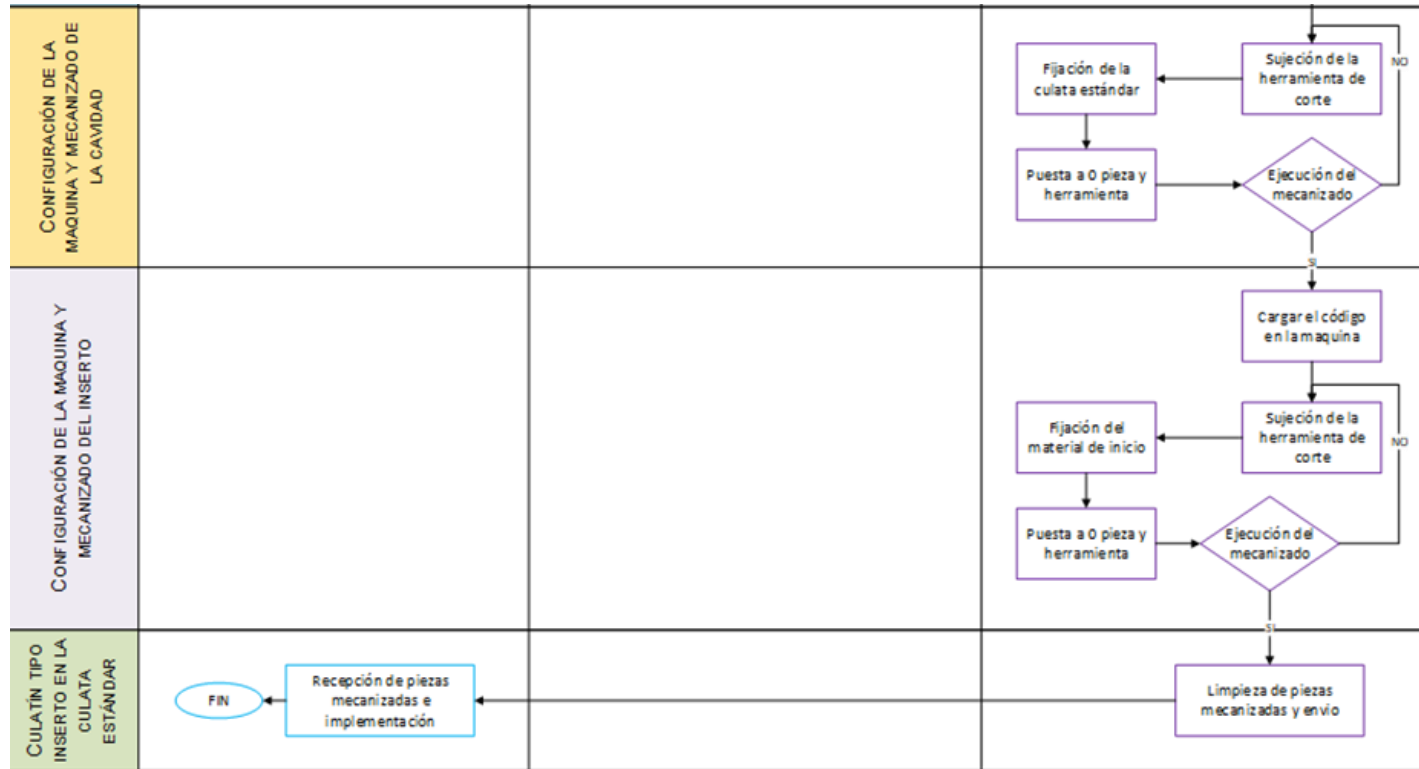
# PROCESO DE MANUFACTURA E IMPLEMENTACIÓN

## Protocolo Proceso De Manufactura Maquinado CNC



# PROCESO DE MANUFACTURA E IMPLEMENTACIÓN

## Protocolo Proceso De Manufactura Maquinado CNC



# PROCESO DE MANUFACTURA E IMPLEMENTACIÓN

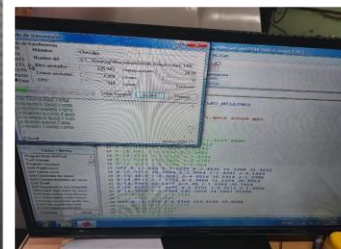
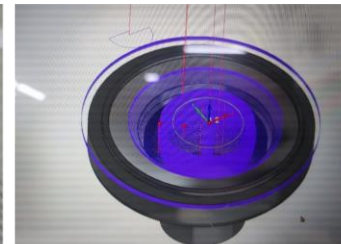
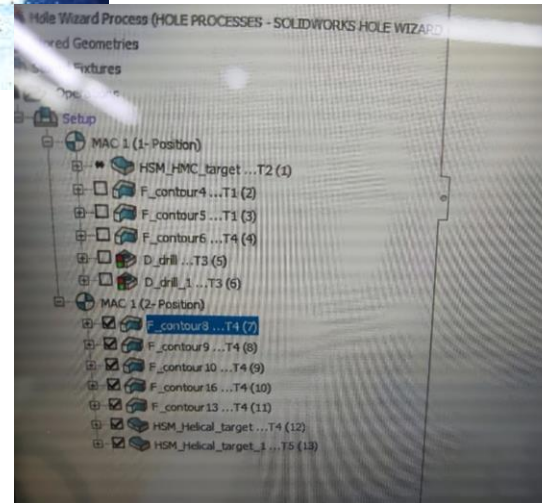
## Ejecución del proceso de manufactura



### Descripción.

Desincrustación y limpieza de la culata estándar.

**Descripción.**  
Creación del código G y archivos CAM



### Descripción.

Configuración y envío del código G al centro de mecanizado CNC

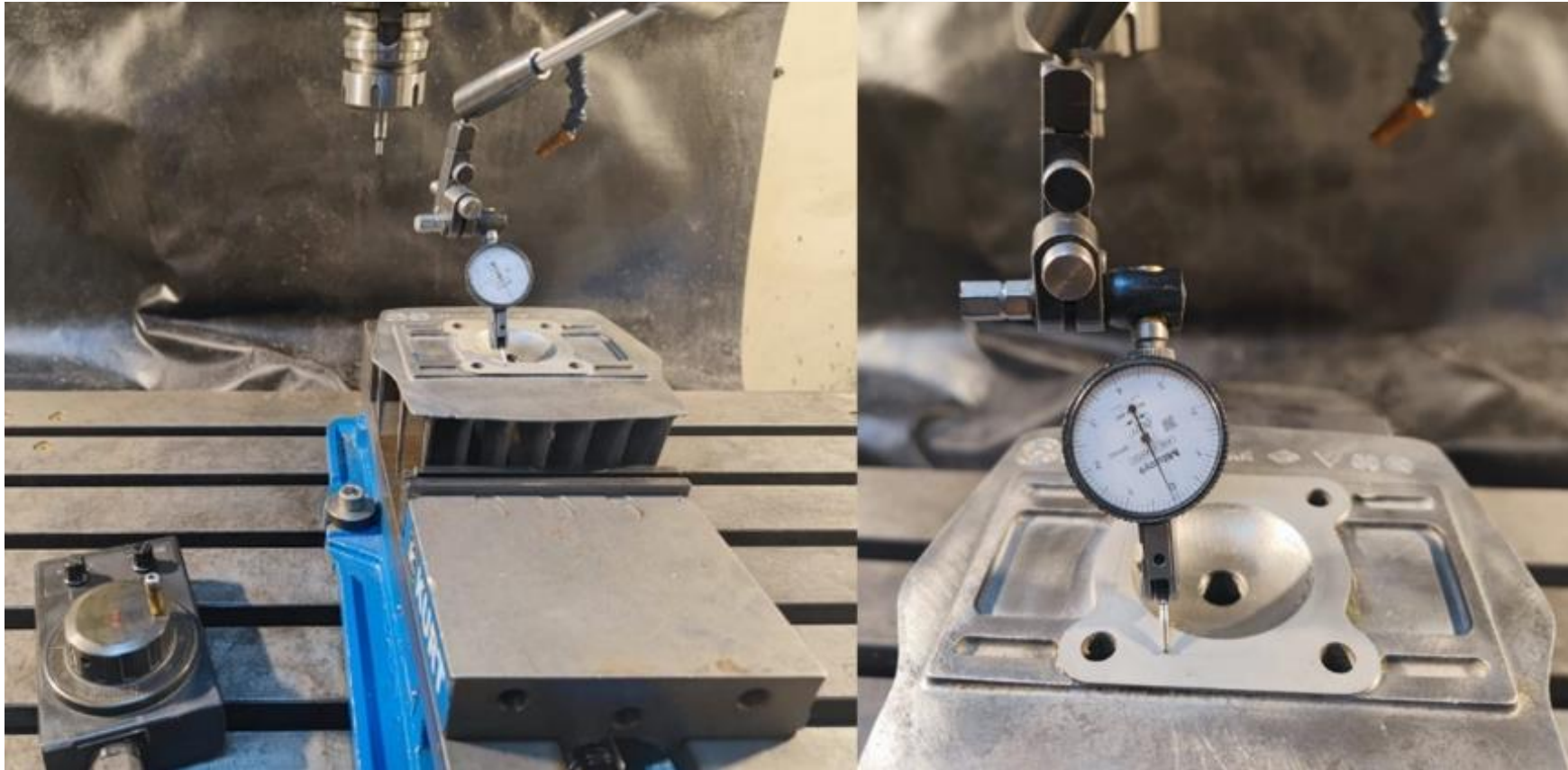


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# PROCESO DE MANUFACTURA E IMPLEMENTACIÓN

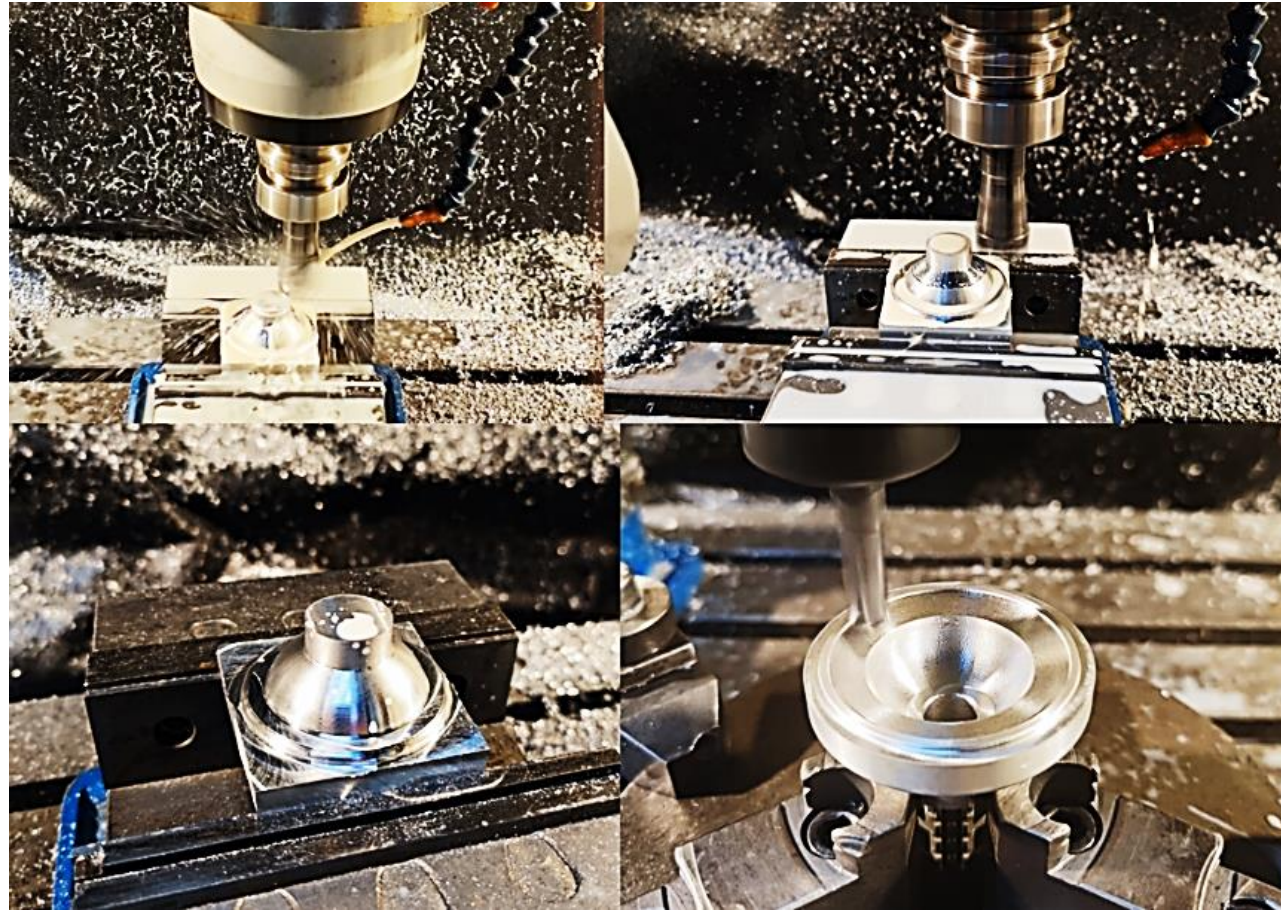
Proceso “0 Maquina y 0 Pieza”



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

# PROCESO DE MANUFACTURA E IMPLEMENTACIÓN

## Mecanizado CNC Culatín



# PROCESO DE MANUFACTURA E IMPLEMENTACIÓN

## Mecanizado CNC Cavidad para Culatín



# PROCESO DE MANUFACTURA E IMPLEMENTACIÓN

## Elementos Mecanizados



# PROCESO DE MANUFACTURA E IMPLEMENTACIÓN

## Comparativa CAD con resultados CNC

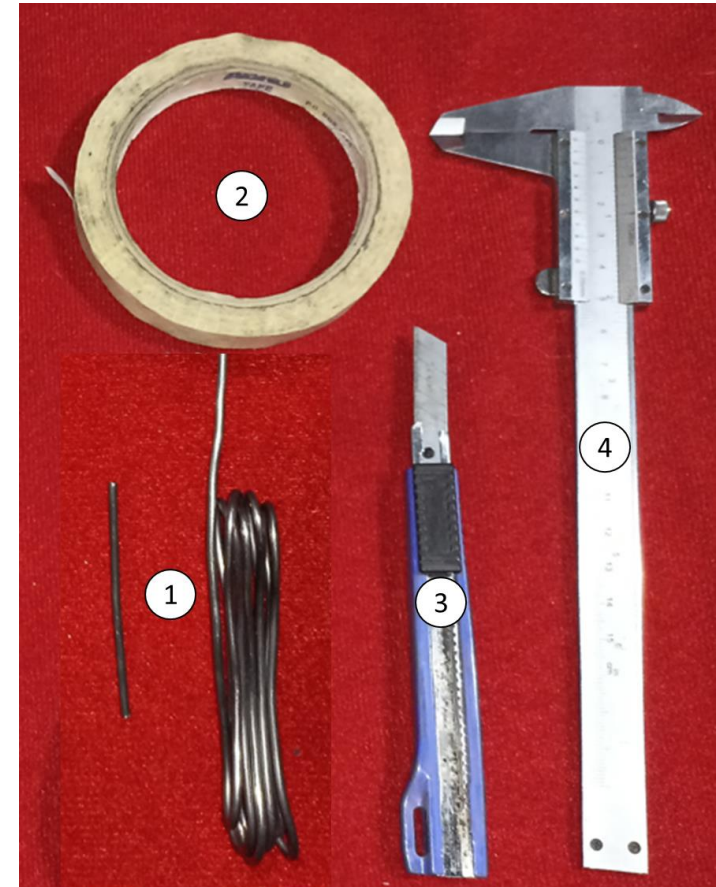


# PROCESO DE MANUFACTURA E IMPLEMENTACIÓN

## Implementación y comprobación

Los materiales que se requieren para la medición y comprobación del aplastamiento son:

1. Estaño de 2 *mm* de diámetro
2. Cinta adhesiva
3. Estilete
4. Calibrador pie de rey



# PROCESO DE MANUFACTURA E IMPLEMENTACIÓN

## Implementación y comprobación



Posicionamiento y fijación del estaño para comprobación del aplastamiento



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

# PROCESO DE MANUFACTURA E IMPLEMENTACIÓN

## Implementación y comprobación



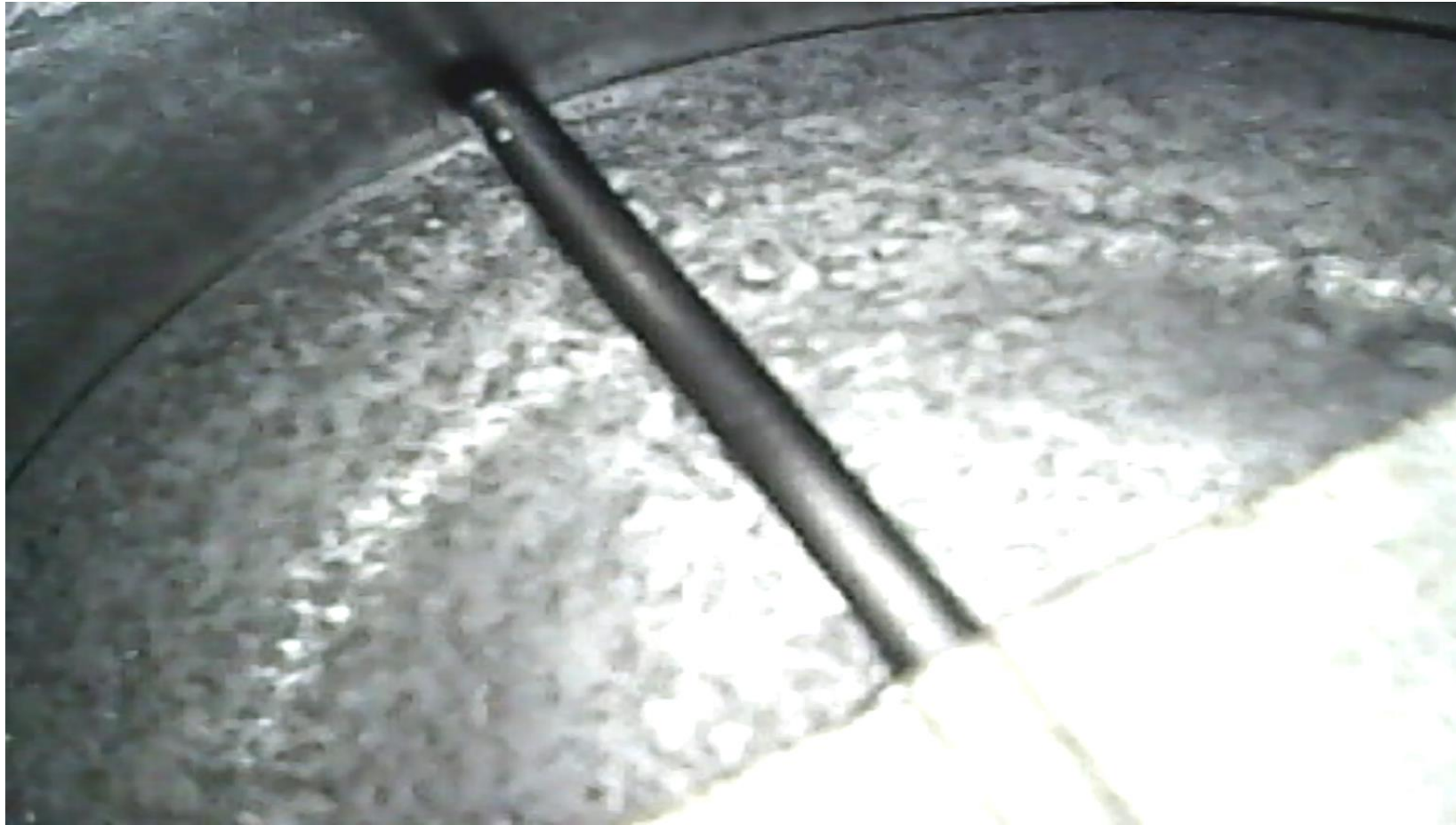
Colocar la junta de culata y la culata modificada, aplicando  $20 \text{ lbf}$  de torque sobre las tuercas de sujeción según lo establecido en el manual de taller.





# PROCESO DE MANUFACTURA E IMPLEMENTACIÓN

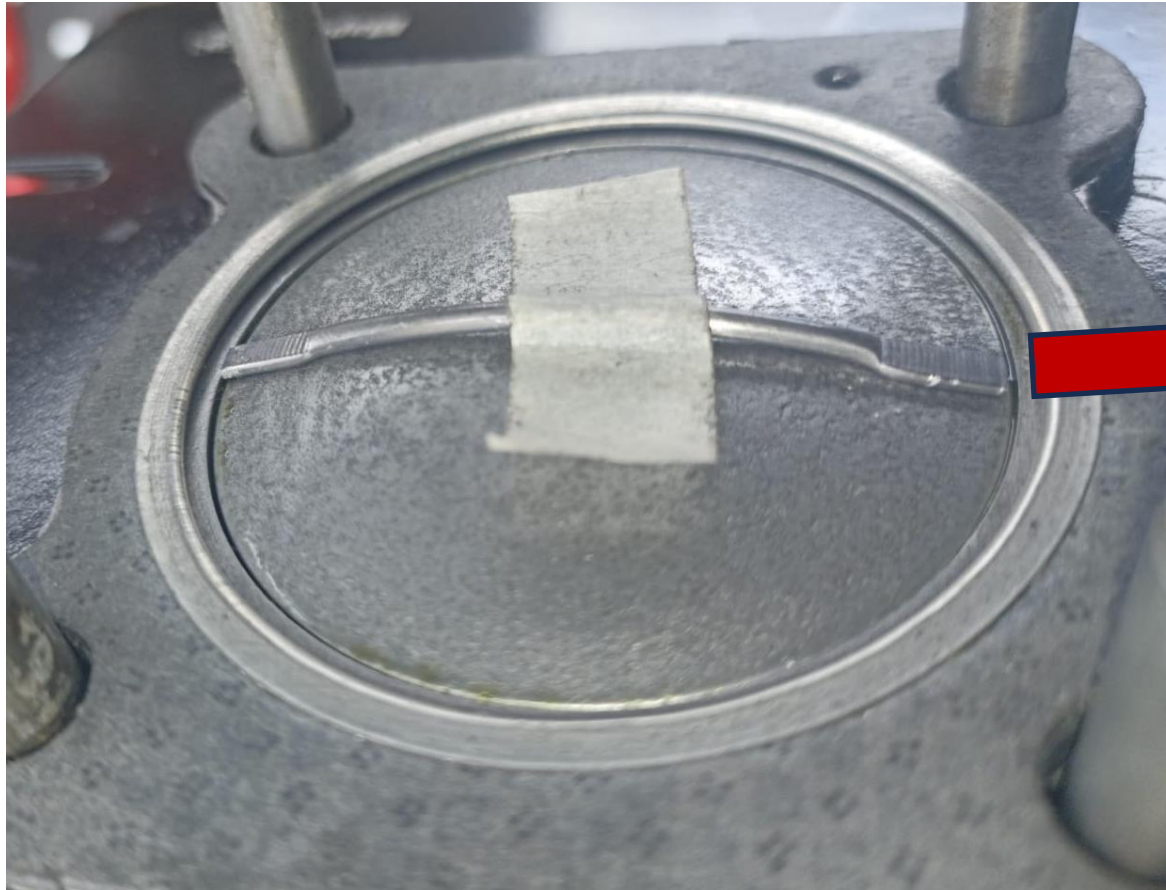
## Implementación y comprobación



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

# PROCESO DE MANUFACTURA E IMPLEMENTACIÓN

## Implementación y comprobación



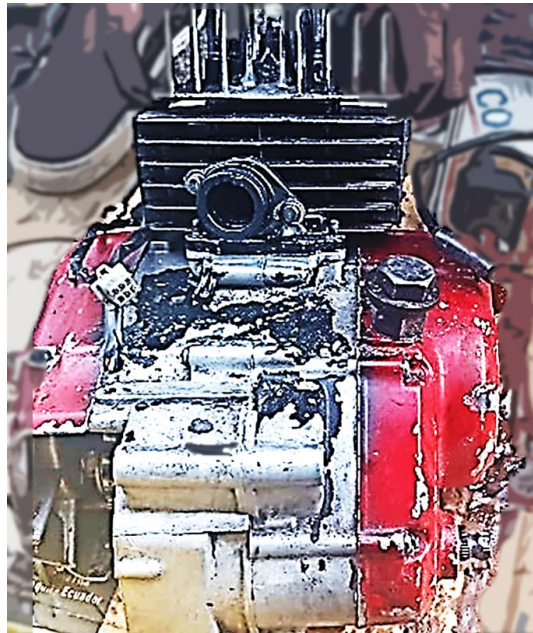
Efecto de aplastamiento observado en el espesor del estaño.



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

# PUESTA A PUNTO SIST. AUTOMOTRICES PROTOTIPO

## OVERHAUL MOTOR SUZUKI AX100



### *Descripción.*

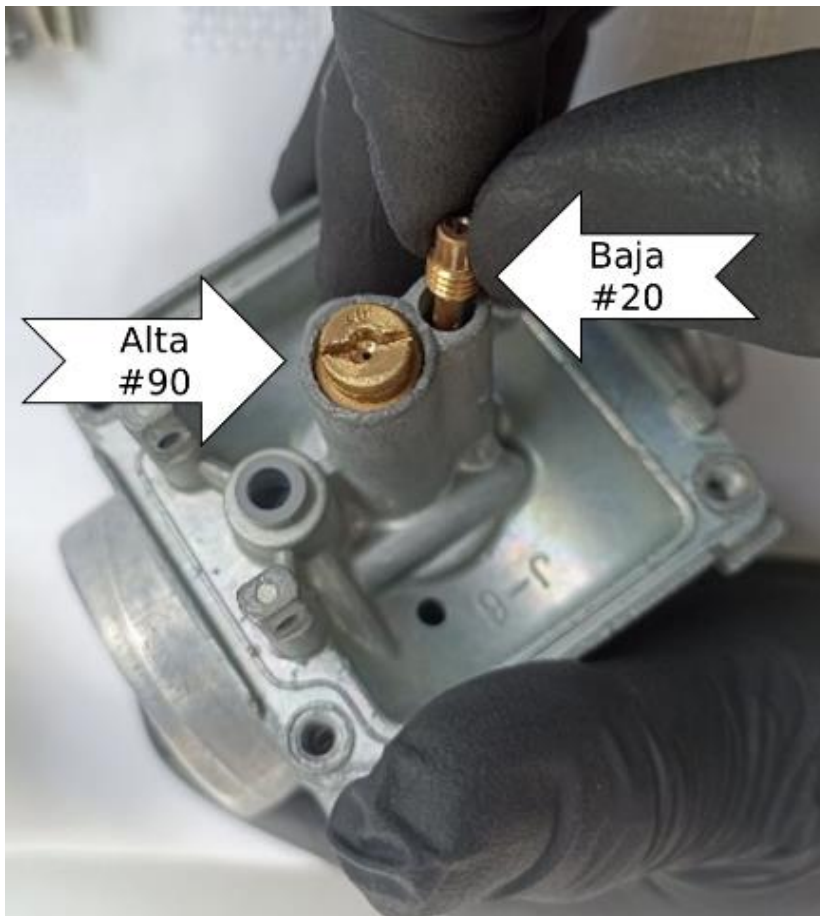
*Desmontaje y despiece de motor para mantenimiento overhaul.*



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

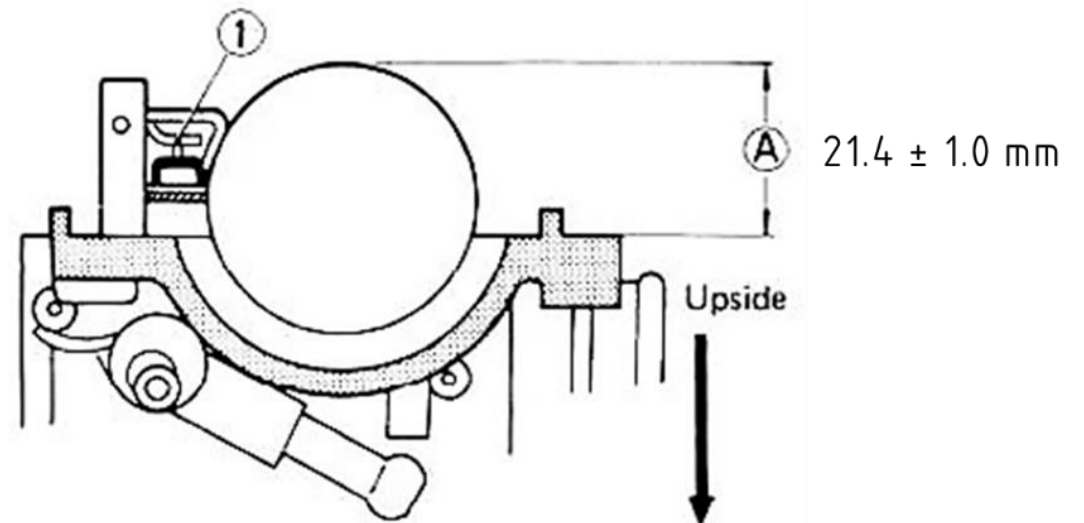
# PUESTA A PUNTO SIST. AUTOMOTRICES PROTOTIPO

## CARBURADOR



### Descripción.

Ajuste y limpieza carburador Suzuki AX100



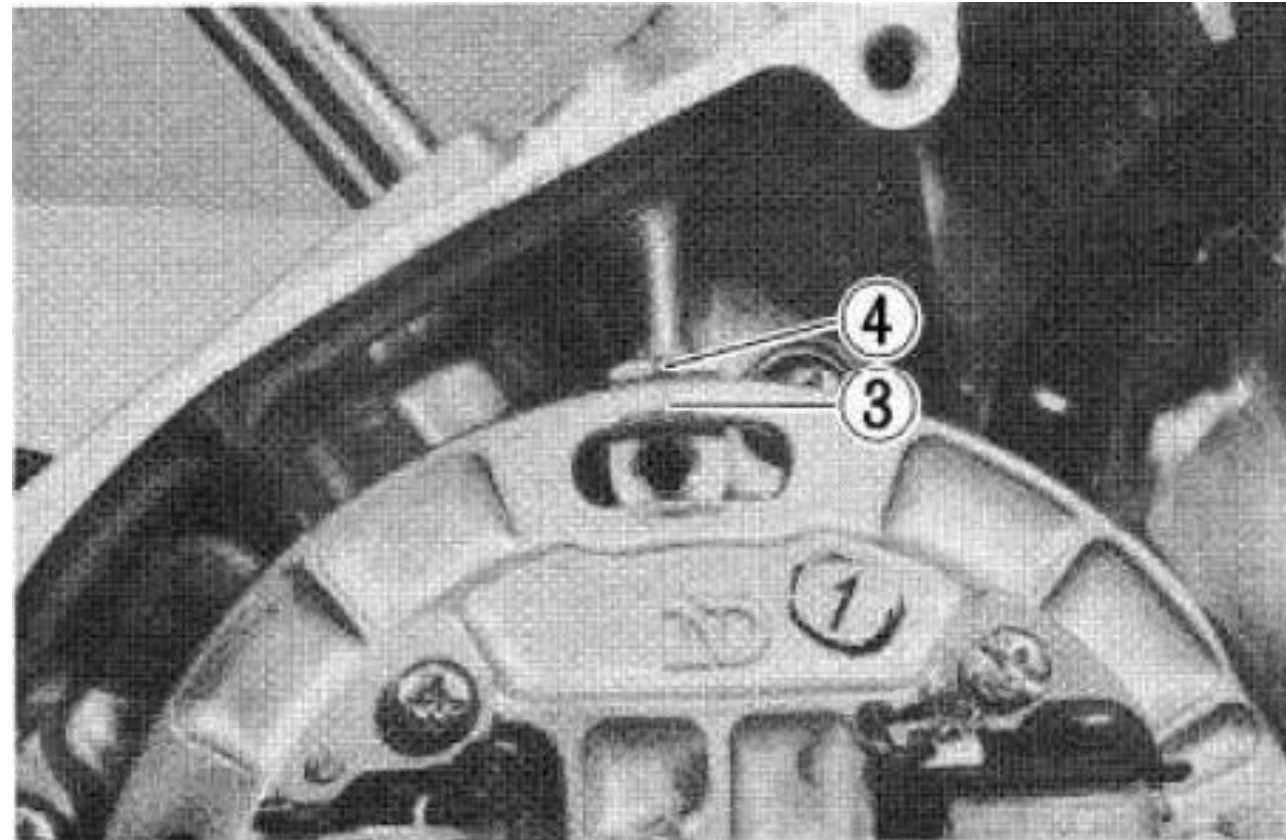
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# PUESTA A PUNTO SIST. AUTOMOTRICES PROTOTIPO

## SISTEMA DE ENCENDIDO

### Descripción.

Verificación y ajuste del avance al encendido mediante lampara estroboscópica.



# PUESTA A PUNTO SIST. AUTOMOTRICES PROTOTIPO

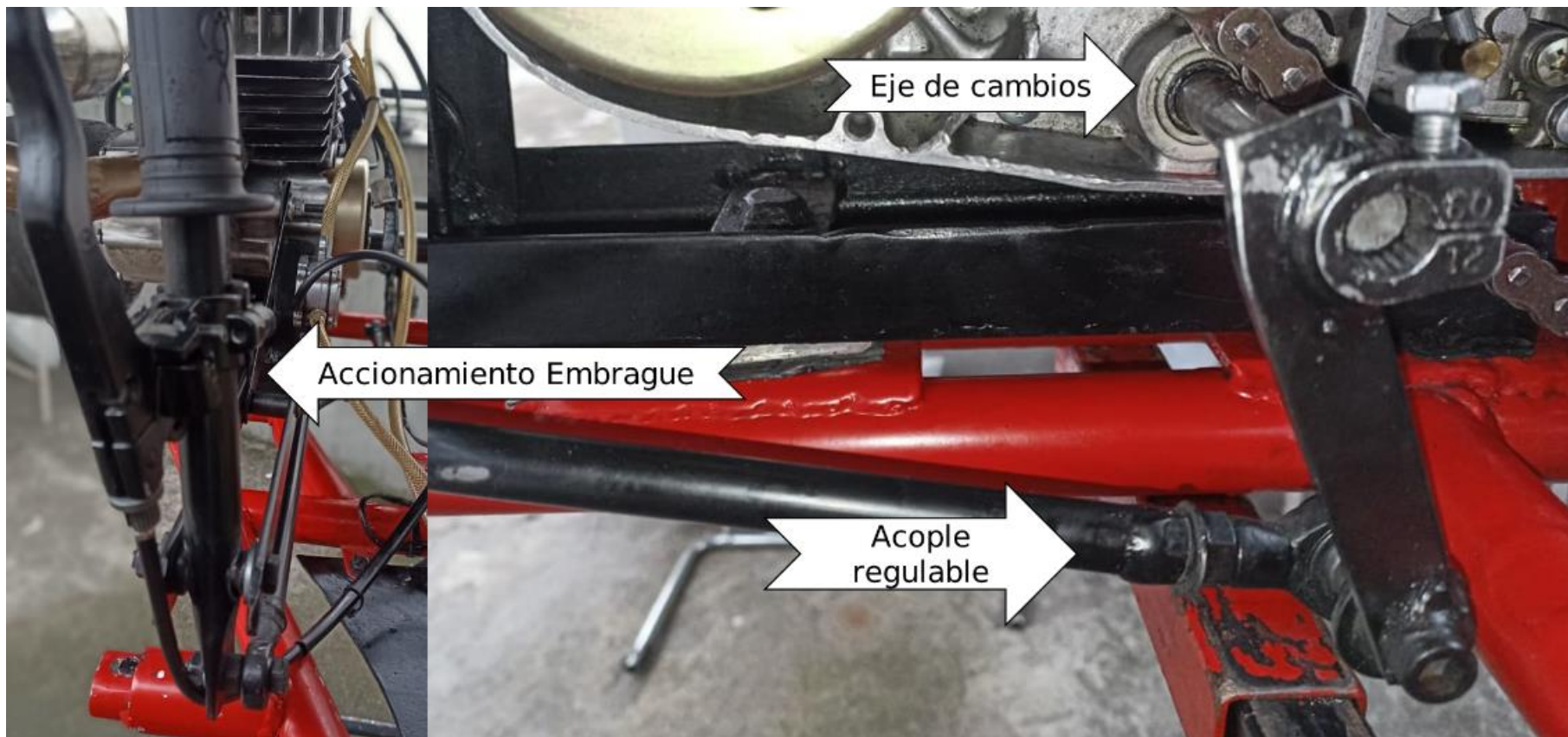
## OPTIMIZACIÓN CHASIS PROTOTIPO



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

# PUESTA A PUNTO SIST. AUTOMOTRICES PROTOTIPO

## OPTIMIZACIÓN PALANCA DE CAMBIOS



# PUESTA A PUNTO SIST. AUTOMOTRICES PROTOTIPO

## OPTIMIZACIÓN SIST. DE FRENOS



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



# PUESTA A PUNTO SIST. AUTOMOTRICES PROTOTIPO

## OPTIMIZACIÓN SIST. DE ALIMENTACIÓN



# PROTOSCOLOS PARA EJECUCION DE PRUEBAS

## Equipos de medición

**Dinamómetro.-** Banco de rodillos inercial para competición de la marca Saenz, que cuenta con un sistema de adquisición de datos que opera bajo la norma SAE J1349 que establece los parámetros de compensación barométrica.



# PROTOSCOLOS PARA EJECUCION DE PRUEBAS

## Equipos de medición

**Multímetro.-** Utilizado para medir la temperatura por medio de una termocupla que en auto rango puede captar entre  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $400^{\circ}\text{C}$  según indica el fabricante.



# PROTOSCOLOS PARA EJECUCION DE PRUEBAS

## Equipos de medición

**Cronometro digital.**- aplicación que permite medir el tiempo que tarda el prototipo en ejecutar las distintas pruebas.



# PROTOSCOLOS PARA EJECUCION DE PRUEBAS

## Equipos de medición

**Vaso de precipitación.-** Con capacidad de 5000 ml para la medición y abastecimiento del combustible pre mezclado.



# PROTOSCOLOS PARA EJECUCION DE PRUEBAS

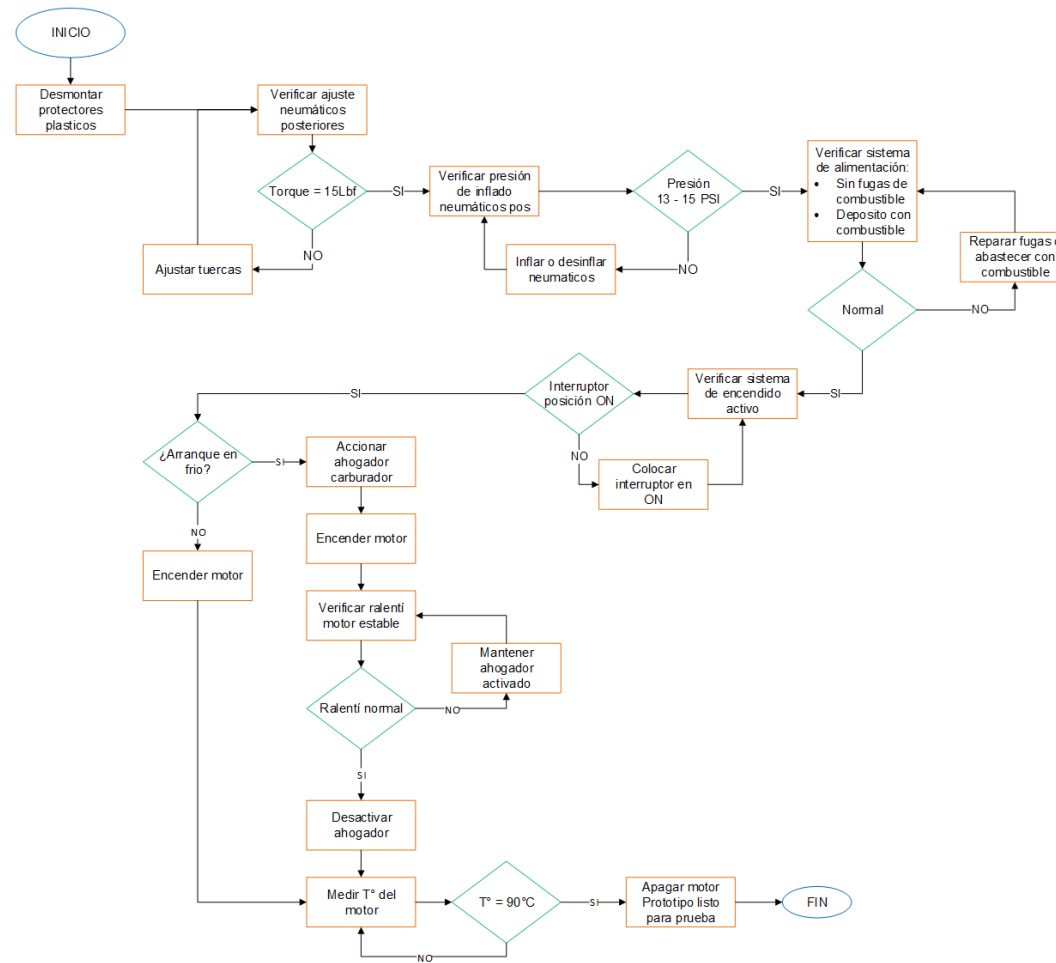
## Equipos de medición

**Probeta.-** Con capacidad de 100 ml para la medición y preparación de la mezcla del combustible con aceite 2T.



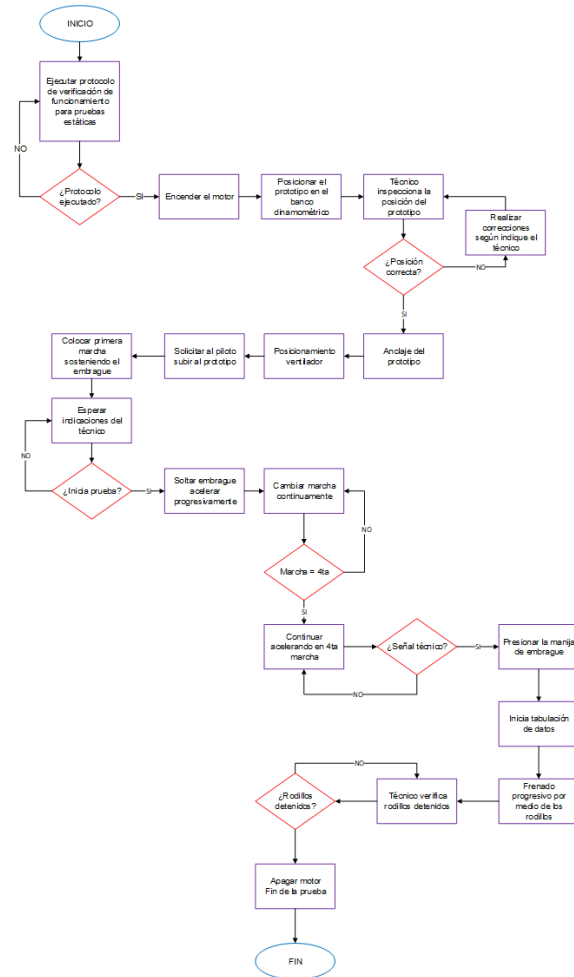
# PROTOCOLOS PARA EJECUCION DE PRUEBAS

## Protocolo de verificación de funcionamiento



# PROTOCOLOS PARA EJECUCION DE PRUEBAS

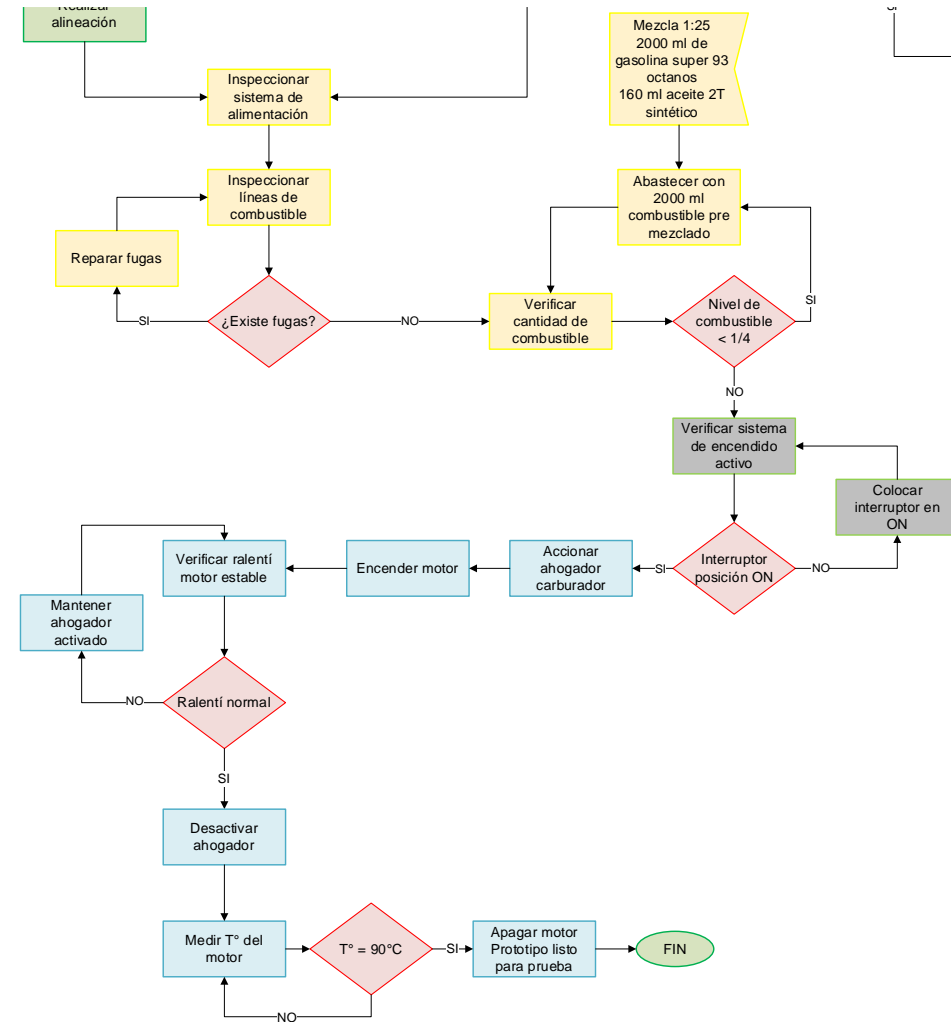
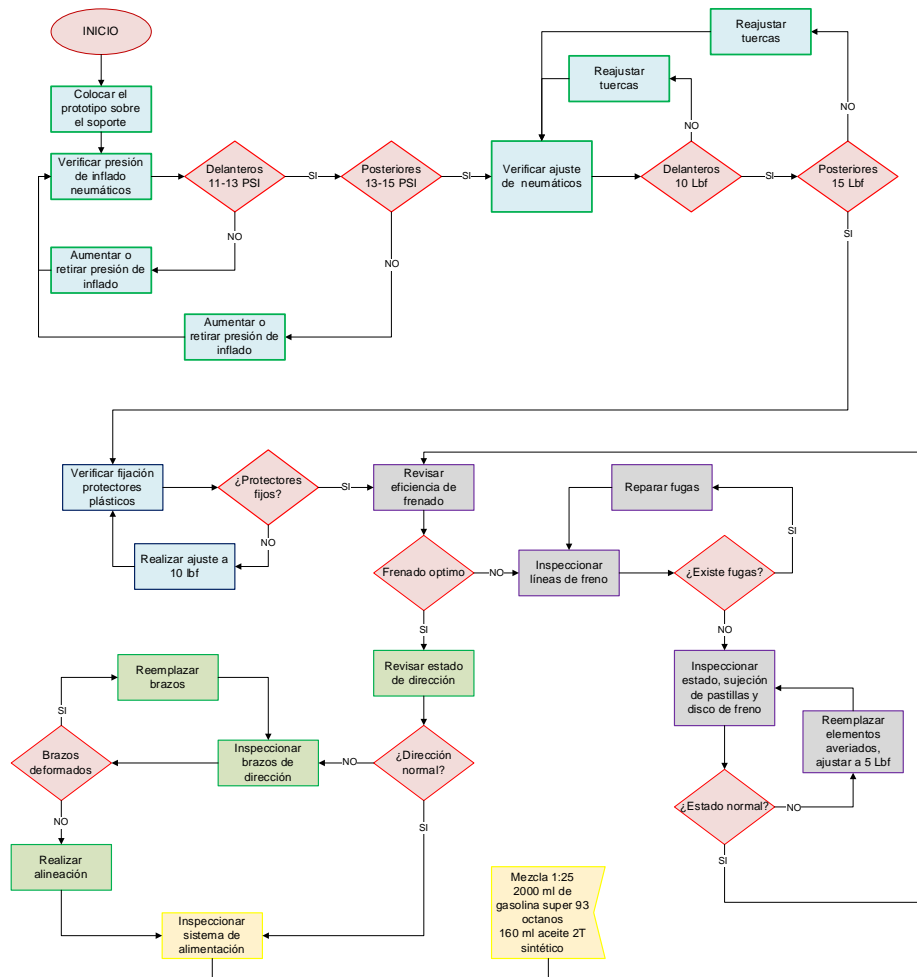
## Protocolo de prueba dinamométrica





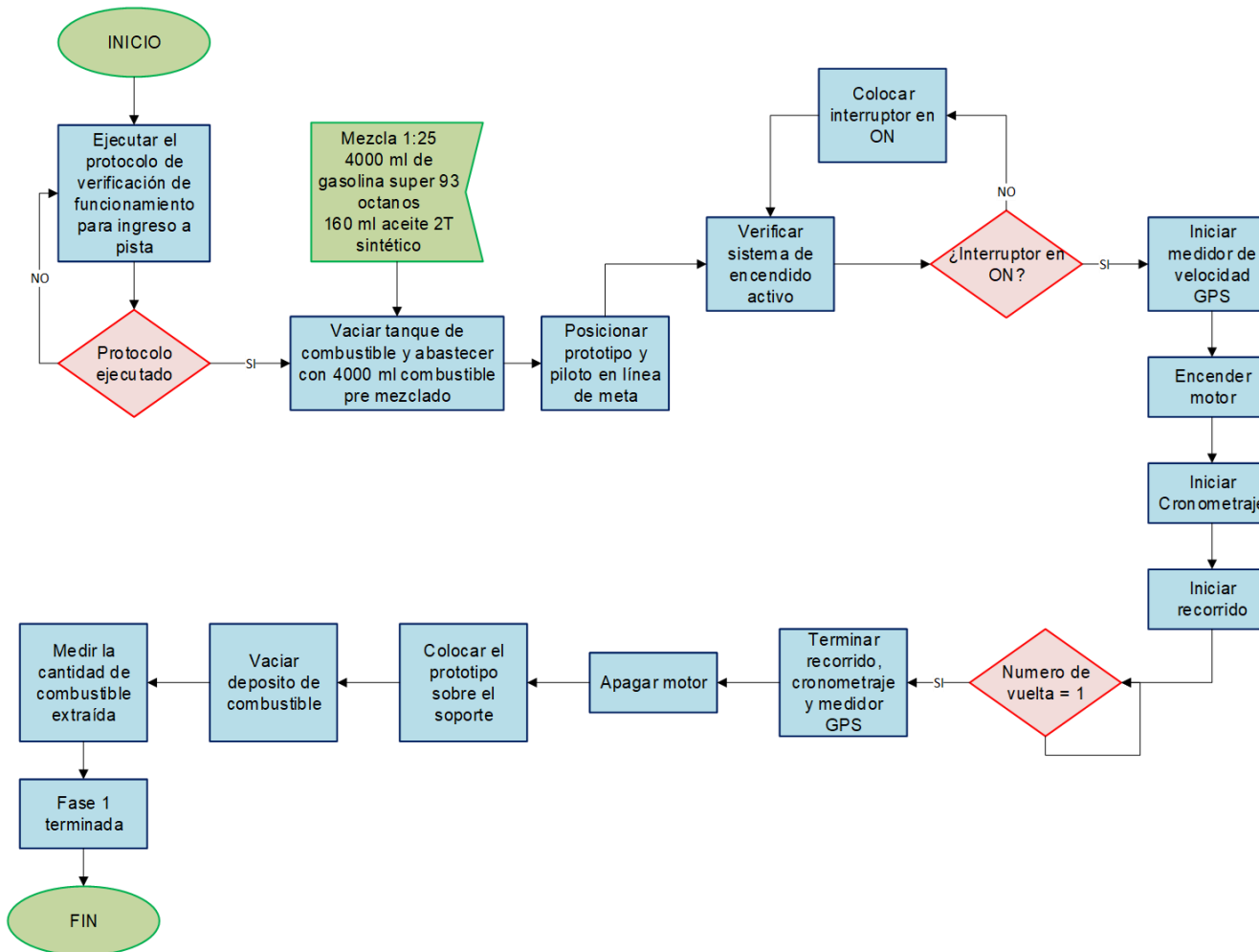
# PROTOSCOLOS PARA EJECUCION DE PRUEBAS

## Protocolo de verificación de funcionamiento



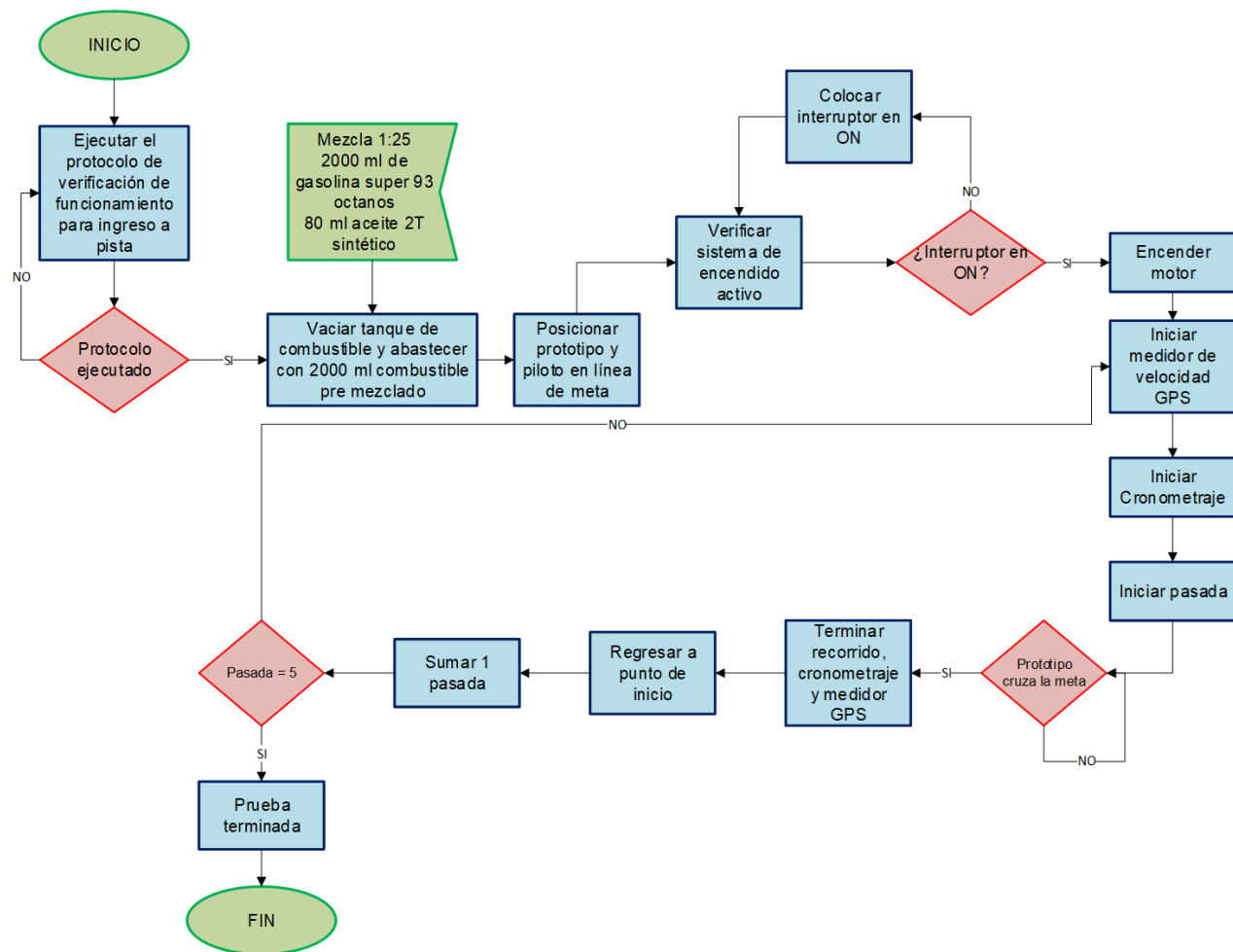
# PROTOCOLOS PARA EJECUCION DE PRUEBAS

## Protocolo de velocidad y consumo



# PROTOCOLOS PARA EJECUCION DE PRUEBAS

## Protocolo de aceleración en plano



## Prueba dinamométrica

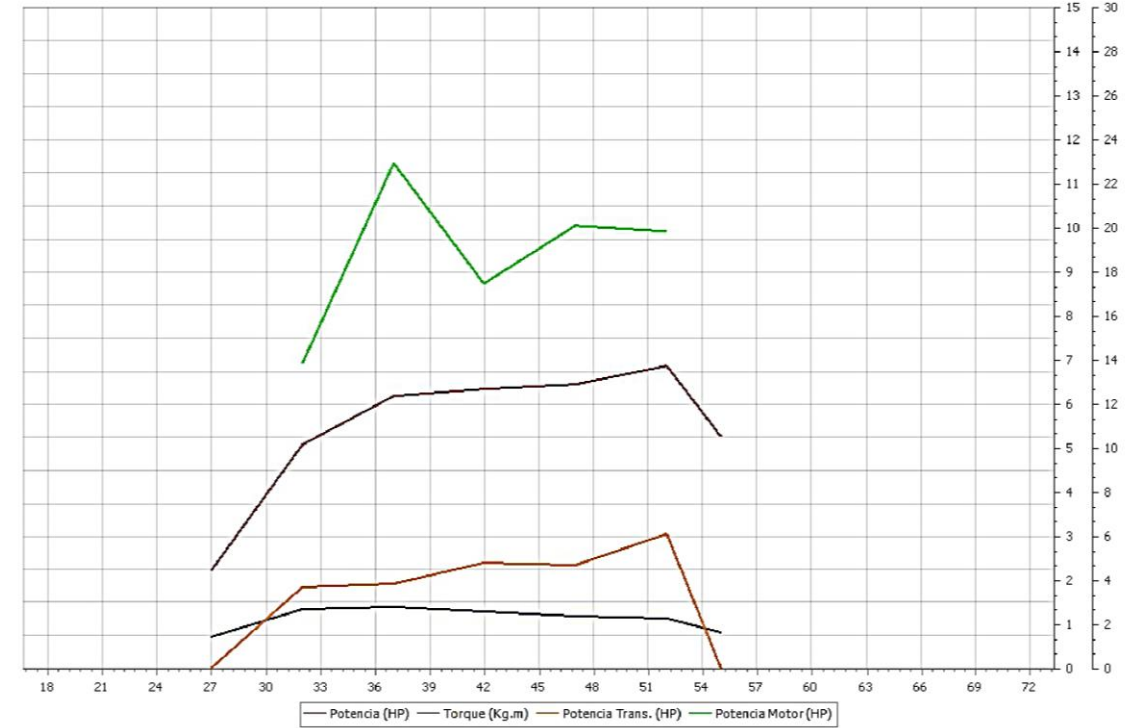
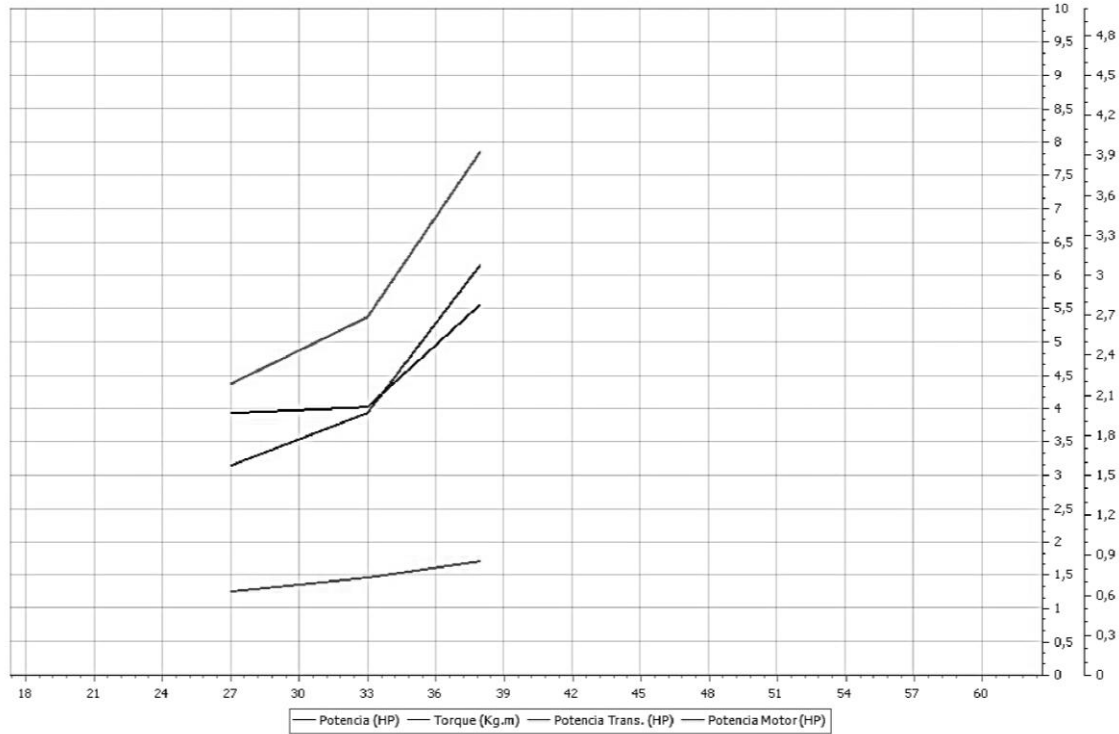
Fecha 08/02/2023 9:59:09  
Cliente  
Motor

KART ESPE 0003172



Fecha 13/02/2023 10:39:00  
Cliente  
Motor

KART ESPE0003177



## Prueba dinamométrica

### Resultados de las pruebas dinamométricas para condiciones estándar y modificadas

Condición del motor	Potencia Máxima [HP]	Torque Máximo [N.m]
Estándar	7,9	27,459
Modificado	11,5	42,169

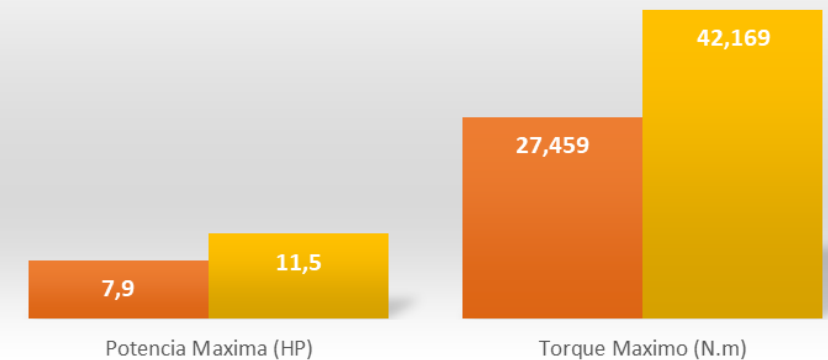
#### Nota:

Potencia aumenta en 45,6 %

El torque incremento en 53,6%.

#### Comparativa entre resultados

■ Condiciones Estandar ■ Condiciones Modificadas



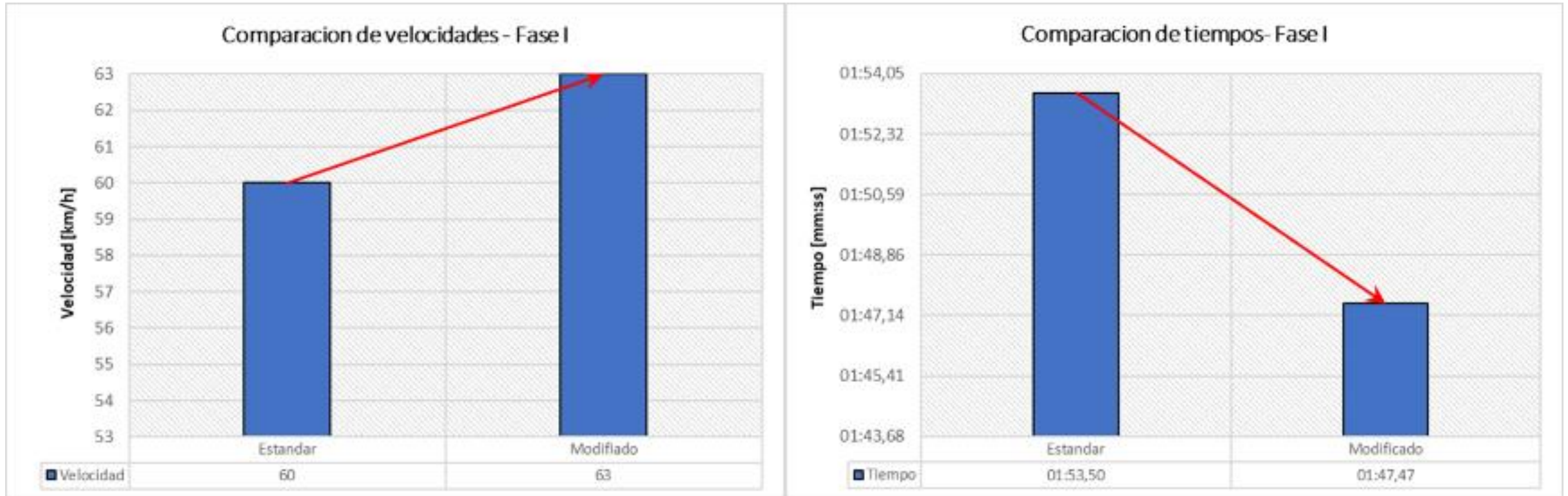
## Pruebas de velocidad - Fase I

Condiciones estándar				Condiciones Modificadas		
Numero	Velocidad	Tiempo	Observación	Velocidad	Tiempo	Observación
	max			max		
Vuelta	[km/h]	[s]	-	[km/h]	[s]	-
1	60	01:53.50	N/A	63	01:47.47	N/A

N/A: Ninguna



## Pruebas de velocidad - Fase I



## Pruebas de velocidad - Fase II

Numero	Condiciones estándar			Condiciones Modificadas		
	Velocidad max	Tiempo	Observación	Velocidad max	Tiempo	Observación
Vuelta	[km/h]	[s]	-	[km/h]	[s]	-
1	57	02:01.13	N/A	63	01:47.47	N/A
2	66	01:40.72	M/V	67	01:35.87	M/V
3	64	01:41.39	N/A	65	01:37.91	N/A
4	63	01:43.30	N/A	65	01:38.92	N/A
5	62	01:47.97	N/A	63	01:39.07	N/A

N/A: Ninguna

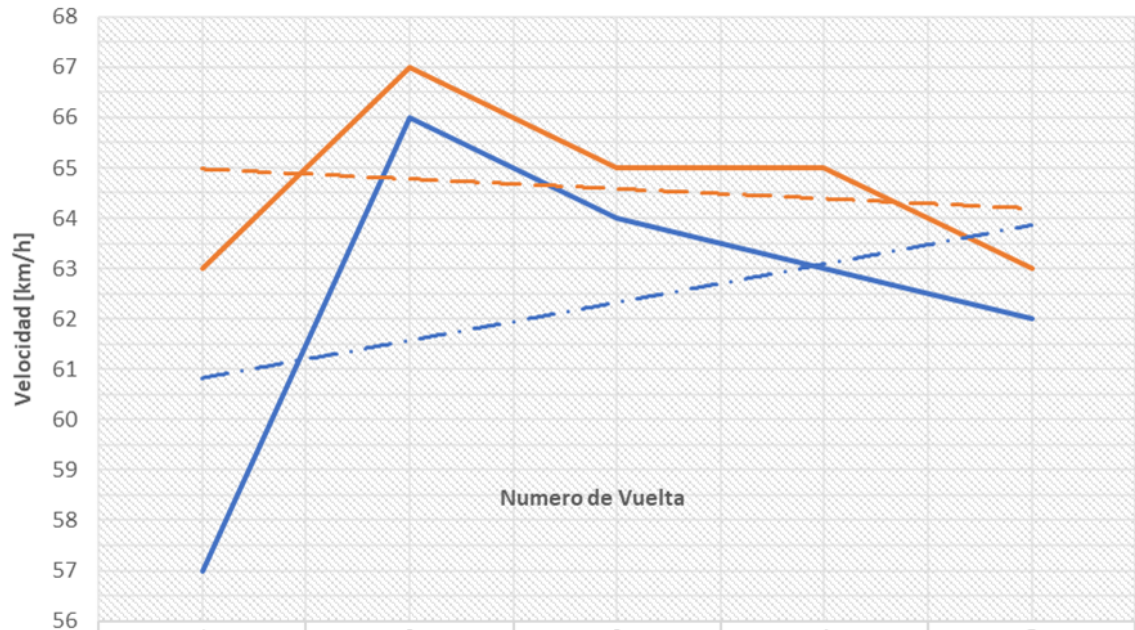
M/V: Mejor Vuelta





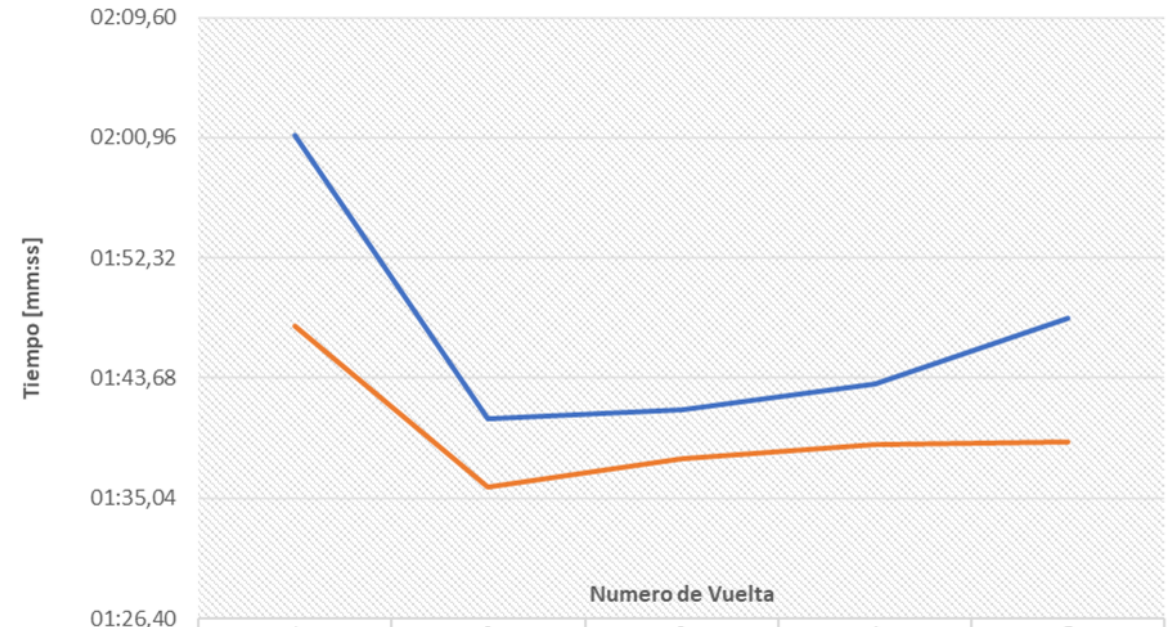
## Pruebas de velocidad - Fase II

Comparacion de velocidades maximas por vuelta - Fase II



— Estandar	57	66	64	63	62
— Modificado	63	67	65	65	63

Comparacion de tiempos por vuelta - Fase II



— Estandar	02:01,13	01:40,72	01:41,39	01:43,30	01:47,97
— Modificado	01:47,47	01:35,87	01:37,91	01:38,92	01:39,07



Numero Vuelta	Condiciones estándar			Condiciones Modificadas		
	Velocidad max [m/s]	Tiempo [s]	Observación -	Velocidad max [km/h]	Tiempo [s]	Observación -
1	57	01:56.79	N/A	63	01:47.47	N/A
2	66	01:39.33	M/V	68	01:35.87	M/V
3	65	01:40.20	N/A	65	01:37.91	N/A
4	62	-	R	66	01:38.92	N/A
5	62	01:46.34	N/A	65	01:39.07	N/A
6	63	01:44.77	N/A	65	01:39.37	N/A
7	64	01:42.24	N/A	64	01:39.22	N/A
8	63	01:54.03	N/A	67	01:41.45	N/A
9	60	-	R	67	01:41.16	N/A
10	0	-	IN	67	01:46.12	N/A

## Pruebas de velocidad - Fase III

N/A: Ninguna

R: Recalentamiento

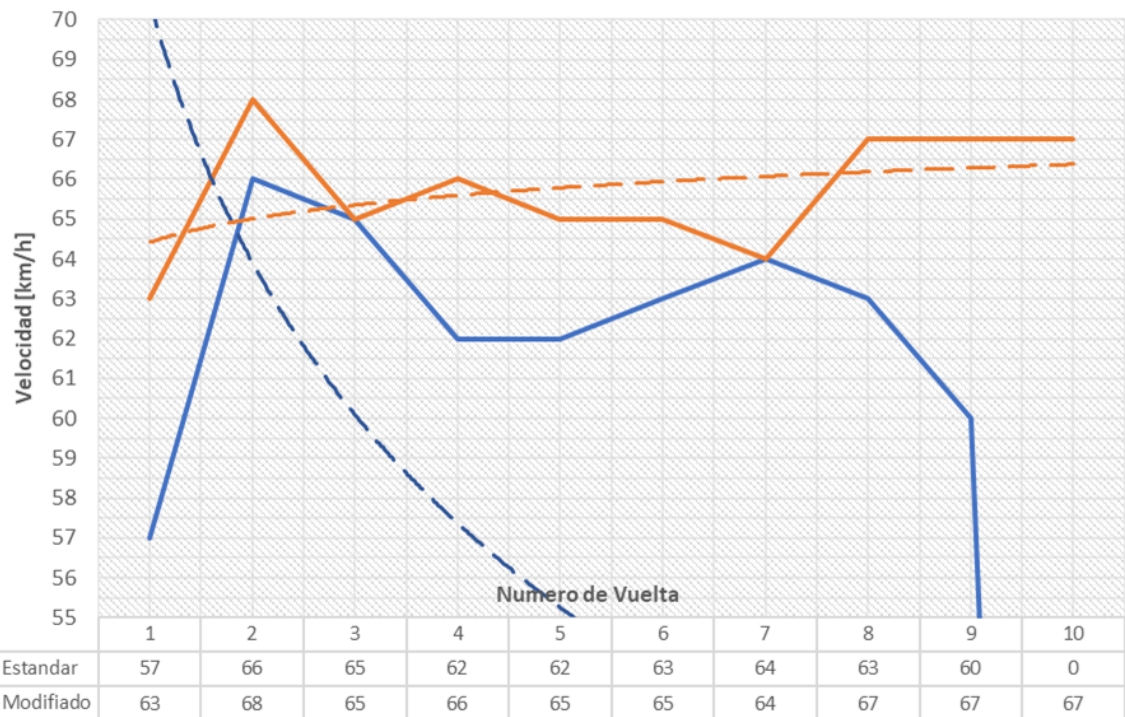
IN: Inconclusa

M/V: Mejor vuelta

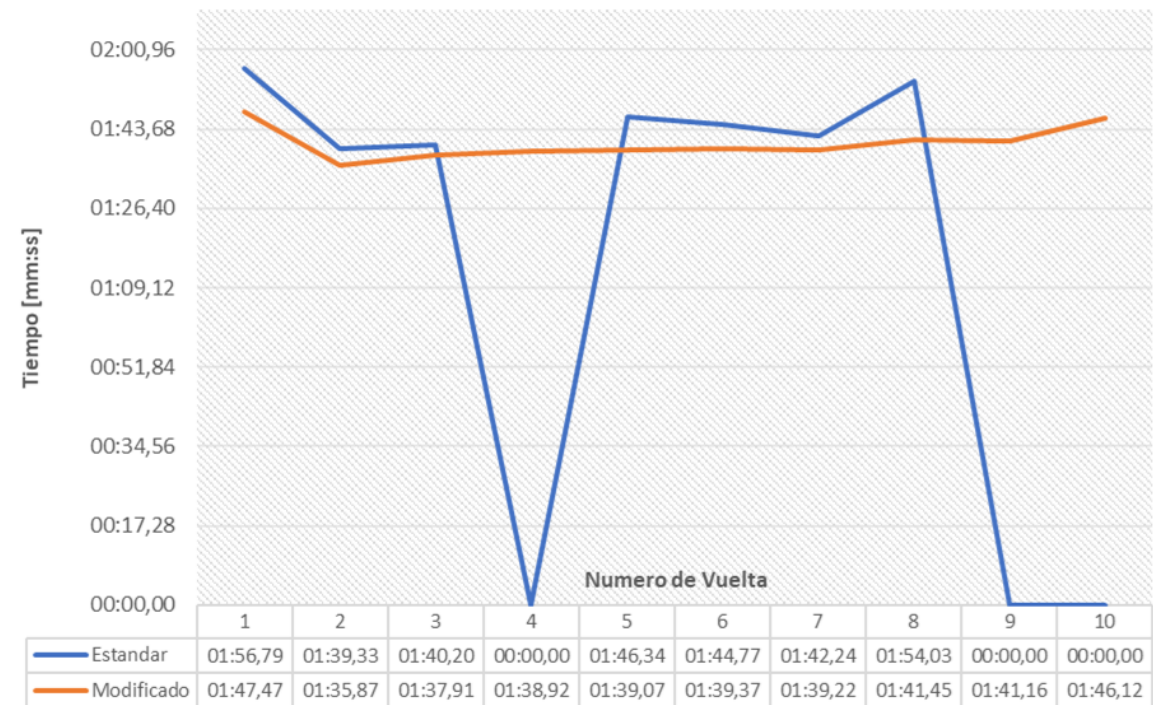


## Pruebas de velocidad - Fase III

Comparacion de velocidades maximas por vuelta - Fase III

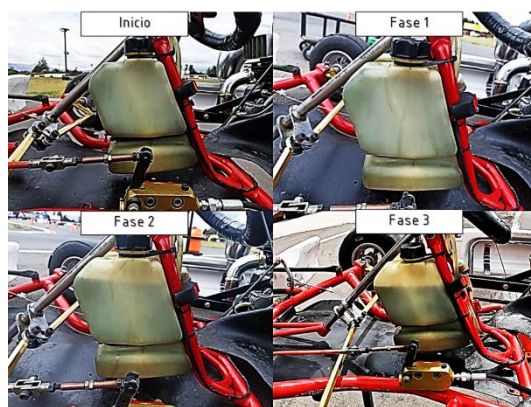


Comparacion de tiempos por vuelta - Fase III



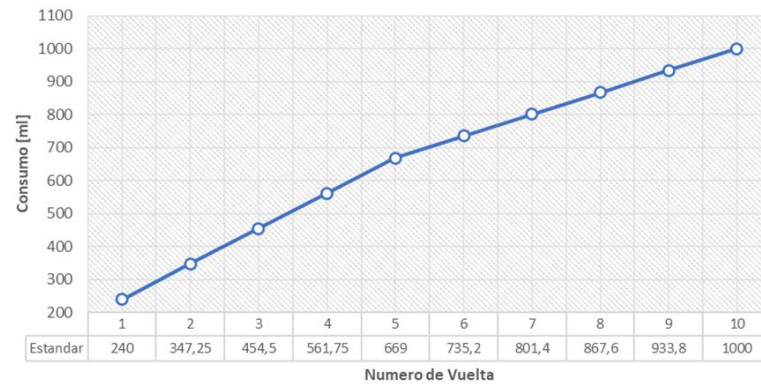
## Consumo

Fase de prueba	Consumo condiciones	Consumo condiciones
	estándar	modificadas
1	240 ml	245 ml
2	669 ml	660 ml
3	1000 ml	750 ml

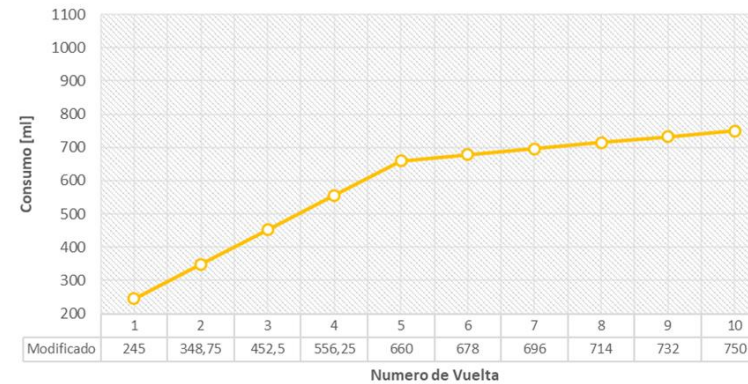


## Consumo

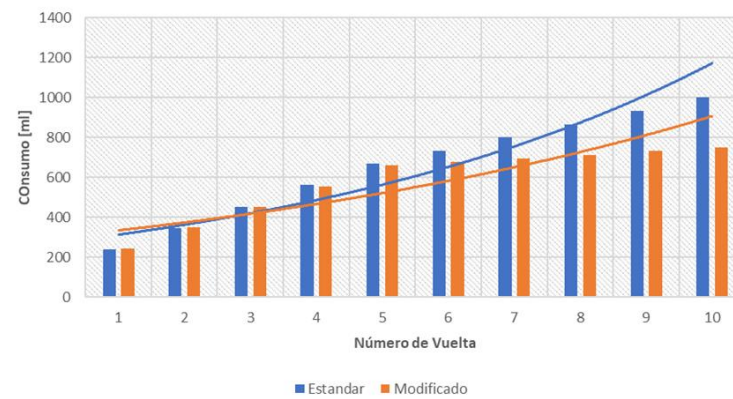
### Consumo condición estandar



### Consumo condición modificada



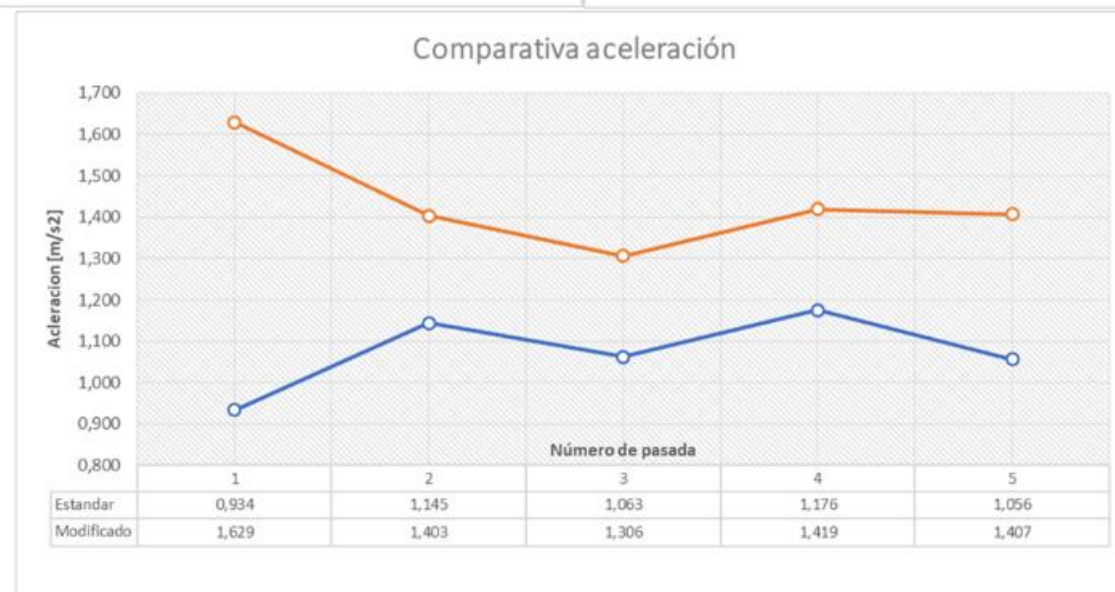
### Comparativa consumo



## Aceleración

Vuelta	Condición Estándar			Condición Modificada		
	Velocidad	Tiempo	Aceleración	Velocidad	Tiempo	Aceleración
N°	$m/s$	$s$	$m/s^2$	$m/s$	$s$	$m/s^2$
1	12,5	13,390	0,934	16,667	10,230	1,629
2	14,444	12,620	1,145	16,111	11,480	1,403
3	13,611	12,810	1,063	15,833	12,120	1,306
4	14,722	12,520	1,176	16,389	11,550	1,419
5	13,611	12,890	1,056	16,389	11,650	1,407
Promedio	13,778	12,846	1,074	16,278	11,406	1,433





**Aceleración**



# CONCLUSIONES

Se fundamentó teóricamente y científicamente mediante fuentes bibliográficas confiables la turbulencia y el proceso de combustión en los MEP determinando que la generación de efectos fluidodinámicos como el “Squish – Tumble” mejoran sus parámetros de funcionamiento, además se estableció la matemática aplicada del automóvil que aplicada en los parámetros básicos del motor de dos tiempos marca Suzuki modelo AX100 se determinó los parámetros de básicos y de funcionamiento.

Se dimensionó la geometría del motor de estudio determinando que la cámara de combustión tipo “Squish” debe contener un volumen de 14,158 cc.

Mediante los parámetros simétricos optimizados y las investigaciones previas sobre la aplicación de cámaras de tipo “Squish” en motores de encendido provocado utilizados para competencia se determinó que la relación de compresión ideal para el motor modificado debe ser de 8.5:1





Se obtuvieron los planos 2D y modelados 3D de los mecanismos involucrados en la renovación de carga y comprensión de la mezcla del motor de prueba en condiciones estándar y modificadas resolviendo que cinemáticamente en los dos casos no existe interferencias ni riesgo de impacto.

Se realizó la simulación dinámica de fluidos computacional (CFD) sobre la mezcla aire – combustible en el motor de estudio determinando que la cámara de combustión “Squish” cambia radicalmente los niveles de turbulencia generados, en el borde del cilindro se puede observar que con este tipo de cámara se obtiene una energía turbulenta entre (5113,035 a 8935,840) J/kg mientras que en el motor estándar la culata hemisférica no genera turbulencia uniforme al contorno del cilindro y en su mayor cantidad está por debajo de los 1853,257 J/kg lo cual indica un aumento de la turbulencia del 175%.



# CONCLUSIONES

Se realizó un mantenimiento cero horas al motor regresando sus condiciones a un estado de fábrica, optimizando su vida útil al 100 % para la ejecución de las pruebas dinámicas y de campo en pista.

Se realizaron mantenimientos preventivos y correctivos en los sistemas automotrices auxiliares del prototipo de go kart optimizando al 100% su funcionalidad previniendo fallas que alteren la buena ejecución de las pruebas estacionarias y en pista.

Se estableció un proceso de maquinado CNC para la manufactura de un culatín en forma de inserto en la culata estándar con cámara de combustión de tipo "Squish" bajo las cotas dimensionales obtenidas de los planos 2D y el modelado 3D.



# CONCLUSIONES

Se matematizó los parámetros característicos del motor de dos tiempos Suzuki AX100 para una altura de 2850 msnm obteniendo que en las condiciones estándar la potencia efectiva calculada es de 6,009 HP y para las condiciones modificadas con cámara de combustión tipo “Squish” la potencia efectiva calculada es de 8,541 HP, determinando un aumento de las capacidades del motor modificado teóricamente en un 42,137%.

Se determinó mediante la ejecución de pruebas dinamométricas que la utilización de una cámara de combustión tipo “Squish” aumenta el torque y potencia en 53,57% y 45,57% correspondientemente en comparación a la cámara de combustión estándar de tipo hemisférica sobre el motor de estudio mejorando las prestaciones del prototipo de go kart.



Se establecieron los protocolos respectivos para verificar el funcionamiento del prototipo y sus sistemas antes y después de entrar a pista. También se crearon los protocolos para la ejecución de pruebas de velocidad, aceleración y consumo considerando el kartódromo de Cotopaxi como lugar para su ejecución donde el prototipo con motor modificado supero al motor estándar alcanzando una velocidad máxima de 68 km/h con un consumo en la fase 3 de 750 ml y una aceleración promedio de  $1,704 \text{ m/s}^2$ .



Se comparo los resultados obtenidos de cada prueba donde se observó una gran mejora del desempeño del prototipo sobre todo en la fase 3 de la prueba de velocidad y consumo donde el motor estándar no completo las 10 vueltas establecidas debido a problemas de temperatura excesiva a comparación del motor con cámara de combustión tipo “Squish” que no presento ningún inconveniente debido a que el proceso de combustión aumenta la rapidez de propagación de la llama liberando menos energía calórica a las paredes metálicas aumentando el desempeño del prototipo a elevados regímenes de giro.



# RECOMENDACIONES

Complementar el estudio sobre los parámetros de rendimiento del prototipo variando parámetros del sistema de encendido como el avance, grado térmico y calibración de la bujía, uso e implementación de bobina y cables de alta tensión orientadas a la competición, así también analizar la carburación variando parámetros de ajuste de relación estequiométrica modificando los calibres de los chicleros utilizados, e implementando un sistema de depuración y admisión de aire optimizado.

Se sugiere analizar las vibraciones del motor mediante un vibro metro digital para mediante la variación del número de octano del combustible y la utilización de aditivos determinar el combustible o la proporción adecuada de combustible que al ser usada evite el aparecimiento de combustión anormal generando efectos como la detonación.



# RECOMENDACIONES

Implementar un sistema de adquisición de datos como el Mychron 5s 2T para go karts que permita con mayor precisión verificar el comportamiento del motor con respecto al desempeño en pista del prototipo.

Se sugiere estudiar el uso de distintos tipos de relación de transmisión en el prototipo de go kart obteniendo así la configuración ideal que no ponga en riesgo la vida útil del motor así también como mejorar las prestaciones del monoplaza con respecto a velocidad y aceleración.

Se propone instalar un sistema de frenos ideal para go kart con caja de cambios que permita el reglaje de la frenada optimizando la potencia de frenado con respecto a la potencia del motor.



# RECOMENDACIONES

Se recomienda luego de cada competencia o uso del prototipo realizar los protocolos de verificación además de comprobar que el ajuste del aplastamiento se encuentre en el rango de 0,9 a 1,1 mm.

En el desarrollo de las distintas pruebas es importante la utilización de equipos de medición que tengan una precisión elevada para la mezcla y repostaje del combustible con aceite.

Es necesario establecer un protocolo y bitácoras para el registro de horas de funcionamiento del prototipo y la programación de mantenimientos según el sistema conservando los parámetros de rendimiento del monoplaza.





Conociendo que el sistema de escape en los motores de dos tiempos incide drásticamente en el desarrollo de torque y potencia se propone el diseño y construcción de un nuevo sistema basado en estándares según la APAK para prototipos de kart con motor Suzuki AX100 tomando en cuenta los nuevos parámetros geométricos del motor de estudio.





“La verdadera felicidad radica en la finalización del trabajo usando tu propio cerebro y habilidades”

*Soichiro Honda (1906 - 1991)  
Fundador Honda Motors*



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