

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE  
SEDE LATACUNGA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DINÁMICO DE UNA BIELA PARA EL MOTOR DE  
MOTOCICLETA SHINERAY XY 150cc DISEÑADA Y MANUFACTURADA POR MEDIO DE  
MÁQUINAS CNC**

**AUTORES:** Cerón Fuentes, Priscila Liseth  
Hinojosa Inapanta, Bryan Armando

**DIRECTOR:** Ing. Mena Palacios, Jorge Stalin





# Objetivo general

Analizar el desempeño dinámico de una biela para el motor de motocicleta Shineray XY 150cc diseñada y manufacturada por medio de máquinas CNC.





# Objetivos específicos

- Seleccionar el material adecuado para la manufactura de la biela.
- Realizar la caracterización física, química y mecánica del material seleccionado para la manufactura de la biela.
- Modelar la biela con ayuda de un software CAD.
- Simular el comportamiento estático y dinámico con un software CAE e identificar esfuerzos.
- Manufacturar una biela por medio de máquinas CNC con asistencia de un programa CAM.





# Objetivos específicos

- Incorporar el tratamiento térmico necesario a la biela para mejorar sus propiedades dinámicas.
- Efectuar pruebas dinamométricas al motor con la biela estándar y manufacturada.
- Realizar un análisis comparativo del desempeño dinámico de las bielas al ser sometidas a carga.
- Evaluar la viabilidad del proyecto considerando la selección del material, diseño, modelado, manufactura y desempeño.



# Motocicleta Shineray XY de 150 cc

## FICHA TÉCNICA

<b>Tipo:</b>	Mono cilíndrico, 4T, 2 Válvulas, OHC, Refrigeración por aire
<b>Categoría:</b>	150cc
<b>De embrague:</b>	Multi-Discos Bañados a Aceite
<b>Potencia:</b>	Carburador
<b>Intercambio:</b>	5 Velocidades
<b>Sistema de arranque:</b>	Eléctrico / Pedal
<b>Suspensión Delantera:</b>	Tuerca Telescópica
<b>Suspensión trasera:</b>	Doble amortiguación
<b>Freno Delantero/ Posterior</b>	Disco / Tambor
<b>Tanque de combustible:</b>	15 litros con reserva
<b>Consumo Medio:</b>	25 a 30 Km / litro
<b>Peso seco:</b>	110kg



# Cálculo de esfuerzos en la biela.

## Medición de la cámara de combustión

Volumen de la cámara = **19.7 cc**



## Medición del diámetro del pistón

Diámetro del pistón = **62mm – 6,2 cm**



## Medición de la carrera del pistón

Carrera del pistón = **49,5 mm – 4.95 cm**





# Presión en el ciclo de admisión

$$P_a = P_o - (\beta^2 + \xi) \frac{w_{ad}^2}{2} \rho_o \cdot 10^{-6}$$

$P_a$  = Presión de admisión (MPa)

$P_o$  = Presión inicial (Pa)

$\beta$  = Coeficiente de amortiguación de la velocidad de la sección examinada del cilindro (adimensional)

$\xi$  = Coeficiente de resistencia del sistema de admisión referida a su sección más estrecha (adimensional)

$w_{ad}$  = La velocidad del aire en la entrada del sistema de admisión (m/s)

$\rho_o$  = Densidad de la carga de Admisión ( $kg/m^3$ )

$P_o = 1016hPa \rightarrow (101600Pa)$  correspondiendo el peso del aire sobre unidad de superficie a nivel del mar

$$P_a = \left[ 101600 \frac{kg \frac{m}{s^2}}{m^2} \right] - (1.86) \frac{\left[ 16 \frac{m}{s} \right]^2}{2} \left[ 1.20 \frac{kg}{m^3} \right] \cdot 10^{-6}$$

$$P_a = 0.10 MPa$$



# Fuerzas aplicadas en la biela

## Presión en el ciclo de explosión

Presión máxima de un motor de combustión interna ciclo Otto, con esta presión se analizara el comportamiento de la biela.

$$P_z = \mu_r \frac{T_z}{T_c} P_c$$

Donde:

$P_z$  = Presión en el ciclo de la explosión (MPa)

$\mu_r$  = Coeficiente real de variación molecular (adimensional)

$$\mu_r = \frac{\mu_o + Y_r}{1 + Y_r}$$

Donde:

$\mu_o$  = Es el coeficiente teórico de variación molecular

$\mu_o$  = 1.08 (adimensional)

$$\mu_r = \frac{1.08 + 0.04}{1 + 0.04}$$



$$\mu_r = 1.076 \text{ (Adimensional)}$$

$$P_z = 1.076 * \frac{2614.82 \text{ }^\circ\text{K}}{1054.66 \text{ }^\circ\text{K}} * 1.50 \text{ MPa}$$

$$P_z = 4.0015 \text{ MPa}$$



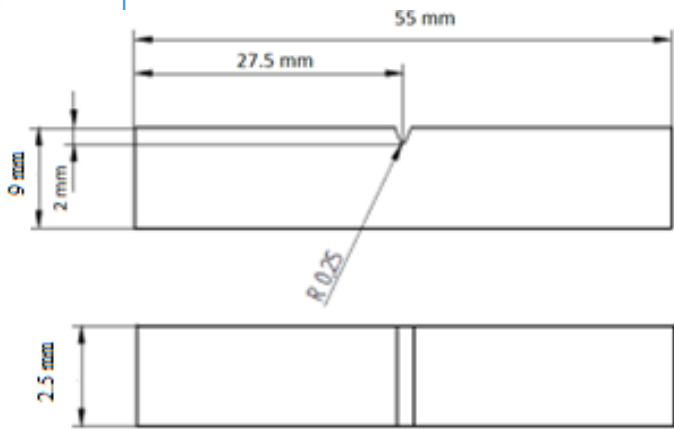


# Ensayos metalográficos en la biela de fábrica

## ENSAYO DE IMPACTO

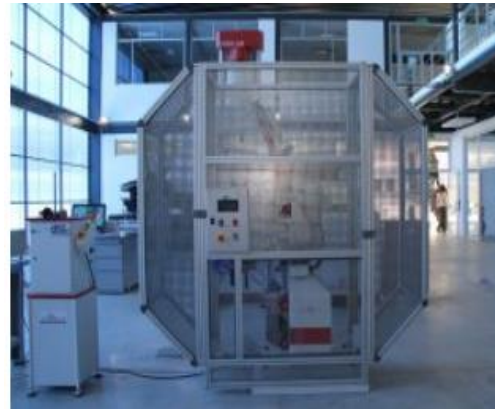
Preparación de las probetas

Norma ASTM E23



Desarrollo del ensayo

Máquina Charpy



Resultado del ensayo

Energía Absorbida  
**19.93 J**



## ENSAYO DE DUREZA

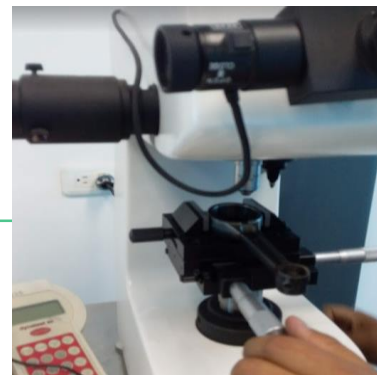
### Preparación de las probetas

Grano fino (250, 320),  
Grano extrafino (400,600)  
Grano ultra fino (1500)



### Desarrollo del ensayo

Durómetro digital  
**TECMICRO** modelo FM-800  
Vickers / Rockwell C



### Resultado del ensayo

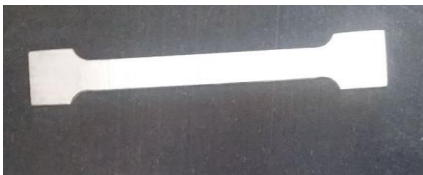
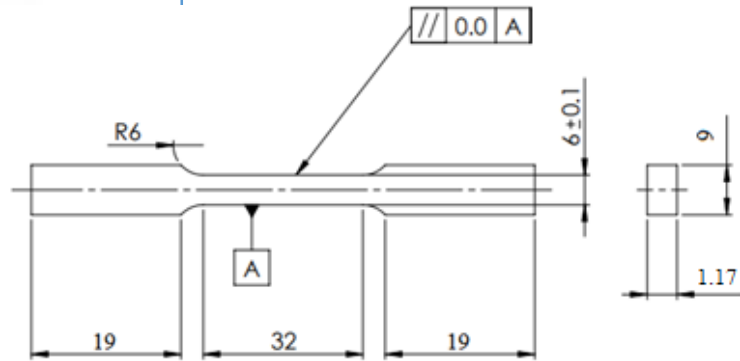
Dureza de 58 HRC



## ENSAYO DE TRACCIÓN.

### Preparación de las probetas

Norma ASTM E8



### Desarrollo del ensayo

Máquina para ensayos de tracción AMSLER MRM – 29I



### Resultado del ensayo

Elongación = **10%**

Reducción de área = **38.06%**

Esfuerzo a la fluencia

$$\sigma_T = 71.96 \text{ kg/mm}^2$$

Esfuerzo a la fractura

$$\sigma_f = 85.23 \text{ kg/mm}^2$$



## CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL.

### Preparación de las probetas

Método de prueba estándar para el análisis de los aceros de baja aleación por longitud de onda dispersa de rayos X espectrometría de fluorescencia

### Desarrollo del ensayo

Espectrómetro Olympus DPO2000-C Serie: 541828



### Resultado del ensayo

Res.-Alloy-Window Gu  
07/11/19 #4  
5.0 sec  
4130:N.C: 0.3

ELEMENT	C%	+/-
Fe	98.58	0.04
Cr	0.77	0.02
Mn	0.48	0.03
Mo	0.164	0.005



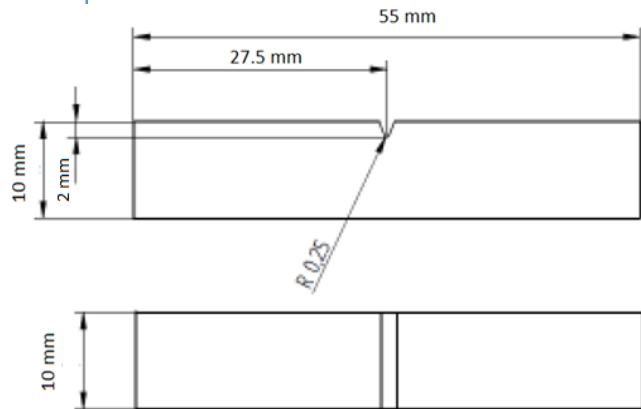


# Ensayos metalográficos en el material seleccionado

## ENSAYO DE IMPACTO

Preparación de las probetas

Norma ASTM E23



Desarrollo del ensayo

Máquina Charpy



Resultado del ensayo

Energía Absorbida  
**27 J**

Eje de acero  
**AISI 4140**



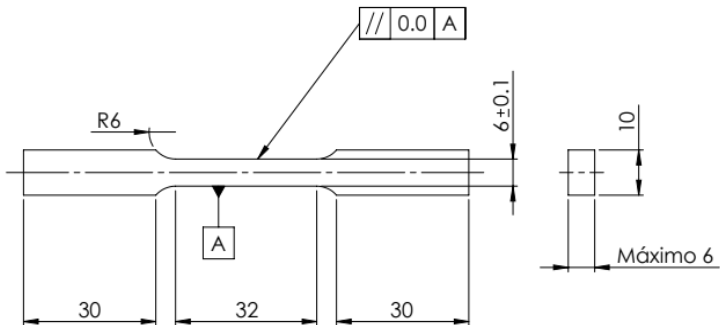
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Ensayos metalográficos en el material seleccionado

## ENSAYO DE TRACCIÓN.

### Preparación de las probetas

#### Norma ASTM E8



### Desarrollo del ensayo

Máquina para ensayos de tracción AMSLER MRM – 29I



### Resultado del ensayo

Elongación = **12%**

Reducción de área = **38.06%**

Esfuerzo a la fluencia

$$\sigma_f = 69.2 \text{ kg/mm}^2$$

Esfuerzo a la fractura

$$\sigma_T = 92.06 \text{ mm}^2$$

Eje de acero  
**AISI 4140**



## TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

### TEMPLADO

T° de austenización = **870°C**

Duración = **30 min.**



### REVENIDO

Preparar al horno a 200°C

Ingresar a la probeta al horno por 120 min.

Enfriar a temperatura ambiente.



Eje de acero  
**AISI 4140**



## ENSAYO DE DUREZA

### Preparación de la probeta

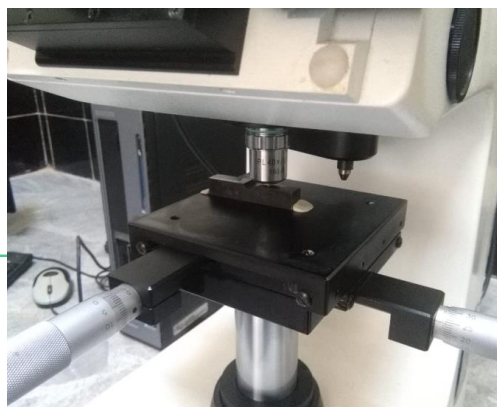
Grano fino (250, 320),  
Grano extrafino (400,600)  
Grano ultra fino (1500)



### Desarrollo del ensayo

Durómetro digital  
METKON modelo  
DUROLINE

Vickers / Rockwell C



### Resultado del ensayo

Dureza de **57 HRC**



Eje de acero  
**AISI 4140**





# Selección del material

Acero de la biela de fábrica

Acero disponible en el país.

ACERO AISI 4130

ACERO AISI 4140

## Características

\*Baja aleación y medio carbono

\*Alta templabilidad

\*Alta dureza y tenacidad

\* Baja aleación y medio carbono

\*Alta templabilidad

\* Alta dureza y tenacidad

## Aplicaciones

Bielas, cigüeñales, semi ejes para

Ejes, bielas, árboles de

## automotrices

remolques, rotulas,

transmisión, cigüeñales.

## Maquinabilidad

Mecanizado fácil métodos

convencionales

Mecanizado difícil si le eleva su

dureza

Mecanizado fácil métodos

convencionales

Mecanizado difícil si le

eleva su dureza

## COMPOSICIÓN QUÍMICA

Elemento	Acero de la biela de fábrica	Acero disponible en el país.
	ACERO AISI 4130	ACERO AISI 4140
% Hierro (Fe)	98.58	98.22
% Manganeso (Mn)	0.48	0.60
% Silicio (Si)	0.15	0.15
% Cromo (Cr)	0.77	0.90
% Molibdeno (Mo)	0.15	0.16
%Fósforo (P)	0.040	0.030
%Azufre (S)	0.035	0.040

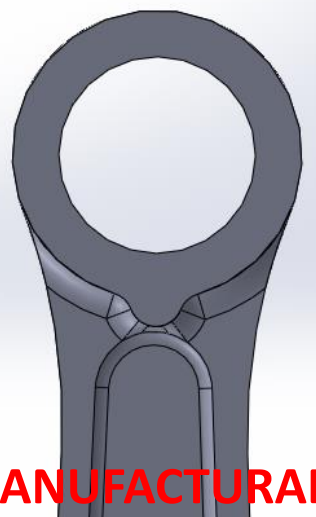
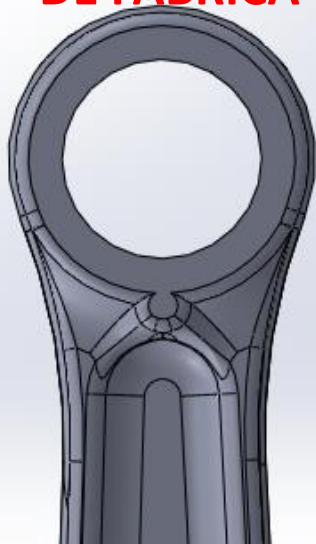
# Selección del material

## PROPIEDADES MECÁNICAS

Elemento	Acero de la biela de fábrica ACERO AISI 4130	Acero disponible en el país. ACERO AISI 4140
Resistencia a la tracción	85.24 $kg/mm^2$	94.91 $kg/mm^2$
Elongación	10%	12%
Reducción de área	34.31%	38.06%
Energía de absorción	19.9 J	27.46 J
Dureza	17HRC	28HRC
Dureza posterior al Tratamiento térmico	58 HRC	57 HRC

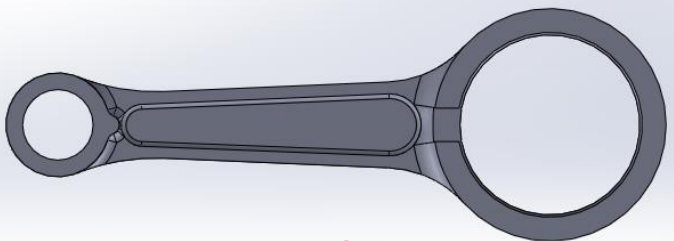
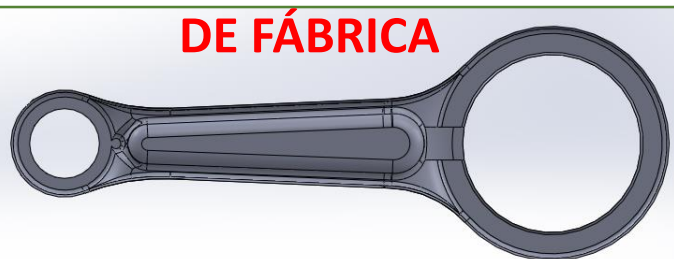
# Proceso de simulación CAE.

DE FÁBRICA



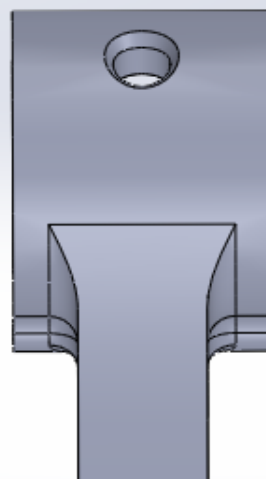
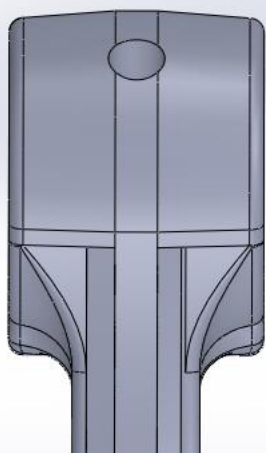
MANUFACTURADA

DE FÁBRICA



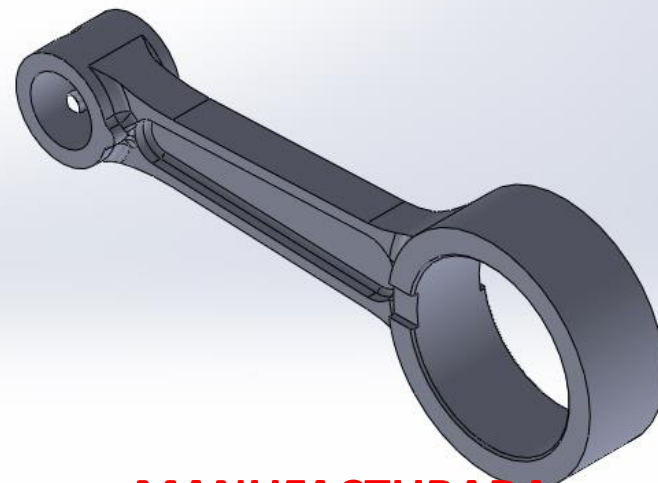
MANUFACTURADA

DE FÁBRICA



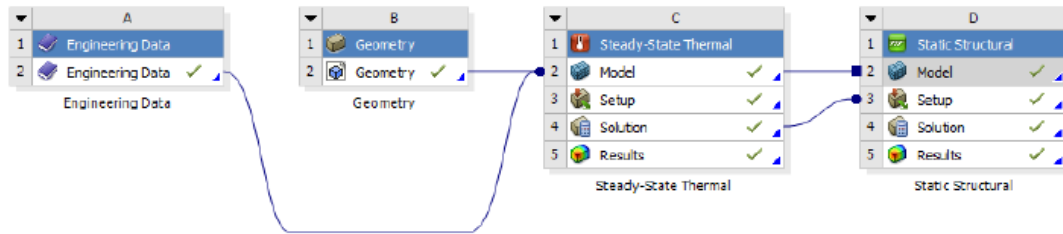
MANUFACTURADA

DE FÁBRICA



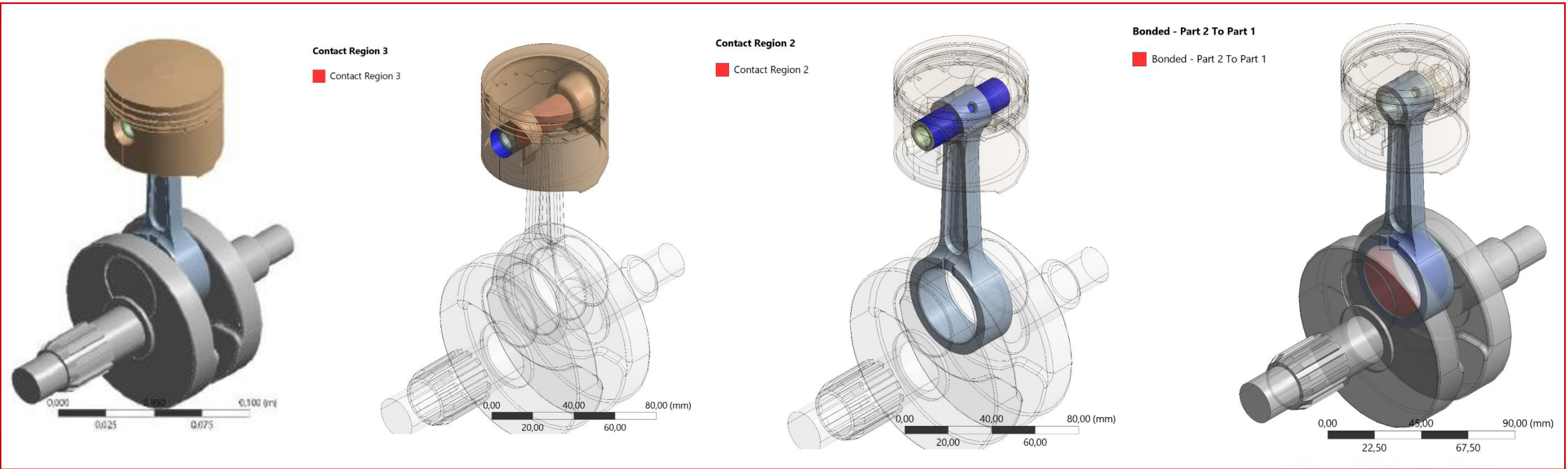
MANUFACTURADA

# Proceso de simulación CAE.

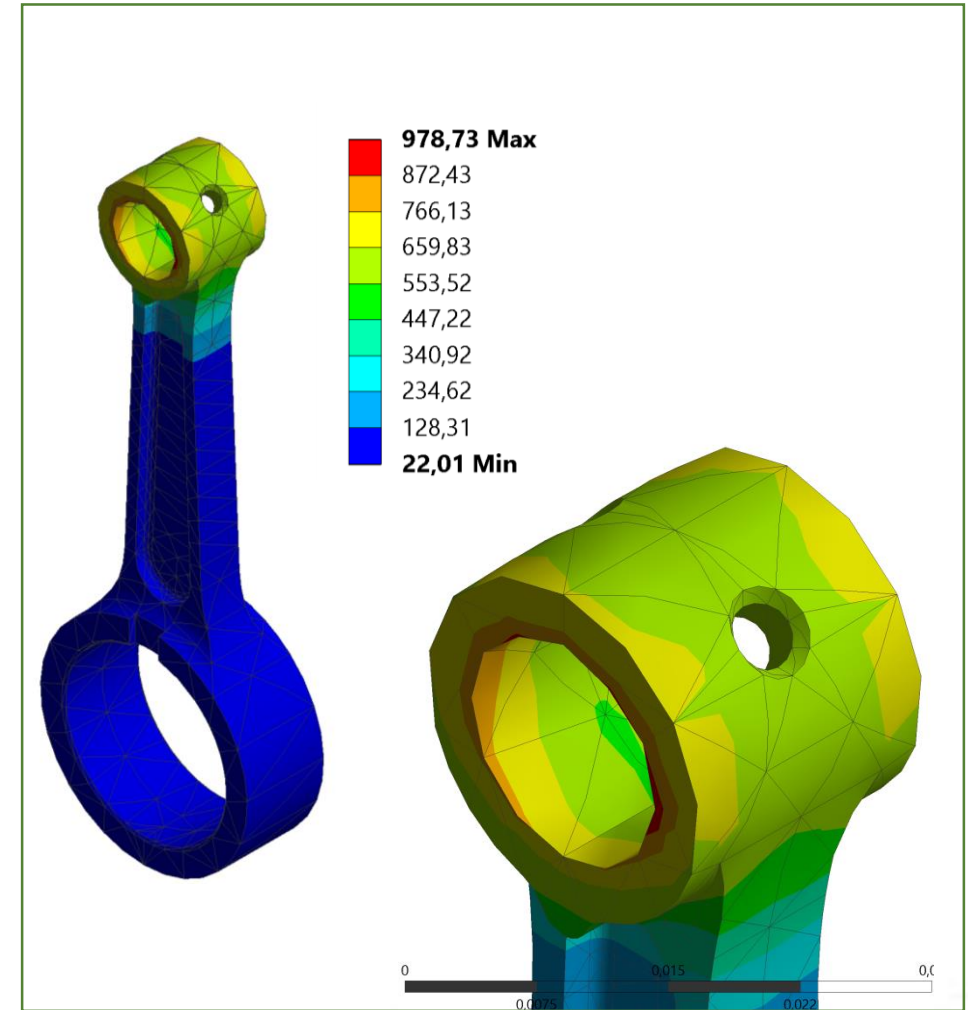
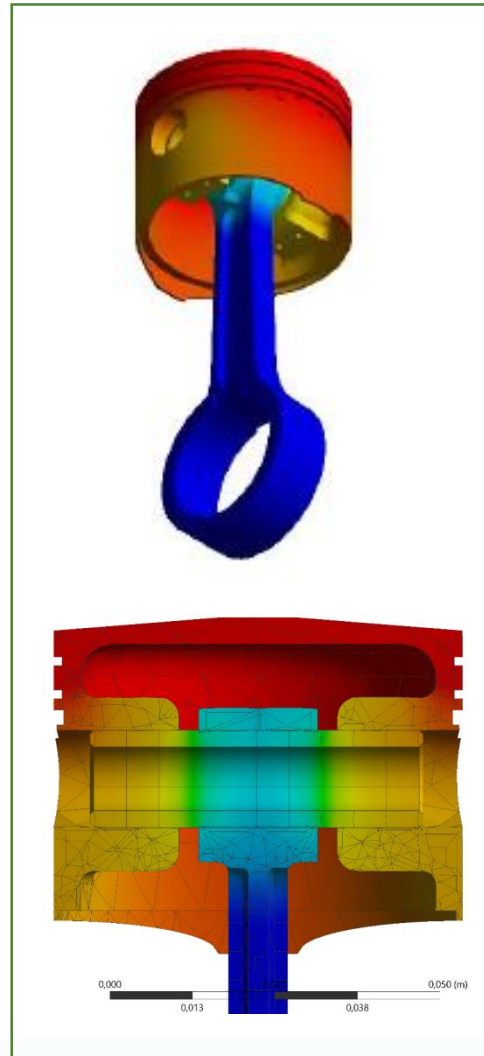


Outline of Schematic A2: Engineering Data

	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data		Source		Description
2	Material				
3	Acerol 4140				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
4	Aluminum Alloy				General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.
5	Structural Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
*	Click here to add a new material				

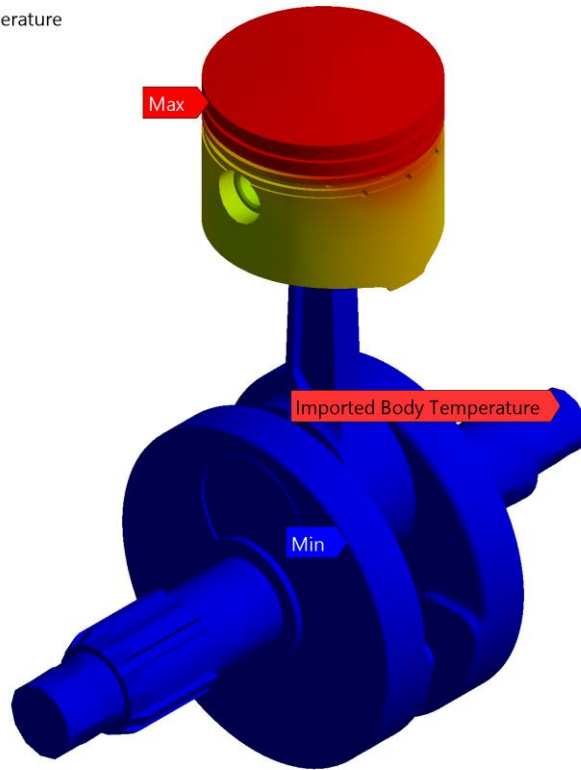
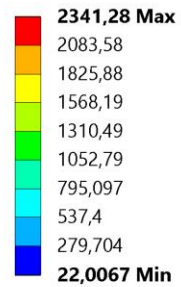


# Análisis Térmico

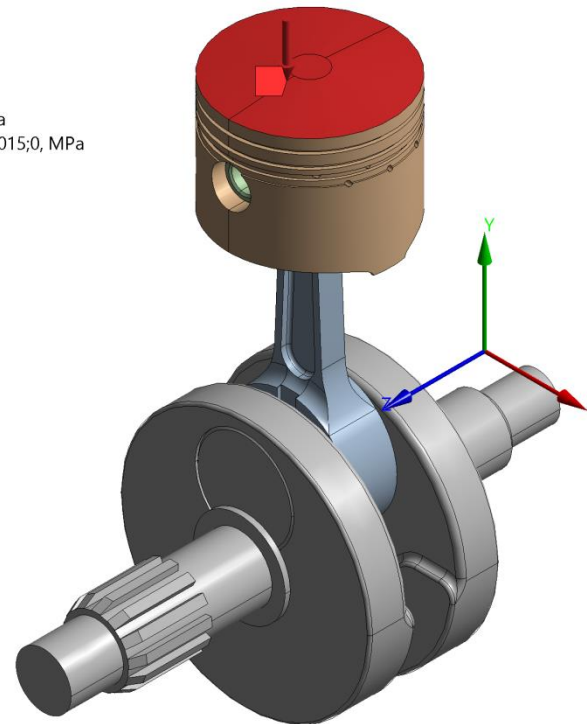


# Análisis Estático Estructural.

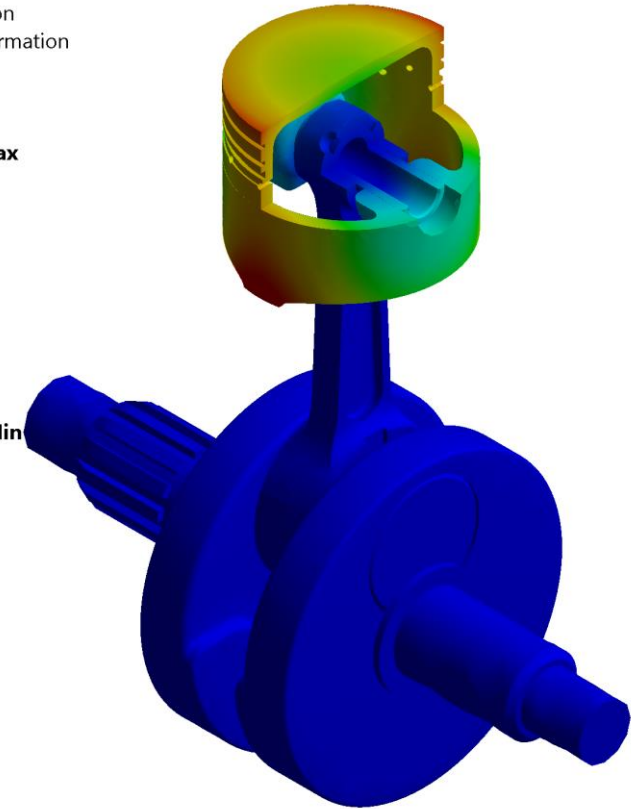
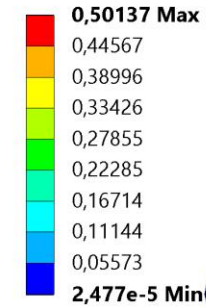
**D: Static Structural**  
 Imported Body Temperature  
 Time: 1, s  
 Unit: °C



**D: Static Structural**  
 Pressure  
 Time: 1, s  
 Pressure: 4,0015 MPa  
 Components: 0,-4,0015,0, MPa



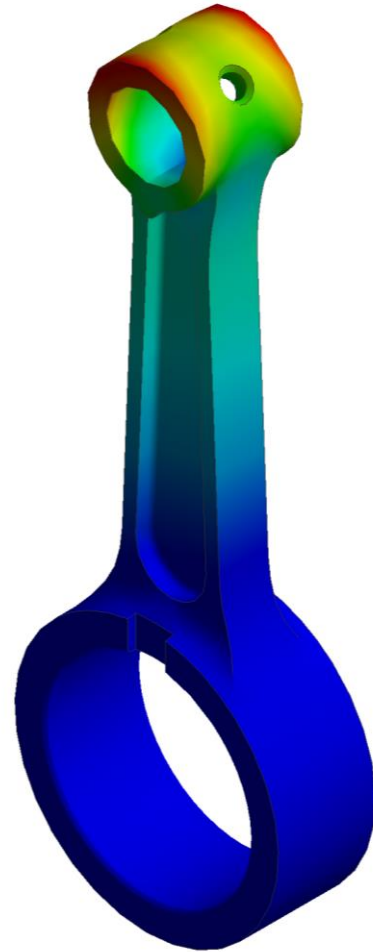
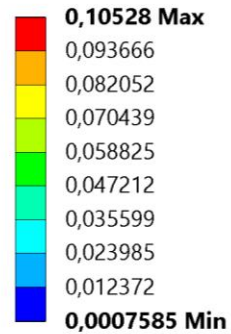
**D: Static Structural**  
 Total Deformation  
 Type: Total Deformation  
 Unit: mm  
 Time: 1



# Deformaciones.

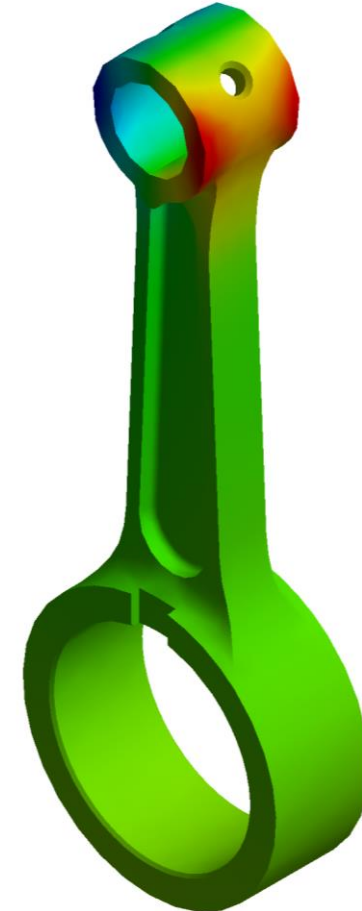
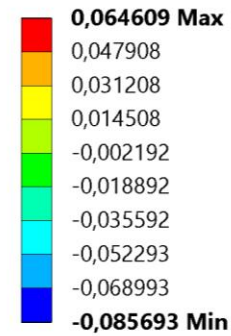
## Deformación en la biela

**D: Static Structural**  
 deformación biela  
 Type: Total Deformation  
 Unit: mm  
 Time: 1



## Deformación direccional en el eje X

**D: Static Structural**  
 Directional Deformation 2  
 Type: Directional Deformation(X Axis)  
 Unit: mm  
 Global Coordinate System  
 Time: 1



# Deformaciones.

## Deformación direccional en el eje Y

**D: Static Structural**

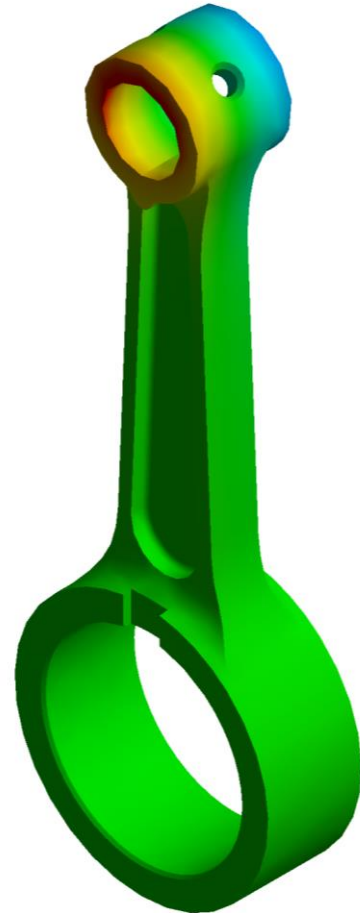
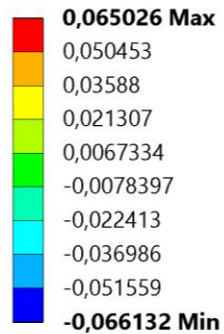
Directional Deformation 4

Type: Directional Deformation(Z Axis)

Unit: mm

Global Coordinate System

Time: 1



## Deformación direccional en el eje Z

**D: Static Structural**

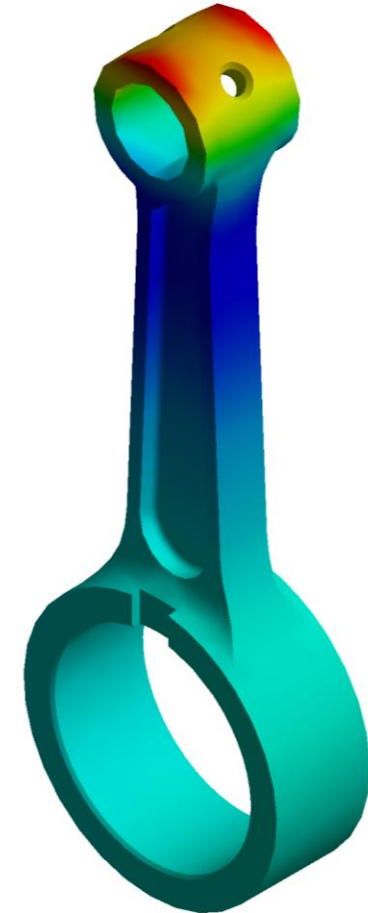
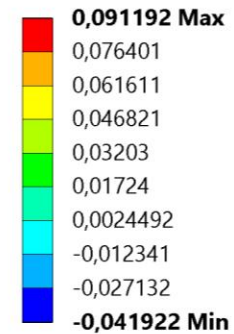
Directional Deformation 3

Type: Directional Deformation(Y Axis)

Unit: mm

Global Coordinate System

Time: 1



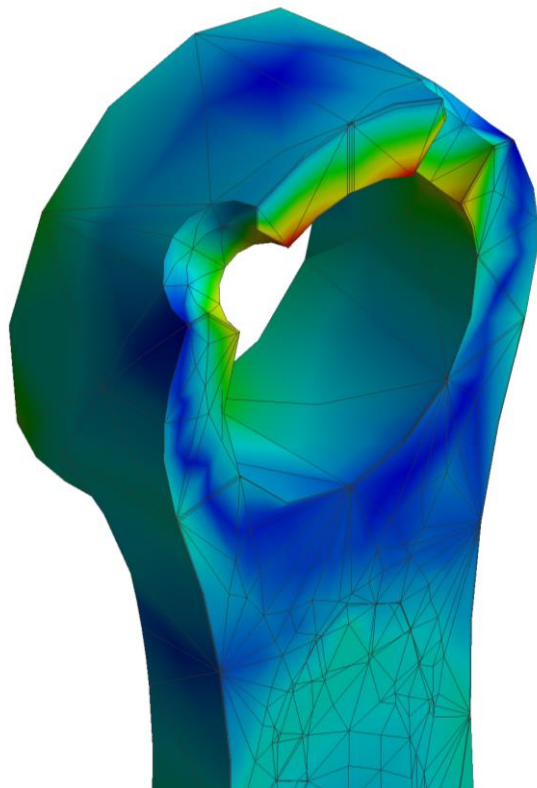


# Deformaciones.

## Esfuerzo equivalente (Von Mises)

**D: Static Structural**  
 Equivalent Stress  
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
 Unit: MPa  
 Time: 1

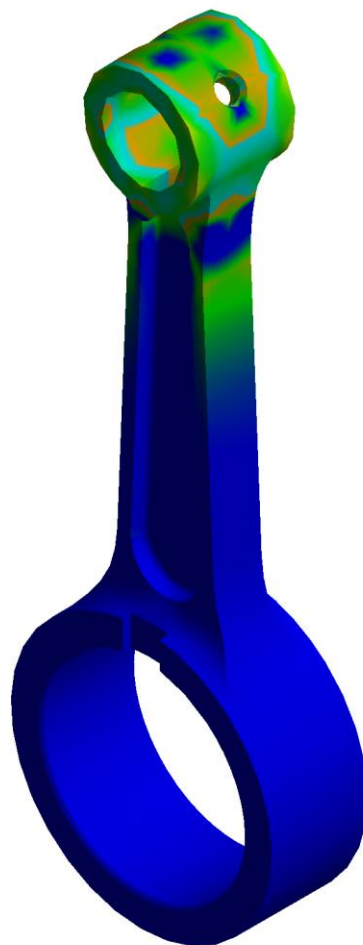
**575,8 Max**  
 511,83  
 447,86  
 383,89  
 319,92  
 255,94  
 191,97  
 128  
 64,031  
**0,05986 Min**



## Factor de seguridad

**D: Static Structural**  
 Safety Factor  
 Type: Safety Factor  
 Time: 1

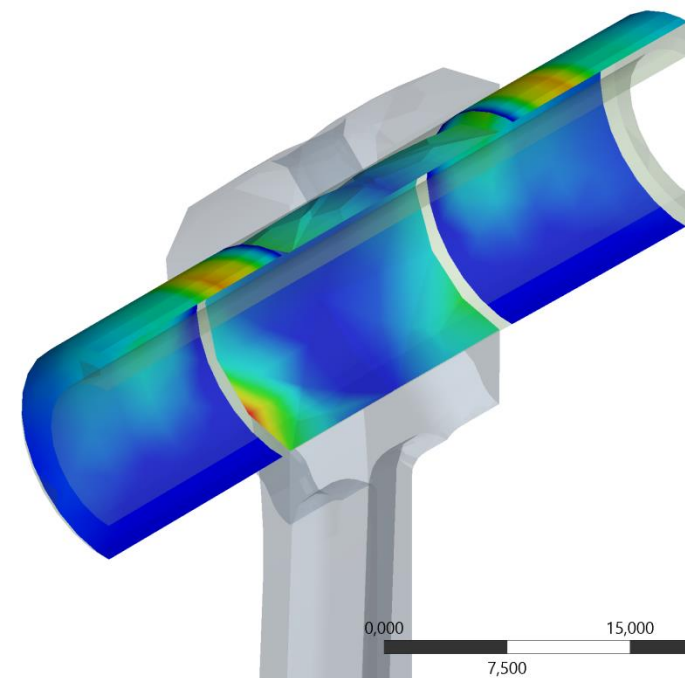
**15 Max**  
 10  
 5  
 4,5833  
 4,1667  
 3,75  
 3,3333  
 2,9167  
 2,5  
 2,0833  
 1,6667  
**1,1252 Min**  
 0,41667  
 0



## Esfuerzo de fricción.

**D: Static Structural**  
 Frictional Stress  
 Type: Frictional Stress  
 Unit: MPa  
 Time: 1

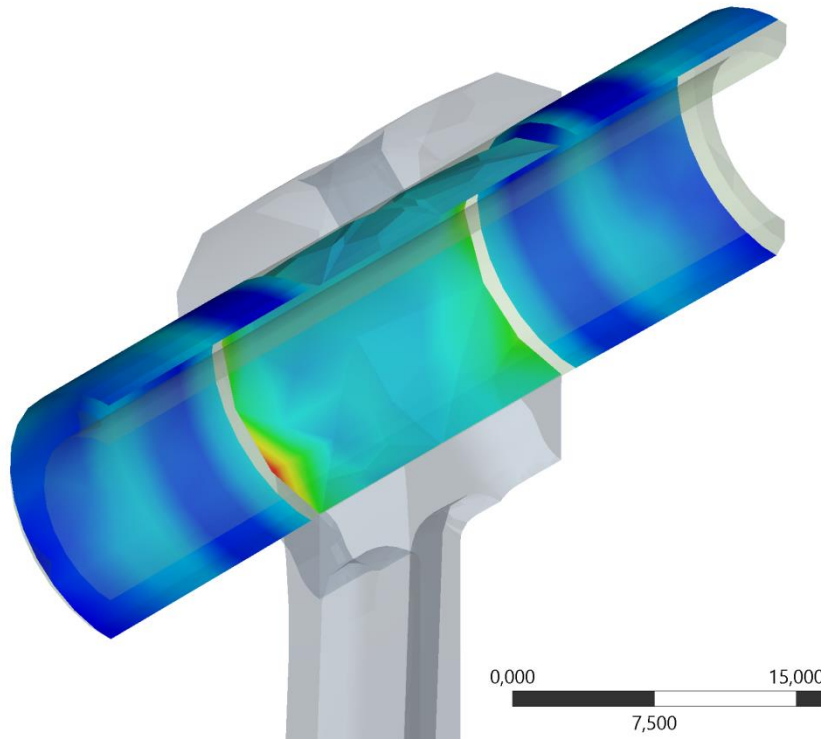
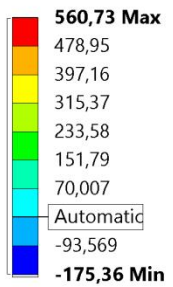
**297,71 Max**  
 276,45  
 255,18  
 233,92  
 212,65  
 191,39  
 170,12  
 148,86  
 127,59  
 106,33  
 85,061  
 63,796  
 42,53  
 21,265  
**0 Min**



# Deformaciones.

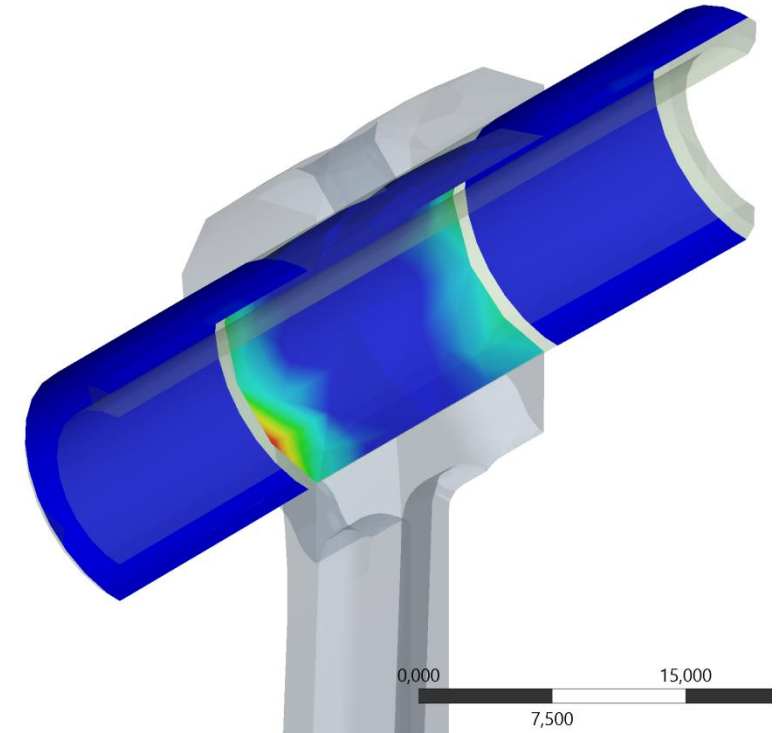
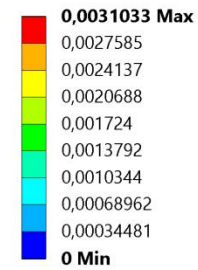
## Presión de contacto

**D: Static Structural**  
Pressure  
Type: Pressure  
Unit: MPa  
Time: 1



## Desgaste

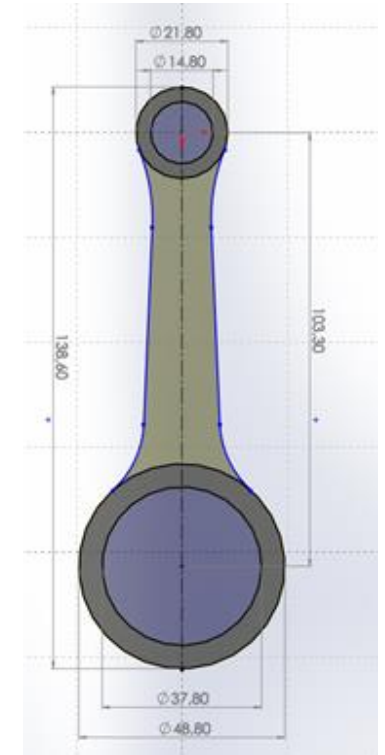
**D: Static Structural**  
Penetration  
Type: Penetration  
Unit: mm  
Time: 1



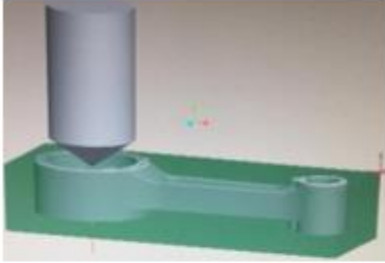

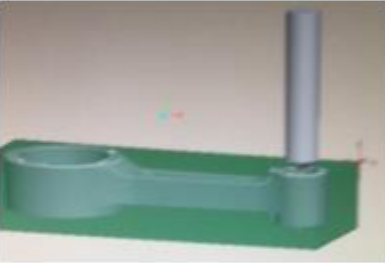

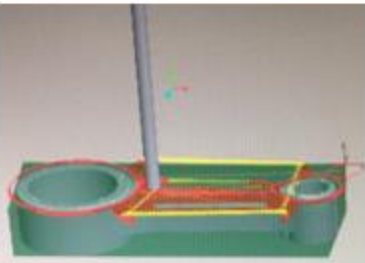

# Manufactura.

Máquina CNC de la marca **ANAYAC** modelo **Anak Matic**, y mediante un software CAM la máquina procesa las líneas de códigos generados

CARA SUPERIOR DEL EJE DE ACERO AISI 4130			
<p><b>Taladrado profundo</b> (Cabeza de Biela)</p>	<p>Diámetro mayor = 38 mm Vc = 250 mm/min</p>		
<p><b>Taladrado profundo</b> (Pie de Biela)</p>	<p>Diámetro mayor = 15 mm Vc = 500 mm/min</p>		
<p><b>Afinado exterior</b></p>	<p>Diámetro mayor = 39.9 mm Vc = 1000 mm/min</p>		



# Manufactura.

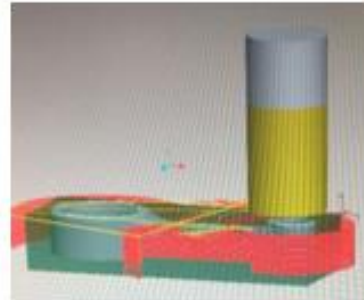
<b>Mandrilado</b> (Cabeza de biela)	Diámetro mayor = 38 mm $V_c = 250$ mm/min		
<b>Mandrilado</b> (Pie de biela)	Diámetro menor = 15 mm $V_c = 500$ mm/min		
<b>Afinado de los detalles de la biela</b>	Diámetro 8mm $V_c = 1000$ mm/min		

# Manufactura.

## CARA POSTERIOR DEL EJE DE ACERO AISI 4130

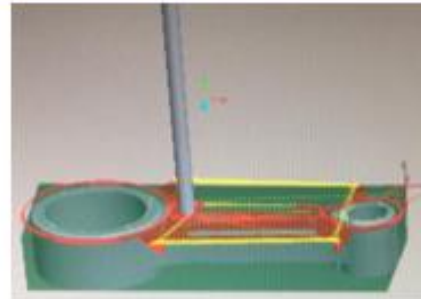
**Afinado exterior**

Diámetro mayor  
= 38 mm  
 $V_c = 250$   
mm/min



**Afinado de los detalles de la biela**

Diámetro = 8 mm  
 $V_c = 1000$   
mm/min



**Rectificado**

Mesa imantada  
Rodillo para superficies planas

Se rectifica para llegar al espesor requerido.



## TEMPLADO

Normalizar a **870°C**

Ingresar a la biela durante **30 min.**

Enfriar en aceite



## REVENIDO

Preparar al horno a **200°C**

Ingresar a la probeta al horno por **120 min.**

Enfriar a temperatura ambiente.



# Pruebas dinamométricas.



Dinamómetro marca  
Dyno-Max PRO



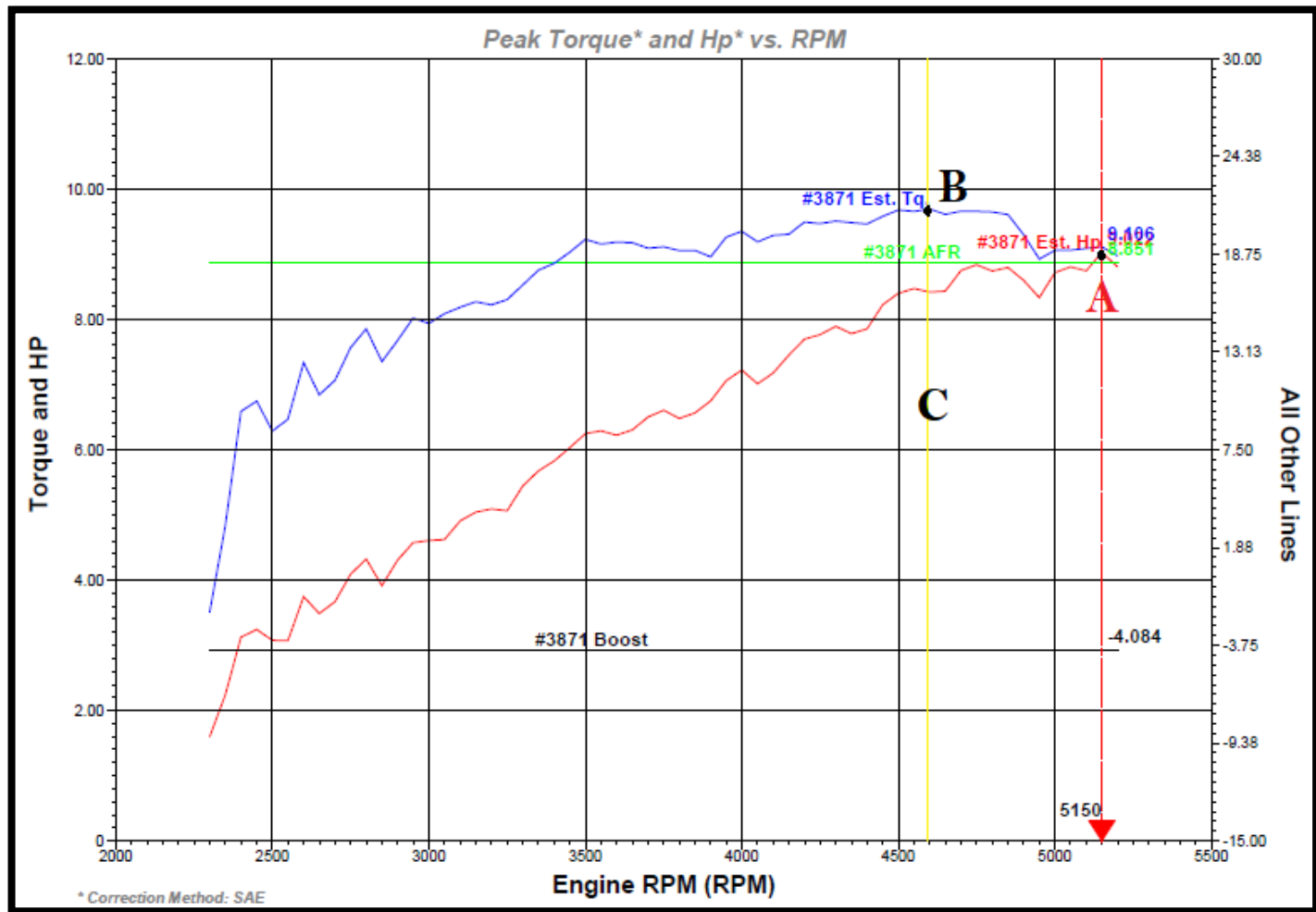
Comparación

Potencia generada en  
caballos de fuerza (HP)

Torque



# Pruebas de potencia y torque utilizando la biela de fábrica en la motocicleta Shineray XY 150cc



Curva de potencia de color rojo C

Curva de torque de color amarillo,

A: Potencia máxima de **9.106 HP @ 5150 rpm**

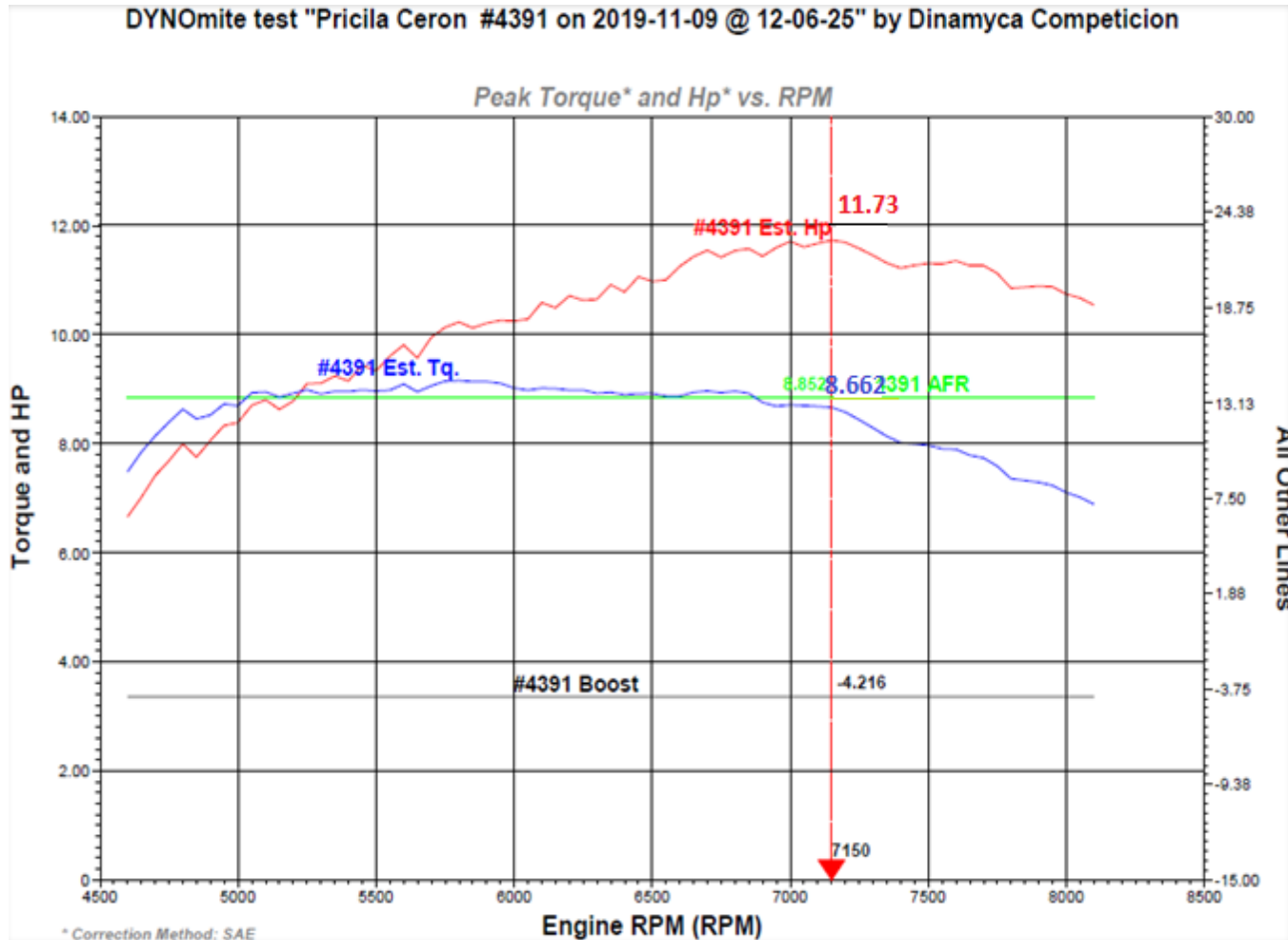
B: Torque máximo de **9.6 Lb.in @ 4600 rpm**







# Pruebas de potencia y torque utilizando la biela de manufacturada en la motocicleta Shineray XY 150cc



Curva de potencia de color rojo C

Curva de torque de color azul,

A: Potencia máxima de **11.73 HP @ 7150 rpm**

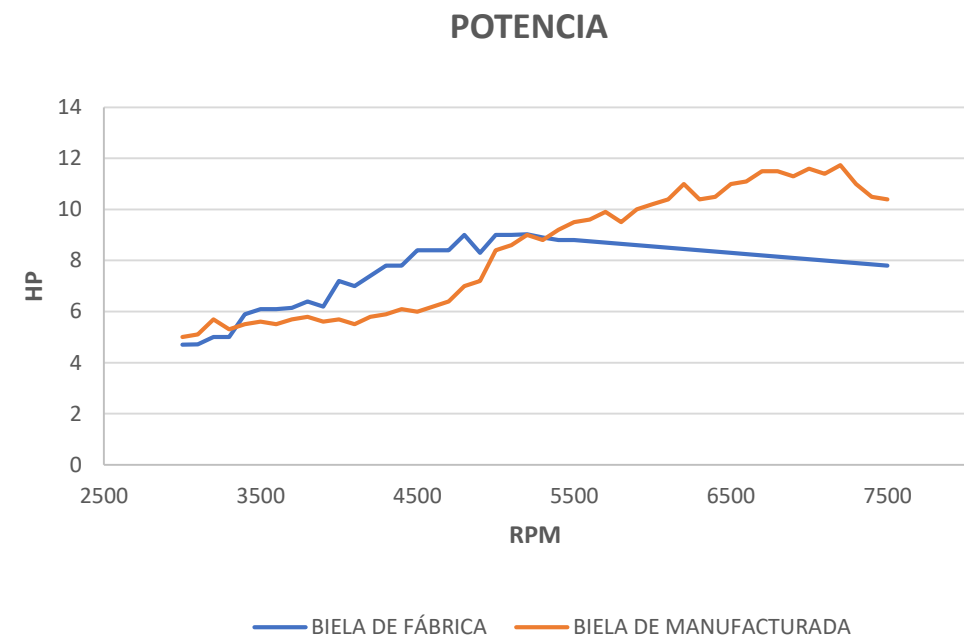
B: Torque máximo de **9.10 Lb.in @ 5600 rpm**



# Comparación de la Potencia.

Se observa una notable mejoría con la biela manufacturada en acero AISI 4140, ya que la potencia máxima obtenida con la biela de fábrica es de 9.022 HP @ 5150 rpm; mientras que con la biela manufacturada es de 11.73 HP @ 7150 rpm.

Incremento de 2.70 HP, que representa una mejora del 23.08 % con respecto a la biela de fábrica.





# Comparación del Torque.

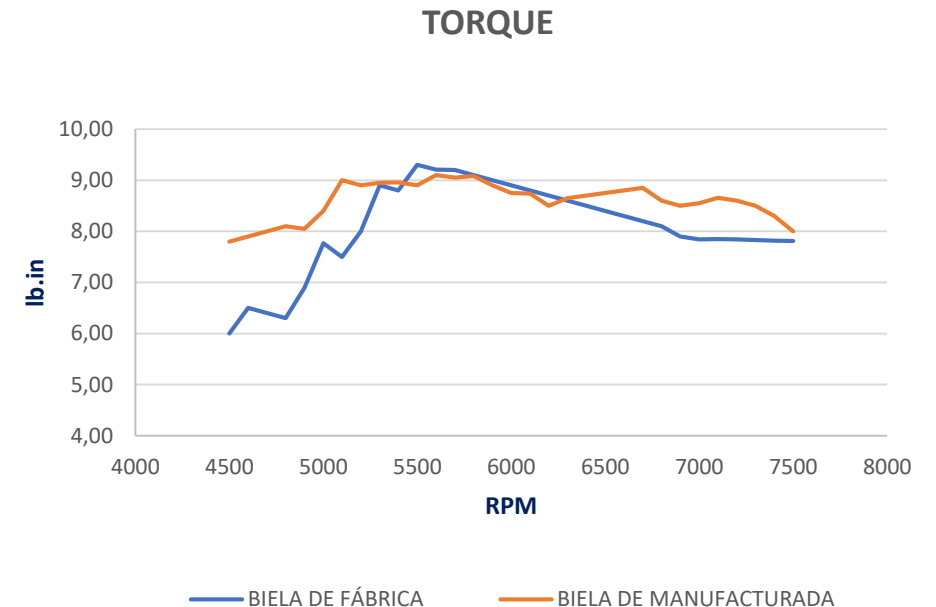
La biela de fábrica presenta un valor máximo de **9,21**

**Lb.in @ 4600 rpm;**

La biela manufacturada se obtuvo un torque máximo de

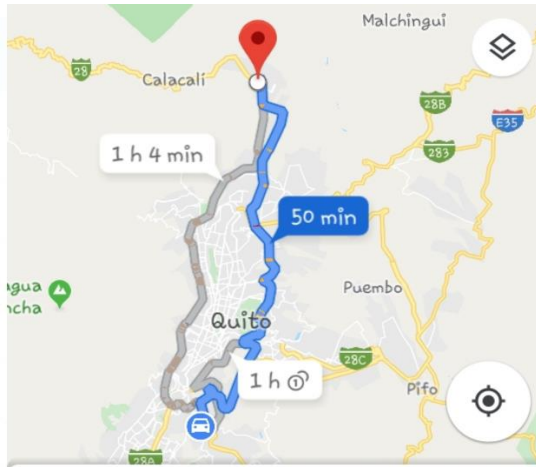
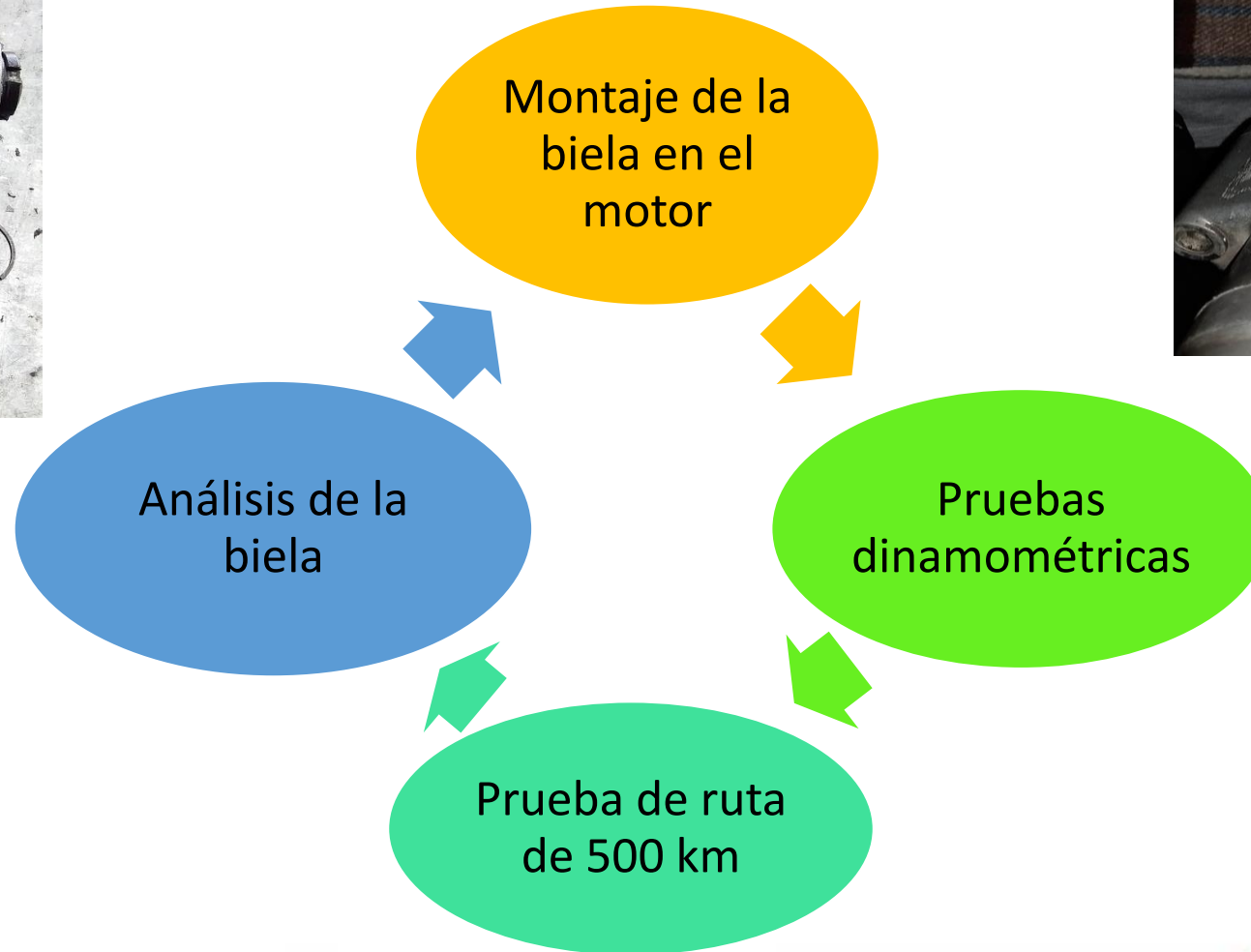
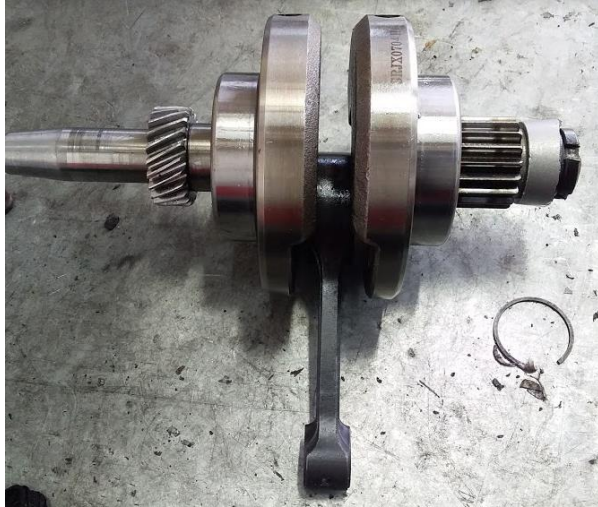
**9.10 Lb.in @ 5600 rpm.**

Se evidencia un descenso en torque de 0.11 Lb in, que representa una disminución del 1.19 % con respecto a la biela de fábrica.



# Viabilidad de la biela manufacturada en acero

## AISI 4140



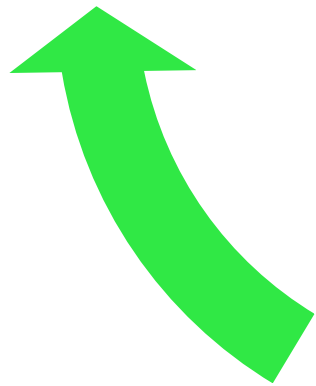
50 min (44 km) !

# Viabilidad de la biela manufacturada en acero AISI 4140

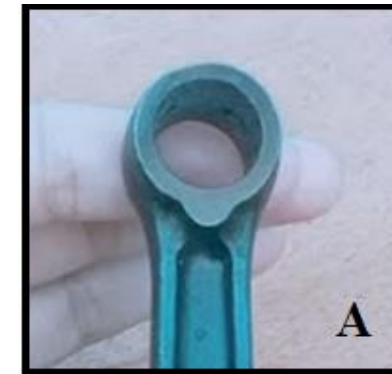
Soportes de la  
biela



Rodamiento del  
cigüeñal y Cabeza  
de biela



Bulón Y pie de  
Biela



# Viabilidad de la biela manufacturada en acero AISI 4140

Máquina diseñada para comprobar brazos de biela Marca Sunnen, mediante un calibrador de láminas se verifica que exista planitud en cada sección de la biela con una referencia de 0.02 mm de separación.





# Conclusiones

- Mediante el análisis por elementos finitos se determinó un factor de seguridad de 1.125, cuyo valor está dentro de los rangos mínimos, para que el elemento no presente deformaciones, debido a que el software no considera los factores de lubricación y enfriamiento que contribuyen al aumento del factor de seguridad.
- Se realizó la manufactura de la biela a partir de un eje de acero AISI 4140 en una máquina CNC, mediante la ejecución de los procesos de manufactura controlados por líneas de comando generados y simulado por el software CAM.
- El proyecto se realizó en base a la viabilidad tecnológica y de recursos existentes en nuestro país, ya que después de realizar los ensayos metalográficos se determinó que el acero AISI 4140 cumple con las características de la biela de fábrica elaborada en acero AISI 4130.





# Recomendaciones

- En la simulación por elementos finitos al momento de producir la malla se debe considerar hacerla lo más densa posible ya que así se obtendrán datos más cercanos a la realidad
- Para mecanizar la biela es necesario realizar una vista previa del proceso de construcción en el software para evitar algún error en el proceso real
- Para determinar el tratamiento térmico ideal se debe tomar en cuenta las propiedades del acero seleccionado y verificar en la ficha técnica los tratamientos adecuados según el objeto de estudio







# GRACIAS



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