

**TEMA:**

ANÁLISIS MECÁNICO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE  
TRANSMISIÓN DE POTENCIA DE UNA TRICIMOTO MARCA  
CUSHMAN MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS CAE

**Autores:**

Carrillo Vivanco, Ronny Alexander  
Melo Recalde, Cristian David

**Director:**

Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio

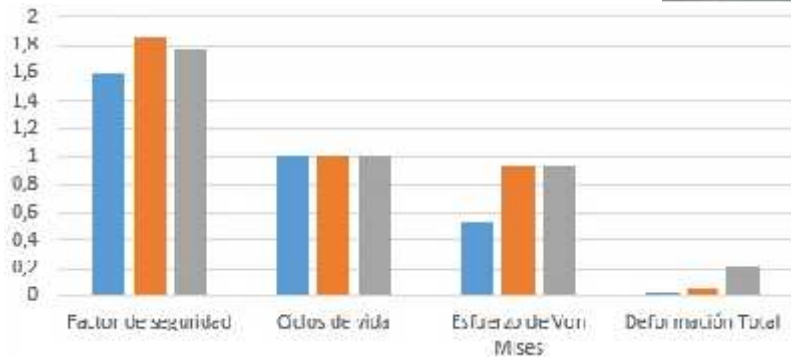
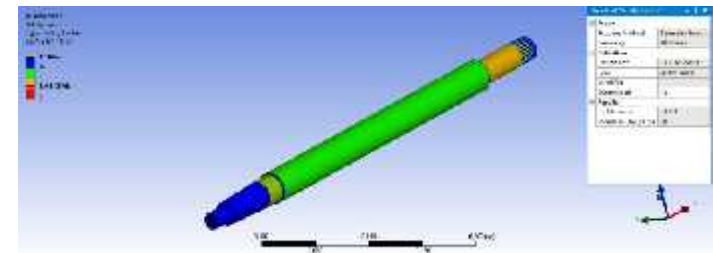
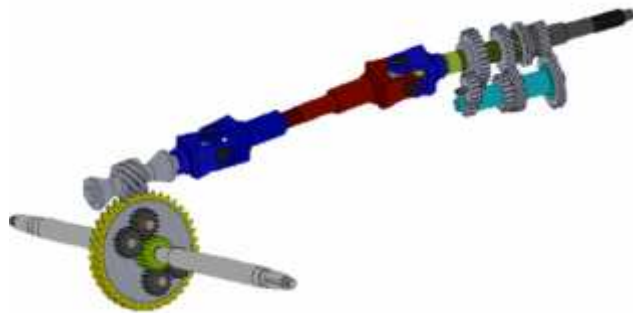
**Latacunga  
2021**



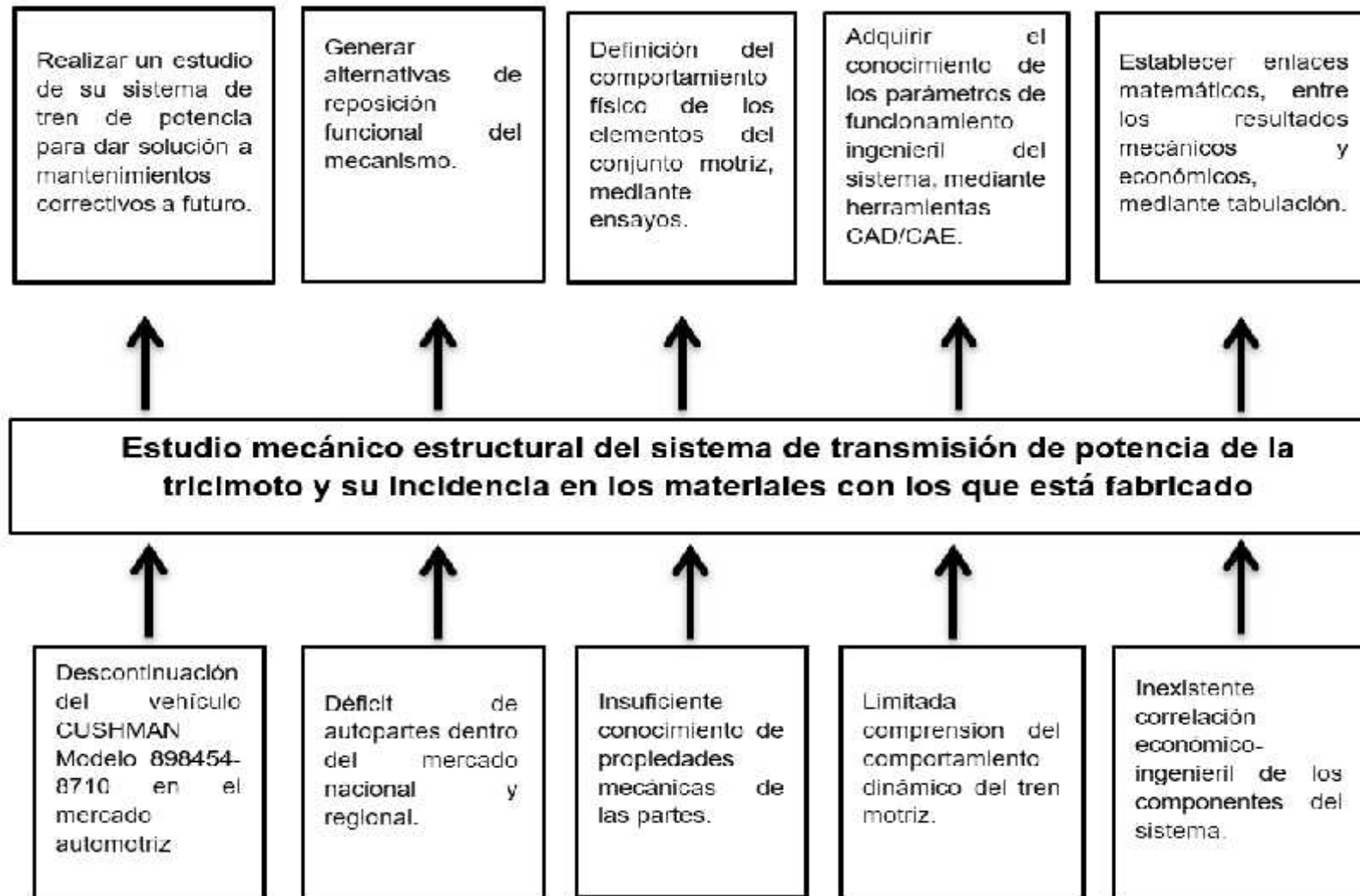
**El día que pienses que eres  
mejor que los demás,  
simplemente dejaste de  
serlo.**

# INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación se basa realizar un estudio mecánico estructural del tren de potencia de la tricimoto CUSHMAN mediante el uso de herramientas CAD/CAE, para proponer una alternativa de material ideal para un reemplazo en uno de los componentes del sistema, en caso de que se requiera por una posible falla.



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



# **OBJETIVO GENERAL**

Realizar el análisis mecánico estructural del sistema de transmisión de potencia de una tricimoto marca CUSHMAN mediante el uso de herramientas CAE

# OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Recopilar información relacionada al funcionamiento y características mecánicas del tren de potencia del vehículo CUSHMAN, mediante la búsqueda de fuentes bibliográficas confiables.
- Desarrollar un análisis matemático mecánico del sistema de transmisión de la tricimoto CUSHMAN, para obtener las cargas que interfieren dentro del tren de potencia.
- Tomar las medidas representativas para esquematizar en 2D y modelar en 3D utilizando la asistencia de un software CAD de los componentes del sistema de transmisión de potencia.
- Realizar ensayos de tracción y de espectrometría, que nos permitan obtener las diferentes propiedades mecánicas y químicas que constituyen uno de los componentes del tren de potencia de la tricimoto marca CUSHMAN.

# OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Ejecutar la simulación en el software CAE de uno de los elementos del sistema de transmisión con todos los parámetros matemáticos, resultantes de la configuración de la caja de cambios que representa un mayor esfuerzo hacia los diferentes componentes del tren de potencia de la tricimoto, y tabular los valores mecánicos resultantes.
- Estructurar un detalle económico, considerando diferentes tipos de materiales, parámetros de construcción y tiempos de elaboración del componente, para generar una alternativa de mantenimiento correctivo seleccionando la mejor opción.
- Construir el componente analizado del sistema de transmisión del vehículo CUSHMAN a escala real, con el material previamente seleccionado de acuerdo a procedimientos y procesos de manufactura acordes a las necesidades de funcionamiento y operación en condiciones ideales de trabajo.



# ***META***

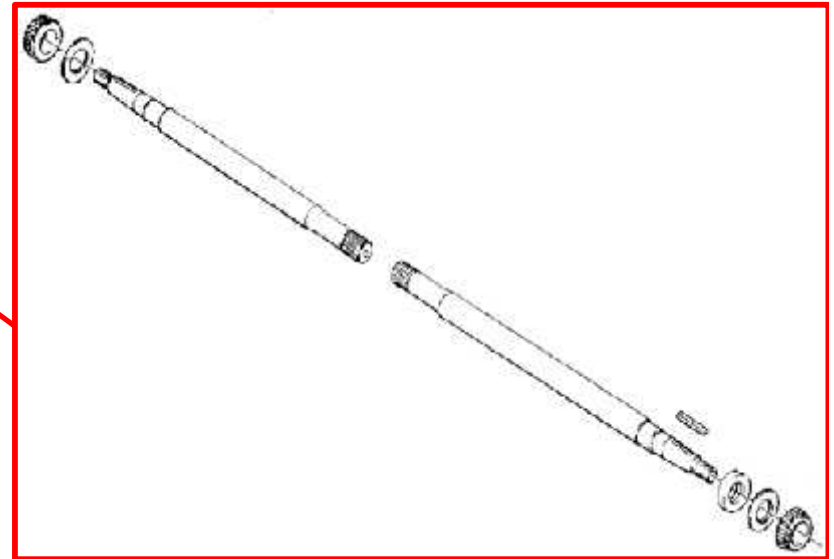
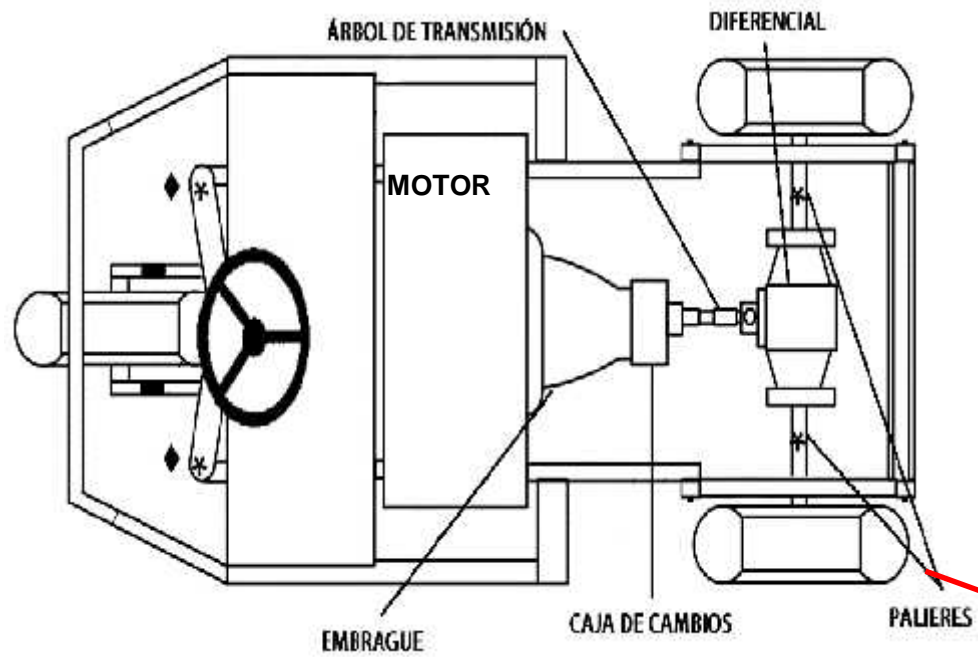
Estructurar y determinar, una tabla de datos que sea fácil comprensión para los técnicos que se encargarán de ejecutar el mantenimiento correctivo, de tal manera que se indique, el tiempo de vida útil que resista la pieza, y las opciones de reposición con su respectivo costo que la alternativa presentará.



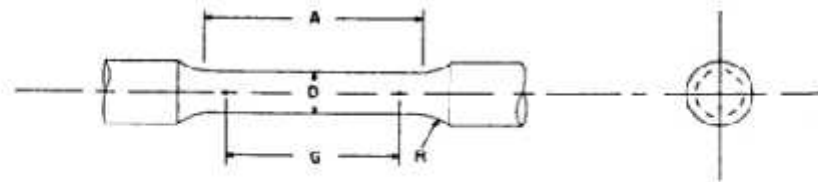
# ***HIPÓTESIS***

Al desarrollar el análisis mecánico-estructural del sistema de transmisión de potencia de una tricimoto marca CUSHMAN, se debe generar una metodología técnica, económica e ingenieril, alternativa en el caso de la necesidad de un mantenimiento correctivo del sistema.

# Sistema de transmisión



# Ensayo de resistencia a la tracción según la Norma NTE INEN 109



Dimensions, mm [in.]  
For Test Specimens with Gauge Length Four times the Diameter [EB]

	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5	
G—Gage length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	38.0 ± 0.1 [1.400 ± 0.005]	24.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.005]	16.0 ± 0.1 [0.640 ± 0.005]	10.0 ± 0.1 [0.450 ± 0.005]	
C—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]	
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.064]	
A—Length of reduced section, min (Note 2)	56 [2.25]	45 [1.75]	30 [1.25]	20 [0.75]	16 [0.625]	



# Resultados

Muestra	Diámetro promedio	Carga máxima registrada	Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		Elongación en 50 mm	
	[mm]	[lbf]	[N]	[ksi]	[MPa]	[ksi]	[MPa]	[%]
1	12,80	22 899	101 861	106,6	734,7	114,8	791,6	11,9
2	12,81	23 011	102 357	104,0	717,3	115,2	794,2	15,0
3	12,75	21 904	97 435	81,8	564,2	110,7	763,1	15,9



# Ensayo de espectrometría basado en la norma ASTM E415 - 17



## Muestra metálica

Elemento	Carbono	Silicio	Manganeso	Fósforo	Azufre	Cromo	Níquel	Cobre	Niobio	Hierro
Valor [%]	0,418	0,184	0,753	0,015	0,024	0,024	0,027	0,021	0,029	98,49

# Selección de materiales

Composición química de los materiales seleccionados		
Acero AISI 1018 - Cementado	Acero AISI 4340	Aluminio 7075 – T6
0,25 % Si	0,30% Si	0,40 % Si
0,20% C	0,43% C	0,50% Fe
0,70% Mn	0,80% Mn	2,00% Cu
0,04% P	0,035% P	0,30% Mn
0,05% S	0,04% S	2,90% Mg
98,75% Fe	0,90% Cr	0,28% Cr
	2% Ni	6,10% Zn
	0,3% Mo	0,20% Ti
	95,18% Fe	0,25% Zr + Ti
		86,91% Al

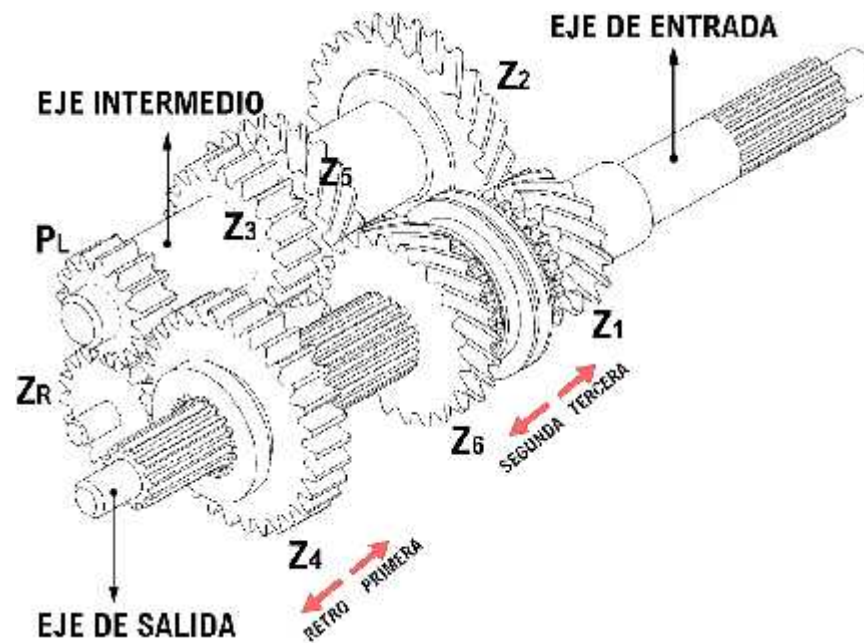
# Selección de materiales

Material	Resistencia última [Mpa]	Resistencia elástica [Mpa]	Dureza [HB]	Densidad [ / ]
Acero AISI 1018 – Cementado	576	353	163	7.85
Acero AISI 4340	1100-1300	900	320	7.85
Aluminio AISI 7075-T6	570	520	150	2.80



# CÁLCULOS MATEMÁTICOS

Datos	
Potencia	22
RPM optimas de trabajo	3750



Número de dientes de los diferentes piñones de la caja de cambios.

$$= 15$$

$$= 26$$

$$= 20$$

$$= 30$$

$$= 22$$

$$= 20$$

$$= 15$$

# CÁLCULOS MATEMÁTICOS

Torque del motor

$$= \left( \frac{5252}{\dots} \right) 1,3558$$

$$= \dots$$

Relación de transmisión

$$= \frac{\dots}{\dots}$$

Primera marcha	=	, :
Segunda marcha	=	, :
Tercera marcha	=	:
Reversa	=	, :

# CÁLCULOS MATEMÁTICOS

Velocidad de rotación

$$= \text{---}$$

Potencia de la marcha

$$= \text{---}$$

---

Primera marcha

=

---

Segunda marcha

=

---

Tercera marcha

=

---

Reversa

=

---

Primera marcha

=

---

Segunda marcha

=

---

Tercera marcha

=

---

Reversa

=



# CÁLCULOS MATEMÁTICOS

Torque de la marcha

=

Primera marcha

=

Segunda marcha

=

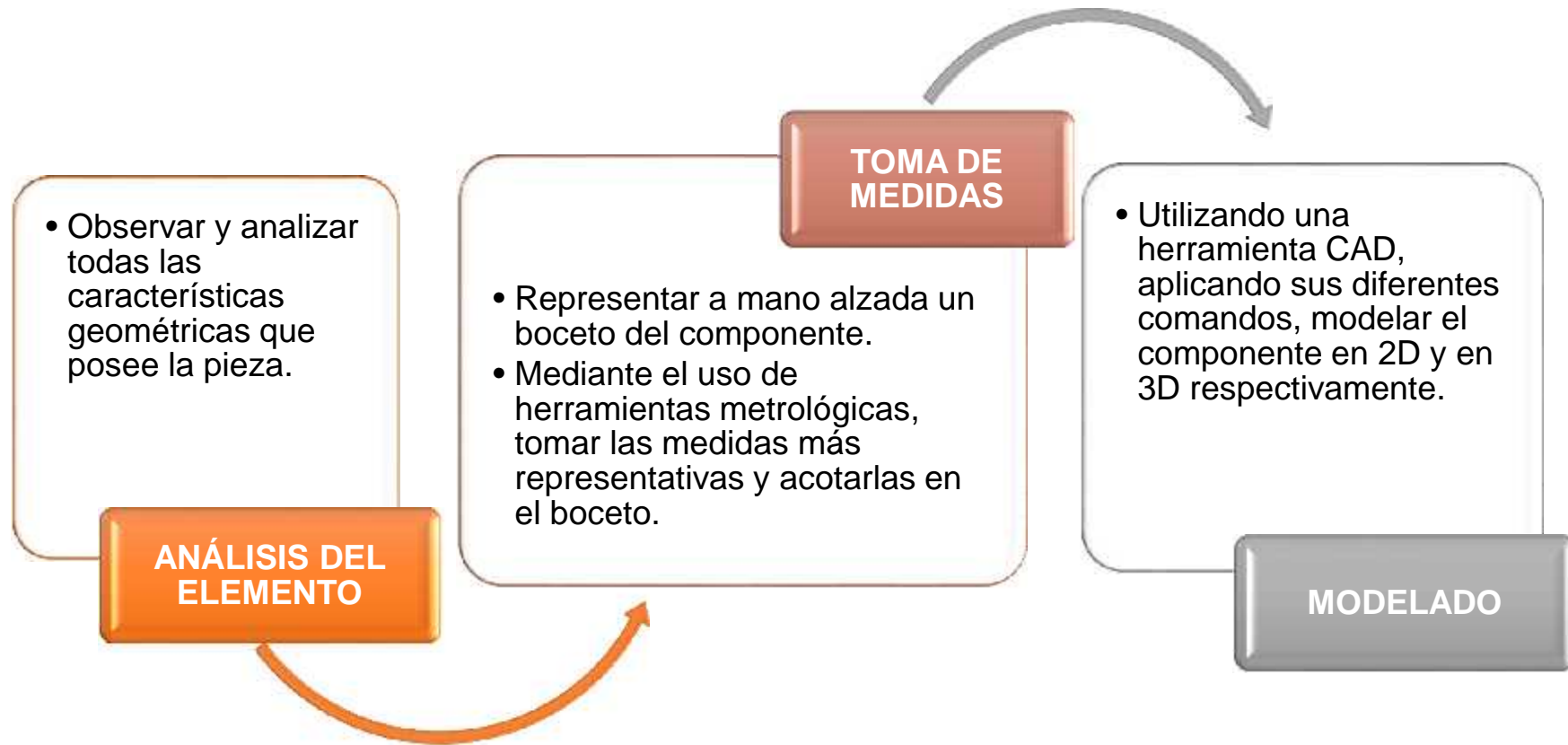
Tercera marcha

=

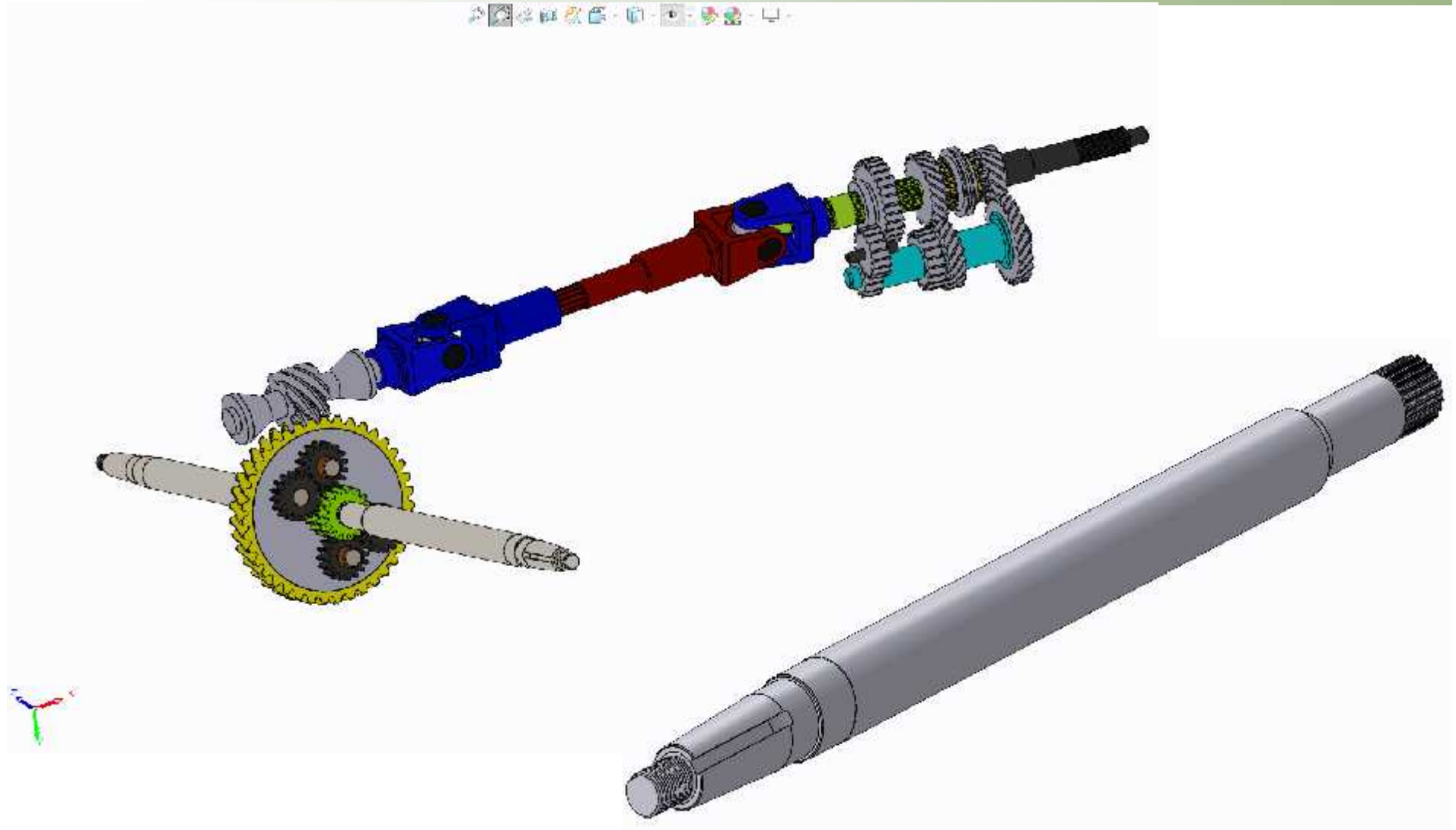
Reversa

=

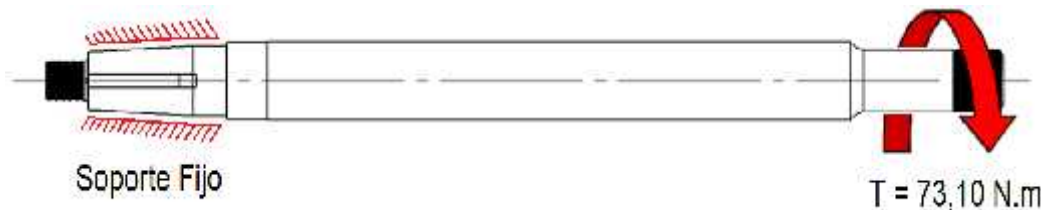
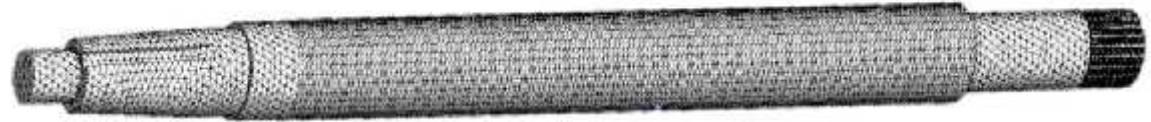
# MODELADO CAD



# MODELADO CAD

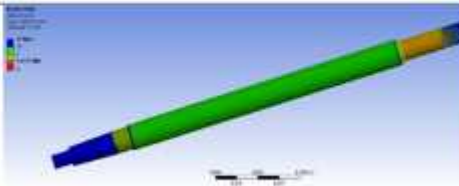
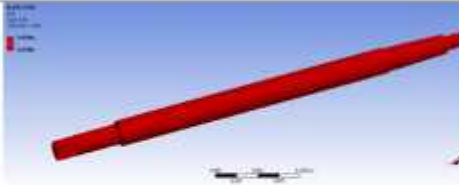
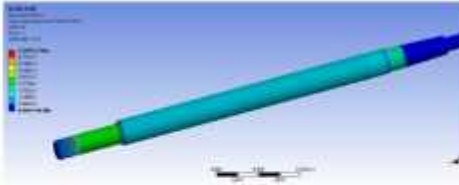
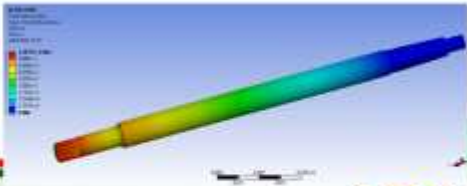


# SIMULACIÓN CAE



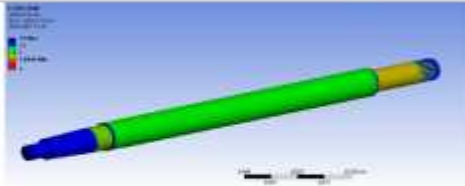
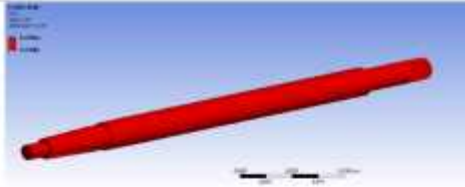
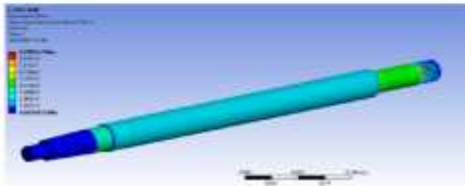
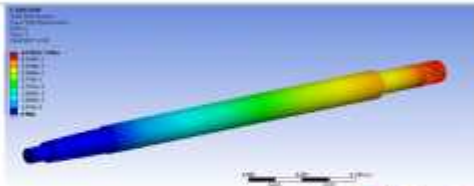


# Resultados CAE utilizando acero AISI 1018 – Cementado

	Valor	Ilustración
<b>Factor de seguridad</b>	1,61	
<b>Ciclos de vida</b>	$1e^6$	
<b>Esfuerzo de Von Mises [Mpa]</b>	Máximo: 53 Mínimo: 0,000114	
<b>Deformación Total [mm]</b>	Máximo: 0,0338	

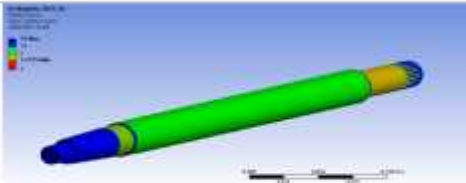
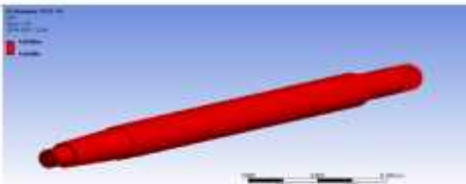
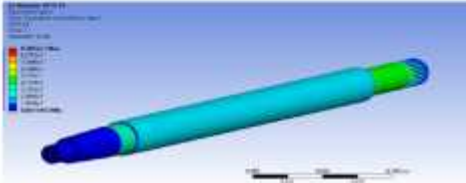
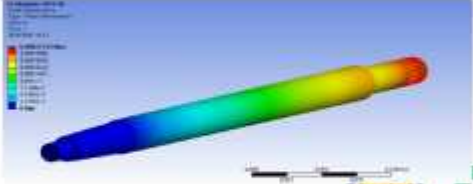
[mm]

# Resultados CAE utilizando acero AISI 4340

	Valor	Ilustración
<b>Factor de seguridad</b>	1,85	
<b>Ciclos de vida</b>	$1e^6$	
<b>Esfuerzo de Von Mises [Mpa]</b>	Máximo: 92,9 Mínimo: 0,0059	
<b>Deformación Total [mm]</b>	Máximo: 0,0493	



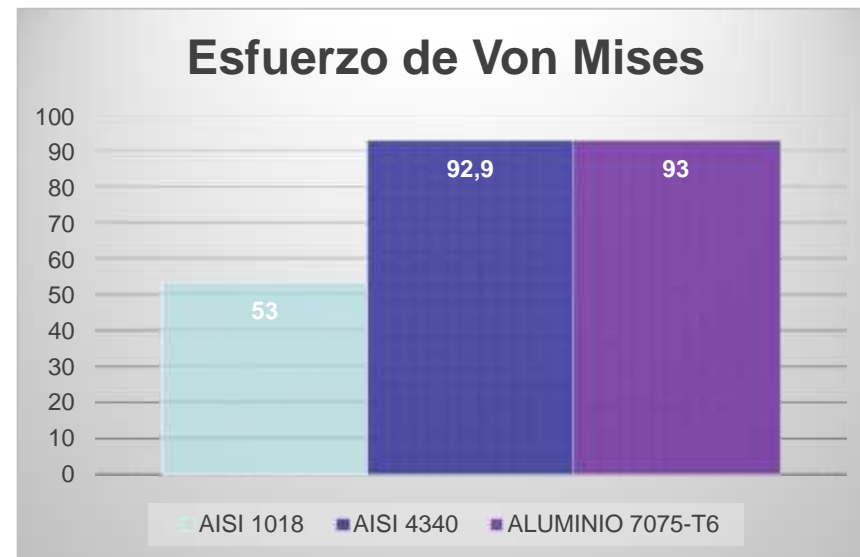
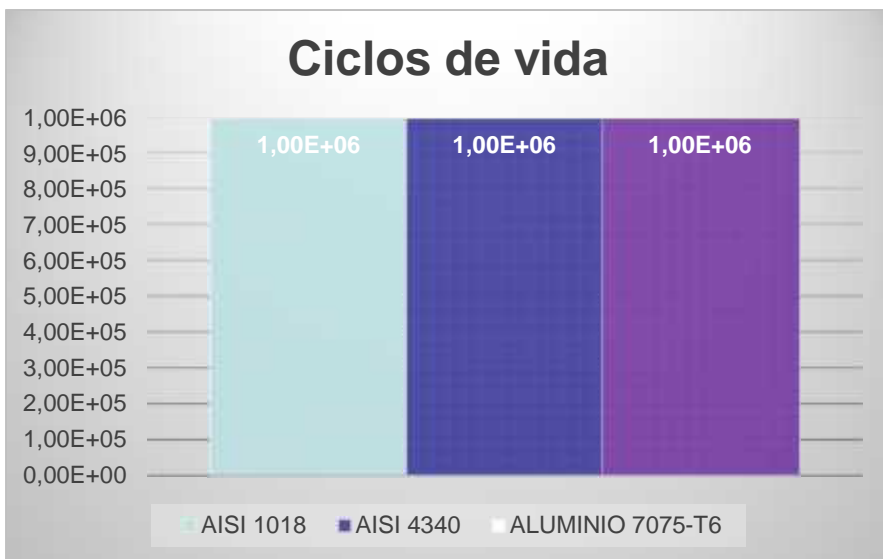
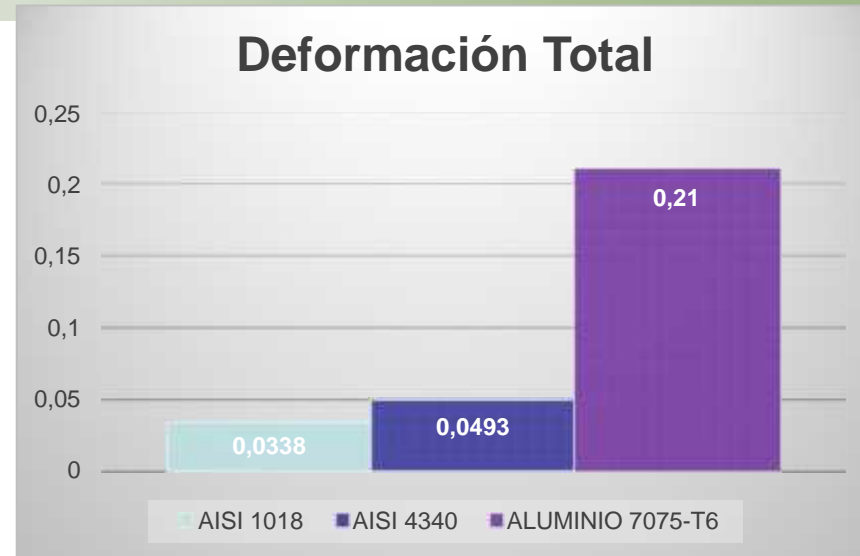
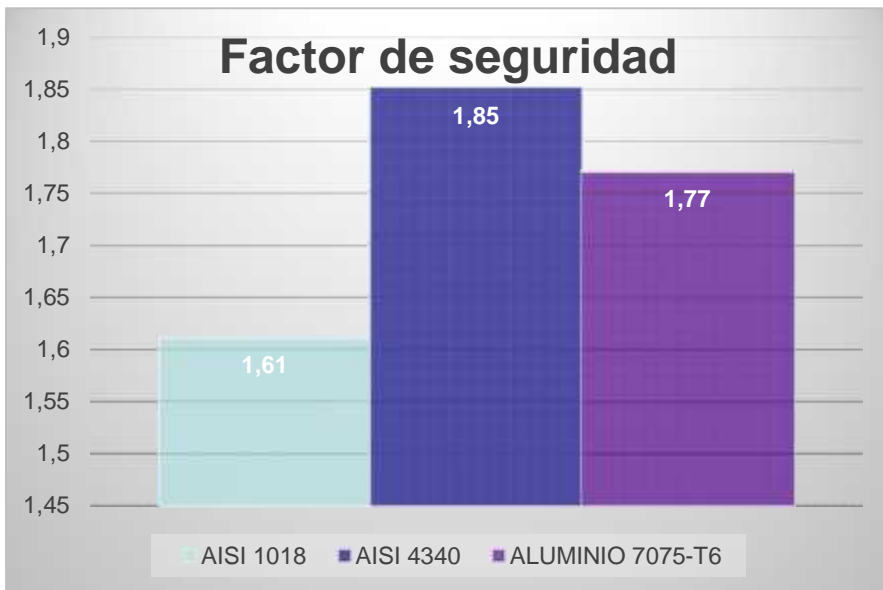
# Resultados CAE utilizando Aluminio 7075 – T6

	Valor	Ilustración
<b>Factor de seguridad</b>	1,77	
<b>Ciclos de vida</b>	$1e^6$	
<b>Esfuerzo de Von Mises [Mpa]</b>	Máximo: 93,0 Mínimo: 0,0075	
<b>Deformación Total [mm]</b>	Máximo: 0,21	

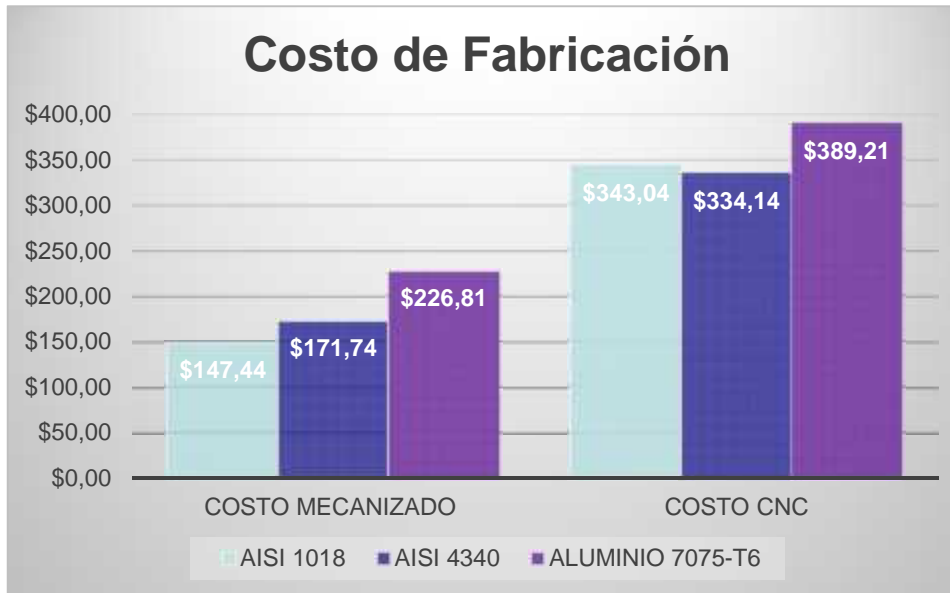


# ***ANÁLISIS DE RESULTADOS***

# Parámetros Software CAE



# Fabricación del eje palier



# CONCLUSIONES

- Con la realización del ensayo de espectrometría se evidenció la composición química del material original que consiste en: 0,418% C; 0,184% Si; 0,753% Mn; 0,015% P; 0,024% S; 0,024% Cr; 0,027% Ni; 0,021% Cu; 0,029% Nb; 98,49% Fe; seleccionando de esta manera tres tipos de materiales, acero AISI 1018, acero AISI 4340 y aluminio 7075 T6.
- Con la ejecución del ensayo de tracción se obtuvieron las propiedades mecánicas del material de la pieza extraída del tren de potencia de la tricimoto CUSHMAN, teniendo como resultado: carga máxima 102357 N; límite de fluencia 717,3 MPa; resistencia a la tracción 794,2 MPa y porcentaje de elongación en 50 mm 15%.
- Finalizada la simulación en software CAE, utilizando los tres diferentes materiales seleccionados, se consiguió los valores correspondientes a los parámetros de diseño del componente analizado, como son: factor de seguridad, ciclos de vida, esfuerzo de Von Mises y la deformación total



# CONCLUSIONES

- • Mediante investigaciones de campo se adquirieron proformas correspondientes al proceso de fabricación del eje palier, estructurando de esta manera una tabla comparativa que nos permitió concluir que el acero AISI 4340 es la alternativa que presenta mayores ventajas, tomando en cuenta que su manufactura es de 9 días laborables, a diferencia de los otros materiales que necesitan aproximadamente un 40% adicional de tiempo; conjuntamente en el aspecto financiero su costo es de 171,74 dólares.
- Se construyó el eje palier a una escala real, utilizando como material el acero AISI 4340, con su respectivo proceso de manufactura, debido a que este satisface las necesidades de funcionamiento y operación del sistema de transmisión de la tricimoto marca CUSHMAN; alcanzando mediante este procedimiento el objetivo principal de este proyecto que es generar una alternativa de repuesto en el mercado nacional, a partir de un análisis computacional e ingenieril.

# RECOMENDACIONES

- ) Es recomendable buscar información sobre el trabajo del tren de potencia CUSHMAN en fuentes bibliográficas confiables, previo al desarrollo del proyecto, con la finalidad de familiarizarse con el funcionamiento de este sistema.
  
- ) En el proceso de desmontaje, se recomienda utilizar las herramientas adecuadas y seguir las instrucciones según como especifica el manual del fabricante, para optimizar tiempo y obtener los resultados deseados al momento de realizar las respectivas mediciones en los componentes del sistema.
  
- ) Al momento de realizar los ensayos de tracción y espectrometría de la pieza extraída del tren de potencia, se sugiere regirse a lo especificado en las normas NTE INEN 109 y la ASTM E415 – 17 respectivamente, para obtener resultados ideales, de esta manera seleccionar materiales que posean propiedades similares a las del componente original.

# RECOMENDACIONES

- ) Se recomienda efectuar el modelado en software CAD de manera rigurosa, en vista que este servirá para realizar el análisis del componente en un entorno CAE.
- ) Es recomendable realizar detenidamente el análisis matemático del sistema de transmisión, debido a que los resultados serán introducidos en el entorno CAE; asegurando que los parámetros de diseño de la pieza simulada que se desean alcanzar puedan estar lo más apegados a la realidad.
- ) Es necesario realizar un estudio de mercadeo apropiado, para conseguir proformas referentes a los procesos de fabricación del eje.
- ) Se recomienda fabricar el componente estudiado en acero AISI 4340 por motivos financieros y de tiempo, para que la tricimoto CUSHMAN continúe operando lo más rápido posible y de manera óptima dentro de la empresa.

*GRACIAS POR SU ATENCIÓN*