

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

REDISEÑO DE LAS MANGUETAS DELANTERAS DEL VEHÍCULO PROTOTIPO PARA COMPETENCIA EN LA FÓRMULA SAE

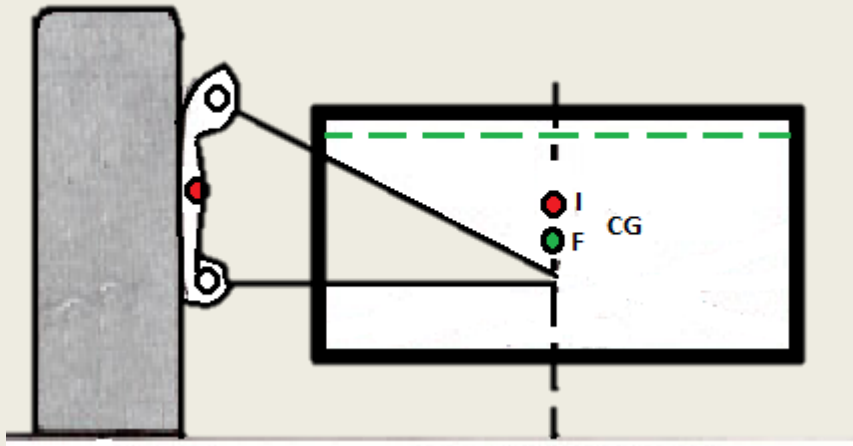
AUTORES: GUILLERMO ARTURO JÁCOME GONZÁLEZ
SANTIAGO DAVID MIRANDA VELASCO
DIRECTOR: ING. EURO MENA MENA
LATACUNGA 2018



ANTECEDENTES DEL PROBLEMA



JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA



270 Kg
FESPE

216,6
Promedio
2012

Centro de
gravedad

2,70 kg/Hp
2,17 kg/Hp

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar el análisis de la información sobre la optimización de componentes automotrices, especialmente de las manguetas mediante la aplicación de matrices y determinar las cargas y restricciones de las mismas.
- Realizar la optimización utilizando un *software* CAE para conseguir una reducción de peso en las masas no suspendidas del prototipo FESPE.
- Elaborar varios ensayos a partir del componente optimizado a través del análisis por elementos finitos en el *software* FEA que garanticen un óptimo resultado.
- Implementar la mangueta en el vehículo para realizar las pruebas establecidas en la reglamentación SAE.

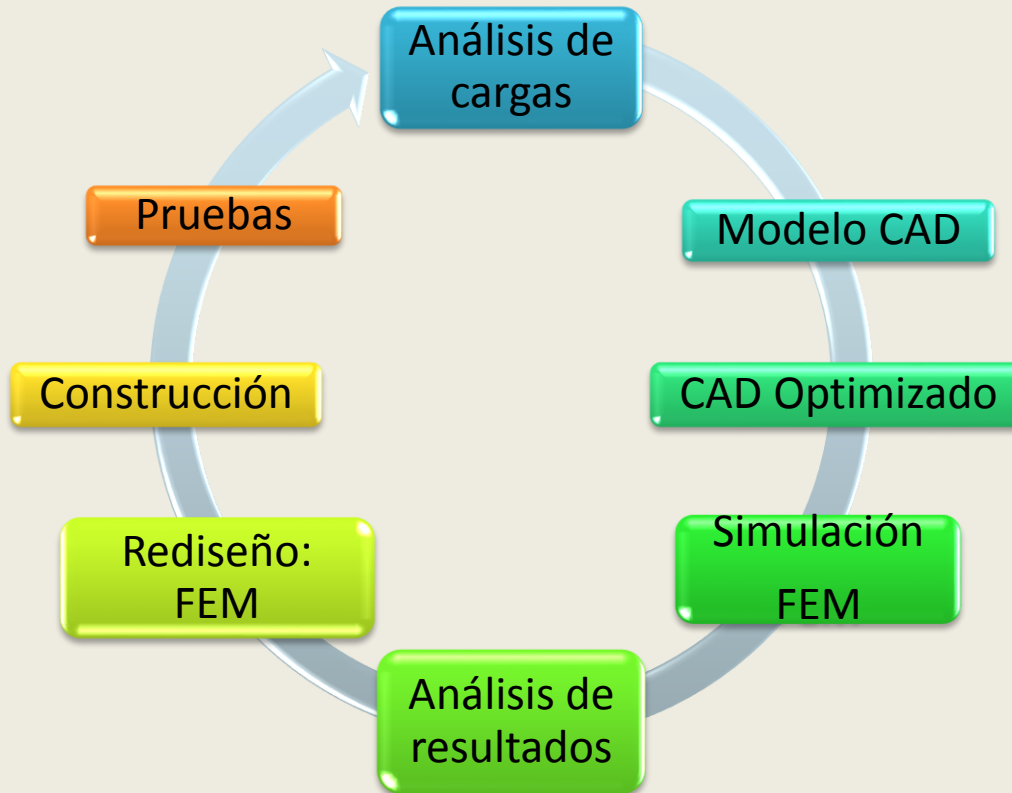


HIPÓTESIS

- La optimización en el diseño de la mangueta delantera del vehículo *Formula Student* permitirá un mejor desempeño, soportando los ensayos reglamentados por la SAE.



PROCESO DISEÑO MANGUETA



CÁLCULOS FUERZAS APLICADAS A LA MANGUETA

Las fuerzas que actúan en la mangueta son producto del movimiento del prototipo en aceleración, frenado, mientras se traslada por una curva, etc.



DESACELERACIÓN

- Para determinar la transferencia de peso que se genera al momento de frenar. Las condiciones que se tomaron son: velocidad inicial 120 km/h, tiempo hasta que el auto está parado: 3 segundos (Mejía González, 2015).

$$-a = \frac{V_f - V_o}{t}$$

$$V_f = 0 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$V_o = 120 \left[\frac{km}{h} \right] \approx 33,33 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$t = 3 [s]$$

$$-a = \frac{0 - 33,33}{3} = -11,11 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CARGA DE FRENADO

- La carga se produce al momento que aplicamos los frenos, en esta inciden distintos parámetros como la batalla (lt) del auto, la altura del centro de gravedad (h), coeficiente de fricción, entre otros.



CARGA DE FRENADO

$$\sum F_x = m * a$$

$$H_a + H_b = m * a$$

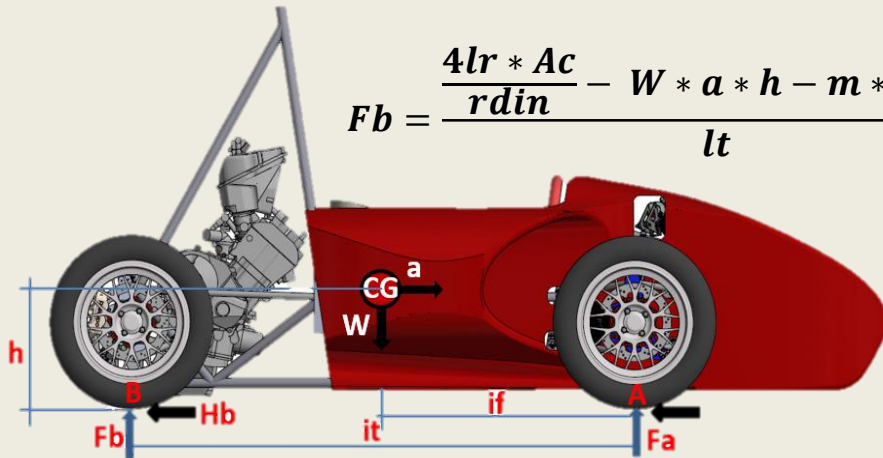
$$\sum F_y = m * g$$

$$F_a + F_b = m * g$$

$$\curvearrow + \sum MA = I$$

$$F_b * l_t + W * a * H_c - m * g * l_f = \frac{4lr * Ac}{rdin}$$

$$F_b = \frac{\frac{4lr * Ac}{rdin} - W * a * h - m * g * l_f}{l_t}$$



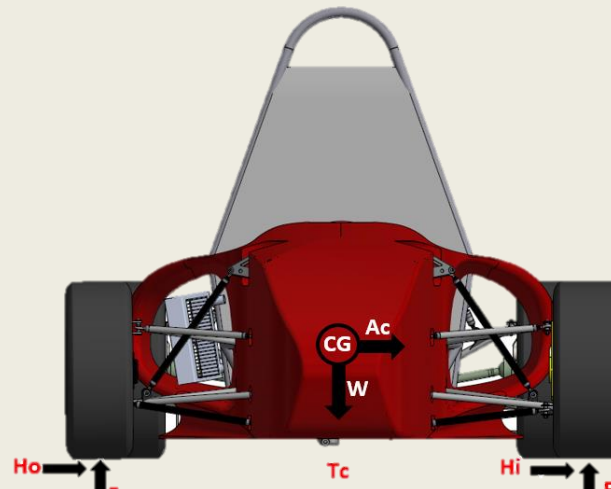
m = Masa total (vehículo+ conductor).	270+70 Kg.
$(\pm)a$ = Deceleración máxima.	-11,11 m/s ²
g = Gravedad.	9.81 m/s ² .
l_t = Batalla.	1570 mm.
l_f = Distancia del eje delantero al CG.	875.361 mm.
h = Altura del CG.	334,409 mm.
$rdin$ = Radio dinámico.	230 mm.
I_r = Inercia de la rueda.	0.27 Kg*m ²
μ = Coeficiente de fricción.	1,1
Ac = Aceleración centrífuga	12,02 m/s ²

$$F_b = 6069,25 [N]$$

$$F_a = 2733,9 [N]$$

CARGA LATERAL EN CURVA

- Las cargas que se generan mientras el vehículo sigue una trayectoria curva, se producen por dos aceleraciones: la centrífuga y la centrípeta. La aceleración centrífuga es la que provoca que se transfiera pesos desde la rueda interior a la exterior en la suspensión y son las que se analizarán



CARGA LATERAL EN CURVA

- Como consideraciones para el cálculo de la carga lateral en curva del vehículo, asumimos que este avanza a 45 km/h en promedio y el radio de curvatura es de 13 metros (SAE International, 2018), para obtener la fuerza centrífuga mediante la ecuación

$$F_{centrifuga} = m \frac{v^2}{r}$$

M= masa del vehículo	270 + 70 = 340kg
V= velocidad del vehículo	$45 \frac{km}{h} \approx 12,50 \frac{m}{s}$
r=radio de la curva	13 metros

$$F_{centrifuga} = 340 \frac{12,50^2}{13} = 4086,5384 [N]$$



FUERZAS LATERALES

$$\Delta Fx = \frac{W}{2} + \frac{F_{centrifuga}}{Tc}$$

$$F_{o1} = \frac{3335,4}{2} + \frac{4086,5384}{1,403}$$

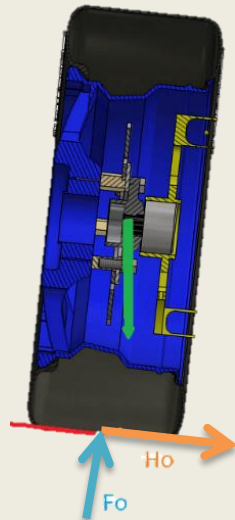
$$F_{o1} = 4580,41 [N]$$

Tc= ancho de vía delantero	1403 [mm]
W=peso del auto más piloto	3335,4 [N]
H= altura al centro de gravedad medida desde el piso	334.409 [mm]
Fcentrípeta	4086,5384 [N]

$$\sum Fx = m * a$$

$$H_o + F_{o1} * \sin \theta + Wx \sin \theta = m * \text{centrípeta}$$

$$H_o = mt * \text{centrípeta} - F_{o1} * \sin \theta - Wx \sin \theta$$

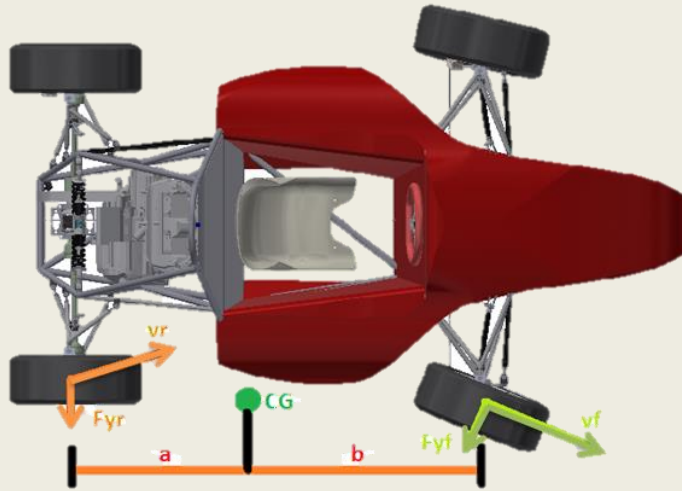


W = peso del vehículo + piloto	3335,4 [N]
θ = Ángulo de inclinación	20°
Acentrípeta	12,02 m/s ²

$$H_o = (340kg) * (12,02 \text{ m/ s}^2) - 4580,41 \sin 20^\circ - 3335,4 \sin 20^\circ$$

$$H_o = 1379,43 [N]$$

FUERZA APLICADA EN LA JUNTA DE LA DIRECCIÓN DE LA MANGUETA



F_{yf} = fuerza lateral de giro del eje delantero

F_{yr} = fuerza lateral de giro del eje trasero

m = masa total del vehículo

v = velocidad del vehículo (45km/h)

R = radio de curvatura

$a = 694,03\text{ mm}$; $b = 875,361\text{ mm}$

$$\sum F_y = m \frac{v^2}{r}$$

$$F_{yf} + F_{yr} = m \frac{v^2}{r}$$

$$\sum M_{CG} = 0$$

$$F_{yf} * b + F_{yr} * a = 0$$

$$F_{yf} = F_{yr} * \frac{a}{b}$$

$$F_{yr} * \frac{a}{b} + F_{yr} = m \frac{v^2}{r}$$

$$F_{yr} = 340\text{kg} * \frac{12,50^2}{13\text{m}} * \left(\frac{0,694\text{m}}{1,570\text{m}}\right)$$

$$F_{yr} = 1806,40\text{ [N]}$$

$$F_{yf} = 1806,40 * \left(\frac{694,63}{875,361}\right)$$

$$F_{yf} = 1433,442\text{ [N]}$$

RESUMEN CARGAS CALCULADAS

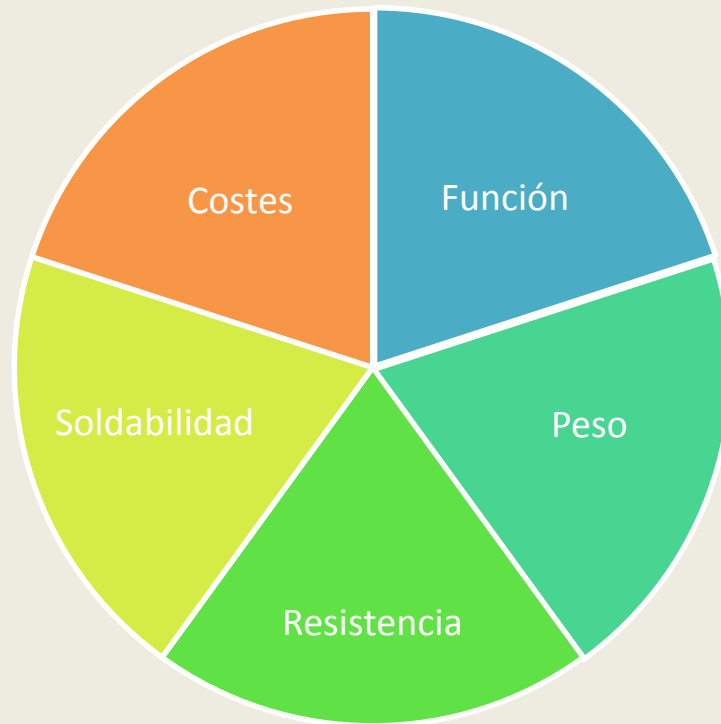
Una vez realizados los cálculos de todas las cargas que se aplican en la mangueta delantera, obtenemos los datos necesarios en la siguiente tabla para posteriormente aplicarlos durante el análisis de esfuerzos en el software FEA.

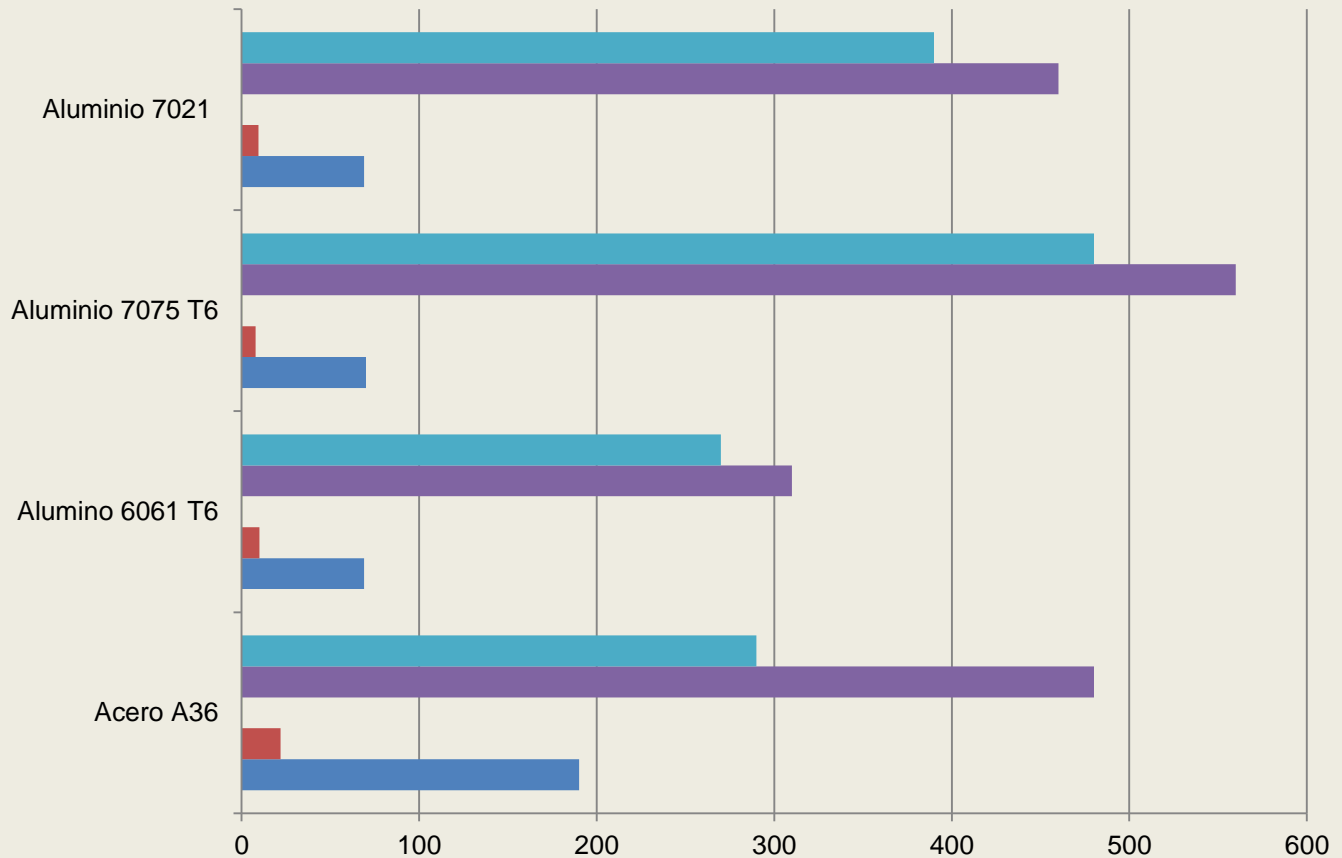
Apoyo superior mesa	$H_o = 1379,43 [N]$
Apoyo inferior mesa	$F_o = 4580,41 [N]$
Fuerza delantera al momento de frenar	$F_a = 2733,9 [N]$
Fuerza aplicada por la junta de dirección	$F_{yf} = 1433,442 [N]$



ELECCIÓN DE MATERIAL

Los criterios de evaluación para seleccionar el material y geometría a usar en la mangueta son los listados a continuación, nos ayudaran a seleccionar por medio de una matriz de selección la opción más indicada que cumple de mejor manera todos los parámetros.





	Acero A36	Aluminio 6061 T6	Aluminio 7075 T6	Aluminio 7021
■ Ultima Resistencia a la tracción (MPa)	290	270	480	390
■ Resistencia a la tracción (MPa)	480	310	560	460
■ Coeficiente de Poisson	0,29	0,33	0,32	0,32
■ Elongación a la ruptura %	22	10	7,9	9,4
■ Modulo elástico (GPa)	190	69	70	69

■ Ultima Resistencia a la tracción (MPa) ■ Resistencia a la tracción (MPa) ■ Coeficiente de Poisson
 ■ Elongación a la ruptura % ■ Modulo elástico (GPa)



ESPE
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Mangueta Delantera FESPE 2012 "Cotopaxi 2"

Material	Acero A36
Peso	2135 gramos
Anclajes existentes	Mesa superior, mesa inferior, dirección, mordazas de freno.
Proceso de manufactura empleado	Conjunto maquinado manualmente, conjunto soldado.

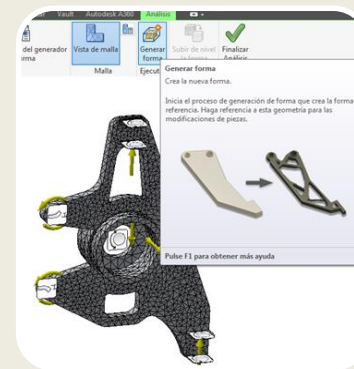
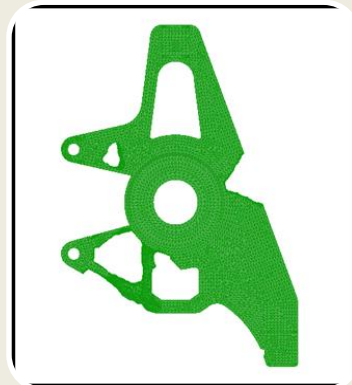
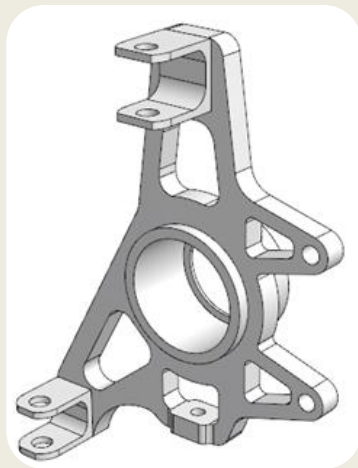
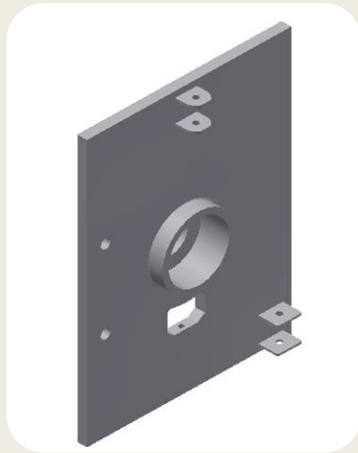
Geometría utilizado



Figura 19. Mangueta delantera FESPE 2012

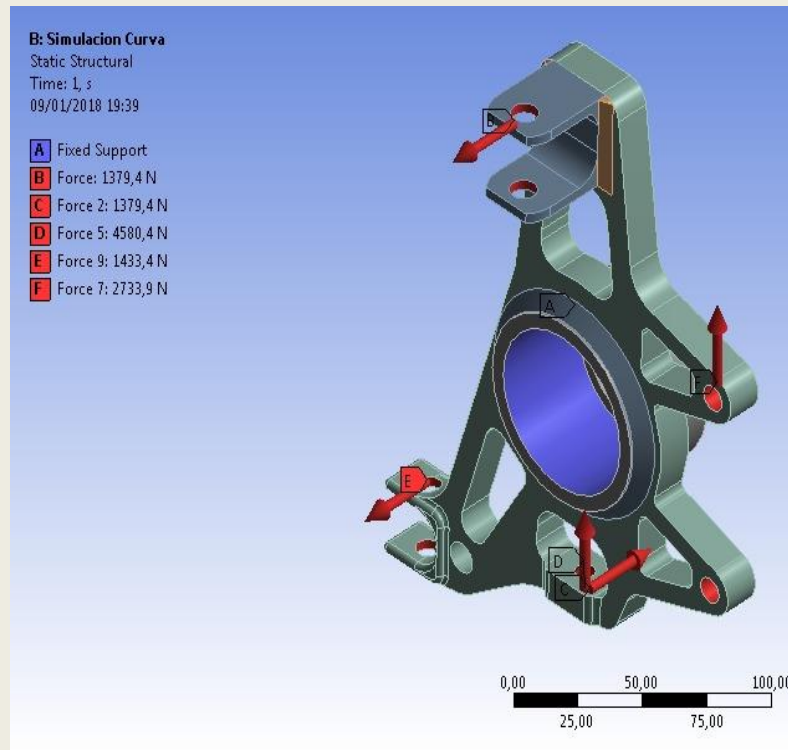
Fuente: Autor

PROCESO DE OPTIMIZACIÓN



SIMULACIÓN SOFTWARE FEA

- El software utilizado fue ANSYS 16.1



RESULTADOS

Los resultados que se necesitan para evaluar la geometría de la mangueta son los siguientes: Tensión de Von Mises, desplazamiento tanto total como direccional y el factor de seguridad.



PRIMER ENSAYO (10mm)

C: Static Structural

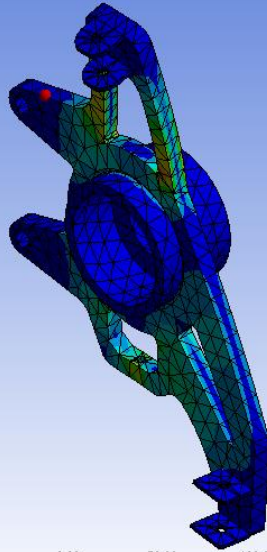
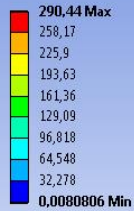
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

26/09/2017 8:40



C: Static Structural

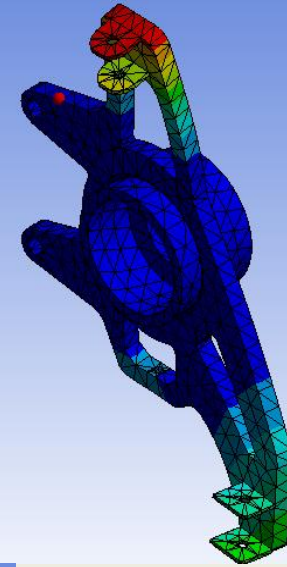
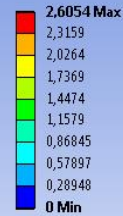
Total Deformation

Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1

26/09/2017 8:41



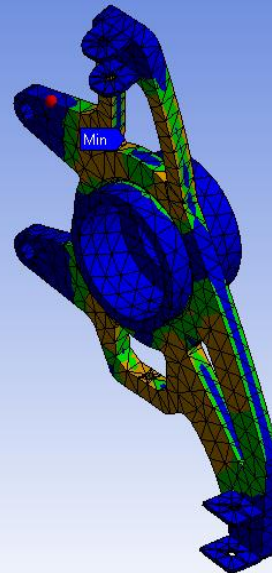
C: Static Structural

Safety Factor

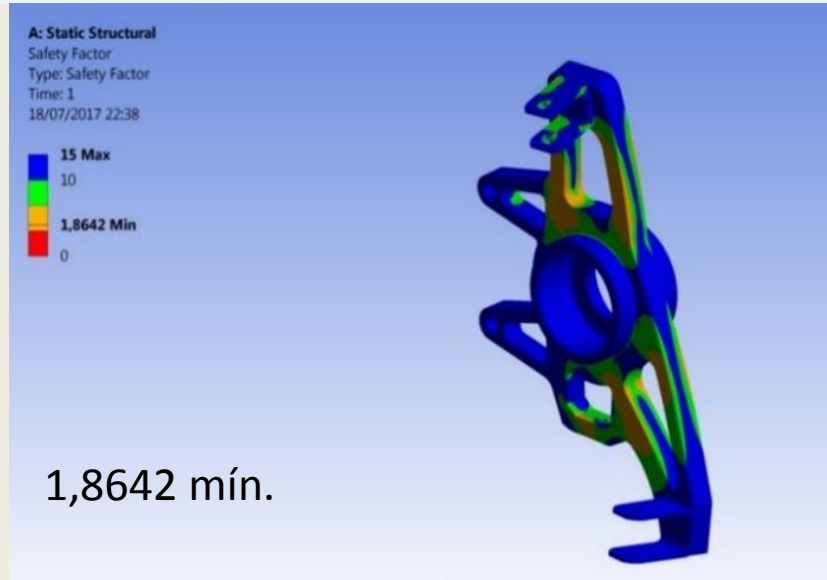
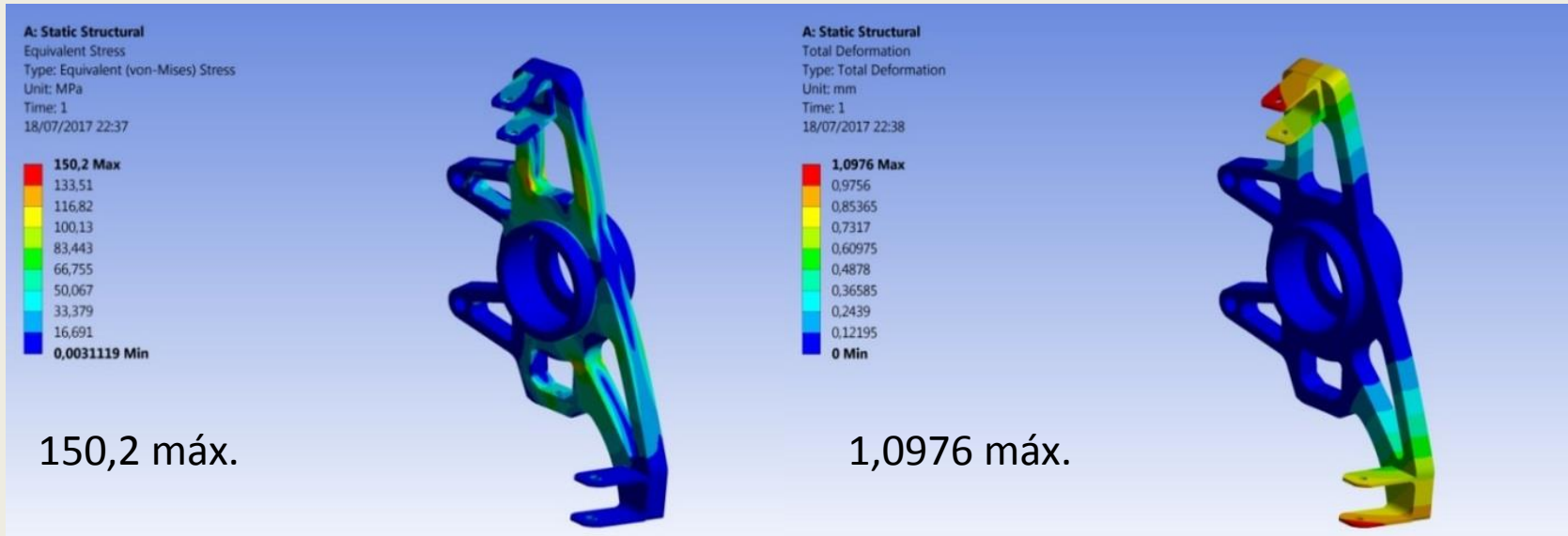
Type: Safety Factor

Time: 1

26/09/2017 8:42

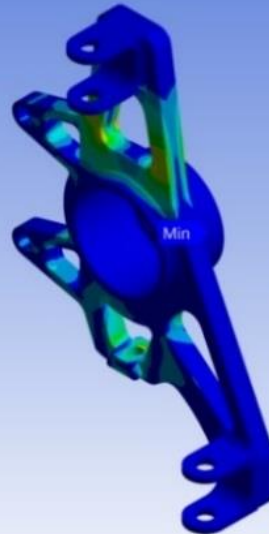
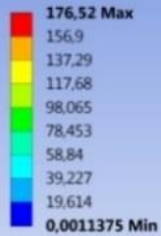


SEGUNDO ENSAYO (13 mm)

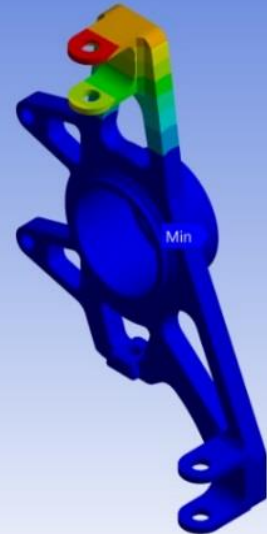
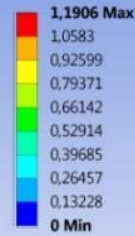


TERCER ENSAYO (13 mm)

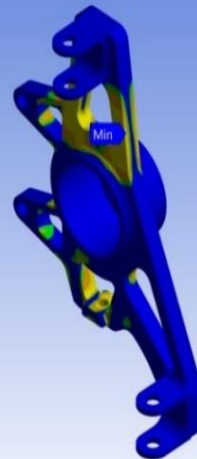
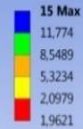
B: Simulacion Curva
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
14/09/2017 17:10



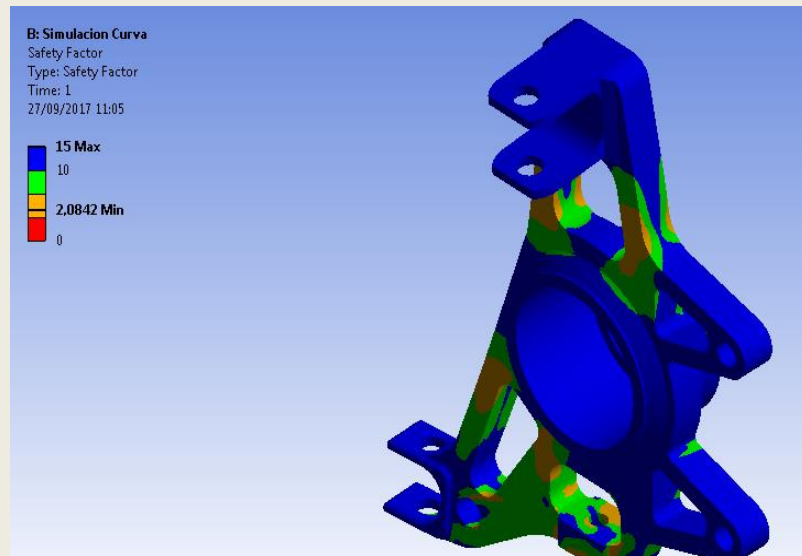
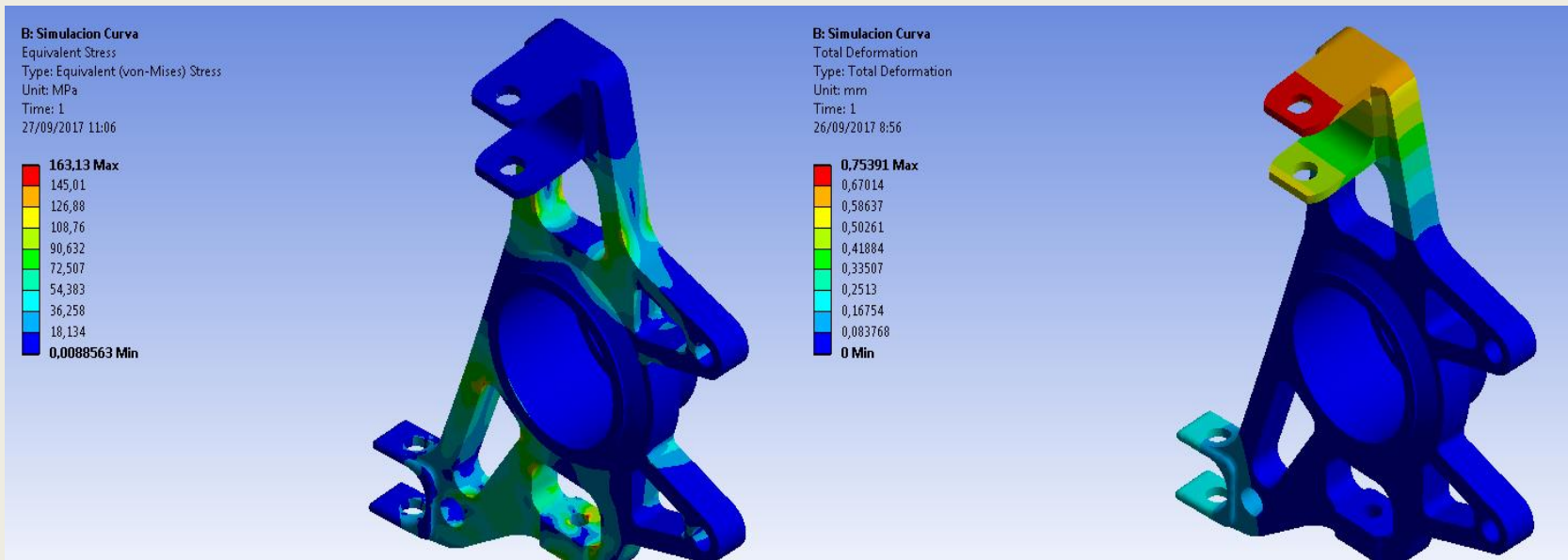
B: Simulacion Curva
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
14/09/2017 17:10



B: Simulacion Curva
Safety Factor
Type: Safety Factor
Time: 1
Custom
14/09/2017 17:09



CUARTO ENSAYO (15 mm)



PROTOTIPADO MANGUETA

- Para verificar las medidas de la mangueta y que la misma no tenga ninguna interferencia con componentes como aros, manzanas, etc. se fabricó un prototipo de la mangueta mediante impresión 3D.



CONSTRUCCIÓN MANGUETAS

La etapa de construcción se dividió en algunas etapas:

- Compra del material
- Corte por chorro de agua
- Torneado del eje
- Soldadura conjunto
- Pulido y acabados



Cursograma Construcción Mangueta	
10 min	Plancha aluminio espesor 15mm Eje de diámetro 80mm
120 min	Torneado del eje
5 min	Verificación de medidas
30min	Corte chorro de agua de la plancha
5 min	Verificación de medidas
20 min	Ensamble de las partes (prensado)
30 min	Soldadura del eje y la plancha
60 min	Pulido de la mangueta
30 min	Soldadura del soporte de la suspensión
5 min	Verificación de medidas
30 min	Taladrado de agujeros para sujeciones
5 min	Verificación final de medidas



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

MATERIALES

Los materiales a utilizar son:

- Plancha de aluminio AW7021 de 600x200x15mm
- Plancha de aluminio AW7021 de 100x100x30mm
- Eje de aluminio AW7021 de 80mm diámetro





Mangueta optimizada delantera FESPE 2012 "Cotopaxi 2"

Material	Aluminio AW7021
Peso	715 gramos
Anclajes existentes	Mesa superior, mesa inferior, dirección, mordazas de freno.
Proceso de manufactura empleado	Placa cortada por chorro de agua, Conjunto maquinado manualmente, conjunto soldado.

Geometría utilizado



Mangueta delantera optimizada FESPE 2012

Fuente: Autor

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

En esta fase de la investigación se verificaron las medidas de las manguetas construidas de acuerdo al diseño en CAD, el peso que estas tenían, la calidad de la suelda así como se realizaron pruebas dinámicas en el vehículo.



VERIFICACIÓN PESO




VERIFICACIÓN MEDIDAS



Análisis de resultados

- Tabla con los valores para comparar en porcentajes

	Mangueta Antigua	Mangueta optimizada
Material	Acero A36	Aluminio AW7021
Peso	2135 gramos	715 gramos
Geometría		

PRUEBAS SOLDADURA

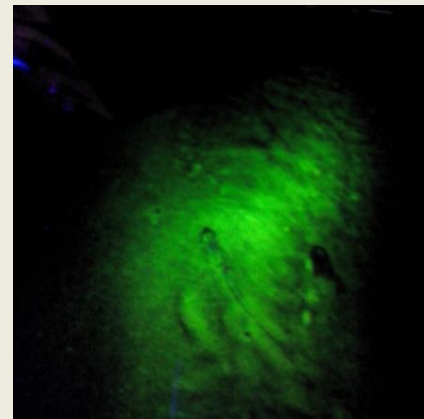
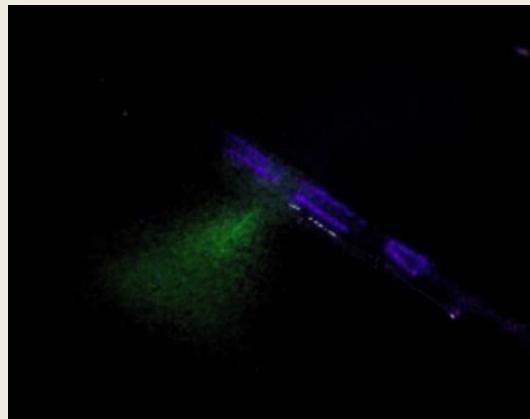
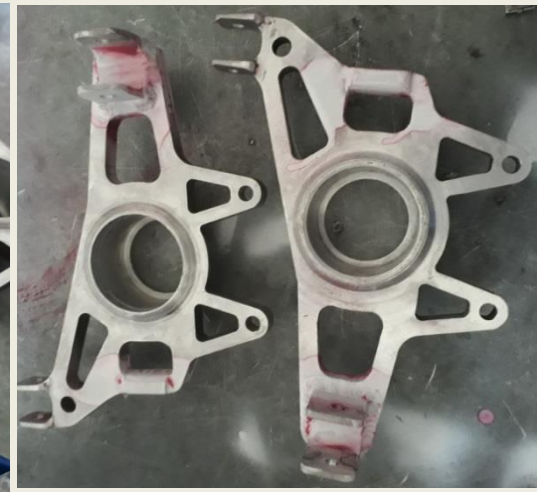
Se realizaron ensayos no destructivos que validen la calidad de soldadura usada para generar el componente. Los ensayos fueron:

- Ensayo visual
- Ensayo por tintas penetrantes
- Ensayo por partículas magnéticas

Los tres ensayos fueron exitosos y no se encontraron defectos superficiales.

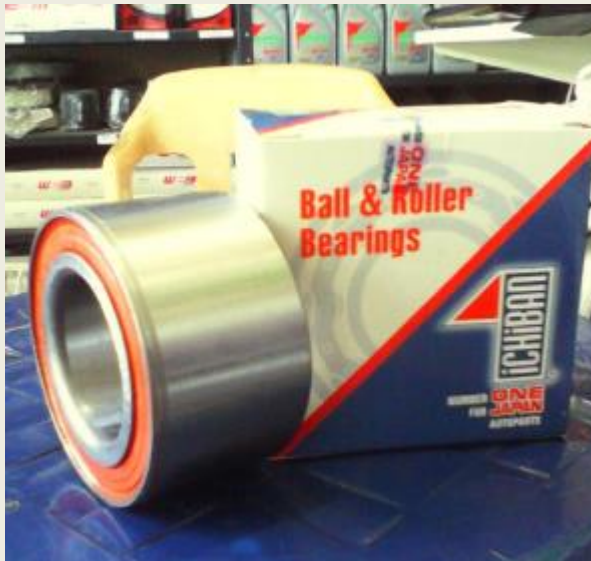


PRUEBAS SOLDADURA



ENSAMBLAJE CONJUNTO

- El proceso de ensamblaje de la mangueta empieza al instalar mediante prensado el rodamiento de la rueda así como su seguro.



ENSAMBLAJE EN EL VEHÍCULO



PRUEBAS FSAE

Las pruebas dinámicas que se realizaron para verificar el correcto diseño de la mangueta optimizada se desarrollaron de acuerdo al reglamento de la competencia. Primero se realiza la prueba de skidpad en los patios de la universidad, posteriormente la prueba de aceleración y autocross se realizó en el anillo vial del campus “Guillermo Rodríguez Lara” ubicado en la parroquia Belisario Quevedo. A continuación se detalla cada una de estas

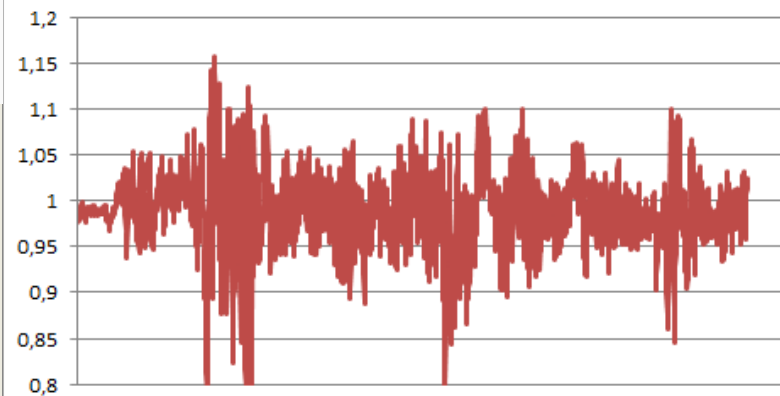


PRUEBA DE ACELERACIÓN



00:03.98

Aceleracion



PRUEBA DE SKID PAD



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACION PARA LA EXCELENCIA

PRUEBA AUTOCROSS

Circuito de pruebas	
Ubicación	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus "Gral. Guillermo Rodríguez Lara"
Longitud del circuito	1,34 km
Tipos de curvas	Dos rotondas, 4 rectas y una horquilla.
Tipo de calzada	Asfalto
Velocidad máxima	140 km/h



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

10 de
Ecuador

CONCLUSIONES

- El proceso de rediseño de la mangueta se consiguió correctamente, se redujo el peso de la misma en un 66%. Se pasó de usar manguetas de 2135 gramos a unas de 715 gramos.
- Se optimizó el diseño de las manguetas delanteras del prototipo usando el software CAE, mejorando así el desempeño del vehículo al reducir en 2823 gramos las masas no suspendidas
- Se elaboraron cuatro ensayos a partir del componente optimizado a través del análisis por elementos finitos en el *software* FEA seleccionando el más óptimo.



CONCLUSIONES

- Se implementó las nuevas manguetas optimizadas en el vehículo previo a la realización de las pruebas dinámicas, mismas que validaron el correcto diseño como procesos de manufactura.
- Se realizaron pruebas dinámicas con el vehículo donde se exigió a la nueva mangueta a distintas cargas; la misma no sufrió deformaciones ni tampoco falló.
- Se mejoró el frenado de las ruedas delanteras del prototipo al aumentar el área de contacto de las pastillas de freno modificando el anclaje de las mordazas de freno



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

RECOMENDACIONES

- La calibración de la suspensión debe realizarse de acuerdo a cada competencia en la que participe el vehículo, parámetros como convergencia, camber, caster, etc.
- Para mejorar el rendimiento del vehículo es necesario disminuir las masas suspendidas, rediseñando partes como el bastidor y carrocería pues son estas las de mayor peso al momento.
- En futuros diseños es recomendable el uso de materiales compuestos en los distintos componentes para disminuir el peso del vehículo e incrementar los niveles de competitividad.

