



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

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

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

**TEMA: REDISEÑO DE LAS MANGUETAS POSTERIORES DEL  
VEHÍCULO PROTOTIPO PARA COMPETENCIA EN FÓRMULA  
SAE**

**AUTORES:**

**CRISTIAN RICARDO CEPEDA PAREDES**

**CHRISTIAN ALEXANDER TUPIZA QUIMBIULCO**

**DIRECTOR: ING. OSCAR ARTEAGA**

**LATACUNGA**

**2018**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, ***“REDISEÑO DE LAS MANGUETAS POSTERIORES DEL VEHÍCULO PROTOTIPO PARA COMPETENCIA EN FÓRMULA SAE”*** realizado por los señores ***CRISTIAN RICARDO CEPEDA PAREDES*** y ***CHRISTIAN ALEXANDER TUPIZA QUIMBIULCO***, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores ***CRISTIAN RICARDO CEPEDA PAREDES*** y ***CHRISTIAN ALEXANDER TUPIZA QUIMBIULCO*** para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, marzo del 2018**

Ing. Oscar Bladimir Arteaga López

**DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **CRISTIAN RICARDO CEPEDA PAREDES**, con cédula de ciudadanía N° 0503797102 y **CHRISTIAN ALEXANDER TUPIZA QUIMBIULCO**, con cédula de ciudadanía N° 1725590135, declaramos que este trabajo de titulación **“REDISEÑO DE LAS MANGUETAS POSTERIORES DEL VEHÍCULO PROTOTIPO PARA COMPETENCIA EN FÓRMULA SAE”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Latacunga, marzo del 2018**

Cristian Ricardo Cepeda Paredes

C.C.: 0503797102

Christian Alexander Tupiza Quimbiulco

C.C.: 1725590135



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

### AUTORIZACIÓN

Nosotros, **CRISTIAN RICARDO CEPEDA PAREDES** y **CHRISTIAN ALEXANDER TUPIZA QUIMBIULCO**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio institucional el trabajo de titulación **“REDISEÑO DE LAS MANGUETAS POSTERIORES DEL VEHÍCULO PROTOTIPO PARA COMPETENCIA EN FÓRMULA SAE”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, marzo del 2018

Cristian Ricardo Cepeda Paredes

C.C.: 0503797102

Christian Alexander Tupiza Quimbiulco

C.C.: 1725590135

## DEDICATORIA

Dios es vida, todo ocurre de acuerdo a su voluntad y a su tiempo. Le dedico este trabajo por haber sido el guía de mi camino, por haberme dado la vida, llenarme de bendiciones en la trayectoria de mi carrera universitaria y por permitirme llegar a ser lo que ahora soy.

A mis padres Ángel y Cecilia, son infinitas las razones por las cuales dedicarles esta meta, sé que no lo hubiera logrado sin su apoyo, consejos y cariño incondicional no solamente en la universidad sino en toda mi vida.

A mis abuelitos Daniel y Magdalena, por ser como unos segundos padres para mí, su cariño y apoyo fueron primordiales en esta ardua travesía, son invaluable las cosas que han hecho por mí.

A mi hermano Ángelo y mis primos Ian y Adamaris, que al ver este trabajo culminado se den cuenta que pese a las adversidades que se cruzan en la vida, se puede salir adelante y las metas que se propongan se logran cumplir.

A mi tío Fredy, has sido como un hermano para mí, tus consejos y forma de ser ha sido la base para poder ser lo que ahora soy.

A mi querida compañera Daysi y a su madre Dolores, por siempre escucharme y animarme a seguir adelante, sus consejos y palabras de aliento fueron muy útiles cuando más lo necesite.

*Christían Alexander Tupiza Quimbíulco*

## **DEDICATORIA**

### **A Dios.**

*Por haberme permitido llegar hasta este punto y lograr mis objetivos, además de poner a las personas correctas en mi camino.*

### **A mis padres.**

*Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por dedicar su vida a la mía, enseñarme que los sueños se pueden lograr y por la motivación que día a día me ha permitido ser mejor, pero más que nada, por su amor incondicional y sincero.*

### **A mis hermanos.**

*A mi hermano Eduardo, por mostrarme esta gran pasión por la mecánica y los motores, por enseñarme que la familia es lo más importante en la vida y sobre todo por todo el cariño que he recibido. A mi hermano Paul por compartir momentos inolvidables, por ser mi cómplice en tantas aventuras y por ser mi mejor amigo en cada momento.*

### **A mis familiares.**

*Por apoyarme en todas las etapas de mi vida, a mis sobrinas por ser la motivación y alegría de mi vida, a mis primos por el cariño y la amistad tan grande, a mis tíos por la sabiduría, consejos y amor, a mis abuelitos por ser el eje de mi familia por demostrarme que en familia se puede llegar muy lejos.*

### **A mis profesores.**

*Por enseñarme que el conocimiento es la arma más poderosa, por compartir conmigo momentos, experiencias y su amistad, a mi tutor Ing. Oscar Arteaga por acogernos en un momento tan importante de nuestra vida universitaria y brindarnos sus conocimientos, a mi profesor Ing. Euro Mena por apoyarme desde el primer día de clases hasta la culminación de mi carrera.*

### **A mis amigos.**

*Por el cariño, amistad y consejos que me han ayudado tanto a llegar a este punto, pero sobre todo a Daniela por ser mi apoyo, mi motivación, mi mejor amiga, por mostrarme que la felicidad se puede encontrar hasta en los detalles más pequeños y por todo el amor que día a día me brinda.*

**Cristian Ricardo Cepeda Paredes**

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer eternamente a Dios por cuidarme y llenarme de sabiduría cada día, por hacerme entender que su tiempo es perfecto, todo llega de acuerdo a su voluntad y es mucho mejor de cómo lo imaginamos.

Quiero extender un agradecimiento sincero y cariñoso a mis padres por estar junto a mí en todo, por ser los pilares principales en mi vida, gracias por cuidarme, protegerme y por brindarme sus consejos que me llevarán por un camino de bien.

A mis abuelitos Daniel y Magdalena, que siempre han estado ahí preocupados de mí en todo momento. A mi tío Fredy por su amistad y ayuda incondicional, espero de todo corazón que tengas una vida llena de felicidad y éxitos.

A mi querida compañera Daysi y a su madre Dolores, por su apoyo, sinceros consejos, bromas y tiempo que me han dedicado, sus buenas acciones se verán reflejados con los éxitos y amor incondicional de Sebastián.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz que aportaron a mi formación académica, en especial al Ing. Oscar Arteaga mi tutor de proyecto, por haber aportado su conocimiento y dedicación para que este trabajo finalice con éxito.

*Christian Alexander Tupiza Químbulco*

## **AGRADECIMIENTO**

### **A Dios.**

*Por guiarme y darme la sabiduría necesaria para culminar esta nueva etapa de mi vida.*

### **A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L**

*Por ser mi segundo hogar en el cual he aprendido tanto, donde he conocido personas maravillosas y amistades que estarán en mi corazón.*

### **Al Ing. Oscar Arteaga**

*Por el conocimiento y dedicación entregado a este proyecto, por brindarnos su amistad y su apoyo en la culminación de mi vida universitaria.*

### **A Christian Tupiza**

*Por su compromiso, conocimientos, consejos y dedicación a este proyecto pero sobre todo por su amistad sincera.*

### **A mis profesores**

*Por sus conocimientos, amistad y cariño, por ser el impulso a mi vida universitaria.*

### **A mis padres**

*Por apoyarme en todo aspecto para culminar este proyecto, por el cariño, apoyo y motivación para cada día dar lo mejor de mí, por ser la inspiración de cada uno de mis actos pero sobre todo por el amor que he recibido toda mi vida.*

### **A mis familiares**

*A mis hermanos Eduardo y Paul por guiarme y apoyarme en cada momento, a mis sobrinas por ser mi mayor motivación, a mis primos por el cariño, a mis tíos y abuelitos por el amor y cariño que me han permitido seguir adelante cada día.*

### **A Daniela Vasco**

*Por su paciencia, cariño, amistad y amor. Por darme la fuerza para continuar cada día con una sonrisa, por ser el pilar de mi vida pero sobre todo por ser parte de todos mis sueños.*

**Cristian Ricardo Cepeda Paredes**



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARÁTULA.....</b>	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN.....</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN .....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xvi</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xviii</b>

## CAPÍTULO I

<b>1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Descripción resumida del proyecto .....	3
1.4. Justificación e importancia. ....	4
1.5. Objetivos generales y específicos. ....	5
1.5.1. Objetivo General .....	5
1.5.2. Objetivos específicos .....	5
1.6. Metas .....	5
1.7. Hipótesis.....	6
1.8. Variables de la investigación.....	6
1.9. Operacionalización de variables .....	6
1.10. Metodología de desarrollo del proyecto .....	8

## CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
2.1. Introducción .....	10
2.2. Generalidades competencia Formula Student Germany .....	10
2.3. Sistemas de suspensión .....	11
2.3.1. Suspensión de un FSAE .....	11
2.3.2. Configuraciones suspensiones de competición.....	12
2.3.3. Geometría de suspensión .....	14
2.3.4. Mangueta.....	17
2.3.5 Funciones de mangueta .....	18
2.4 Aros, Neumáticos y Centros de rueda.....	19
2.4.1 Aros .....	19
2.4.2 Neumáticos.....	20
2.4.3 Centros de rueda .....	21
2.4.4 Rodamientos.....	22
2.5 Sistema de transmisión.....	24
2.6 Sistema de frenos .....	26
2.7 Ingeniería asistida por computador (CAE) .....	28
2.7.1 Optimización .....	28
2.7.2 Topología de Optimización .....	28
2.8 Teorías de análisis de diseño.....	30
2.8.1 Fuerzas que actúan en las manguetas. ....	30
2.8.2 Dirección y Ubicación de fuerzas .....	31
2.9 Parámetros de diseño.....	32
2.9.1 Teoría de la energía de distorsión (Von Mises).....	32
2.9.2 Deformación .....	33

2.9.3 Factor de diseño .....	34
------------------------------	----

### **CAPÍTULO III**

<b>3. DISEÑO .....</b>	<b>35</b>
3.1 Parámetros de diseño .....	35
3.2 Determinación de cargas .....	37
3.2.1 Frenado .....	37
3.2.2 Aceleración .....	40
3.2.3 Curva .....	45
3.3 Diseño geométrico de la mangueta.....	49
3.3.1 Optimización de la mangueta mediante software. ....	49
3.3.2 Diseño de la mangueta en software CAD.....	56
3.3.3 Simulación de la mangueta mediante software. ....	59
3.3 Construcción.....	66
3.3.1 Proceso de mecanizado por software. ....	66
3.3.2 Desbaste .....	67
3.3.3 Proceso de mecanizado por CNC.....	69

### **CAPÍTULO IV**

<b>4. MONTAJE.....</b>	<b>75</b>
4.1 Montaje de componente .....	74
4.2 Pruebas de funcionamiento .....	77
4.2.1 Aceleración.....	77
4.2.2 Maniobrabilidad Skidpad.....	78
4.2.3 Autocross.....	80
4.3 Análisis de resultados .....	82
4.4 Recursos .....	82

4.4.1 Talento humano .....	82
4.4.2 Recursos tecnológicos. ....	83
4.4.3 Recursos materiales .....	83
4.4.4 Recursos financieros.....	84

## **CAPÍTULO V**

5.1 Conclusiones .....	87
5.2 Recomendaciones .....	89
5.3 Referencias Bibliográficas.....	90
6.4 Anexos.....	93

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Variable Independiente .....	7
Tabla 2. Variable Dependiente .....	8
Tabla 3. Factores de seguridad para diseño estático y dinámico .....	34
Tabla 4. Propiedades Mecánicas del Aluminio c330r.....	62
Tabla 5. Velocidades y Procesos de mecanizado .....	66
Tabla 6. Procesos de mecanizado .....	67
Tabla 7. Tiempo y velocidad del recorrido .....	78
Tabla 8. Resultados prueba Skidpad .....	80
Tabla 9. Resultados prueba autocross.....	82
Tabla 10. Talento humano .....	83
Tabla 11. Construcción.....	84
Tabla 12. Implementación.....	85
Tabla 13. Pruebas .....	85
Tabla 14. Gasto total .....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de planteamiento de los problemas .....	3
Figura 2. Inspección F-SAE .....	11
Figura 3. Suspensión Pull/Push road .....	12
Figura 4. Sistema de suspensión Push Road .....	13
Figura 5. Sistema de suspensión Pull Road.....	14
Figura 6. Ángulo Camber.....	15
Figura 7. Ángulo Caster .....	15
Figura 8. Ángulo de inclinación de dirección .....	16
Figura 9. Radio de pivote.....	16
Figura 10. Manguetas F-SAE .....	17
Figura 11. Mangueta.....	18
Figura 12. Aros Formula Student .....	19
Figura 13. Neumáticos Formula SAE.....	21
Figura 14. Centro de rueda eje fijo.....	21
Figura 15. Centro de rueda eje libre .....	22
Figura 16. Rodamiento de rodillos cónicos .....	23
Figura 17. Rodamiento de bolas .....	23
Figura 18. Recubrimiento del sistema de transmisión.....	24
Figura 19. Cubierta sistema de transmisión .....	25
Figura 20. Disco de freno.....	27
Figura 21. Optimización de una pieza.....	28
Figura 22. Fuerzas en la mangueta .....	31
Figura 23. Elipse de la energía de la distorsión .....	33
Figura 24. Diagrama esfuerzo vs deformación.....	33
Figura 25. Frenado .....	37
Figura 26. Vista lateral de un vehículo tipo fórmula.....	38
Figura 27. Radio del neumático .....	40
Figura 28. Vista lateral del vehículo punto B.....	41
Figura 29. Vista lateral del vehículo punto A.....	42
Figura 30. Vista lateral fuerza de fricción punto A .....	43
Figura 31. Vista lateral fuerza de fricción punto B.....	44
Figura 32. Paso por una curva.....	45

Figura 33. Fuerza Centrífuga.....	46
Figura 34. Vista frontal de un vehículo tipo fórmula .....	47
Figura 35. Vista superior del vehículo .....	48
Figura 36. Simulación del bloque de aluminio.....	49
Figura 37. Puntos de anclaje .....	49
Figura 38. Icono de generador de forma.....	50
Figura 39. Icono de restricción de pasador .....	50
Figura 40. Restricción de pasador en la simulación .....	51
Figura 41. Icono conservar región .....	51
Figura 42. Ubicación de regiones a conservar .....	52
Figura 43. Icono fuerza.....	52
Figura 44. Fuerzas aplicadas.....	53
Figura 45. Icono Configuración del generador de forma .....	53
Figura 46. Ventana de configuración de forma .....	54
Figura 47. Icono Generar Forma.....	54
Figura 48. Ejecución de forma .....	55
Figura 49. Reducción de forma al 60%-70%-80% .....	55
Figura 50. Placa base de la mangueta.....	56
Figura 51. Inclusión de soportes para suspensión .....	57
Figura 52. Aplicación de nervios de material en la mangueta .....	57
Figura 53. Aplicación de tope y brida de seguridad del rodamiento .....	58
Figura 54. Diseño de mangueta posterior terminada .....	59
Figura 55. Importación del archivo stp al software .....	60
Figura 56. Columna Geometry.....	60
Figura 57. Columna Static Structural .....	61
Figura 58. Creación del material .....	61
Figura 59. Propiedades del aluminio c330r .....	63
Figura 60. Pestaña Model.....	63
Figura 61. Diseño en Mechanical.....	64
Figura 62. Mallado de la mangueta.....	64
Figura 63. Asignación de soporte fijo y fuerzas.....	65
Figura 64. Simulación de esfuerzos (Von Mises) .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 65. Simulación de deformación.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

Figura 66. Simulación factor de diseño .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 67. Desbaste del bloque de aluminio .....	68
Figura 68. Desbaste de manguetas .....	68
Figura 69. Desbaste manguetas .....	69
Figura 70. Centro de mecanizado .....	70
Figura 71. Desbaste del bloque de aluminio .....	70
Figura 72. Proceso de desbaste primera cara .....	71
Figura 73. Desbaste Segunda cara .....	71
Figura 74. Acabado de soportes de suspensión .....	72
Figura 75. Perforación de mangueta.....	72
Figura 76. Manguetas terminadas .....	73
Figura 77. Pesaje completo de la mangueta posterior .....	73
Figura 78. Anclaje de soporte superior de suspensión.....	74
Figura 79. Anclaje de soportes inferiores de suspensión .....	74
Figura 80. Acople general de soportes de mangueta posterior .....	75
Figura 81. Instalación de la manzana en la mangueta .....	75
Figura 82. Instalación de mangueta en el vehículo .....	76
Figura 83. Instalación de la rueda en el vehículo .....	76
Figura 84. Prueba de aceleración .....	77
Figura 85. Circuito de prueba de maniobrabilidad.....	78
Figura 86. Trazado de circunferencia en el piso .....	79
Figura 87. Recorrido del vehículo .....	79
Figura 88. Circuito recorrido en la prueba.....	81
Figura 89. Prueba de circuito cerrado .....	81



## RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se detalla el rediseño y construcción de las manguetas posteriores del vehículo tipo fórmula SAE 2012 “Cotopaxi II”. La mangueta es uno de los elementos más importantes en el vehículo por ser el que lleva los puntos de anclaje de la suspensión, mordaza de frenos y centros de rueda. Para el diseño de nuestro proyecto utilizamos programas aplicados al diseño de elementos de máquina y de igual manera para la simulación de las fuerzas aplicadas a la que será sometida nuestra mangueta. El material utilizado para la construcción es el aluminio c330r, ya que por ser un material liviano y resistente es utilizado para la fabricación de diferentes autopartes en vehículos de este tipo de competición. En el proceso de construcción se utilizará una máquina fresadora CNC de tres ejes, ya que al ser elaborada en una sola pieza sólida, los puntos de concentración de esfuerzos que se acumulan en los cordones de suelda se eliminarán, subiendo de esta manera el factor de diseño y la vida útil de la mangueta. Por último se realizan pruebas de funcionamiento para verificar que las manguetas posteriores y el material utilizado en nuestra investigación son completamente viables para este tipo de vehículos.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **DISEÑO DE MANGUETAS**
- **MECANIZADO CNC**
- **MANGUETAS POSTERIORES**
- **SISTEMA DE SUSPENSIÓN**
- **FÓRMULA SAE**

## **ABSTRACT**

The present graduation work details the redesign and construction of the rear stub axles of the formula car SAE 2012 "Cotopaxi II". The stub axle is one of the most important elements in the vehicle because it is the one that carries the anchor points of the suspension, brake calipers and Wheel centers. For the design of our project we use programs applied to the design of machine elements and in the same way for the simulation of the forces applied to which our stub axle will be subjected. The material used for the construction is the aluminum c330r, because of it is a light and resistant material, it is used for the manufacture of different auto parts in vehicles of this type of competition. In the construction process, a three axis CNC milling machine will be used, given that it is made in a single solid piece, the concentration points that accumulate in the Weld beads will be eliminated, thus increasing the factor of design and the service life of the stub axle. Finally, performance tests are carried out to verify that the rear stub axles and the material used in our research are completely viable for this type of vehicles.

## **KEYWORDS**

- **DESIGN STUB AXLES**
- **MACHINING CNC**
- **STUB AXLES SUBSEQUENT**
- **SUSPENSION SYSTEM**
- **SAE FORMULA**

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Antecedentes

La SAE (Society of Automotive Engineers) es la base del diseño automotriz a nivel mundial, con su división Formula SAE se promueve el intercambio de conocimientos y habilidades de las distintas universidades; En la mencionada competencia la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE participa con su equipo de Competición FESPE, conformado por un grupo de estudiantes de las diferentes carreras de la universidad. En el año 2011 en equipo FESPE participa en Alemania en la competencia Formula Student Germany con el primer prototipo construido con materiales y procesos de manufactura de bajo costo. Posterior a esta competencia se renueva el equipo el cual utiliza materiales y procesos de manufactura diferentes, por lo que se pudo fabricar un prototipo con mejores características de suspensión, bastidor, así como la reducción de pesos. Para el año 2013 se empieza a construir el tercer prototipo con un mejor trabajo de ingeniería que le permitía tener un comportamiento dinámico adecuado. En el año 2014 se concluye la construcción del tercer prototipo, permitiéndole al equipo de Competición FESPE participar por tercera vez en la competencia Formula Student Germany.

Cada año la competencia de la Formula Student cambia su reglamentación enfocándose en la seguridad del piloto, aunque no manifiesta muchos cambios en la suspensión de los vehículos si nos presenta algunas regulaciones en cuanto a la distancia entre ejes o trocha del auto.

(SAE International, 2011) El artículo número 2 literal B2.3 del reglamento de la Formula SAE 2012 manifiesta que “El coche debe tener una distancia entre ejes de por lo menos 1525 mm (60 pulgadas). La distancia entre ejes se mide desde el centro del contacto de tierra de los neumáticos delanteros y traseros con las ruedas dirigidas hacia adelante.”

Las piezas fabricadas por el equipo FESPE en el año 2012 tienen un peso de 2,5 kg utilizando planchas de acero A36 de 10 mm de espesor.

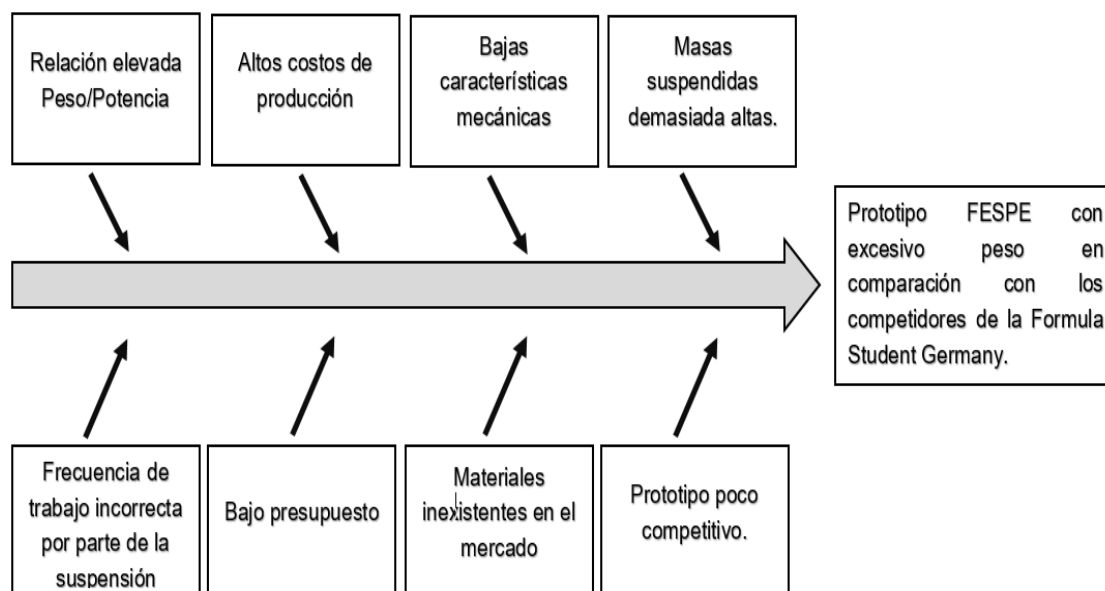
## **1.2. Planteamiento del problema**

Los prototipos construidos por el equipo FESPE en las pasadas competencias presentan un peso excesivo en sus diseños, una frecuencia de trabajo de la suspensión incorrecta, masas no suspendidas demasiado elevadas, etc. Esta investigación nace con el fin de tener un prototipo con mejores características y más competitivo para futuras competencias en la Formula Student Germany.

El excesivo peso del prototipo se debe a que en su fabricación los miembros del equipo FESPE utilizaron materiales de alta densidad ya que en nuestro país los materiales y procesos de manufactura son demasiado elevados. Teniendo en cuenta que el maquinado de las manguetas del prototipo FESPE del año 2012 se realizó en tornos de 4 ejes y utilizando acero A36.

Nuestra investigación se centra en la reducción del peso de las manguetas traseras, que actualmente se encuentra en 2,5 kg. Se utilizará los mismos puntos de anclaje, pero se cambiará el material y se optimizará el diseño.

Efectos:



**Figura 1. Árbol de planteamiento de los problemas**

### 1.3. Descripción resumida del proyecto

El proyecto de investigación se realizará en diferentes etapas para diseñar, optimizar y construir las manguetas traseras del Formula FESPE 2012.

En primer lugar, se diseñará el elemento utilizando software tipo CAE (Ingeniería Asistida por Computador) tomando en cuenta los mismos puntos de anclaje de las anteriores manguetas del Formula FESPE. Posterior a este proceso se realizará un análisis de elementos finitos al aplicar combinaciones de cargas a las cuales se someterá el componente con el fin de optimizar nuestro diseño al eliminar material innecesario. Como última etapa se desarrollará el proceso de corte de la geometría de la mangueta, se realizará usando un centro de mecanizado CNC programable para obtener mayor precisión en cada parte de la mangueta y de esta manera eliminar la concentración de esfuerzos en los cordones de suelda.

#### 1.4. Justificación e importancia.

En la página web de la competencia Formula Student Germany (formulaStudent, 2012), se observa que el peso promedio de los vehículos es de 216,6 kg, pero nuestro vehículo tiene un peso de 270 kg. En la competencia los prototipos utilizan un motor que genera alrededor de 100 hp de potencia con una restricción de aire en la admisión que se especifica en la normativa FSAE artículo IC1.6. En base a estos datos se realiza la relación PESO/POTENCIA que es de 2,16 kg por cada hp, pero nuestro vehículo por su peso tiene una relación de 2,7 kg por cada hp, y por este motivo que se necesita construir un prototipo más liviano.

Para disminuir peso del prototipo el método que mejor resultados ofrece es la optimización del diseño mediante software que permita tener la geometría exacta del elemento sin afectar sus características mecánicas.

Optimizar el diseño de las manguetas traseras del prototipo Formula FESPE 2012 permitirá una reducción en el peso del vehículo, actualmente cada mangueta pesa 2,5 kilogramos, al concluir este proyecto se reducirá el peso de cada mangueta, lo que nos permite mejorar la relación peso/potencia de nuestro prototipo y llegar a tener un vehículo más competitivo.

La investigación se basa en la metodología de la optimización y rediseño la cual nos permite tener un elemento óptimo. Para desarrollar esta metodología en primer lugar se deberá realizar un análisis, recolección de datos y medidas de la mangueta que actualmente utiliza el prototipo Formula FESPE 2012 para después ser modelado con la ayuda de software CAD (Diseño Asistido por Computadora) y posterior ser exportado el diseño a un software de optimización que permita especificar las cargas y generar áreas donde se pueda eliminar material sin alterar las características de la mangueta. Por último, utilizar un análisis de elementos finitos mediante software CAE y simular el comportamiento de la mangueta al aplicarle las cargas que deberá soportar.

## **1.5. Objetivos generales y específicos.**

### **1.5.1. Objetivo General**

- Rediseñar las manguetas traseras del prototipo Formula FESPE del año 2012 mediante la utilización de software CAE y construirlo en materiales livianos para mejorar la relación peso/potencia del vehículo.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Analizar la influencia que tiene la metodología de la optimización en el rediseño de las manguetas traseras de un prototipo formula.
- Diseñar las manguetas traseras del formula FESPE del año 2012 utilizando software CAD.
- Simular las cargas a las que se encuentran sometidas las manguetas traseras mediante software CAE para la reducción de masas en el diseño.
- Construir las manguetas traseras para el Formula FESPE del año 2012 rediseñada.

## **1.6. Metas**

- Utilizar la metodología de la optimización y rediseño como herramienta para eliminar peso de las manguetas traseras de un prototipo formula student.
- Analizar el alcance que tiene la optimización en el diseño de las manguetas sin afectar el factor de seguridad al segundo mes de trabajo.
- Diseñar las manguetas traseras con la ayuda de software CAD y CAE manteniendo los puntos de anclaje para el tercer mes de trabajo.

- Construir las manguetas traseras para el prototipo Formula FESPE 2012 a base de Aluminio para ser montado en el vehículo en el cuarto mes de trabajo.
- Realizar pruebas establecidas en el Reglamento de la Formula SAE y validar el funcionamiento de las manguetas traseras en el quinto mes de trabajo.

### **1.7. Hipótesis**

El rediseño de la mangueta trasera del prototipo Formula FESPE 2012 reducirá el peso del vehículo y soportará los ensayos reglamentados por la competencia Formula Student Germany.

### **1.8. Variables de la investigación.**

- **Variable Independiente:**

Rediseño de la mangueta trasera

- **Variables Dependientes:**

Peso de las manguetas posteriores y resistencia a pruebas de funcionamiento.

### **1.9. Operacionalización de variables**

- **Variable Independiente:**

Rediseño de la mangueta trasera



Tabla 1.

**Variable Independiente**

Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnica
<b>Son los parámetros que se miden o comparan entre el diseño original y el optimizado</b>	Tecnología	Distancia entre puntos de apoyo	mm	Medición
	Tecnología	Propiedades físicas y mecánicas del material	Kg	Medición
	Tecnología	Factor de seguridad	-	Medición
	Tecnología	Carga máxima	MPa	Medición

- **Variable Dependiente**

Peso de las manguetas posteriores y resistencia a pruebas de funcionamiento.

Tabla 2.

**Variable Dependiente**

Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnica
<b>Son las pruebas o ensayos que permiten evaluar la masa del componente y resistencia al ser sometido a pruebas de verificación</b>	Tecnología	Masa	kg	Observación
	Tecnología	Aceleración	m/s	Observación
	Tecnología	Skid - Pad	m/s	Observación
	Tecnología	Autocross	m/s	Observación

**1.10. Metodología de desarrollo del proyecto**

Dentro del proyecto se realizara las siguientes etapas:

**Etapas de investigación**

Consiste la parte teórica del proyecto, donde las fuentes bibliográficas de información deben ser confiables como:

- Libros
- Artículos de revistas
- Paper's de investigación.
- Proyectos relacionados.

**Etapas de diseño**

Dentro de esta etapa se aplicaran los siguientes puntos:

- Medición de puntos de anclaje de la mangueta.

- Aplicación de teorías de diseño estático y fatiga.
- Simulación de esfuerzos al que será sometido.
- Determinación de la geometría más óptima para garantizar reducción de masa y soporte de esfuerzos a la que va estar sometida.

#### Etapa construcción

En esta etapa empieza la parte práctica donde se realizara los siguientes aspectos:

- Selección de materiales.
- Generación de códigos G.
- Mecanizado de las manguetas posteriores.
- Peso de la mangueta.
- Instalación de las manguetas en el vehículo.

#### Etapa pruebas

Dentro de esta etapa se empieza a realizar las pruebas de funcionamiento para garantizar la funcionabilidad del proyecto, entre estas tenemos las siguientes:

- Aceleración.
- Skid - Pad.
- Autocross.

## CAPÍTULO II

### **2. Marco teórico**

#### **2.1. Introducción**

En la actualidad, “La sociedad de Ingenieros Automotrices” (SAE), realiza un evento internacional de competencia automovilística denominado Formula Student, donde participan equipos universitarios de todos los países en el cual deben diseñar y fabricar un vehículo prototipo tipo F-SAE y realizar las diferentes pruebas que tiene la competencia.

Uno de los diferentes tipos de componentes del vehículo F-SAE son las manguetas tanto delanteras como posteriores, estas deberán superar con éxito todas las pruebas estáticas como dinámicas que aplicarán en la competencia.

En el este capítulo se dará a conocer el fundamento teórico de los sistemas que intervienen ya sea parcial o total con las manguetas como son: Sistema de dirección, sistema de frenos y sistema de suspensión. Además, se verá las generalidades del reglamento F-SAE sobre estos sistemas.

#### **2.2. Generalidades competencia Formula Student Germany**

El objetivo de este tipo de competencia F-SAE, es que los estudiantes universitarios trabajen en el diseño, fabricación y desarrollo de un vehículo prototipo de competencias.

En el evento deberán obtener un vehículo tipo fórmula la cual debe cumplir normativas del mercado no profesional.

Este tipo de competencia abarca diversos aspectos de la industria automotriz como lo son: diseño, manufactura, mercadotecnia, finanzas

investigación y desarrollo, con estos puntos el estudiante tendrá que demostrar los conocimientos tanto teóricos como prácticos aprendidos en las aulas y enfocarlas en un área de trabajo real, la figura dos muestra cómo se realiza la inspección del vehículo dentro de la competencia.



**Figura 2. Inspección F-SAE**

Fuente: (Clos, Balbas, & Urrea, 2013)

## **2.3. Sistemas de suspensión**

### **2.3.1. Suspensión de un FSAE**

Según el artículo 6 sección T6.1, del reglamento F-SAE 2017-18 la suspensión debe cumplir los siguientes requisitos:

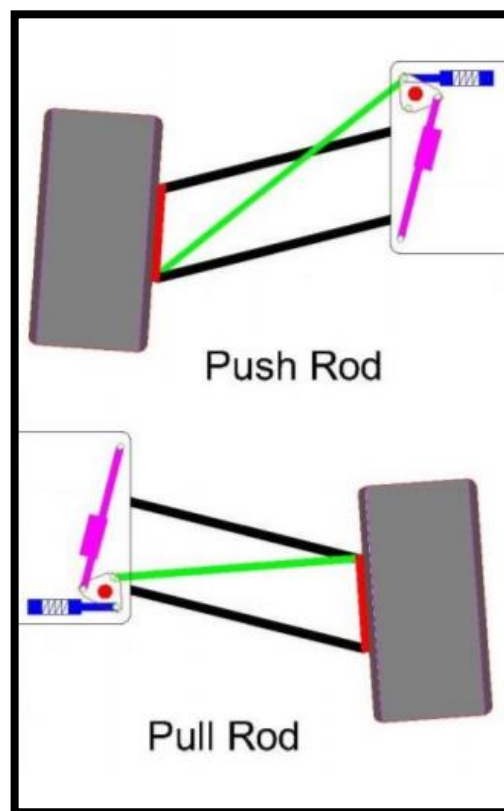
El automóvil debe estar equipado con un sistema de suspensión completamente funcional con amortiguadores delanteros y traseros, con un recorrido útil de la rueda de al menos 50.8 mm (2 pulgadas), 25.4 mm (1 pulgada) de bote y 25.4 mm (1 pulgada) de rebote, con el conductor sentado. (SAE, 2017, pág. 61)

“Todos los puntos de montaje de la suspensión deben ser visibles en la inspección técnica, ya sea por visión directa o por quitar cualquier cubierta” (SAE, 2017, pág. 61).

### 2.3.2. Configuraciones suspensiones de competición

Dentro de la suspensión independiente existes dos tipos como son:

'Pull Rod' y 'Push Rod' la diferencia básica entre las dos es que en una la barra trabaja a tracción y la otra a compresión. Podríamos decir que a nivel de suspensión no hay diferencia entre uno u otro, dejando de lado los puntos de anclaje que evidentemente influirán mucho en la dinámica del monoplaza.



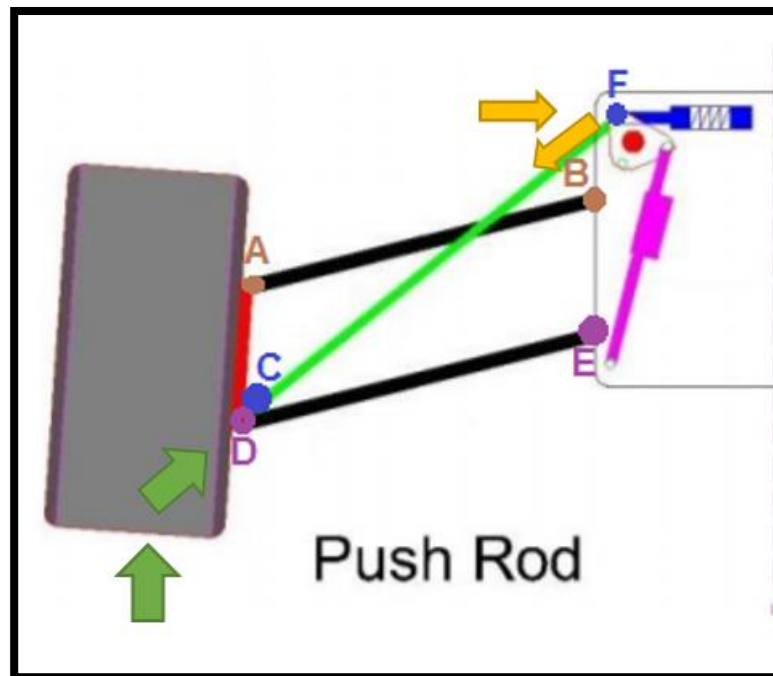
**Figura 3. Suspensión Pull/Push road**

Fuente: (Orejuela, 2016)

## Push – Rod

Este tipo de suspensión es la que se venía usando por todos los equipos de fórmula uno, hasta el cambio de RBR (Red bull racing). Como se observa en la figura 4, consta principalmente de los dos triángulos de suspensión ABC y DBE, una barra diagonal CF, que trabaja a compresión y que empuja a su vez un balancín que esta de color verde que acciona un conjunto muelle color rojo y amortiguador de color azul.

Al subir la rueda ante un impacto con flechas de color verde, giran los dos triángulos ABC y DBE. Con estas se mueve la barra diagonal CF, que empuja el balancín identificado con el punto rojo, que actúa a su vez sobre el amortiguador de color azul, haciendo que se comprima. Esto implica que la barra diagonal CF, funcione a compresión, dando el nombre al sistema, también se pueden ver en flechas amarillas las fuerzas que transmiten el impacto en la rueda hasta el amortiguador.

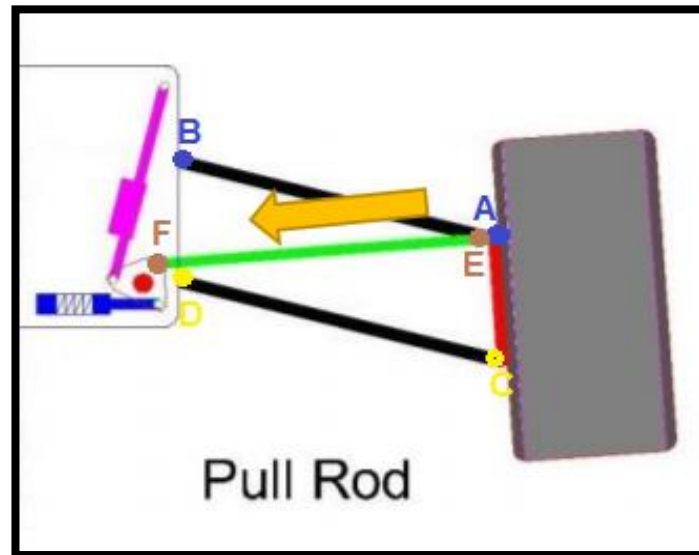


**Figura 4. Sistema de suspensión Push Road**

Fuente: (Orejuela, 2016)

## Pull – Rod

En este caso como muestra la figura 5, la barra diagonal EF, tira del balancín identificado con el punto rojo, hasta que forman una línea recta. Al estar el amortiguador de color azul, unido al balancín, se comprime, se puede ver la flecha de color naranja que representa la dirección de movimiento del conjunto barra a tracción y balancín.



**Figura 5. Sistema de suspensión Pull Road**

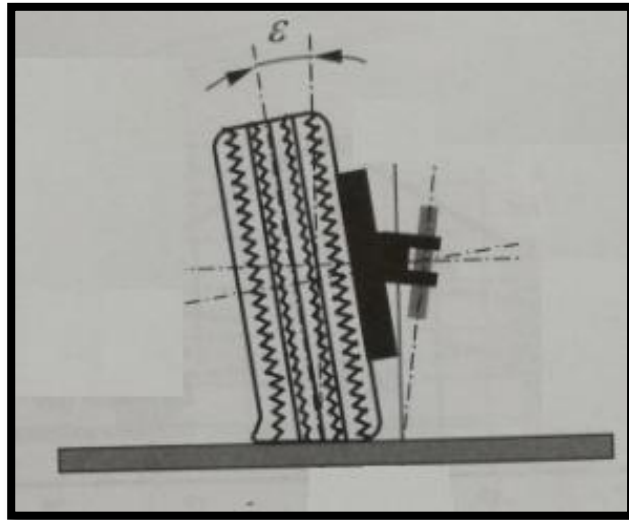
Fuente: (Orejuela, 2016)

### 2.3.3. Geometría de suspensión

“La geometría de la suspensión está definida por los siguientes parámetros: camber, caster, kingpin angle y scrub radius” (Gaffney & Salinas, 1997, pág. 03) .

- **Ángulo de caída** (*Camber “ $\epsilon$ ”*): Como muestra la figura 6, es el ángulo que forma la rueda con respecto a la vertical. Se considera que es un ángulo negativo cuando la parte superior de la rueda se inclina hacia la línea central del vehículo.

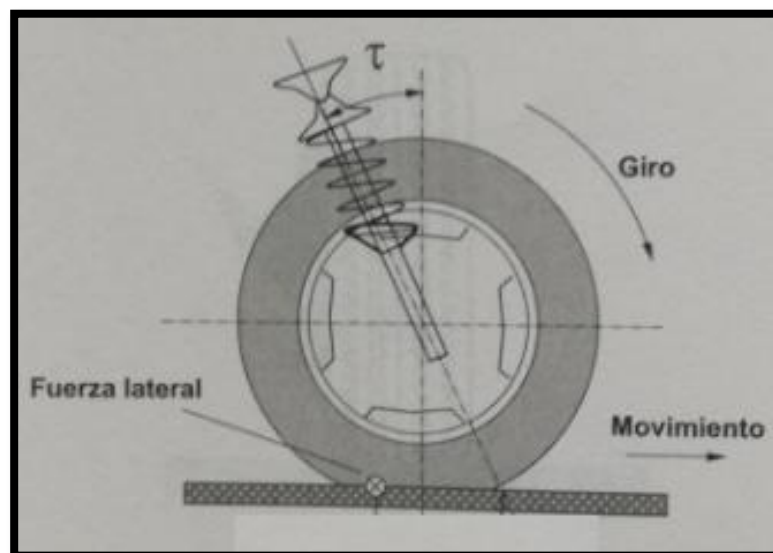




**Figura 6. Ángulo Camber**

Fuente: (Luque, Alvarez, & Vera, 2005)

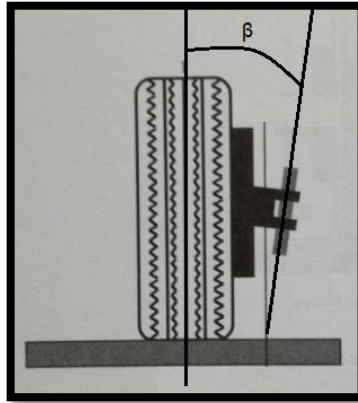
- **Ángulo de avance** (*Caster* " $\tau$ "): Es el ángulo de inclinación de la mangueta que forma en el plano vertical del eje de la rueda, como se observa en la figura 7, visto de un vehículo lateralmente.



**Figura 7. Ángulo Caster**

Fuente: (Luque, Alvarez, & Vera, 2005)

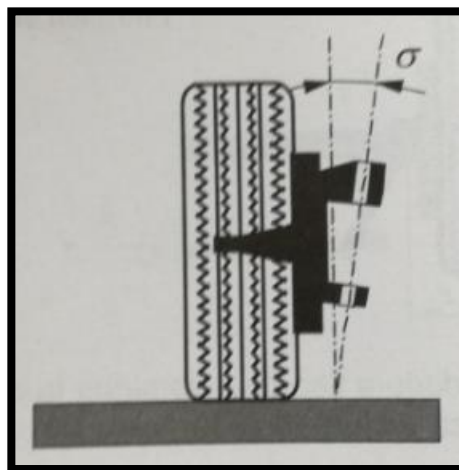
- **Ángulo de inclinación de dirección (Kingpin Angle):** Como se observa en la figura 8, es la proyección de una línea imaginaria entre la rótula superior y la rótula inferior, con respecto al eje central de la rueda, dando como resultado el ángulo  $\beta$ .



**Figura 8. Ángulo de inclinación de dirección**

Fuente: (Luque, Alvarez, & Vera, 2005)

- **Ángulo de pivote ( $\sigma$ ):** En la figura 9 se muestra que el ángulo de pivote, forma el eje de la articulación de la mangueta con el plano vertical desde su frente.



**Figura 9. Radio de pivote**

Fuente: (Luque, Alvarez, & Vera, 2005)

### 2.3.4. Mangueta

Las manguetas son elementos que sirven de acople entre el sistema de suspensión y dirección con las ruedas, en muchos de los casos las manguetas albergan a la mordaza de freno, centros de rueda. A su vez estas deben dar cabida a todos los puntos de la suspensión como son: rotula superior, rotula inferior, varillaje de la dirección, centro de rueda, rodillo y mordazas, en la figura 10 se muestra una mangueta del vehículo tipo fórmula SAE.

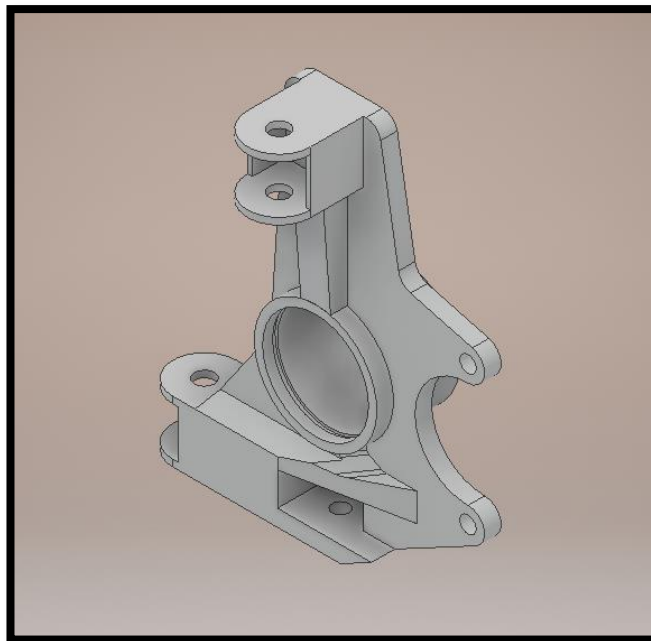


Figura 10. Manguetas F-SAE

### 2.3.5 Funciones de mangueta

En la construcción de vehículos, se debe considerar la mejora de los diseños para reducir costos y tiempo de producción, además de disminuir peso. Bajo ese criterio se utiliza en la actualidad, software de simulación CAD y CAE, que permite determinar previamente si un componente o mecanismo soportará las cargas y restricciones. Para establecer en el diseño la forma, dimensión y material, se debe conocer las funciones de las manguetas, las cuales se detallan a continuación: (Mena, 2017)

- Resistir las fuerzas alrededor del eje transversal del vehículo, causados por la tracción y frenado.
- Soportar los momentos de torsión alrededor del eje longitudinal del vehículo, cuando el vehículo curva y/o pasa sobre superficies irregulares.
- Encajar dentro del aro de la rueda y sostener las mordazas de freno.
- Resistir las fuerzas que transmite y recibe de la suspensión.



**Figura 11. Mangueta**

## 2.4 Aros, Neumáticos y Centros de rueda

### 2.4.1 Aros

Según el artículo T6.3 del reglamento F-SAE 2017-18 (SAE, 2017) afirma. “Los aros del automóvil deben tener 203,3 mm (8,0 pulgadas) o más de diámetro” (p 61).

Las dimensiones de aros utilizados en competencias F-SAE van de 10 pulgadas a 13 pulgadas.

“Los aros de 13 pulgadas proporcionan un mayor espacio donde se pueden empaquetar las manguetas, recomendados para equipos de primer año en la competencia F-SAE. La desventaja es su alto peso por su tamaño” (Mejía, 2015).

“Los aros de 10 pulgadas tienen la ventaja de ser ligeros ya que reducen su tamaño con relación a los aros de 13 pulgadas. Tiene como desventaja el espacio interior menor, esto podrían ocasionar problemas de funcionamiento y de diseño” (Mejía, 2015).

Considerando estos aspectos, se determinó utilizar aros de 13 pulgadas de diámetro por las ventajas que ofrecen para equipos de F-SAE y el mayor espacio interior que brinda. Como se observa en la figura 12, muestra un ejemplo de aro de magnesio de fórmula SAE, este criterio fue analizado por el equipo que diseñara la suspensión. (Mejía, 2015)



**Figura 12. Aros Formula Student**

Fuente: (Oz, 2015)

## 2.4.2 Neumáticos

Según el artículo T6.4 del reglamento F-SAE 2017-18 (SAE, 2017) afirma. “Los vehículos pueden tener dos tipos de neumáticos de la siguiente manera:” (p 61).

- Neumáticos secos: los neumáticos del vehículo cuando se presentan para la inspección técnica se definen como "neumáticos secos". Los neumáticos secos pueden ser de cualquier tamaño o tipo. Pueden ser slicks o treaded.
- Neumáticos de lluvia: los neumáticos de lluvia pueden ser de cualquier tamaño o tipo de neumático con o sin rosca provista:
  1. Las ranuras de la banda de rodadura deben ser moldeados por el fabricante del neumático, o cortados por el fabricante del neumático designado. Cualquier surco que se haya cortado debe tener pruebas documentadas de que se hizo de acuerdo con estas reglas.
  2. Hay una profundidad mínima de la banda de rodadura de 2.4 mm (3/32 pulgada).

NOTA: El corte manual, ranurado o modificación de los neumáticos por parte de los equipos está específicamente prohibido.

Dentro de cada juego de neumáticos, el compuesto o tamaño del neumático, o el tipo o tamaño de la rueda no pueden cambiarse después de que haya comenzado la revisión. Los calentadores de llantas no están permitidos. No se pueden aplicar potenciadores de tracción a los neumáticos después de que haya comenzado la revisión, o en cualquier momento en el sitio de la competencia. (SAE, 2017)

En la figura 13 se puede observar los tipos de labrados que tienen los neumáticos de vehículos tipo fórmula para los diferentes suelos.



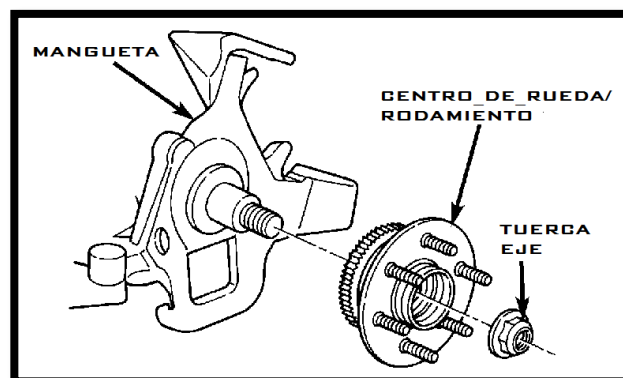
**Figura 13. Neumáticos Formula SAE**

Fuente: (Pirelli, 2017)

### 2.4.3 Centros de rueda

El propósito del centro de rueda es proporcionar un punto fijo de rotación para la rueda y el disco de freno, de esta manera transmitir el par de frenado del disco al neumático. Como se observa en la figura 14, en la parte delantera el centro de rueda mantiene sujeto al rodamiento, y soporta el momento que se genera cuando el vehículo toma una curva, existen dos tipos de configuración de centros de rueda: (Mejía, 2015)

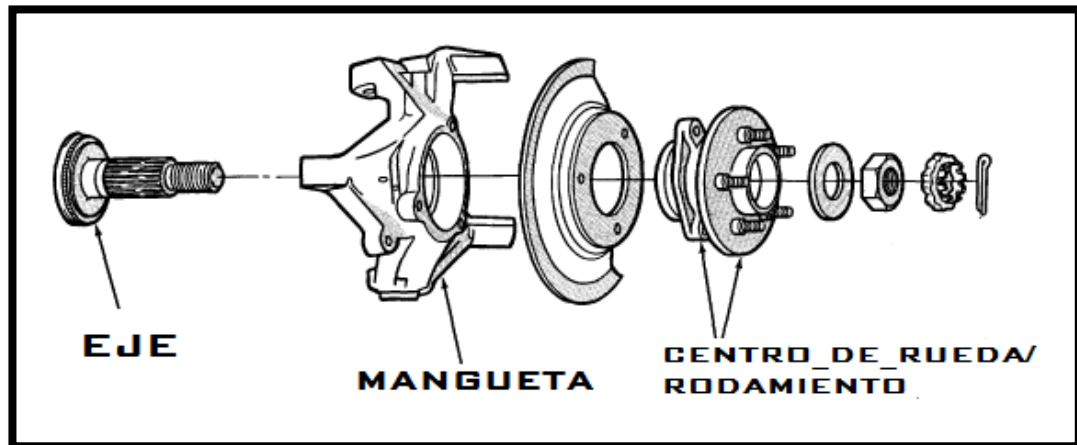
Utilizar un eje que vaya fijo en la mangueta y el rodamiento, se coloca entre el eje fijo y el centro de rueda. La ventaja de esta configuración es que se puede compactar mejor el diseño de la mangueta.



**Figura 14. Centro de rueda eje fijo**

Fuente: (Answer, 2014)

En la figura 15 se muestra la segunda configuración, existe un eje que gira junto al centro de rueda, en este caso el eje se encuentra en la pista interna del rodamiento mientras que la pista externa del rodamiento se mantiene fija dentro de la mangueta. La desventaja es que esta configuración utiliza un elemento adicional que es el eje, pero es simple en su diseño.



**Figura 15. Centro de rueda eje libre**

Fuente: (Answer, 2014)

#### 2.4.4 Rodamientos

El rodamiento permite que el centro de rueda pueda girar libremente con el neumático, mientras la mangueta se mantiene fija en su posición vertical, existen varios tipos de rodamientos, para efecto de esta investigación se describirán los utilizados en vehículos tipo fórmula, y estos son. (Mejía, 2015)

Rodillos cónicos: funcionan mediante una serie de rodillos cónicos que se ubican entre dos pistas de metal como se observa en la figura 16, estos tipos de rodillos pueden soportar cargas de tipo axial y radial en una sola dirección, por este motivo es necesario dos rodillos cónicos enfrentados entre sí para que puedan soportar cargas radiales en ambos sentidos. (p.12)

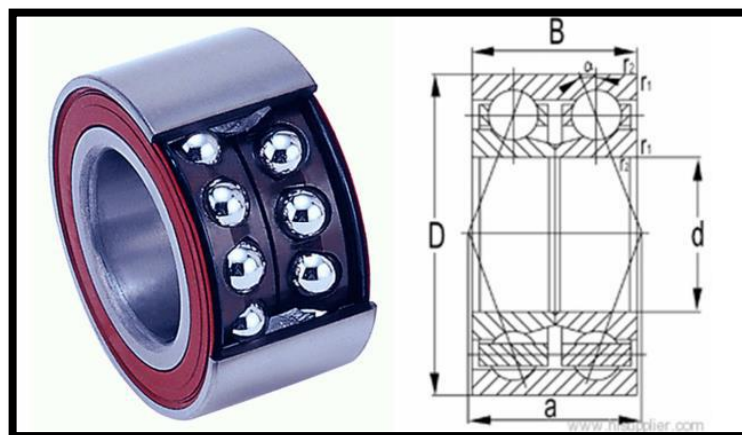




**Figura 16. Rodamiento de rodillos cónicos**

Fuente: (Gaes, 2015)

Rodillos de bolas: los rodamientos de bolas de contacto angular pueden soportar cargas radiales y axiales en una sola dirección. La diferencia con los rodamientos de rodillos cónicos es que estos tienen una menor fricción interna y pueden girar con mayor facilidad. Se pueden encontrar de una o como se observa en la figura 17 de dos filas de rodillos de bolas, que soportan cargas en ambas direcciones. (Mejía, 2015)



**Figura 17. Rodamiento de bolas**

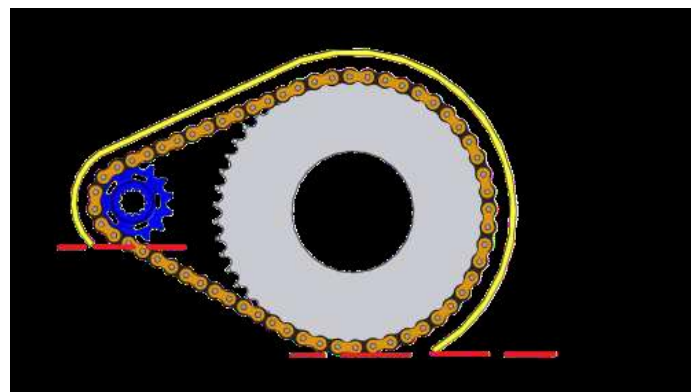
Fuente: (NTN, 2009)

## 2.5 Sistema de transmisión

Para el sistema de transmisión como indica el artículo T8.3 de la SAE 2017 - 2018, puede utilizar cualquier variedad de tren motriz o transmisión.

Según el reglamento de la SAE, el artículo T8.4 indica cómo debe estar equipado el blindaje y protecciones para el tren motriz, a continuación, se especificará que debe cumplir en los siguientes ítems.

T8.4.1 Equipo de transmisión expuesto a alta velocidad, tales como transmisiones continuamente variables (CVT), piñones, engranajes, poleas, convertidores de par, embragues, transmisiones por correa, accionamientos de embrague y motores eléctricos, debe estar equipado con protectores de dispersión en caso de falla. Como se observa en la figura 18, el escudo de transmisión final debe cubrir la cadena o el cinturón desde el piñón de transmisión hasta el piñón accionado / rueda de cadena / correa o polea. El escudo de transmisión final debe comenzar y terminar paralelo al punto más bajo de la rueda de cadena / correa / polea. (SAE, 2017)



**Figura 18. Recubrimiento del sistema de transmisión**

Fuente: (SAE, 2017)

“Los paneles del cuerpo u otras cubiertas existentes no son aceptables a menos que estén contruidos con materiales aprobados según T8.4.3 o T8.4.4” (SAE, 2017).

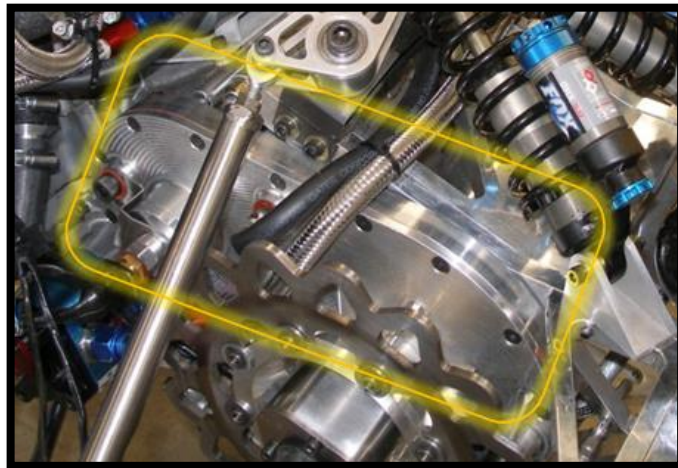
“Comentario: Los escudos de dispersión están destinados a contener partes del tren motriz que podrían separarse del automóvil” (SAE, 2017).

“T8.4.2 El material perforado no se puede usar para la construcción de escudos de dispersión” (Ibid., p. 66).

T8.4.3 Accionamiento de cadena - Los escudos de dispersión para cadenas deben estar hechos de acero de al menos 2,66 mm (0,105 pulgadas) (no se permiten alternativas) y tener un ancho mínimo igual a tres (3) veces el ancho de la cadena. El protector debe estar centrado en la línea central de la cadena y permanecer alineado con la cadena debajo de todas condiciones. (Ibid., p. 66).

T8.4.4 Transmisión de correa no metálica: los escudos de dispersión para correas deben estar fabricados con al menos 3,0 mm (0,120 pulgadas) de aleación de aluminio 6061-T6 como se observa en la figura 19 y tener un ancho mínimo igual a 1,7 veces el ancho de la correa. El protector debe estar centrado en la línea central de la correa y permanecer alineado con la correa en todas las condiciones. (Ibid., p. 66).

“T8.4.5 Sujetadores de fijación - Todos los sujetadores que unen escudos de dispersión y protectores deben tener un mínimo de 6 mm grado métrico 8.8 (1/4 pulgada SAE Grado 5) o más fuerte” (Ibid., p. 66).



**Figura 19. Cubierta sistema de transmisión**

**Fuente:** (Germany, 2008)

## 2.6 Sistema de frenos

El sistema de frenos permite que el vehículo reduzca su velocidad o se detenga completamente de una manera controlada y segura, además de tener unas características eficientes para los diferentes tipos de pistas, la figura 20 muestra como se ve un disco de freno para vehículos tipo fórmula, según el reglamento de SAE 2017 – 2018 de la competencia, el sistema de frenos debe cumplir con los siguientes requisitos mostrados en los ítems a continuación.

### T7.1 Sistema de frenos - Generalidades

El automóvil debe estar equipado con un sistema de frenado que funcione en las cuatro ruedas y con un solo control.

T7.1.1 Debe tener dos (2) circuitos hidráulicos independientes de modo que en el caso de una fuga o falla en cualquier punto del sistema, la potencia de frenado efectiva se mantenga en al menos dos (2) ruedas. Cada circuito hidráulico debe tener su propia reserva de fluido, sea mediante el uso de depósitos separados o mediante el uso de un embalse al estilo de un OEM. (SAE, 2017)

“T7.1.2 Un solo freno que actúa sobre un diferencial de deslizamiento limitado es aceptable” (Ibid., p. 63).

“T7.1.3 El sistema de frenos debe ser capaz de bloquear las cuatro (4) ruedas durante la prueba especificada a continuación” (Ibid., p. 64).

“T7.1.4 Los sistemas de "freno por cable" están prohibidos” (Ibid., p. 64).

“T7.1.5 Las líneas de freno de plástico sin blindaje están prohibidas” (Ibid., p. 64).

“T7.1.6 Los sistemas de frenado deben estar protegidos con protectores de dispersión contra fallas del tren de transmisión (ver T8.4) o de colisiones menores” (Ibid., p. 64).

“T7.1.7 En la vista lateral, ninguna parte del sistema de frenos que está montada en la parte con muelles del automóvil puede proyectarse por debajo

de la superficie inferior del marco o del monocasco, según corresponda” (SAE, 2017)

T7.1.8 El pedal de freno debe estar diseñado para resistir una fuerza de 2000 N sin fallas en el sistema de frenos o caja de pedales. Esto se puede probar presionando el pedal con la fuerza máxima que puede ejercer cualquier oficial cuando está sentado normalmente. (Ibid., p. 64).

“T7.1.9 El pedal de freno debe estar fabricado de acero o aluminio o mecanizado de acero, aluminio o titanio” (Ibid., p. 64).

T7.1.10 EV ONLY: El primer 90% del recorrido del pedal del freno se puede utilizar para regenerar la energía del freno sin accionar el sistema de freno hidráulico. El recorrido restante del pedal de freno debe activar directamente el sistema de freno hidráulico, pero la regeneración de energía del freno puede permanecer activa. (Ibid., p. 64).



**Figura 20. Disco de freno**

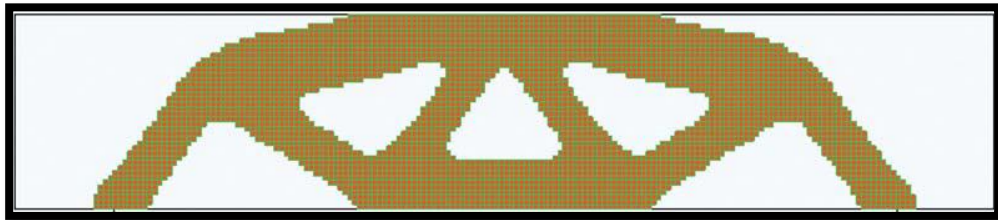
Fuente: (Racing, 2011)

## 2.7 Ingeniería asistida por computador (CAE)

### 2.7.1 Optimización

Los métodos de optimización se desarrollaron para tener un peso más ligero, menos costoso y también pueden tener una mejor resistencia. Muchos tipos, métodos y herramientas de optimización están disponibles hoy en día debido a la revolución de la computación de alta velocidad y el desarrollo de software, del cual selecciono la optimización de la forma que da el mejor uso del material para un cuerpo. Por lo general, esto implica optimizar la distribución del material para que una estructura tenga la máxima rigidez para un conjunto de cargas. (Tagade, Sahu, & Kutarmare, 2015)

La figura 21 muestra como el exceso de material es quitado en ciertas partes para de esta manera reducir el peso.



**Figura 21. Optimización de una pieza**

Fuente: (Huang & Xie, 2007)

### 2.7.2 Topología de Optimización

La topología de optimización es una práctica de ingeniería bien establecida para optimizar los diseños de piezas para crear estructuras livianas y de bajo costo, que históricamente han sido difíciles o imposibles de realizar. La fabricación aditiva (AM) proporciona la libertad de fabricar las formas complejas y orgánicas que a menudo genera la optimización de topología. (Reddy, Maranan, & Simpson, 2016)

Según (Gore, Gund, Patane, Mohite, & Chimote, 2017) afirma: La topología de la optimización es un enfoque que optimiza el área de material dentro de un espacio de diseño, para un conjunto restringido de cargas y condiciones de contorno, de modo que el diseño resultante cumple con un conjunto prescrito de cargas de trabajo. Con esto podemos encontrar el mejor diseño conceptual que cumpla con los requisitos del usuario. La optimización de la topología se ha implementado con la ayuda de métodos de elementos finitos para las técnicas de análisis y optimización basadas en el método de movimiento de asíntotas, algoritmos genéticos, método de criterios de optimización, conjuntos de niveles y derivadas topológicas. (p. 01).

Al realizar un diseño ya sea de cualquier tipo de vehículo o autoparte se debe tener en cuenta diferentes puntos como es el tipo de material disponible, cargas y fuerzas a las que este va ser sometido, geometría y uso.

El material cumple con un propósito muy importante dentro de la fabricación o construcción de un componente, por lo cual se debe seleccionar uno que sea fácil de adquirir o de exportar.

Las cargas o fuerzas que el componente va ser sometido determinaran las forma y la cantidad de material que este tendrá.

La geometría o el diseño de la autoparte automotriz deben acoplarse a la necesidad del lugar donde este será ubicado cumpliendo las condiciones a las que será sometido.

La topología de optimización ayuda a desarrollar componentes eficientes que minimizan la contaminación, reduciendo el consumo de energía en la construcción y utilización de la autoparte. Permite seleccionar las variables de diseño, elegir una función objetivo a optimizar y considerar las restricciones. (Chiandussi, Gaviglio, & Ibba, 2004)

## 2.8 Teorías de análisis de diseño

### 2.8.1 Fuerzas que actúan en las manguetas.

“Las fuerzas principales se producen cuando se realizan las acciones de: frenado, aceleración y giro en el vehículo, en las que presenta un incremento de cargas debido a la transferencia de pesos” (Reyes, 2016).

“Para la determinación de las cargas, se calcula a partir del mayor peso vehicular de los prototipos, la máxima aceleración y desaceleración. Los valores se determinaran mediante la siguiente ecuación” (Mena, 2017).

$$a = \left( -\frac{V_f - V_i}{t} \right)$$

“Para el cálculo de la aceleración y fuerza centrífuga se considera el radio de giro del vehículo, la máxima velocidad y la masa del prototipo, como se observa en las siguientes ecuaciones” (Mena, 2017).

$$A_{centrif} = \frac{v^2}{r}$$

$$F_{centrif} = A_{centrif} * mt$$

“El sistema de suspensión provoca una carga extra por las fuerzas laterales, la misma que se calcula por la siguiente ecuación” (Mena, 2017).

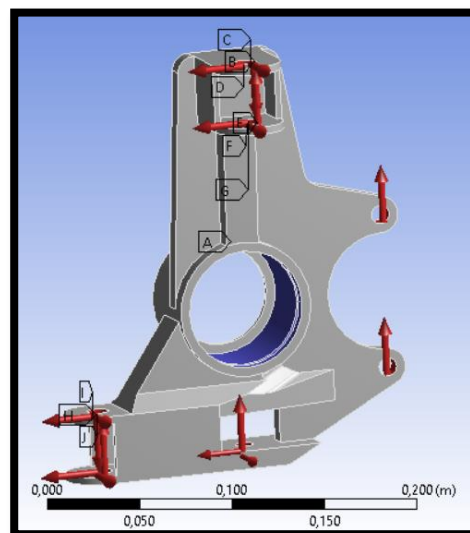
$$F_o = \frac{W}{2} + \frac{F_{centrif} * h}{T_c}$$



### 2.8.2 Dirección y Ubicación de fuerzas

Estas fuerzas se deben principalmente al frenado, la dirección y el choque del vehículo. Por lo tanto, al analizar el nudillo de dirección, se deben considerar tres casos de carga diferentes. En este caso de carga, las fuerzas consideradas son componentes de carga de rueda a lo largo de los ejes X, Y y Z como muestra la figura 22. (Gore, Gund, Patane, Mohite, & Chimote, 2017)

- Suspensión. - “En el caso de carga, las fuerzas consideradas son componentes de carga de rueda a lo largo de los ejes X, Y y Z” (Ibid., p. 02).
- Frenado. - “Se aplican dos componentes de la fuerza de frenado a lo largo de X en la pinza de freno, esto se debe a la fuerza de frenado aplicada por el conductor” (Ibid., p. 02).
- Dirección de la rueda. - En este caso la carga componentes de la carga de dirección a lo largo de X, Y y Z se aplican. Estas cargas se accionan en el brazo del nudillo debido a la fuerza de dirección introducida por el conductor y actuando sobre el pequeño. (Ibid., p. 02).



**Figura 22. Fuerzas en la mangueta**

## 2.9 Parámetros de diseño

### 2.9.1 Teoría de la energía de distorsión (Von Mises)

“Este método es el mejor que atribuye las fallas a materiales dúctiles los cuales se encuentren a cargas estáticas o a su vez en esfuerzos normales y cortantes, el esfuerzo de Von Mises se puede calcular para esfuerzos biaxiales, con los esfuerzos principales máximo y mínimo  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$ ” (Guascal & Quiroz, 2015).

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2}$$

$\sigma'$  = Esfuerzo de Von Mises

La falla se presenta cuando:

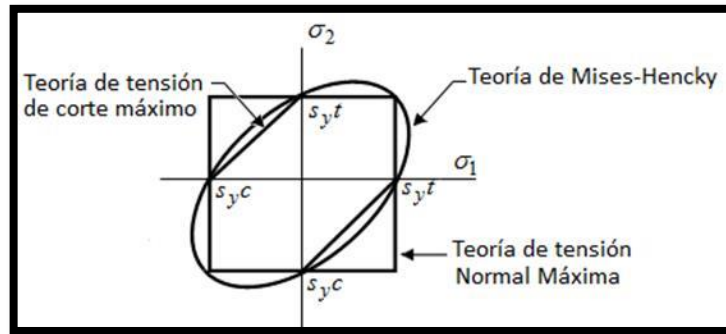
$$\sigma' > S_y$$

$S_y$  = Esfuerzo de fluencia

Los resultados de múltiples programas de análisis por elementos finitos se estructuran en base a este tipo de esfuerzo. En definición la falla se producirá cuando la energía de distorsión por unidad de volumen debida a los esfuerzos máximos absolutos en el punto crítico sea igual o mayor a la energía de distorsión por unidad de volumen de una probeta en el ensayo de tensión en el momento de producirse la fluencia. (Guascal & Quiroz, 2015)

Se predice en el momento que las combinaciones de esfuerzos  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  que se encuentran dentro de la elipse de la energía de distorsión son fiables, a diferencia las excluidas de la elipse presentarían fallas mostrado en la figura 23. Por este motivo para diseñar se puede aplicar 1 factor de diseño N a la resistencia de fluencia. (Mott, 2006, pág. 189)

$$\sigma' < \sigma_d = \frac{S_y}{N}$$

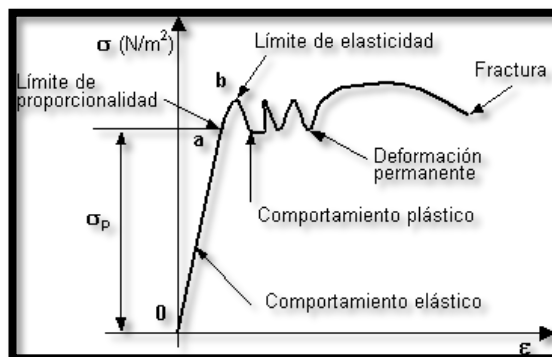


**Figura 23. Elipse de la energía de la distorsión**

Fuente: (Zapata, s.f.)

### 2.9.2 Deformación

La deformación se define como el cambio o modificación geométrica de un cuerpo, el cual es el resultado del esfuerzo, un cambio térmico, un cambio de trabajo o a otras causas, con el esfuerzo directo, como vemos en la figura 24 la deformación se especifica como un cambio lineal y su dimensión en unidades de longitud. La energía de deformación es un incremento de energía interna almacenada en el interior de un sólido deformable como resultado del trabajo realizado por las cargas que provocan la deformación. Este incremento de energía es igual al trabajo efectuado por una carga o fuerza la cual se aumenta lentamente en el elemento determinado. (Guascal & Quiroz, 2015)



**Figura 24. Diagrama esfuerzo vs deformación**

Fuente: (Mott, 2006)

### 2.9.3 Factor de diseño

En aplicaciones estructurales es la relación de la unidad de trabajo permisible con el esfuerzo o la tensión de trabajo permitida, el término se originó para la determinación de esfuerzo admisible. La resistencia a la rotura de un material determinado, dividida por un factor arbitrario de seguridad, según el material y el uso al que se va aplicar determina la tensión admisible. (Guascal & Quiroz, 2015)

Actualmente el diseño y la práctica de la ingeniería, se acostumbra a utilizar tensiones admisibles según lo especificado por las normas o reglamentos en lugar de utilizar otro factor arbitrario de seguridad reconocido de la industria. Una razón para esto es que el factor de seguridad es bajo criterio de cada diseñador, ya que implica un mayor grado de seguridad que realmente pueda existir. También debe entenderse claramente que, a pesar de que cada parte de una máquina puede ser diseñado con el mismo factor de seguridad, la máquina en su conjunto no tiene el mismo factor de seguridad, como observamos en la tabla 3 los factores de diseño aplicados a los distintos panoramas a las que serán sometidas las piezas mecánicas. (Guascal & Quiroz, 2015)

**Tabla 3.**

#### **Factores de seguridad para diseño estático y dinámico**

<b>FACTORES DE DISEÑO</b>		
<b>VALOR</b>	<b>APLICACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>1,25 - 2</b>	Estructura bajo cargas estáticas.	Alto grado de confianza.
<b>2 - 2,5</b>	Elementos de máquina bajo cargas dinámicas.	Promedio de confianza.
<b>2,5 - 4</b>	Estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas incertidumbre.	Incertidumbre en cargas, propiedades de materiales, análisis de esfuerzos o ambiente.
<b>4 ó superior</b>	Estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas.	Incertidumbre en cargas, propiedades de materiales, análisis de esfuerzos o ambiente.

**Fuente:** (Mott, 2006)

## CAPÍTULO III

### 3. Diseño

#### 3.1 Parámetros de diseño

**Velocidad inicial ( $V_i$ ):** velocidad máxima que puede alcanzar un prototipo formula SAE, según el reglamento de la competencia. Con un valor de 105 km/h.

**Velocidad final ( $V_f$ ):** velocidad en la cual el prototipo está totalmente detenido, siendo 0 km/h.

**Tiempo de frenado ( $t$ ):** es el tiempo que tarda en detenerse totalmente el vehículo desde  $V_i$  hasta  $V_f$ . El cual tiene un valor de 3 segundos medidos por los autores.

**Masa del conductor ( $m_c$ ):** según la Cámara Nacional de la Industria del Vestido determino que las personas mayores a 18 años tienen una masa promedio de 75 kg, la cual será utilizada para nuestros cálculos.

**Masa del vehículo ( $m_v$ ):** con un valor de 265 kg medidos por el equipo FESPE de la universidad de las fuerzas armadas ESPE extensión Latacunga.

**Masa ( $m$ ):** es la suma de la masa del conductor con la del vehículo. Teniendo como resultado 340 kg para los cálculos.

**Constante de diseño ( $K$ ):** se encuentre entre 1 a 1,5 adimensional, se utiliza para diseñar elementos mecánicos que se encuentren sometidos a cargas variables. Utilizaremos el valor de 1,25 para los cálculos de las manguetas ya que estas no tienen una masa de conductor definida.

**Altura del centro de gravedad ( $h$ ):** medido desde el piso hasta el centro de gravedad del vehículo, con un valor de 0,323 m, medido por los autores.

**Batalla (lt):** medida entre los ejes delantero y posterior del vehículo, con un valor de 1,6 m, medido por los autores.

**Gravedad (g):** con un valor de  $9,8 \text{ m/s}^2$  es el valor de atracción de los cuerpos hacia la tierra.

**Ratio de distribución de la masa del neumático (kn):** con un valor de 0,75 adimensional, obtenido en la ficha técnica del neumático utilizado en el prototipo.

**Masa del neumático (mn):** con un valor de 5,11 kg obtenido en la ficha técnica del neumático.

**Radio del neumático (rn):** con un valor de 0,2655 m obtenido en la ficha técnica del neumático.

**Coefficiente de fricción ( $\mu$ ):** coeficiente de fricción para la pista de la competencia es de un valor de 1,1 adimensional según el reglamento FSAE 2017-2018 de la competencia.

**Radio dinámico (rdin):** con un valor de 0,23 m obtenido en la ficha técnica del neumático.

**Distancia del eje delantero al centro de gravedad (lf):** con un valor de 0,955 m medido por los autores desde el eje delantero al centro de gravedad.

**Velocidad promedio en pista (v):** con un valor de 48 km/h es la velocidad promedio según el reglamento de la competencia.

**Radio de curva (r):** con un valor de 11,5 m establecido por el reglamento de la competencia SAE.

**Ancho de vía delantero (Tc):** medida desde el centro de una rueda a otra, con un valor de 1,4 m medidos por los autores.

**Velocidad del vehículo en curva (V2):** con un valor de 10 km/h (2,778 m/s) determinado por los autores después de varias pruebas.

**Radio de curvatura (R):** radio mínimo para curvas cerradas según el reglamento Formula SAE 2017 con un valor de 4,5 m.

**Distancia del eje posterior al centro de gravedad (A):** con un valor de 0,645 m, medido por los autores.

### 3.2 Determinación de cargas

#### 3.2.1 Frenado

##### Desaceleración/aceleración (a)

Es el cambio de la velocidad respecto al tiempo, la figura 25 muestra la velocidad inicial y final del vehículo prototipo, y se calcula con la ecuación 1.



**Figura 25. Frenado**

Fuente: (Cruz & Mesias, 2013)

$$a = \left( -\frac{V_f - V_i}{t} \right) \quad (1)$$

Donde:

Vf= Velocidad final

Vi= Velocidad inicial

t= tiempo de frenado

$$a = \left( -\frac{0 - 105}{3} * \frac{1000}{3600} \right)$$

$$a = 9,723 \text{ m/s}^2$$

**Masa teórica (mt)**

La masa teórica es el producto de la masa del conductor más la del vehículo con la constante de diseño, nos permite diseñar las manguetas de forma óptima, ya que el vehículo no tiene una masa de conductor definida y se la calcula con la ecuación 2.

$$m_t = m * k \quad (2)$$

Donde:

m: masa.

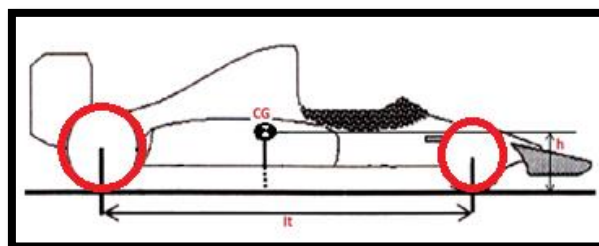
k: constante de diseño.

$$m_t = 340 \text{ Kg} * 1,25$$

$$m_t = 425 \text{ kg}$$

### Transferencia de cargas longitudinales (F)

La transferencia de cargas longitudinales aparece cuando la dirección del peso del vehículo cambia según desaceleración del mismo, como observamos en la figura 26 las cargas serán transferidas a las llantas de color rojo. Para calcularla se multiplica la desaceleración con la masa teórica y la altura del centro de gravedad dividida para la batalla del vehículo como indica la ecuación 3.



**Figura 26. Vista lateral de un vehículo tipo fórmula**

Fuente: (Cruz & Mesias, 2013)



$$F = \frac{a*mt*h}{lt} \quad (3)$$

Donde:

a: desaceleración

mt: masa teórica

h: altura del centro de gravedad

lt: batalla

$$F = \frac{9,723 * 425 * 0,323}{1,6}$$

$$F = 833,94 \text{ N}$$

El valor de la transferencia de cargas longitudinales calculada pertenece a las dos ruedas, para los cálculos utilizaremos la mitad de esta fuerza.

### **Peso del vehículo (W)**

El peso del vehículo se lo representara con la letra W, es el resultado del cálculo de la masa teórica con la gravedad como muestra la ecuación 4.

$$W = mt * g \quad (4)$$

Donde:

mt: masa teórica

g: gravedad

$$W = 425 * 9,81$$

$$W = 4169,25 \text{ N}$$

### Carga total vertical ( $F_v$ )

La carga vertical es la suma de las cargas longitudinales y el producto de la masa teórica del vehículo con la gravedad.

$$F_v = W + F \quad (5)$$

Donde:

W: peso del vehículo

F: transferencia de cargas longitudinales

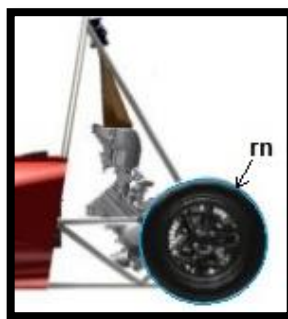
$$F_v = 4169,25 + 833,94$$

$$F_v = 5003,19 \text{ N}$$

### 3.2.2 Aceleración

#### Inercia del neumático ( $I_r$ )

La figura 27 muestra el radio del neumático ( $r_n$ ) necesario para el cálculo de la inercia del neumático con la ecuación 6.



**Figura 27. Radio del neumático**

**Fuente:** (Cruz & Mesias, 2013)

$$I_r = k_n * m_n * r_n^2 \quad (6)$$

Donde:

kn: ratio de distribución de masa del neumático.

mn: masa del neumático.

rn: radio del neumático.

$$I_r = 0,75 * 5,11 * 0,2655^2$$

$$I_r = 0,27 \text{ Kgm}^2$$

### Fuerza normal en el punto B (Fb).

La carga en las ruedas traseras varía según la aceleración del vehículo y la masa del conductor, esta carga es fundamental para el diseño y se utiliza para la simulación por software y se calcula con la ecuación 7, en la figura 28 se muestra la dirección que tiene la fuerza normal en la parte trasera representada como Fb.



**Figura 28. Vista lateral del vehículo punto B**

**Fuente:** (Cruz & Mesias, 2013)

$$F_b = \frac{\frac{4 \cdot I_r \cdot \mu}{r_{din}} - m_t \cdot a \cdot h + m_t \cdot g \cdot I_f}{I_t} \quad (7)$$

Donde:

I<sub>r</sub>: Inercia del neumático.

μ: coeficiente de fricción

r<sub>din</sub>: radio dinámico

mt: masa teórica.

a: aceleración

h: altura del centro de gravedad.

G: gravedad

lf: distancia del eje delantero al centro de gravedad.

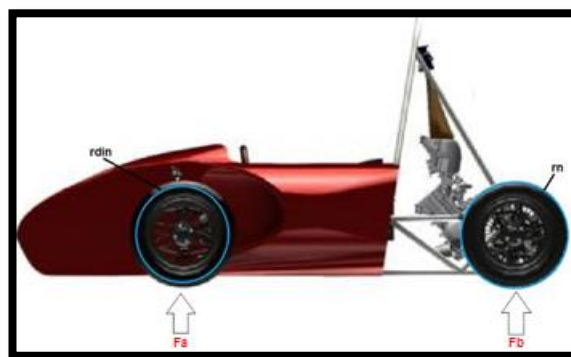
lt: batalla

$$Fb = \frac{\frac{4 * 0,27 * 1,1}{0,23} - 425 * 9,723 * 0,323 + 425 * 9,81 * 0,955}{1,6}$$

$$Fb = 1657,8 N$$

### Fuerza normal en el punto A (Fa).

Es la carga aplicada a las ruedas delanteras, esta fuerza se calcula con la ecuación 8, su magnitud depende de la masa del conductor y de la fuerza normal en las ruedas traseras, en la figura 29 se muestra la dirección de la fuerza normal delantera representada como Fa



**Figura 29. Vista lateral del vehículo punto A**

**Fuente:** (Cruz & Mesias, 2013)

$$Fa = (mt * g) - Fb \quad (8)$$

Donde:

mt: masa teórica

g: gravedad

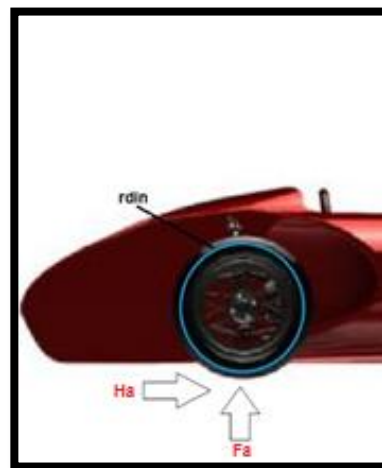
Fb: fuerza de rozamiento en el punto B

$$Fa = (425 * 9,81) - 1657,8$$

$$Fa = 2511,4 N$$

### Fuerza de fricción en el punto A (Ha).

Es la fuerza que se opone al movimiento de las ruedas delanteras, para calcularlo se utilizara la ecuación 9, se necesita el valor de coeficiente de fricción donde se utilizará el prototipo, en la figura 30 se muestra la dirección en la que actúa la fuerza de fricción en la parte delantera representada como Ha.



**Figura 30. Vista lateral fuerza de fricción punto A**

**Fuente:** (Cruz & Mesias, 2013)

$$Ha = Fa * \mu \quad (9)$$

Donde:

Fa: fuerza de rozamiento en el punto A.

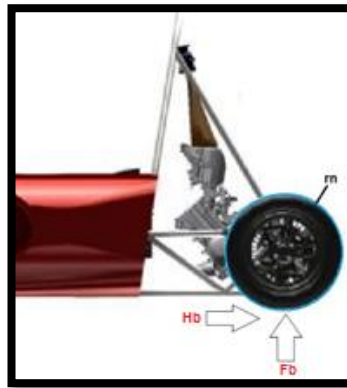
$\mu$ : Coeficiente de rozamiento.

$$Ha = 2511,4 * 1,1$$

$$Ha = 3008,28 \text{ N}$$

### Fuerza de fricción en el punto B (Hb).

Es la fuerza que se opone al movimiento de las ruedas traseras, se la calcula con la ecuación 10, su magnitud depende de la masa del conductor y de la fuerza de rozamiento de las ruedas delanteras, en la figura 31 se observa la dirección de la fuerza de fricción en la parte posterior representada por Hb.



**Figura 31. Vista lateral fuerza de fricción punto B**

Fuente: (Cruz & Mesias, 2013)

$$Hb = (mt * a) - Ha \quad (10)$$

Donde:

mt: masa teórica.

a: aceleración.

Ha: fuerza de fricción en el punto A

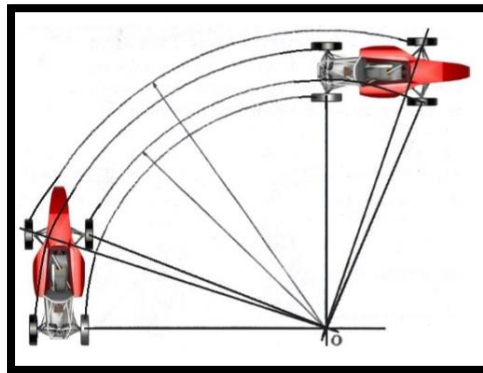
$$Hb = (425 * 9,723) - 3008,28$$

$$Hb = 1368,41 N$$

### 3.2.3 Curva

#### Aceleración centrífuga (Acentrif).

Es la encargada de transferir el peso de la rueda interior a la exterior, siendo la consecuencia de cargas laterales en la suspensión del prototipo, en la figura 32 se observa en paso del vehículo por una curva donde esta aceleración se la calculara con la ecuación 11.



**Figura 32. Paso por una curva**

Fuente: (Cruz & Mesias, 2013)

$$Acentrif = \frac{v^2}{r} \quad (11)$$

Donde:

v: velocidad promedio en curva.

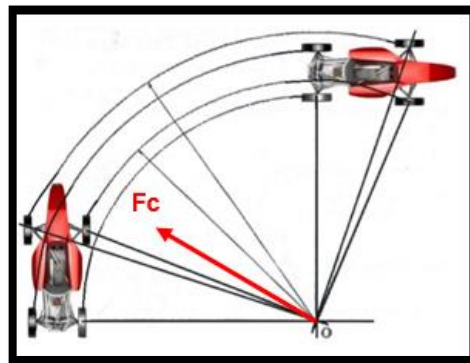
r: radio de curva

$$Acentrif = \frac{\left(48 * \frac{1000}{3600}\right)^2}{11,5}$$

$$A_{centrif} = 15,46 \text{ m/s}^2$$

### Fuerza centrífuga ( $F_{centrif}$ ).

La fuerza centrífuga actúa en dirección de la suspensión cuando el vehículo se encuentra en una curva como se observa en la figura 33, está depende directamente de la velocidad que se encuentra el vehículo dentro de la curva, esta fuerza se calculara con ecuación 12.



**Figura 33. Fuerza Centrífuga**

Fuente: (Cruz & Mesias, 2013)

$$F_{centrif} = A_{centrif} * m_t \quad (12)$$

Donde:

$A_{centrif}$ : aceleración centrífuga.

$m_t$ : masa teórica.

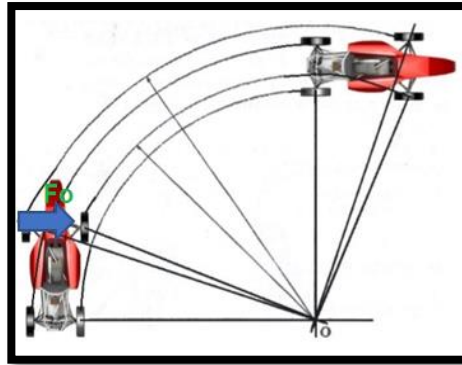
$$F_{centrif} = 15,46 * 425$$

$$F_{centrif} = 6571,09 \text{ N}$$



### Incremento de la carga en las ruedas (Fo)

Cuando el vehículo se encuentra atravesando una curva, la fuerza centrífuga envía cargas hacia la suspensión e incrementa la carga de la rueda interior como se observa en la figura 34 representada como Fo, dicha fuerza es calculada con la ecuación 13.



**Figura 34. Vista frontal de un vehículo tipo fórmula**

Fuente: (Cruz & Mesias, 2013)

$$F_o = \frac{W}{2} + \frac{F_{centrifuga} * h}{T_c} \quad (13)$$

Donde:

W: peso del vehículo

Fcentrífuga: fuerza centrífuga.

H: altura del centro de gravedad.

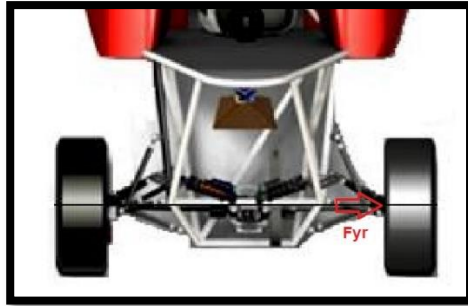
Tc: ancho de vía delantero.

$$F_o = \frac{4169,25}{2} + \frac{6571,09 * 0,323}{1,4}$$

$$F_o = 3600,6 \text{ N}$$

### Fuerza aplicada en la junta de dirección de la mangueta (F<sub>yr</sub>)

Esta carga se presenta cuando el vehículo toma curvas y estas se trasladan al eje de transmisión del vehículo como se observa en la figura 35, esta fuerza se calcula con la ecuación 14.



**Figura 35. Vista superior del vehículo**

**Fuente:** (Cruz & Mesias, 2013)

$$F_{yr} = m_t * \frac{V_2^2}{R} * \frac{A}{l_t} \quad (14)$$

Donde:

$m_t$ : masa teórica.

$V_2$ : velocidad del vehículo en curva.

$R$ : radio de curvatura.

$A$ : distancia del eje posterior al centro de gravedad.

$l_t$ : batalla.

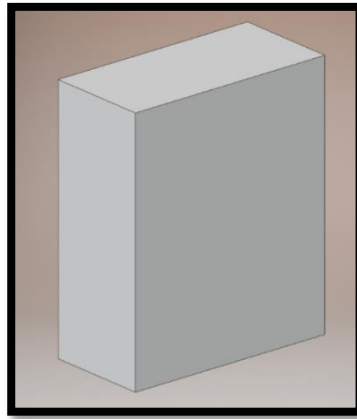
$$F_{yr} = 425 * \frac{2,778^2}{4,5} * \frac{0,645}{1,6}$$

$$F_{yr} = 293,81 \text{ N}$$

### 3.3 Diseño geométrico de la mangueta

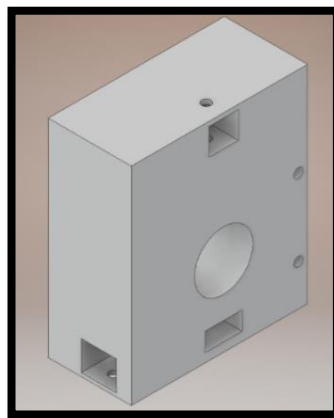
#### 3.3.1 Optimización de la mangueta mediante software.

Para la optimización de la mangueta mediante el uso de software asistido por computadora, simulamos el bloque de aluminio de 0,227 x 0,101 x 0,091 m como se muestra en la figura 36.



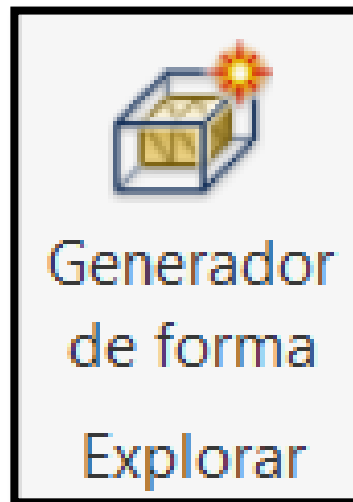
**Figura 36. Simulación del bloque de aluminio**

Se incluyen los puntos de anclaje respectivos dentro del bloque de aluminio como se muestra en la figura 37.



**Figura 37. Puntos de anclaje**

Ubicado los puntos de anclaje, se dirige a la opción generador de forma como muestra la figura 38.



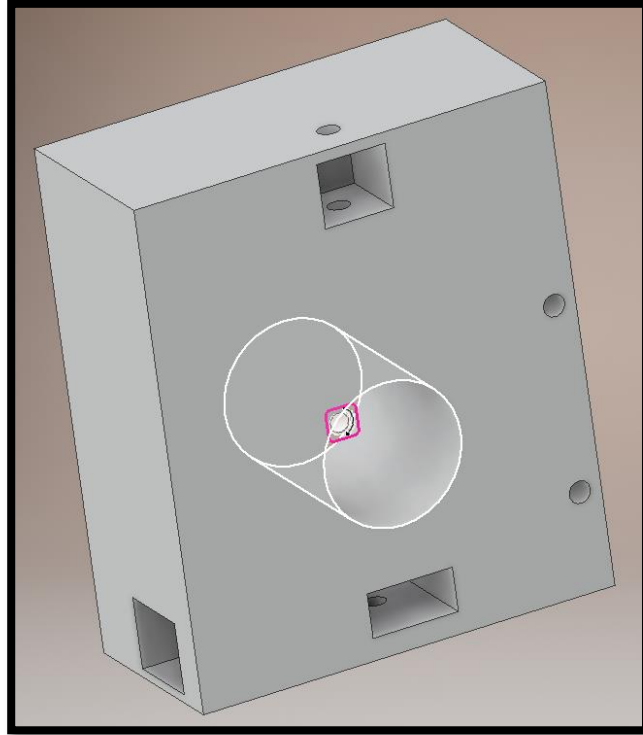
**Figura 38. Icono de generador de forma**

Al ingresar al generador de forma pondremos la restricción “de pasador” como se indica en la figura 39, esta restricción impide el movimiento en las direcciones radial, axial o tangencial dependiendo de las opciones definidas



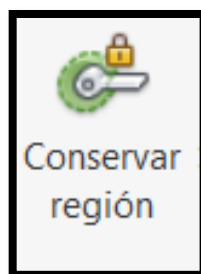
**Figura 39. Icono de restricción de pasador**

En este caso la restricción se la pondrá donde se va ubicar el rodamiento de la mangueta como se muestra en la figura 40.



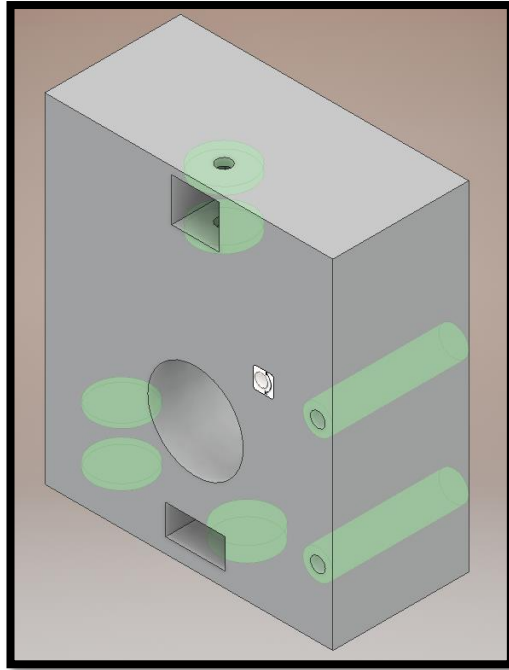
**Figura 40. Restricción de pasador en la simulación**

Colocada la restricción se procederá a asignar los “objetivos y criterios” y se seleccionara el icono de “conservar región” como se observa en la figura 41, esta opción excluye la región del proceso de generación de forma, permite especificar las regiones del modelo que se va a excluir del proceso de generación de forma que incluye prismas rectangular y cilíndrico.



**Figura 41. Icono conservar región**

Con la opción “conservar región” se selecciona los puntos de anclaje de la mangueta en el bloque de aluminio como muestra la figura 42, dando las respectivas medidas de conservación.



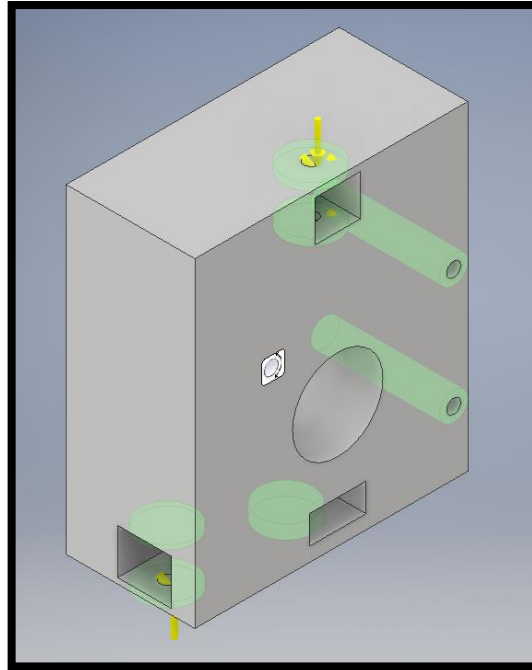
**Figura 42. Ubicación de regiones a conservar**

Con las regiones conservadas se colocan las principales fuerzas que actúan en la mangueta, para ello sirve la opción de carga y seleccionamos el icono de fuerza como se observa en la figura 43.



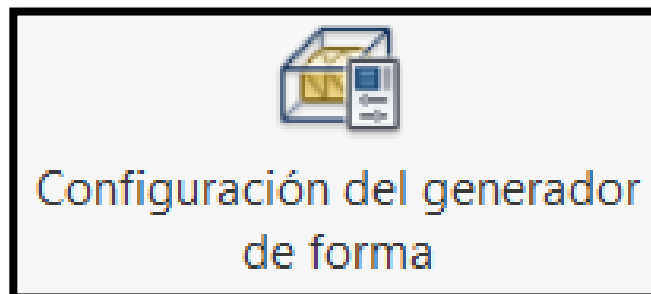
**Figura 43. Icono fuerza**

Al seleccionar “fuerza” se asignará el valor calculado y las direcciones de las fuerzas dadas en cada uno de los soportes como observamos en la figura 44.



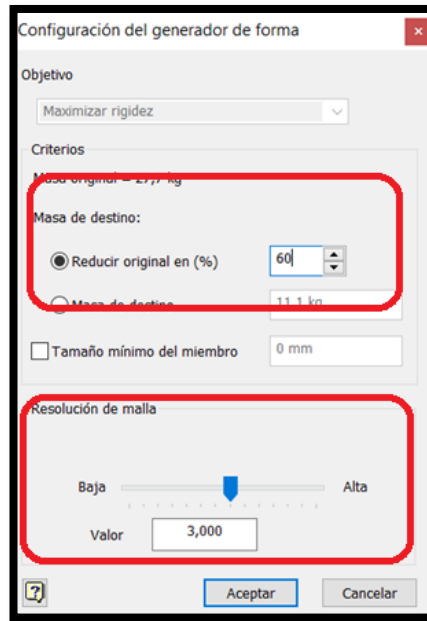
**Figura 44. Fuerzas aplicadas**

Una vez colocado restricciones, fuerzas y sus direcciones, se dirige al icono de “Configuración del generador de forma” como se observa en la figura 45.



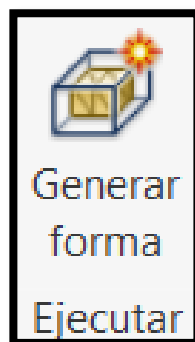
**Figura 45. Icono Configuración del generador de forma**

Al ingresar al icono de “Configuración del generador de forma” como indica la figura 46, se podrá escoger que porcentaje de desea reducir al material y seleccionar la resolución del mallado que en este caso se seleccionará un nivel medio.



**Figura 46. Ventana de configuración de forma**

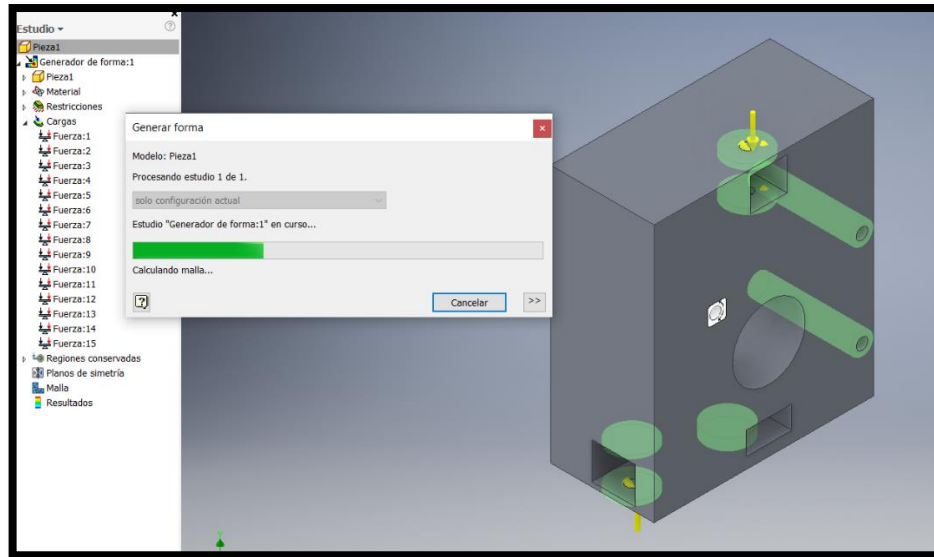
Una vez asignado los valores en la configuración, se dirige a la pestaña ejecutar y al icono “Generar forma” como se muestra en la figura 47.



**Figura 47. Icono Generar Forma**

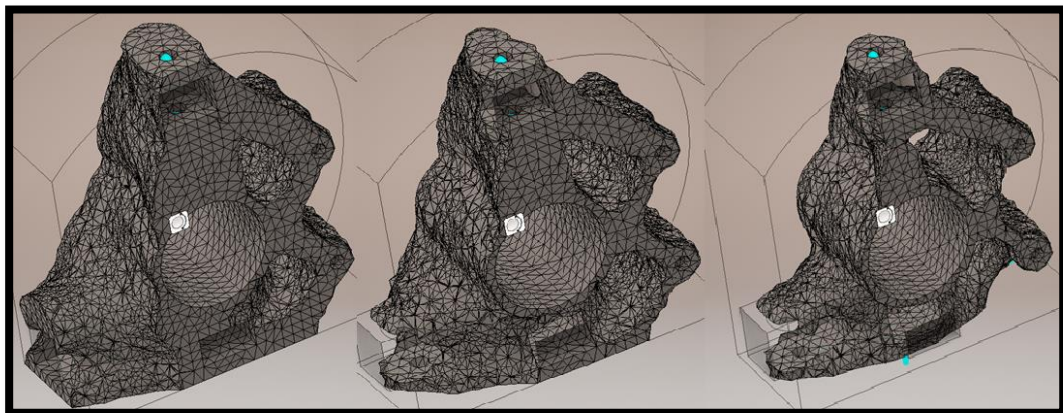


Al ejecutar este comando como indica la figura 48, el programa empezara a crear la forma de referencia de acuerdo con los valores que se haya ingresado.



**Figura 48. Ejecución de forma**

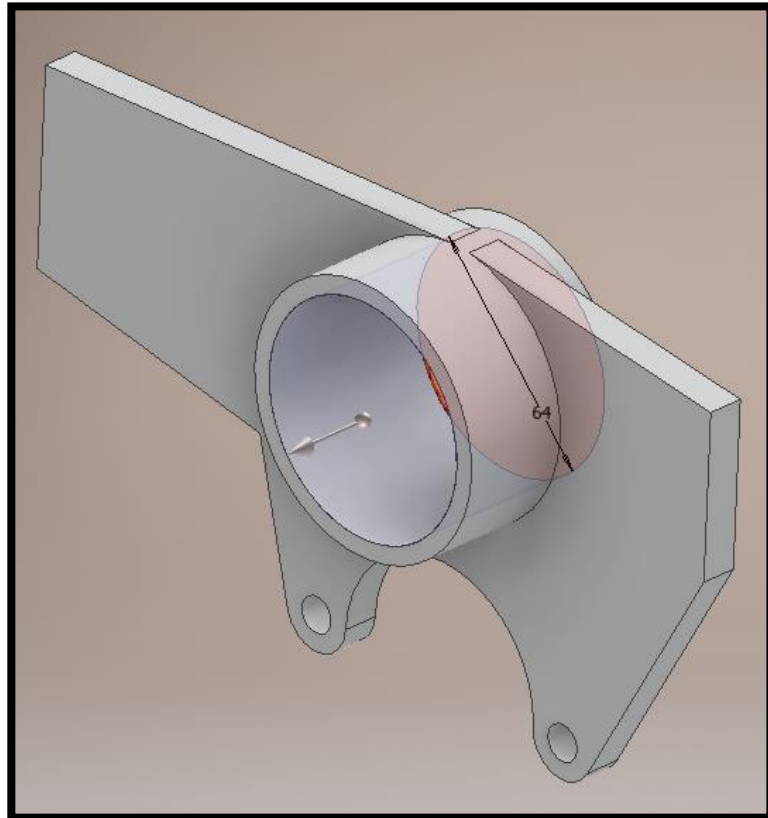
Culminado el proceso de “Generar forma” se obtendrá un sólido con la forma que podremos adaptar a las manguetas, en la figura 49, podemos observar una reducción del 60%, 70% y 80% del bloque respectivamente.



**Figura 49. Reducción de forma al 60%-70%-80%**

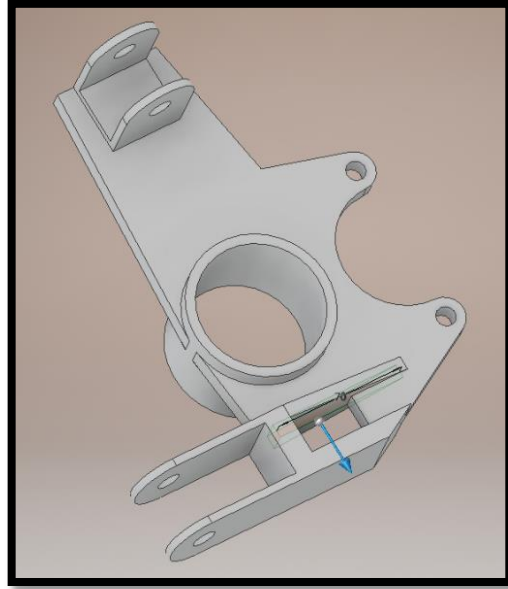
### 3.2.2 Diseño de la mangueta en software CAD.

Para el diseño de la mangueta se tomará en cuenta la forma que tiene nuestro bloque optimizado y las medidas de los puntos de anclaje, con estos datos se empiezan a realizar el diseño de la base utilizando el software como muestra la figura 50.



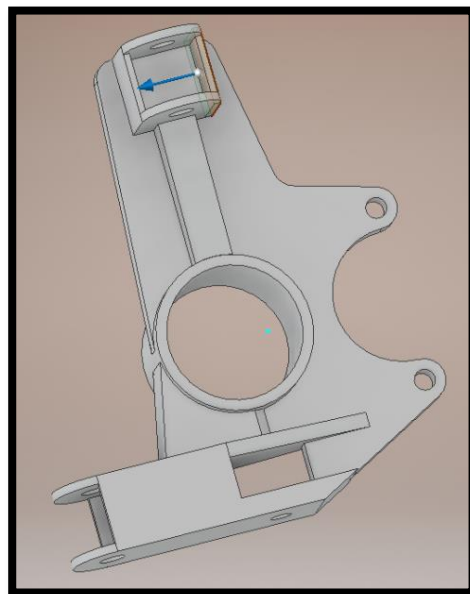
**Figura 50. Placa base de la mangueta**

Una vez que este diseñada y extruida la palca base de la mangueta, se incluyen los soportes donde estarán ubicados los puntos de la suspensión de nuestro vehículo como indica la figura 51.



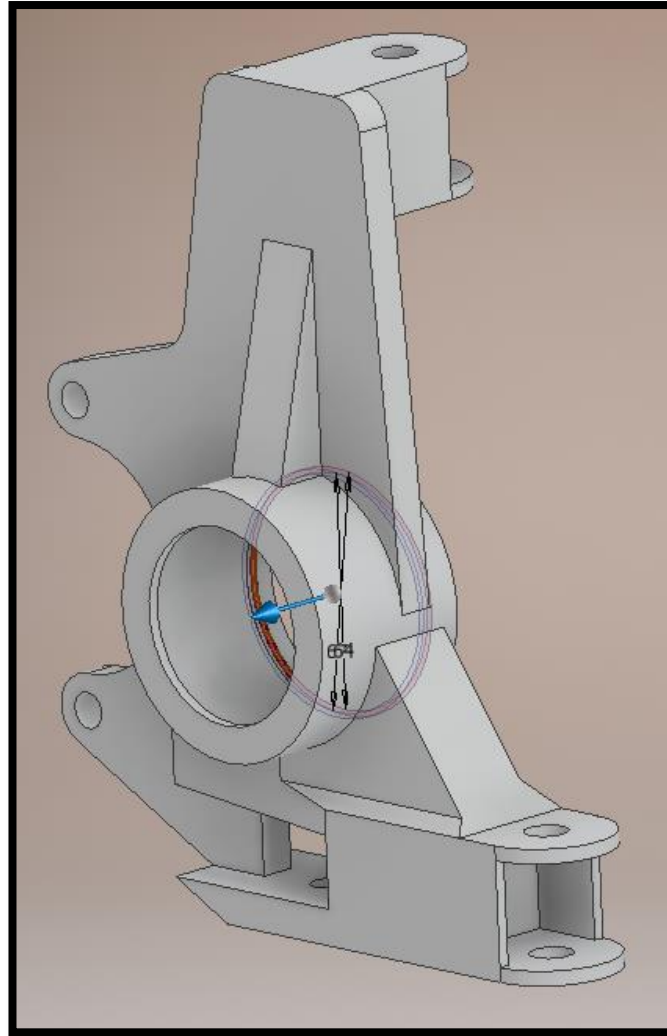
**Figura 51. Inclusión de soportes para suspensión**

Realizado los soportes de la suspensión, se coloca nervios en la mitad de la mangueta como muestra la figura 52, para que tenga un mejor soporte al momento de resistir las cargas aplicadas.



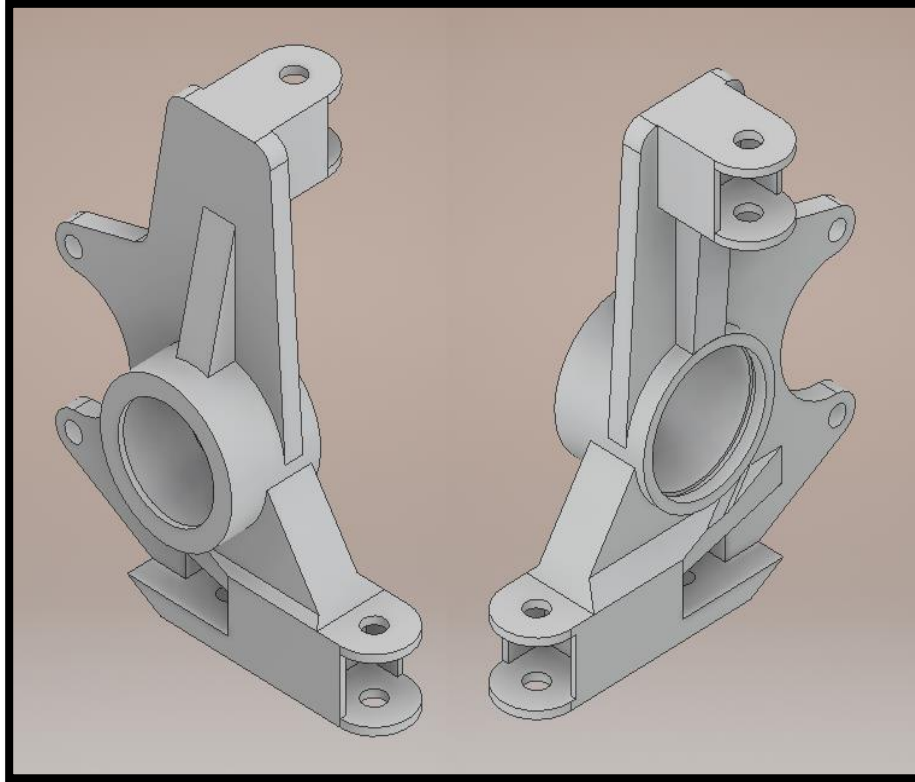
**Figura 52. Aplicación de nervios de material en la mangueta**

Colocado los nervios y demás soportes en la mangueta se añade el tope para el rodamiento y ranura de seguridad de la brida como se muestra en la figura 53.



**Figura 53. Aplicación de tope y brida de seguridad del rodamiento**

Una vez colocado estos últimos detalles se observará el diseño de la mangueta terminada como muestra la figura 54, comparando la figura 49 con el diseño final de la mangueta se observa que similar a la optimización aplicada, luego exportaremos el archivo en formato CAD y de tipo STEP para de esta manera utilizarlo en la simulación.

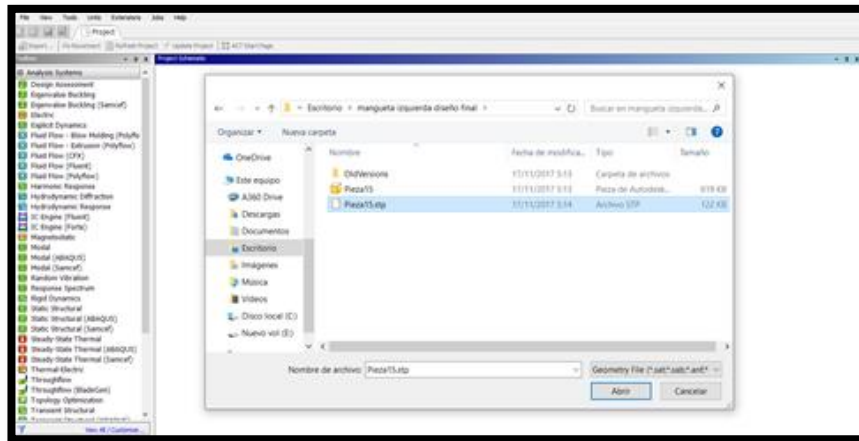


**Figura 54. Diseño de mangueta posterior terminada**

### **3.2.3 Simulación de la mangueta mediante software.**

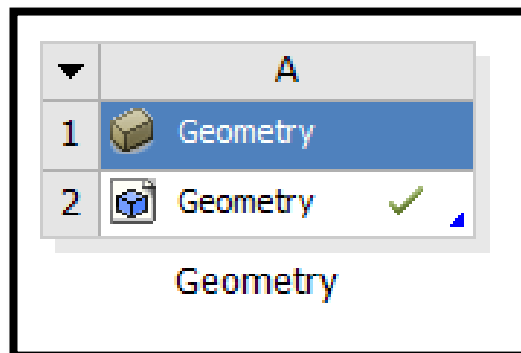
Para realizar la simulación de nuestra autoparte utilizaremos un software de simulación de cargas, este programa nos ayudara a simular el trabajo que realizara nuestra pieza mecánica, al momento que este sea sometido a las diferentes cargas calculadas en las direcciones especificadas.

Como punto de partida debemos tener nuestra autoparte archivada en formato STP, para después abrir el software e importarlo dentro del mismo como indica la figura 55.



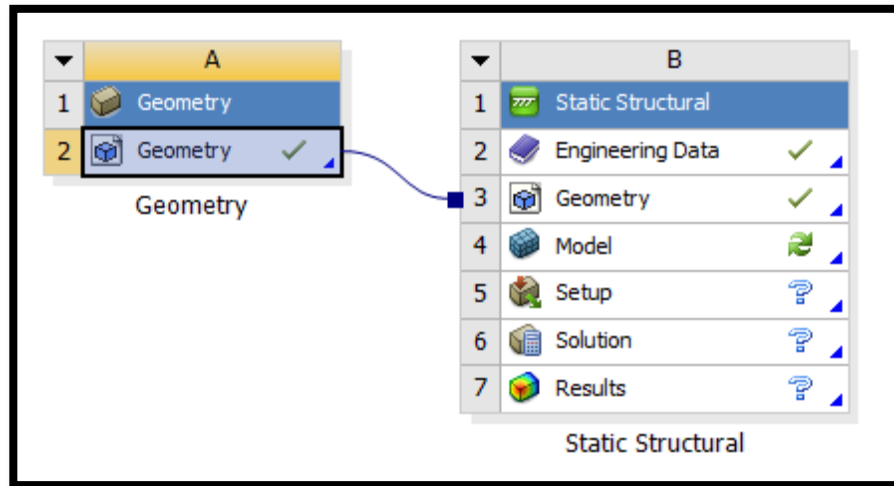
**Figura 55. Importación del archivo stp al software**

Cuando esté importado el diseño aparecerá un icono como muestra la figura 56, con un visto verde que indica que la geometría del diseño está importado correctamente.



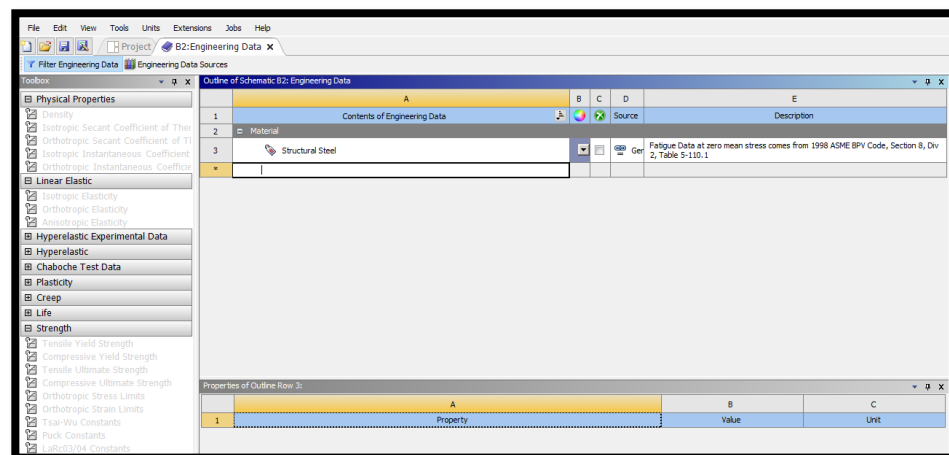
**Figura 56. Columna Geometry**

Luego se realiza un análisis estático estructural esto nos ayudara a aplicar y simular las cargas en nuestra mangueta, después se desplazara la geometría al análisis estático estructural como indica la figura 57.



**Figura 57. Columna Static Structural**

Se crea el material que vamos a utilizar en nuestro diseño para lo cual se utilizaras la opción “Engineerring Data” como muestra la figura 58, en este caso será el Aluminio c330r



**Figura 58. Creación del material**

Para crear nuestro material necesitamos saber las propiedades mecánicas que este tiene, para lo cual los valores que asignaremos están en la tabla 4.

Tabla 4.

## Propiedades Mecánicas del Aluminio c330r

ALUMINIO c330r		
PROPIEDADES MECÁNICAS		
PROPIEDADES	VALOR	UNIDADES
Densidad	2,8	$g/cm^3$
Módulo elástico	70	GPa
Resistencia a la fatiga	160	MPa
Coefficiente de poisson	0,31	---
Resistencia a la cizalladura	340	MPa
Resistencia a la tracción: Ultimate	380	MPa
Resistencia a la tracción: Yield	380	MPa

Fuente: (Bohler, 2017)

Una vez terminado el ingreso de los valores de las propiedades mecánicas exportamos y guardamos el material para que se pueda utilizar en cualquier otra autoparte como indica la figura 59.



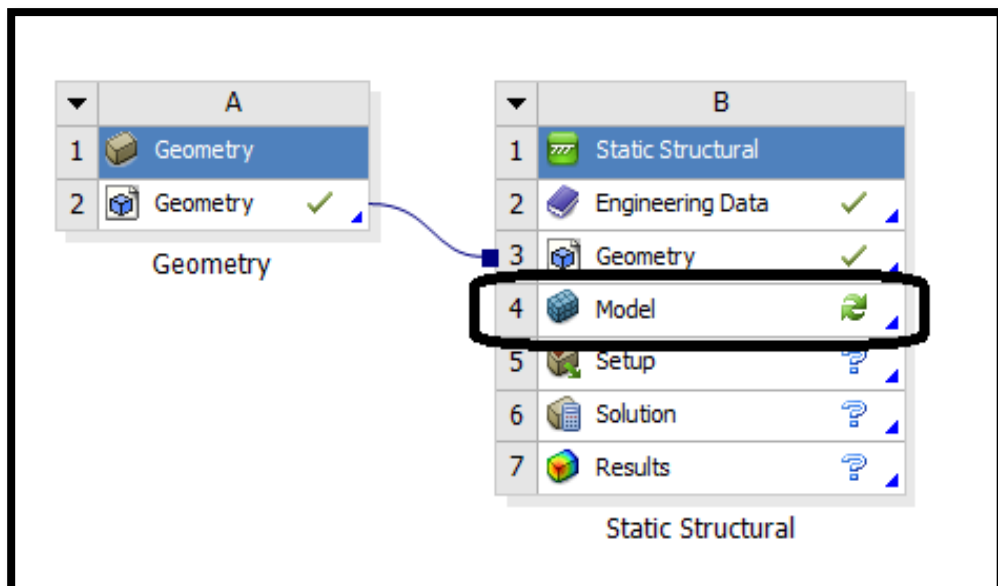
Outline of Schematic B2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Aluminio 7075 T6 2			C:\L	
4	Aluminio AW 7021			C:\L	
5	Aluminio c330r			C:\L	
6	Structural Steel			Gen	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material				

Properties of Outline Row 5: Aluminio c330r					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	3,25	kg m <sup>-3</sup>		
4	Isotropic Elasticity				
10	Tensile Yield Strength	3,8E+08	Pa		
11	Tensile Ultimate Strength	3,8E+08	Pa		
12	Compressive Ultimate Strength	3,8E+08	Pa		

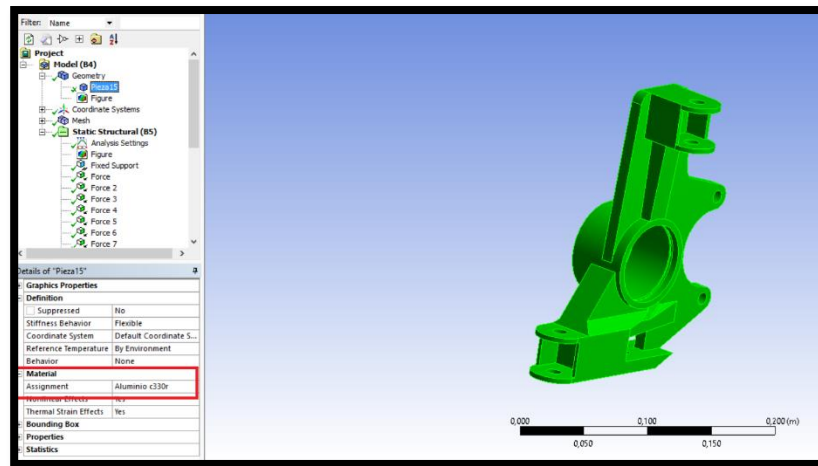
**Figura 59. Propiedades del aluminio c330r**

Terminada la creación del material para la simulación, se dirige a la opción “Model” como indica la figura 60 y lo abrimos.



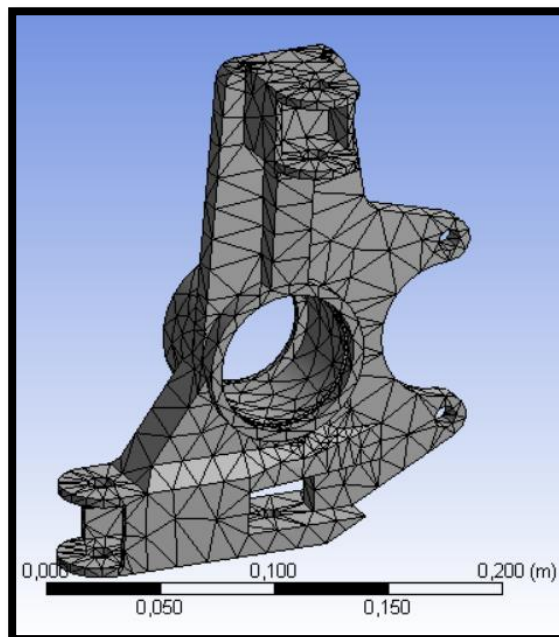
**Figura 60. Pestaña Model**

Una vez abierto el “Model” se podrá visualizar el diseño creado, para lo cual se empezará asignando el material que creamos como se muestra en la figura 61.



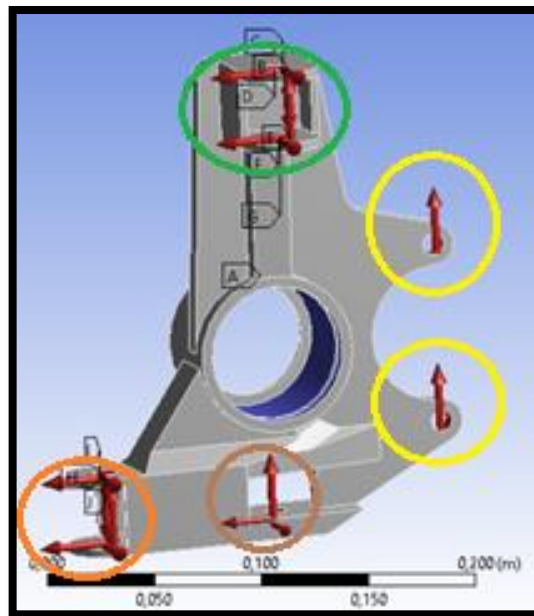
**Figura 61. Diseño en Mechanical**

Seleccionado el material se genera la malla, esta se genera de forma automática como muestra la figura 62.



**Figura 62. Mallado de la mangueta**

Luego de haber generado la malla, se asignara un soporte fijo que será en la sección del rodamiento pintada de azul y la distribución de las fuerzas calculadas anteriormente en cada uno de los puntos de anclaje como indica la figura 63, la sección amarilla representa la dirección de las fuerza de la mordaza de freno con un valor de 1368,41 N cada una, la sección verde representa la dirección de fuerzas en la suspensión superior con un valor de 2501,56 N, para cual se dividirá en dos, tanto para la oreja de soporte superior como inferior con un valor de 1250,78 N cada una en los tres ejes, la sección tomate muestra la fuerza cuando el vehículo es sometido a aceleración dirección y suspensión, con un valor de 3600,6 N, dividido en dos secciones tanto para la oreja de soporte superior como inferior con un valor de 1800,3 N cada uno distribuido en los tres ejes, de igual manera en la sección café se asignara el valor de 3600,6 N ya que esta sometido a las mismas condiciones anteriores distribuidas en los tres ejes.



**Figura 63. Asignación de soporte fijo y fuerzas**

Una vez terminado la asignación de las fuerzas, ejecutamos el análisis de cargas para obtener los resultados de esfuerzos (Von Mises), deformación y factor de diseño.

El resultado de esfuerzos de von mises nos dio un valor mínimo de 0,0042179 Mpa y un valor máximo de 106,21 Mpa como indica la figura 64, ya que el valor máximo de esfuerzo del material seleccionado es de 380 Mpa, este es óptimo para utilizarlo.

El resultado de la deformación total, dio un valor mínimo de 0 m y un valor máximo de 0,00045531 m, como se observa en la figura 65.

El resultado del factor de seguridad dio un valor de 3,57 como muestra la figura 66, este valor es aceptable ya que en la tabla 4 el resultado se encuentra en el rango de 2,5 – 4, este factor de diseño es aplicado para elementos de máquina bajo cargas dinámicas de incertidumbre.

### 3.3 Construcción

#### 3.3.1 Proceso de mecanizado por software.

Para realizar el proceso de mecanizado se utilizó el software Mach3 CNC, el material a utilizarse para las manguetas es el aluminio c330r y una máquina fresadora CNC de tres ejes. En la tabla 5 se mostrará el proceso de mecanizado.

**Tabla 5.**

#### **Velocidades y Procesos de mecanizado**

<b>Proceso</b>	<b>Herr.</b>	<b>Vc</b>	<b>Avance mm/min</b>	<b>V. Av. mm/min</b>

<b>Desbaste</b>	End mil 12	120	0,35	3818,6
<b>Acabado</b>	Ball mil 6	150	0,25	5728,4

En la tabla 6 se observa las revoluciones con las que trabaja el husillo, material que será removido por minuto y la potencia utilizada para cada trabajo.

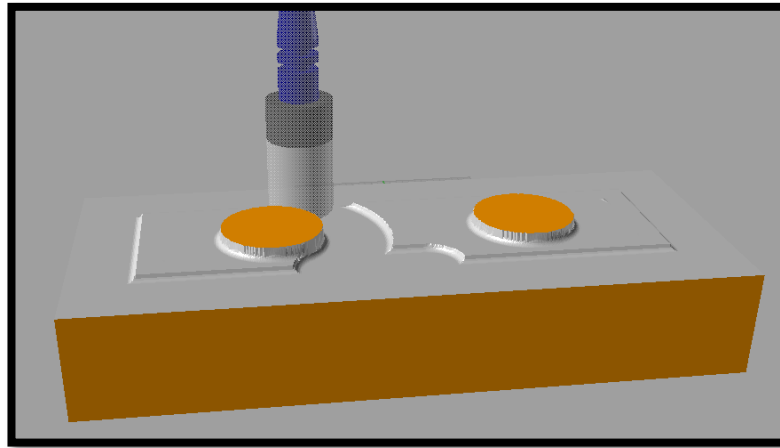
**Tabla 6.**

**Procesos de mecanizado**

<b>Proceso</b>	<b>n r.P.M</b>	<b>Q <i>cm<sup>3</sup>/min</i></b>	<b>Potencia kw</b>
<b>Desbaste</b>	3182	3514	70
<b>Acabado</b>	7956	5855	29

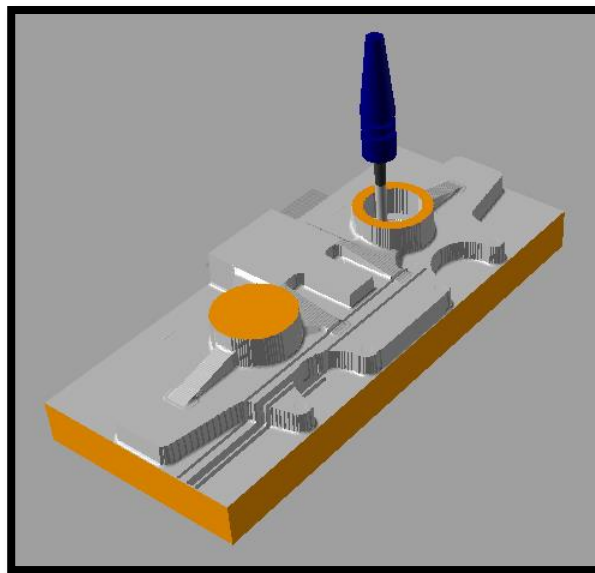
**3.3.2 Desbaste**

En este proceso se simula como va a remover el exceso de material que existe en el bloque de aluminio como indica la figura 67, generando el código G como muestra el anexo 2 para el desbaste en el bloque de aluminio físico.



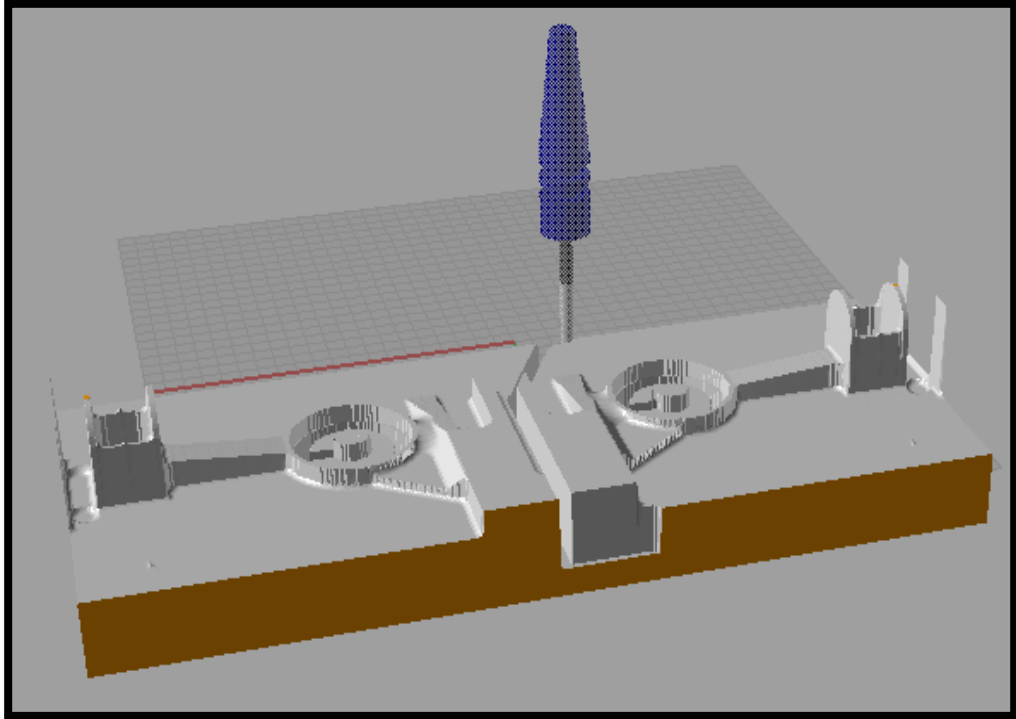
**Figura 64. Desbaste del bloque de aluminio**

En la figura 68, se observa como el bloque de aluminio va tomando cada vez mayor formar del diseño de las manguetas.



**Figura 65. Desbaste de manguetas**

El proceso se lo realiza a los dos costados con la misma estrategia de desbaste como se observa en la figura 69.



**Figura 66. Desbaste manguetas**

### **3.3.3 Proceso de mecanizado por CNC**

El proceso de mecanizado se lo realiza mediante una máquina CNC Kondia, las manguetas a construir se las realizaron en un bloque de aluminio c330r de 0,1 x 0,2 x 0,475 m.

La máquina utilizada para la construcción de las manguetas como indica la figura 70, tiene en los ejes X, Y, Z un recorrido de 0,650 x 0,350 x 0,2 m respectivamente, con un soporte de trabajo de 850x450mm, cuenta con una velocidad de rotación de 8500/10000.



**Figura 67. Centro de mecanizado**

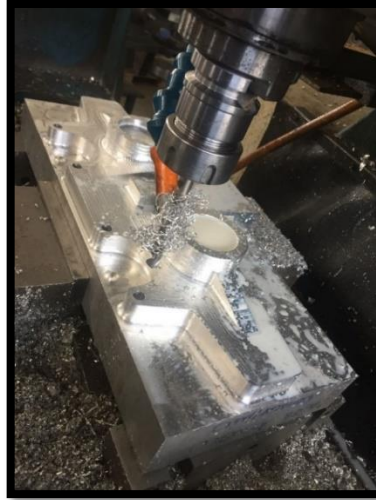
A continuación, el bloque de aluminio se pondrá sobre el soporte de trabajo de la fresadora, para que empiece a desbastar el material como se observa en la figura 71.



**Figura 68. Desbaste del bloque de aluminio**



Siguiendo con el trabajo realizado por la fresadora se podrá apreciar el avance que esta desarrolla como muestra la figura 72, para lo cual debe estar en constante contacto con la taladrina, ya que este servirá como refrigerante al momento de general fricción entre las herramientas de corte y el aluminio.



**Figura 69. Proceso de desbaste primera cara**

Una vez finalizada la primera cara de las manguetas como muestra la figura 73, con la misma estrategia de desbaste se continúa realizando la siguiente cara donde se encontrará los soportes de la suspensión.



**Figura 70. Desbaste Segunda cara**

Al terminar el desbaste en los dos lados de las manguetas se empezará a dar los acabados finales a los soportes de la suspensión como se observa en la figura 74.



**Figura 71. Acabado de soportes de suspensión**

Cuando haya finalizado el proceso de desbaste de los soportes de suspensión y las manguetas estén completamente construidas se procederá a realizar las perforaciones en cada uno de los soportes de la suspensión como se observa en la figura 75.



**Figura 72. Perforación de mangueta**

Una vez terminada las perforaciones, las manguetas tendrán un acabado como el que muestra la figura 76.



**Figura 73. Manguetas terminadas**

La mangueta posterior tiene un peso de 1,542 kg, incluido el rodamiento como muestra la figura 77, el rodamiento tiene un peso de 0,436 kg, con las dimensiones de 0,034 x 0,064 x 0,037 m.



**Figura 74. Pesaje completo de la mangueta posterior**

## CAPÍTULO IV

### 4.1 Montaje de componente

Para realizar el montaje de la mangueta se procede a verificar que los pernos pasen sin ninguna dificultad en el soporte superior de la suspensión como se muestra en la figura 78.



**Figura 75. Anclaje de soporte superior de suspensión**

De igual manera se verifica que los soportes inferiores de la suspensión se acoplen sin ningún problema como se observa en la figura 79, y que la mangueta posterior no tenga ninguna obstrucción en su movimiento.



**Figura 76. Anclaje de soportes inferiores de suspensión**

Se verifica que la mordaza de freno se acople y que los pernos ingresen sin juego como se muestra en la figura 80.



**Figura 77. Acople general de soportes de mangueta posterior**

Una vez verificado que los pernos pasen sin ningún problema, se procede a insertar con una prensa hidráulica la manzana en la mangueta como indica la figura 81.



**Figura 78. Instalación de la manzana en la mangueta**



Insertada la manzana y el disco de freno se procede a instalar en el vehículo, como se muestra en la figura 82.



**Figura 79. Instalación de mangueta en el vehículo**

Una vez instalada completamente la mangueta en el vehículo, procedemos a poner la llanta ajustándola las tuercas en cruz y con la fuerza especificada según el tipo de perno utilizado, como indica la figura 83.



**Figura 80. Instalación de la rueda en el vehículo**

## 4.2 Pruebas de funcionamiento

Para realizar las pruebas de funcionamiento, como primer punto se da una revisión técnica general para verificar que el vehículos está en condiciones de ser conducido y ser sometido a las diferentes pruebas mostradas a continuación.

### 4.2.1 Aceleración

En esta prueba se mide el tiempo de aceleración del vehículo en una recta de 75 m, donde se verifica cuanto tiempo es capaz de desarrollar el vehículo en el tramo y observando si las manguetas cumplen con la prueba aplicada, como se observa en la figura 84.



**Figura 81. Prueba de aceleración**

Se realizó esta prueba en cuatro ocasiones dando como resultado los siguientes valores de tiempo en segundos, y con ello calculamos la velocidad que alcanzo el vehículo en cada tramo en la tabla 7.

Tabla 7.

## Tiempo y velocidad del recorrido

# Prueba	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Cumplió la prueba
Uno	6,7	11,19	✓
Dos	6,5	11,53	✓
Tres	6,2	12,09	✓
Cuatro	5,8	12,93	✓

Terminado el cálculo de la velocidad en cada tramo, se calcula la velocidad promedio con la siguiente ecuación:

$$V_{prom} = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{n}$$

$$V_{prom} = 11,94 \frac{m}{s}$$

## 4.2.2 Maniobrabilidad Skidpad

Esta prueba consiste en avalar la habilidad que tiene el vehículo para tomar una curva, el circuito tiene dos círculos de 15,25 m de diámetro como se observa en la figura 85, donde el vehículo deberá dar una vuelta hacia la izquierda en el primer círculo y termina el circuito en el segundo círculo entrando por la derecha formando así un 8.

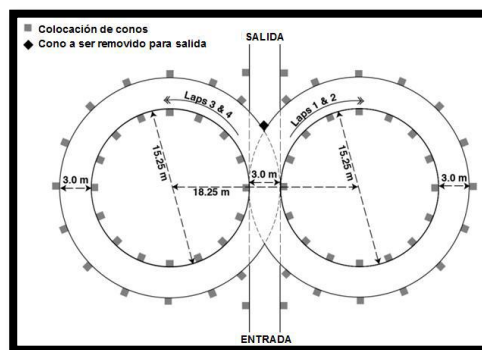


Figura 82. Circuito de prueba de maniobrabilidad

Fuente: (SAE, 2017)



Para realizar esta prueba se dibujó el circuito en el piso con un radio de 7,625 m cada circunferencia como se muestra en la figura 86.



**Figura 83. Trazado de circunferencia en el piso**

En la figura 87 observamos como el prototipo recorre el circuito en forma de 8



**Figura 84. Recorrido del vehículo**

Al finalizar esta prueba se obtuvo los tiempos del recorrido del vehículo en diferentes tramos, luego calculamos el perímetro de cada circunferencia para obtener la distancia recorrida, dando como resultado 98,8 m, luego se calcula la velocidad del vehículo mostrada en la tabla.

**Tabla 8.**

**Resultados prueba Skidpad**

# Prueba	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Cumplió la prueba
<b>Uno</b>	26,42	3,63	✓
<b>Dos</b>	21,85	4,39	✓
<b>Tres</b>	19,15	5,01	✓
<b>Cuatro</b>	17,36	5,51	✓
<b>Cinco</b>	16,76	5,74	✓
<b>Seis</b>	14,41	6,65	✓

Terminado el cálculo de la velocidad en cada tramo, se calcula la velocidad media dando como resultado:

$$V_{prom} = 5,16 \frac{m}{s}$$

#### 4.2.3 Autocross

Para esta prueba se recorre un circuito cerrado que tenga curvas y rectas, de esta manera se observara el comportamiento del vehículo y las manguetas al tomar estos tramos.



**Figura 85. Circuito recorrido en la prueba**



**Figura 86. Prueba de circuito cerrado**

El vehículo recorrió el circuito de 720 m tres veces, dando como resultado los siguientes tiempos, luego calculamos la velocidad del vehículo en cada tramo mostrado en la tabla 9.

Tabla 9.

**Resultados prueba autocross**

# Prueba	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Cumplió la prueba
Uno	51,15	14,08	✓
Dos	48,32	14,9	✓
Tres	46,89	15,36	✓

Una vez finalizado el cálculo de las velocidades y verificado que el vehículo si cumple con la prueba realizada, se calcula la velocidad promedio dando como resultado:

$$V_{prom} = 14,78 \frac{m}{s}$$

**4.3 Análisis de resultados**

De acuerdo a los resultados obtenidos de la prueba de aceleración, skidpad y autocross, mostrados en las tablas 7, 8 y 9 respectivamente, se observa que las manguetas posteriores si cumple con lo requerido en este proyecto de investigación.

**4.4 Recursos****4.4.1 Talento humano**

El desarrollo óptimo de la presente investigación, necesito del aporte de personas especializadas en diferentes áreas, su conocimiento y habilidades fueron de gran ayuda para el desarrollo del proyecto que se detalla en la tabla 11 a continuación:

**Tabla 10.****Talento humano**

<b>Ing. Oscar Arteaga</b>	Tutoría y asesoría general.
<b>Ing. Euro Mena</b>	Asesoría en diseño.
<b>Ing. Javier Arguello</b>	Asesoría y construcción del elemento en CNC.
<b>Cristian Cepeda</b>	Investigación y elaboración del proyecto
<b>Christian Tupiza</b>	Investigación y elaboración del proyecto

**4.4.2 Recursos tecnológicos.**

El uso de herramientas tecnológicas es la base del presente proyecto, desde la etapa del diseño donde se utilizó software orientado al diseño de elementos de máquina, hasta la construcción donde se utilizó un centro de mecanizado CNC.

**4.4.3 Recursos materiales**

La unión de los recursos tecnológicos y materiales, permitieron culminar este proyecto satisfactoriamente, a continuación, se detalla cada uno.

- Computador
- Herramientas manuales
- Material (Aluminio 7075 T6)
- Fresadora CNC
- Insumos mecánicos (Bujes, pernos, tuercas, etc.)

#### 4.4.4 Recursos financieros

La cobertura del costo del proyecto de investigación es dada por los investigadores, su costo es de \$ 1933,85 dicho valor se detallara en las siguientes tablas

En la etapa de construcción constan los costos del material, hora de producción de la máquina CNC, herramientas empleadas, para la elaboración de las manguetas detalladas en la tabla 11.

**Tabla 11.**  
**Construcción**

<b>ETAPA DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo unitario \$</b>	<b>Costo total \$</b>
<b>Kilogramo de bloque de Aluminio c330r</b>	27	15,68	423,30
<b>Hora de producción en fresadora CNC</b>	120	10	1200
<b>Brocas</b>	20	10	200
<b>Transporte</b>	2	5	10
<b>Subtotal</b>			<b>1833,30</b>

En la etapa de implementación constan los elementos utilizados al momento de colocar las manguetas en el vehículo, en la tabla 12 se detalla el costo utilizado en esta etapa.

**Tabla 12.**

**Implementación**

<b>ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo unitario \$</b>	<b>Costo total \$</b>
<b>Bujes</b>	10	4	40
<b>Conjunto perno tuerca y rodela</b>	6	0,75	4,50
<b>Rodamiento de eje</b>	2	20	40
<b>Subtotal</b>			<b>84,50</b>

Dentro de la etapa de pruebas se utilizó gasolina “súper” para el vehículo prototipo a correr y líquido de frenos para sangrar el sistema de frenos, en la tabla 13 se detalla el valor invertido en esta prueba.

**Tabla 13.**

**Pruebas**

<b>PRUEBAS</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo unitario \$</b>	<b>Costo total \$</b>
<b>Galón de gasolina súper</b>	5	2,31	11,55
<b>Líquido de frenos 3T</b>	1	4,50	4,50
<b>Subtotal</b>			<b>16,05</b>

El gasto total empleado es el resultado de la suma de todas las etapas dentro de este proyecto de investigación mostrado en la tabla 14 a continuación.

**Tabla 14.**

**Gasto total**

<b>GASTO TOTAL</b>	<b>Costo total \$</b>
<b>Etapas de construcción</b>	1833,30
<b>Etapas de implementación</b>	84,50
<b>Pruebas</b>	16,05
<b>Total</b>	<b>1933,85</b>



## CAPÍTULO V

### 5.1 Conclusiones

- La mangueta tiene un valor de esfuerzo máximo Von Mises de 106,21 Mpa y el aluminio c330r tiene 380 Mpa, por lo que al ser mayor, este material resulta eficaz para la construcción del proyecto.
- El resultado de deformación máxima de la mangueta es 0,00045531 m, lo que representa un valor menor a un milímetro, el cual no genero ningún problema al ser sometido a las pruebas dinámicas en el vehículo.
- El factor de diseño de las manguetas dio como resultado 3,57, lo que demuestra que el proyecto al ser construido en el aluminio c330r va ser seguro, ya que se encuentra en el rango de seguridad para elementos de máquina sometidos a cargas dinámicas de incertidumbre.
- La mangueta posterior de aluminio tiene un peso de 1,54 Kg, representa el 61,6% del peso la mangueta de acero antes elaborada por lo que se comprobó la eficiencia del diseño y la construcción.
- En la prueba de aceleración el vehículo fue sometido a un tramo en línea recta de 75 m, donde se pudo observar que la mangueta no sufrió ningún daño y cumplió con la prueba sin ninguna novedad.
- En la prueba de maniobrabilidad el vehículo fue sometido a un skid-pad donde se pudo verificar la habilidad que tiene el vehículo para tomar una curva con una velocidad promedio de 5,16 m/s y observar que las manguetas posteriores no sufrieron ningún daño al realizar este circuito.

- En la prueba de autocross se sometió al vehículo a un recorrido que consta de cinco curvas, dos de ellas cerradas, cuatro retas y un peralte, con una velocidad promedio de 14,78 m/s, donde se comprobó que las manguetas posteriores resistieron y no sufrieron ningún tipo de daño al ser sometidas a un largo recorrido.

## 5.2 Recomendaciones

- Para futuros diseños es recomendable seguir bajando el peso de la mangueta ya que mediante los diferentes programas de análisis de diseño como Catia, Adams, HyperWorks y Lotus LSA, se puede verificar donde existe exceso de material sin afectar el factor de diseño.
- Antes y después de cada prueba se recomienda realizar una inspección visual e instrumental de cada sistema y componente para verificar posibles fallas y fisuras.
- Para diseños posteriores se recomienda realizar una geometría más compleja ya que al ser construidas en fresadoras CNC, no habría ninguna complicación al tratar de reducir el porcentaje de peso del elemento.

### 5.3 Referencias Bibliográficas

- Answer, J. (2014). *Just Answer*. Recuperado el 12/05/2017. Obtenido de Just Answer: <https://www.justanswer.com/dodge/0r2o1-remove-front-hub-wheel-bearing-assembly-1999-dodge-durango.html>
- Bohler. (2017). *Bohler Uddeholm*. Recuperado el 12/05/2017. Obtenido de Bohler Uddeholm: [http://www.bohler-uddeholm.com.ar/media/Aluminio\\_C330R.pdf](http://www.bohler-uddeholm.com.ar/media/Aluminio_C330R.pdf)
- Chiandussi, Gaviglio, & Ibba. (2004). Topology optimisation of an automotive component without final volume constraint specification. *Advances in Engineering Software*. doi: 10.1016/j.advengsoft.2003.07.002
- Clos, A., Balbas, A., & Urrea, C. (2013). *Formula SAE*. Recuperado el 12/05/2017. Obtenido de Fórmula SAE: <http://www.formulasae.grupos.usb.ve/version2/proyectocompetencia.html>
- Cruz, G., & Mesias, D. (Febrero de 2013). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Recuperado el 12/05/2017. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6121>
- Gaes. (2015). *Gaes*. Recuperado el 15/05/2017. Obtenido de Gaes: <http://www.grupogaes.com/productos/rodamientos/rodamientos-de-rodillos-conicos.html>
- Gaffney, E., & Salinas, A. (1997). Suspension and Frame Desing. *Introduction to Formula SAE*, 3. Obtenido de <http://papers.sae.org/971584/>
- Germany, F. S. (16 de enero de 2008). *Formula Student*. Recuperado el 12/05/2017. Obtenido de Formula Student:

<https://www.formulastudent.de/pr/news/details/article/pats-column-january-2/>

- Gore, R., Gund, K., Patane, M.; Mohite, V., & Chimote, V. (12 de Marzo de 2017). *Inpressco*. Recuperado el 12/05/2017. Obtenido de Inpressco: <http://inpressco.com/wp-content/uploads/2017/05/Paper29122-125.pdf>
- Guascal, E., & Quiroz, L. (2015). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Recuperado el 14/05/2017. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6131/1/T-ESPEL-MAI-0412.pdf>
- Huang, X., & Xie, M. (2007). Topology optimization of energy-absorbing. *International Journal of Crashworthiness*, 670. doi: 10.1002/nme.5531
- Luque, P., Alvarez, D., & Vera, C. (2005). Ingeniería del Automóvil. En P. Luque, D. Alvarez, & C. Vera, *Ingeniería del Automóvil* (págs. 269-281). Madrid: Thomson.
- Mejía, D. (Enero de 2015). *Repositorio Digital UPS*. Recuperado el 12/05/2017. Obtenido de Repositorio Digital UPS: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7547/1/UPS-CT004482.pdf>
- Mena, E. (2017). Optimización estructural topológica de las manguetas delanteras para un vehículo prototipo Formula Student mediante el análisis de elementos finitos. *Optimización estructural topológica de las manguetas delanteras para un vehículo prototipo Formula Student mediante el análisis de elementos finitos*.
- Mott, R. (2006). Diseño de elementos de maquina. En R. Mott, *Diseño de elementos de maquina* (pág. 185). México,D.F.: Pearson.
- NTN. (2009). *NTN corporation*. Recuperado el 16/05/2017. Obtenido de NTN corporation: [http://www.ntnamericas.com/en/website/documents/brochures-and-literature/catalogs/ntn\\_2202-ixe.pdf](http://www.ntnamericas.com/en/website/documents/brochures-and-literature/catalogs/ntn_2202-ixe.pdf)

- Orejuela, J. (Julio de 2016). *Repositorio Documental de la Universidad de Valladolid*. Recuperado el 12/05/2017. Obtenido de Repositorio Documental de la Universidad de Valladolid:  
<http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/18338/1/TFM-I-423.pdf>
- Oz. (2015). *Oz Racing*. Recuperado el 13/05/2017. Obtenido de Oz Racing:  
<http://www.ozracing.com/motorsport/formula-student/wheels>
- Pirelli. (2017). *Pirelli*. Recuperado el 12/05/2017. Obtenido de Pirelli:  
<https://www.pirelli.com/tyres/es-es/competition/f1/gama-neumaticos-f1>
- Racing, A. (2011). *AP Racing*. Recuperado el 15/05/2017. Obtenido de AP Racing:  
[http://www.apracing.com/products/race\\_car/formula\\_student/sae/brake\\_discs.aspx](http://www.apracing.com/products/race_car/formula_student/sae/brake_discs.aspx)
- Reddy, S. N., Maranan, V., & Simpson, T. (2016). Application of topology optimization and desing for additive manufacturing guidelines on an automotive component. *Proceedings of the ASME 2016 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, 1.
- Reyes, D. (2016). *DSpace de la Universidad del Azuay*. Recuperado el 12/05/2017. Obtenido de DSpace de la Universidad del Azuay:  
<http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6486/1/12625.pdf>
- SAE. (13 de Septiembre de 2017). *SAE International*. Recuperado el 14/05/2017. Obtenido de SAE International:  
<http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/>
- Tagade, P., Sahu, A., & Kutarmare. (2015). Optimizacion and Finite Element Analysis of Steering Knuckle. *International Journal of Computer Applications*.
- Zapata, J. (s.f.). *Eumed*. Recuperado el 16/05/2017. Obtenido de Eumed :  
<http://www.eumed.net/libros-gratis/ciencia/2013/14/teoria-tension-normal-maxima.html>

# ANEXOS



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

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el siguiente trabajo fue desarrollado por los señores: Cristian Ricardo Cepeda Paredes y Christian Alexander Tupiza Quimbiulco bajo la supervisión.

Ing. Oscar Bladimir Arteaga López

**Director de proyecto**

Ing. Danilo Zambrano

**Director de Carrera**

Dr. Freddy Jaramillo

**Secretario Académico**