



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA**

### **CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

#### **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN PULL-ROD Y PUESTA A PUNTO DEL VEHÍCULO PROTOTIPO FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:**

JONATHAN MAURICIO MOROCHO GUAMÁN

JUAN CARLOS HERRERA ANGUISACA

Riobamba – Ecuador

2021



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA**

### **CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

#### **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN PULL-ROD Y PUESTA A PUNTO DEL VEHÍCULO PROTOTIPO FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:** JONATHAN MAURICIO MOROCHO GUAMÁN

JUAN CARLOS HERRERA ANGUISACA

**DIRECTOR:** ING. CELIN ABAD PADILA PADILLA

Riobamba – Ecuador

2021

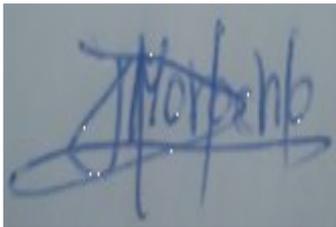
**©2021, Jonathan Mauricio Morocho Guamán y Juan Carlos Herrera Anguisaca**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, **Jonathan Mauricio Morocho Guamán** y **Juan Carlos Herrera Anguisaca**, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 01 de Diciembre del 2021



---

**Jonathan Mauricio Morocho Guamán**

**030262437-4**



---

**Juan Carlos Herrera Anguisaca**

**050452383-8**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

El Tribunal del trabajo de integración curricular certifica que: El trabajo de integración curricular; tipo: **proyecto técnico**, “**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN PULL-ROD Y PUESTA A PUNTO DEL VEHÍCULO PROTOTIPO FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**”, realizado por los señores **JONATHAN MAURICIO MOROCHO GUAMÁN** y **JUAN CARLOS HERRERA ANGUISACA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA:

FECHA:

ING. JUAN CARLOS ROCHA HOYOS

2021-12-01

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

ING. CELIN ABAD PADILLA PADILLA

2021-12-01

**DIRECTOR DE TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

DRA. OLGA BEATRIZ BARRERA CÁRDENA

2021-12-01

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado en primer lugar a Dios por haberme brindado la oportunidad de seguir el camino hacia mi sueño. Y también a mis padres Manuel Morocho y Flor Guamán que con su constante apoyo me permitieron terminar, sin importar lo difícil de la situación y a todos mis familiares que confiaron siempre en mí.

Jonathan Mauricio

A mis padres Ricardo Herrera y Hercelinda Anguisaca que siempre me apoyaron incondicionalmente, en este mi camino para alcanzar mis anhelos, también a mis hermanos por su compañía así como confiar siempre en mí y mis cualidades, a mi pequeña familia en florecimiento y a cada uno de mis seres queridos por permitirme ser parte de su orgullo.

Juan Carlos

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro más sincero agradecimiento para la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo principalmente a la Carrera de Ingeniería Automotriz por abrirnos las puertas para una formación de calidad por medio de sus excelentes docentes y de manera especial al Ingeniero Celin Padilla Tutor de este trabajo de titulación y a la Doctora Olga Barrera quienes con paciencia nos encaminaron para cumplir de un manera correcta este proyecto técnico.

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i> .....	4
1.4.2 <i>Objetivo Especifico</i> .....	4
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1 Estado del arte.....	5
2.1.1 <i>Fórmula SAE</i> .....	5
2.2 Bases teóricas.....	5
2.2.1 <i>Sistema de Suspensión</i> .....	5
2.2.2 <i>La suspensión en automóviles</i> .....	6
2.2.3 <i>Tipos de suspensión</i> .....	7
2.2.3.1 <i>Suspensión semi rígida</i> .....	7
2.2.3.2 <i>Suspensión rígida</i> .....	8
2.2.3.3 <i>Suspensión McPherson</i> .....	10

2.2.3.4	<i>Suspensión independiente</i>	11
2.2.3.5	<i>Suspensión pull rod</i>	13
2.2.3.6	<i>Suspensión push rod</i>	13
2.2.4	<b><i>Elementos constitutivos de la suspensión</i></b>	13
2.2.4.1	<i>Amortiguador</i>	15
2.2.4.2	<i>Tipos de amortiguadores</i>	17
2.2.4.3	<i>Amortiguadores para sistemas pull y push rod</i>	21
2.2.4.4	<i>Anclaje del sistema de suspensión</i>	22
2.2.4.5	<i>Brazos de anclaje</i>	23
2.2.4.6	<i>Resortes</i>	24
2.2.5	<b><i>Elementos que interactúan con el sistema de suspensión</i></b>	25
2.2.5.1	<i>Chasis tubular</i>	25
2.2.5.2	<i>Dirección</i>	25
2.2.5.3	<i>Rótulas</i>	26
2.2.6	<b><i>Importancia de los sistemas de suspensión</i></b>	26
2.2.6.1	<i>Estabilidad</i>	26
2.2.6.2	<i>Peso</i>	27
2.2.6.3	<i>Seguridad</i>	27
2.2.6.4	<i>Confort</i>	27
2.2.6.5	<i>Distancia de amortiguación</i>	28
2.2.6.6	<i>Reacción instantánea de amortiguación</i>	29
2.2.7	<b><i>Geometría de la suspensión</i></b>	29
2.2.7.1	<i>Ancho de vía</i>	29
2.2.7.2	<i>Distancia entre ejes</i>	30
2.2.7.3	<i>Centro de gravedad</i>	30
2.2.7.4	<i>Centro instantáneo de rotación</i>	31
2.2.7.5	<i>Centro de Balanceo</i>	32
2.3	<b>Marco legal</b>	33
2.3.1	<b><i>Reglamento Fórmula SAE</i></b>	33

<b>2.3.2 Parte T - Requerimientos técnicos generales</b> .....	33
2.3.2.1 Configuración del vehículo .....	33
2.3.2.2 Carrocería.....	34
2.3.2.3 Suspensión.....	35
2.3.2.4 Ruedas .....	35
2.3.2.5 Llantas.....	35
2.3.2.6 Dirección.....	36
2.3.2.7 Distancia entre ejes.....	37
2.3.2.8 Estabilidad de seguimiento y vuelco .....	37

### CAPÍTULO III

<b>3. MARCO METODOLÓGICO</b> .....	38
<b>3.1 Diagrama de etapas del proyecto</b> .....	38
<b>3.2 Metodología de investigación a realizar</b> .....	39
<b>3.2.1 Metodología de Diseño</b> .....	40
3.2.1.1 Identificación de la necesidad.....	41
3.2.1.2 Investigación preliminar .....	41
3.2.1.3 Planteamiento de objetivo.....	41
3.2.1.4 Especificaciones de desempeño .....	41
3.2.1.5 Ideación e invención .....	42
3.2.1.6 Análisis.....	42
3.2.1.7 Selección .....	42
3.2.1.8 Diseño detallado .....	43
3.2.1.9 Creación de prototipos y pruebas .....	43
3.2.1.10 Producción.....	43
<b>3.2.2 Aplicación de la metodología de diseño</b> .....	44
3.2.2.1 Identificación de la necesidad.....	44
3.2.2.2 Investigación preliminar .....	44
3.2.2.3 Planteamiento de objetivo.....	44

3.2.2.4	<i>Especificaciones de desempeño</i>	45
3.2.2.5	<i>Ideación e invención</i>	45
3.2.3	<b>Modelamiento en CAD</b>	49
3.2.4	<b>Simulación en CAE</b>	49
3.3	<b>Planificación o Cronograma de actividades</b>	50
3.4	<b>Recursos y materiales</b>	50
3.4.1	<i>Materiales</i>	50
3.4.2	<i>Equipos</i>	52
3.4.3	<i>Recursos humanos</i>	52
3.4.4	<i>Recursos económicos</i>	52
3.4.4.1	<i>Gastos directos</i>	52
3.4.4.2	<i>Gastos indirectos</i>	54
3.4.4.3	<i>Gastos Totales</i>	54
3.5	<b>Desarrollo del proyecto</b>	54
3.5.1	<b>Modelamiento en CAD</b>	54
3.5.2	<b>Ensamble en CAD</b>	62
3.5.3	<b>Simulación en CAE</b>	64
3.5.3.1	<i>Cálculos para la simulación</i>	64
3.5.3.2	<i>Simulación de la suspensión</i>	68

## CAPÍTULO IV

4.	<b>RESULTADOS</b>	86
4.1	<b>Obtención de resultados</b>	86
4.1.1	<i>Resultados de la simulación en CAE</i>	86
4.1.2	<i>Resultados de la implementación</i>	87
4.2	<b>Análisis de resultados</b>	98
4.2.1	<i>Análisis de la simulación en CAE</i>	98
4.2.2	<i>Análisis de la implementación</i>	98

<b>CONCLUSIONES</b> .....	112
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	114
<b>GLOSARIO</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3:</b> Relación entre objetivos, las preguntas del proyecto y las metodologías.....	39
<b>Tabla 2-3:</b> Conceptos de solución para la construcción de los Rockers .....	46
<b>Tabla 3-3:</b> Matriz de decisión para la selección del material de los Rockers .....	47
<b>Tabla 4-3:</b> Conceptos de solución para la construcción de los Rockers .....	47
<b>Tabla 5-3:</b> Matriz de decisión para la selección del material de las bases .....	48
<b>Tabla 6-3:</b> Conceptos de solución para la construcción de las barras Pull .....	48
<b>Tabla 7-3:</b> Matriz de decisión para la selección del material de las barras Pull .....	49
<b>Tabla 8-3:</b> Materiales utilizados para el proyecto .....	51
<b>Tabla 9-3:</b> Equipos utilizados para el proyecto.....	52
<b>Tabla 10-3:</b> Recursos humanos utilizados para el proyecto.....	52
<b>Tabla 11-3:</b> Gastos directos utilizados para el proyecto .....	53
<b>Tabla 12-3:</b> Gastos indirectos utilizados para el proyecto .....	54
<b>Tabla 13-3:</b> Gastos indirectos utilizados para el proyecto .....	54
<b>Tabla 1-4:</b> Esfuerzos de trabajo .....	86
<b>Tabla 2-4:</b> Factores de seguridad .....	87
<b>Tabla 3-4:</b> Funcionamiento de la suspensión en Hard .....	88
<b>Tabla 4-4:</b> Funcionamiento de la suspensión en Soft.....	89
<b>Tabla 5-4:</b> Funcionamiento de la suspensión en Hard .....	90
<b>Tabla 6-4:</b> Funcionamiento de la suspensión en Soft.....	94
<b>Tabla 7-4:</b> Funcionamiento de la suspensión en Soft T.I.....	99
<b>Tabla 8-4:</b> Funcionamiento de la suspensión en Hard T.I .....	102
<b>Tabla 9-4:</b> Funcionamiento de la suspensión en Soft .TI.....	106
<b>Tabla 10-4:</b> Funcionamiento de la suspensión en Hard T.I .....	107
<b>Tabla 11-4:</b> Selección de la configuración ideal para la pista de pruebas.....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Clasificación del diseño de los sistemas de suspensión .....	7
<b>Figura 2-2:</b> Suspensión semi-rígida .....	8
<b>Figura 3-2:</b> Suspensión rígida .....	8
<b>Figura 4-2:</b> Combinación de eje sólido y muelles. ....	9
<b>Figura 5-2:</b> Suspensión de cuatro enlaces.....	10
<b>Figura 6-2:</b> Suspensión Dion. ....	10
<b>Figura 7-2:</b> Suspensión McPherson .....	11
<b>Figura 8-2:</b> Suspensión independiente .....	11
<b>Figura 9-2:</b> Suspensión de brazo simple .....	12
<b>Figura 10-2:</b> Suspensión de brazo corto y largo. ....	12
<b>Figura 11-2:</b> Suspensión pull y push rod .....	13
<b>Figura 12-2:</b> Partes de una suspensión.....	14
<b>Figura 13-2:</b> Amortiguador hidráulico telescópico moderno.....	16
<b>Figura 14-2:</b> Oscilación del resorte en un amortiguador .....	17
<b>Figura 15-2:</b> Constitución de un amortiguador bitubo.....	18
<b>Figura 16-2:</b> Esquema simplificado de un amortiguador montubo.....	20
<b>Figura 17-2:</b> Vástago del amortiguador .....	21
<b>Figura 18-2:</b> Amortiguadores para sistemas pull y push rod .....	22
<b>Figura 19-2:</b> Rocker .....	22
<b>Figura 20-2:</b> Brazos de anclaje .....	23
<b>Figura 21-2:</b> Barras de anclaje .....	23
<b>Figura 22-2:</b> Resortes helicoidales.....	24
<b>Figura 23-2:</b> Resortes de muelles.....	24
<b>Figura 24-2:</b> Chasis tubular .....	25
<b>Figura 25-2:</b> Mecanismo de Dirección .....	26
<b>Figura 26-2:</b> Rótula ojo de pez .....	26
<b>Figura 27-2:</b> Ancho de vía .....	30

<b>Figura 28-2:</b> Distancia entre ejes .....	30
<b>Figura 29-2:</b> La altura del centro de gravedad influye decisivamente sobre la tendencia de vuelco.....	31
<b>Figura 30-2:</b> Centro instantáneo de rotación CIR.....	32
<b>Figura 31-2:</b> Centro de balanceo CB .....	32
<b>Figura 32-2:</b> Zonas de exclusión para la definición de un vehículo de ruedas abiertas.....	34
<b>Figura 1-3:</b> Matriz de decisión.....	43
<b>Figura 2-3:</b> Sistema Pull-Rod .....	45
<b>Figura 3-3:</b> Sistema Pull-Rod .....	46
<b>Figura 4-3:</b> Cuerpo del Rocker .....	55
<b>Figura 5-3:</b> Eje Rocker.....	55
<b>Figura 6-3:</b> Rocker.....	56
<b>Figura 7-3:</b> Rocker ASTM A-36.....	56
<b>Figura 8-3:</b> Barra Pull delantera.....	57
<b>Figura 9-3:</b> Barra Pull delantera AISI 1045.....	57
<b>Figura 10-3:</b> Barra Pull trasera.....	57
<b>Figura 11-3:</b> Barra Pull trasera AISI 1045.....	58
<b>Figura 12-3:</b> Base para las barras Pull .....	58
<b>Figura 13-3:</b> Base para las barras Pull ASTM A-36.....	58
<b>Figura 14-3:</b> Base para los Rocker.....	59
<b>Figura 15-3:</b> Base para los Rockers ASTM A-36.....	59
<b>Figura 16-3:</b> Base para los Amortiguadores .....	59
<b>Figura 17-3:</b> Base para los Amortiguadores ASTM A-36.....	60
<b>Figura 18-3:</b> Mesa delantera derecha ASTM A-36.....	60
<b>Figura 19-3:</b> Mesa delantera izquierda ASTM A-36 .....	60
<b>Figura 20-3:</b> Mesa trasera derecha ASTM A-36.....	61
<b>Figura 21-3:</b> Mesa trasera izquierda ASTM A-36 .....	61
<b>Figura 22-3:</b> Mangueta Aluminio 7075 - T6.....	61
<b>Figura 23-3:</b> Suspensión trasera izquierda.....	62

<b>Figura 24-3:</b> Suspensión delantera derecha .....	62
<b>Figura 25-3:</b> Suspensión mesas-neumático.....	63
<b>Figura 26-3:</b> Suspensión trasera Pull-Rod .....	63
<b>Figura 27-3:</b> Suspensión delantera Pull-Rod .....	63
<b>Figura 28-3:</b> Suspensión Pull-Rod.....	64
<b>Figura 29-3:</b> Suspensión delantera para la simulación .....	70
<b>Figura 30-3:</b> Suspensión trasera para la simulación .....	70
<b>Figura 31-3:</b> Mallado de la suspensión delantera .....	70
<b>Figura 32-3:</b> Mallado de la suspensión trasera .....	71
<b>Figura 33-3:</b> Deformación total de la suspensión delantera.....	71
<b>Figura 34-3:</b> Deformación total de la suspensión trasera.....	71
<b>Figura 35-3:</b> Tensión de Von-Mises de la suspensión delantera .....	72
<b>Figura 36-3:</b> Tensión de Von-Mises de la suspensión trasera .....	72
<b>Figura 37-3:</b> Factor de seguridad de la suspensión delantera .....	72
<b>Figura 38-3:</b> Factor de seguridad de la suspensión trasera .....	73
<b>Figura 39-3:</b> Factor de seguridad de la barra Pull delantera .....	73
<b>Figura 40-3:</b> Factor de seguridad de la barra Pull trasera .....	73
<b>Figura 41-3:</b> Factor de seguridad del Rocker delantero.....	74
<b>Figura 42-3:</b> Factor de seguridad del Rocker trasero.....	74
<b>Figura 43-3:</b> Vehículo prototipo Fórmula SAE de la carrera de Ingeniería Automotriz .....	75
<b>Figura 44-3:</b> Bosquejos iniciales.....	75
<b>Figura 45-3:</b> Rockers terminados.....	76
<b>Figura 46-3:</b> Barras Pull.....	76
<b>Figura 47-3:</b> Bases para los elementos de la suspensión .....	77
<b>Figura 48-3:</b> Soldadora .....	77
<b>Figura 49-3:</b> Bases soldadas en el prototipo .....	78
<b>Figura 50-3:</b> Suspensión trasera Pull-Rod terminada .....	78
<b>Figura 51-3:</b> Unión de elementos con suelda MIG.....	79
<b>Figura 52-3:</b> Suspensión delantera derecha Pull-Rod.....	79

<b>Figura 53-3:</b> Suspensión delantera Pull-Rod .....	80
<b>Figura 54-3:</b> Suspensión Pull-Rod.....	80
<b>Figura 55-3:</b> Manguetas de aluminio colocadas en el disco .....	81
<b>Figura 56-3:</b> Punta de eje colocada en la mangueta.....	81
<b>Figura 57-3:</b> Rockers pintados.....	82
<b>Figura 58-3:</b> Limpieza y reparación del bombín de freno .....	82
<b>Figura 59-3:</b> Purgado del sistema de frenos.....	83
<b>Figura 60-3:</b> Dirección reparada .....	83
<b>Figura 61-3:</b> Colocación de las fibras delanteras .....	84
<b>Figura 62-3:</b> Colocación de las fibras posteriores.....	84
<b>Figura 63-3:</b> Colocación del alerón delantero.....	84
<b>Figura 64-3:</b> Cinturón de seguridad de 5 puntos.....	85
<b>Figura 65-3:</b> Prototipo Fórmula SAE finalizado.....	85
<b>Figura 1-4:</b> Funcionamiento de la suspensión en Hard.....	87
<b>Figura 2-4:</b> Funcionamiento de la suspensión en Soft.....	88
<b>Figura 3-4:</b> Funcionamiento estática de la suspensión delantera.....	89
<b>Figura 4-4:</b> Funcionamiento estática de la suspensión trasera.....	90
<b>Figura 5-4:</b> Funcionamiento de la suspensión en Hard.....	90
<b>Figura 6-4:</b> Funcionamiento de la suspensión en Soft .....	94
<b>Figura 7-4:</b> Clases de pruebas realizadas .....	98

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b> Ciclos de compresión y de extensión .....	28
<b>Gráfico 2-2:</b> Distancia de amortiguación .....	28
<b>Gráfico 1-3:</b> Diagrama de etapas del proyecto.....	38
<b>Gráfico 2-3:</b> Cronograma de actividades del proyecto .....	50
<b>Gráfico 1-4:</b> Comportamiento de la suspensión en configuración estática - Soft .....	101
<b>Gráfico 2-4:</b> Comportamiento instantáneo de la suspensión en configuración estática- Soft .....	102
<b>Gráfico 3-4:</b> Comportamiento de la suspensión en configuración estática - Hard.....	105
<b>Gráfico 4-4:</b> Comportamiento instantáneo de la suspensión en configuración estática- Hard .....	105
<b>Gráfico 5-4:</b> Comportamiento de suspensión en pista con configuración dinámica - Soft..	107
<b>Gráfico 6-4:</b> Comportamiento de suspensión en pista con configuración dinámica - Hard.	109
<b>Gráfico 7-4:</b> Comportamiento de todas las configuraciones.....	110
<b>Gráfico 8-4:</b> Configuración dinámica-Soft .....	111

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**Anexo A:** Plano del grupo Pull

**Anexo B:** Plano del SAE y lista de materiales

**Anexo C:** Tablas de electrodos (AWS)

## RESUMEN

El objetivo del presente proyecto técnico fue implementar un sistema de suspensión PullRod y puesta a punto del vehículo prototipo Fórmula SAE de la carrera de Ingeniería Automotriz, tanto delantera como posterior, ya que al participar en una competición de Fórmula SAE, los miembros del equipo como individuos, profesores asesores y demás personal de la universidad están obligados a cumplir las reglas y todas las interpretaciones o procedimientos emitidas o anunciadas por el Comité de Normas SAE y las otras entidades organizadoras. Por medio de fundamentación teórica se obtuvo todos los conocimientos necesarios para el diseño y simulación del sistema de suspensión basándose principalmente en el reglamento de Fórmula SAE. Además, se describió y aplicó una metodología de diseño para definir el proceso y los aspectos a seguir durante la elaboración del proyecto ya que la suspensión de un monoplaza cumple con diferentes funciones; por lo que el diseño establecido consta de un ancho de vía y distancias entre ejes que permitirán mantener la estabilidad en pista. Se realizó un análisis de los momentos críticos con simulación durante el funcionamiento del vehículo, así como el proceso a seguir para realizar el ensamble final de la suspensión. Se definieron los parámetros necesarios para la realización el montaje real en el prototipo, describiendo su construcción paso a paso hasta la puesta a punto de todo el vehículo prototipo. Al diseñar el sistema de suspensión se tomó en cuenta todos los elementos que componen un sistema Pull-Rod, y en el análisis por medio de elementos finitos se comprobó el funcionamiento como lo especifica el reglamento. Se recomienda que si se desea hacer alguna mejora futura consultar con todos los integrantes que realizaron el proyecto para facilitar la manipulación y garantizar las mejoras si así se plantean.

**Palabras clave:** <INGENIERÍA AUTOMOTRIZ> <SISTEMA DE SUSPENSIÓN>

<FÓRMULA SAE> <VEHÍCULO PROTOTIPO> <AMORTIGUADORES>

<NEUMÁTICOS>.



Firmado electrónicamente por:  
**HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA**

0103-DBRA-UPT-2022

2022-01-24

## SUMMARY

The objective of this technical project was to implement a Pull-Rod suspension system and tuning of the Formula SAE prototype vehicle of the Automotive Engineering career, both front and rear. Since when participating in a Formula SAE competition, the team members as individuals, advisory professors and other university personnel are obliged to comply with the rules and all interpretations or procedures issued or announced by the SAE Standards Committee and other organizers. Through theoretical foundation, all the necessary knowledge was obtained for the design and simulation of the suspension system based mainly on the Formula SAE regulations. In addition, a design methodology was described and applied to define the process and the aspects to follow during the development of the project, since the suspension of a single-seater fulfills different functions; therefore, the final design consists of a track width and wheelbases that will allow stability to be maintained on the track. An analysis of the critical moments with simulation was carried out during the operation of the vehicle, as well as the process to carry out the final assembly of the suspension. The necessary parameters were defined to carry out the real assembly in the prototype, describing its construction step by step until setting up the entire prototype vehicle. When designing the suspension system, all the elements that make up a Pull-Rod system were considered, and in the analysis using finite elements, the operation was verified as specified by the regulations. It is recommended to consult with all the members who carried out this project if any future improvement needs to be done in order to facilitate handling and guarantee improvements if they arise.

**Keywords:** <AUTOMOTIVE ENGINEERING> <SUSPENSION SYSTEM> <FORMULA SAE> <PROTOTYPE VEHICLE> <SHOCK ABSORBERS> <TIRES>.

SANDRA  
LETICIA  
GUIJARRO  
PAGUAY

Firmado digitalmente por SANDRA LETICIA GUIJARRO PAGUAY  
Fecha: 2022.02.04 20:59:39 -05'00'

## INTRODUCCIÓN

En este proyecto técnico, se plantea para el prototipo Fórmula SAE de la carrera de Ingeniería Automotriz la implementación de un sistema de suspensión Pull Rod tanto delantera como posterior, ya que al participar en una competición de Fórmula SAE, el equipo, los miembros del equipo como individuos, profesores asesores y demás personal de la universidad están obligados a cumplir las reglas y todas las interpretaciones o procedimientos de reglas emitidas o anunciadas por el Comité de Normas SAE y las otras entidades organizadoras. (Clemente , 2020)

Las normas según (SAE International, 2017) estipulan para la competición las siguientes: Norma española UNE 1-039-94-Dibujos técnicos, Acotación y Norma española UNE: 157001. Criterios generales para la elaboración de proyectos, las mismas que son regulaciones relacionadas con el uso del sitio de la competencia por equipos o individuos publicados y a disposición del público se incorporan a las Normas FSAE por referencia. (Clemente , 2020)

Además (SAE International, 2017) advierte que los vehículos diseñados de acuerdo con estas reglas de Fórmula SAE son destinados a operar exclusivamente en las competencias oficiales de Formula SAE, por eso para este proyecto se decide que sea una suspensión Pull Rod por las evidentes ventajas, para así garantizar un mejor desempeño dentro de la competición, dichas ventajas a comparación de otros vehículos tipo fórmula son tener más bajo el centro de gravedad, que la varilla de accionamiento podría ser más ligera, la barra de tracción actúa en la misma dirección cuando se aplica carga en las curvas, aumenta la compacidad de todo el conjunto de suspensión, el conjunto de manivela de campana es más complejo y las piezas no son fácilmente accesibles para realizar ajustes, lo cual es una de las principales razones por las que se implementa la varilla de empuje, el brazo de control superior soporta cargas más altas ya que la varilla de tracción está montada en él, por lo que es necesario incorporar un diseño más firme. ( Rodríguez Alcalá , y otros, 2016)

Para el diseño y la simulación de la suspensión se utilizará software CAD y CAE como lo es SolidWorks y ANSYS, para que de una manera teórica se tengan todos los elementos listos para la implementación.

Además de la implementación de la suspensión Pull Rod se plantea el puesto a punto del vehículo mediante un número repetitivo de pruebas se buscara la eficiencia del vehículo en un 100%.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes

En el transcurso de los años se ha demostrado un fuerte interés por la competición Fórmula SAE dentro de las instituciones que cuentan con la carrera de Ingeniería Automotriz tanto los docentes como los estudiantes, un claro ejemplo fueron las participaciones en Hokenjai y Silverston por parte de la Escuela Politécnica del Ejército y la Universidad Politécnica Salesiana representantes de Ecuador en la Fórmula SAE. (Universidad Politécnica Salesiana , 2017). Y la carrera de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH lleva años con el diseño de prototipos y se espera próximamente participar en la siguiente competencia.

### 1.2 Planteamiento del problema

La Carrera de Ingeniería Automotriz, está dando los primeros pasos a lo que respecta a la competencia de la Fórmula SAE, con el diseño y construcción de un prototipo y por eso para garantizar una mejor participación y desempeño, se decide implementar un sistema de suspensión Pull-Rod para así cumplir con los requerimientos porque según (SAE Internacional, 2020) la Suspensión en el vehículo debe estar equipado con sistemas de suspensión delantera y trasera totalmente operativos, incluyendo amortiguadores y un recorrido útil de la rueda de al menos 50 mm y un balanceo mínimo de 25 mm con conductor sentado, la distancia mínima estática al suelo de cualquier parte del vehículo, excepto los neumáticos, incluido un controlador, debe tener un mínimo de 30 mm, todos los puntos de montaje de la suspensión deben ser visibles en la inspección técnica, ya sea por vista directa o quitando las cubiertas, y con la implementación de este sistema en el prototipo Fórmula SAE y con la puesta a punto estará listo para una competencia nacional e internacional.

Además se plantea múltiples ecuaciones con base en ( Rodríguez Alcalá , y otros, 2016) ya que en algunas de las secciones de la suspensión, con las cuales a partir de las propiedades de inercia, las conexiones entre los distintos cuerpos y las fuerzas actuantes, es posible calcular las fuerzas a las que el sistema está sometido y este mismo facilita la adaptación de los sistemas de freno y suspensión, se realizaron con geometría constructiva, teniendo en cuenta conceptos como fatiga, factor de seguridad y transferencias de masas.

### 1.3 Justificación

La Fórmula SAE es una competencia estudiantil organizada por la SAE (Society of Automotive Engineers o Sociedad de Ingenieros Automotrices) cuyo objetivo principal es fomentar la habilidad de los estudiantes de resolver problemas de ingeniería reales fuera de las aulas, logrando así una mejor formación de jóvenes ingenieros que puedan incorporarse al campo laboral de manera casi inmediata a la culminación de su carrera. (SAE Competition , 2020)

La Fórmula SAE engloba todos los aspectos de negocios incluyendo investigación, diseño, manufactura, prueba, desarrollo, mercadeo, gerencia y movilización de fondos. Fórmula SAE toma a los estudiantes y los coloca fuera de las aulas de clases en el mundo real. Este proyecto ha consistido en realizar un sistema suspensión pull rod con el cual el prototipo cumplirá con los requerimientos para la competición, como lo estipula SAE. (SAE Internacional, 2020)

Las suspensiones son un elemento muy importante en los monoplazas, y en los vehículos en general. De ellas depende el buen manejo a la hora de afrontar circuitos bacheados, lisos o con bordillos agresivos. También son una parte fundamental para que el piloto sienta el monoplaza como él desea. Además cuando se habla de suspensiones, existe un concepto muy importante que es el de masa suspendida y masa no suspendida. La masa no suspendida son todas las partes que, incluyendo la rueda, sirven para filtrar las irregularidades del terreno, mientras que la masa suspendida es el resto de las partes del coche. (Ingeniero de sofá, 2016)

El sistema Pull-Rod lo volvió a poner en uso Red Bull Racing. En él, la barra diagonal trabaja a tracción y algunos elementos están colocados diferente. En este caso, la barra diagonal tira del balancín hasta que forman una línea recta. Al estar el amortiguador unido al balancín, se comprime. (Ingeniero de sofá, 2016)

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 *Objetivo general***

Realizar la implementación de un sistema de suspensión Pull-Rod y puesta a punto del vehículo prototipo Fórmula SAE de la carrera de Ingeniería Automotriz.

### **1.4.2 *Objetivo Especifico***

- Identificar todos los conceptos necesarios, revisando la normativa SAE, artículos relacionados e información similar para tener en cuenta todas las variables sobre la implementación de un sistema de suspensión Pull-Rod.
- Diseñar el sistema de suspensión mediante el análisis de los diferentes elementos que se implementaran en el dicho sistema para obtener como resultado una suspensión que cumpla con los requerimientos para la competencia de Fórmula SAE.
- Realizar el montaje del sistema de suspensión, además de los implementos que hagan falta en el prototipo usando las herramientas necesarias para comprobar el correcto el desempeño y funcionamiento de la Suspensión.
- Valorar el funcionamiento del sistema de suspensión, revisando los datos obtenidos en todas las pruebas realizadas para así comprobar que no existen fallas en el desempeño y funcionamiento de la suspensión.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Estado del arte

##### 2.1.1 *Fórmula SAE*

La Fórmula SAE es conocida también como la Fórmula Student, la cual es una competición como su nombre lo especifica entre los estudiantes de distintas universidades de manera internacional en donde se promueve la excelencia en la ingeniería, ya que para dicha competencia los integrantes de los diferentes equipos deben diseñar, construir, desarrollar y competir en un vehículo monoplace. (SAE Internacional, 2020)

En el año de 1981, se da la primera edición de la Fórmula SAE que fue organizada en la Universidad de Texas en Austin, en la cual participaron seis equipos y un total de 40 alumnos. Dicha competición ha ido creciendo con el pasar de los años, pero desde 1998 se lleva a cabo también en Warwickshire una edición británica conocida como Formula Student en ese año participaron cuatro equipos y 40 alumnos. Y en la actualidad se celebran competiciones en diferentes países como son: Alemania, Japón, Brasil, Australia, etc. Cabe recalcar que independientemente cual sea el país en donde se realice la competición se utiliza la misma normativa base original de la Fórmula SAE y la misma puede llegar a recibir hasta ciento veinte equipos y más de 2.000 estudiantes ya que los resultados obtenidos en las competiciones puntúan en el ranking mundial. (SAE History, 2020)

#### 2.2 Bases teóricas

##### 2.2.1 *Sistema de Suspensión*

El conjunto de componentes donde se conecta las ruedas del vehículo con el chasis es conocido como suspensión ya que el mismo permite un movimiento relativo de los elementos antes mencionados. El recorrido que realiza las ruedas por la acción de resortes y amortiguadores también es parte de la suspensión que son elementos estructurales que se encargan de realizar esta acción. El sistema de suspensión busca el compromiso entre dos requerimientos antagónicos; el mantenimiento de la estabilidad del vehículo sometido a fuerzas de gran poder durante su desplazamiento y el confort de los ocupantes. (Getauto, 2020)

Para que las irregularidades que se presentan en la carretera no afecten a la carrocería del vehículo la misión del sistema de suspensión es reducir dichas irregularidades lo más posible. Por eso se coloca un medio elástico de unión, entre las ruedas y el bastidor para que dicho medio elástico se deforme con el peso del vehículo y con ayuda de la inercia pueda bajarse o elevarse, según las irregularidades de la carretera, por eso si las ruedas bajan o suben por las irregularidades el medio elástico debe absorberlas para que el descenso o ascenso de la carrocería se vea disminuida significativamente. (Mecánica Automotriz, 2017)

### **2.2.2 La suspensión en automóviles**

Los sistemas de suspensión en los vehículos son los encargados de soportar el peso del vehículo, y adicionalmente desempeñan dos funciones principales: almacenar y absorber energía.

Cada una de estas dos funciones las realizan componentes diferentes, como son: los elementos elásticos de la suspensión que se encargan de almacenar la energía generada por la marcha del vehículo debido a las irregularidades de la carretera, y los elementos amortiguadores que se encargan de absorber dicha energía. (Ingemecanica, 2020)

Para garantizar una mejor adherencia entre el neumático y la carretera los elementos elásticos del sistema de suspensión al deformarse almacenan esa energía para después poder devolver esa misma energía mediante una fuerza de acción que trata de mantener siempre unida el neumático con el pavimento, y de esa manera se garantiza que no se pierda la fuerza de tracción al tener un mejor control de la dirección o también de ser el caso un mejor control de una rueda de eje motriz. (Ingemecanica, 2020)

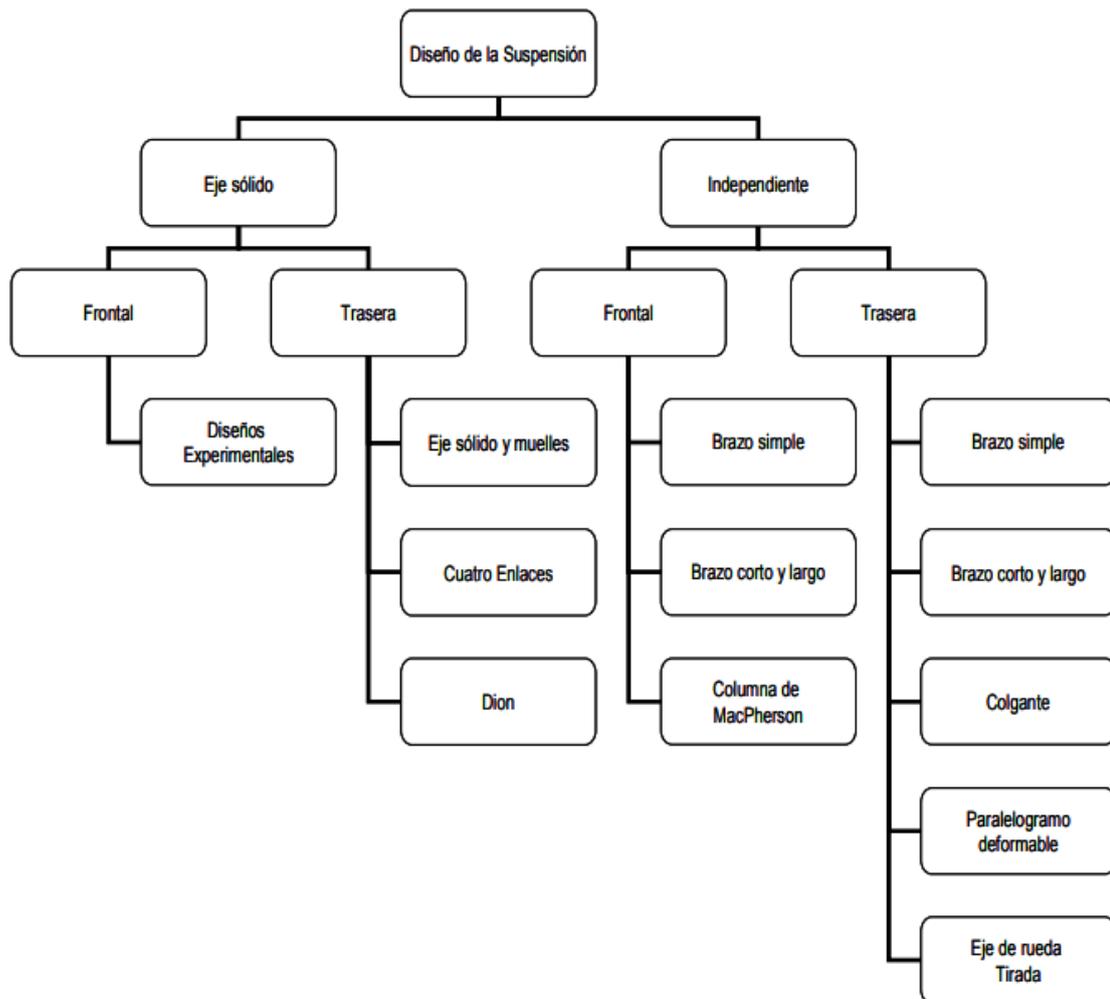
El sistema de suspensión asegura que siempre exista un buen contacto entre el neumático y el piso de la carretera para así garantizar la estabilidad en el vehículo además del más alto nivel de seguridad, para esto los encargados de desempeñar esta función importante son los elementos elásticos del sistema de suspensión. Por otro lado, los elementos amortiguadores del sistema de suspensión tienen que absorber parte de la energía generada cuando un vehículo transita por terrenos irregulares, son considerados en la suspensión disipadores de energía ya que estos elementos amortiguadores eliminan lo antes posible la energía que absorben. (Ingemecanica, 2020)

Finalmente, y no menos importante la comodidad de los ocupantes es un factor muy importante por eso el sistema de suspensión debe cumplir con esta función. Por eso al poseer una buena suspensión esta siempre evitara la transmisión de las irregularidades del terreno a los pasajeros del vehículo, brindándoles un gran nivel de confort y seguridad. También cabe mencionar que el sistema de suspensión protege al vehículo y sus componentes de las vibraciones extremas que se puedan generar debida a la circulación sobre terrenos irregulares. (Ingemecanica, 2020)

### 2.2.3 Tipos de suspensión

Los sistemas de suspensión pueden ser tanto delanteros como traseros, este depende generalmente de su ubicación, ya sea frontal o posterior.

La clasificación de estos sistemas generalmente se divide entre sólido o independiente.

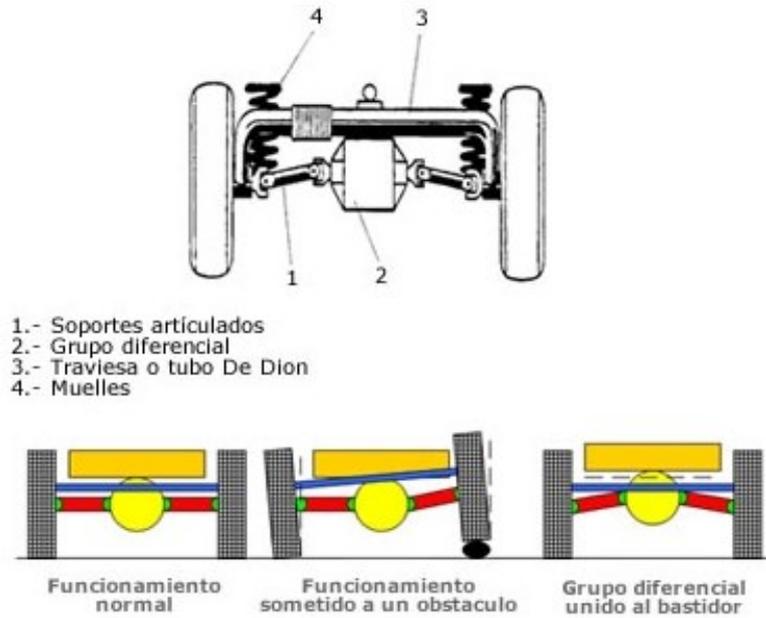


**Figura 1-2:** Clasificación del diseño de los sistemas de suspensión  
Fuente: (Torres Romero , 2015)

#### 2.2.3.1 Suspensión semi rígida

Este es muy parecido al sistema rígido la cual en su construcción lleva un brazo muy aparte de los que ya tienen, la cual es la que reduce la mayor cantidad de vibraciones, así como la estabilidad mejorada, no está dentro de la clasificación de rígidas y tampoco de la clasificación de las independiente (Torres Romero , 2015).

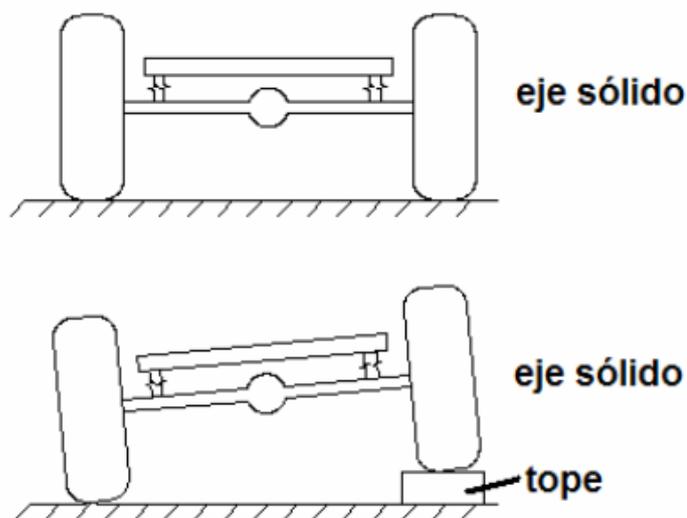
Esquema de una suspensión De Dion



**Figura 2-2:** Suspensión semi-rígida  
Fuente: (Torres Romero , 2015)

### 2.2.3.2 Suspensión rígida

Este tipo de suspensión es la que está montada a los extremos de una viga rígida. y a los esfuerzos que son sometidos las ruedas, estas son transmitidas inmediatamente causándole el mismo movimiento entre sí (Romero, 2006).



**Figura 3-2:** Suspensión rígida  
Fuente: (Romero, 2006)

Existen múltiples ventajas en el empleo de la suspensión de eje rígido.

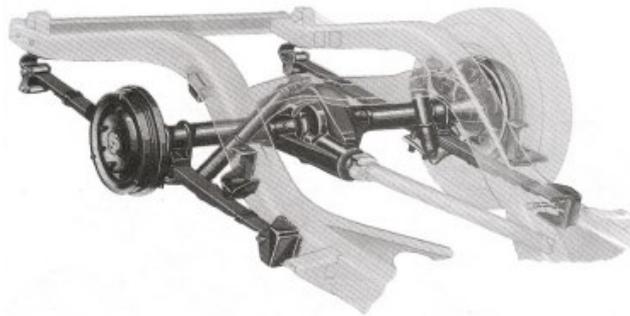
- 1- El ensamble es muy simplificado
- 2- El mantenimiento y planificación de este es muy bajo
- 3- La capacidad de carga es muy elevada

Este tipo de suspensión es muy utilizado en maquinaria que exige una alta capacidad de carga y transporte.

### **Tipos de suspensión de eje rígido.**

#### **Combinación de eje sólido y muelles.**

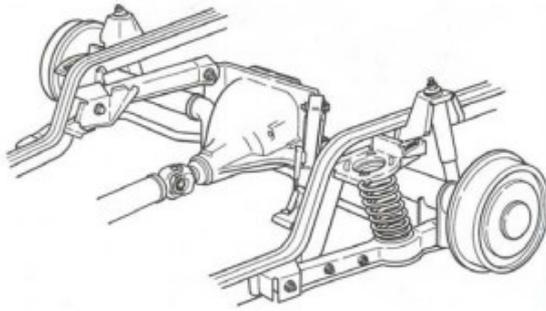
Es el más común dentro de la clasificación del eje sólido, este es ubicado en medio de ballestas o llamados también muelles helicoidales y es direccionada en dirección de las flechas de transmisión del motor, ensambladas con los muelles, juntas universales, las cuales conectan al bastidor formando una junta.



**Figura 4-2:** Combinación de eje sólido y muelles.  
Fuente: (Romero, 2006)

#### **Suspensión de cuatro enlaces.**

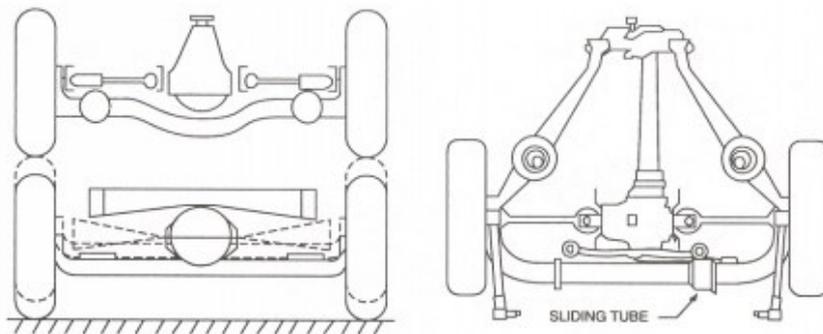
Este sistema elimina ruidos y también funciona absorbiendo las fuerzas de frenado, pueden ser reemplazados por un triángulo de enlace siempre, tiene mejor comportamiento de rodado, tiene mayor control de eje longitudinal (Romero, 2006).



**Figura 5-2:** Suspensión de cuatro enlaces.  
Fuente: (Romero, 2006)

### Suspensión Dion.

El bastidor está conectado mediante un tubo cruzado con dos flechas rodantes y el diferencial, así como el eje impulsor, este sistema de suspensión mantiene la mayor cantidad del tiempo las ruedas alineadas siempre y cuando las masas no vayan reducidas mientras que el diferencial se va alejando.



**Figura 6-2:** Suspensión Dion.  
Fuente: (Romero, 2006)

### 2.2.3.3 Suspensión McPherson

Esta dentro de la clasificación de las suspensiones independientes, este se une a la rueda con un amortiguador y el movimiento de este es perpendicular al bastidor en eje perpendicular.

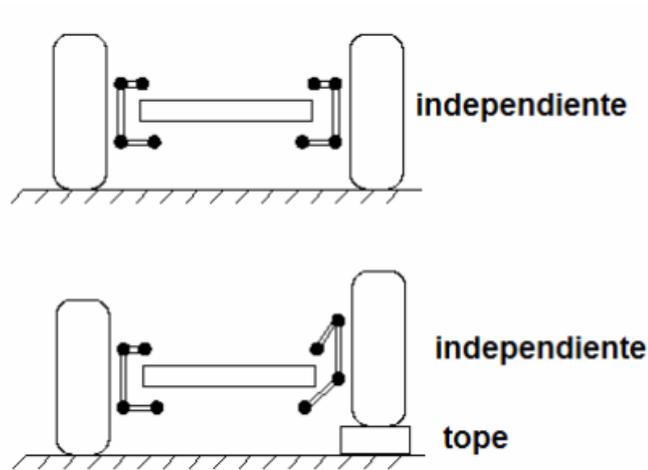
Este necesita de articulaciones en la parte inferior del buje, existen muchas versiones tiene un brazo transversal en función del tirante longitudinal, en versiones actuales se utiliza otro brazo, con las partes que no so motrices con dos brazos uno transversal y otro oblicuo. (Romero, 2006)



**Figura 7-2:** Suspensión McPherson  
**Fuente:** (Romero, 2006)

#### 2.2.3.4 Suspensión independiente

A diferencia de los ejes sólidos este sistema consiste en cada rueda moverse independientemente de cada una de las ruedas, una cantidad muy determinante de vehículos tienen en su bastidor instalados este sistema frontal, este brinda muchos beneficios así como el más espacio para el motor y elimina las vibraciones en el sistema de dirección.



**Figura 8-2:** Suspensión independiente  
**Fuente:** (Romero, 2006)

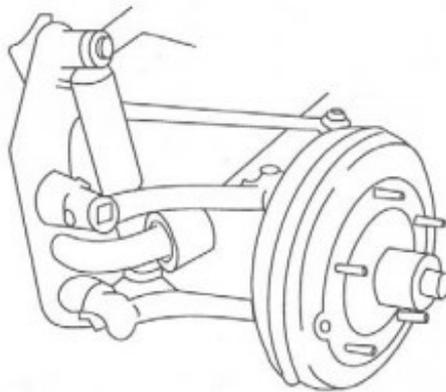
En el siglo 20 este sistema revolucionó la industria ya que podía eliminar muchas deficiencias de los ejes rígidos, así como la liberación de los espacios y disponibles.

- 1- El comportamiento en carretera es mejor
- 2- La direccionalidad se ve favorecida, así como al balance
- 3- La reducción de componente reduce también el peso

4- Las articulaciones se mejoran efectivamente.

### **Suspensión de brazo simple**

El diseñador alemán de Volkswagen aplicó en sus modelos uno de los más simples y baratos ya a finales de la segunda guerra mundial, esta consta de brazos paralelos que conectan con un brazo de torsión que permite el resorteo y así las ruedas siempre permanecen paralelas a la carrocería (Torres Romero , 2015).

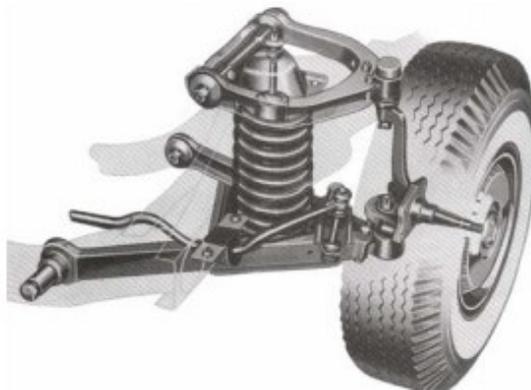


**Figura 9-2:** Suspensión de brazo simple

Fuente: (Torres Romero , 2015).

### **Suspensión de brazo corto y largo.**

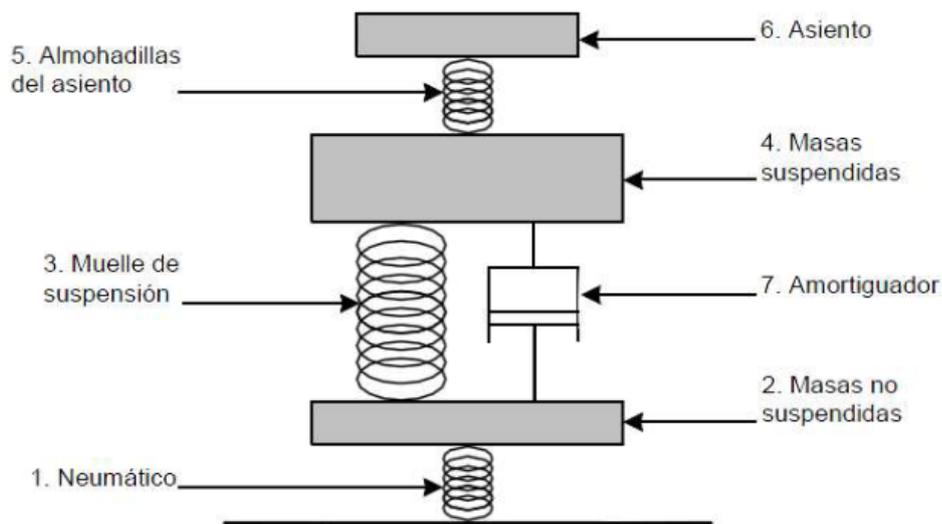
La mayoría de los automóviles traen este tipo de suspensión, este usa dos brazos que sostienen a la mangueta y estos brazos son similares a una A de ahí la terminación brazo de A, sus brazos son largos y cortos de ahí su nombre (long-short arm).



**Figura 10-2:** Suspensión de brazo corto y largo.

Fuente: (Torres Romero , 2015).





**Figura 12-2:** Partes de una suspensión.

Fuente: (Urbieta, 2003)

El neumático 1: Entre el suelo y las masas no suspendidas se encuentra interpuesto. (Urbieta, 2003)

La masa no suspendida 2: constituye el conjunto de ruedas, frenos, puentes rígidos, bielas o brazos de empuje y reacción, varilla de la dirección. (Urbieta, 2003)

Los muelles 3: Se encuentran entre la masa suspendida 4 y la masa no suspendida 2 además de los amortiguadores 7, en el sistema de suspensión son conocidos como los órganos elásticos. (Urbieta, 2003)

La masa suspendida 4: Está constituida por el bastidor, el grupo moto-propulsor, el diferencial suspendido, los mandos de dirección y frenos, la carrocería, los pasajeros. (Urbieta, 2003)

Para la comodidad del pasajero la suspensión contribuye con el almohadillado 5 y la forma del asiento 6. (Urbieta, 2003)

Los neumáticos absorben las irregularidades de los terrenos y si estas son pequeñas no llegan a afectar a la suspensión, y por la flexibilidad transversal y longitudinal de los neumáticos son atenuados los esfuerzos longitudinales de aceleración y frenada y los esfuerzos laterales como las curvas. (Urbieta, 2003)

Cuando las irregularidades son de mayor proporción, los impactos que sufren las ruedas provocan una compresión o expansión en los muelles de la suspensión, esto depende si es un badén o

un bache. También se menciona que cuando el sistema está en equilibrio es porque el vehículo está estático y los muelles se someten a compresión por el peso, al pasar la rueda sobre un bache la masa suspendida es impulsada hacia arriba, almacenando energía en los muelles debido a la compresión que sufren, y con eso el muelle se expande y hace subir la carrocería. (Urbieta, 2003)

#### **2.2.4.1 Amortiguador**

Es llamado amortiguador al dispositivo encargado de eliminar las oscilaciones del muelle que estas se producen cuando pasan por un bache, produciendo una energía que es almacenada en los resortes del sistema de suspensión que por medio de balanceos es restituida. La carrocería no oscila continuamente gracias a los amortiguadores que además proporcionan seguridad y comodidad ya que estos evitan que salten del suelo disminuyendo la carga dinámica de las ruedas al transformar la energía que se acumula en el muelle en calor. (Urbieta, 2003)

Según los criterios de confort y maniobrabilidad el amortiguador debe amortiguar los movimientos no deseados, por eso es que los amortiguadores pueden ser fijos y regulables, los fijos poseen la misma dureza y los regulables varían según los márgenes, en el interior del vehículo puede estar este reglaje sin son los modelos más modernos. Se tiene que hacer una fuerza que se oponga a su velocidad para que la masa disminuya su velocidad, los amortiguadores usan comúnmente la fricción como la fuerza más sencilla ya que esta cumple ese requisito. (Urbieta, 2003)

Se distinguen tres tipos de fricción:

- Fricción de Coulomb: Las partes sólidas en contacto son asociadas con el movimiento relativo.
- Fricción: El movimiento viscoso de un fluido es asociada a esta fricción.
- Fricción turbulenta: El movimiento turbulento del fluido aparece a partir de la disipación energética.

El tipo de fricción se busca según el amortiguador, porque la velocidad está en función de la fuerza que el amortiguador ofrece, por eso en los automóviles siempre se busca que la fricción de los amortiguadores esté asociada al movimiento del fluido y con eso garantizar que estará en función a la velocidad del fluido. Son conocidos como hidráulicos a los amortiguadores que utilizan un fluido. (Urbieta, 2003)

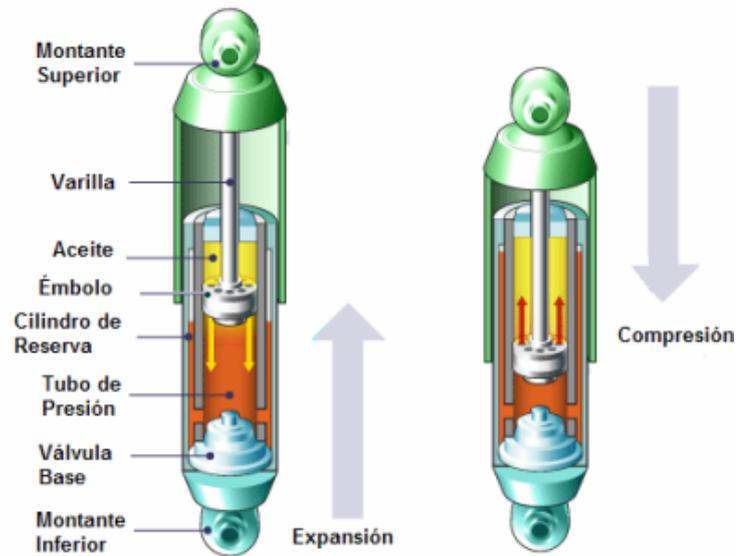
La suspensión no era utilizada en los primeros automóviles ya que eran lentos y pesados, pero con la evolución de los vehículos se hicieron más rápidos y ligeros y fue obvio que se necesitaba un sistema que evitara la incomodidad y que solucionara el problema cuando las ruedas perdían el contacto con el suelo además de la pérdida de estabilidad y tracción. La principal función del sistema de suspensión es asegurar el contacto entre el neumático y el suelo porque el neumático es el responsable del cambio cinemático por ser el único elemento que está en contacto con el suelo y como una función secundaria la suspensión debe proporcionar el confort necesario a los pasajeros y también a la carga que se transporta. (Urbieta, 2003)

Los amortiguadores hidráulicos son los que actualmente ha impuesto la industria en el mundo, por ser la fuerza de amortiguación creciente con respecto a la velocidad de desplazamiento del pistón del amortiguador. Y entre estos amortiguadores hidráulicos se pueden encontrar giratorios y de pistón y actualmente de manera más específica los más utilizados son los de tipo telescópico que se muestra en la figura 13.2. (Urbieta, 2003)



**Figura 13-2:** Amortiguador hidráulico telescópico moderno.  
Fuente: (Urbieta, 2003)

Mientras el resorte este sometido a variaciones de fuerza este alcanzará una frecuencia natural y seguirá hasta ocasionar daños estructurales y por consiguiente no conviene, siempre y cuando los sistemas de suspensión deben estar configurados para interactuar con la dinámica del vehículo utilizando las configuraciones de masa, amortiguador, resorte. La cual el amortiguador hace la función de disipar y bajar hasta el punto mínimo las frecuencias de oscilación del resorte (Romero, 2006).



**Figura 14-2:** Oscilación del resorte en un amortiguador  
Fuente: (Romero, 2006).

El amortiguador en su forma y constitución no es más que una bomba de aceite que conecta el bastidor con el eje frontal. La parte superior es montada con una varilla el que se delimita con un cilindro lleno de aceite, también es conocido como tubo de presión, en el cual existe un segundo cilindro que es la reserva para los casos donde se necesita más caudal.

La parte constitutiva más importante del motor es el embolo el cual esta agujereado para poder dejar pasar el aceite lentamente y así delimitar el movimiento, el embolo baja lentamente mientras el aceite pasa conforme baja el resorte.

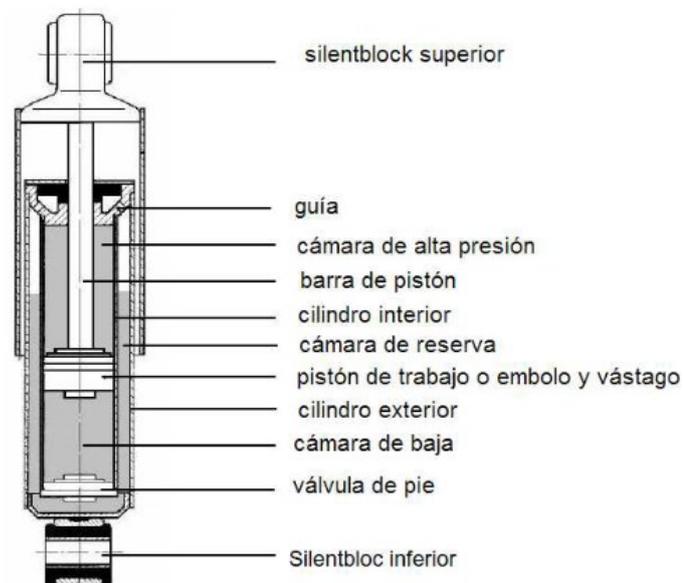
Los amortiguadores en general mantienen dos movimientos, uno llamado compresión y extensión, la fase de compresión es la que aguanta la masa soportada, la fase de extensión es la que soporta la masa relevada.

#### 2.2.4.2 Tipos de amortiguadores

Según (Urbieta, 2003) en el mercado existen fundamentalmente dos tipos de amortiguadores hidráulicos telescópicos los cuales son los bitubo o de doble tubo y los monotubo o de un solo tubo.

**Amortiguador bitubo:** Los más comunes en la actualidad son los amortiguadores hidráulicos bitubo y pueden ser presurizados (aceite y gas) y no presurizados (aceite). En el cual constan

dos cámaras, una interior y otra de reserva, además de una válvula de pie en el pistón y en la base del amortiguador. (Urbieta, 2003)



**Figura 15-2:** Constitución de un amortiguador bitubo.  
Fuente: (Urbieta, 2003)

Como se puede observar en la figura 15-2, un amortiguador bitubo está constituido por un cilindro interior concéntrico y solidario con un tubo o cilindro exterior, formando entre ambos la cámara de reserva de aceite. Está cerrado el cilindro en su parte inferior, para comunicar mediante la válvula de fondo con la cámara de reserva, al estar totalmente lleno de aceite el interior del cilindro se desplaza el émbolo que es en este caso un portador que va unido al vástago y el silentblock a través del cual se fija a la carrocería y al tubo protector. El amortiguador se une al brazo de la suspensión mediante otro silentblock solidario al cilindro exterior. Además a través del vástago las oscilaciones de la rueda y el embolo que sigue el cilindro es llevado a la carrocería. Por lo que el cilindro sigue las oscilaciones de la rueda y el émbolo, y además a través del vástago, las de la carrocería. (Urbieta, 2003)

Así es como es el funcionamiento del amortiguador: el embolo se desplaza hacia abajo cuando disminuye la distancia entre la carrocería y la rueda, en relación al cilindro el aceite en la cámara de baja presión, que es obligado a pasar a la cámara de alta presión a través de la válvula del émbolo. Como la reducción del volumen en la cámara de baja presión es mayor que el aumento en la cámara de alta presión debido a que parte del aceite pasa por la válvula de fondo dirigiéndose hacia la cámara de reserva. (Urbieta, 2003)

Otra manera de representar este proceso es cuando la distancia entre la carrocería y la rueda se alarga, con la diferencia que en esta ocasión el aceite desalojado anteriormente hacia la cámara de reserva, vuelve a la cámara de baja presión a través de la válvula de fondo. La amortiguación se produce al ser frenado el émbolo por el paso del aceite de una cámara a la otra a través de las válvulas. Y según (Urbietta, 2003) las condiciones de los amortiguadores no presurizados pueden formar en ellos bolsas de aire siendo una gran desventaja y se pueden formar por las siguientes razones:

- Antes de ser instalado el amortiguador se almacena o transporta horizontalmente.
- El vehículo permanece durante mucho tiempo estático y por la gravedad la columna de aceite de la cámara principal cae.
- Al final de un viaje al succionar aire hacia la cámara principal se enfría al ser el aceite se contraído.

Cuando se busca mejores prestaciones de amortiguadores de doble tubo en los vehículos los más utilizados son los presurizados. Estos se les añaden una cámara de gas de baja presión, una presión de 4bares es suficiente ya que la válvula de fondo es la que proporciona la fuerza amortiguadora en la compresión, por eso la posición nominal es baja porque la fuerza de extensión es realizada por el amortiguador en dicha posición. (Urbietta, 2003). Y con respecto a los amortiguadores no presurizados las ventajas son las siguientes:

- Para pequeñas amplitudes de la válvula más sensible
- Mejor confort de marcha.
- En baches grandes o condiciones extremas mejores propiedades de amortiguación.
- Reducción de ruido hidráulico.
- Siguen operativos aunque pierdan el gas.

**Amortiguadores monotubo:** Su uso es cada vez más extenso a pesar que aparecieron más tarde que los bitubo y actualmente son los más utilizados, principalmente en vehículos de altas prestaciones y en competición. Constan de dos cámaras principales: la primera contiene aceite y la segunda gas a presión que por lo general suele ser nitrógeno, que están separados por un pistón flotante. Solamente hay válvulas en el pistón. En la figura 16-2 se muestra un esquema simplificado de un amortiguador monotubo. (Urbietta, 2003)



**Figura 16-2:** Esquema simplificado de un amortiguador monotubo.  
**Fuente:** (Urbieto, 2003)

Según (Urbieto, 2003) los amortiguadores monotubo poseen algunas ventajas respecto de los bitubo no presurizados:

- Debido a que la cámara está en contacto directo con el aire poseen una refrigeración.
- Reducen las presiones de operación al poseer un mayor diámetro del pistón a igual diámetro de carcasa.
- Si el vehículo se queda estacionado el nivel de aceite no baja.
- El aceite no forma espuma, evitando problemas de cavitación debido a la presurización.

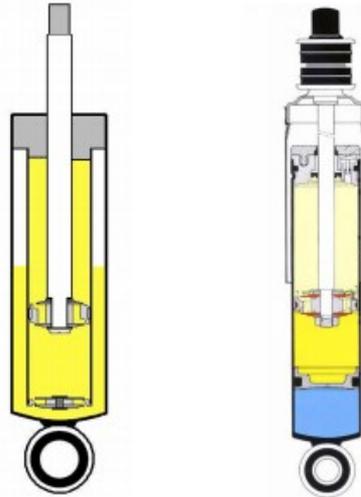
Como desventajas se pueden citar las siguientes:

- Mayores requerimientos de precisión lo que implica mayores costos.
- Las válvulas son más complejas.
- En los automóviles puede aumentar su longitud por encima de los 100 mm.

El vástago es el encargado de proporcionar la fuerza para ocasionar el movimiento del fluido es la parte, mas importante dentro de la constitución del amortiguador este entra y sale del cilindro, una de las cualidades del líquido debe ser incompresible, las variaciones de volumen que se

producen en el cilindro es el principal encargado de absorber las fluctuaciones del resorte y reducirlas a 0.

La clasificación de los amortiguadores va por la forma y la ubicación del depósito, así como su presencia o no, la elección de su uso depende de la capacidad de absorción de vibraciones.



**Figura 17-2:** Vástago del amortiguador  
Fuente: (Romero, 2006).

#### 2.2.4.3 Amortiguadores para sistemas pull y push rod

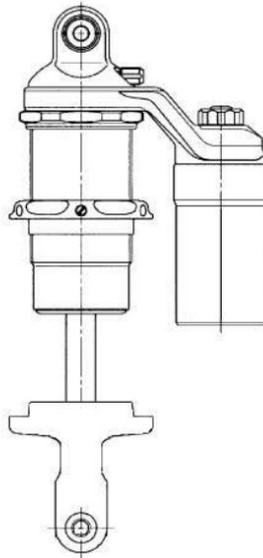
La construcción de los amortiguadores y su diseño es muy importante al momento de determinar su uso, existen múltiples diseños, pero en específico de lo que se tratara dar más énfasis es los amortiguadores más aptos para los sistemas pull rod este es el amortiguador de depósitos separados el cual brinda una masa eterna que puede ser colocada adecuadamente para poder bajar el centro de gravedad notablemente. (Romero, 2006).

El de sistema de monotubo es más compacto, pero delimita la capacidad de respuesta al momento de frenar las vibraciones ocasionadas por el resorte u las más irregularidades de la carretera.

La mayor ventaja de tener un amortiguador de depósitos separados son que tiene mayor capacidad de refrigeración del aire así se puede mantener a una temperatura constante y no saturar y degastar rápidamente a los retenedores del embolo y alargando la vida útil de nuestro amortiguador.

Al momento de tener depósitos separados también podemos contar con la capacidad de regular la capacidad de respuesta del amortiguamiento y de absorción de las vibraciones así poder configurar a medio al que este expuesto a trabajar. (Romero, 2006).

Este tiene todas las ventajas de un monotubo adicionalmente las ventajas del doble cilindro pero este el depósito es separado pudiendo mantener el aceite a una presión y minimizando la cavitación facilitando la libre circulación del aceite.

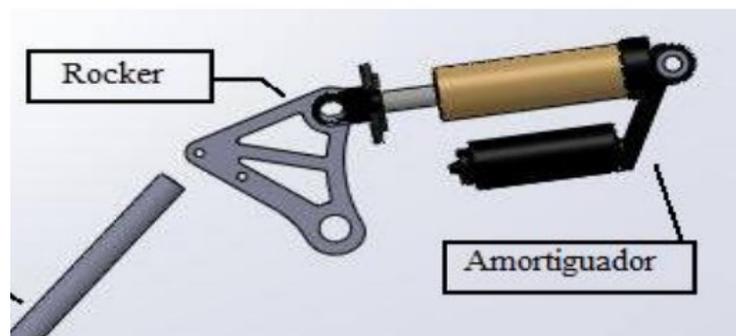


**Figura 18-2:** Amortiguadores para sistemas pull y push rod  
**Fuente:** (Romero, 2006).

#### 2.2.4.4 Anclaje del sistema de suspensión

##### **Rocker**

Este consta de un balancín con tres conexiones que une la barra push o en su caso pull, el conjunto resorte amortiguador y anclado a un eje de rotación que da la capacidad de rotar y enviar este movimiento lineal al amortiguador (Diego Leonardo Gonzales Peralta, Edwin Geovanny Nivicela Patiño, 2015).



**Figura 19-2:** Rocker  
**Fuente:** (Diego Leonardo Gonzales Peralta, Edwin Geovanny Nivicela Patiño, 2015).

### 2.2.4.5 Brazos de anclaje

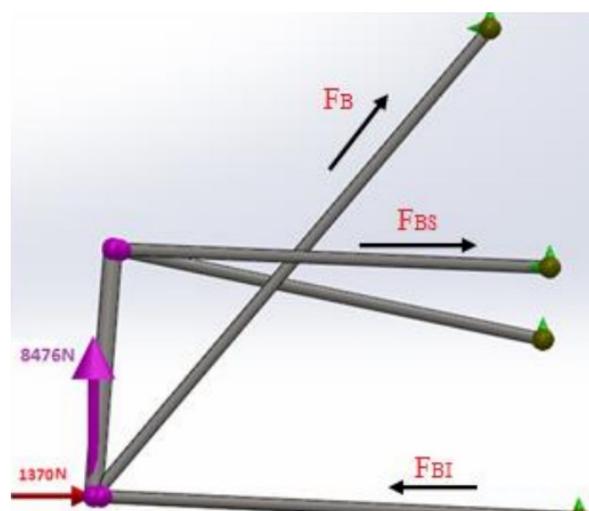
En el caso de la construcción de brazos para monoplazas el diseño más adecuado son los brazos en forma de “A” las cuales unen la masa no suspendida mediante los puntos de unión normalmente llamados rotulas ojos de pez, la característica que debe prevalecer dentro del diseño es que los brazos debe trabajar a tracción o compresión, si cometemos errores de diseño es probable que los brazos tengas que trabajar con un tercer esfuerzo y este sea el de flexión por consiguiente se deformaría los brazos causando un daño estructural en todo el sistema. (Diego Leonardo Gonzales Peralta, Edwin Geovanny Nivicela Patiño, 2015).



**Figura 20-2:** Brazos de anclaje

Fuente: (Diego Leonardo Gonzales Peralta, Edwin Geovanny Nivicela Patiño, 2015).

Las barras que realizan los esfuerzos deben estar diseñados en base a un cuadro de esfuerzos que estén dentro del límite de elasticidad. Para esto se realiza un análisis estructural tomando en cuenta las direcciones de las fuerzas que actúan en la estructura el análisis más crítico se lo debe realizar en la parra pull que estará sometido a esfuerzos de tracción (Diego Leonardo Gonzales Peralta, Edwin Geovanny Nivicela Patiño, 2015).



**Figura21-2:** Barras de anclaje

Fuente: (Diego Leonardo Gonzales Peralta, Edwin Geovanny Nivicela Patiño, 2015).

#### 2.2.4.6 Resortes

Existen diferentes diseños de resortes los más comunes en los sistemas de suspensión son los resortes:

**Helicoidales:** consiste en ser una barra de torsión que esta enrollado formando una columna de resistencia que absorbe el movimiento de las llantas.



**Figura 22-2:** Resortes helicoidales

Fuente: (Diego Leonardo Gonzales Peralta, Edwin Geovanny Nivicela Patiño, 2015).

**Resortes de muelles:** este tipo de muelles son tiras de varilla unidas simultáneamente con un fin de actuar casi como una sola unidad. La historia de este se remonta a las carreras de caballos y en la actualidad se utiliza en camiones de carga pesada, así como el transporte (Romero, 2006).



**Figura 23-2:** Resortes de muelles

Fuente: (Diego Leonardo Gonzales Peralta, Edwin Geovanny Nivicela Patiño, 2015).

**Resortes neumáticos:** consiste en cilindros de goma que son llenados con aire y este aprovechando las propiedades de la compresión del aire absorbe las vibraciones del neumático, este difiere y también se puede hablar de la masa apoyada y masa relevada.

Las masas apoyadas son las que son apoyadas directamente por los resortes, la masa relevada son las correspondientes partes que no soportan ninguna masa.

## ***2.2.5 Elementos que interactúan con el sistema de suspensión***

### ***2.2.5.1 Chasis tubular***

La estructura más importante en un vehículo es el chasis de tipo tubular, el cual aporta una mejora dinámica en el paso de una curva al aportar rigidez de torsión. (Dominguez Monferrer , 2018)

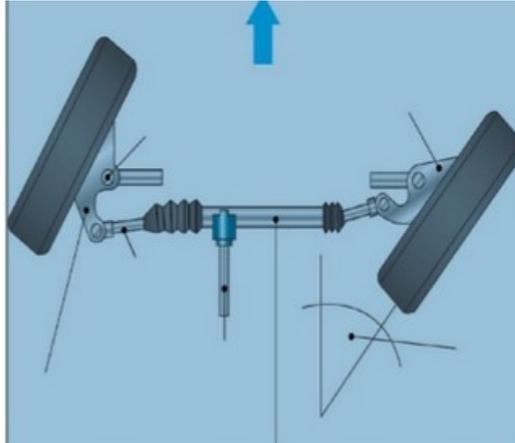
En los vehículos de monoplace de competición el chasis debe estar bien diseñado para mejorar de una manera considerable la experiencia de conducción para poder reducir el tiempo de vuelta al poder agarrar de mejor manera las curvas. (Dominguez Monferrer , 2018)



**Figura 24-2:** Chasis tubular  
Fuente: (Dominguez Monferrer , 2018)

### ***2.2.5.2 Dirección***

En un monoplace para tener una mejor manera de guiar el vehículo y no realizar un esfuerzo en la orientación este sistema posee una cremallera que facilita la conducción, ya que el sistema de dirección es un conjunto de mecanismos que son los encargados de orientar las ruedas delanteras y así el conductor pueda seguir la trayectoria que desea. (Reyes , 2012)



**Figura 25-2:** Mecanismo de Dirección  
Fuente: (Reyes , 2012)

### 2.2.5.3 Rótulas

Permite el movimiento en planos diferentes de sus miembros ya que se encarga de conectar los diferentes elementos de la suspensión a las bieletas de mando, en casquillos de acero o plástico pretensado es donde va alojado la esfera de la rótula la cual debe estar debidamente engrasada y además posee un fuelle que evita la pérdida de lubricante. El macho o esfera interior normalmente va fijado a los acoplamientos o brazos de mando y la hembra o externa se tiene que encajar al macho ya que debe oscilar, no olvidando que siempre van engrasadas ya que no requieren mantenimiento. (Reyes , 2012)



**Figura 26-2:** Rótula ojo de pez  
Fuente: (Reyes , 2012)

## 2.2.6 Importancia de los sistemas de suspensión.

### 2.2.6.1 Estabilidad

La estabilidad en una carrera a velocidades altas es primordial por eso el conjunto resorte amortiguador es el encargado de atenuar las perturbaciones externas que afecten a la conducción

del piloto. El monoplaza debe constar con un sistema de suspensión que lo ayude a mantener la estabilidad en carreteras o pistas que tengan imperfecciones extremas o muy pronunciadas que al omento de pasar sobre o por ellas estas no terminen afectando en la estabilidad de este y tenga una conducción más segura y suave, también se debe tomar en cuenta que debe igualar las fuerzas centrífugas al momento de pasar por una curva o de rebasar a otro vehículo. (Baez, 2006)

#### **2.2.6.2 *Peso***

El peso del mono plaza debe ser el adecuado para poder verificar y seleccionar el amortiguador, al momento de estar en casos extremos la distancia de amortiguación no resulte afectada. El peso del mono plaza se la toma como masa suspendida y el vástago es la que trasmite la fuerza de compresión al cilindro y si este peso es extremadamente alto en caso de seleccionar un amortiguador de menor capacidad se verá afectado en su diseño estructural provocando la rotura del conjunto resorte amortiguador. (Baez, 2006)

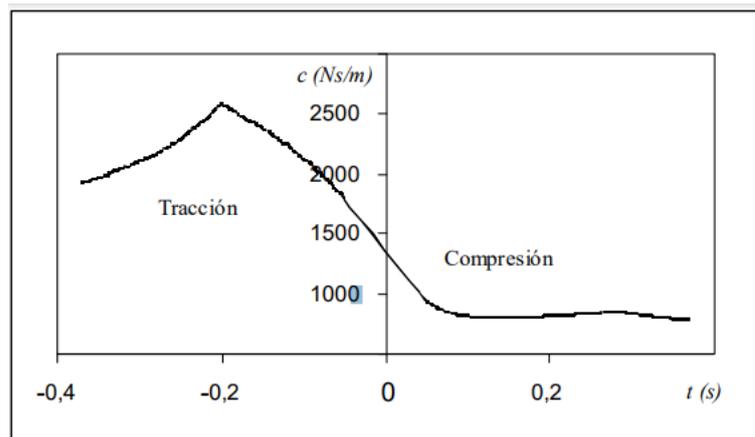
#### **2.2.6.3 *Seguridad***

La seguridad está en elegir el amortiguador correcto en esto se puede verificar en el ítem de tipos de amortiguadores y elegir el más óptimo para brindar la seguridad y analizar la que podrá soportar las condiciones que están como variables de elección para el amortiguador. (Baez, 2006)

#### **2.2.6.4 *Confort***

Dentro de las funciones está la de brindar confort al usuario mientras esta en pista, evitando las deformaciones que esta contiene y eliminando las perturbaciones que estas podrían causar en la estructura y por consiguiente al piloto, estas se pueden brindar gracias a la determinación optima del coeficiente de amortiguación, estas se comprenden en los ciclos de compresión y de extensión. En muchos casos solo se toma los coeficientes de amortiguamiento medio, gracias al estudio de la teoría de vibraciones, la relación velocidad fuerza en muchos casos es tomada como lineal llevando a esto una desventaja en los cálculos porque en las pruebas de campo dan apertura al amortiguador a la cantidad de histéresis que esta presenta. (Baez, 2006)

Se debe tratar de obtener el punto óptimo entre fuerza y velocidad así con una derivación lógica determinamos el coeficiente, el amortiguador sometido a pruebas se consigue un gráfico de velocidad vs coeficiente de respuesta y podemos tomarlo como variable independiente a la velocidad (Baez, 2006).

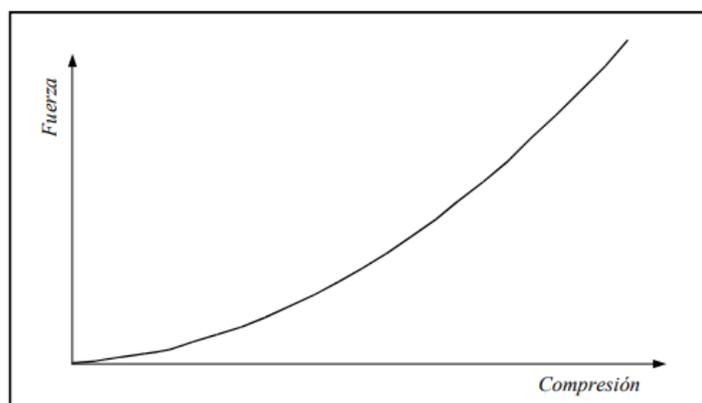


**Gráfico 1-2:** Ciclos de compresión y de extensión  
**Fuente:** (Baez, 2006).

### 2.2.6.5 Distancia de amortiguación

Este ítem está altamente delimitado por las velocidades de amortiguación y respuesta de los resortes, en casos extremos como baches profundos o escalones muy altos ocasionan una respuesta muy brusca por parte del conjunto resorte-amortiguador y llevando al límite la resistencia estructural diseñada. (Baez, 2006)

Para los amortiguadores para monoplazas existen diseñados topes de goma de alta resistencia que favorece al amortiguamiento y así aumentando la fuerza y capacidad de este, mientras se actúe a los límites de funcionamiento, estas gomas apoyan a la compresión de manera progresiva y enviando a la estructura una respuesta más suave. (Baez, 2006)



**Gráfico 2-2:** Distancia de amortiguación  
**Fuente:** (Baez, 2006)

### **2.2.6.6 *Reacción instantánea de amortiguación***

La amortiguación es la operación más crítica dentro de la función del sistema de suspensión, ese se diseña para operar en un rango específico, esto son el desplazamiento y la velocidad estos se los puede determinar cuando el vehículo se somete a pruebas de campo cuando el sistema ya esté instalado, es conveniente instalar amortiguadores que tiene regulación de cauda de aceite así se podrán modificar los rangos de amortiguación mediante el ambiente de pruebas. (Baez, 2006).

El campo de pruebas es primordial para poder dar el rango requerido antes de que ya en competencia el vehículo se someta a esfuerzos que dañen la integridad estructural del monoplaza (Baez, 2006).

La velocidad de amortiguación y la capacidad de respuesta a factores externos como velocidad del viento. O fuerzas centrífugas que afectan la estructura en movimiento se los puede tomar como condiciones límite para la determinación de los rangos de actuación. (Baez, 2006).

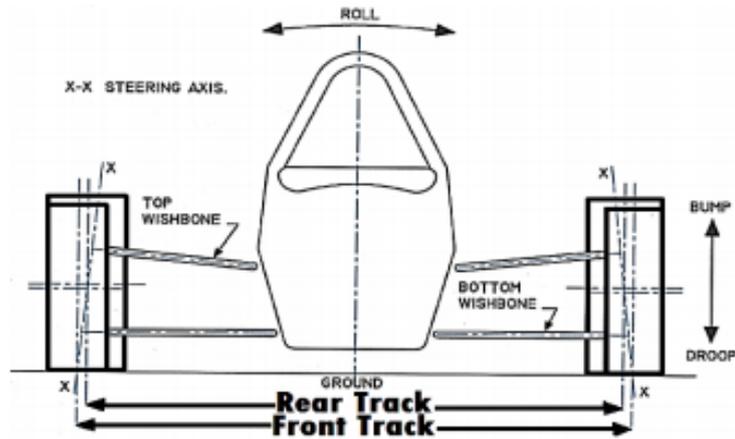
### **2.2.7 *Geometría de la suspensión***

La geometría de la suspensión tiene gran relevancia para el correcto funcionamiento de cualquier monoplaza además de cumplir con los parámetros de diseño para que cuando este en la competición cumpla lo antes mencionado en la pista. Por eso cabe destacar los siguientes parámetros:

#### **2.2.7.1 *Ancho de vía***

La distribución de más es distinta por el ancho de vía del vehículo. Cuando este toma una curva influye considerablemente, por eso se define como entre la distancia del eje con los puntos medios de los neumáticos del mismo eje. (Valencia Jaimes, y otros, 2011)

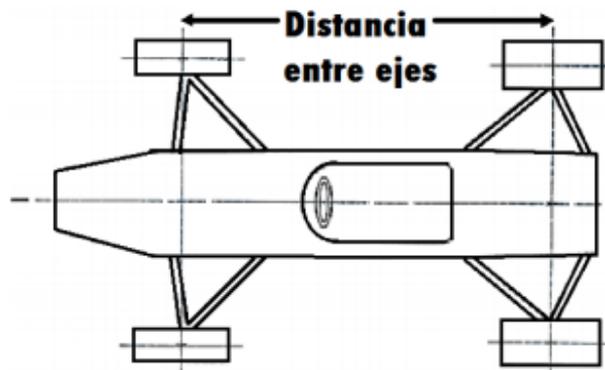
El momento flector de la suspensión se reduce por la fuerza de los neumáticos dependiendo el valor a elegir para usar el ancho de vía, además de brindar mejor estabilidad en curvas y reducir la transferencia de carga ya que al no poder dar una curva cerrada necesitará mayor movimiento lateral y esto viene dado al tener una menor transferencia de carga al ser mayor el track. Por eso al tener menor ancho de vía será más beneficioso pero presenta menor variación de cargas en los neumáticos si tuviera mayor ancho de vía. (Valencia Jaimes, y otros, 2011)



**Figura 27-2:** Ancho de vía  
**Fuente:** (Pashley, 2012)

### 2.2.7.2 Distancia entre ejes

Cuando las suspensiones se encuentran en reposo se la puede definir a la distancia entre los puntos medios del eje posterior con respecto a los puntos medios de eje delantero, y aunque tiene su debido reglamento este no influye en cuanto a la maniobrabilidad de cualquier vehículo. (Auquilla Ocampo , y otros, 2016)

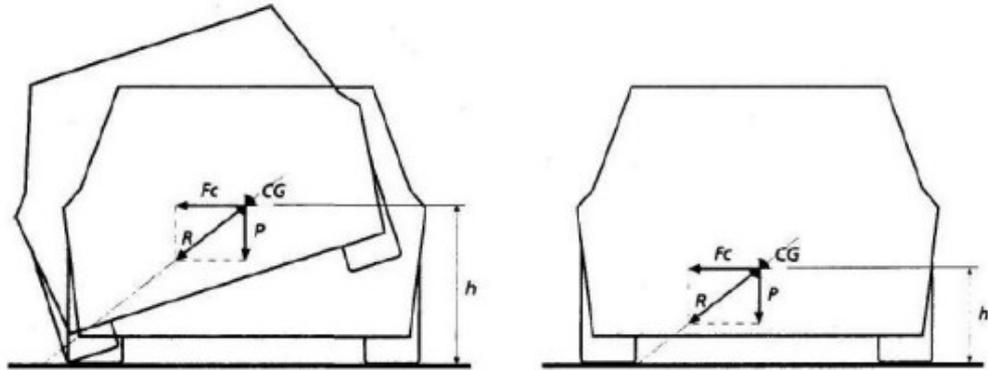


**Figura 28-2:** Distancia entre ejes  
**Fuente:** (Pashley, 2012)

### 2.2.7.3 Centro de gravedad

Se denomina Centro de Gravedad al punto donde se puede considerar concentrada toda la masa del coche a efectos de cálculo. La altura del centro de gravedad depende de la estabilidad y el comportamiento en una curva a lo largo del eje longitudinal ya sea en frenada o aceleración. Es

intuitivo comprender que, cuanto más bajo se halle situado, más rápida será la velocidad de paso por curva. La figura siguiente indica con más claridad las fuerzas principales que actúan al tomar una curva. (Pillajo Quijia , 2012)



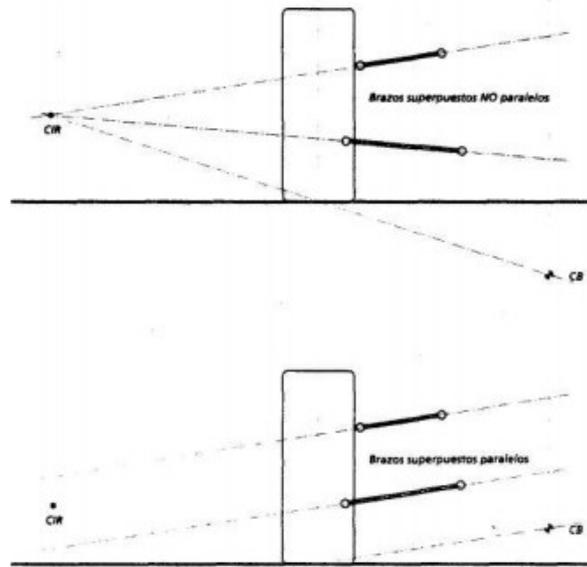
**Figura 29-2:** La altura del centro de gravedad influye decisivamente sobre la tendencia de vuelco  
Fuente: (Pillajo Quijia , 2012)

Como se observa en la figura 28-2, cuanto mayor sea la vía del coche y más pequeña la altura del centro de gravedad, más difícil será llegar a volcar: según. (Pillajo Quijia , 2012). No importa este hecho en sí (que es extremo) sino principalmente porque la transferencia de pesos de la rueda interior hacia la exterior será inferior. De esta forma si la línea de acción de la resultante  $R$  interseca el suelo fuera del área del neumático el coche tenderá a volcar, lo que es imposible si no se da esta condición.

En la participación de una carrera es cuando se piensa en bajar la altura al suelo de un vehículo, siempre y cuando se mantenga su recorrido de suspensión para que no exista ningún problema con la transmisión u otro elemento de la suspensión además que no exista ningún tope con cualquier otro elemento. Esto puede lograrse ya sea modificando la posición de los anclajes o montando muelles de una rigidez superior, siempre que sean compatibles con las condiciones estudiadas anteriormente. (Pillajo Quijia , 2012)

#### 2.2.7.4 Centro instantáneo de rotación

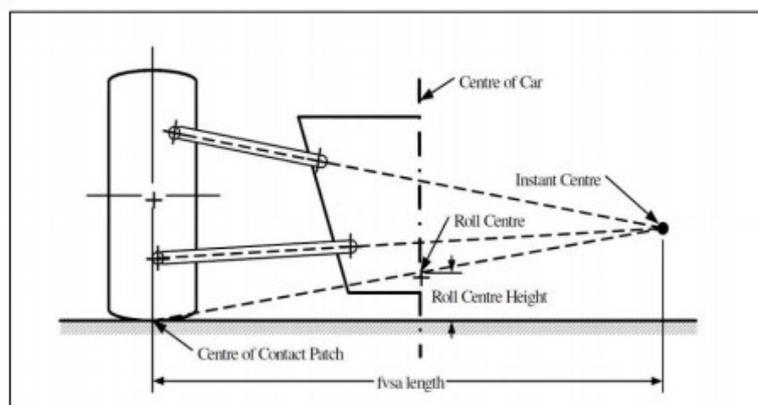
Desde una vista frontal el centro instantáneo de rotación (CIR), de los brazos de suspensión es el punto de intersección entre el brazo inferior de la suspensión y la prolongación recta del brazo superior de suspensión. Cuando el vehículo se desplaza de manera vertical es cuando el neumático cambia es cuando se obtiene su posición. (Pillajo Quijia , 2012)



**Figura 30-2:** Centro instantáneo de rotación CIR  
Fuente: (Pillajo Quijia , 2012)

#### 2.2.7.5 Centro de Balanceo

Para una determinada fuerza lateral debe haber una distancia entre el centro de gravedad y el centro balanceo, Con un centro de balanceo muy cerca del centro de gravedad, se tendrá un ángulo de balanceo menor, pero la variación de la geometría de la suspensión será mayor. Sin embargo, un centro de balanceo bajo, hará que se tenga un ángulo de roll mayor, pero la geometría de la suspensión cambiará menos.



**Figura 31-2:** Centro de balanceo CB  
Fuente: (Pillajo Quijia , 2012)

Para poder disminuir lo mayormente posible el balanceo, ya no es un movimiento deseado para el comportamiento dinámico se los ubica a una altura razonable y en los vehículos de competición ya existen modelos diseñados para dichos vehículos. Para poder manejar la transparencia de pesos variando especialmente los muelles es que se ubica tan alejado centro de gravedad así se conseguirá el equilibrio con un reglaje de la barra anti balanceo, es que más conocida como barra estabilizadora. (Pillajo Quijia , 2012)

## **2.3 Marco legal**

### **2.3.1 Reglamento Fórmula SAE**

Para poder cumplir con el reglamento de la suspensión en la Fórmula SAE, y ser parte de la competencia, además de obtener un buen rendimiento para las pruebas que se vayan a realizar se toman en cuenta las siguientes consideraciones donde se indica el reglamento Fórmula SAE en cuanto al diseño de la suspensión. (SAE Rules, 2020)

En dicho reglamento se ha tomado principalmente la parte T de (SAE Rules, 2020)

### **2.3.2 Parte T - Requerimientos técnicos generales**

Requisitos generales de diseño

#### **2.3.2.1 Configuración del vehículo**

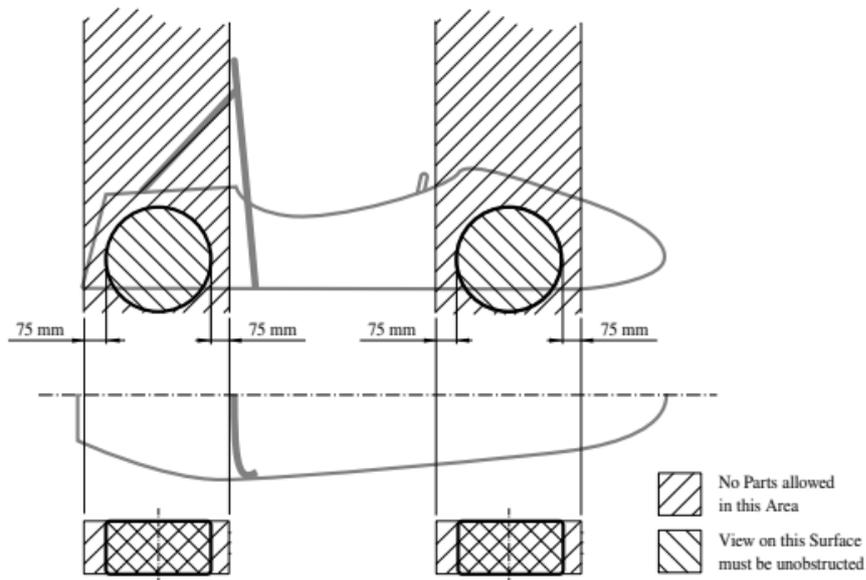
El vehículo debe diseñarse y fabricarse de acuerdo con las buenas prácticas de ingeniería.

El vehículo debe ser de ruedas abiertas, un solo asiento y cabina abierta (una carrocería estilo fórmula) con cuatro ruedas que no están en línea recta.

Los vehículos de ruedas abiertas deben cumplir con lo siguiente: (ver también la figura 31-2):

- El conjunto de rueda / neumático no debe estar obstruido cuando se mira desde un lado.
- Ninguna parte del vehículo puede entrar en una zona de exclusión definida por dos líneas que se extienden verticalmente desde las posiciones 75 mm delante y 75 mm detrás del diámetro exterior de los neumáticos delanteros y traseros en la vista lateral del vehículo, con la dirección en línea recta.

- Esta zona de exclusión se extiende lateralmente desde el plano exterior de la rueda / neumático hasta el plano interior del conjunto rueda / neumático.



**Figura 32-2:** Zonas de exclusión para la definición de un vehículo de ruedas abiertas.  
Fuente: (SAE Rules, 2020)

### 2.3.2.2 Carrocería

No debe haber aberturas a través de la carrocería en el compartimiento del conductor que no sea el requerido para la apertura de la cabina. Aberturas mínimas alrededor de la suspensión delantera y se permiten los componentes del sistema de dirección.

Las estructuras de chasis cerradas y las estructuras entre el chasis y el suelo deben tener dos orificios de ventilación de al menos 25 mm de diámetro en la parte más baja de la estructura para evitar acumulación de líquidos. Se requieren orificios adicionales cuando existen múltiples partes locales más bajas en la estructura.

Todos los bordes de la carrocería que puedan entrar en contacto con un peatón deben tener un radio mínimo de 1 mm. La carrocería delante de las ruedas delanteras debe tener un radio de al menos 38 mm extendiéndose al menos 45 ° con respecto a la dirección de avance, a lo largo de los lados superiores y la parte inferior de todos los bordes afectados.

### **2.3.2.3** *Suspensión*

El vehículo debe estar equipado con sistemas de suspensión delantera y trasera totalmente operativos. Incluyendo amortiguadores y un recorrido útil de la rueda de al menos 50 mm y un balanceo mínimo de 25 mm con conductor sentado

La distancia mínima estática al suelo de cualquier parte del vehículo, excepto los neumáticos, incluyendo un controlador, debe tener un mínimo de 30 mm.

Todos los puntos de montaje de la suspensión deben ser visibles en la inspección técnica, ya sea por vista directa o quitando las cubiertas.

### **2.3.2.4** *Ruedas*

Cualquier sistema de montaje de rueda que utilice una sola tuerca de retención debe incorporar un dispositivo para evitar que se afloje la tuerca y la rueda. Una segunda tuerca ("contratuerca") no cumple con estos requisitos.

Los pernos y espárragos de las ruedas estándar deben estar hechos de acero y se consideran ingeniería sujetadores. Se requerirá que los equipos que utilicen pernos, espárragos o diseños personalizados modificados proporcionar pruebas de que se han seguido buenas prácticas de ingeniería en su diseño. Terminal de rueda los pernos y espárragos no deben ser huecos.

Se pueden utilizar tuercas de rueda de aluminio, pero deben estar anodizadas y en perfectas condiciones.

### **2.3.2.5** *Llantas*

Los vehículos deben tener dos tipos de neumáticos de la siguiente manera:

- Neumáticos secos: los neumáticos del vehículo cuando se presenta para inspección técnica son definidos como sus "neumáticos secos".
- Neumáticos para mojado: los neumáticos para mojado pueden ser de cualquier tamaño o tipo de neumático con pisada o ranurado, siempre que:

El dibujo o las ranuras de la banda de rodadura fueron moldeados por el fabricante del neumático o se cortaron por el fabricante de neumáticos o su agente designado. Cualquier surco que haya sido.

El corte debe tener prueba documental de que se realizó de acuerdo con estas reglas.  
Hay una profundidad mínima de dibujo de 2,4 mm.

Los neumáticos del mismo eje deben tener el mismo fabricante, tamaño y compuesto.

No se permiten calentadores de neumáticos.

No se pueden agregar agentes especiales que aumentan la tracción a los neumáticos o la superficie de la pista.

#### **2.3.2.6 Dirección**

Están prohibidos los sistemas de dirección que utilicen cables o correas para su accionamiento. [SOLO DV] Esto no se aplica a los actuadores de dirección autónomos.

El volante debe accionar mecánicamente directamente las ruedas delanteras.

El sistema de dirección debe tener topes de dirección positivos que eviten que los encerrando. Los topes deben colocarse en el portaequipajes y deben evitar que los neumáticos y llantas contacto con cualquier otra pieza El accionamiento de la dirección debe ser posible durante la parada.

El juego libre permitido del sistema de dirección está limitado a un total de 7 ° medidos en el volante.

El volante debe estar unido a la columna con una desconexión rápida. El conductor debe poder operar la desconexión rápida mientras se encuentra en la posición de conducción normal con guantes puestos.

El volante no debe estar a más de 250 mm hacia atrás del aro delantero. Esta distancia se mide horizontalmente, en la línea central del vehículo, desde la superficie trasera del bastidor delantero hasta la superficie más delantera del volante con la dirección en cualquier posición.

El volante debe tener un perímetro continuo que sea casi circular o casi ovalado. El perfil del perímetro exterior puede tener algunas secciones rectas, pero no cóncavas.

En cualquier posición angular, la parte superior del volante no debe estar más alta que la parte superior superficie del aro frontal.

La cremallera de dirección debe estar acoplada mecánicamente al chasis.

Las juntas entre todos los componentes que sujetan el volante a la cremallera de dirección deben estar mecánica y visible en inspección técnica. Uniones adheridas sin respaldo mecánico no están permitidos. La copia de seguridad mecánica debe diseñarse para mantener únicamente la funcionalidad del sistema de dirección.

La dirección de la rueda trasera, que se puede accionar eléctricamente, está permitida si se detiene mecánicamente limitar el rango de movimiento angular de las ruedas traseras a un máximo de 6°. Esto debe ser demostrado con un conductor en el vehículo y el equipo debe proporcionar el equipo para el rango de ángulo de dirección para ser verificado en inspección técnica.

#### **2.3.2.7** *Distancia entre ejes*

El vehículo debe tener una distancia entre ejes de al menos 1525 mm

#### **2.3.2.8** *Estabilidad de seguimiento y vuelco*

La pista más pequeña del vehículo (delantera o trasera) no debe ser inferior al 75% de la pista más grande.

La vía y el centro de gravedad del vehículo deben combinarse para proporcionar un vuelco adecuado.

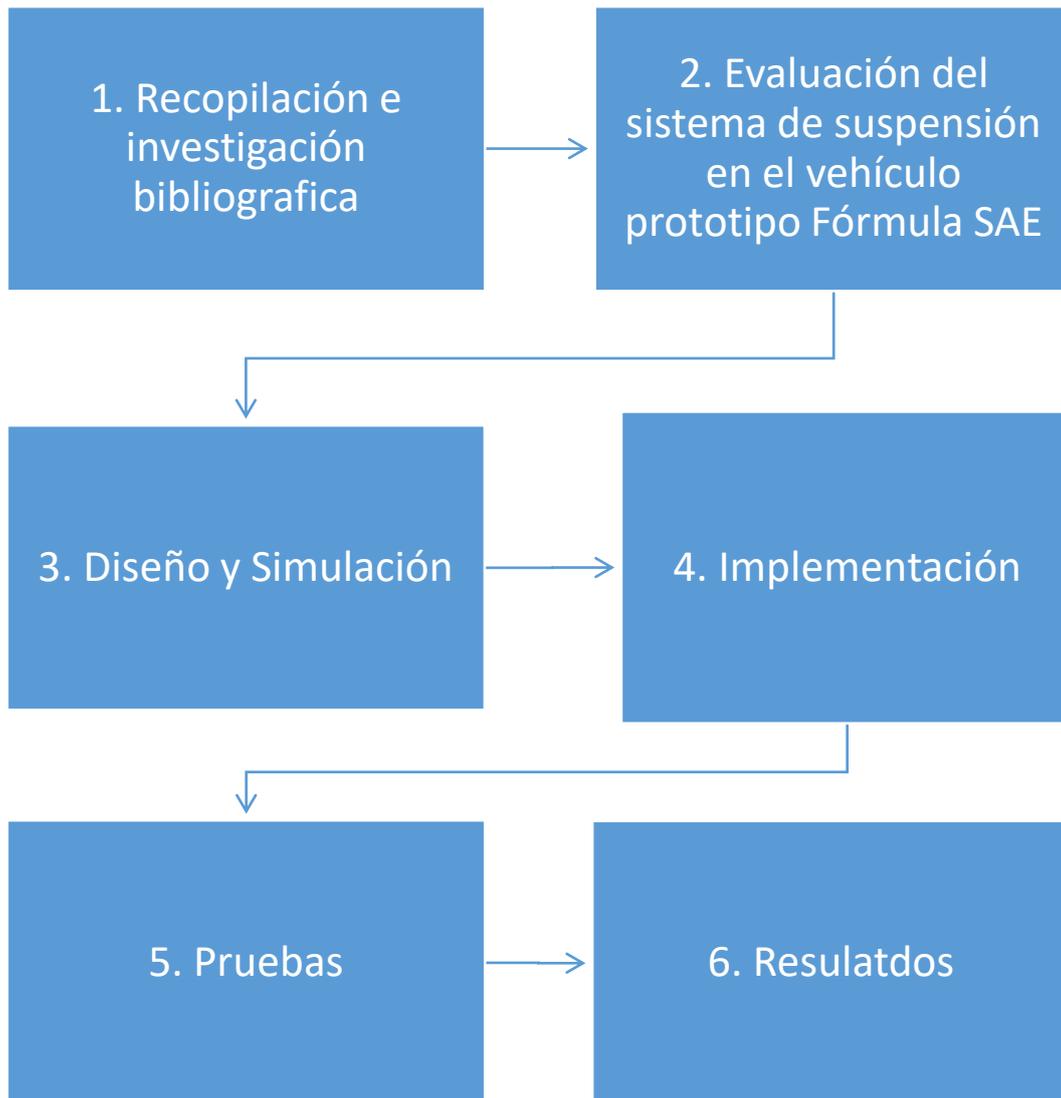
Estabilidad.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Diagrama de etapas del proyecto

El proceso para el proyecto se basa en el siguiente diagrama:



**Gráfico 1-3:** Diagrama de etapas del proyecto

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

### 3.2 Metodología de investigación a realizar

**Tabla 1-3:** Relación entre objetivos, las preguntas del proyecto y las metodologías

Objetivos	Preguntas del proyecto	Metodologías de investigación	Metodologías de investigación
<p><b>OE1:</b> Identificar todos los conceptos necesarios, revisando la normativa SAE, artículos relacionados e información similar para tener en cuenta todas las variables sobre la implementación de un sistema de suspensión Pull-Rod.</p>	<p><b>OE1,P1:</b> ¿Qué es la competencia Fórmula SAE?  <b>OE1,P2:</b> ¿Qué es un sistema de suspensión?  <b>OE1,P3:</b> ¿En qué consiste la suspensión Pull-Rod?</p>	<p>Cuantitativa, cualitativa y mixto</p>	<p>Revisión del tema en tesis, libros, artículos y en cualquier otro medio que brinde información al respecto</p>
<p><b>OE2:</b> Diseñar el sistema de suspensión mediante el análisis de los diferentes elementos que se implementaran en el dicho sistema para obtener como resultado una suspensión que cumpla con los requerimientos para la competencia de Fórmula SAE.</p>	<p><b>OE2,P1:</b> ¿Cuál es la mejor alternativa para el modelamiento del proyecto?  <b>OE2,P2:</b> ¿Cuál es la mejor alternativa para la simulación del proyecto?</p>	<p>Analítico- Sintético</p>	<p>SolidWorks y ANSYS son software para diseño y simulación que cumplen los requerimientos para el proyecto además de ser de fácil acceso y utilización.</p>
<p><b>OE3:</b> Realizar el montaje del sistema de suspensión, además de los implementos que</p>	<p><b>OE3,P1:</b> ¿Cómo facilitar el proceso del montaje de una suspensión?</p>	<p>Analítico</p>	<p>A través de las pruebas realizadas, se comprueba el</p>

hagan falta en el prototipo usando las herramientas necesarias para comprobar el correcto el desempeño y funcionamiento de la Suspensión	<p><b>OE3,P2:</b> ¿Qué herramientas son las adecuadas para un óptimo trabajo?</p> <p><b>OE3,P3:</b> ¿Cómo saber si el proyecto fue realizado de la manera correcta ?</p>		funcionamiento correcto cumpliendo este con las expectativas y normas establecidas.
<b>OE4:</b> Valorar el funcionamiento del sistema de suspensión, revisando los datos obtenidos en todas las pruebas realizadas para así comprobar que no existen fallas en el desempeño y funcionamiento de la suspensión.	<b>OE4,P1:</b> ¿ Cuáles son los datos que debemos obtener al finalizar el proyecto?	Analítico	El correcto funcionamiento del proyecto, nos indica que se ha cumplido con todos los objetivos.

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

### 3.2.1 Metodología de Diseño

Para la metodología de diseño consideramos lo que nos dice (Norton , 2004) que el diseño de ingeniería consiste en el proceso de “aplicar diversas técnicas y principios científicos con el propósito de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficientes detalles que permitan su realización.”

Para garantizar una correcta solución del problema, en un proceso de diseño es necesario definir con cuidado el problema al que se le busca solución, a través de un método preliminar de ingeniería. Por eso para el proceso de diseño (Norton , 2004) utiliza diez pasos que se enumeran a continuación:

1. Identificación de la necesidad
2. Investigación preliminar

3. Planteamiento de objetivo
4. Especificaciones de desempeño
5. Ideación e invención
6. Análisis
7. Selección
8. Diseño detallado
9. Creación de prototipos y pruebas
10. Producción

Cabe destacar que (Norton , 2004) no define al proceso detallado anteriormente como un proceso a seguir de un modo lineal, sino que se trata de un proceso iterativo; donde de ser necesario se puede regresar a un paso previo para definir otras posibles soluciones si así lo amerita el caso.

#### **3.2.1.1** *Identificación de la necesidad*

Para el primer paso se define lo que se requiere diseñar, no es necesario un planteamiento estructurado del problema ya que el diseño puede ser explicado de manera general y con eso resolver el problema. (Norton , 2004)

#### **3.2.1.2** *Investigación preliminar*

Una de las fases más importantes es una investigación preliminar, para poder reunir todo lo correspondiente al problema, y así investigar cómo resolver y de ser el caso encontrarse con otro similar y ver como este fue resuelto para poder dar la solución esperada. (Norton , 2004)

#### **3.2.1.3** *Planteamiento de objetivo*

Los objetivos son cada vez más claros una vez que se entiende el problema, y para una visualización funcional deben ser claros, conciso y generales en los respecta a dar solución del problema, con esto se evita las limitaciones innecesarias en el diseño. (Norton , 2004)

#### **3.2.1.4** *Especificaciones de desempeño*

No hay q confundir las especificaciones de diseño con las especificaciones de desempeño ya que estas últimas se refieren lo que el sistema debe hacer y las de diseño hablan de cómo lo hará, por eso las especificaciones de desempeño tiene como objetivo definir y limitar el problema de la

manera más completa y general posible, para que cuando estas terminen se puedan realizar las especificaciones de diseño. (Norton , 2004)

### **3.2.1.5 Ideación e invención**

Por la gran medida de creatividad por parte del diseñador es considerada la fase más difícil, su objetivo es obtener la mayor cantidad de diseños para fortalecer el nuestro, sin que importe que las ideas no estén muy claras ya que pueden generar nuevas ideas o sugerir otras soluciones reales y prácticas. Al realizarla de manera individual se usan analogías entre el problema y otros contextos físicos pero siempre recordando el problema inicial. (Norton , 2004)

### **3.2.1.6 Análisis**

Cuando el problema ya esté debidamente estructurado se aplican técnicas de análisis para el diseño, donde surgirán algunos problemas que deben ser debidamente solucionadas las veces que sean necesarias para poder garantizar que el diseño saldrá de la mejor manera. (Norton , 2004)

### **3.2.1.7 Selección**

Se toman en cuenta previos diseños factibles y así escoger el mejor para la creación del proyecto y sus respectivas pruebas. Una matriz de decisión ayuda a identificar de mejor manera la solución entre varios factores, por eso en la figura 1-3 se muestra un modelo de matriz de decisión propuesta por (Norton , 2004) donde cada diseño ocupa una fila en la matriz y las columnas muestran los criterios de evaluación de los diseños que deben que ser apropiados para el problema; además, cada criterio tiene asignado un factor de ponderación para medir su importancia, el cuerpo de la matriz se llena de números para clasificar a cada diseño en una escala conveniente y subjetiva, luego cada calificación se multiplica por los factores de ponderación, y los productos son sumados para cada diseño de esta manera se toma una mejor decisión en cuanto al posible mejor diseño. (Norton , 2004)

	Costo	Seguridad	Desempeño	Confiabilidad	RANGO
<i>Factor de ponderación</i>	.35	.30	.15	.20	1.0
Diseño 1	3 / 1.05	6 / 1.80	4 / .60	9 / 1.80	5.3
Diseño 2	4 / 1.40	2 / .60	7 / 1.05	2 / .40	3.5
Diseño 3	1 / .35	9 / 2.70	4 / .60	5 / 1.00	4.7
Diseño 4	9 / 3.15	1 / .30	6 / .90	7 / 1.40	5.8
Diseño 5	7 / 2.45	4 / 1.20	2 / .30	6 / 1.20	5.2

**Figura 1-3:** Matriz de decisión  
Fuente: (Norton , 2004)

### 3.2.1.8 *Diseño detallado*

Para cada pieza que se utiliza en el diseño es necesario un conjunto de dibujos, ensamblajes o archivos CAD ya que cada dibujo debe poseer sus especificaciones para la fabricación de dicha pieza y como son piezas generadas en un software si demuestran fallas a lo planteado se puede cambiar o mejorar. (Norton , 2004)

### 3.2.1.9 *Creación de prototipos y pruebas*

Es necesario construir y probar el diseño a través de un modelo físico para garantizar la factibilidad del diseño y si bien existen otros modelos, que puede ser muy útiles, no representa completa y precisamente al sistema físico real como lo haría un prototipo. Si se desea reducir de alguna manera los costos se podrían realizar algún modelo a escala para verificar el funcionamiento del diseño, el dispositivo, por lo que puede llevar a un comportamiento diferente al del sistema real, resultando en un análisis incorrecto. Probar el prototipo ayuda a observar su funcionamiento real, además permite utilizar instrumentos adecuados para medir con precisión su desplazamiento, velocidad, aceleración, fuerza, y además realizar otras pruebas donde se puedan controlar las condiciones en las va a funcionar. (Norton , 2004)

### 3.2.1.10 *Producción*

Luego de un determinado tiempo esta fase consiste en la manufactura de una versión final del diseño, para evitar problemas posteriores y garantizar que el diseño cumpla con los objetivos hay

que tener el respectivo cuidado con los primeros pasos. Finalmente, para un problema de diseño, no existe una solución correcta o única, pues existirán tantas soluciones como personas dispuestas a aplicar un proceso de diseño al problema. Habrá mejores soluciones, muchas que funcionen y otras que no; para determinar las soluciones potenciales se requiere de un análisis profundo, con tantos análisis posibles antes de construir el dispositivo. (Norton , 2004)

A continuación se realiza el diseño de un sistema de suspensión con base a los antes mencionado.

### ***3.2.2 Aplicación de la metodología de diseño***

La metodología de diseño se aplica en base a lo visto en la sección anterior con respecto al diseño de un sistema de suspensión.

#### ***3.2.2.1 Identificación de la necesidad***

Con la introducción del proyecto Fórmula SAE por parte de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, nace la necesidad que el prototipo de la carrera conste de sistema de suspensión delantero y trasero, por eso el proyecto propuesto es la implementación de sistema de suspensión que garantice la participación del prototipo en futuras competencias con las debidas especificaciones que indican la Fórmula SAE.

#### ***3.2.2.2 Investigación preliminar***

La información proporcionada es aquella que encuentra en el capítulo II, con respecto al Fórmula SAE y Sistema de Suspensión

#### ***3.2.2.3 Planteamiento de objetivo***

El objetivo es la implantación de un sistema de suspensión para el prototipo Fórmula SAE, tomando en cuenta los parámetros generales del vehículo como es: la geometría, el peso y las características de los elementos. Además de resistir a los esfuerzos generados durante todos los eventos de la competencia, sin olvidar que debe cumplir con el reglamento establecido por la competencia Fórmula SAE

### 3.2.2.4 Especificaciones de desempeño

Para las especificaciones de diseño se toma en cuenta el reglamento de la competición, (SAE Rules, 2020) especialmente los referentes a la suspensión. Es importante recalcar que estas especificaciones muestran lo que el diseño del sistema debe hacer y no como lo debe hacer

#### **Suspensión:**

El vehículo debe estar equipado con sistemas de suspensión delantera y trasera totalmente operativos. Incluyendo amortiguadores y un recorrido útil de la rueda de al menos 50 mm y un balanceo mínimo de 25 mm con conductor sentado.

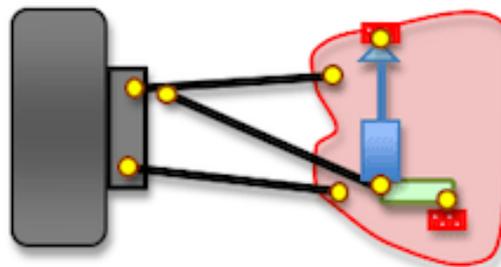
La distancia mínima estática al suelo de cualquier parte del vehículo, excepto los neumáticos, incluyendo un controlador, debe tener un mínimo de 30 mm.

Todos los puntos de montaje de la suspensión deben ser visibles en la inspección técnica, ya sea por vista directa o quitando las cubiertas.

### 3.2.2.5 Ideación e invención

Para el proyecto se ha decidido que fuera un sistema de suspensión Pull-Rod, ya que es un sistema con mejores características que el ya conocido Push-Rod ya que como lo menciona en (Ingeniero de sofá, 2016) es una barra diagonal que tira del balancín hasta que forman una línea recta. Al estar el amortiguador unido al balancín, se comprime.

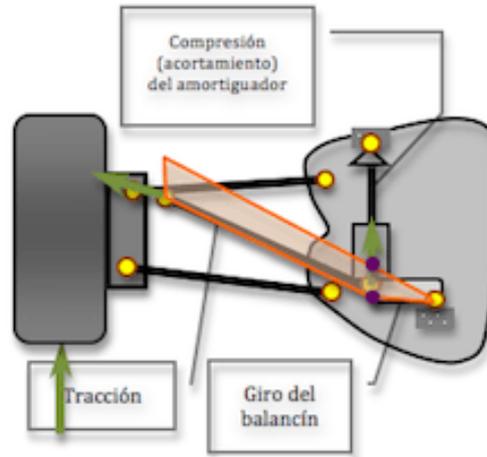
En la figura 2-3 se puede ver como se mueve el conjunto barra a tracción y balancín.



**Figura 2-3:** Sistema Pull-Rod

Fuente: (Ingeniero de sofá, 2016)

En la figura 3-3 se pueden observar el punto inicial y final del anclaje del amortiguador.



**Figura 3-3:** Sistema Pull-Rod  
Fuente: (Ingeniero de sofá, 2016)

### Conceptos de solución para los Rockers

Los materiales que nos sirven para la construir los Rockers en el sistema de suspensión son los que se muestran en la tabla 2-3 siguiendo los siguientes conceptos:

Concepto 1: chapa metálica ASTM A36

Concepto 2: Aluminio 7075

Concepto 3: Acero AISI 4140

**Tabla 2-3:** Conceptos de solución para la construcción de los Rockers

Concepto de solución	Chapa metálica	Aluminio 7075	Acero AISI4140
Material			
Característica del material	<b>ASTM A36</b> <b>Densidad:</b> 7.85 g/cm <sup>3</sup> <b>Resistencia a la tracción:</b> 250Mpa	<b>Aluminio 7075-T6</b> <b>Densidad:</b> 2.81 g/cm <sup>3</sup> <b>Resistencia a la tracción:</b> 572mpa	<b>AISI 4140</b> <b>Densidad:</b> 7.84 g/cm <sup>3</sup> <b>Resistencia a la tracción:</b> 700Mpa

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

**Tabla 3-3:** Matriz de decisión para la selección del material de los Rockers

	Disponibilidad del material	Costos	Peso	Disponibilidad de la herramienta	Rango
<b>Factor de ponderación</b>	0.30	0.25	0.25	0.20	1
<b>Chapa metálica</b>	8 2.40	8 2.00	7 1.75	8 1.60	7.75
<b>Aluminio 7075</b>	2 0.60	3 0.75	8 2.00	5 1.00	4.35
<b>Acero AISI4140</b>	4 1.20	3 1.00	8 1.50	5 1.00	4.70

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

La chapa metálica es la mejor opción por ser las de menor costo además de ser la accesible por eso es la seleccionada para los rockers

### Conceptos de solución para las bases

Los materiales que nos sirven para la construir las bases en el sistema de suspensión son los que se muestran en la tabla 4-3 siguiendo los siguientes conceptos:

Concepto 1: Placas de chapa metálica.

Concepto 2: Perfil de acero.

Concepto 3: Unión de acero prediseñado

**Tabla 4-3:** Conceptos de solución para la construcción de los Rockers

Concepto de solución	Chapa metálica	Perfil de acero	Unión de acero prediseñado
<b>Material</b>			

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

**Tabla 5-3:** Matriz de decisión para la selección del material de las bases

	Disponibilidad del material	Costos	Ensamblaje	Disponibilidad de la herramienta	Rango
<b>Factor de ponderación</b>	0.4	0.20	0.25	0.15	1
<b>Chapa metálica</b>	8 3.20	5 1.00	8 2.00	6 0.90	7.70
<b>Perfil de acero</b>	6 2.40	8 1.60	7 1.75	8 1.20	6.95
<b>Unión de acero prediseñada</b>	4 1.60	3 0.60	6 1.50	3 0.45	4.15

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

La chapa metálica es la mejor opción por ser las de menor costo además de ser la accesible por eso es la seleccionada para los bases.

### Conceptos de solución para las barras Pull

Los materiales que nos sirven para la construir las barras Pull en el sistema de suspensión son los que se muestran en la tabla 6-3 siguiendo los siguientes conceptos:

Concepto 1: Acero AISI 1045

Concepto 2: Acero ASTM A500

**Tabla 6-3:** Conceptos de solución para la construcción de las barras Pull

Concepto de solución	AISI 1045	ASTM A500
<b>Características del material</b>	<b>Densidad:</b> 7.87 g/cm <sup>3</sup> <b>Resistencia a la tracción:</b> 441 Mpa	<b>Densidad:</b> 7.85 g/cm <sup>3</sup> <b>Resistencia a la tracción:</b> 390Mpa

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

**Tabla 7-3:** Matriz de decisión para la selección del material de las barras Pull

	<b>Disponibilidad del material</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Maquinabilidad</b>	<b>Rango</b>
<b>Factor de ponderación</b>	0.3	0.4	0.2	1
<b>AISI 1045</b>	8 1.60	7.75 2.98	5 2.00	6.28
<b>ASTM A500</b>	6 1.60	4.45 1.76	7.6 1.75	6.78

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

El acero AISI 1045 es la mejor opción por ser el de mejores características para la tracción además de ser la accesible por eso es la seleccionada para las barras Pull.

### **3.2.3 Modelamiento en CAD**

Antes de la implementación se debe realizar el modelo del sistema de suspensión en el programa SolidWork, el cual es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 2D y 3D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una filial de Dassault Systèmes, S.A. (Suresnes, Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows. Su primera versión fue lanzada al mercado en 1995 con el propósito de hacer la tecnología CAD más accesible. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en traspasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada. (Dassault Systemes, 2019)

Donde el modelo se realiza a cada una de las partes importantes de la suspensión, en donde vemos sus consideraciones mecánicas además del material en cual será fabricado

### **3.2.4 Simulación en CAE**

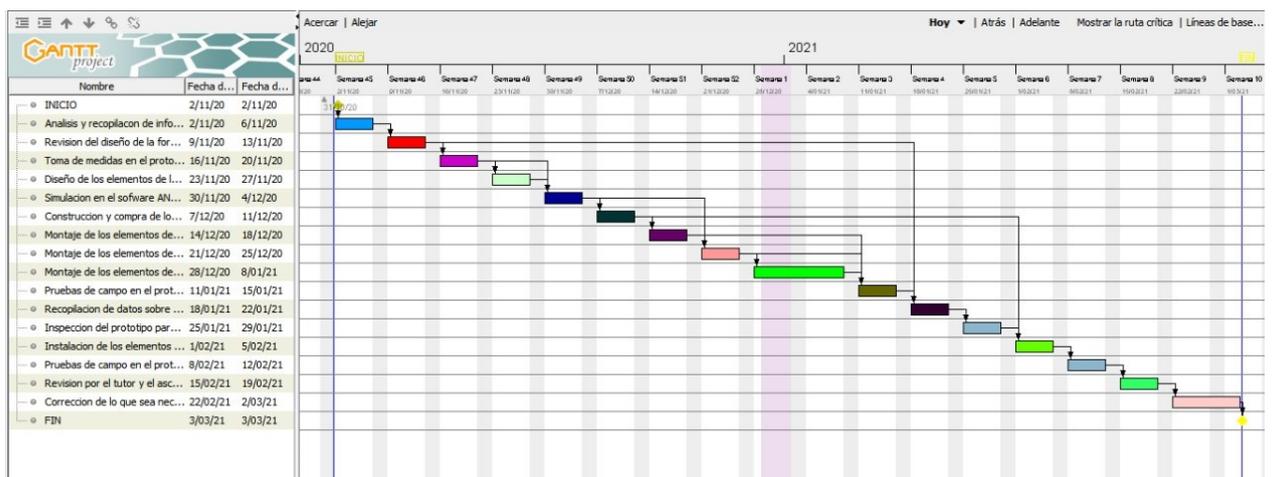
Después del modelado del sistema de suspensión en SolidWork el siguiente paso es la simulación en el programa ANSYS. ANSYS, Inc. fue fundada en 1970 (Swanson Analysis Systems, Inc.) utilizando aproximadamente 1700 empleados. La mayoría con experiencia en elemento finito y dinámica de fluido computacional. ANSYS desarrolla, comercializa y presta soporte a la

ingeniería a través de software de simulación para predecir cómo funcionará y reaccionará determinado producto bajo un entorno real. ANSYS continuamente desarrolla tecnología enfocada en la simulación y a través del tiempo ha adquirido otros softwares para ofrecer un paquete de aplicaciones que pueden ser unificadas para los problemas más complejos. Además presta soporte a la industria. ANSYS, Inc. es un software de simulación ingenieril. Está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elemento finito para estructuras y volúmenes finitos para fluidos. En 2008, el National Institute of Standards and Technology de Estados Unidos utilizó ANSYS para modelar los acontecimientos que llevaron al inicio del desplome del edificio World Trade Center 7 durante los atentados del 11 de septiembre de 2001. (ANSYS inc, 2020)

Donde las piezas en la simulación serán sometidas a las pruebas correspondientes para verificar su factor de seguridad y los esfuerzos que estas podrán resistir.

### 3.3 Planificación o Cronograma de actividades

Las actividades que se realizaron en el proyecto se detallan en el grafico 2-3:



**Gráfico 2-3:** Cronograma de actividades del proyecto

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

### 3.4 Recursos y materiales

#### 3.4.1 Materiales

Los materiales que se utilizaron para el proyecto se detallan en la tabla 8-3:

**Tabla 8-3:** Materiales utilizados para el proyecto

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
Amortiguadores	4	Para eliminar las oscilaciones del muelle que estas se producen cuando pasan por un bache, produciendo una energía que es almacenada en los resortes del sistema de suspensión.
Rotulas ojos de pez	8	Para hacer una conexión de la suspensión entre la barra Pull que está en Rocker y los brazos de anclaje.
Sierra	3	Utilizada para realizar los cortes respectivos a las bases en donde va el sistema de suspensión.
Brocas HSS	3	Para los agujeros de las bases y los Rockers
Electrodos de soldadura 6011 (fundas)	1	Para iniciar la soldada de la piezas requeridas
Electrodos de soldadura 7018 (fundas)	2	Una vez iniciada la soldadura, se refuerza con este electrodo garantizando la calidad de la soldadura.
Plancha de acero ASTM A-36	1	Para la elaboración de elementos de la suspensión, como los Rockers y las bases.
Fracción de acero ASTM A-36	1	Para la elaboración de elementos complementarios de la suspensión, como otras bases.
Pernos	-	De distintos tamaños para la correcta fijación del sistema de suspensión, además de cualquier otro elemento que haga falta sujeción.
Barra de acero AISI 1045 d= 1/2 plg x 20 mm	2	Para la elaboración de las barras Pull delanteras del sistema de suspensión
Barra acero AISI 1045 d= 1/2 plg x 15 mm	2	Para la elaboración de las barras Pull traseras del sistema de suspensión
Pintura	4	Para los acabados y que el prototipo quede con una mejor presentación
	-	-

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

### 3.4.2 Equipos

Los equipos que se utilizaron para el proyecto se detallan en la tabla 9-3:

**Tabla 9-3:** Equipos utilizados para el proyecto

<b>Equipos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
Computadora	1	El modelaje y la simulación para el proyecto serán instalados con las respectivas licencias de la Facultad de Mecánica
Taladro	1	En las bases fueron necesarios agujeros donde irán los pernos de unión y sujeción
Soldadora	1	Para la implementación del sistema de suspensión la soldadora es fundamental para el correcto ensamble de piezas.
Vehículo prototipo Fórmula SAE	1	El proyecto se va a implementar en el prototipo de la carrera de Ingeniería Automotriz

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

### 3.4.3 Recursos humanos

Los recursos humanos para el proyecto son los que se detallan en la tabla 10-3:

**Tabla 10-3:** Recursos humanos utilizados para el proyecto

<b>Recursos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
Autores del proyecto	2	Estudiantes que realizan el proyecto para finalizar su carrera y titularse.
Director del proyecto	1	Docente encargado de guiar y supervisar a los autores del proyecto.
Asesor del proyecto	1	Docente encargado de guiar y supervisar a los autores del proyecto.

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

### 3.4.4 Recursos económicos

#### 3.4.4.1 Gastos directos

Los recursos económicos indicados como gastos directos para el proyecto son los que se detallan en la tabla 11-3:

**Tabla 11-3:** Gastos directos utilizados para el proyecto

<b>Gastos Directos</b>			
Material	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Amortiguadores	4	\$160	\$640
Rotulas ojos de pez	8	\$20	\$160
Sierra	3	\$1.60	\$4.8
Electrodos de soldadura 6011 (fundas)	1	\$15	\$15
Electrodos de soldadura 7018 (fundas)	2	\$30	\$60
Plancha de acero ASTM A-36	1	\$42.7	\$42.7
Fracción de acero ASTM A-36	1	\$10.7	\$10.7
Brocas HSS	3	\$1.5	\$4.50
Pernos y arandelas	-	-	\$41.6
Barra de acero AISI 1045 d= 1 plg x 20 mm	2	\$5	\$10
Barra acero AISI 1045 d= 1 plg x 15 mm	2	\$5	\$10
Mecanizado de las barras Pull	4	\$6	\$24
Pernos para las llantas	1	\$2.20	\$2.20
Pintura	5	\$4	\$20
Tuercas para las llantas	8	\$1.70	\$13.6
Pernos y tuercas para las fibras (milimétricos 5/16 x 1.5mm)	10	\$1.25	\$12.5
Pernos y tuercas para el piso (milimétricos 5/16 x 3mm)	10	\$1.50	\$15
Reparación del mecanismo de la dirección	1	\$10	\$10
Líquido De Freno Wagner Dot 3 12 Oz; 710 MI	1	\$12	\$12
Reparación del Motor eléctrico	2	\$90	\$180
<b>Total</b>			<b>\$1288.6</b>

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

### 3.4.4.2 Gastos indirectos

Los recursos económicos indicados como gastos indirectos para el proyecto son los que se detallan en la tabla 12-3:

**Tabla 12-3:** Gastos indirectos utilizados para el proyecto

<b>Gastos Indirectos</b>			
Material	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Transporte a Riobamba (ida-vuelta)	16	\$15	\$240
Arriendo (en meses)	4	\$70	\$280
Alimentación en la estancia (en semanas)	16	\$50	\$800
Imprevistos y rectificaciones de elementos	-	-	\$30
Transporte en la ciudad	-	-	\$80
Impresiones	-	-	\$25
Empastado	1	\$25	\$25
<b>Total</b>			<b>\$1480</b>

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

### 3.4.4.3 Gastos Totales

Los recursos económicos indicados como gastos totales para el proyecto son la sumatoria de los gastos directos e indirectos los cuales se detallan en la tabla 13-3:

**Tabla 13-3:** Gastos indirectos utilizados para el proyecto

<b>Gastos Totales</b>	
Gastos	Valor
Gastos directos	\$1288.6
Gastos indirectos	\$1480
<b>Total</b>	<b>\$2768.6</b>

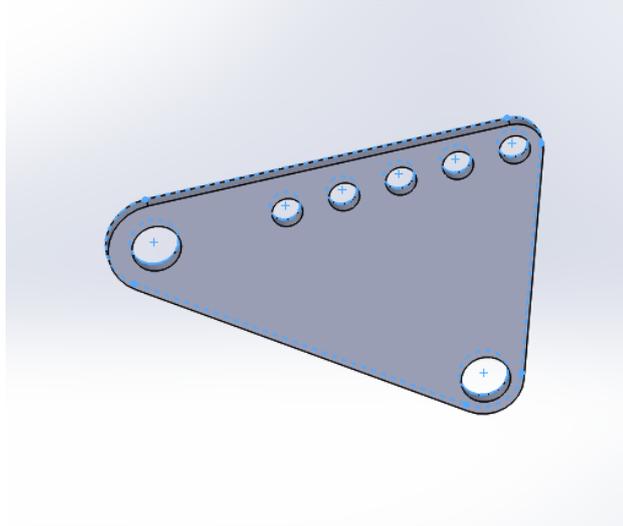
Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

## 3.5 Desarrollo del proyecto

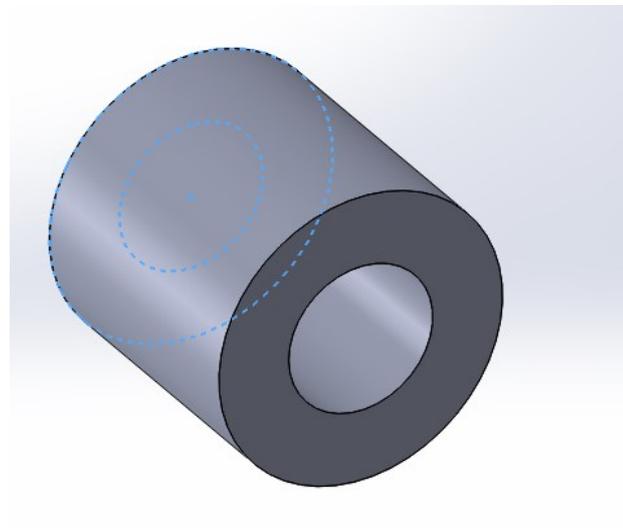
### 3.5.1 Modelamiento en CAD

Antes de la implementación se debe realizar el modelo del sistema de suspensión en el programa SolidWork.

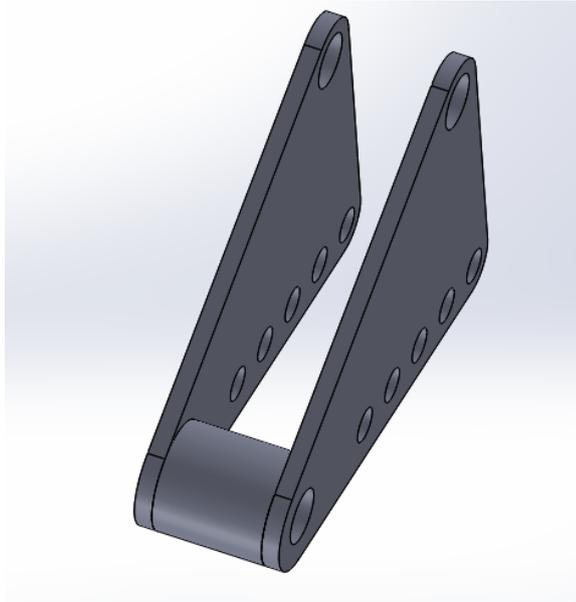
Empezando el modelado por los Rockers como se observa en las siguientes imágenes:



**Figura 4-3:** Cuerpo del Rocker  
**Fuente:** Autores

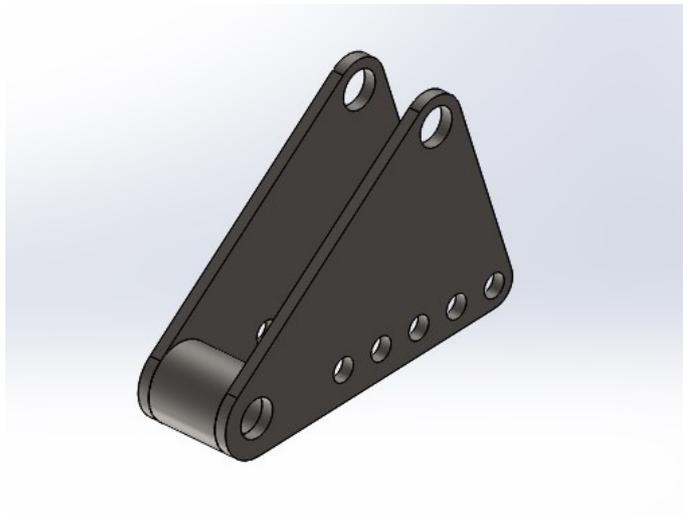


**Figura 5-3:** Eje Rocker  
**Fuente:** Autores



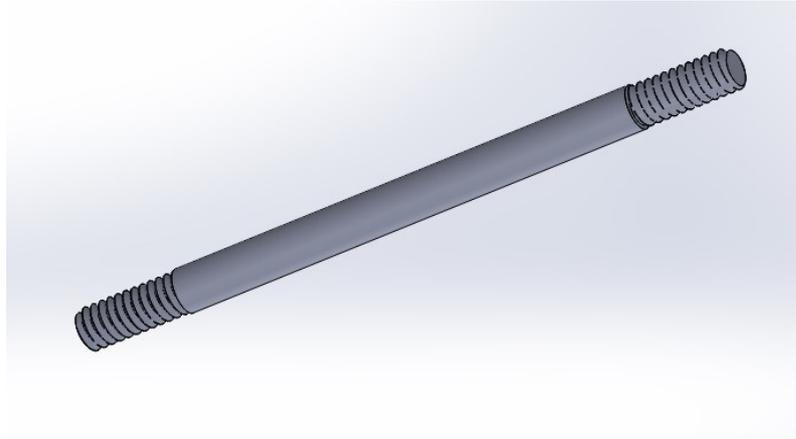
**Figura 6-3:** Rocker  
**Fuente:** Autores

Cabe destacar que el material seleccionado fue el acero ASTM A-36 como se observa en la figura 7-3:



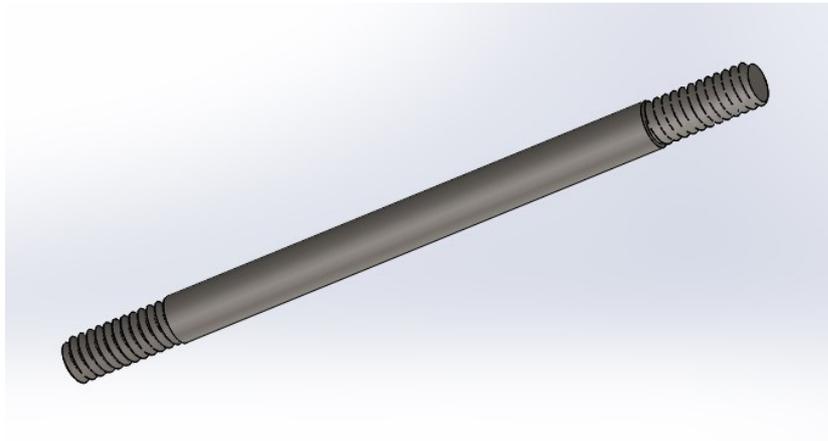
**Figura 7-3:** Rocker ASTM A-36  
**Fuente:** Autores

Para el sistema de suspensión Pull-Rod es necesaria la barra pull ya que el sistema será a tracción y el modelamiento se realizó como se observa en las siguientes imágenes:



**Figura 8-3:** Barra Pull delantera  
Fuente: Autores

El material de la barra Pull para el sistema fue el acero AISI 1045 como se muestra en la figura 9-3:



**Figura 9-3:** Barra Pull delantera AISI 1045  
Fuente: Autores



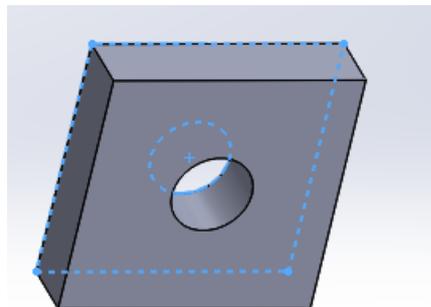
**Figura 10-3:** Barra Pull trasera  
Fuente: Autores

El material de la barra Pull para el sistema fue el acero AISI 1045 como se muestra en la figura 11-3:



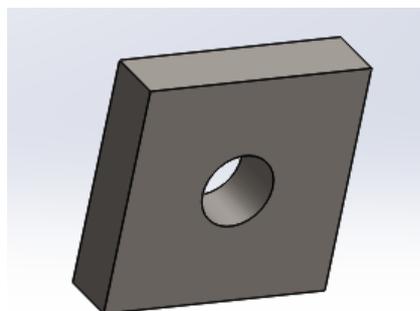
**Figura 11-3:** Barra Pull trasera AISI 1045  
Fuente: Autores

Para el sistema en donde van a ir los Rockers, las barras Pull y los amortiguadores se hicieron unas bases como se observa en las siguientes imágenes:

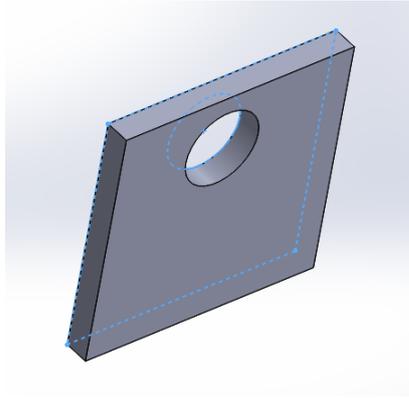


**Figura 12-3:** Base para las barras Pull  
Fuente: Autores

Cabe destacar que el material seleccionado fue el acero ASTM A-36 como se observa en la figura 13-3:

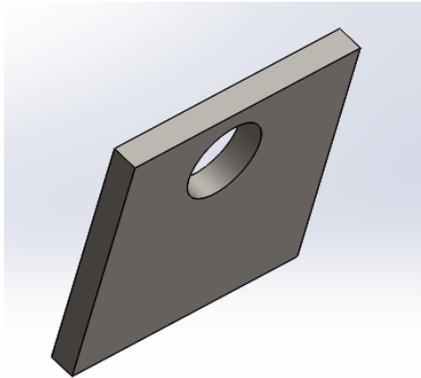


**Figura 13-3:** Base para las barras Pull ASTM A-36  
Fuente: Autores

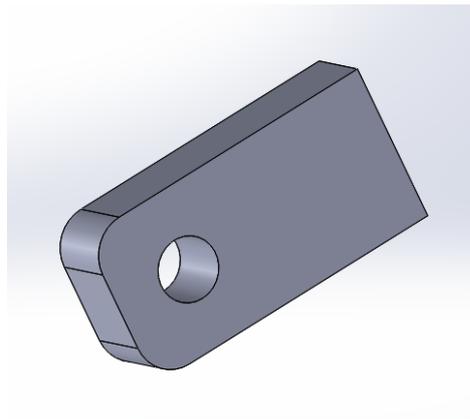


**Figura 14-3:** Base para los Rocker  
**Fuente:** Autores

Cabe destacar que el material seleccionado fue el acero ASTM A-36 como se observa en la figura 15-3:

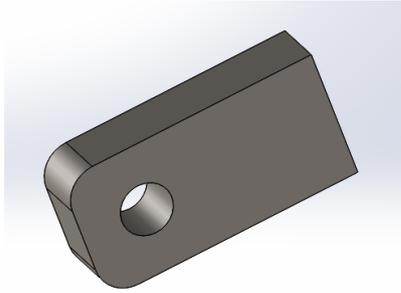


**Figura 15-3:** Base para los Rockers ASTM A-36  
**Fuente:** Autores



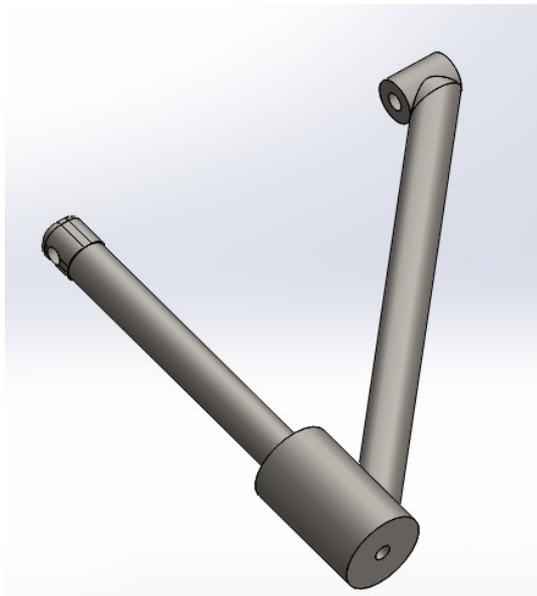
**Figura 16-3:** Base para los Amortiguadores  
**Fuente:** Autores

Cabe destacar que el material seleccionado fue el acero ASTM A-36 como se observa en la figura 17-3:

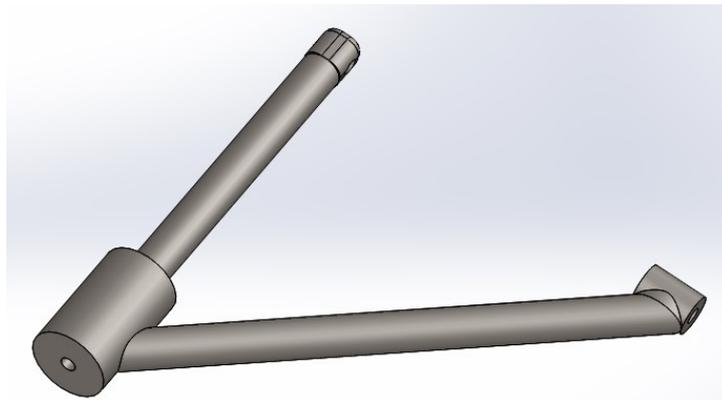


**Figura 17-3:** Base para los Amortiguadores ASTM A-36  
Fuente: Autores

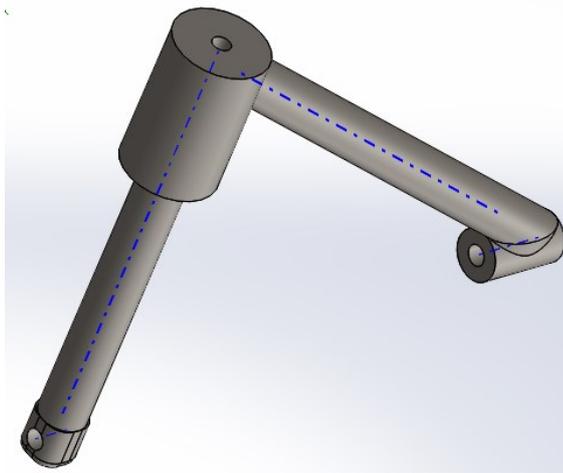
Para las mesas de la suspensión se utiliza el mismo material ASTM A36



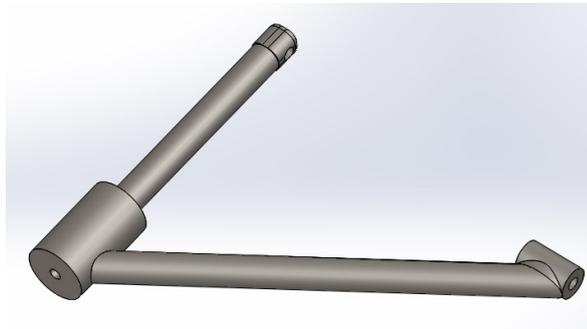
**Figura 18-3:** Mesa delantera derecha ASTM A-36  
Fuente: Autores



**Figura 19-3:** Mesa delantera izquierda ASTM A-36  
Fuente: Autores

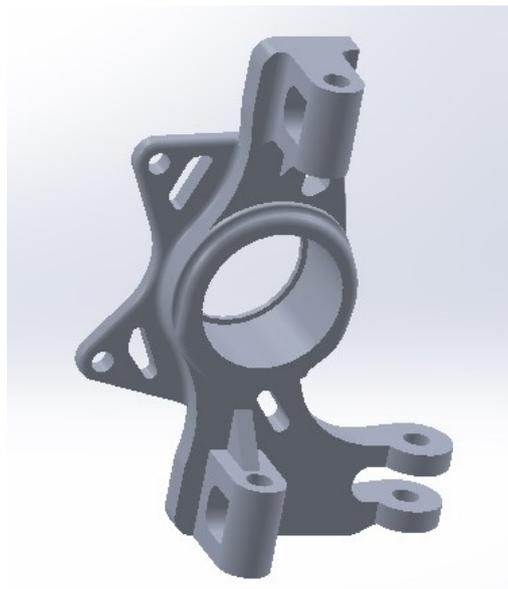


**Figura 20-3:** Mesa trasera derecha ASTM A-36  
**Fuente:** Autores



**Figura 21-3:** Mesa trasera izquierda ASTM A-36  
**Fuente:** Autores

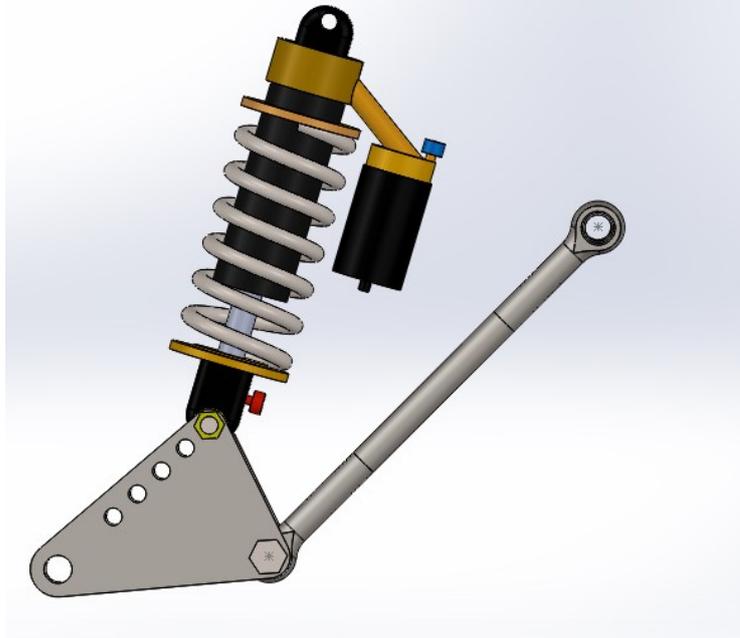
Las manguetas son tomadas de un proyecto técnico anterior, por lo que el material del mismo es Aluminio 7075 - T6



**Figura 22-3:** Mangueta Aluminio 7075 - T6  
**Fuente:** Autores

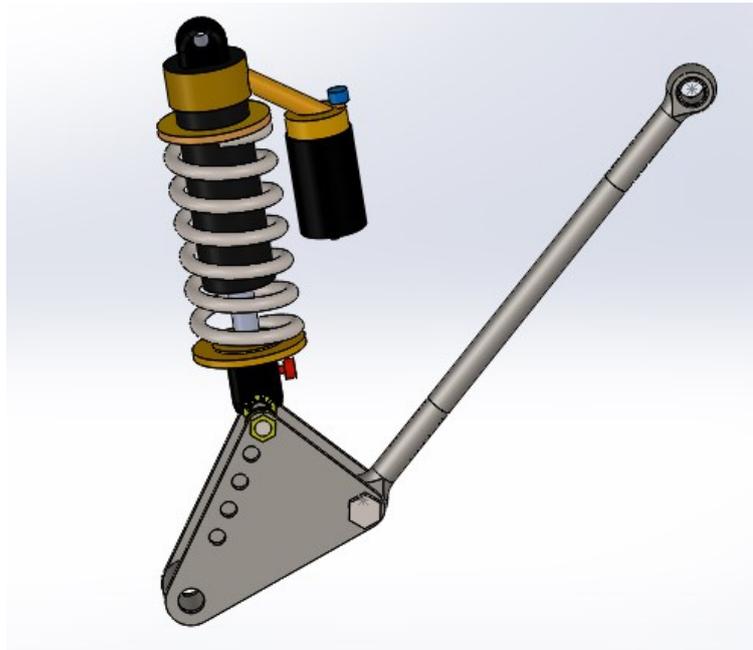
### 3.5.2 *Ensamble en CAD*

Para la parte del ensamble, se ha tomado en cuenta las partes más importantes del sistema de suspensión como se muestra a continuación:



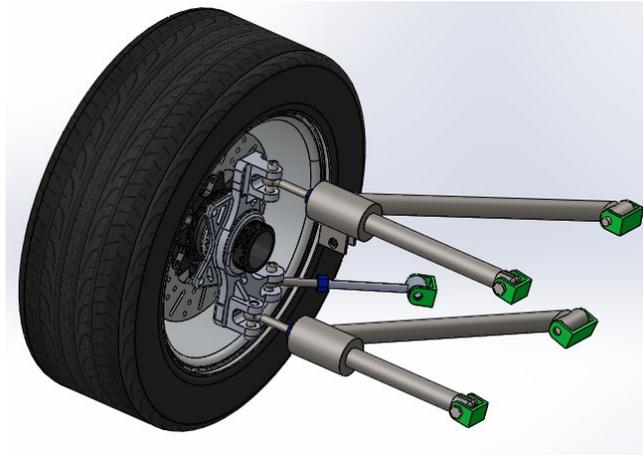
**Figura 23-3:** Suspensión trasera izquierda  
Fuente: Autores

La parte delantera presenta un ligero cambio al ser la barra Pull de mayor diámetro



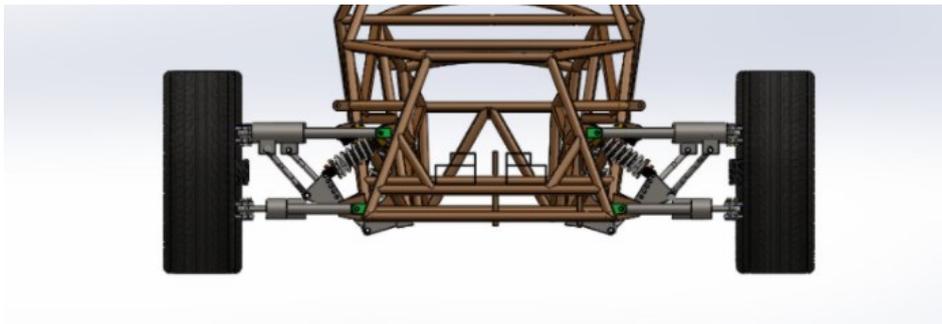
**Figura 24-3:** Suspensión delantera derecha  
Fuente: Autores

Continuando el ensamble de la suspensión con las mesas unido a las maguetas, disco, y neumático.



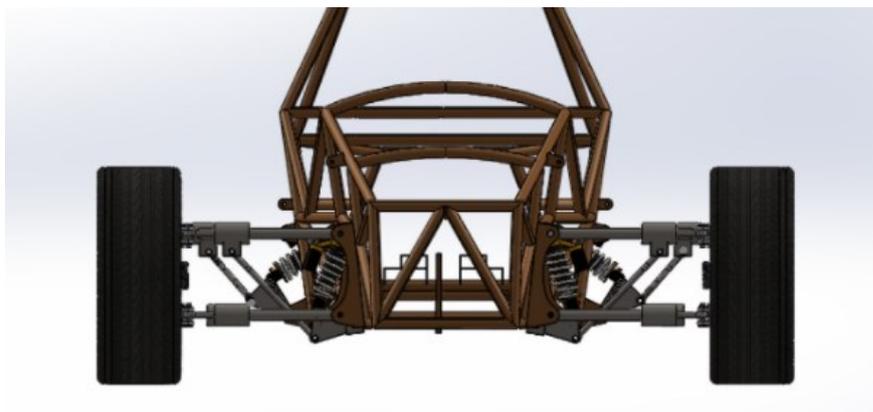
**Figura 25-3:** Suspensión mesas-neumático  
Fuente: Autores

Con los componentes restantes la suspensión trasera Pull-Rod queda de la siguiente manera:



**Figura 26-3:** Suspensión trasera Pull-Rod  
Fuente: Autores

Con los componentes restantes la suspensión delantera Pull-Rod queda de la siguiente manera:



**Figura 27-3:** Suspensión delantera Pull-Rod  
Fuente: Autores

Con lo antes mencionado la suspensión final queda de la siguiente manera:



**Figura 28-3:** Suspensión Pull-Rod  
Fuente: Autores

### 3.5.3 Simulación en CAE

Para realizar la simulación hay que considerar algunos cálculos que se detallan a continuación:

#### 3.5.3.1 Cálculos para la simulación

##### Centro de gravedad

Tomando en cuenta que el chasis ya fue diseñado se determina el centro de gravedad de la siguiente manera:

Desde la base del chasis:

$$h = 244.7 \text{ mm}$$

Con los neumáticos:

$$h = 300 \text{ mm}$$

Ubicación longitudinal del centro de gravedad:

$$h = 186.74 \text{ mm}$$

##### Distancia entre ejes

Consideramos que la distancia del centro de gravedad hacia el eje delantero es 663,26 mm y hacia el eje posterior es 1036,74 mm por lo que para la distancia entre ejes aplicamos la siguiente fórmula:

$$b = l1 + l2 \quad (1)$$

Donde:

b= batalla o distancia entre ejes

l1= longitud del centro de gravedad hacia el eje delantero

l2= longitud del centro de gravedad hacia el eje posterior

Y aplicando la fórmula se tiene:

$$b = 663,26 \text{ mm} + 1036,74 \text{ mm}$$

$$b = 1700 \text{ mm}$$

La distancia entre ejes es: 1700 mm

### **Distribución de masas en el vehículo**

Para la simulación es fundamental determinar cómo esta distribuidas las masas en el prototipo por eso consideramos las siguientes fórmulas de (Marrion , 1996):

$$\sum MA = 0 \quad +\curvearrowright \quad (2)$$

$$W2 * b - W \left( \frac{b}{2} - dx \right) = 0 \quad (3)$$

$$\sum MB = 0 \quad +\curvearrowright \quad (4)$$

$$-W1 * b + W \left( \frac{b}{2} + dx \right) = 0 \quad (5)$$

Es necesario realizar una sumatoria de momentos en el punto A y B que serán los ejes delantero y posterior respectivamente para poder tener W1 y W2, el valor dx corresponde a la distancia desde el punto medio entre la distancia entre ejes y el centro de gravedad

$$dx = \frac{b}{2} - l1 \quad (6)$$

$$dx = \frac{1700 \text{ mm}}{2} - 663.26 \text{ mm}$$

$$dx = 186.74 \text{ mm}$$

Despejando W1 y W2:

$$W1 = \frac{W}{2} + \frac{W \cdot dx}{b} \quad (7)$$

$$W2 = \frac{W}{2} - \frac{W \cdot dx}{b} \quad (8)$$

El peso total del prototipo es 320 kg

Donde:

MA= Momento en A

MB= Momento en B

W1= Distribución de peso en el eje delantero

W2= Distribución de peso en el eje posterior

W= Peso total

Reemplazando tenemos:

$$W1 = \frac{320}{2} - \frac{320 \cdot 186.74}{1700}$$

$$W1 = 124.45 \text{ kg}$$

$$W2 = \frac{320}{2} + \frac{320 \cdot 186.74}{1700}$$

$$W2 = 195.15 \text{ kg}$$

### **Porcentaje de peso en los ejes delantero y posterior**

Es la razón que existe entre el peso en cada eje con el peso total del vehículo

$$\%W1 = \frac{W1}{W} * 100 \quad (9)$$

$$\%W1 = \frac{124.45}{320} * 100$$

$$\%W1 = 38.89 \%$$

$$\%W2 = \frac{W2}{W} * 100 \quad (10)$$

$$\%W2 = \frac{195.15}{320} * 100$$

$$\%W2 = 61.09 \%$$

Si tomamos en cuenta que para este tipo de vehículos el peso ideal del piloto debe ser 70kg consideramos la siguiente formula:

$$WT = Wvehiculo + Wpiloto \quad (11)$$

$$WT = 320 \text{ kg} + 70 \text{ kg}$$

$$WT = 390 \text{ kg}$$

Por eso la distribución del peso quedaría de la siguiente manera:

Para el eje delantero:

$$WTd = 390 * 38.89 \%$$

$$WTd = 151.67 \text{ kg}$$

Ya que son dos neumáticos la masa se divide para dos:

$$WTd = \frac{151.67}{2}$$

$$WTd = 75.84 \text{ kg}$$

Para el eje posterior:

$$WTp = 390 * 61.09\%$$

$$WTp = 238.25 \text{ kg}$$

Ya que son dos neumáticos la masa se divide para dos:

$$WTp = \frac{238.25}{2}$$

$$WTp = 119.13 \text{ kg}$$

### 3.5.3.2 Simulación de la suspensión

El software ANSYS es usado para la simulación y para poder observar los esfuerzos tomamos en cuenta los valores calculados anteriormente:

#### Fuerzas

Para conocer las fuerzas que actúan en el sistema suspensión cuando son sometidos a irregularidades, es necesario realizar un cálculo considerando una velocidad de 30 km/h al ser un monoplaza eléctrico, una altura de 0.2 m y una pendiente de 30°

Aplicando la fórmula de la velocidad:

$$vx = \frac{30km}{h} * \frac{1000m}{1km} * \frac{1h}{3600s}$$

$$vx = 8.33 \frac{m}{s}$$

$$vy = vx * \tan\theta \tag{12}$$

$$vy = \frac{8.33m}{s} * \tan 30^\circ$$

$$vy = 4.81 \frac{m}{s}$$

Para la aceleración vertical:

$$ay = \frac{(vy)^2}{2h} \quad (13)$$

$$ay = \frac{(4.81)^2}{2 * (0.2)}$$

$$ay = 57.84 \frac{m}{s^2}$$

Por lo tanto la fuerza que se aplica en los neumáticos es:

$$Feje = Weje * ay \quad (14)$$

**Delantero:**

$$Feje = 75.84 * 57.84 \frac{m}{s^2}$$

$$Feje = 4386.586 N$$

La fuerza del neumático con alguna irregularidad es: 4386.586 N

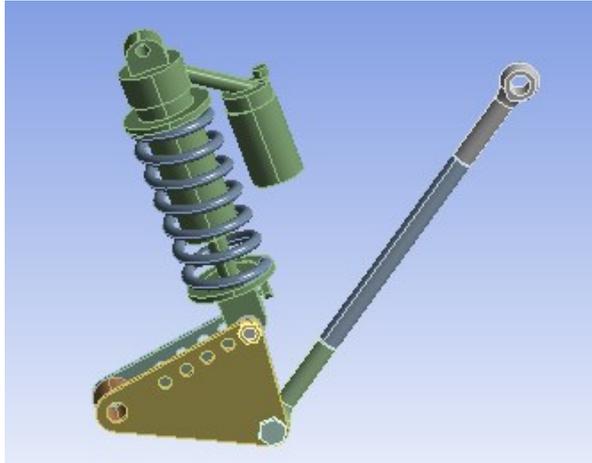
**Posterior:**

$$Feje = 119.13 * 57.84 \frac{m}{s^2}$$

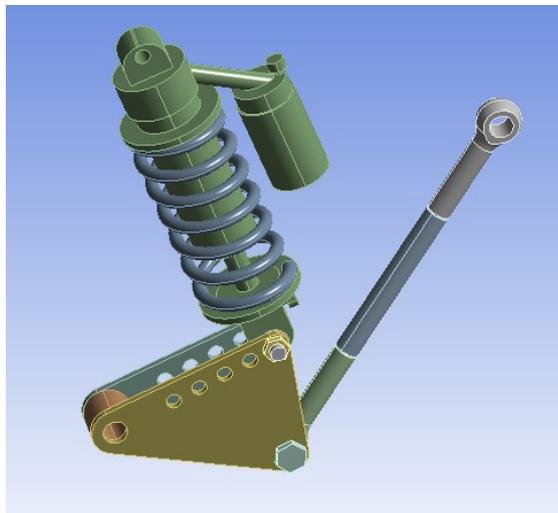
$$Feje = 6890.479 N$$

La fuerza del neumático con alguna irregularidad es: 6890.479 N

Para la simulación la suspensión delantera diseñada debe ser importada al software ANSYS, para continuar con el proceso como se muestra a continuación:

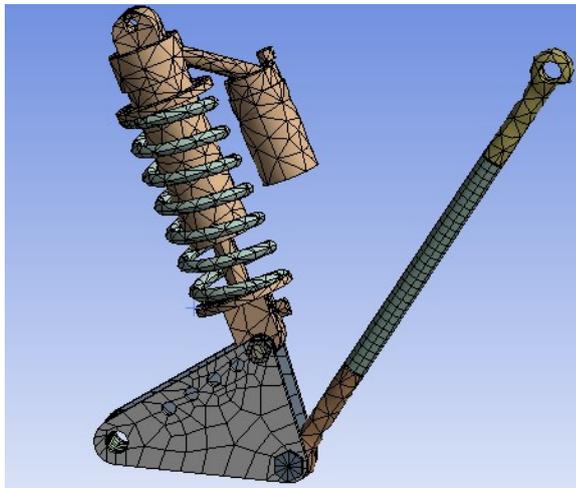


**Figura 29-3:** Suspensión delantera para la simulación  
Fuente: Autores

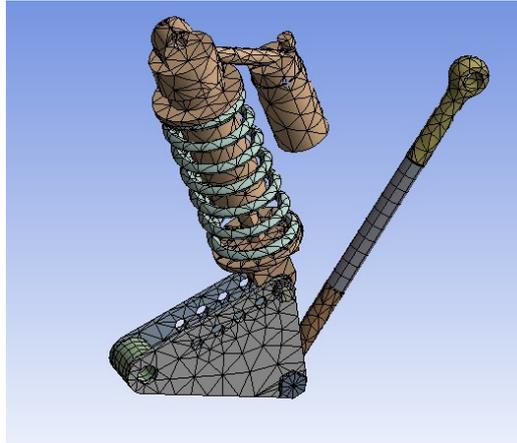


**Figura 30-3:** Suspensión trasera para la simulación  
Fuente: Autores

El diseño de la malla es fundamental para la simulación y queda de la siguiente manera:

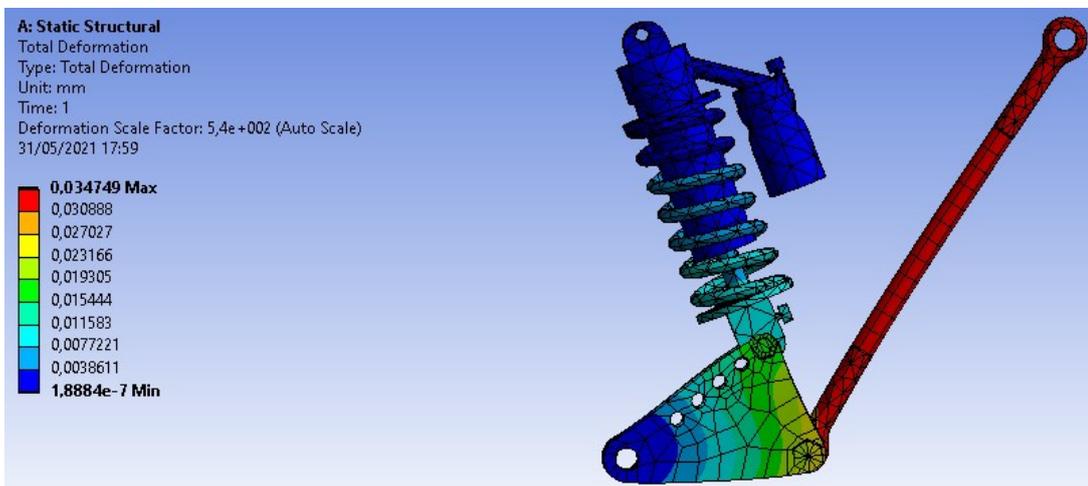


**Figura 31-3:** Mallado de la suspensión delantera  
Fuente: Autores

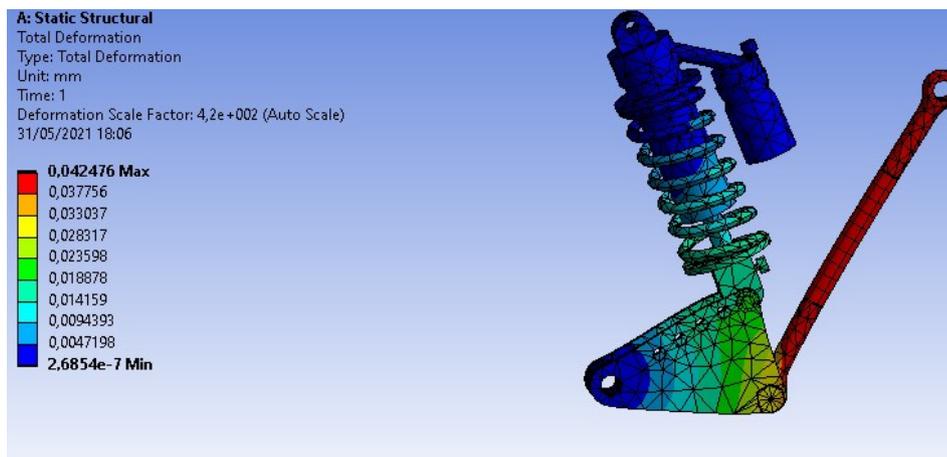


**Figura 32-3:** Mallado de la suspensión trasera  
Fuente: Autores

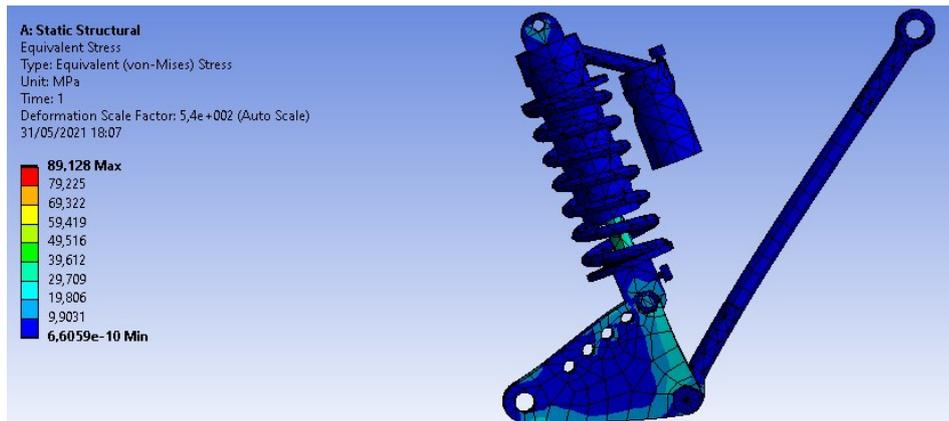
Después de la malla, las conexiones, materiales y condiciones de simulación la misma queda de la siguiente manera:



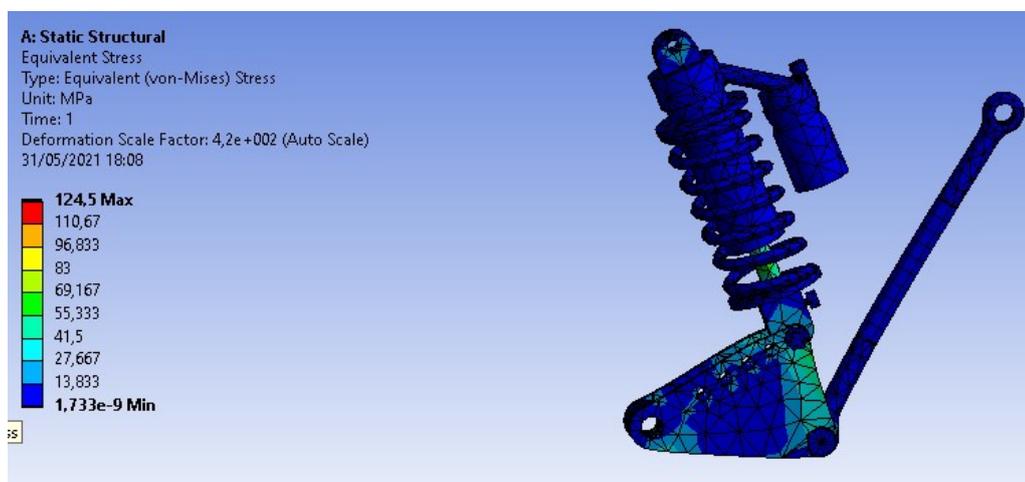
**Figura 33-3:** Deformación total de la suspensión delantera  
Fuente: Autores



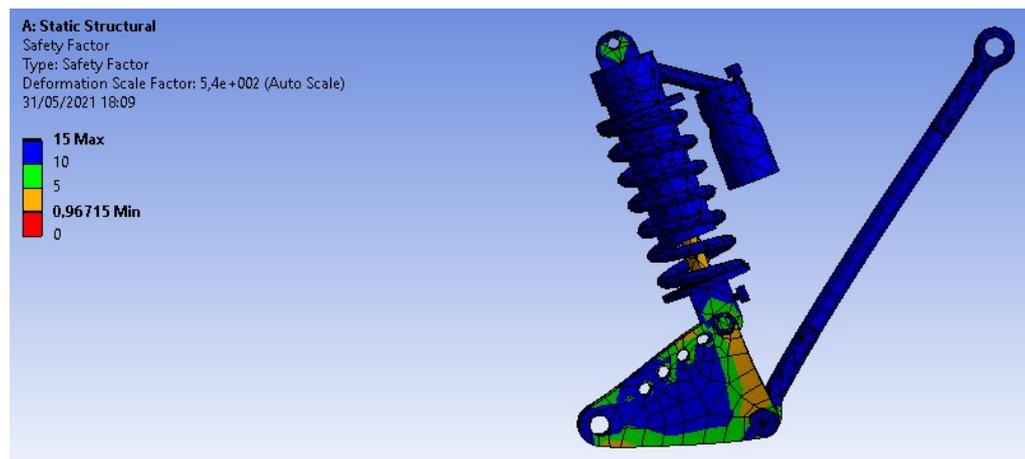
**Figura 34-3:** Deformación total de la suspensión trasera  
Fuente: Autores



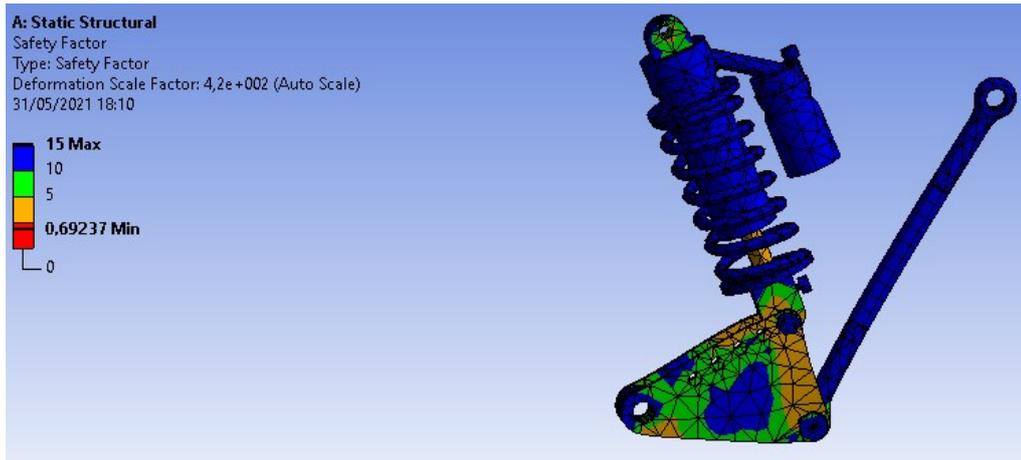
**Figura 35-3:** Tensión de Von-Mises de la suspensión delantera  
 Fuente: Autores



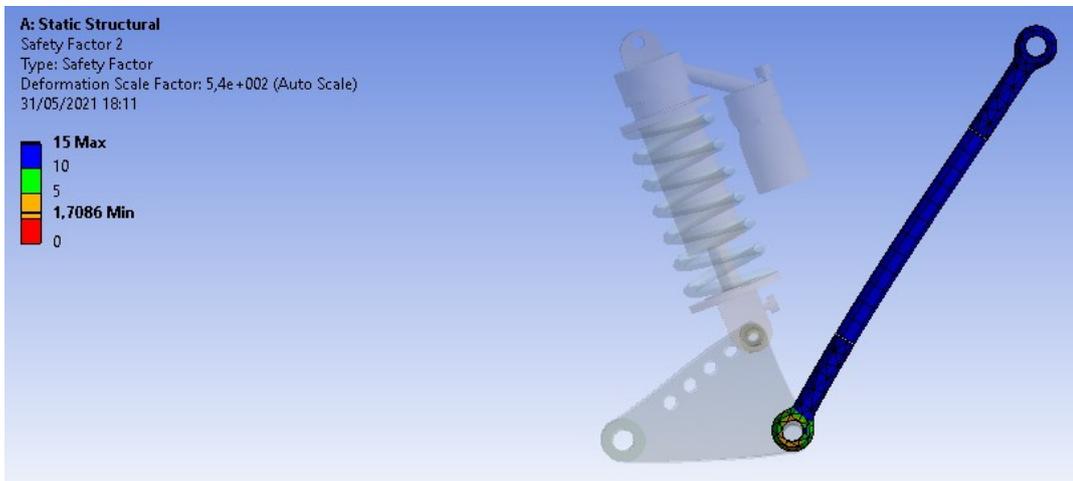
**Figura 36-3:** Tensión de Von-Mises de la suspensión trasera  
 Fuente: Autores



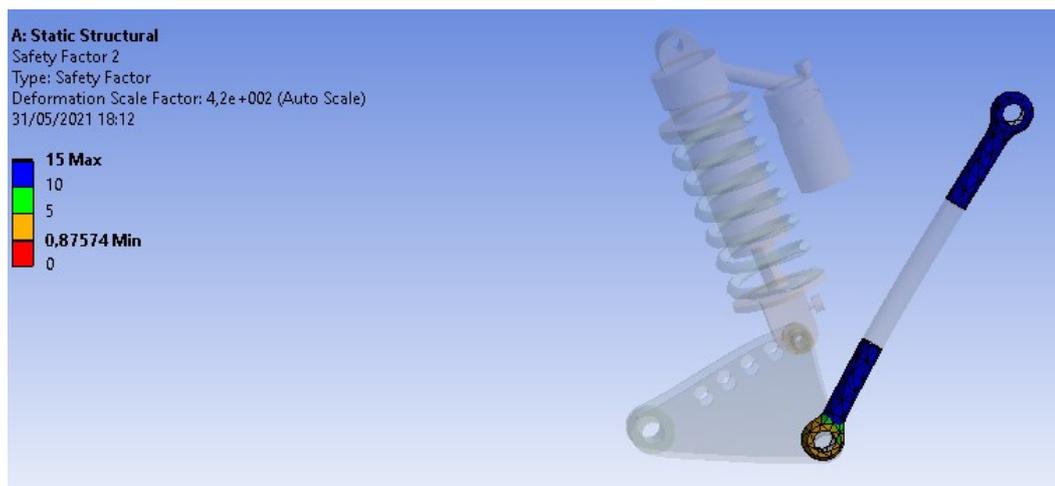
**Figura 37-3:** Factor de seguridad de la suspensión delantera  
 Fuente: Autores



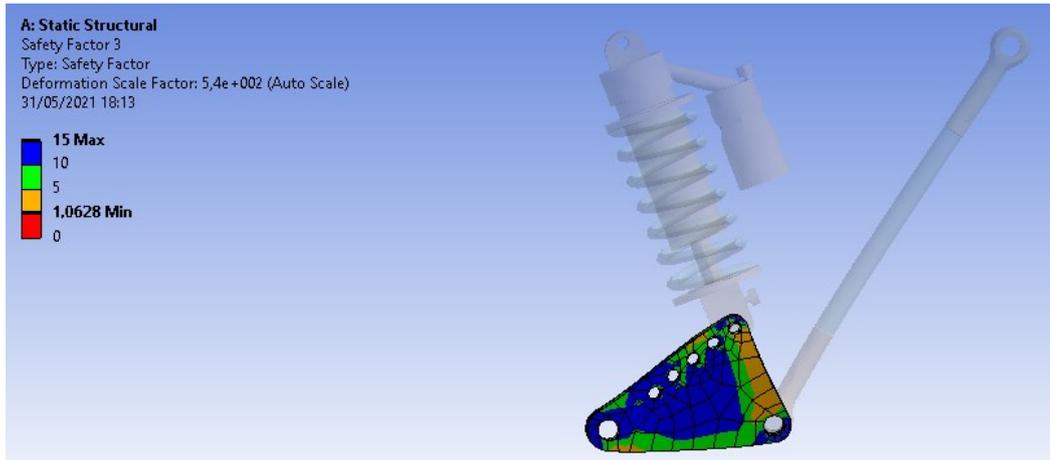
**Figura 38-3:** Factor de seguridad de la suspensión trasera  
 Fuente: Autores



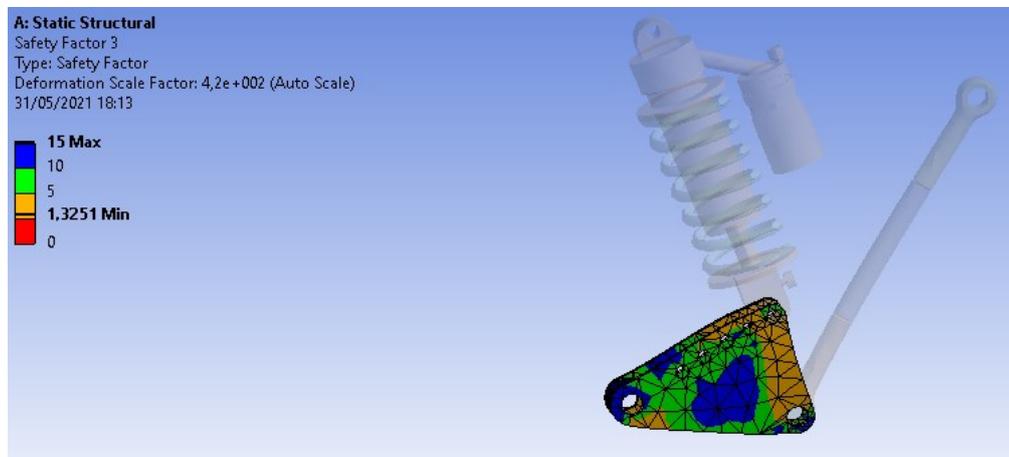
**Figura 39-3:** Factor de seguridad de la barra Pull delantera  
 Fuente: Autores



**Figura 40-3:** Factor de seguridad de la barra Pull trasera  
 Fuente: Autores



**Figura 41-3:** Factor de seguridad del Rocker delantero  
 Fuente: Autores



**Figura 42-3:** Factor de seguridad del Rocker trasero  
 Fuente: Autores

### 3.5.4 Implementación en el prototipo

Para el prototipo Fórmula SAE de la carrera de Ingeniería Automotriz, la suspensión es un sistema fundamental por eso la implementación del mismo se hizo revisando primero el estado de los componentes que sirven, y posteriormente construir los que hagan faltan para su correcto funcionamiento



**Figura 43-3:** Vehículo prototipo Fórmula SAE de la carrera de Ingeniería Automotriz  
**Fuente:** Autores

### 3.3.1.1 Construcción de elementos del sistema de suspensión Pull-Rod

Con bosquejos iniciales y toma de medidas los Rockers son los primeros elementos en ser construidos en el acero previamente seleccionado.



**Figura 44-3:** Bosquejos iniciales  
**Fuente:** Autores

Y después de un serie de cortes en la plancha de acero ASTM A36 y siguiendo el bosquejo, se obtiene la forma de los rockers, sin olvidar que los agujeros para la sujeción fueron realizados con

un taladro y su respectiva broca para acero de dos diferentes medidas, fueron construidos simultáneamente los delanteros y traseros ya que los cuatro poseen las mismas medidas.



**Figura 45-3:** Rockers terminados  
Fuente: Autores

Para las barras Pull que son fundamentales en este sistema el material seleccionado fue el acero AISI 1045, por sus características de resistencia a la tracción, en el torno fueron mecanizadas y se tuvo que sacar rosca quedando como lo indica la figura:



**Figura 46-3:** Barras Pull  
Fuente: Autores

Cabe mencionar que el tamaño de las barras varía si son delanteras o traseras ya que los tamaños de las mismas son de largo 20 y 15 cm, respetivamente.

Para el anclaje de los Rockers, las barras Pull y los amortiguadores se diseñaron bases en donde van sujetos la cual se diseñó del acero ASTM A36, del mismo espesor de que hicieron los Rockers pero en algunas sufriendo variantes en los brazos de suspensión donde van las barras siendo más

delgadas. No hay que olvidar que también se hicieron agujeros para su posterior sujeción al resto de elementos para los cuales fueron diseñados.



**Figura 47-3:** Bases para los elementos de la suspensión  
Fuente: Autores

La soldadora utilizada para unión primeramente de las bases es la que se muestra en la figura, resaltando que fue un proceso de soldadura MIG.



**Figura 48-3:** Soldadora  
Fuente: Autores

Las bases se colaron en los puntos ya antes mencionados, iniciando con puntos de suelda 6011 y reforzándolas con 7018



**Figura 49-3:** Bases soldadas en el prototipo  
**Fuente:** Autores

Con los pasos anteriores se procedió a la implementación iniciando con la parte trasera de la suspensión



**Figura 50-3:** Suspensión trasera Pull-Rod terminada  
**Fuente:** Autores

Lo que respecta a la suspensión delantera el proceso fue exactamente el mismo uniendo los elementos con la soldadora



**Figura 51-3:** Unión de elementos con suelda MIG  
**Fuente:** Autores

Al unir los elementos se puede evidenciar la suspensión delantera



**Figura 52-3:** Suspensión delantera derecha Pull-Rod  
**Fuente:** Autores

Con todo lo anterior se puede observar de la siguiente manera la suspensión delantera



**Figura 53-3:** Suspensión delantera Pull-Rod  
Fuente: Autores

Finalmente quedando la suspensión Pull-Rod terminada



**Figura 54-3:** Suspensión Pull-Rod  
Fuente: Autores

### **Puesta a punto:**

Para la puesta a punto del prototipo Fórmula SAE de la carrera de ingeniería automotriz se tuvo que hacer ciertas mejoras como las que se describen a continuación:

Se realizó el cambio de las manguetas que inicialmente eran de acero, por unas de aluminio:



**Figura 55-3:** Manguetas de aluminio colocadas en el disco  
Fuente: Autores

Para una mejor sujeción de las manguetas al disco se colocaron puntas de eje, y así dar una mejor estabilidad en el momento que aumente la velocidad:



**Figura 56-3:** Punta de eje colocada en la mangueta  
Fuente: Autores

Para una mejor presentación se realizó un pintado de ciertas piezas y la estructura en general un ejemplo es los Rockers:



**Figura 57-3:** Rockers pintados  
Fuente: Autores

En cuanto al sistema de frenos para el correcto funcionamiento los bombines fueron revisados y posteriormente reparados ya que presentaba fallas uno de ellos, además del correspondiente purgado del sistema



**Figura 58-3:** Limpieza y reparación del bombín de freno  
Fuente: Autores



**Figura 59-3:** Purgado del sistema de frenos  
Fuente: Autores

Para la dirección se revisó el sistema, y al encontrar un juego irregular, se reparó para evitar que en una posible competencia la dirección se salga de su lugar, además de su correcto apriete



**Figura 60-3:** Dirección reparada  
Fuente: Autores

Para la aerodinámica del prototipo es fundamental la colocación de las fibras, así como de los alerones, los cuales quedaron de la siguiente manera:



**Figura 61-3:** Colocación de las fibras delanteras  
Fuente: Autores



**Figura 62-3:** Colocación de las fibras posteriores  
Fuente: Autores



**Figura 63-3:** Colocación del alerón delantero  
Fuente: Autores

Para finalizar se colocó los cinturones de seguridad de cinco puntos dado por finalizado el proyecto:



**Figura 64-3:** Cinturón de seguridad de 5 puntos  
Fuente: Autores

Una vez todo debidamente colocado en su lugar el prototipo Fórmula SAE de la carrera de ingeniería automotriz queda de la siguiente manera:



**Figura 65-3:** Prototipo Fórmula SAE finalizado  
Fuente: Autores

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

Los resultados presentados son con respecto a la simulación del diseño y la implementación del mismo en el prototipo, para así verificar que cumple con los parámetros de diseño además del reglamento de la Fórmula SAE.

#### 4.1 Obtención de resultados

##### 4.1.1 Resultados de la simulación en CAE

###### Esfuerzos:

Por medio del análisis de tensión de Von-Mises se determinan los esfuerzos de trabajo que actúan en la suspensión, y con eso se puede determinar de mejor manera los materiales que se seleccionaron para la ya mencionada suspensión Pull-Rod

**Tabla 1-4:** Esfuerzos de trabajo

Esfuerzos máximos y mínimos de trabajo (Mpa)			
Suspensión delantera		Suspensión trasera	
Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
89.128	6.6059e-10	124.5	1.733e-9

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

###### Factor de seguridad:

De una manera conservadora se dice que el valor de un factor de seguridad debe ser mayor a 1, el análisis de Von Mises permite conocer el valor del esfuerzo máximo al que está sometido el material en el cual se debe aplicar la fórmula para determinar el factor de seguridad, el cual es el siguiente:

$$Fs = Sy\sigma Perm \quad (15)$$

Donde:

$Fs$ = Factor de seguridad

$Sy$ = Resistencia a la cedencia (Mpa)

$\sigma Perm$ = Esfuerzo de trabajo (Mpa)

Con la simulación, podemos observar directamente el factor de seguridad de la suspensión delantera y trasera, además de los elementos del sistema de suspensión Pull-Rod, como son el Rocker y la barra Pull.

**Tabla 2-4:** Factores de seguridad

Factor de seguridad			
Suspensión delantera		Suspensión trasera	
0.96715		0.69237	
Rocker	Barra Pull	Rocker	Barra Pull
1.0628	1.7086	1.3251	0.87574

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

#### 4.1.2 Resultados de la implementación

Por medio del proyecto técnico de la Telemetría para el prototipo Fórmula SAE nos basamos para ver el funcionamiento en pista de la suspensión además del funcionamiento estático como se muestra en las siguientes figuras de la pantalla de la interfaz:

Considerando que los amortiguadores del sistema de suspensión tiene dos regulaciones Hard (duro) y Soft (suave):

#### Funcionamiento en pista de la suspensión:



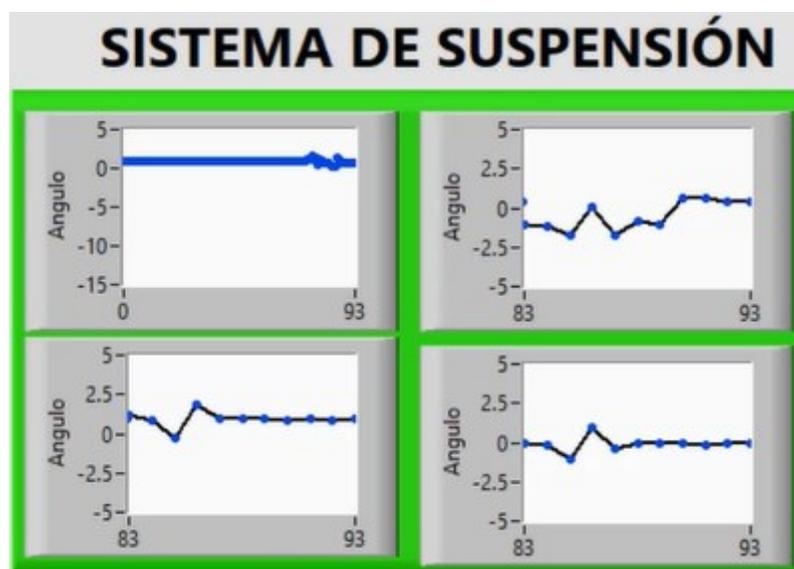
**Figura 1-4:** Funcionamiento de la suspensión en Hard

Fuente: Autores

**Tabla 3-4:** Funcionamiento de la suspensión en Hard

SUSPENSION T.D {°}	SUSPENSION D.D {°}	SUSPENSION D.I {°}	SUSPENSION T.I {°}
0,972656	0,042969	-1,321875	-0,045313
0,972656	0,042969	-1,146094	-0,045313
0,972656	0,042969	-1,146094	-0,045313
0,972656	0,042969	-1,146094	-0,045313
0,972656	0,042969	-1,321875	-0,045313
0,972656	0,042969	-1,321875	-0,045313
0,972656	0,042969	-1,146094	-0,045313
0,972656	0,042969	-1,146094	-0,045313
0,972656	0,042969	-1,321875	-0,045313
0,972656	0,042969	-1,146094	-0,045313
0,972656	0,042969	-1,146094	-0,045313
0,972656	0,042969	-1,146094	-0,045313
0,972656	0,042969	-1,146094	-0,045313
0,972656	0,042969	-1,146094	-0,045313
0,972656	0,042969	-1,321875	0,130469
0,972656	0,042969	-1,146094	-0,045313
1,148437	0,042969	-1,321875	0,130469
0,972656	0,042969	-1,146094	-0,045313
1,148437	0,042969	-1,146094	0,130469

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020



**Figura 2-4:** Funcionamiento de la suspensión en Soft

Fuente: Autores

**Tabla 4-4:** Funcionamiento de la suspensión en Soft

SUSPENSION T.D {°}	SUSPENSION D.D {°}	SUSPENSION D.I {°}	SUSPENSION T.I {°}
0,972656	-0,660156	-1,321875	0,130469
1,148437	-0,835937	-1,146094	-0,045313
0	0	0	0
0,972656	-0,835937	-1,321875	-0,045313
0,972656	-0,660156	-1,321875	-0,045313
0,972656	-0,835937	-1,146094	-0,045313
0,972656	0,570312	-1,321875	-0,045313
1,148437	-0,308594	-1,321875	-0,045313
0,972656	0,394531	-1,321875	-0,045313
0,972656	0,570312	-1,321875	0,130469
0,972656	-0,660156	-1,321875	-0,045313
0,972656	-0,660156	-1,146094	-0,045313
0,972656	-0,308594	-1,146094	-0,045313

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

### Funcionamiento estática de la suspensión:

De igual manera para el funcionamiento estático nos basamos en la Telemetría para el prototipo Fórmula SAE en donde por medio del peso de un individuo se pudo ver el comportamiento de la suspensión:



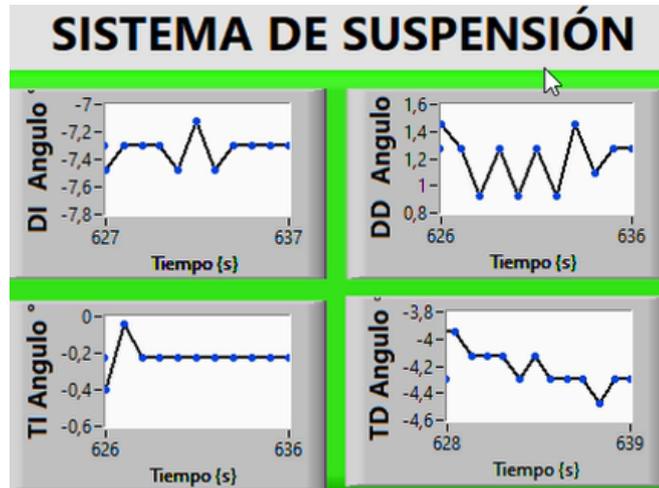
**Figura 3-4:** Funcionamiento estática de la suspensión delantera

Fuente: Autores



**Figura 4-4:** Funcionamiento estática de la suspensión trasera  
Fuente: Autores

Recordando que los amortiguadores del sistema de suspensión tiene dos regulaciones Hard (duro) y Soft (suave):



**Figura 5-4:** Funcionamiento de la suspensión en Hard  
Fuente: Autores

**Tabla 5-4:** Funcionamiento de la suspensión en Hard

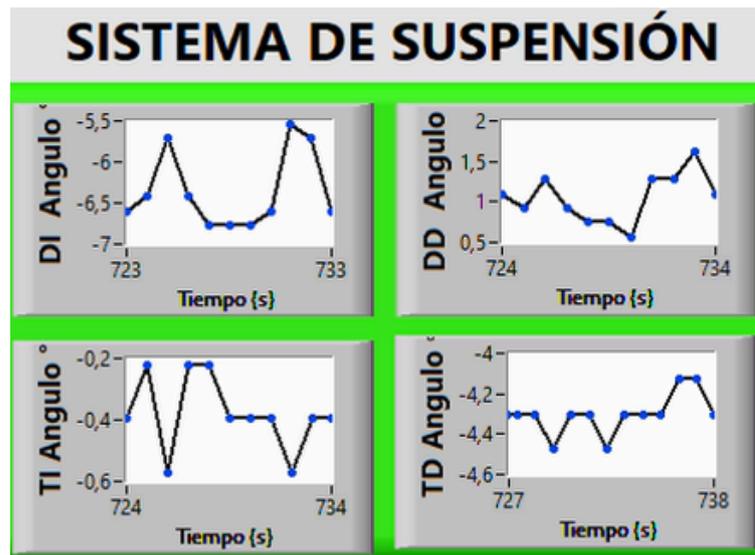
SUSPENSION T.D {°}	SUSPENSION D.D {°}	SUSPENSION D.I {°}	SUSPENSION T.I {°}
0	0	0	0
-5,003906	1,097656	-8,353125	-0,924219
-4,300781	1,625	-7,474219	-0,221094
-4,300781	1,625	0	0
0	0	-7,474219	-0,221094
-4,300781	1,625	-7,474219	-0,221094
-4,300781	1,625	-7,474219	-0,221094
-4,300781	1,625	-7,298437	-0,221094
-4,300781	1,625	-7,474219	-0,221094
-4,300781	1,625	-7,298437	-0,221094
-4,300781	1,625	-7,474219	-0,221094

-4,300781	1,625	-7,474219	-0,221094
-4,300781	1,625	-7,474219	-0,221094
-4,300781	1,625	-7,474219	-0,221094
-4,300781	1,625	-7,474219	-0,221094
-4,300781	1,625	-7,298437	-0,221094
-4,300781	1,625	-7,298437	-0,221094
-4,300781	1,625	-7,298437	-0,221094
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,300781	1,625	-7,474219	-0,221094
-4,300781	1,625	-7,474219	-0,221094
-4,300781	1,625	-7,298437	-0,221094
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,300781	1,625	-7,474219	-0,221094
-4,300781	1,625	-7,474219	-0,221094
-4,300781	1,625	-7,474219	-0,221094
-4,300781	1,625	0	0
0	0	-7,298437	-0,221094
-4,125	1,449219	-7,474219	-0,924219
-3,949219	1,625	-7,474219	-1,627344
-3,949219	1,273437	-7,65	-1,1
-4,476562	1,273437	-7,65	-0,396875
-4,125	1,273437	-7,65	-0,396875
-3,949219	1,449219	-7,65	-0,396875
-3,597656	1,449219	-7,65	-1,803125
-4,125	1,449219	-7,65	-1,1
-3,949219	1,273437	-7,65	-0,924219
-3,773437	1,449219	-7,65	-1,275781
-3,773437	1,273437	-7,65	-1,275781
-3,773437	1,449219	-7,65	-0,924219
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,597656	1,449219	0	0
0	0	-7,65	-1,627344
-3,597656	1,449219	-7,65	-1,803125
-3,597656	1,449219	-7,65	-1,803125
-3,597656	1,449219	-7,65	-1,803125
-3,597656	1,449219	-7,65	-1,803125
-3,597656	1,449219	-7,65	-1,803125
-3,597656	1,449219	-7,65	-1,803125
-3,597656	1,449219	-7,65	-1,803125

-3,773437	1,273437	-7,65	-1,1
-3,597656	1,625	-7,65	-1,627344
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	0	0	0
0	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,803125
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,803125
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,803125
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,803125
-3,421875	1,449219	-7,65	0
-3,421875	0	0	-1,978906
0	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,803125
-3,597656	1,625	-7,65	-1,627344
-3,597656	1,625	-7,65	-1,978906
-4,125	1,625	-7,65	-1,275781
-4,125	1,625	-7,65	-0,924219
-4,125	1,449219	-7,825781	-0,924219
-4,300781	1,449219	-7,65	-0,924219
-3,421875	1,449219	-7,825781	-1,803125
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,421875	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,246094	1,449219	0	0
0	0	-7,65	-2,330469
-3,949219	1,449219	-7,65	-0,924219
-4,125	1,625	-7,65	-0,396875
-3,949219	1,449219	-7,65	-0,924219
-3,773437	1,449219	-7,65	-1,451563
-3,597656	1,449219	-7,65	-1,978906
-3,949219	1,449219	-7,65	-0,572656

-4,125	1,449219	-7,65	-0,572656
-3,949219	1,449219	-7,65	-0,572656
-3,949219	1,449219	-7,65	-0,572656
-4,125	1,449219	-7,474219	-0,396875
-4,125	1,273437	-7,298437	-0,045313
-4,125	0,921875	-7,298437	-0,221094
-4,300781	1,273437	-7,298437	-0,221094
-4,125	0	0	0
0	0,921875	-7,474219	-0,221094
-4,300781	1,273437	-7,122656	-0,221094
-4,300781	0,921875	-7,474219	-0,221094
-4,300781	1,449219	-7,298437	-0,221094
-4,476562	1,097656	-7,298437	-0,221094
-4,300781	1,273437	-7,298437	-0,221094
-4,300781	1,273437	-7,298437	-0,221094
-4,476562	1,800781	-6,946875	-0,221094
-4,300781	1,800781	-6,946875	-0,396875
-4,300781	1,625	-7,122656	-0,221094
-4,476562	1,800781	-7,122656	-0,221094
-4,476562	1,976562	-6,946875	-0,221094
-4,476562	1,800781	-6,946875	-0,221094
-4,476562	1,625	-7,122656	0
-4,300781	0	0	-0,221094
0	1,273437	-7,122656	-0,221094
-4,476562	1,800781	-6,946875	-0,396875
-4,476562	1,800781	-7,298437	-0,221094
-4,300781	1,449219	-7,122656	-0,221094
-4,476562	1,449219	-7,298437	-0,221094
-4,476562	0,921875	-7,122656	-0,221094
-4,476562	1,625	-7,122656	-0,221094
-4,476562	1,625	-7,122656	-0,221094
-4,476562	1,449219	-7,122656	-0,221094
-4,476562	1,625	-7,122656	-0,221094
-4,476562	1,625	-7,122656	-0,221094
-4,476562	1,097656	-7,298437	-0,221094
-4,476562	0,570312	-7,474219	-0,221094
-4,476562	0,921875	0	0
0	0	0	-0,221094
-4,476562	0,921875	-7,474219	-0,221094
-4,476562	0,921875	-7,474219	-0,221094
-4,476562	0,921875	-7,474219	-0,221094
-4,476562	0,921875	-7,474219	-0,221094
-4,476562	0,921875	-7,474219	-0,221094

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020



**Figura 6-4:** Funcionamiento de la suspensión en Soft  
Fuente: Autores

**Tabla 6-4:** Funcionamiento de la suspensión en Soft

SUSPENSION T.D {°}	SUSPENSION D.D {°}	SUSPENSION D.I {°}	SUSPENSION T.I {°}
-4,476562	0,746094	-7,474219	-0,221094
-4,300781	0,921875	-7,474219	-0,396875
-3,597656	0,921875	-7,298437	-1,978906
-3,597656	0,921875	-7,298437	-1,978906
-3,597656	0,921875	-7,298437	-1,978906
-3,421875	0,921875	-7,298437	-1,978906
-3,597656	0,921875	-7,298437	-1,978906
-3,421875	0,921875	-7,474219	-1,978906
-3,597656	0,921875	0	0
0	0	-7,474219	-1,978906
-3,597656	0,921875	-7,474219	-1,978906
-3,597656	0,921875	-7,474219	-2,154688
-3,421875	0,921875	-7,474219	-1,978906
-3,421875	0,921875	-7,474219	-1,978906
-3,597656	0,921875	-7,298437	-1,978906
-3,421875	0,921875	-7,298437	-1,978906
-4,125	0,570312	-7,474219	-0,396875
-3,949219	0,570312	-7,474219	-0,748438
-3,773437	0,921875	-7,474219	-1,1
-3,421875	0,746094	-7,474219	-1,627344
-3,773437	0,746094	-7,474219	-1,1
-3,597656	0,570312	-7,474219	-1,451563
-3,773437	0,746094	-7,474219	-1,275781
-2,367187	0,921875	0	0
0	0	-7,474219	-3,209375

-2,015625	0,921875	-7,474219	-4,088281
-1,3125	1,097656	-7,474219	-4,791406
-1,664062	0,746094	-7,298437	-4,264063
-2,894531	0,570312	-7,474219	-2,330469
-3,949219	0,394531	-7,65	-0,748438
-4,125	0,570312	-7,474219	-0,396875
-3,949219	0,570312	-7,474219	-0,748438
-3,070312	0,921875	-7,474219	-2,50625
-1,664062	0,921875	-7,298437	-4,615625
-3,246094	0,570312	-7,474219	-1,803125
-3,949219	0,570312	-7,474219	-0,572656
-3,949219	0,570312	-7,474219	-0,572656
-3,246094	0,921875	-7,474219	0
0	0	0	-2,154688
-2,191406	1,097656	-7,474219	-3,9125
-1,664062	0,921875	-7,298437	-4,791406
-2,015625	0,746094	-7,298437	-4,088281
-3,246094	0,394531	-7,474219	-1,978906
-3,773437	0,394531	-7,474219	-0,924219
-3,949219	0,746094	-7,474219	-0,572656
-3,246094	0,746094	-7,474219	-1,978906
-2,367187	0,921875	-7,474219	-3,560938
-1,664062	0,921875	-7,474219	-4,439844
-2,367187	0,921875	-7,474219	-3,736719
-4,125	0,746094	-7,474219	-0,572656
-4,125	0,746094	-7,474219	-0,572656
-4,125	0,746094	-7,474219	-0,572656
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,125	0,746094	-7,474219	-0,572656
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,125	0,746094	-7,474219	-0,572656
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,125	0,921875	-6,771094	-0,396875
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,300781	1,097656	-6,595312	-0,221094
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,300781	0	0	0

0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,300781	0,570312	-6,946875	-0,221094
-4,300781	0,570312	-6,946875	-0,221094
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,476562	0,570312	0	0
0	0	0	-0,396875
0	0	0	0
-4,300781	0	0	0
0	0,921875	-6,067969	-0,396875
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,476562	0,570312	-6,771094	0
0	0	0	-0,221094
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,300781	0,394531	-6,771094	-0,396875
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,300781	1,800781	-5,716406	-0,396875
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,300781	1,273437	-6,24375	-0,396875
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,300781	1,097656	-6,595312	-0,396875
0	0	0	0

0	0	0	0
0	0	0	0
-4,476562	0,921875	-6,419531	0
0	0	0	-0,221094
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,300781	1,273437	0	0
0	0	-5,716406	-0,572656
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,300781	0,921875	-6,419531	-0,221094
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,476562	0,746094	-6,771094	-0,221094
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,300781	0,746094	-6,771094	-0,396875
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,300781	0,570312	-6,771094	-0,396875
-4,300781	1,273437	-6,595312	-0,396875
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,125	1,273437	-5,540625	-0,572656
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,125	1,625	0	0
0	0	-5,716406	-0,396875
0	0	0	0
0	0	0	0
-4,300781	1,097656	-6,595312	-0,396875
0	0	0	0
0	0	0	0

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

## 4.2 Análisis de resultados

### 4.2.1 Análisis de la simulación en CAE

Una vez finalizado el diseño de la suspensión, con la simulación en el software ANSYS se puede concluir que los elementos para la suspensión Pull-Rod pueden soportar todos los esfuerzos por las siguientes razones:

- El factor de seguridad en cada elemento seleccionado es mayor a 1.
- Los valores tomados para la suspensión son considerados en situaciones críticas, por eso se asume que vaya el prototipo a tomar una curva y atravesar obstáculos a una velocidad indicada.
- Los materiales seleccionados y las cargas son suficientes para un correcto funcionamiento.
- Las deformaciones son mínimas en ciertos puntos claves, por eso no afectan a los demás elementos del sistemas de suspensión

### 4.2.2 Análisis de la implementación

#### CALIBRACIÓN DE LA SUSPENSIÓN

Para calibrar la suspensión se realizaron pruebas estáticas y dinámicas para determinar la velocidad de respuesta de los amortiguadores en cada uno de las situaciones, dentro de esto se procedió a dividir las pruebas en 2 partes.



**Figura 7-4:** Clases de pruebas realizadas

Fuente: Autores

Para calibrar la suspensión se realizaron pruebas estáticas y dinámicas para determinar la velocidad de respuesta de los amortiguadores en cada uno de las situaciones

**Pruebas estáticas.**

**Pruebas estáticas Soft.**

**Tabla 7-4:** Funcionamiento de la suspensión en Soft T.I

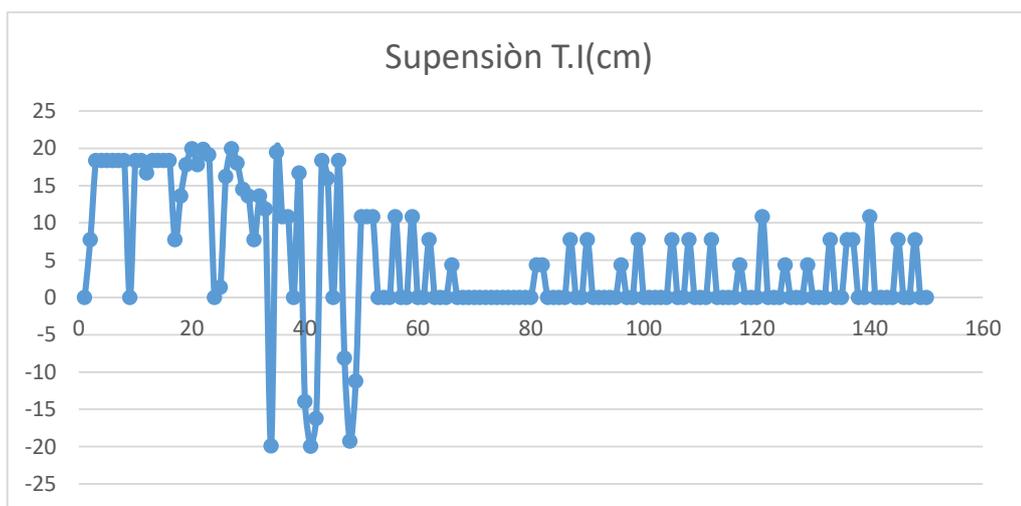
Suspensión T.I {°}	Tiempo	Suspensión T.I(cm)
-0,221094	1	0
-0,396875	2	7,730762599
-1,978906	3	18,35745371
-1,978906	4	18,35745371
-1,978906	5	18,35745371
-1,978906	6	18,35745371
-1,978906	7	18,35745371
-1,978906	8	18,35745371
0	9	0
-1,978906	10	18,35745371
-1,978906	11	18,35745371
-2,154688	12	16,68647182
-1,978906	13	18,35745371
-1,978906	14	18,35745371
-1,978906	15	18,35745371
-1,978906	16	18,35745371
-0,396875	17	7,730762599
-0,748438	18	13,60990062
-1,1	19	17,8241472
-1,627344	20	19,96803213
-1,1	21	17,8241472
-1,451563	22	19,85800248
-1,275781	23	19,13595372
0	24	0
-3,209375	25	1,354609092

-4,088281	26	16,2296943
-4,791406	27	19,93759559
-4,264063	28	18,02347962
-2,330469	29	14,50122949
-0,748438	30	13,60990062
-0,396875	31	7,730762599
-0,748438	32	13,60990062
-2,50625	33	11,8690668
-4,615625	34	-19,90644036
-1,803125	35	19,46265741
-0,572656	36	10,83732463
-0,572656	37	10,83732463
0	38	0
-2,154688	39	16,68647182
-3,9125	40	-13,93572691
-4,791406	41	-19,93759559
-4,088281	42	-16,2296943
-1,978906	43	18,35745371
-0,924219	44	15,96300974
-0,572656	45	0
-1,978906	46	18,35745371
-3,560938	47	-8,143252175
-4,439844	48	-19,26177899
-3,736719	49	-11,21226767
-0,572656	50	10,83732463
-0,572656	51	10,83732463
-0,572656	52	10,83732463
0	53	0
0	54	0
0	55	0
-0,572656	56	10,83732463
0	57	0
0	58	0
-0,572656	59	10,83732463
0	60	0

0	61	0
-0,396875	62	7,730762599
0	63	0
0	64	0
0	65	0
-0,221094	66	4,385942482
0	67	0
0	68	0
0	69	0
0	70	0
0	71	0
0	72	0
0	73	0
0	74	0
0	75	0
0	76	0
0	77	0
0	78	0
0	79	0
0	80	0

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

Comportamiento de la suspensión en configuración **ESTATICA-SOFT**



**Gráfico 1-4:** Comportamiento de la suspensión en configuración estática - Soft  
Fuente: Autores

Comportamiento instantáneo de la suspensión en configuración **ESTATICA-SOFT**



**Gráfico 2-4:** Comportamiento instantáneo de la suspensión en configuración estática- Soft  
Fuente: Autores

**Pruebas estáticas Hard**

**Tabla 8-4:** Funcionamiento de la suspensión en Hard T.I

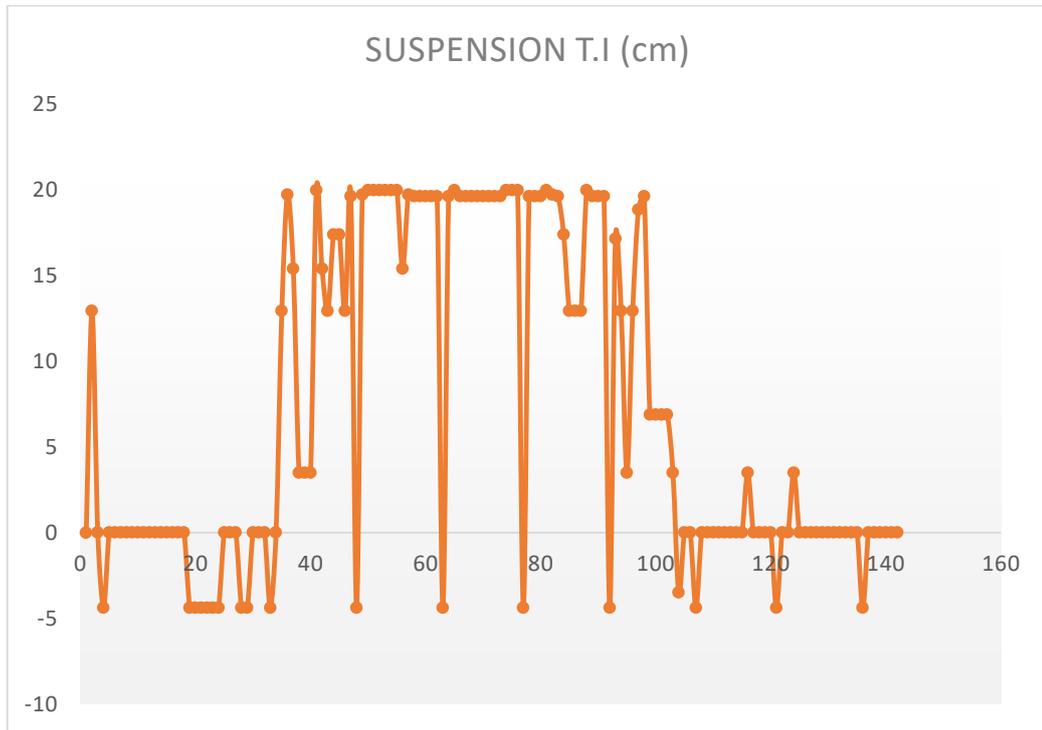
SUSPENSION T.I {°}	tiempo	SUSPENSION T.I (cm)
0	1	0
-0,924219	2	12,94877627
-0,221094	3	0,021879996
0	4	-4,364592462
-0,221094	5	0,021879996
-0,221094	6	0,021879996
-0,221094	7	0,021879996
-0,221094	8	0,021879996
-0,221094	9	0,021879996
-0,221094	10	0,021879996
-0,221094	11	0,021879996
-0,221094	12	0,021879996
-0,221094	13	0,021879996
-0,221094	14	0,021879996

-0,221094	15	0,021879996
-0,221094	16	0,021879996
-0,221094	17	0,021879996
-0,221094	18	0,021879996
0	19	-4,364592462
0	20	-4,364592462
0	21	-4,364592462
0	22	-4,364592462
0	23	-4,364592462
0	24	-4,364592462
-0,221094	25	0,021879996
-0,221094	26	0,021879996
-0,221094	27	0,021879996
0	28	-4,364592462
0	29	-4,364592462
-0,221094	30	0,021879996
-0,221094	31	0,021879996
-0,221094	32	0,021879996
0	33	-4,364592462
-0,221094	34	0,021879996
-0,924219	35	12,94877627
-1,627344	36	19,73342766
-1,1	37	15,41477758
-0,396875	38	3,519083854
-0,396875	39	3,519083854
-0,396875	40	3,519083854
-1,803125	41	19,99848006
-1,1	42	15,41477758
-0,924219	43	12,94877627
-1,275781	44	17,40570346
-1,275781	45	17,40570346
-0,924219	46	12,94877627
-1,978906	47	19,64718971
0	48	-4,364592462
-1,627344	49	19,73342766

-1,803125	50	19,99848006
-1,803125	51	19,99848006
-1,803125	52	19,99848006
-1,803125	53	19,99848006
-1,803125	54	19,99848006
-1,803125	55	19,99848006
-1,1	56	15,41477758
-1,627344	57	19,73342766
-1,978906	58	19,64718971
-1,978906	59	19,64718971
-1,978906	60	19,64718971
-1,978906	61	19,64718971
-1,978906	62	19,64718971
0	63	-4,364592462
-1,978906	64	19,64718971
-1,803125	65	19,99848006
-1,978906	66	19,64718971
-1,978906	67	19,64718971
-1,978906	68	19,64718971
-1,978906	69	19,64718971
-1,978906	70	19,64718971
-1,978906	71	19,64718971
-1,978906	72	19,64718971
-1,978906	73	19,64718971
-1,803125	74	19,99848006
-1,803125	75	19,99848006
-1,803125	76	19,99848006
0	77	-4,364592462
-1,978906	78	19,64718971
-1,978906	79	19,64718971
-1,978906	80	19,64718971

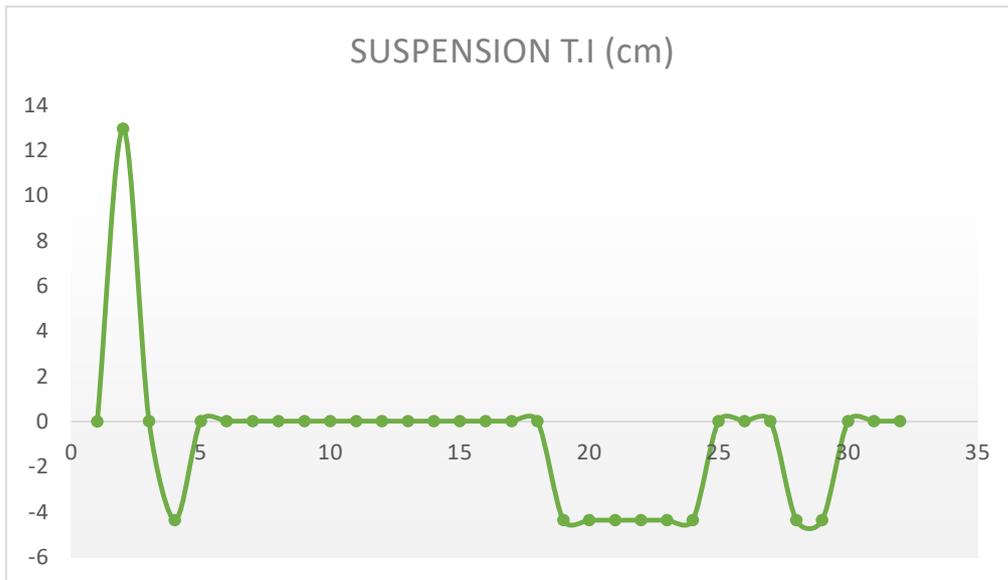
Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

Comportamiento de la suspensión en configuración **ESTÁTICA-HARD**.



**Gráfico 3-4:** Comportamiento de la suspensión en configuración estática - Hard  
Fuente: Autores

Comportamiento instantáneo de la suspensión en configuración **ESTÁTICA-HARD**.



**Gráfico 4-4:** Comportamiento instantáneo de la suspensión en configuración estática- Hard  
Fuente: Autores

## Pruebas dinámicas.

### Pruebas dinámicas Soft.

**Tabla 9-4:** Funcionamiento de la suspensión en Soft .TI

SUSPENSION T.I {°}	TIEMPO	SUSPENSION T.I {CM}
0	1	0
-0,045313	2	0,905949899
0	3	0
-0,045313	4	0,905949899
-0,045313	5	0,905949899
-0,045313	6	0,905949899
0	7	0
0	8	0
-0,045313	9	0,905949899
0,130469	10	-2,601983417
-0,045313	11	0,905949899
-0,045313	12	0,905949899
-0,045313	13	0,905949899
0	14	0
0	15	0
-0,045313	16	0,905949899
0,130469	17	-2,601983417
-0,045313	18	0,905949899
-0,045313	19	0,905949899
-0,045313	20	0,905949899

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

Comportamiento de suspensión en pista con configuración **DINAMICA-SOFT**



**Gráfico 5-4:** Comportamiento de suspensión en pista con configuración dinámica - Soft  
Fuente: Autores

**Pruebas dinámicas Hard**

**Tabla 10-4:** Funcionamiento de la suspensión en Hard T.I

SUSPENSION T.I {°}	TIEMPO	SUSPENSION T.I {°}
0	1	0
-0,045313	2	0,905949899
-0,045313	3	0,905949899
-0,045313	4	0,905949899
-0,045313	5	0,905949899
-0,045313	6	0,905949899
-0,045313	7	0,905949899
-0,045313	8	0,905949899
-0,045313	9	0,905949899
-0,045313	10	0,905949899
-0,045313	11	0,905949899
-0,045313	12	0,905949899
-0,045313	13	0,905949899
-0,045313	14	0,905949899
0,130469	15	-2,601983417

-0,045313	16	0,905949899
0,130469	17	-2,601983417
-0,045313	18	0,905949899
0,130469	19	-2,601983417
-0,045313	20	0,905949899
-0,045313	21	0,905949899
0,130469	22	-2,601983417
-0,045313	23	0,905949899
0,130469	24	-2,601983417
-0,045313	25	0,905949899
0,130469	26	-2,601983417
0,130469	27	-2,601983417
-0,045313	28	0,905949899
0,130469	29	-2,601983417
-0,045313	30	0,905949899
0,130469	31	-2,601983417
-0,045313	32	0,905949899
-0,045313	33	0,905949899
0,130469	34	-2,601983417
-0,045313	35	0,905949899
0,130469	36	-2,601983417

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

Comportamiento de la suspensión en pista con la configuración **DINAMICA-HARD**.



**Gráfico 6-4:** Comportamiento de suspensión en pista con configuración dinámica - Hard  
Fuente: Autores

**Selección de la configuración ideal para la pista de pruebas.**

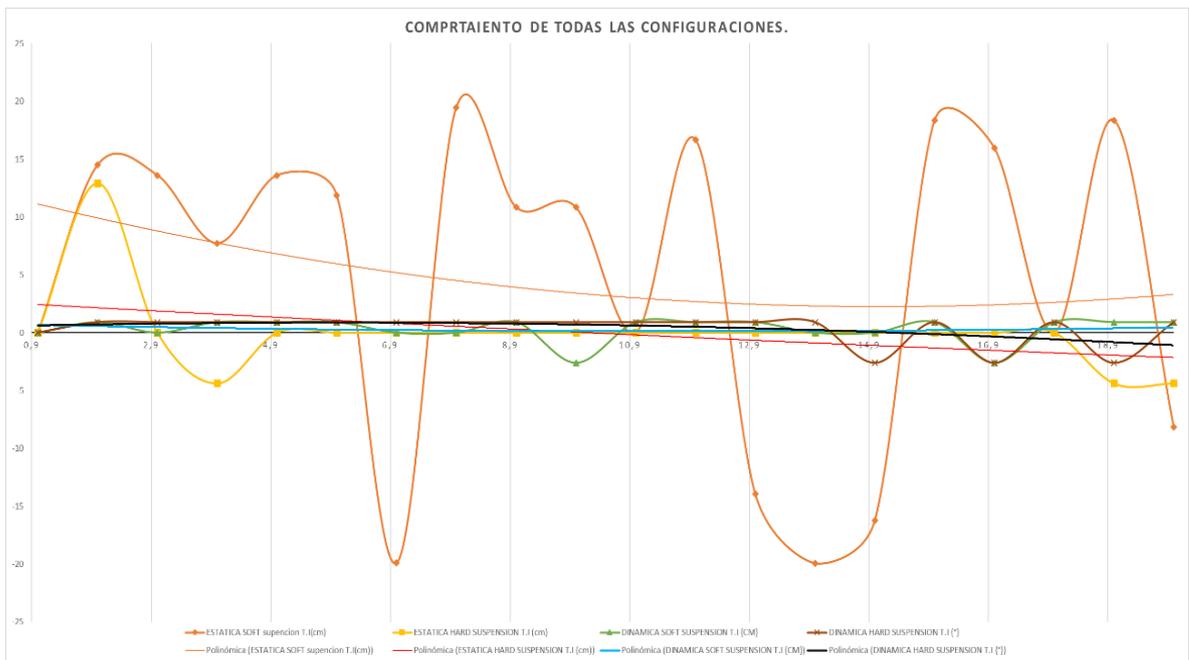
**Tabla 11-4:** Selección de la configuración ideal para la pista de pruebas.

	ESTATICA SOFT	ESTATICA HARD	DINAMICA SOFT	DINAMICA HARD
	SUSPENSIÓN T.I(CM)	SUSPENSION T.I (cm)	SUSPENSION T.I {CM}	SUSPENSION T.I {°}
1	0	0	0	0
2	14,50122949	12,94877627	0,905949899	0,905949899
3	13,60990062	0,021879996	0	0,905949899
4	7,730762599	-4,364592462	0,905949899	0,905949899
5	13,60990062	0,021879996	0,905949899	0,905949899
6	11,8690668	0,021879996	0,905949899	0,905949899
7	-19,90644036	0,021879996	0	0,905949899
8	19,46265741	0,021879996	0	0,905949899
9	10,83732463	0,021879996	0,905949899	0,905949899
10	10,83732463	0,021879996	-2,601983417	0,905949899
11	0	0,021879996	0,905949899	0,905949899

12	16,68647182	0,021879996	0,905949899	0,905949899
13	-13,93572691	0,021879996	0,905949899	0,905949899
14	-19,93759559	0,021879996	0	0,905949899
15	-16,2296943	0,021879996	0	-2,601983417
16	18,35745371	0,021879996	0,905949899	0,905949899
17	15,96300974	0,021879996	-2,601983417	-2,601983417
18	0	0,021879996	0,905949899	0,905949899
19	18,35745371	-4,364592462	0,905949899	-2,601983417
20	-8,143252175	-4,364592462	0,905949899	0,905949899

Realizado por: Jonathan Morocho y Juan Herrera, 2020

Mediante las siguientes graficas se puede observar el comportamiento de todas las configuraciones y así poder obtener un criterio más adecuado, para la selección de la adecuada.



**Gráfico 7-4:** Comportamiento de todas las configuraciones

Fuente: Autores

Se elige la configuración DINÁMICA SOFT mediante las pruebas en pista y también con los datos de los sensores, así como la opinión del piloto y su comodidad al conducir en las diferentes configuraciones.



**Gráfico 8-4:** Configuración dinámica-Soft  
 Fuente: Autores

## CONCLUSIONES

Para la investigación del proyecto se tomó en cuenta una amplia fuente de datos bibliográficos, como páginas de internet, tesis previas, artículos científicos, y principalmente el reglamento de Fórmula SAE más actualizado, teniendo así todos los conocimientos previos del vehículo para la implementación del sistema de suspensión Pull-Rod.

Al diseñar el sistema de suspensión se tomó en cuenta todos los elementos que componen un sistema Pull-Rod, y en el análisis por medio de elementos finitos se comprobó el funcionamiento como lo especifica el reglamento, además consideramos que los elementos tienen un factor de seguridad en condiciones extremas de la suspensión delantera Rocker: 1.0628, Barra Pull: 1.7086 y de la suspensión trasera Rocker: 1.325, Barra Pull: 0.87574 que son valores seguros para el correcto funcionamiento.

Para realizar el montaje primeramente se adquirió los materiales seleccionados previamente según criterios que sean eficientes para las necesidades del sistema de suspensión Pull-Rod, se usó técnicas de corte y soldadura eléctrica para el anclaje del sistema de suspensión, usando inicialmente electrodos 6011 y reforzando con 7018, para garantizar su alta resistencia ya que son elementos que están en constante movimiento.

Para la puesta a punto del vehículo prototipo Fórmula SAE se realizó el cambio de magüetas de acero a las de aluminio, afinación y aseguramiento del sistema de dirección, calibración y reparación del sistema de frenos, ajuste y colocación de fibras y túneles de viento, colocación de alerones, colocación del piso, pintura del vehículo, aleación y balanceo de los neumáticos, ubicación de los cinturones de seguridad, y finalmente reajuste total de todos los pernos.

El funcionamiento del sistema de suspensión se comprobó mediante una prueba estática para revisar la rapidez de respuesta, además de pruebas en pista en donde tuvo una respuesta positiva para la conducción. Esto se pudo comprobar por medio de pruebas estáticas y dinámicas para determinar la velocidad de respuesta de los amortiguadores en cada uno de las situaciones, dentro de esto se procedió a dividir las pruebas en 2 partes por eso realizaron pruebas estáticas y dinámicas para determinar la velocidad de respuesta de los amortiguadores en cada uno de las situaciones, y mediante las gráficas se puede observar el comportamiento de todas las configuraciones y así poder obtener un criterio más adecuado, para la selección de la adecuada.

Se elige la configuración DINAMICA SOFT mediante las pruebas en pista y también con los datos de los sensores, así como la opinión del piloto y su comodidad al conducir en las diferentes configuraciones.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda que para los pernos de los anclajes se debería utilizar criterios de selección, para garantizar la durabilidad del mismo, ya que en este caso se tomaron en cuenta los ya antes seleccionados.

Al momento de realizar los trabajos mecánicos se debe utilizar la debida vestimenta de seguridad, así como el equipo adecuado; en el caso de la soldadora, como las herramientas eléctricas usarlas con la precaución ya que podría producir lesiones.

Disponer de todos los elementos y herramientas necesarias para el trabajo y así garantizar un proyecto eficiente, rápido y seguro.

Se recomienda para posteriores trabajos en el prototipo hacer una selección de amortiguadores, ya que en el mercado se podría encontrar mejores que se adapten a las modificaciones actuales del vehículo.

Revisar el estado de las llantas ya que su vida útil podría llegar a su fin y de ser el caso reemplazarlas por unas más adecuadas para futuras competencias.

Si se desea hacer alguna mejora futura consultar con todos los integrantes que realizaron el proyecto para facilitar la manipulación y garantizar las mejoras si así se plantean.

## GLOSARIO

**Amortiguador:** Con este elemento, se consiguen eliminar los bamboleos que siguen a la absorción de la fuerza generada sobre el conjunto de la rueda. (Ingeniero de sofá, 2016)

**Barra estabilizadora:** Este elemento sirve para minimizar los cabeceos del chasis en las curvas. Es un elemento que une la suspensión del lado derecho e izquierdo del mismo eje (Ingeniero de sofá, 2016)

**Bases:** Son los que transmiten las fuerzas que ya ha recibido y filtrado el neumático a los elementos que sirven para disipar la energía. (Ingeniero de sofá, 2016)

**Muelle:** Es el elemento elástico que convierte las fuerzas que transmite el conjunto de la suspensión en deformación. (Ingeniero de sofá, 2016)

**Neumático:** Es el que transmite el par sobre el suelo, es decir, el último responsable que el giro del motor se convierta en movimiento del vehículo, y el que evita que dicho vehículo deslice y de esta forma siga la trayectoria que quiere llevar quien lo conduce. (Ingeniero de sofá, 2016)

**Pull-Rod:** En él, la barra diagonal trabaja a tracción y algunos elementos están colocados diferente, en este caso, la barra diagonal tira del balancín hasta que forman una línea recta. Al estar el amortiguador unido al balancín, se comprime. (Ingeniero de sofá, 2016)

**Rotula:** Elemento propio de las suspensiones y del sistema de palancas de la dirección que consiste en una articulación con 3 tipos de movimientos. Permite rotaciones de los brazos unidos a la misma, alrededor de 3 ejes perpendiculares entre sí. (Diccionario Motor, 2021)

**SAE:** Entidad técnica norteamericana cuya denominación es Society of Automotive Engineering y que está constituida por los principales especialistas del sector. Promueve intercambios de informaciones y propuestas de unificación de las normas y materiales entre las diferentes industrias automovilísticas y colaterales (Diccionario Motor, 2021)

## **BIBLIOGRAFÍA**

**MECÁNICA AUTOMOTRIZ.** *Manual de Sistema de Suspensión del Automóvil – Partes y Funcionamiento.* [En línea] 31 de Diciembre de 2017.

<https://www.mecanicoautomotriz.org/1207-manual-sistema-suspension-automovil-partes-funcionamiento>.

**RODRÍGUEZ ALCALÁ , JUAN RAFAEL , VILLAREAL SARMIENTO , CARLOS ENRIQUE Y VALVERDE GRANJA , AGUSTÍN .** *Análisis dinámico de la suspensión Pull-Rod y PuhsRod para el vehículo eléctrico tipo monoplaza.* [En línea] 2016.

**ANSYS INC.** ANSYS-Home. *ANSYS-Pagina oficial.* [En línea] 2 de Noviembre de 2020.

<https://www.ansys.com/>.

**AUQUILLA OCAMPO , JOSÉ LUIZ Y TORRER ROMERO , CHISTHIAN RIGOBERTO.** *Diseño del sistema de suspensión de un vehículo monoplaza eléctrico Fórmula SAE.* Cuenca : Universidad Politécnica Salesiana Sede Matriz Cuenca , 2016.

**BAEZ, MARCOS ALONSO.** *Estudio del comportamiento térmico y dinámico de los amortiguadores para vehículos tipo turismo .* Catalunya : Universidad Politecnica de Catalunya, 2006. 1.

**CLEMENTE FREDDY.** FSAE en Español. *FSAE en Español.* [En línea] 2 de Diciembre de 2020. <http://fsaenspanol.blogspot.com/2016/05/normas-formula-sae-2017-2018.html>.

**DASSAULT SYSTEMES.** Dassault Systèmes® Careers. *Job opportunities.* [En línea] 18 de Septiembre de 2019. <https://careers.3ds.com/>.

**DICCIONARIO MOTOR.** *MOTORGIGA.* [En línea] Junio de 2021.

<https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/s-a-e-definicion-significado/gmx-niv15-con195472.htm>.

**DIEGO LEONARDO GONZALES PERALTA, EDWIN GEOVANNY NIVICELA PATIÑO.** *Análisis de cargas en el sistema de suspensión de un vehículo fórmula sae mediante extensimetría eléctrica.* Cuenca : Universidad Politecnica Salesiana sede Cuenca, 2015. 1.

**DOMINGUEZ MONFERRER CARLOS.** *Análisis técnico de un chasis tubular .* [En línea] 20 de Mayo de 2018. <https://www.momentogp.com/analisis-tecnico-de-un-chasis-tubular/>.

**GETAUTO.** *Sistema de suspensión - Elemento de MÁXIMA seguridad* . [En línea] 2020.  
<https://getauto.es/sistema-de-suspension/>.

**INGEMECANICA.** *Sistema de Suspensión en los Vehículos*. [En línea] 2020.  
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.html>.

**INGENIERO DE SOFÁ.** *Aprendizaje: Push rod y pull rod*. [En línea] 10 de Abril de 2016.  
<https://ingenierodesofa.wordpress.com/2016/04/10/aprendizaje-push-rod-y-pull-rod/>.

**MARRION JERRY B.** *Dinámica clásica de las partículas y sistemas*. Barcelona : Ed. Reverté, 1996. 84-291-4094-8.

**MECANICO AUTOMOTRIZ.** *Mecanico automotriz. Mecanico automotriz*. [En línea] 2017.  
[www.Mecanicoautomotriz.org](http://www.Mecanicoautomotriz.org).

**NORTON ROBERT** *.Diseño de maquinaria*. Cuarta ed. México DF : McGraw Hill, 2004.

**PASHLEY TONY.** *How to build Motorcycle-engined Racing Cars* . Reino Unido : Veloce Publishing, 2012. 978-1-78711-45-2.

**PILLAJO QUIJIA , GIOVANNY PABLO.** *Estudio cinemático del comportamiento de la suspensión de un prototipo de Fórmula SAE student eléctrico del equipo upm racing*. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2012.

**REYES EFRAIN ALEXANDER** . *Sistema de dirección del vehículo*. 2012.

**ROMERO FERNANDO ZAMORA.** *Analisis de esfuerzos y fatiga en un eje de torsion perteneciente a un vehiculo tipo sedan mediante el metodo del elemento finito*. [En línea] 2006.  
1.

**SAE COMPETITION.** *SAE Competition* . [En línea] 2020.  
<http://students.sae.org/competitions/formulaseries/cdshistory.htm>.

**SAE HISTORY.** *SAE History*. [En línea] 2020.  
<http://students.sae.org/competitions/formulaseries/cdshistory.htm>.

**SAE INTERNACIONAL.** *SAE Internacional*. [En línea] 2020.  
<http://students.sae.org/cds/formulaseries/about.h> .

**SAE INTERNATIONAL.** *SAE intenacional.* [En línea] 2017.  
<http://students.sae.org/cds/formulaseries/about.h>.

**SAE RULES.** *Formula Student UK.* [En línea] Enero de 2020.  
[http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2020\\_fsae\\_rules.pdf](http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2020_fsae_rules.pdf).

**TORRES ROMERO SANTIAGO JOSE.** *Preparaciòn del sistema de suspensiòn del auto de carrera Suzuki Forza I para participar en rallys deportivos.* [En línea] 2015. 1.

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.** *Universidad Politécnica Salesiana.* [En línea] 2 de Junio de 2017. <https://www.ups.edu.ec/noticias?articleId=9444082>.

**URBIETA JUAN ALBERDI.** *Manuales de automocion. Amortiguadores y suspensión.* [En línea] 2003. <http://www.tecnun.es/automocion/>.

**VALENCIA JAIMES, JEFFERTH ALBEYRO Y DUARTE RODRIGUEZ, ABELARDO.** *Estudio y diseño de la transmisión y sistema de suspensión de un monoplaza para la Fórmula SENA.* Bucaramanga : Universidad Industrial Santander, 2011.

# ANEXOS

## Anexo A: Plano del grupo Pull

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

**DETALLE A**  
ESCALA 1:1.5

N.º Línea	N.º Esq.	Sección	Ubicación
1 de 1	2		1000000000

Descripción	Material	Estado
Detalle A		

ESPOCH			
FACULTAD DE MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Profe (A)	Alumno (B)	Grupo	Equipo

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PEZA	CANTIDAD
1	rocket	2
2	eje rocket	1
3	bronco manguito	2
4	amortiguador formula	1
5	muelle	1
6	perno rocket-amortiguador	1
7	fuerza rocket-amortiguador	1
8	perno rocket-bara	1
9	fuerza rocket-bara	1
10	Rolillo bara parte I	2
11	Bara Pull delantera I.1	1

N.º Línea	N.º Esq.	Sección	Ubicación
1 de 1	2		1000000000

Descripción	Material	Estado
grupo pull		

ESPOCH			
FACULTAD DE MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Profe (A)	Alumno (B)	Grupo	Equipo

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

**Anexo B: Plano del SAE y lista de materiales**

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	3in centro del aró 2	4
2	aro 1.5inch	4
3	Barra Pull delantera 1	2
4	Barra Pull trasera	2
5	base de carga de mangueta 2	4
6	base de carga de mangueta 2 trasera	4
7	base de carga de mangueta derecha trasera	4
8	base de carga de mangueta derecha trasera superior	4
9	base de carga de mangueta izquierda	4
10	base rocket	8
11	Centro del aró	4
12	Chasis FSAE	1
13	culo frontal	4
14	disco de freno 10.5inch	4
15	eje rocket	4
16	MANGUETA D II	2
17	MANGUETA Posterior	2
18	mesa delantera derecha	1
19	mesa delantera izquierda	3
20	mesa izquierda trasera	3
21	mesa trasera derecha	1
22	neumatica	4
23	perno mangueta	1
24	perno rocket-amortiguador	1
25	perno soporte-mesa	1
26	perno soporte-mesa inclinado	8
27	rocket	8
28	rotor hat	4
29	rotor hat I	4
30	Rotula barra parte I	16
31	fuerca mangueta	1
32	fuerca rocket-barra	1
33	fuerca soporte-mesa	8
34	base barra	8
35	amortiguador formula	4
36	muelle	4

N.º Láminas: 1 de 3	N.º Hojas: 3	Institución: ESPOCH	Calificación: FSAE CUBA 2022-2023
Email: carlos.herrera@esPOCH.edu.cu		Teléfono: 0578642900	
Denominación: <b>Monoplaza SAE</b>		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ</b>	
Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyecto	JUAN H		19/04/2023
Dibujó	JUAN H		
Revisó	Pozo E.		
Aprobó	Pozo E.		
Materiales: ACERO A36		Peso (Kg)   Tolerancia   Escala   Registro 710   ±0.3 mm   20	
Número de archivo: cambio de chasis		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DEL INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS (IVIC) EL PRESENTE NO AUTORIZA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL CONSENTIMIENTO DEL INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS (IVIC)	

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

## SOLDARCO 6011

### ELECTRODOS PARA SOLDAR ACEROS AL CARBONO

#### DESCRIPCIÓN:

El soldarco 6011 es un electrodo de revestimiento a base de celulosa, con potasio, que cumple los requisitos de la clasificación E6011, de normas AWS A5.1 y se emplea para la soldadura de aceros al carbono de resistencia a la tensión hasta 60.000 psi. Trabaja con corriente continua, polaridad invertida o con corriente alterna. Trabaja en todas posiciones, especialmente indicado para pases de raíz cuando no se dispone equipos de corriente continua.

#### PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS DEL METAL DEPOSITADO

Resistencia última a la tracción:	60 ksi minimo
Límite de fluencia:	48 ksi minimo
Elongación:	22% minimo
Resistencia al impacto:	27 J minimo a -29°C

#### AMPERAJES RECOMENDADOS

DIMENSIÓN (mm)	AMPERAJES
2.4 X 300	50 - 80 A
3.2 X 350	70 - 115 A
4.0 X 350	90 - 160 A



# SOLDARCO 7018

## ELECTRODOS PARA SOLDAR ACEROS AL CARBONO

### DESCRIPCIÓN:

El soldarco 7018 es un electrodo de revestimiento básico de bajo hidrógeno, que cumple los requisitos de clasificación E7018, de la norma AWS A5.1 y se emplea para la soldadura de aceros al carbono de resistencia a la tensión hasta 70.000 psi. Trabaja con corriente continua, polaridad invertida o con corriente alterna (78 OCV).

### PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS DEL METAL DEPOSITADO

Resistencia última a la tracción:	70 ksi mínimo
Límite de fluencia:	58 ksi mínimo
Elongación:	22% mínimo
Resistencia al impacto:	27 J mínimo a -29°C

### AMPERAJES RECOMENDADOS

DIMENSIÓN(mm)	AMPERAJES
2.4 X 300	70 - 100 A
3.2 X 350	100 - 145 A
4.0 X 350	135 - 200 A
4.8 X 350	170 - 270 A

