



**ESPE**

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

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

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

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

**TEMA: “INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN  
BASCULANTE Y SISTEMA DE SUSPENSIÓN POSTERIOR TIPO BACK  
LINK DE UN PROTOTIPO DE MOTOCICLETA PARA LA V  
COMPETENCIA INTERNACIONAL MOTOSTUDENT 2017-2018”**

**AUTORES:**

**ORTEGA PORTILLA, CHRISTIAN ALEXANDER**

**RAMOS LANDÁZURI, CRISTOPHER BRYAN**

**DIRECTOR:**

**ING. MENA PALACIOS, JORGE STALIN**

**LATACUNGA**

**2019**



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

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, ***“INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN BASCULANTE Y SISTEMA DE SUSPENSIÓN POSTERIOR TIPO BACK LINK DE UN PROTOTIPO DE MOTOCICLETA PARA LA V COMPETENCIA INTERNACIONAL MOTOSTUDENT 2017-2018”*** fue realizado por los señores ***Ortega Portilla, Christian Alexander*** y ***Ramos Landázuri, Christopher Bryan***, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizando la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 21 de Enero del 2019

.....  
**Ing. Stalin Mena Palacios**

**C.C.: 1803725900**

**DIRECTOR DEL PROYECTO**



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

#### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, *Ortega Portilla, Christian Alexander* y *Ramos Landázuri, Cristopher Bryan*, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *“Investigación del comportamiento de un basculante y sistema de suspensión posterior tipo Back Link de un prototipo de motocicleta para la V Competencia Internacional Motostudent 2017-2018”* es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación es veraz.

Latacunga, 21 de Enero del 2019

**Ortega Portilla Christian Alexander**

C.C.: 1723304026

**Ramos Landázuri Cristopher Bryan**

C.C.: 1722909304



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

#### AUTORIZACIÓN

Nosotros, *Ortega Portilla, Christian Alexander* y *Ramos Landázuri, Cristopher Bryan*, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: *“Investigación del comportamiento de un basculante y sistema de suspensión posterior tipo Back Link de un prototipo de motocicleta para la V Competencia Internacional Motostudent 2017-2018”* en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 21 de Enero del 2019

**Ortega Portilla Christian Alexander**

C.C.: 1723304026

**Ramos Landázuri Cristopher Bryan**

C.C.: 1722909304

## DEDICATORIA

*Dedico este proyecto primero a mis padres Raúl Ortega y Elena Portilla por ser mi ejemplo de lucha y las personas que cada día se esforzaron para que yo alcance mis metas, demostrándome que a pesar la adversidad hemos estado ahí apoyándonos.*

*A mi hermano Santiago Ortega para que sirva de ejemplo, que se puede llegar a obtener lo que uno quiere echándole ganas día tras día aprovechando los consejos que nuestros padres nos han dado para mejorar nuestras vidas.*

*A mi hermano Sebastián Vilema, que a su corta edad vea que le espera un largo camino por recorrer, para que cada día pueda soñar y esforzarse por lo que quiere, que no olvide que estaré ahí y de igual manera aproveche el esfuerzo de sus padres.*

*Alexander Ortega*

## DEDICATORIA

*A Dios, por darme la vida, salud y sabiduría para permitirme culminar con éxito una de mis principales metas en la vida, gracias por darme las fuerzas para salir adelante y superar todos los obstáculos y desafíos que se me presentaron a lo mi vida.*

*A mis padres Cristóbal y Dora por ser los pilares fundamentales de mi vida, por ser mi ejemplo de perseverancia, disciplina y dedicación; infinitas gracias por sus consejos, su apoyo incondicional y por haber creído en mi desde el primer día y más aún durante los momentos más difíciles; todo lo que soy hoy es gracias a ellos.*

*A mis abuelitos Georgina y Segundo por su motivación contante y por su infinito amor.*

*A mi hermano Josué por apoyarme siempre y ser mi fiel confidente; gracias por esas risas y ocurrencias dentro de casa.*

*A mi tía Fanny Ramos por estar siempre pendiente de mí; a mis primos, tíos y amigos, gracias por ser parte de mi vida y ser lo más valioso que Dios me ha dado.*

*A aquella persona muy especial, que aunque se encuentra a 11.000 Km de distancia, me ha brindado su cariño y apoyo incondicional, y se ha convertido en una de las principales motivaciones para continuar mis estudios y apuntar a lo más alto; gracias por enseñarme que lo imposible no existe.*

**Cristopher Ramos**

## AGRADECIMIENTO

*A Dios por mostrar la luz cada día que se torna oscura y no se piensa que no habrá un mañana, porque sus bendiciones son grandes día a día.*

*A mi familia Ortega por ayudarme y depositar su confianza en mí para la realización de este proyecto.*

*A Roberth Ortiz y Christopher Ramos compañeros y amigos con quiénes hemos compartido toda la vida universitaria, por las risas y por las lágrimas, demostrando ser más que amigos, sino hermanos.*

*Alexander Ortega*

## AGRADECIMIENTO

*Al forjador de mi camino, a mi Padre Celestial y la virgencita del Quinche, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida; por los triunfos y momentos difíciles que me han enseñado a valorarlos cada día más.*

*A mi Madre, por ser la mujer que más admiro en la vida, por ser ese ejemplo de perseverancia y rectitud; gracias por darme la vida y por haberme acompañado durante todo este trayecto lleno de victorias y derrotas. A mi Padre, quien con sus consejos y ejemplo de responsabilidad ha sabido guiarme en la formación de mi carrera profesional. Gracias a ambos por todo el sacrificio que hicieron en conjunto para darme todo lo que soy como persona.*

*A mi hermano Josué, por su paciencia, su apoyo incondicional y por tomarme como su ejemplo a seguir.*

*A mis amigos, hermanos y camaradas Alexander Ortega y Roberth Ortiz, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas conmigo durante todo nuestro trayecto en la vida universitaria, gracias por abrirme las puertas de su hogar y permitirme formar parte del sublime equipo de trabajo “Roberticos Team”.*

*En un apartado especial quisiera agradecer también a mis amigos Milton Cabrera y Johnny Shingón por su valioso aporte en la realización de este trabajo.*

*Al Sr. Henry Ortiz, agente de comercio exterior; quién fue el héroe anónimo que hizo posible la movilización y envío de importantes componentes de la motocicleta, facultando la participación del equipo MAC-ESPE en España.*

*¡Muchas Gracias!*

**Cristopher Ramos**



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CARÁTULA

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
AGRADECIMIENTO .....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xx
RESUMEN .....	xxvi
ABSTRACT .....	xxvii

### CAPÍTULO I

#### MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1 Generalidades .....	1
1.1 Antecedentes investigativos .....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	2
1.2.1 Árbol de planteamiento del problema .....	2
1.3 Descripción resumida del proyecto .....	3
1.4 Justificación e importancia .....	4
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo general .....	5

	x
1.5.2 Objetivos específicos .....	5
1.6 Metas .....	6
1.7 Hipótesis .....	7
1.8 Variables de la investigación.....	7
1.9 Metodología de desarrollo del proyecto .....	7

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

2.1 Competencia Motostudent.....	9
2.1.1 Objetivos de la competencia.....	9
2.1.2 Modalidades.....	11
a) Motostudent Electric .....	11
b) Motostudent Petrol.....	11
2.1.3 Etapas de la competencia.....	11
a) Etapa MS1: Proyecto industrial.....	12
b) Etapa MS2: Pruebas dinámicas .....	13
2.1.4 Normativa y reglamentación técnica .....	14
a) Peso .....	14
b) Basculante .....	15
c) Sistema de suspensión posterior.....	15
d) Sistema de transmisión.....	16
2.2 Equipo MAC ESPE .....	16
2.3 Teoría de Motocicletas .....	18
2.3.1 Historia .....	18
2.3.2 La motocicleta en el Ecuador .....	20

2.3.3 Rasgos característicos.....	20
2.4 Basculante.....	22
2.4.1 Métodos de fabricación .....	22
a) Mecanizado.....	22
b) Conformado.....	23
c) Fundición.....	23
d) Mediante tuberías o estructuras.....	24
e) Mixto .....	24
2.4.2 Estructura.....	24
a) Doble brazo .....	24
b) Mono brazo .....	25
2.4.3 Consideraciones de diseño.....	25
a) Rigidez.....	25
b) Peso .....	27
c) Facilidad de ensamblaje/desmontaje .....	27
d) Rodamientos.....	28
2.4.4 Conexión con la suspensión/amortiguador.....	28
2.4.5 Ajuste de la tensión de la cadena.....	29
a) Tornillo y placa.....	29
b) Cubo excéntrico.....	30
c) Placa espiral.....	30
2.5 Sistema de transmisión .....	31
2.5.1 Squat y hundimiento.....	32
2.5.2 Transmisión por cadena.....	32

2.6	Sistema de suspensión posterior .....	33
2.6.1	Suspensiones Mono y Dual shock .....	33
a)	Basculante clásico .....	34
b)	Basculante Cantilever.....	34
2.6.2	Rigidez reducida y comportamiento del sistema de suspensión.....	35
a)	Sistema Pro Link .....	38
b)	Sistema Unitrack .....	38
c)	Sistema Full Floater.....	38
2.6.3	Sistema de suspensión Back Link .....	39
2.7	Geometría y dinámica de la motocicleta .....	40
2.7.1	Posicionamiento del centro de gravedad de la motocicleta .....	40
2.7.2	Principales fuerzas que actúan sobre la motocicleta .....	40

## **CAPÍTULO III**

### **PROCESO DE DISEÑO**

3.1	Diseño conceptual.....	43
3.2	Criterios generales de diseño.....	44
3.2.1	Elementos proporcionados por la competencia .....	44
a)	Neumático y aro posterior .....	44
3.3	Elementos adquiridos .....	46
3.3.1	Amortiguador .....	46
3.3.2	Kit de arrastre .....	46
3.4	Parámetros geométricos de la motocicleta .....	47
3.5	Cálculos aplicados al conjunto de la motocicleta.....	49
3.5.1	Masa total de la motocicleta y piloto.....	49

3.5.2	Carga estática sobre la rueda posterior .....	50
3.6	Geometría de la cadena y kit de arrastre.....	50
3.6.1	Radio de la catarina .....	51
3.6.2	Radio del piñón.....	51
3.6.3	Ángulo de la cadena .....	52
3.7	Cálculos en el basculante.....	52
3.7.1	Cargas producidas por aceleración en recta .....	52
a)	Aceleración limitada por el vuelco sin resistencia del aire.....	54
b)	Fuerza de tracción en la rueda posterior .....	54
c)	Transferencia de carga dinámica sobre la rueda posterior.....	55
d)	Carga dinámica sobre la rueda posterior por la aceleración .....	55
e)	Fuerza de la cadena.....	55
f)	Reacciones sobre el anclaje del basculante producidas por la aceleración .....	56
g)	Momento generado por la carga estática $N_{sr}$ .....	56
h)	Momento generado por la transferencia de carga $N_{tr}$ .....	56
i)	Momento generado por la fuerza motriz $S$ .....	57
j)	Momento generado por la fuerza de la cadena $T$ .....	57
k)	Momento elástico generado por el movimiento de suspensión .....	57
l)	Momento total sobre el basculante .....	58
3.7.2	Cargas producidas en recta por freno posterior .....	58
a)	Fuerza de frenado .....	60
b)	Carga dinámica sobre la rueda posterior .....	60
c)	Reacciones sobre anclaje del basculante .....	60
3.7.3	Cargas producidas por recorrido de curva.....	61

a)	Velocidad de la motocicleta.....	63
b)	Fuerza aerodinámica.....	63
c)	Fuerza centrífuga .....	64
d)	Carga dinámica sobre la rueda posterior .....	64
e)	Fuerza lateral .....	64
f)	Reacciones sobre el anclaje del basculante .....	64
3.8	Cálculos del Sistema de Suspensión.....	67
3.8.1	Posición y desplazamiento del primer mecanismo.....	67
3.8.2	Posición y desplazamiento del segundo mecanismo .....	71
3.8.3	Resultados del mecanismo .....	72
3.8.4	Cálculo experimental de la constante elástica del amortiguador.....	74
a)	Fuerza de la prensa hidráulica .....	75
b)	Constante elástica .....	75
3.8.5	Fuerzas producidas por el amortiguador durante el desplazamiento de la rueda .....	75
3.8.6	Cargas sobre el balancín de la suspensión.....	76
a)	Reacciones sobre el anclaje del balancín al basculante.....	77

## **CAPÍTULO IV**

### **PROTOTIPADO Y VALIDACIÓN**

4.1	Prototipado del basculante.....	78
4.1.1	Selección del material.....	78
4.1.2	Selección de rodamientos .....	80
4.1.3	Selección y modelado de los soportes de rueda y templadores de cadena .....	82
4.1.4	Dimensionamiento y modelado del basculante .....	83
4.1.5	Análisis de esfuerzos .....	85

a)	Cargas producidas por aceleración en recta .....	85
b)	Cargas producidas por desaceleración por freno posterior .....	89
c)	Cargas producidas por recorrido de curva .....	91
d)	Cargas en el anclaje del balancín .....	95
4.2	Prototipado de los elementos de la suspensión posterior .....	97
4.2.1	Selección del material para el balancín .....	97
a)	Cabezas articuladas .....	98
4.2.2	Dimensionamiento y modelado del balancín.....	99
4.2.3	Análisis de esfuerzos sobre el balancín .....	100
a)	Análisis estático.....	100
b)	Análisis dinámico.....	103

## **CAPÍTULO V**

### **PROCESO DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLADO**

5.1	Fabricación del Basculante .....	106
5.2	Fabricación de elementos del sistema de suspensión posterior .....	112
5.2.1	Balancín .....	112
5.3	Ensamblaje .....	116

## **CAPÍTULO VI**

### **PRUEBAS Y VERIFICACIONES**

6.1	Análisis modal de Fallos y Efectos.....	121
6.2	Pruebas y Verificaciones Estáticas .....	122
6.2.1	Verificaciones del ajuste y regulación de la suspensión posterior .....	122
6.2.2	Verificaciones por Reglamentación.....	123

a)	Verificaciones de la suspensión posterior en banco de pruebas.....	123
b)	Verificaciones de la Ejecución de los Frenos.....	125
c)	Validación de las Pruebas y Verificaciones Estáticas .....	126
6.2.3	Pruebas Dinámicas .....	126
a)	Prueba de Frenado .....	126
b)	Desempeño de la motocicleta en carrera de pista .....	128
c)	Validación de las pruebas y verificaciones estáticas.....	129

## **CAPÍTULO VII**

### **MARCO ADMINISTRATIVO**

7.1	Recursos .....	130
7.1.1	Recursos Humanos .....	130
7.1.2	Recursos Tecnológicos .....	130
7.1.3	Recursos Físicos .....	131
7.1.4	Recursos Materiales.....	131
7.2	Análisis Financiero .....	131
7.2.1	Gastos para el basculante.....	131
7.2.2	Gastos Sistema de Suspensión Posterior .....	132
7.2.3	Gastos de Herramientas .....	133
7.2.4	Gastos Totales .....	133
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>134</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>135</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>137</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>140</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Metodología empleada en el proyecto de investigación.....	8
<b>Tabla 2</b> Evaluación de parámetros en la fase MS1.....	12
<b>Tabla 3</b> Evaluación de parámetros en la fase MS2.....	14
<b>Tabla 4</b> Alternativas de diseño para el basculante.....	43
<b>Tabla 5</b> Evaluación de alternativas previo al diseño del basculante.....	44
<b>Tabla 6</b> Características del neumático posterior.....	45
<b>Tabla 7</b> Características del aro posterior .....	45
<b>Tabla 8</b> Características del amortiguador .....	46
<b>Tabla 9</b> Características del kit de arrastre.....	47
<b>Tabla 10</b> Datos de partida para el prototipo de motocicleta .....	48
<b>Tabla 11</b> Datos de partida del kit de arrastre y basculante .....	51
<b>Tabla 12</b> Datos para cálculo de fuerza aerodinámica.....	62
<b>Tabla 13</b> Elementos de la suspensión posterior.....	66
<b>Tabla 14</b> Datos geométricos del mecanismo de la suspensión posterior.....	67
<b>Tabla 15</b> Resultados del mecanismo de la suspensión posterior.....	73
<b>Tabla 16</b> Datos experimentales durante la compresión del amortiguador.....	74
<b>Tabla 17</b> Datos y resultados para cálculos de fuerzas sobre el balancín .....	76
<b>Tabla 18</b> Evaluación de las alternativas del material para el basculante.....	78
<b>Tabla 19</b> Características del tubo para la estructura central del basculante .....	79
<b>Tabla 20</b> Características del tubo para estructura del basculante .....	79
<b>Tabla 21</b> Características de la plancha para el anclaje del balancín .....	80
<b>Tabla 22</b> Características de los rodamientos .....	81

<b>Tabla 23</b>	Resultados de las cargas por aceleración en el basculante .....	85
<b>Tabla 24</b>	Resultados del análisis de las cargas por aceleración en el basculante .....	88
<b>Tabla 25</b>	Resultados de las cargas por aceleración en el basculante .....	89
<b>Tabla 26</b>	Resultados del análisis de las cargas por desaceleración en el basculante .....	91
<b>Tabla 27</b>	Resultados de las cargas por recorrido de curva en el basculante .....	91
<b>Tabla 28</b>	Resultados del Análisis de las cargas por recorrido en curva en el basculante .....	94
<b>Tabla 29</b>	Resultados de las cargas sobre el anclaje del balancín.....	95
<b>Tabla 30</b>	Resultados del análisis de las cargas sobre el anclaje del balancín .....	97
<b>Tabla 31</b>	Características de la plancha de acero para el balancín.....	97
<b>Tabla 32</b>	Características de las cabezas articuladas .....	98
<b>Tabla 33</b>	Resultados de las cargas sobre el balancín.....	100
<b>Tabla 34</b>	Resultados del análisis de las cargas estática sobre el balancín .....	102
<b>Tabla 35</b>	Resultados del análisis de las cargas dinámicas sobre el balancín .....	104
<b>Tabla 36</b>	Nomenclatura de los cursogramas sinópticos .....	105
<b>Tabla 37</b>	Descripción de operaciones de fabricación .....	105
<b>Tabla 38</b>	Elementos para la fabricación del basculante.....	106
<b>Tabla 39</b>	Elementos para la fabricación del balancín .....	113
<b>Tabla 40</b>	Descripción de operaciones para ensamblado y montaje .....	116
<b>Tabla 41</b>	Ajustes y regulación de la suspensión.....	122
<b>Tabla 42</b>	Resultados de la suspensión posterior en el banco de pruebas.....	124
<b>Tabla 43</b>	Resultados de la fuerza de los frenos en el frenómetro .....	125
<b>Tabla 44</b>	Resultados de la prueba de frenado .....	127
<b>Tabla 45</b>	Recursos Humanos empleados en la investigación .....	130

<b>Tabla 46</b> Recursos Tecnológicos.....	130
<b>Tabla 47</b> Recursos Físicos.....	131
<b>Tabla 48</b> Elementos y materiales empleados para la fabricación del basculante .....	131
<b>Tabla 49</b> Elementos y materiales empleados en el sistema de suspensión.....	132
<b>Tabla 50</b> Gastos por la adquisición de herramientas .....	133
<b>Tabla 51</b> Total de gastos.....	133

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Árbol de planteamiento del problema.....	2
<b>Figura 2.</b> Logotipos de las organizaciones que promueven el evento.....	9
<b>Figura 3.</b> Cronograma de hitos Motostudent 2017-2018 .....	10
<b>Figura 4.</b> Equipos participantes de las categorías Petrol y Electric 2017-2018 .....	11
<b>Figura 5.</b> Exposición del Proyecto Industrial frente al jurado.....	12
<b>Figura 6.</b> Prueba de verificación estática en la fase MS2.....	13
<b>Figura 7.</b> Basculante Universidad de Bolonia (MS 2017-2018) .....	15
<b>Figura 8.</b> Transmisión por cadena de un prototipo ‘Electric’ .....	16
<b>Figura 9.</b> Logotipos del equipo MAC - ESPE.....	17
<b>Figura 10.</b> Fase de diseño conceptual equipo MAC-ESPE.....	17
<b>Figura 11.</b> Motocicleta de competición años 20 (Curtiss V8 de 1907).....	18
<b>Figura 12.</b> Motocicleta MZ ETS 250 año 1970 .....	19
<b>Figura 13.</b> Ventas mensuales de motos en Ecuador durante los últimos cuatro años .....	20
<b>Figura 14.</b> Comparación del diseño de superficies delanteras en motocicletas .....	21
<b>Figura 15.</b> Basculante de aluminio mecanizado en máquinas CNC.....	23
<b>Figura 16.</b> Basculante mixto motocicleta DB5 Bimota.....	24
<b>Figura 17.</b> Consideraciones de rigidez previo a la fase de diseño.....	26
<b>Figura 18.</b> Basculante conexión directa con sistema doublecross.....	28
<b>Figura 19.</b> Conexión sistema Cantilever al basculante .....	29
<b>Figura 20.</b> Sistema de ajuste de tornillo y placa.....	30
<b>Figura 21.</b> Sistema de ajuste de placa espiral .....	30
<b>Figura 22.</b> Fuerzas sobre el basculante a causa de la transmisión por cadena .....	32

<b>Figura 23.</b> Proyección de líneas de fuerza del basculante y cadena.....	33
<b>Figura 24.</b> Suspensión posterior clásica .....	34
<b>Figura 25.</b> Suspensión posterior Cantilever .....	35
<b>Figura 26.</b> Fuerza elástica y rigidez frente al desplazamiento vertical de la rueda .....	36
<b>Figura 27.</b> Configuración de distintos sistemas de suspensión con bieletas .....	38
<b>Figura 28.</b> Disposición del amortiguador y bieletas en el sistema Back Link .....	39
<b>Figura 29.</b> Fuerzas que actúan sobre la motocicleta.....	40
<b>Figura 30.</b> Neumático y aro posterior .....	45
<b>Figura 31.</b> Amortiguador Shineray .....	46
<b>Figura 32.</b> Catarina y porta catarina.....	47
<b>Figura 33.</b> Geometría básica la motocicleta.....	48
<b>Figura 34.</b> Cargas estáticas sobre la motocicleta.....	49
<b>Figura 35.</b> Geometría de la cadena.....	50
<b>Figura 36.</b> Cargas por aceleración sobre la motocicleta.....	53
<b>Figura 37.</b> DCL de las cargas producidas por aceleración en recta sobre el basculante. ....	54
<b>Figura 38.</b> Cargas por desaceleración sobre la motocicleta .....	59
<b>Figura 39.</b> DCL de las cargas producidas por desaceleración en recta sobre el basculante.....	59
<b>Figura 40.</b> Curva N° 16 de la pista MotorLand.....	61
<b>Figura 41.</b> Cargas por recorrido de curva sobre la motocicleta.....	62
<b>Figura 42.</b> DCL de las cargas producidas en el recorrido de curva sobre el basculante .....	63
<b>Figura 43.</b> Mecanismo de la suspensión posterior .....	65
<b>Figura 44.</b> Diagrama del completo mecanismo de la suspensión posterior .....	66
<b>Figura 45.</b> Diagrama del primer mecanismo de cuatro barras .....	67

<b>Figura 46.</b> Diagrama del segundo mecanismo de cuatro barras.....	71
<b>Figura 47.</b> Diagrama desplazamiento del amortiguador respecto al vertical de la rueda posterior..	72
<b>Figura 48.</b> Gráfica del desplazamiento del amortiguador respecto al vertical de la rueda posterior	74
<b>Figura 49.</b> Gráfica de la fuerza del amortiguador .....	75
<b>Figura 50.</b> Diagrama de cuerpo libre del balancín de la suspensión .....	76
<b>Figura 51.</b> Selección del rodamiento cónico .....	80
<b>Figura 52.</b> Dimensiones del rodamiento cónico.....	81
<b>Figura 53.</b> Sujetador de rueda posterior y templador de cadena .....	82
<b>Figura 54.</b> Vista lateral para las dimensiones del basculante .....	83
<b>Figura 55.</b> Vista superior para las dimensiones del basculante.....	83
<b>Figura 56.</b> Modelado de la estructura central del basculante .....	84
<b>Figura 57.</b> Modelado de la estructura parcial del basculante .....	84
<b>Figura 58.</b> Modelado total del basculante .....	85
<b>Figura 59.</b> Aplicación de Cargas por aceleración en el basculante .....	86
<b>Figura 60.</b> Esfuerzos producidos por aceleración en el basculante .....	86
<b>Figura 61.</b> Vista lateral de esfuerzos producidos por aceleración en el basculante .....	87
<b>Figura 62.</b> Esfuerzo máximo producidos por aceleración en el anclaje del basculante .....	87
<b>Figura 63.</b> Deformación producida por aceleración en el basculante .....	88
<b>Figura 64.</b> Aplicación de cargas por desaceleración en el basculante.....	89
<b>Figura 65.</b> Esfuerzos producidos por desaceleración en el basculante.....	90
<b>Figura 66.</b> Deformación producida por desaceleración en el basculante .....	90
<b>Figura 67.</b> Aplicación de cargas por recorrido de curva en el basculante.....	92
<b>Figura 68.</b> Esfuerzos producidos por recorrido de curva en el basculante.....	92

<b>Figura 69.</b> Vista superior de los esfuerzos producidos en el basculante .....	93
<b>Figura 70.</b> Deformación producida por recorrido de curva en el basculante .....	93
<b>Figura 71.</b> Vista superior de la deformación producida por recorrido de curva.....	94
<b>Figura 72.</b> Aplicación de cargas sobre el anclaje del balancín.....	95
<b>Figura 73.</b> Esfuerzo sobre el anclaje del balancín .....	96
<b>Figura 74.</b> Deformación sobre el anclaje del balancín .....	96
<b>Figura 75.</b> Dimensiones de las cabezas articuladas.....	98
<b>Figura 76.</b> Dimensionamiento del balancín.....	99
<b>Figura 77.</b> Modelado del balancín.....	100
<b>Figura 78.</b> Aplicación de cargas sobre el balancín.....	101
<b>Figura 79.</b> Esfuerzo sobre el balancín .....	101
<b>Figura 80.</b> Deformación sobre el balancín .....	102
<b>Figura 81.</b> Aplicación de características del amortiguador .....	103
<b>Figura 82.</b> Esfuerzos producidos por cargas dinámicas sobre el balancín .....	103
<b>Figura 83.</b> Cursograma Sinóptico de fabricación del basculante .....	108
<b>Figura 84.</b> Unión de los sujetadores a la estructura central del basculante .....	109
<b>Figura 85.</b> Tubo del eje del basculante y los porta rodamientos .....	109
<b>Figura 86.</b> Tubos centrales del basculante .....	110
<b>Figura 87.</b> Estructura central del basculante .....	110
<b>Figura 88.</b> Estructura superior del basculante .....	111
<b>Figura 89.</b> Estructura inferior del basculante .....	111
<b>Figura 90.</b> Estructura del basculante y chasis durante la fabricación.....	112
<b>Figura 91.</b> Cursograma sinóptico de fabricación del balancín .....	114

<b>Figura 92.</b> Placas para el balancín.....	115
<b>Figura 93.</b> Fabricación del balancín .....	115
<b>Figura 94.</b> Cursograma de ensamblaje y montaje .....	117
<b>Figura 95.</b> Unión del chasis y basculante.....	117
<b>Figura 96.</b> Colocación de rodamientos en el basculante .....	118
<b>Figura 97.</b> Ensamblaje de la rueda posterior al basculante .....	118
<b>Figura 98.</b> Ensamblaje del balancín y varilla articulada .....	119
<b>Figura 99.</b> Ensamblaje del amortiguador .....	119
<b>Figura 100.</b> Vista lateral de los elementos ensamblados.....	120
<b>Figura 101.</b> Análisis Modal de Fallos y Efectos .....	121
<b>Figura 102.</b> Regulación de la suspensión.....	122
<b>Figura 103.</b> Lugar de aplicación de las cargas en la motocicleta. ....	123
<b>Figura 104.</b> Colocación de la motocicleta en el banco de ensayo.....	124
<b>Figura 105.</b> Verificaciones de frenos al prototipo STOLIKA.....	125
<b>Figura 106.</b> Colocación de adhesivo de las verificaciones estáticas .....	126
<b>Figura 107.</b> Descripción gráfica de la prueba de frenado.....	126
<b>Figura 108.</b> Ejecución de la prueba de frenado en la Pista de MotorLand.....	127
<b>Figura 109.</b> Carrera en la Pista de MotorLand – España .....	128
<b>Figura 110.</b> Prototipo STOLIKA en la Pista de MotorLand – España.....	129
<b>Figura 111.</b> Colocación de adhesivo de la todas las verificaciones .....	129



## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Fuerza aerodinámica.....	21
<b>Ecuación 2.</b> Velocidad de la motocicleta .....	26
<b>Ecuación 3.</b> Fuerza centrífuga .....	26
<b>Ecuación 4.</b> Fuerza lateral .....	27
<b>Ecuación 5.</b> Radio de la catarina .....	31
<b>Ecuación 6.</b> Radio del piñón.....	31
<b>Ecuación 7.</b> Ángulo de la cadena .....	31
<b>Ecuación 8.</b> Fuerza de la prensa hidráulica .....	35
<b>Ecuación 9.</b> Constante elástica del muelle .....	36
<b>Ecuación 10.</b> Principio de Euler.....	37
<b>Ecuación 11.</b> Identidad de Freudenstein.....	37
<b>Ecuación 12.</b> Carga estática sobre la rueda posterior .....	41
<b>Ecuación 13.</b> Aceleración limitada por el vuelco sin resistencia del aire.....	41
<b>Ecuación 14.</b> Fuerza de tracción en rueda posterior.....	41
<b>Ecuación 15.</b> Transferencia de carga dinámica sobre la rueda posterior.....	41
<b>Ecuación 16.</b> Carga dinámica sobre la rueda posterior por la aceleración .....	41
<b>Ecuación 17.</b> Fuerza de frenado .....	42
<b>Ecuación 18.</b> Carga dinámica sobre la rueda posterior en desaceleración .....	42
<b>Ecuación 19.</b> Carga dinámica sobre la rueda posterior en curva.....	42

## **RESUMEN**

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo el estudio del comportamiento a partir del diseño de un basculante y sistema de suspensión posterior tipo Back Link, aplicado a un prototipo de motocicleta para la V Edición de la Competencia Internacional Motostudent 2017 – 2018 desarrollada en la localidad de Aragón, España. Tal estudio, se ha dividido en 4 etapas, siendo la fase inicial aquella que aborda la comparativa entre distintas alternativas y parámetros de diseño aplicados a ambos subsistemas, de modo que, una vez realizada la selección efectiva de materiales bajo el cumplimiento de la norma enfocada a aceros estructurales NTE INEN 2415, permitió la aplicación de herramientas de diseño asistido por computador (CAD-CAE) durante su etapa de simulación y análisis; cuyos resultados facilitaron su posterior proceso de manufactura mediante la utilización de materiales de alta calidad existentes en el mercado nacional; es así que, luego de evaluar sus propiedades tanto físicas como químicas se decidió seleccionar al Acero ASTM A36 y A1011 para la fabricación del balancín, mientras que la tubería estructural ASTM A500 y A53 como los materiales más idóneos para la construcción del basculante, permitiendo de esta manera validar ambos diseños durante la etapa de pruebas, verificando así el cumplimiento de los requerimientos técnicos establecidos en el reglamento de la competencia, y a su vez se garantice su óptimo desempeño una vez implementados en la motocicleta.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **COMPETENCIA MOTOSTUDENT**
- **SISTEMA DE SUSPENSIÓN**
- **BASCULANTE DE MOTOCICLETA**

## **ABSTRACT**

The present degree work aims to study the behavior of a swing arm and rear Back Link suspension system design, applied to a motorcycle prototype which will be evaluated and tested in Motorland Aragón, Spain at the V Edition of the International Competition Motostudent 2017 – 2018. This study has been divided into 4 stages, being the first one which allows the comparison between different alternatives and design parameters applied to both subsystems, so that once the effective selection of materials has been made under the fulfillment of the technical norm related to structural steels properties NTE INEN 2415, which during its simulation and analysis stage, the results allowed the application of computer aided design tools (CAD-CAE) which facilitate the subsequent manufacturing process through the use of high quality materials offered in the local market. Once the physical and chemical properties evaluation, it was decided to select ASTM A36 and A1011 Steel for manufacturing the rocker arm, additionally ASTM A500 and ASTM A53 structural pipe as the most suitable materials for the construction of swing arm, thus allowing both designs to be validate during the testing stage, verifying compliance of all technical requirements established in the competition regulations, and additionally guaranteeing its optimum performance once implemented on the motorcycle.

### **KEY WORDS:**

- **MOTOSTUDENT COMPETITION**
- **SUSPENSION SYSTEM**
- **SWING ARM MOTORCYCLE**

## CAPÍTULO I

### MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1 Generalidades

##### 1.1 Antecedentes investigativos

En lo que respecta al diseño, modelado y construcción de basculantes aplicados a motocicletas de competición, (Collantes Gil, 2012) acota que como punto de partida es necesario proponer varios diseños y alternativas de diseño, teniendo siempre en consideración los desplazamientos máximos como consecuencia de aquellos esfuerzos originados por condiciones críticas de funcionamiento como la aceleración y el frenado, valorando así como parámetro de diseño el peso del elemento y su facilidad de construcción.

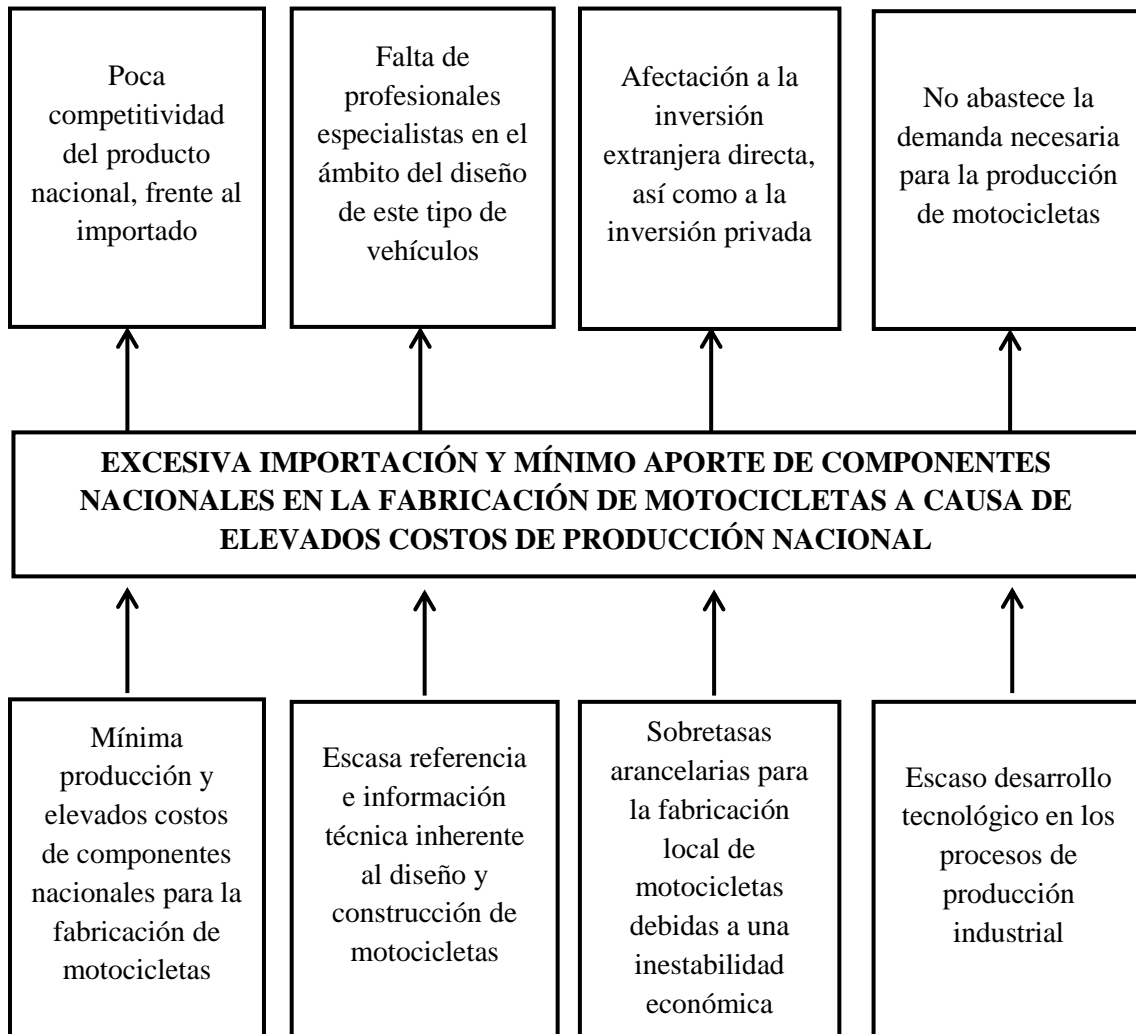
Para el desarrollo del sistema de suspensión posterior, (Collantes, 2012) menciona que el principal factor a tomar en cuenta previo al diseño conceptual debe ser su capacidad de aprovechar el máximo recorrido del amortiguador en base al desplazamiento requerido de la rueda; es de esta manera que se pretende brindar un aporte de mayor viabilidad a este sistema en comparación con el resto del prototipo, además de ofrecer una mayor facilidad en lo que puesta a punto se refiere.

De igual manera, luego de un amplio proyecto de investigación titulado: “Diseño del basculante de una motocicleta de competición y análisis de fatiga”,(Jareño, 2013) da a conocer factores importantes tanto en la fase del diseño del prototipo, así como en la etapa de pruebas y ensayos destacando: la optimización dimensional relacionada al modelado de los componentes de la motocicleta y un análisis de precisión al ensayo a fatiga de los componentes luego de las pruebas de campo, respectivamente.

## 1.2 Planteamiento del problema

En el medio motociclístico local existe un escaso aporte de componentes nacionales para la fabricación de motocicletas, problemática que dificulta el desarrollo tecnológico y productivo del sector, debido en gran medida tanto a la insuficiente información técnica relacionada a su diseño y construcción, así como también a los elevados costos de producción nacional que disminuyen la competitividad del producto en el mercado internacional.

### 1.2.1 Árbol de planteamiento del problema



*Figura 1.* Árbol de planteamiento del problema

En la Figura 1. Se muestran las causas y efectos ocasionados por la problemática en estudio, sobre las cuales se basa este proyecto de investigación.

### **1.3 Descripción resumida del proyecto**

Para el presente proyecto de investigación se consideran ciertos aspectos regulatorios establecidos por la organización, cuyas especificaciones constan en el reglamento vigente de la competencia; para lo cual, su principal objetivo radica en la investigación del comportamiento de un basculante y sistema de suspensión posterior tipo Back Link de una motocicleta de competición para la V Edición de la Competencia Internacional Motostudent a desarrollarse en MotorLand Aragón, España.

Para la etapa de análisis, cálculos y simulación de ambos sistemas se empleó software dedicado CAD-CAE; al conseguir una sinergia conjunta entre mencionados programas será posible generar los planos de un diseño específico, de modo que facilite el proceso de selección efectiva de materiales, así como la posterior fase de construcción del prototipo.

El proceso de construcción tanto del basculante como del sistema de suspensión posterior se llevó a cabo atendiendo al cumplimiento de la norma para selección de aceros estructurales NTE INEN 2415 así como a especificaciones de control de calidad y seguridad en cada uno de los procesos de producción.

De igual manera se programó un protocolo de pruebas, el mismo que se ejecutó a partir de los mecanismos ya ensamblados en la motocicleta, cumpliendo de esta manera con las respectivas pruebas en pista siguiendo una hoja de ruta, las cuales permitieron evaluar el desempeño en conjunto del prototipo en la pista del Kartódromo Cotopaxi ubicado en la ciudad de Latacunga.

#### **1.4 Justificación e importancia**

La competencia internacional Motostudent se lleva a cabo cada dos años en el circuito de MotorLand ubicado en Aragón-España, lugar donde se reúnen equipos de universidades de todo el mundo, para lo cual durante un lapso de 18 meses se ponen a prueba los conocimientos científicos y habilidades de los estudiantes en las etapas de diseño, construcción y validación de un prototipo de motocicleta de velocidad que deberá cumplir con normas establecidas en el reglamento de la organización durante las fases MS1 y MS2 donde se evalúan los parámetros de diseño.

La razón del presente proyecto es la de brindar a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE una perspectiva y enfoque a escala internacional, siendo junto a Brasil los únicos equipos representantes de Sudamérica en este evento, es por tal motivo que se ha diseñado y construido un basculante y sistema de suspensión posterior que faculte la centralización de la masa, optimizando la transferencia de peso durante la frenada y aceleración, de modo que permita la modificación del squat, hundimiento y la precarga; variando la distancia de recorrido del amortiguador en diferentes condiciones de pista, permitiendo de esta manera mejorar la progresividad, estabilidad y adherencia a la calzada, lo que se traduce en un mejor desempeño de la motocicleta.

La ejecución de este proyecto de investigación tiene también la capacidad de contribuir con el desarrollo de conocimiento científico referente al ámbito automotriz, mediante el diseño de un basculante y mecanismo de suspensión innovadores, con recursos y mano de obra local, sustentado por las bases científicas y fundamentos teóricos y tecnológicos que permitan beneficiar a este sector de la industria nacional.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Investigar el comportamiento a partir del diseño y construcción de un basculante y sistema de suspensión posterior tipo Back Link de un prototipo de motocicleta para la V Competencia Internacional Motostudent 2017-2018.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Recopilar información técnica proveniente de fuentes científicas inherentes al diseño de motocicletas de competición.
- Dimensionar la estructura del basculante y determinar la geometría del mecanismo de suspensión posterior a fin de obtener un favorable comportamiento dinámico.
- Seleccionar el material idóneo para la construcción del basculante y el mecanismo de suspensión.
- Modelar ambos sistemas mediante herramientas de diseño asistido computacional (CAD)
- Analizar el comportamiento de los componentes mecánicos, cuyo funcionamiento esté sujeto a fatiga, empleando software dedicado CAD-CAE
- Validar el diseño preliminar mediante el análisis estructural de cada elemento para asegurar la resistencia de la motocicleta.
- Determinar matemáticamente los esfuerzos que se presentan en el sistema de suspensión durante las situaciones más desfavorables de la conducción, y analizarlos software de simulación CAD-CAE.



- Manufacturar y ensamblar los componentes previamente diseñados bajo las normas de calidad y seguridad industrial, los cuales junto con el resto del chasis constituirán la estructura de la motocicleta.
- Efectuar pruebas estáticas tanto a los elementos diseñados individualmente, así como al prototipo mediante la aplicación de distintas configuraciones de cargas, así como pruebas dinámicas en pista descritas en el reglamento de la competencia para verificar el correcto ensamblaje, geometría y trabajo del sistema de suspensión.

## **1.6 Metas**

- Dimensionamiento geométrico y estructural del basculante y mecanismo de suspensión posterior mediante software aplicado CAD-CAE a partir de la segunda semana de iniciado el proyecto.
- Selección de materiales y comprobación del diseño preliminar del basculante y sistema de suspensión posterior a partir del análisis estructural de cada elemento durante la sexta semana de ejecución del proyecto.
- Revisión técnica y caracterización de los elementos diseñados sometidos a fatiga en laboratorios de metalografía, una vez fabricado el basculante y el mecanismo de suspensión al final de la décima semana de ejecución del proyecto.
- Validación del prototipo a partir de la décima quinta semana de ejecución del proyecto, mediante pruebas dinámicas en carretera que permitan evaluar su desempeño en la pista del Kartódromo Cotopaxi en la ciudad de Latacunga.

## 1.7 Hipótesis

El diseño y construcción de un basculante y sistema de suspensión posterior tipo Back Link permitirá cumplir con la reglamentación técnica que faculte la participación del prototipo de motocicleta en el evento Motostudent 2017-2018.

## 1.8 Variables de la investigación.

En el presente proyecto de investigación se han aplicado las variables tanto dependientes como independientes.

- **Variables Independientes:**

Prototipo de motocicleta de competición

- **Variables Dependientes:**

Diseño, construcción, ensamble y protocolo de pruebas del basculante y sistema de suspensión posterior.

## 1.9 Metodología de desarrollo del proyecto

La metodología necesaria para el desarrollo del proyecto de investigación se delimita en cuatro fases concretas, la primera fase consiste en el protocolo de investigación, donde se recopiló información técnica relacionada al diseño de elementos de motocicletas de competición, en especial lo concerniente al sistema de suspensión y basculante, teniendo presente los requerimientos tanto técnicos como de seguridad que la Organización solicita, la segunda fase consiste en el diseño tanto del mecanismo de suspensión trasera como el basculante mediante la utilización de software CAD-CAE; la tercera fase se fundamenta en la construcción de mencionados elementos así como su posterior validación en laboratorios orientados a este fin;

finalmente la cuarta fase se orienta al ensamble en el conjunto de la motocicleta así también a la realización de pruebas que garanticen un buen desempeño de los elementos en condiciones críticas de su funcionamiento, la especificación de mencionadas fases de la investigación científica y su metodología se detallan en la Tabla 1:

**Tabla 1**

*Metodología empleada en el proyecto de investigación*

<b>Táctica/Método</b>	<b>Descripción</b>	<b>Instrumento/Equipo</b>	<b>Laboratorio</b>
Método lógico Deductivo	Este método permitirá establecer los principios y relaciones existentes partiendo de lo general a lo particular como son: Los parámetros técnicos previos al diseño de la motocicleta provista por la Organización.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reglamento de la competición</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L</li> </ul>
Método lógico Inductivo	En esta etapa se determina con exactitud los parámetros de diseño del objeto de estudio, como son las dimensiones de los componentes, así como sus restricciones geométricas respectivas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reglamento de la competición</li> <li>• Computador personal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L</li> </ul>
Método Analítico	Este método de investigación permite bosquejar el diseño de mencionados subsistemas mediante la utilización de un software de diseño CAD-CAE para el modelado y simulación, permitiendo evaluar su desempeño en condiciones críticas de funcionamiento, dando paso de esta manera a su fase de construcción.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computador personal</li> <li>• Software de diseño y simulación CAD-CAE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L</li> </ul>
Método experimental	Este método de investigación permite obtener información y datos relacionados a la relación de progresividad del amortiguador, registrando la variación en su desplazamiento vertical y comparándola con la rigidez reducida del mismo elemento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos de laboratorio mecánica de materiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laboratorio de Mecánica de Materiales ESPE-L</li> </ul>

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 2.1 Competencia Motostudent

La competencia internacional Motostudent es promovida y surge como resultado del esfuerzo combinado de la Moto Engineering Foundation (MEF) y TechnoPark MotorLand, mostradas en la Figura 2, quienes han instaurado un desafío para estudiantes universitarios en todo el mundo, el cual brinda a los equipos participantes la oportunidad de demostrar sus habilidades de ingenio, creatividad e innovación, mediante la elaboración de un proyecto industrial real, a partir del diseño, desarrollo y fabricación de un prototipo de motocicleta de competición, el mismo que deberá cumplir con determinados requisitos y dimensiones de seguridad mínimos; siendo evaluado y puesto a prueba en el Circuito de Motorland ubicado en la localidad de Aragón, España (Motostudent, 2017, p. 5).



*Figura 2.* Logotipos de las organizaciones que promueven el evento

Fuente: (Motostudent, 2017)

##### 2.1.1 Objetivos de la competencia

El evento Motostudent constituye un desafío para los estudiantes universitarios, quienes durante un período de dieciocho meses deberán demostrar y aplicar todas sus habilidades de ingeniería para competir contra equipos de universidades del resto del mundo, para lo cual el objetivo planteado es el de desarrollar un proyecto industrial que cumpla con el rol de una empresa

de motocicletas, mediante procesos de diseño, fabricación y validación de un prototipo de motocicleta de competición; siguiendo siempre un lapso de tiempo para su desarrollo, tal como se indica en la Figura 3. Los factores adicionales a considerar durante la competencia son: la capacidad de fabricación, originalidad del prototipo, ergonomía, estética, capacidad de mantenimiento, innovación y confiabilidad.

Período	FECHA Inicio Fin	2016	2017												2018										
		Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	
Registro de equipos	28/12/2016 30/04/2017																								
Hito Administrativo 1: Datos y estructuración equipo	01/07/2017 31/07/2017																								
Entrega MS1 1: Parte A - Diseño Conceptual y objetivos	01/10/2017 31/10/2017																								
Hito Esp. MSE 1: Esquema eléctrico completo	01/11/2017 30/11/2017																								
Hito Administrativo 2: Presentación miembros equipos	01/12/2017 31/12/2017																								
Hito Esp. MSE 2: Características del acumulador de baterías	01/02/2018 28/02/2018																								
Entrega MS1 2: Parte B - Diseño de detalle	01/03/2018 31/03/2018																								
Entrega MS1 3: Parte D - Producción industrial	01/04/2018 30/04/2018																								
Entrega MS1 4: Parte E - Plan de Negocio	01/04/2018 30/04/2018																								
Entrega MS1 5: Parte F - Proyecto de Innovación Tecnológica	01/05/2018 31/05/2018																								
Hito Esp. MSE 3: Descripción de montaje del acumulador	01/05/2018 31/05/2018																								
Hito Administrativo 3: Presentación del piloto	01/06/2018 30/06/2018																								
Entrega MS1 6: Parte C - Prototipado y Validación	01/07/2018 31/07/2018																								
Hito Esp. MSE 4: Descripción de pruebas en pista	01/07/2018 31/07/2018																								
Entrega MS1 7: Addenda modificación Proyecto MS1	01/08/2018 31/08/2018																								
Hito Administrativo 4: Material para acreditaciones	01/08/2018 31/08/2018																								
Entrega MS1 8: Entrega de presentación ppt MS1	01/09/2018 30/09/2018																								
Hito Administrativo 5: Presentación Licencia Piloto	01/09/2018 15/09/2018																								
Hito Administrativo 6: Datos para el Evento	15/09/2018 30/09/2018																								
Evento Final*	Otoño 2018																								

**Figura 3.** Cronograma de hitos Motostudent 2017-2018

Fuente: (Motostudent, 2017, p. 23)

La organización brinda a los equipos una amplia flexibilidad para el diseño, de modo que, mediante la aplicación de conocimientos en ingeniería, creatividad y habilidades empresariales, los equipos desarrollen una motocicleta que sea capaz de cumplir con éxito todas las verificaciones y pruebas a lo largo de la Competición, debiendo cumplir con un mínimo de requerimientos de seguridad y dimensiones en las áreas designada propuestos por la Organización (Motostudent, 2017, p. 5).

## 2.1.2 Modalidades

Para la V Edición de esta competencia internacional, existen dos categorías teniendo en cuenta el tipo de propulsión de las motocicletas:

### a) Motostudent Electric

En esta categoría se incluyen aquellos prototipos que utilicen como método de propulsión un sistema 100% eléctrico, el mismo que será proporcionado por la Organización.

### b) Motostudent Petrol

Para esta modalidad se admiten prototipos caracterizados por utilizar como fuente de propulsión un motor de combustión interna (MCI) de 4 tiempos y 250 cc, suministrado por la Organización para cada equipo participante, manifiesto en la Figura 4 (Motostudent, 2017, p. 28).



**Figura 4.** Equipos participantes de las categorías Petrol y Electric 2017-2018

Fuente: (Marfil, 2018)

## 2.1.3 Etapas de la competencia

Ambas categorías antes descritas se rigen a dos etapas de evaluación, para lo cual, tanto los proyectos y prototipos presentados serán evaluados mediante una serie de verificaciones técnicas y administrativas divididas en dos fases, denominadas MS1 y MS2.

### a) Etapa MS1: Proyecto industrial

En la fase MS1 los equipos tienen como objetivo exponer el diseño de su prototipo ante un jurado, tal como se muestra en la Figura 5; incluyendo tanto el proyecto de innovación como el proyecto industrial; en el primero se busca incorporar al prototipo un mecanismo, o elemento de autoría propia, de alto impacto tecnológico y que brinde soluciones innovadoras a la industria, Por otra parte, el industrial hace referencia a la explicación detallada respecto al proceso de fabricación de motocicletas, cuyo precio unitario no deberá sobrepasar los €4,850 Euros para la categoría Petrol. Toda la etapa MS1 está dividida en seis secciones que incluyen: el diseño conceptual, diseño de detalles de cada sistema, prototipado y validación, proceso de fabricación y finalmente el plan de negocio enfocado a su producción industrial (Motostudent, 2017).



**Figura 5.** Exposición del Proyecto Industrial frente al jurado

La fase MS1 se valora entregando un máximo de 500 puntos como se detalla en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Evaluación de parámetros en la fase MS1*

APARTADOS FASE MS1	PUNTUACIÓN
Diseño Conceptual	75 pts.
Diseño de detalle	75 pts.

CONTINÚA →

Prototipado y validación	50 pts.
Proyecto de innovación	100 pts.
Producción Industrial	125 pts.
Plan de negocio	75 pts.
<b>TOTAL</b>	<b>500 pts.</b>

Fuente: (Motostudent, 2017, p. 123)

### b) Etapa MS2: Pruebas dinámicas

Una vez superada la fase MS1 con un mínimo del 40% de la puntuación, la fase a superar es la de MS2, siendo esta aquella que consta de una serie de verificaciones técnicas estáticas, dinámicas, de aceleración, frenado y una gymkana donde se evalúa el desempeño de la motocicleta, así como la habilidad y destreza del piloto. Esta fase se divide en tres sub etapas: visual, estática sobre un banco (Figura 6) y dinámica de seguridad sobre el asfalto; todas ellas evaluadas por comisarios con licencia federativa y personal altamente calificado de la Organización, quienes son los encargados de determinar cuáles serán los prototipos habilitados para su participación en el evento final a desarrollarse sobre la pista del circuito de Motorland, Aragón (Motostudent, 2017).



**Figura 6.** Prueba de verificación estática en la fase MS2

Fuente: (Marfil, 2018)



La fase MS2 otorga 500 puntos que se adicionan a los ya obtenidos en la fase anterior, adjudicados bajo los siguientes parámetros que se detallan en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Evaluación de parámetros en la fase MS2*

<b>PRUEBAS FASE MS2</b>	<b>PUNTUACIÓN</b>
Prueba de frenado	60 pts.
Gymkana	100 pts.
Prueba de aceleración	60 pts.
Prueba mecánica	30 pts.
Vel. máxima en entrenamientos libres	30 pts.
Pole position en los cronometrados	40 pts.
Vuelta rápida en carretera	30 pts.
Posición en la carrera	150 pts.
<b>TOTAL</b>	<b>500 pts.</b>

Fuente: (Motostudent, 2017, p. 149)

#### **2.1.4 Normativa y reglamentación técnica**

Atendiendo a los requerimientos técnicos a tomar en cuenta previo al diseño de los componentes que constituirán el prototipo de motocicleta, (Motostudent, 2017) formula que para considerar tales diseños como válidos deben cumplir plenamente con la normativa establecida por la Organización; por ello se hace necesario citar aquellos requisitos vinculados de manera directa al basculante, sistema de suspensión posterior y sistema de transmisión.

##### **a) Peso**

En líneas generales, el reglamento de la competencia expresa que, para ambas categorías, el peso total de la motocicleta excluyendo al piloto, y en efecto, incluyendo los fluidos necesarios

para su funcionamiento, no deberá ser menor a 950 N (95 Kg); pudiendo este parámetro ser verificado durante cualquier fase de la competencia (Motostudent, 2017, p. 38).

### **b) Basculante**

Sobre la validez de su diseño, la normativa de (Motostudent, 2017, p. 40) no plantea demasiadas limitaciones en cuanto a la geometría y configuración del elemento, sino más bien expresa que junto al chasis, el basculante deberá ser de invención y fabricación propia, tal como se muestra en la Figura 7, prohibiéndose la utilización de un ejemplar comercial o la modificación de uno ya existente.



**Figura 7.** Basculante Universidad de Bolonia (MS 2017-2018)

Fuente: (Marfil, 2018)

### **c) Sistema de suspensión posterior**

En torno a este subsistema, la reglamentación del evento estipula que los amortiguadores deberán ser de tipo convencional, imposibilitando el montaje de aquellos que presentasen la regulación de longitud variable. En contraparte, para el conjunto de suspensión posterior se permite la disposición de mecanismos de ajuste mecánico o hidráulico, ya sean regulaciones de precarga del muelle, de compresión, entre otros (Motostudent, 2017, p. 49).

#### d) Sistema de transmisión

De igual manera, los aspectos relacionados con la disposición de este sistema abarcan consideraciones sin demasiadas limitaciones, puesto que en la normativa se establece que tanto el piñón de salida, la corona de la rueda trasera y la cadena (Figura 8) serán elementos de elección libre, permitiéndose también, si el caso así lo requiera, la instalación de mecanismos externos de cambio rápido de velocidades tipo Quickshift. Cabe también resaltar que cualquier otro tipo de modificaciones efectuadas sobre el sistema no están autorizadas (Motostudent, 2017, p. 69).



**Figura 8.** Transmisión por cadena de un prototipo ‘Electric’

Fuente: (Marfil, 2018)

## 2.2 Equipo MAC ESPE

Moto Advance Competition ESPE surge como equipo en marzo de 2017, integrado en su fase inicial por 16 estudiantes pertenecientes a las carreras de Ingeniería Automotriz e Ingeniería en Finanzas y Auditoría con el objetivo de representar por segunda vez a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Extensión Latacunga en la V edición del certamen internacional Motostudent 2017-2018; siendo el único participante a nivel nacional y el segundo equipo a nivel sudamericano, junto con los representantes de Brasil. Sus logos oficiales se ilustran en la Figura 9.



*Figura 9.* Logotipos del equipo MAC - ESPE

Desde su creación, el equipo MAC - ESPE contó con docentes y estudiantes con los suficientes conocimientos en áreas referentes al diseño mecánico y preparación de vehículos de competición, trabajando siempre bajo la guía y supervisión del Ing. Luis Mena Navarrete, docente de la institución y tutor del proyecto; distribuidos en departamentos Técnico y Administrativo, ambos regidos mediante una estructura organizacional interna de tipo horizontal, donde cada uno de los integrantes dispone de una participación activa e igualitaria durante la toma de importantes decisiones para el proyecto; un ejemplo de aquello se ilustra en la Figura 10, durante la etapa de diseño conceptual del prototipo.

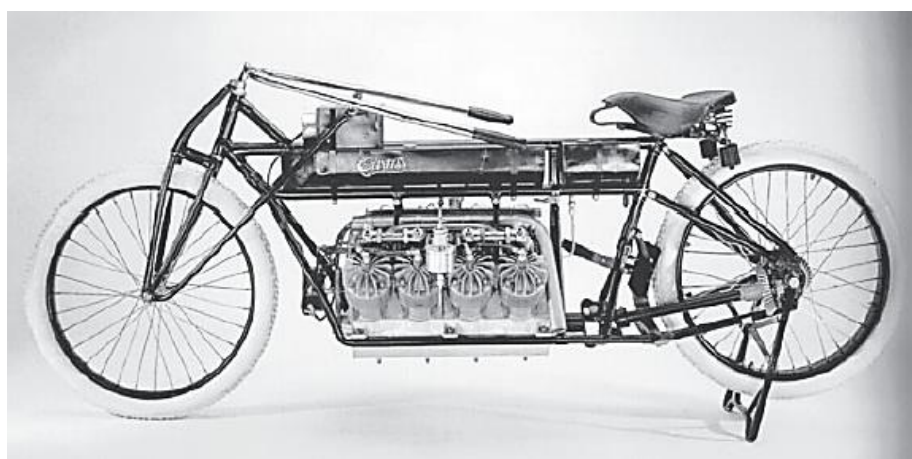


*Figura 10.* Fase de diseño conceptual equipo MAC-ESPE

## 2.3 Teoría de Motocicletas

### 2.3.1 Historia

La importancia de la motocicleta como medio de transporte ha estado sujeta a cambios constantes desde su invención, y continuará con la misma tendencia en el futuro. Desde los primeros años hasta fines de la década de 1920, las motocicletas eran vehículos exclusivos utilizados por personas con amplio poder económico, principalmente con fines deportivos y de recreación, tal como se expone en la Figura 11 (Stoffregen, 2010).



**Figura 11.** Motocicleta de competición años 20 (Curtiss V8 de 1907)  
Fuente: (Stoffregen, 2010)

En los años treinta, el precio de un automóvil era inasequible en Europa, por tal motivo, las motocicletas ya comenzaban a convertirse en medios de transporte individuales, siendo para ese entonces el único medio de transporte que podía acceder un segmento más amplio de la población; los modelos más comunes de esa época eran en su mayoría máquinas simples y livianas con una capacidad cúbica de cilindrada por lo general no mayor a los 200 cc. Ya para la década de los años 1950 el uso de estos vehículos estaba ampliamente distribuido especialmente en Europa y Asia, siendo las marcas BMW, Honda y Yamaha aquellas con capacidad de producción a gran escala durante la época.

El mismo autor citado con anterioridad enuncia que tiempo después, el inesperado renacimiento surgido a los inicios de 1970 proveniente de los Estados Unidos, permitió que la motocicleta sea redescubierta como un elemento deportivo, un símbolo de libertad individual y como un estilo de vida (Figura 12); provocando por consecuencia un desarrollo completamente evidente, es así que han llegado a convertirse en artículos de gran consumo y elevada demanda en la sociedad, adquiridos por personas que combinan su fascinación por la tecnología con el placer de conducir sobre dos ruedas, así como por simples aficionados.



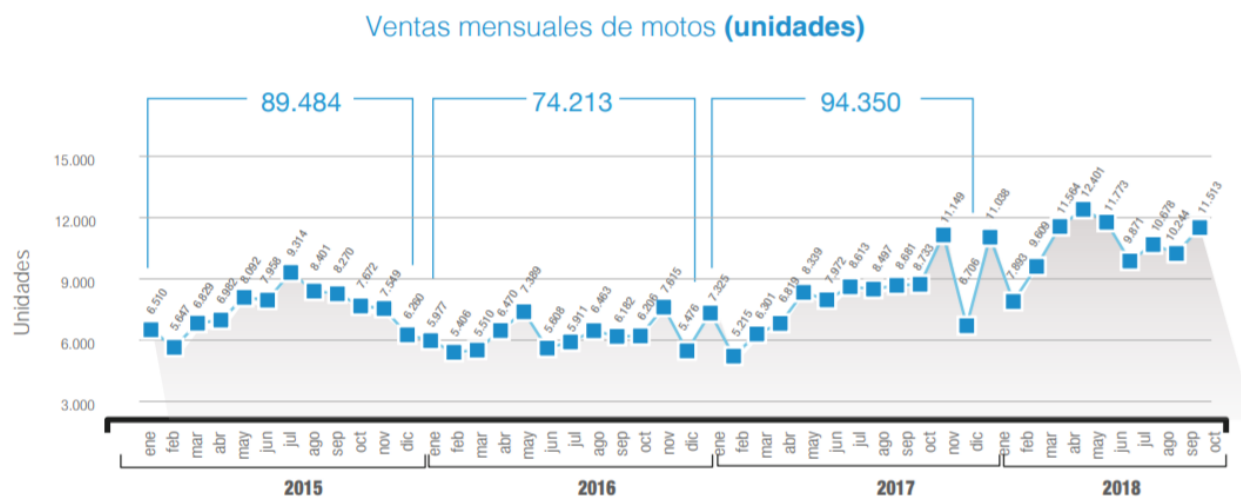
**Figura 12.** Motocicleta MZ ETS 250 año 1970

Fuente: (Stoffregen, 2010)

Por otra parte (Godoy, 2018) afirma que actualmente en América Latina pese a legislaciones ambientales que someten a las motocicletas a condiciones cada vez más rigurosas con respecto a las emisiones de escape y ruido, la relación de compra de este vehículo en proporción a los automóviles en el mercado ecuatoriano es de uno a uno, en contraste con la comercialización en países como Brasil, donde la proporción es de uno a siete, o en el cercano país de Colombia, donde por cada adquisición de un automotor, se demandan de tres a cuatro motocicletas.

### 2.3.2 La motocicleta en el Ecuador

Tomando como referencia los datos proporcionados por el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), la Figura 13 muestra las ventas de motocicletas del año en curso, consolidando a este vehículo como el segundo vehículo de transporte más utilizado por la población; cuyo sistema de ensamblaje en el país data desde inicios del año 2008 a partir de la incorporación de componentes importados, reduciendo de esta manera los costos de producción e incentivando la industria nacional, esto como consecuencia de decretos gubernamentales que habían limitado la importación de este tipo de vehículos; sin embargo se superó mencionado balance negativo al incrementarse su demanda a causa de la eliminación de las salvaguardas y la reducción del IVA del 14% al 12% (Godoy, 2018).



**Figura 13.** Ventas mensuales de motos en Ecuador durante los últimos cuatro años

Fuente: (AEADE, 2018)

### 2.3.3 Rasgos característicos

La motocicleta posee un equilibrio inestable y tiende a estabilizarse dinámicamente mediante las fuerzas centrífugas de las ruedas motrices. Durante una curva, la inclinación compensa mencionadas fuerzas, mientras que la gravedad contribuye a mantener su equilibrio.

Estas condiciones de estabilización implican que el conductor, a diferencia del automóvil, debe ser incluido en cualquier consideración de conducción dinámica, esto tomando en cuenta que este último constituye el 20% del peso total de la motocicleta.

Incluso con el diseño puramente constructivo de la estructura, el piloto juega un papel importante debido a que, al variar las condiciones de carga, la geometría del chasis cambia notablemente como resultado de la deflexión, desplazando al centro de gravedad hacia arriba en relación a la masa aplicada sobre el elemento. Además, las condiciones aerodinámicas y las fuerzas resultantes especialmente en motocicletas de competición han permitido un extenso estudio sobre el diseño de su superficie delantera (Figura 14); las mismas que se ven afectadas incluso por la postura y el traje del piloto (Stoffregen, 2010).



**Figura 14.** Comparación del diseño de superficies delanteras en motocicletas  
Fuente:(Stoffregen, 2010)

Para efectuar mencionado estudio, los cálculos de diseño aerodinámico de la motocicleta parten del análisis de la fuerza aerodinámica, para lo cual se emplea la ecuación 1.

$$Fd = \frac{1}{2} * \rho * Cd * A * V^2$$

**Ecuación 1.** Fuerza aerodinámica  
Fuente:(Cossalter, 2006)



Donde:

$\rho =$  Densidad del aire

$Cd =$  Coeficiente de resistencia aerodinámico

$A =$  Área frontal de la motocicleta

$V =$  Velocidad de avance de la motocicleta

## **2.4 Basculante**

(Chiarello, 2018) hace referencia al término basculante como aquel elemento de la motocicleta que conecta la rueda posterior con el chasis y que además regula el movimiento de este último con respecto al neumático mediante la aplicación de un sistema de suspensión. Si su diseño está enfocado a motocicletas de competición, el desarrollo de todo el sistema de suspensión posterior apunta a maximizar el rendimiento, proporcionando una curva de salida de tracción elevada, sin poner en riesgo el desempeño del neumático durante la carrera.

### **2.4.1 Métodos de fabricación**

#### **a) Mecanizado**

Cada ejemplar es obtenido mediante máquinas-herramientas de control numérico computarizado (CNC) a partir de una pieza en bruto de la aleación deseada mediante el proceso de extracción de viruta. Eventualmente, si la forma es compleja, las distintas partes que forman el ensamble son soldadas entre sí. Esta técnica permite gestionar con gran precisión espesores de pared variables en cada zona del elemento (Figura 15), sin embargo, su costo de producción es bastante elevado, por lo que su utilización está justificada solamente a motocicletas de competición.



**Figura 15.** Basculante de aluminio mecanizado en máquinas CNC

Fuente: (Zodiac, 2018)

### **b) Conformado**

Se trata de un basculante vacío en su interior, caracterizado por brazos de sección hueca y cerrada. Luego se agregan los soportes para el montaje de la rueda mediante soldadura o mediante inserciones fresadas. A su vez, los basculantes conformados se pueden dividir en:

- Tubular o laminado: consiste en tubos con sección transversal rectangular y / o láminas plegadas soldadas entre sí.
- Estampado: obtenido de la unión de 2 o más armazones en forma de "U"
- Hidro conformado: producido por elementos tubulares obtenidos mediante la aplicación de un líquido sometido a elevada presión.

### **c) Fundición**

Generalmente hecho de aleación por fundición en un molde, el mismo que puede ser:

- Fundición completa: obteniendo brazos en forma de U no cerrados, a menudo reforzados por numerosas molduras en el lado abierto que generalmente se coloca hacia adentro para que sea menos visible.
- Fundición hueca: caracterizada por elementos tubulares huecos, bastante similares a las secciones conformadas (Chiarello, 2018).

#### d) Mediante tuberías o estructuras

Obtenido por la unión de varios tubos, en acero o incluso en aleación ligera, soldados entre sí.

#### e) Mixto

Basculante en el que los tubos son el elemento principal, mientras que las placas no solamente proporcionan una superficie donde estos se fijan y ensamblan, sino que se utilizan para acoplar los extremos del basculante en los puntos de soporte de la rueda, así como en la sujeción del chasis; es este el caso de la motocicleta de la firma italiana Bimota, mostrada a detalle en la Figura 16.



**Figura 16.** Basculante mixto motocicleta DB5 Bimota

Fuente: (Chiarello, 2018)

### 2.4.2 Estructura

Dependiendo de su configuración estructural y tomando en cuenta la cantidad de brazos que los componen, los basculantes se dividen en:

#### a) Doble brazo

Son los más comunes y tradicionales; están compuestos por dos brazos cuyos extremos coinciden con el chasis y terminan uno a un lado de la rueda. Tienen la ventaja de ser más fuertes y livianos, además su costo de fabricación es más económico (Sarti, 2013).

## **b) Mono brazo**

Consisten en un solo brazo con una forma de "S", que comienza desde el chasis y generalmente se acopla en el lado izquierdo de la rueda posterior, caracterizándose por una mayor rigidez lateral y una menor rigidez torsional en comparación con la configuración doble brazo. Fabricantes italianos como Ducati y MV Agusta se destacan por su amplio uso en motociclismo. (Chiarello, 2018).

### **2.4.3 Consideraciones de diseño**

#### **a) Rigidez**

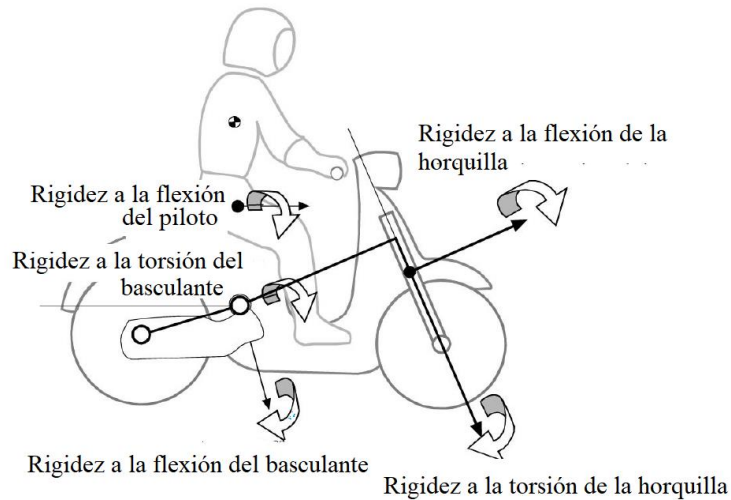
En lo referente al diseño de basculantes, la rigidez juega un papel crítico en la estabilidad de la motocicleta, lo que se traduce a que, tanto el tiempo de respuesta durante las curvas como el equilibrio durante el modo de conducción en zigzag se ven afectados. Por tal razón, es sumamente importante determinar y evaluar las características de rigidez de este elemento durante su fase inicial de diseño, de modo que sea posible prever la incidencia del mismo en el desempeño del prototipo (Smith & Kienhöfer, 2015).

Existen tres tipos de deformaciones que actúan sobre el basculante:

- Flexión vertical
- Flexión lateral
- Flexión torsional

La flexión vertical también puede producir un comportamiento impredecible si el basculante no es lo suficientemente rígido; por lo que se busca maximizar esta rigidez y garantizar su valor máximo en comparación a la del resorte de la suspensión posterior. Por ello Cossalter (2006), considera necesario establecer valores referenciales que oscilan entre (30 kNm/rad – 70

kNm/rad) para la rigidez a la flexión del basculante y (10 kNm/rad – 20 kNm/rad) para la torsional. Los parámetros que influyen en la horquilla de la suspensión delantera también guardan amplia relación con la dinámica de la motocicleta y han sido representados en la Figura 17.



**Figura 17.** Consideraciones de rigidez previo a la fase de diseño

Fuente:(Cossalter, 2006)

Como punto de partida de los cálculos dinámicos se emplea la ecuación 2.

$$V = \sqrt{\tan[\varphi] * g * R}$$

**Ecuación 2.** Velocidad de la motocicleta

Fuente: (Cossalter, 2006)

Donde:

$\varphi$  = Ángulo máximo de inclinación del prototipo

$R$  = Radio de la curva

$g$  = Fuerza de aceleración de la gravedad

Del mismo modo, en la ecuación 3 se detalla la expresión matemática para determinar la fuerza centrífuga que actúa sobre la motocicleta en movimiento.

$$F_c = \frac{m * V^2}{R}$$

**Ecuación 3.** Fuerza centrífuga

Fuente: (Cossalter, 2006)

Como se abarca más adelante, durante el recorrido a través de una curva, se genera una fuerza lateral, cuya representación es la de la ecuación 4.

$$Flat = \frac{p - b}{p} * Fc$$

**Ecuación 4.** Fuerza lateral

Fuente: (Cossalter, 2006)

Donde:

$p =$  *Distancia entre centros*

$b =$  *Distancia entre el punto de contacto de la rueda posterior y el cg*

**b) Peso**

Atendiendo a estas consideraciones, (Molina, 2018) establece que el basculante, al ser un elemento adjunto de la suspensión posterior, es considerado como parte del conjunto de masas no suspendidas de la motocicleta; en tal virtud, cualquier reducción de su peso influye de manera directa en la sensibilidad del sistema, mejorando no solamente la comodidad de manejo sino reduciendo las fuerzas de inercia que influyen sobre los componentes anexos. La modificación de este parámetro brinda además un mejor aprovechamiento de la potencia y par motor del vehículo.

**c) Facilidad de ensamblaje/desmontaje**

En relación con las implicaciones relacionadas con la construcción del basculante para una motocicleta de competición, uno de los principales factores a considerar es la facilidad de montaje y desmontaje del mismo, esto debido a que este elemento está directamente relacionado con las operaciones de sustitución de neumáticos, así como el cambio o ajuste de la cadena de transmisión; por tal motivo, pese a que en esta edición de la competencia no comprende la extracción de la rueda posterior, se ha considerado como un aspecto importante en la fase de diseño. (Molina, 2018).

#### d) Rodamientos

A más de ser rígido, un parámetro decisivo para la calidad de este elemento es la disposición de los rodamientos en el chasis; esto debido a que en caso de un posible excesivo juego, se ve afectada la uniformidad de rodadura de la rueda posterior; en tal virtud (Stoffregen, 2010, p. 318) propone que para minimizar el juego generado y mantener una mínima tasa de desgaste, se recomienda la aplicación de rodamientos de rodillos cónicos.

#### 2.4.4 Conexión con la suspensión/amortiguador

- Directo: La suspensión se acopla directamente al basculante, como en los sistemas de doublecross, cuya configuración consiste en el uso de un elemento amortiguador dispuesto en cada extremo del basculante doble brazo, tal como se ilustra en la Figura 18.



**Figura 18.** Basculante conexión directa con sistema doublecross

Fuente: (Sarti, 2013)

- Articulado: La conexión al basculante es a través de un sistema de palancas y brazos, los cuales permiten tener una respuesta de amortiguación no lineal. Generalmente se utiliza el sistema de apalancamiento para tener una compresión baja del resorte en el tramo inicial del recorrido de la rueda a fin de brindar mayor comodidad al conducir en terreno ondulado,

para posteriormente aumentar gradualmente la compresión del muelle a medida que aumenta el desplazamiento de la misma (Sarti, 2013).

- **Cantilever:** El autor antes citado, menciona que esta configuración consta de un basculante con una estructura triangular adicional que actúa sobre un amortiguador dispuesto horizontalmente, con la facilidad de desempeño tanto en compresión como en extensión; tal como se aprecia en la Figura 19.



**Figura 19.** Conexión sistema Cantilever al basculante

Fuente: (Sarti, 2013)

#### **2.4.5 Ajuste de la tensión de la cadena**

El tensado de la cadena o correa de transmisión se puede realizar de diferentes maneras:

##### **a) Tornillo y placa**

El pasador de la rueda se inserta en una placa que puede ser externa (alojada en una guía del basculante) o interna (se desliza dentro del mismo) que se desplaza hasta el extremo mediante un tornillo que puede empujar o tirar de esta placa (Figura 20), este tipo de regulación se facilita mediante la presencia de muescas de referencia en el basculante (Sarti, 2013).





**Figura 20.** Sistema de ajuste de tornillo y placa

Fuente:(Sarti, 2013)

### b) Cubo excéntrico

El orificio en el eje de la rueda está descentrado con respecto al eje, por lo tanto, solo es posible modificar la tensión de la cadena girando el cubo. Este es el sistema utilizado generalmente en sistemas basculantes de un solo brazo.

### c) Placa espiral

La particularidad de este mecanismo es que aprovecha su forma particular para desplazarse en una sola dirección. La placa se coloca en el pivote de la rueda, que presiona contra el del basculante, haciendo que la rueda se deslice sobre su guía, de modo que se garantice una posición correcta al fijar marcas de posición en pequeños orificios como muestra la Fig 21 (Chiarello, 2018).



**Figura 21.** Sistema de ajuste de placa espiral

Fuente: (Chiarello, 2018)

## 2.5 Sistema de transmisión

En lo que respecta al diseño y adaptación del tren posterior de una motocicleta de competición, la elección del sistema de transmisión es un criterio muy importante previo a la implementación del basculante. Debido a que ambos sistemas se relacionan directamente con el desempeño dinámico del prototipo, se ha optado por la inclusión de la transmisión por cadena, para lo cual el primer factor a considerar es el radio que tendrá la catarina; utilizando la ecuación 5.

$$rc = \frac{pa}{2 * \sin[180^\circ/Zc]}$$

**Ecuación 5.** Radio de la catarina

Fuente:(Cossalter, 2006)

Donde:

$pa =$  Paso de la cadena

$Zc =$  Número de dientes de la catarina

$Zp =$  Número de dientes del piñón

Así mismo para calcular el radio del piñón se emplea la ecuación 6, detallada a continuación:

$$rp = \frac{pa}{2 * \sin[180^\circ/Zp]}$$

**Ecuación 6.** Radio del piñón

Fuente:(Cossalter, 2006)

Una vez determinados matemáticamente los valores tanto el radio del piñón como el de la catarina, el ángulo de la cadena se obtiene mediante la ecuación 7.

$$\eta = \text{ArcSin}\left[\frac{Lc * \sin[\phi] - (rc - rp)}{Lc}\right]$$

**Ecuación 7.** Ángulo de la cadena

Fuente: (Cossalter, 2006)

Donde:

$Lc =$  Longitud desde el centro de la rueda posterior al centro del piñón

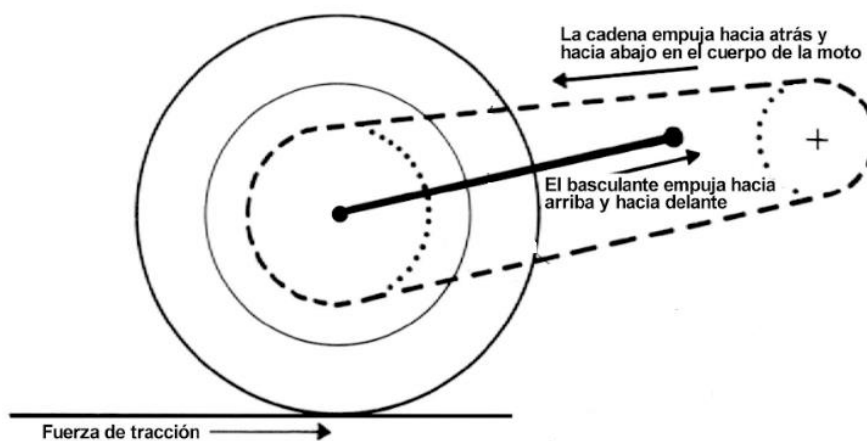
$rc =$  Radio de la catarina

### 2.5.1 Squat y hundimiento

(Foale, 2006) estipula que ambos términos están vinculados a la transferencia de carga en la motocicleta y a su vez interactúan directamente con los cambios de inclinación y altura de su masa suspendida. El hundimiento (dive) es un movimiento de cabeceo hacia la parte delantera, causado generalmente por la acción de frenado; mientras que el squat hace referencia a la rotación hacia atrás como consecuencia de la aceleración y las fuerzas aerodinámicas. En el ámbito práctico, esta tasa de compresión en la suspensión posterior se ve compensada total o parcialmente por las reacciones producidas en el basculante, cadena y demás propiedades geométricas de la motocicleta.

### 2.5.2 Transmisión por cadena

Dinámicamente, la cadena de transmisión tira el conjunto de la motocicleta hacia atrás durante su funcionamiento, sin embargo, estas fuerzas son completamente compensadas por el empuje hacia adelante ejercido por el basculante, tal como lo muestra la Figura 22 (Foale, 2006).

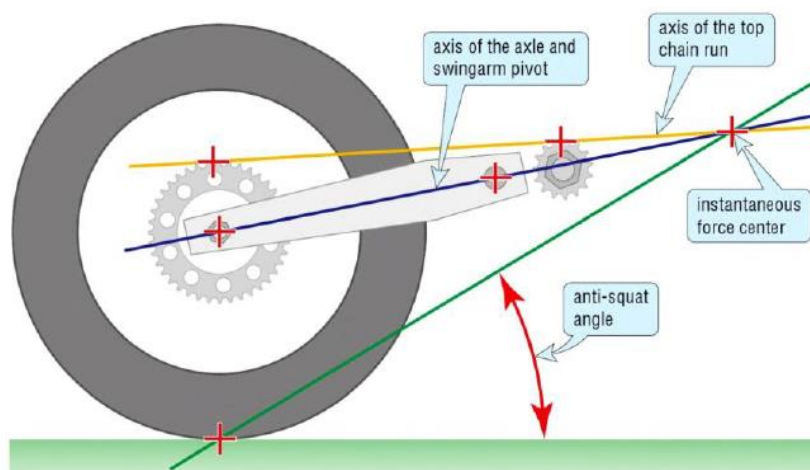


**Figura 22.** Fuerzas sobre el basculante a causa de la transmisión por cadena

Fuente: (Foale, 2006)

Cuando la suspensión tiende a comprimirse más allá de su posición horizontal, tanto el extremo delantero de la cadena como el basculante apuntarán a la parte inferior; en esta condición,

es el tirón de la cadena el que provoca un efecto anti-squat; mientras que la fuerza del basculante genera una acción opuesta. Para establecer el efecto pro o anti-squat se toma como referencia la Figura 23; en la cual se determina un centro instantáneo que se interseca con las proyecciones en paralelo de las líneas de acción de la cadena y el basculante; cuya concurrencia se considera como el punto donde confluyen las fuerzas combinadas de ambos elementos (Foale, 2006).



**Figura 23.** Proyección de líneas de fuerza del basculante y cadena

Fuente: (Thede & Parks, 2010)

## 2.6 Sistema de suspensión posterior

En el inicio de la era de las motocicletas no existía un sistema de absorción de impactos entre la rueda posterior y la estructura, esto debido a que el basculante estaba fijo y la única forma de aumentar el confort del ocupante eran los resortes que sujetaban el asiento. Sin embargo, a lo largo de los años, en paralelo con el desarrollo tecnológico en el desempeño del motor, se han desarrollado varias soluciones innovadoras al sistema de suspensión (Chiarello, 2018).

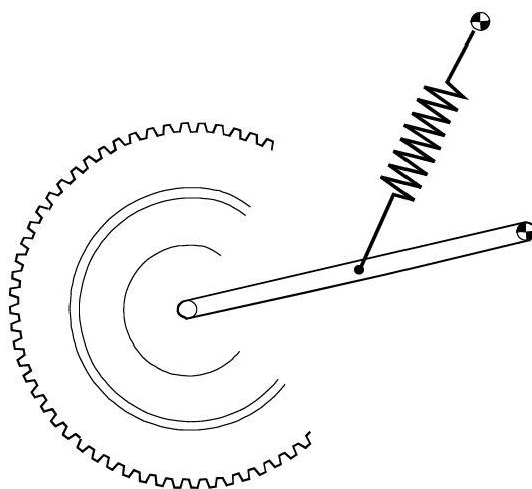
### 2.6.1 Suspensiones Mono y Dual shock

Ambos mecanismos se clasifican en función del número de resortes y elementos de amortiguación utilizados. El sistema dual shock (dos conjuntos de muelles amortiguadores) era el

único empleado en los inicios del motociclismo, sin embargo, en la actualidad el sistema Mono shock introducido por Yamaha, es sin duda el más extendido a nivel mundial.

#### a) **Basculante clásico**

Como lo detalla (Chiarello, 2018), este mecanismo utiliza una suspensión dual-shock junto con un basculante de doble brazo. Sus puntos fuertes son la simplicidad de su construcción, el mayor control de la amortiguación y la reducción del sobrecalentamiento de los amortiguadores al ubicarlos alejados del sistema de escape (Fig. 24). La principal desventaja, es el riesgo de generar giros del basculante debido al diferente comportamiento de los dos amortiguadores.



**Figura 24.** Suspensión posterior clásica

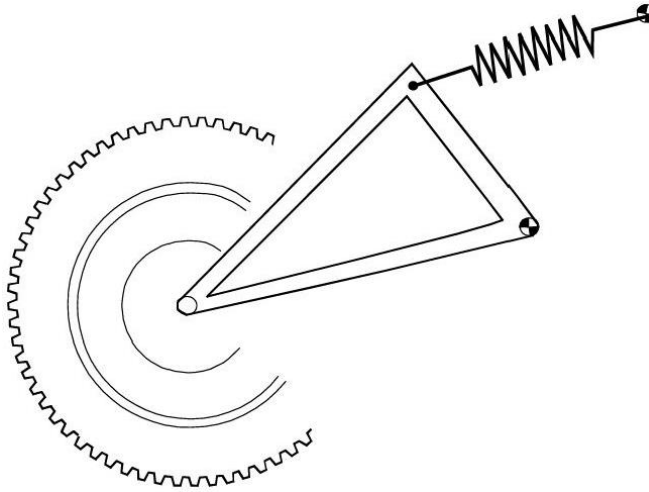
Fuente: (Cossalter, 2006)

#### b) **Basculante Cantilever**

Esta variante cuenta con un basculante de estructura triangular (Fig. 25), capaz de generar un brazo de palanca adecuado para el conjunto de amortiguación por medio del sistema mono-shock

Esta configuración simplifica la calibración del amortiguador, aumentando de manera considerable la rigidez torsional y de flexión; así también, cualquier par generado por la posición

de anclaje del amortiguador también se elimina, esto debido a que se encuentra en el mismo eje con respecto a la rueda. Por último, pero no menos importante, el sistema antes citado reduce la masa no suspendida (Chiarello, 2018).



**Figura 25.** Suspensión posterior Cantilever

Fuente: (Cossalter, 2006)

### 2.6.2 Rigidez reducida y comportamiento del sistema de suspensión

Para analizar el comportamiento de los distintos tipos de suspensión posterior, se toma como referencia el parámetro de rigidez del resorte ( $K_s$ ); por tal motivo, para determinar su índice de compresión mediante el método experimental se lo somete a la acción de una fuerza hidráulica, evaluada mediante la ecuación 8.

$$F_h = P_h * r_e^2 * \pi * g$$

**Ecuación 8.** Fuerza de la prensa hidráulica

Fuente:(Thede & Parks, 2010)

Donde:

$P_h$  = Presión de la prensa hidráulica

$r_e$  = Radio del émbolo de la prensa

Una vez obtenido tal parámetro, con el objetivo de determinar la constante elástica del muelle se recurre a la ecuación 9.

$$k = Fh/xa$$

**Ecuación 9.** Constante elástica del muelle

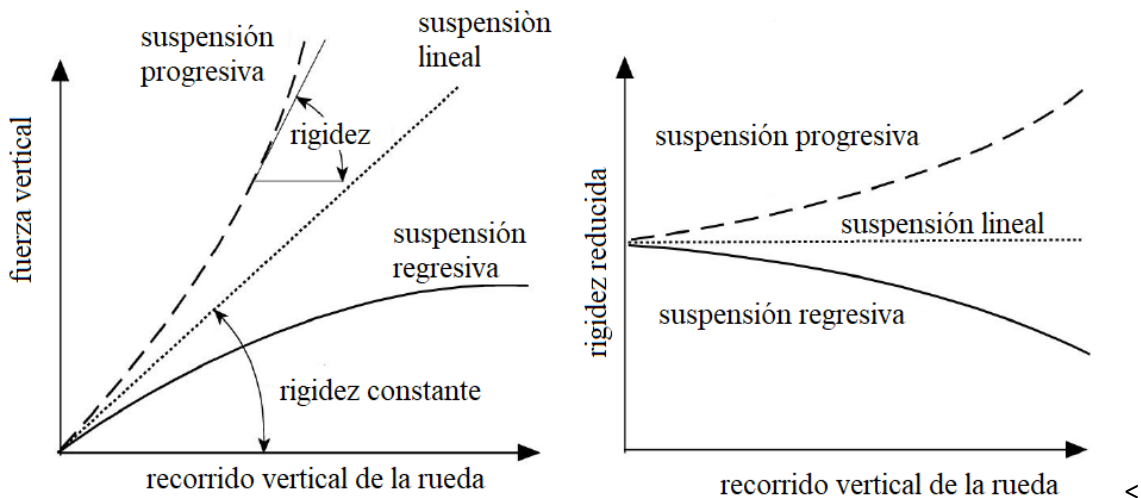
Fuente: (Thede & Parks, 2010)

Donde:

$xa =$  Desplazamiento lineal del amortiguador

El valor de rigidez particular ( $K_w$ ) que se obtiene con la regulación de la suspensión (índice elástico medido en la rueda en lugar de donde el resorte se fija a la articulación) se denomina de rigidez reducida. Para la representación gráfica de las posibles tendencias de rigidez reducida en función del desplazamiento de la rueda, mostradas en la Fig.26 se resaltan tres posibles comportamientos del sistema de suspensión posterior.

- Lineal: si su valor permanece constante
- Progresivo: cuando la curva tiene un aumento de pendiente cada vez mayor;
- Regresivo o decreciente: la rigidez reducida disminuye a medida que aumenta el recorrido vertical (Chiarello, 2018).



**Figura 26.** Fuerza elástica y rigidez frente al desplazamiento vertical de la rueda

Fuente: (Cossalter, 2006)

El sistema de suspensión progresivo es el más usado en la actualidad, destacándose:

- Un aumento de la rigidez junto con un aumento de la deformación, permite mantener una frecuencia más o menos constante de los modos de vibración en el plano a medida que aumenta la masa de la motocicleta.
- Buena absorción de pequeñas irregularidades en la superficie de la pista gracias a la suavidad de la suspensión en el tramo inicial, así como un buen soporte en caso del desplazamiento elevado de la rueda (Cossalter, 2006).

Con el paso de los años, la tendencia al diseño e implementación de sistemas de suspensión posterior mediante bieletas ha ido en aumento, tal es el caso de las marcas mundiales como Kawasaki, Honda y Suzuki; las cuales no han escatimado esfuerzos en lo que al mejor desempeño de la motocicleta y amplio confort de conducción se refiere.

Al tratarse del mecanismo de suspensión, este se rige al principio de Euler, cuyo cálculo se basa en la ecuación 10.

$$r_1 e^{i\theta_1} + r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} - r_4 e^{i\theta_4} = 0$$

**Ecuación 10.** Principio de Euler

Fuente:(Norton, 2016, p. 166)

Donde:

$r_{1,2,3,4}$  = Longitudes escalares de los eslabones

$\theta_{1,2,3,4}$  = Ángulos de los eslabones

Para simplificar los cálculos se sustituyen los valores de longitud de los eslabones por constantes numéricas siguiendo la identidad de Freudenstein (Ecuación 11).

$$k_1 = \frac{r_4}{r_3}, \quad k_2 = \frac{r_4}{r_2}, \quad k_3 = \frac{(r_1)^2 - (r_2)^2 - (r_3)^2 - (r_4)^2}{2 r_2 r_3}$$

**Ecuación 11.** Identidad de Freudenstein

Fuente: (Norton, 2016, p. 167)



Las variaciones de los sistemas de suspensión posterior progresiva más utilizados en la actualidad se detallan a continuación:

**a) Sistema Pro Link**

Conecta un extremo del conjunto de amortiguación a la estructura (chasis) y el otro a la bieleta; una de sus variantes, también patentada por Honda, es la Unit-Pro-Link, en la que el amortiguador no está conectado al chasis sino a un soporte y se coloca también dentro del espacio disponible en el basculante.

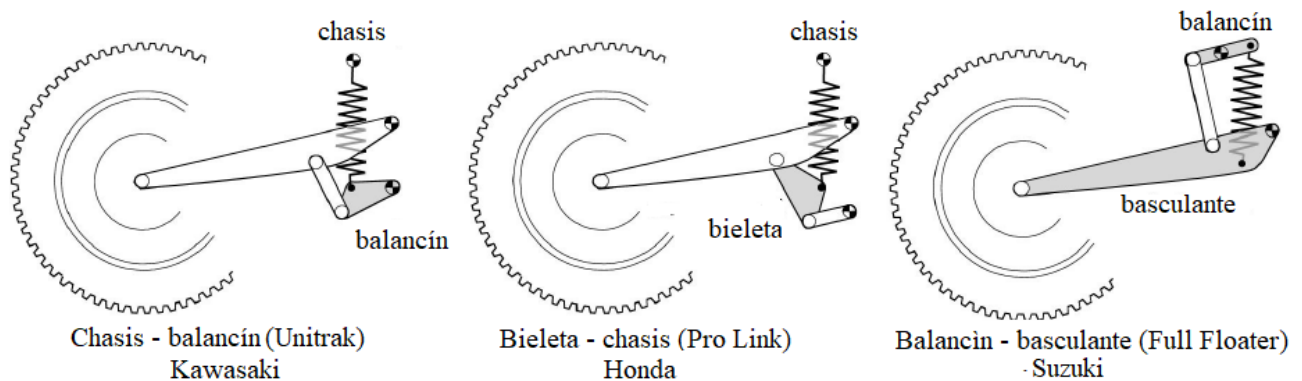
**b) Sistema Unitrack**

Diseñado y manufacturado con la tecnología de Kawasaki, su configuración es similar al sistema antes expuesto, con la diferencia de que facilita la conexión con el balancín en lugar de la bieleta.

**c) Sistema Full Floater**

Desarrollado en Japón por Suzuki, es un sistema particular donde el amortiguador se ubica entre el balancín y el basculante, sin tener un vínculo directo con el chasis (Chiarello, 2018).

El detalle gráfico de cada una de ellas se ilustra en la Fig. 27.



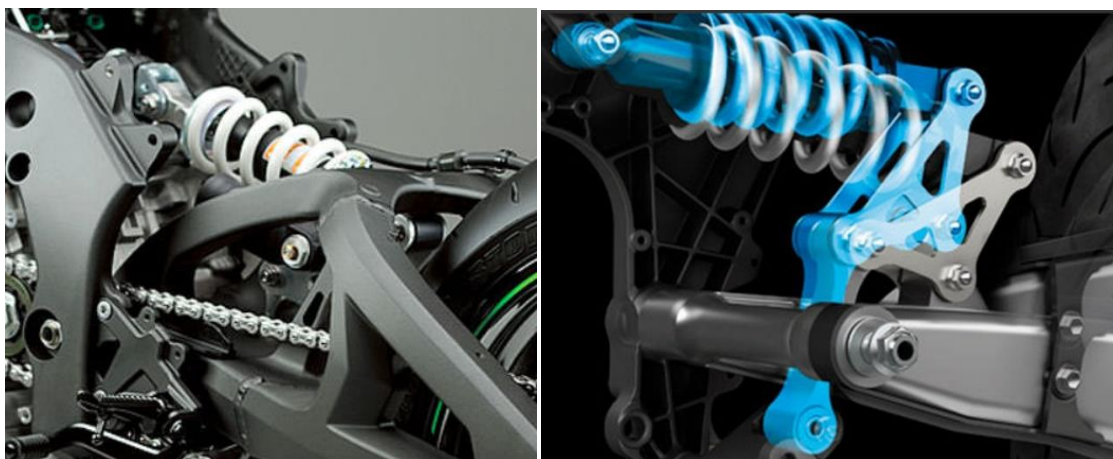
**Figura 27.** Configuración de distintos sistemas de suspensión con bieletas

Fuente: (Cossalter, 2006)

### 2.6.3 Sistema de suspensión Back Link

Desarrollado por la compañía japonesa Kawasaki, el sistema Back-link se define como un innovador sistema de suspensión posterior, cuya unidad de amortiguación (resorte y amortiguador) así como su enlace o sistema de bieletas se colocan por encima del basculante (Fig. 28). Tal disposición aporta una serie de ventajas, entre las que se engloban:

- Un mayor agarre en carretera (especialmente en el último tercio del recorrido del amortiguador).
- Un desempeño de la suspensión mucho más blando desde su recorrido inicial hasta la mitad del mismo.
- Mayor estabilidad en curvas, así como un aporte a la centralización de la masa debido a su posición casi horizontal (Kawasaki, 2016).



**Figura 28.** Disposición del amortiguador y bieletas en el sistema Back Link

Fuente: (Kawasaki, 2016)

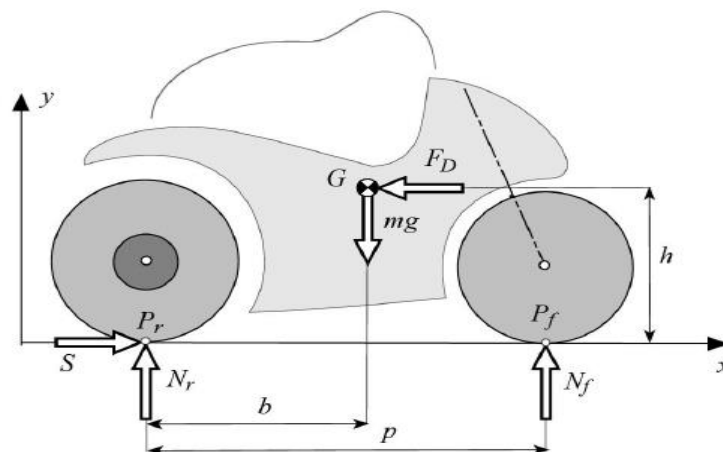
En comparación con el tradicional sistema Uni-Trak del mismo Kawasaki, que ubica al amortiguador en una posición vertical, con la suspensión Back Link, este se sitúa muy cerca del centro de gravedad de la motocicleta, y como no hay ningún varillaje ni subsistema que sobresalga

bajo el área ocupada por el basculante, se libera una gran cantidad de espacio, lo que se traduce en un notable aligeramiento en el peso del prototipo. Se considera a este sistema ingenioso, debido a que el amortiguador ha sido ensamblado en una posición lejana a las altas temperaturas originadas en el sistema de escape, evitando de esta manera posibles afectaciones a su estructura interna (Kawasaki, 2016).

## 2.7 Geometría y dinámica de la motocicleta

### 2.7.1 Posicionamiento del centro de gravedad de la motocicleta

Su ubicación en la motocicleta ejerce un efecto sobre el desempeño dinámico del prototipo. Debido a que el motor es considerado como uno de los elementos más pesados del conjunto (cerca del 25% del total másico), su posición guarda directa relación con la variación longitudinal y vertical del centro de gravedad, ilustrado en la Fig. 29 (Cossalter, 2006).



**Figura 29.** Fuerzas que actúan sobre la motocicleta

Fuente: (Cossalter, 2006)

### 2.7.2 Principales fuerzas que actúan sobre la motocicleta

Las fuerzas verticales, así como las reacciones entre los neumáticos y el plano de la pista se ven representadas por las siguientes expresiones matemáticas:

Para determinar la carga estática sobre la rueda posterior se aplica la Ecuación 12

$$N_{sr} = \frac{(p - b) * m * g}{p}$$

**Ecuación 12.** Carga estática sobre la rueda posterior

Fuente: (Cossalter, 2006)

Donde:

$p$  = Distancia entre centros

$b$  = Distancia entre el punto de contacto de la rueda posterior y el C.G

$m$  = Masa total de la motocicleta incluyendo al piloto

Para la condición de aceleración, se emplean los principios dinámicos expuestos en las posteriores ecuaciones:

$$a = g * \frac{b}{h}$$

**Ecuación 13.** Aceleración limitada por el vuelco sin resistencia del aire

Fuente: (Cossalter, 2006)

Donde:

$h$  = Altura desde el punto de contacto de las ruedas al centro de gravedad

$$S = m * a$$

**Ecuación 14.** Fuerza de tracción en rueda posterior

Fuente: (Cossalter, 2006)

$$N_{tr} = S * \frac{h}{p}$$

**Ecuación 15.** Transferencia de carga dinámica sobre la rueda posterior

Fuente: (Cossalter, 2006)

$$N_r = N_{sr} + N_{tr}$$

**Ecuación 16.** Carga dinámica sobre la rueda posterior por la aceleración

Fuente: (Cossalter, 2006)

En el estado de desaceleración y curva, el comportamiento de la motocicleta varía en determinados aspectos, razón por la cual las ecuaciones que rigen estas condiciones son:

$$Ff = \mu * Nsr$$

**Ecuación 17.** Fuerza de frenado

Fuente: (Cossalter, 2006)

Donde:

$\mu$  = *Coficiente de rozamiento de la pista*

$$Nfr = Nsr - Ff * \frac{h}{p}$$

**Ecuación 18.** Carga dinámica sobre la rueda posterior en desaceleración

Fuente: (Cossalter, 2006)

$$Nrc = Nsr + Fd * \frac{h}{p} * \text{Cos}[\varphi]$$

**Ecuación 19.** Carga dinámica sobre la rueda posterior en curva

Fuente: (Cossalter, 2006)

Donde:

$Fd$  = *Fuerza aerodinámica*

$\varphi$  = *Ángulo máximo de inclinación de la motocicleta*

## CAPÍTULO III




### PROCESO DE DISEÑO

#### 3.1 Diseño conceptual

En este apartado se estudian las alternativas de diseño, analizando las características individuales de cada elemento planteado, incluyendo sus ventajas y desventajas al implementarse en la motocicleta, las propuestas se describen en la Tabla 4; tomando en cuenta la reglamentación técnica provista por la competencia.

**Tabla 4**

*Alternativas de diseño para el basculante*

N <sup>o</sup> 1: Mono brazo	N <sup>o</sup> 2: Brazo doble	N <sup>o</sup> 3: Brazo doble tubular
		
	<b>Características</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura asimétrica</li> <li>• Eje sujeto al basculante por uno solo de sus extremos</li> <li>• Empleado por Honda en motocicletas deportivas y de competición</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura simétrica</li> <li>• Dotado de una estructura triangular en ambos brazos a fin de aumentar la rigidez a la flexión.</li> <li>• Forjados en Acero o Aluminio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura simétrica</li> <li>• Dotado de una estructura tubular</li> <li>• Fabricados de Acero</li> </ul>
	<b>Ventajas</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidad de ajuste de la cadena</li> <li>• Cambio fácil de rueda trasera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es el más usado por los fabricantes debido a su mayor fiabilidad en el desempeño.</li> <li>• Aportan más rigidez con menor peso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidad de adquisición del material</li> <li>• Logran aportan gran rigidez</li> <li>• Menor costo de fabricación</li> </ul>
	<b>Desventajas</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presentan momentos giroscópicos que tienen un efecto negativo en la maniobrabilidad de la moto.</li> <li>• Su uso es más estético</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad en el desmontaje</li> <li>• Mayor costo de Fabricación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de peso por ser una estructura de Acero</li> </ul>

**Tabla 5***Evaluación de alternativas previo al diseño del basculante*

<b>Parámetro a Evaluar</b>	<b>Alternativa N<sup>o</sup>1</b>	<b>Alternativa N<sup>o</sup> 2</b>	<b>Alternativa N<sup>o</sup> 3</b>
Diseño	++	++	++
Construcción	+	+	++
Ensamble	+	+	++
Fiabilidad	++	++	++
Posibilidad de modificaciones	-	-	+
Peso	+	+	+
Facilidad de manufactura	+	+	+
Capacidad de reciclado	-	-	-
Estética	++	+	-

++: Excelente; +: Bueno; -: Regular; --: Deficiente

Evaluando las características de la Tabla 5 y la bibliografía inherente a motocicletas de competición, se ha seleccionado al basculante de brazo doble con estructura tubular como la mejor opción para la implementación en el prototipo.

### **3.2 Criterios generales de diseño**

#### **3.2.1 Elementos proporcionados por la competencia**

Los promotores de la competencia junto con los auspiciantes proporcionan a todos los equipos participantes un kit con diversos componentes, cuyo uso e instalación es obligatoria en el ejemplar de motocicleta a desarrollar, entre los cuales se destacan:

##### **a) Neumático y aro posterior**

Los neumáticos y aros son suministrados por parte de la Organización tanto para la rueda delantera como posterior, y son de tipo seco para uso en pista. La figura 30 muestra el ensamble de ambos elementos, previo al montaje del conjunto.



**Figura 30.** Neumático y aro posterior

A continuación, en la Tabla 6 se detallan los parámetros técnicos del neumático suministrado, cuyos datos son el punto de partida para el diseño general de la motocicleta.

**Tabla 6**

*Características del neumático posterior*

<b>Neumático Dunlop MotorSport</b>	
Modelo	KR133
Código	115/70 R17
Diámetro desde el central	601.3 mm
Ancho	115.1 mm
Peso	3.9 kg
Presión en frío	1.8 – 1.9 bar
Presión en caliente	2.1 – 2.5 bar

Fuente:(Motostudent, 2017)

De la misma manera, la Tabla 7 muestra las especificaciones del aro posterior a utilizar

**Tabla 7**

*Características del aro posterior*

<b>Aro OZ Motorbike</b>	
Rin	17 in
Peso	3.05 kg

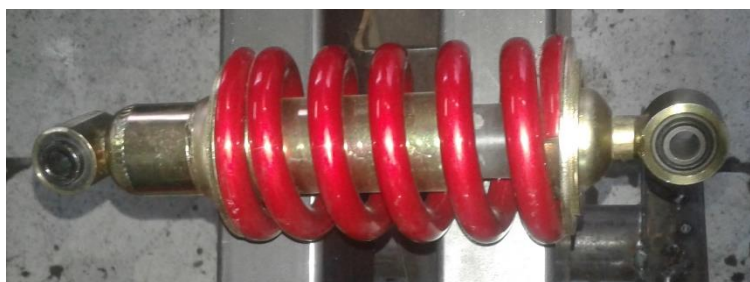
Fuente:(Motostudent, 2017)



### 3.3 Elementos adquiridos

#### 3.3.1 Amortiguador

Con el objetivo de cumplir con la reglamentación de la competencia y obtener una suspensión posterior que garantice un correcto desempeño ante cualquier condición de pista; una vez analizadas sus características de rigidez y demás restricciones dimensionales, se ha optado por adquirir un amortiguador Shineray, mostrado en la Fig. 31.



*Figura 31.* Amortiguador Shineray

Las especificaciones técnicas de mencionado elemento, se puntualizan en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Características del amortiguador*

<b>Amortiguador Shineray</b>	
Longitud	260 mm
Numero de espiras	6

#### 3.3.2 Kit de arrastre

El conjunto formado por piñón, catarina y cadena es considerado como el que mayor influencia ejerce sobre la potencia y torque de la motocicleta, esto debido a que son los elementos encargados de transmitir el par desde el motor hacia la rueda motriz.

En la Figura 32 se muestra el conjunto Catarina y porta catarina a ensamblar en el sistema de transmisión de la motocicleta, ambos elementos vienen incluidos en el aro de la rueda posterior.



*Figura 32.* Catarina y porta catarina

**Tabla 9**

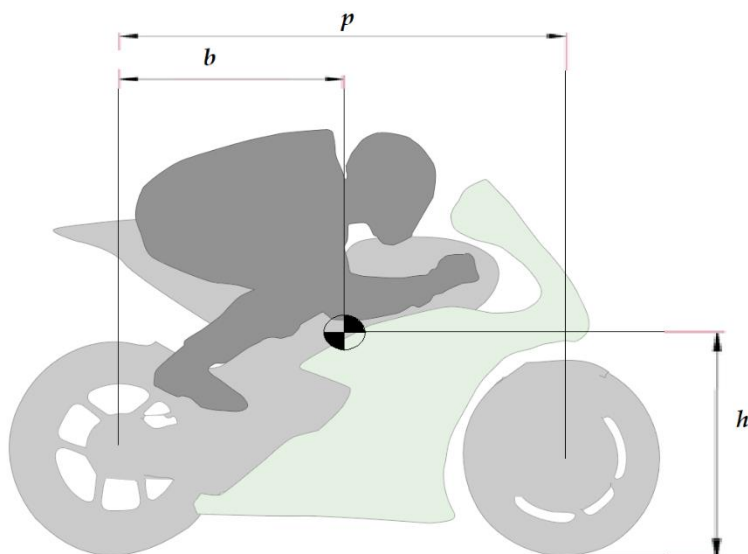
*Características del kit de arrastre*

<b>Kit de arrastre</b>	
Catarina	Z: 39
Piñón	Z: 13
Relación de transmisión	3:1
Paso	5/8 in Código 520

### **3.4 Parámetros geométricos de la motocicleta**

La geometría de la motocicleta está formada por una serie de parámetros con gran relevancia e influencia sobre el comportamiento cinemático y dinámico de la motocicleta; por tal motivo, no es práctico examinar los efectos producidos bajo un solo criterio geométrico, sino que es importante analizarlos como un solo conjunto, esto a causa de la permanente interacción entre ellos.

En la Figura 33 se muestran las principales cotas que rigen a una motocicleta de competición, las cuales han sido consideradas como punto de partida para futuros cálculos.



**Figura 33.** Geometría básica la motocicleta

Tras una amplia investigación bibliográfica y luego de efectuar un bosquejo preliminar del prototipo, se ha optado por emplear las consideraciones geométricas expuestas en la Tabla 10.

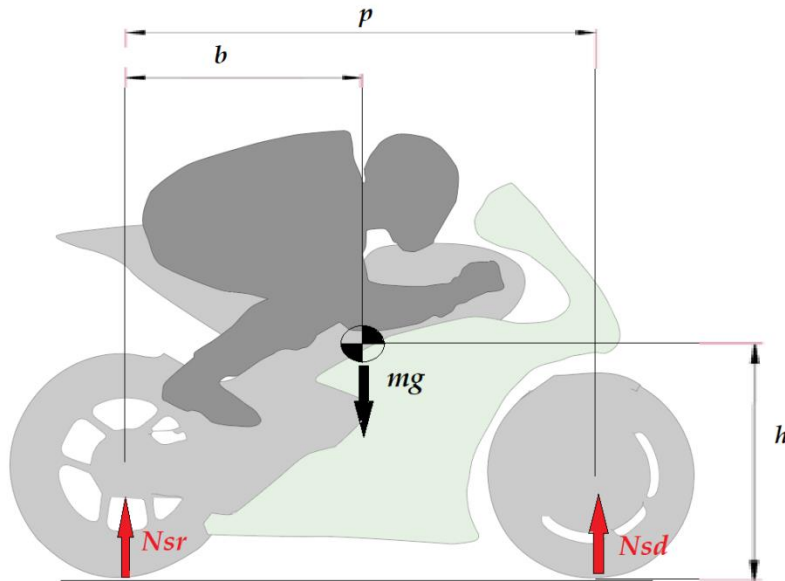
**Tabla 10**

*Datos de partida para el prototipo de motocicleta*

Denominación	Descripción	Magnitud
$p$	Distancia entre centros	1330 mm
$b$	Distancia entre el punto de contacto de la rueda posterior y el centro de gravedad	722 mm
$h$	Altura desde el punto de contacto de las ruedas al centro de gravedad	560 mm
$m_m$	Masa de la motocicleta	140 kg
$m_p$	Masa del piloto	70 kg
$R_r$	Radio de la rueda posterior	300 mm
$g$	Fuerza de gravedad	9.81 m/s <sup>2</sup>

### 3.5 Cálculos aplicados al conjunto de la motocicleta

El peso total de la motocicleta se distribuye para ambos puntos de apoyo como son las ruedas, en relación directa con el desplazamiento vertical y horizontal del centro de gravedad, tal como lo muestra el gráfico de la Figura 34.



**Figura 34.** Cargas estáticas sobre la motocicleta

Con el objetivo de determinar la carga estática ejercida sobre la rueda posterior se toma como referencia los datos de la Tabla 10, de modo que como primer punto se establezca la masa total del conjunto motocicleta.

#### 3.5.1 Masa total de la motocicleta y piloto

Para calcular este parámetro, se efectúa la suma de la masa del prototipo con la del piloto, como se muestra a continuación:

$$m = m_m + m_p$$

$$m = 140 \text{ kg} + 70 \text{ kg}$$

$$\mathbf{m = 210 \text{ kg}}$$

### 3.5.2 Carga estática sobre la rueda posterior

Tomando como referencia la ecuación 12, que permite relacionar los conceptos geométricos previamente expuestos y determinar la estática de la rueda posterior, el resultado obtenido es el siguiente:

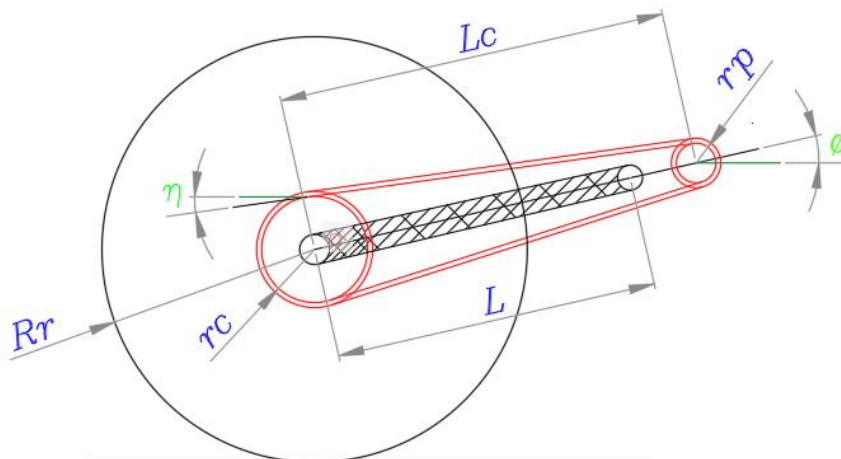
$$N_{sr} = \frac{(p - b) * m * g}{p}$$

$$N_{sr} = \frac{(1330 \text{ mm} - 722 \text{ mm}) * 210 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2}{1330 \text{ mm}}$$

$$N_{sr} = 941.76 \text{ N}$$

### 3.6 Geometría de la cadena y kit de arrastre

Un elemento que está relacionado con el basculante es la cadena, cuyo tirón está compuesto por una tensión constante, a la que se agrega una tensión fluctuante generada por la oscilación del mismo brazo oscilante. Además, la distancia entre los puntos de tangencia de la cadena con la catarina y el piñón motriz cambia con relación al ángulo de rotación del basculante. Su dimensionamiento se lo detalla en la Figura 35.



**Figura 35.** Geometría de la cadena

Previo al cálculo del radio efectivo del piñón y la catarina, se ha tomado como datos iniciales aquellos valores obtenidos de la medición de los elementos del kit de arrastre, así como del bosquejo preliminar del basculante, de modo que han sido representados en la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Datos de partida del kit de arrastre y basculante*

Denominación	Descripción	Magnitud
$L_c$	Longitud del centro de la rueda posterior al centro del piñón	635 mm
$L$	Longitud del basculante	551 mm
$\phi$	Ángulo de inclinación del basculante	12°
$Z_c$	Numero de dientes catarina	39
$Z_p$	Numero de dientes del piñón	13
$pa$	Paso de la cadena	15.875

### 3.6.1 Radio de la catarina

Para la obtención de este parámetro se aplican los principios matemáticos de la ecuación 5

$$rc = \frac{pa}{2 * \text{Sin}[180^\circ/Zc]}$$

$$rc = \frac{15.875 \text{ mm}}{2 * \text{Sin}[180^\circ/39]}$$

$$rc = 98.643 \text{ mm}$$

### 3.6.2 Radio del piñón

De manera similar, la ecuación 6 permite determinar del radio del piñón a utilizar.

$$rp = \frac{pa}{2 * \text{Sin}[180^\circ/Zp]}$$

$$rp = \frac{15.875 \text{ mm}}{2 * \text{Sin}[180^\circ/13]}$$

$$rp = 33.168 \text{ mm}$$

### 3.6.3 Ángulo de la cadena

Para el cálculo de este parámetro se emplean los resultados ya obtenidos y se los reemplaza en la ecuación 7.

$$\eta = \text{ArcSin}\left[\frac{Lc * \text{Sin}[\phi] - (rc - rp)}{Lc}\right]$$

$$\eta = \text{ArcSin}\left[\frac{635 * \text{Sin}[12^\circ] - (98.643 \text{ mm} - 33.168 \text{ mm})}{635 \text{ mm}}\right]$$

$$\eta = 6.016^\circ$$

## 3.7 Cálculos en el basculante

Para su cálculo, se han tomado como referencia las condiciones más desfavorables a las que puede estar sometido este elemento; por tanto, las circunstancias a utilizar en este estudio son:

- Aceleración en recta
- Deceleración por acción del freno posterior
- Recorrido por curva

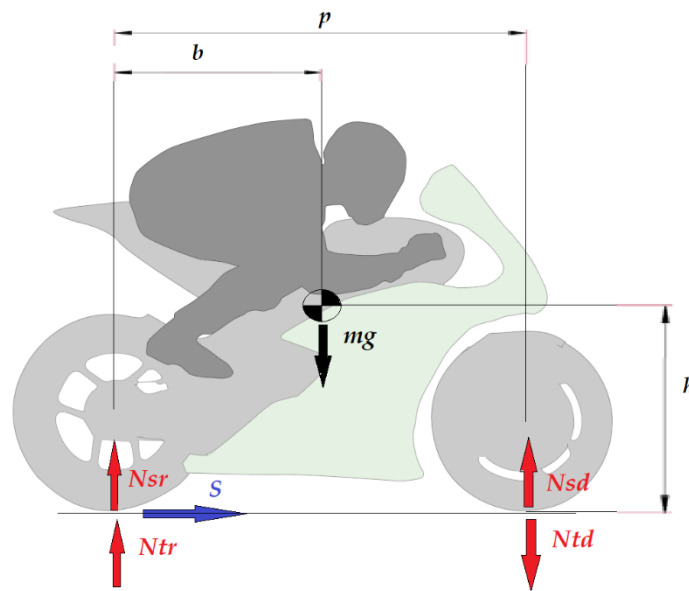
### 3.7.1 Cargas producidas por aceleración en recta

La aceleración de la motocicleta en recta, crea una transferencia de carga en la rueda posterior, la cual se suma a la carga estática antes calculada (Figura 36). Para este análisis, se determinan las cargas que actúan sobre el basculante durante tal condición, como son la fuerza de tracción de la rueda, fuerza de la cadena, la misma transferencia de carga así como los distintos

momentos que se generan por el efecto de estas reacciones. Para lo cual se toman en cuenta las siguientes consideraciones iniciales:

- **Superficie de desplazamiento:** Pista de carreras con pendiente cero (0).
- **Fuerza aerodinámica:** Sin cargas aerodinámicas por transitar a velocidad baja.
- **Aceleración:** Limitada por vuelco o Wheeling.

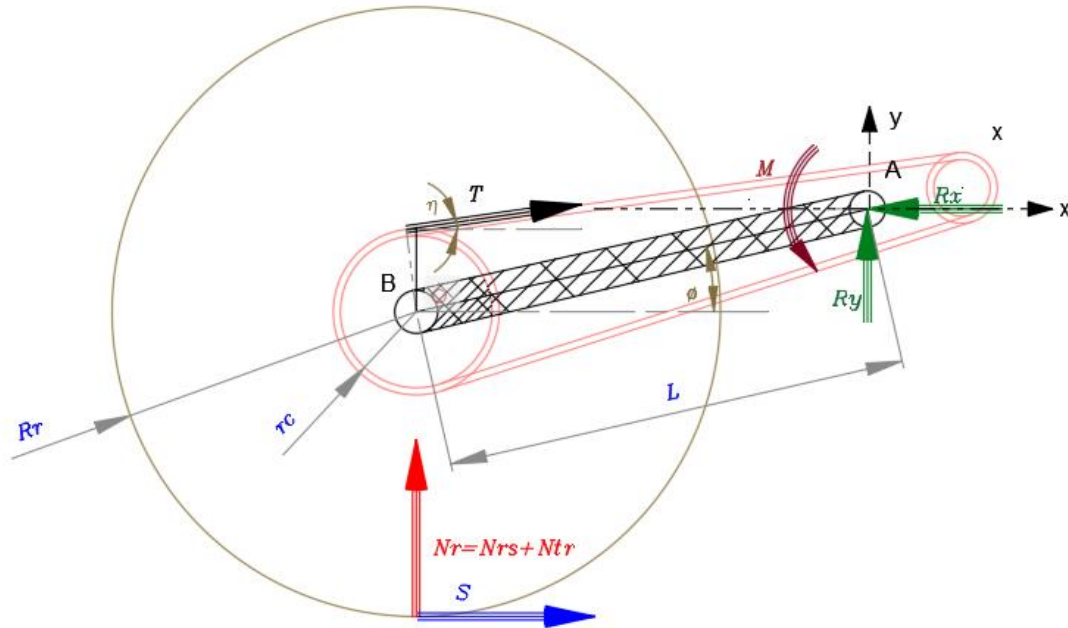
La condición limitante del término Wheeling se logra cuando la carga en la rueda delantera se reduce a cero; razón por la cual, a medida que la velocidad de avance aumenta gradualmente, la aceleración a la que comienza este fenómeno, disminuye. Este es el caso, ya que el movimiento de giro también se ve favorecido por la fuerza de arrastre, cuyo valor aumenta con la velocidad (Cossalter, 2006).



**Figura 36.** Cargas por aceleración sobre la motocicleta



Al realizar el diagrama de cuerpo libre del basculante (Figura 37), es posible identificar su geometría, así como las cargas que se aplican sobre este elemento durante su normal desempeño.



**Figura 37.** DCL de las cargas producidas por aceleración en recta sobre el basculante.

**a) Aceleración limitada por el vuelco sin resistencia del aire**

Para aplicar este principio matemático y fenómeno físico, se recurre a la ecuación 13

$$a = g * \frac{b}{h}$$

$$a = 9.81 \text{ m/s}^2 * \frac{722 \text{ mm}}{560 \text{ mm}}$$

$$a = 12.649 \text{ m/s}^2$$

**b) Fuerza de tracción en la rueda posterior**

De forma similar, una vez determinada la fuerza de aceleración, se emplea la ecuación 14 para establecer la fuerza de tracción sobre la rueda:

$$S = m * a$$

$$S = 210 \text{ kg} * 12.649 \text{ m/s}^2$$

$$\mathbf{S = 2656.06 N}$$

**c) Transferencia de carga dinámica sobre la rueda posterior**

Para determinar tal parámetro se requiere la relación entre los términos de la Ecuación 15

$$Ntr = S * \frac{h}{p}$$

$$Ntr = 2656.058 \text{ N} * \frac{560 \text{ mm}}{1330 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{Ntr = 1118.34 N}$$

**d) Carga dinámica sobre la rueda posterior por la aceleración**

De la misma manera, para determinar la carga estática total se efectúa la suma entre la carga estática y la transferencia de carga obtenida previamente, tal como lo indica la Ecuación 16

$$Nr = Nsr + Ntr$$

$$Nr = 941.76 \text{ N} + 1118.34 \text{ N}$$

$$\mathbf{Nr = 2060.1 N}$$

**e) Fuerza de la cadena**

Un factor importante es el cálculo de la fuerza de la cadena, pese a ser parte del sistema de transmisión tiene gran influencia en la dinámica de la motocicleta

$$T = S * \frac{Rr}{rc} *$$

$$T = 2656.058 \text{ N} * \frac{300 \text{ mm}}{98.643 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{T = 8077.75 N}$$

**f) Reacciones sobre el anclaje del basculante producidas por la aceleración**

Se efectúa la sumatoria de fuerzas de las fuerzas producidas en cada eje del basculante durante la condición de aceleración.

$$\sum F_x = 0$$

$$-R_x + T * \cos[\eta] + S = 0$$

$$R_x = T * \cos[\eta] + S$$

$$R_x = (8077.751 \text{ N})\cos[6.016^\circ] + 2656.058 \text{ N}$$

$$\mathbf{R_x = 10689.3 \text{ N}}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-R_y + Nr + T * \sin[\eta] = 0$$

$$R_y = Nr + T * \sin[\eta]$$

$$R_y = 2060.1 \text{ N} + (8077.751 \text{ N})\sin[6.016^\circ]$$

$$\mathbf{R_y = 2906.65 \text{ N}}$$

**g) Momento generado por la carga estática  $Nsr$**

$$M_{Nsr} = Nsr(L * \cos[\phi])$$

$$M_{Nsr} = 941.76 \text{ N}(551\text{mm} * \cos[12^\circ])$$

$$\mathbf{M_{Nsr} = 507.57 \text{ kNm}}$$

**h) Momento generado por la transferencia de carga  $Ntr$**

Este momento tiende a comprimir la suspensión

$$M_{Ntr} = Ntr(L * \cos[\phi])$$

$$M_{Ntr} = 1118.34 \text{ N}(551\text{mm} * \text{Cos}[12^\circ])$$

$$\mathbf{M_{Ntr} = 602.74 \text{ kNm}}$$

**i) Momento generado por la fuerza motriz S**

Se genera un momento opuesto, el cual tiende a descomprimir la suspensión

$$M_S = S(Rr + L * \text{Sin}[\phi])$$

$$M_S = 2656.058 \text{ N}(300\text{mm} + 551\text{mm} * \text{Sin}[12^\circ])$$

$$\mathbf{M_S = 1101.09 \text{ kNm}}$$

**j) Momento generado por la fuerza de la cadena T**

La cadena en la condición de aceleración contribuye a comprimir la suspensión

$$M_T = T(rc - L * \text{Sin}[\phi - \eta])$$

$$M_T = (8077.751 \text{ N})(98.643 \text{ mm} - 551\text{mm} * \text{Sin}[12^\circ - 6.016^\circ])$$

$$\mathbf{M_T = 332.786 \text{ kNm}}$$

**k) Momento elástico generado por el movimiento de suspensión**

$$M_V = M_{Ntr} - M_S + M_T$$

$$M_V = Ntr(L * \text{Cos}[\phi]) - S(Rr + L * \text{Sin}[\phi]) + T(rc - L * \text{Sin}[\phi - \eta])$$

$$M_V = 602.74 \text{ kNm} - 1101.09 \text{ kNm} + 332.786 \text{ kNm}$$

$$\mathbf{M_V = -165.568 \text{ kNm}}$$

### 1) Momento total sobre el basculante

Finalmente, para establecer un valor total, se efectúa una sumatoria de los momentos previamente calculados

$$M = M_V + M_{Nsr}$$

$$M = -165.568 \text{ kNm} + 507.57 \text{ kNm}$$

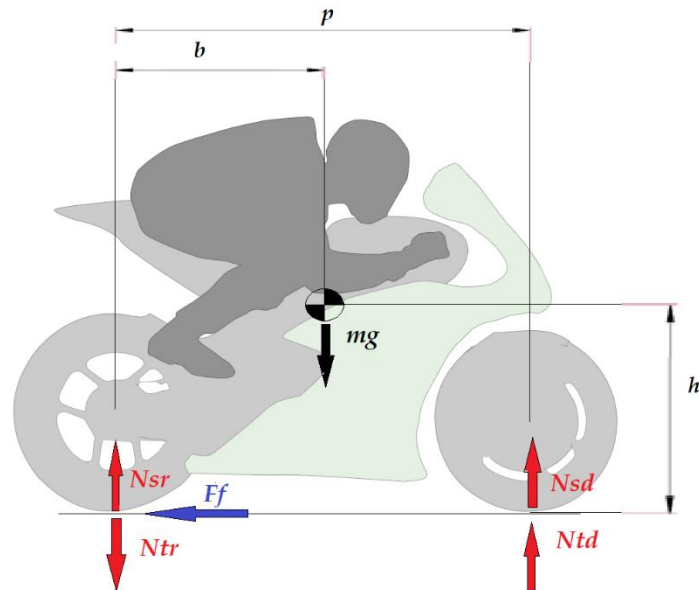
$$M = 342 \text{ kNm}$$

### 3.7.2 Cargas producidas en recta por freno posterior

La seguridad en la conducción requiere, además de un eficiente sistema de frenos, que el conductor pueda juzgar la distancia de parada requerida en diversas condiciones y frene de la mejor manera, utilizando todas las posibilidades del sistema de frenos y, en particular, las del freno posterior.

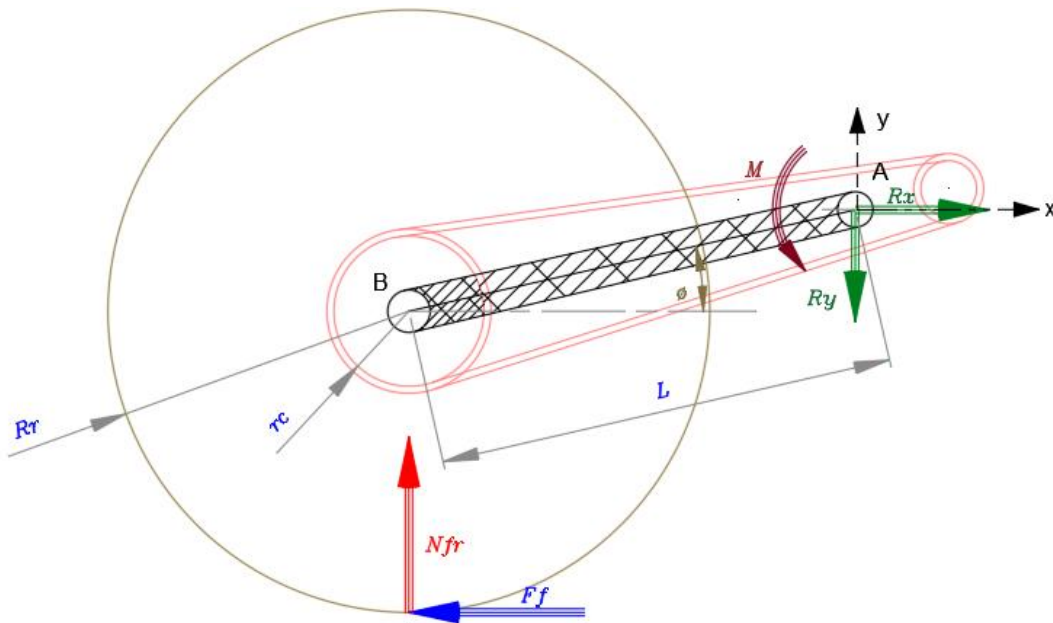
Al usar el freno posterior existe una disminución de carga sobre la rueda ubicada en esta posición, tal como se lo visualiza en la figura 38. Por tal motivo, este estudio también abarca el cálculo de las cargas que se aplican sobre el basculante en el momento en el cual el piloto usa el freno posterior hasta detener completamente la motocicleta. Para lo cual se han tomado las siguientes condiciones iniciales:

- **Superficie de desplazamiento:** Pista de carreras con pendiente cero (0).
- **Coefficiente de Rozamiento:** Pista seca, con un factor de rozamiento  $\mu = 1$  (Robinson, 1994, p. 32)
- **Fuerza aerodinámica:** Valores despreciables.



**Figura 38.** Cargas por desaceleración sobre la motocicleta

Se efectúa el diagrama de cuerpo libre del mecanismo donde se detallan las cargas y momentos que se desarrollan sobre el basculante en mencionada condición, tal como se indica en la Figura 39.



**Figura 39.** DCL de las cargas producidas por desaceleración en recta sobre el basculante

**a) Fuerza de frenado**

Una vez accionado el freno, se aplica la Ecuación 17, la cual relaciona la carga estática ejercida sobre la rueda posterior con el factor de rozamiento de la pista.

$$Ff = \mu * Nsr$$

$$Ff = 1 * 941.76 N$$

$$\mathbf{Ff = 941.76 N}$$

**b) Carga dinámica sobre la rueda posterior**

Tomando como referencia la Ecuación 18, se determina la carga dinámica sobre la rueda en la condición de desaceleración

$$Nfr = Nsr - Ff * \frac{h}{p}$$

$$Nfr = 941.76 N - 941.76 N * \frac{560mm}{1330mm}$$

$$\mathbf{Nfr = 545.229 N}$$

**c) Reacciones sobre anclaje del basculante**

$$\sum Fx = 0$$

$$-Ff + Rx = 0$$

$$Rx = Ff$$

$$\mathbf{Rx = 941.76 N}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$Nfr - Ry = 0$$

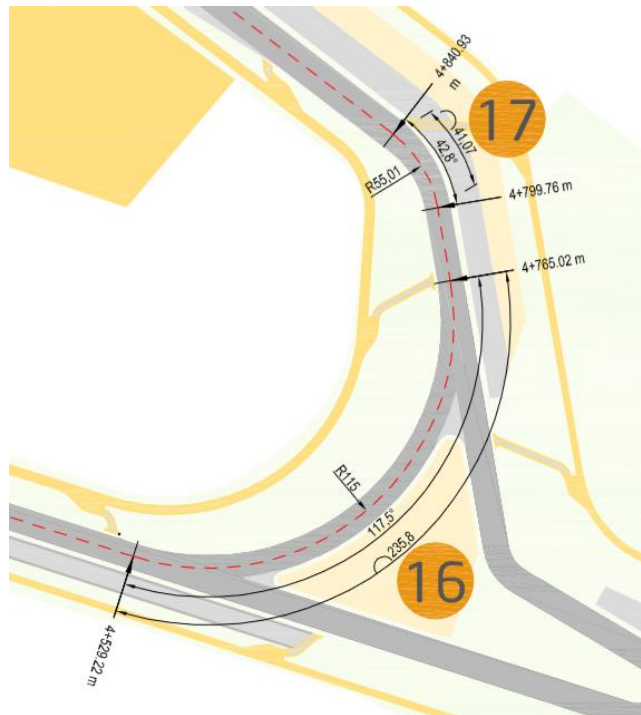
$$R_y = Nfr$$

$$R_y = 545.229 \text{ N}$$

### 3.7.3 Cargas producidas por recorrido de curva

En este apartado se detallan las cargas a las cuales está sometido el basculante cuando la motocicleta se desplaza por una curva a velocidad constante. En las condiciones iniciales que se han tomado como referencia, se destaca el énfasis sobre la curva más pronunciada de la pista de Aragón sobre la cual se desplazó el prototipo STOLIKA.

- **Superficie de desplazamiento:** Pista de carreras con pendiente cero.
- **Radio de la Curva:** Curva #16 de la pista MotorLand R=115 m; Ilustrado con mayor detalle en la figura 40 (MotorLand, 2011).



**Figura 40.** Curva N° 16 de la pista MotorLand

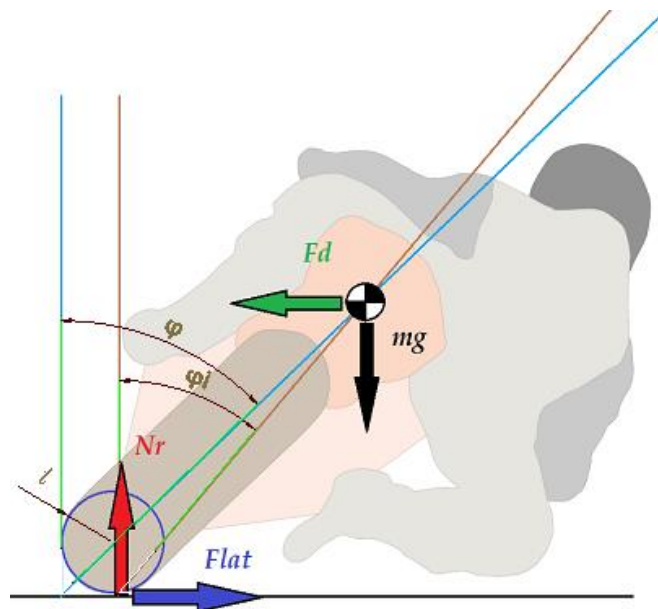
Fuente: (MotorLand, 2011)



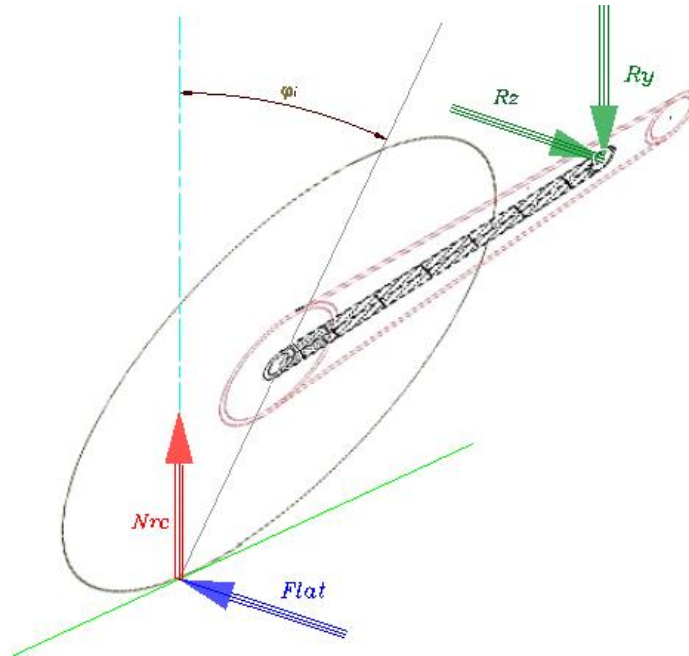
- **Ángulo de máximo de inclinación de la motocicleta:**  $\varphi_{max} = 55^\circ$  (Cossalter, 2006, p. 129)
- **Velocidad:** Limitada únicamente por ángulo de inclinación y radio de curvatura.
- **Fuerza aerodinámica:** Presente por el desplazamiento de la motocicleta según se indica en la Tabla 12.

**Tabla 12***Datos para cálculo de fuerza aerodinámica*

Denominación	Descripción	Magnitud
$\rho$	Densidad del aire a 987 mbar y 20°C (Cossalter, 2006, p. 91)	1.167 kg/m <sup>3</sup>
A	Área frontal de la motocicleta considerado para una motocicleta Superbike (Cossalter, 2006, p. 93)	0.3 m <sup>2</sup>
Cd	Coefficiente aerodinámico de arrastre (Cossalter, 2006, p. 91)	0.8

**Figura 41.** Cargas por recorrido de curva sobre la motocicleta

Una vez realizado el diagrama de cuerpo libre, se han ilustrado las cargas aplicadas sobre el basculante, tomando como referencia el plano longitudinal de la motocicleta, como lo muestra la Figura 42.



**Figura 42.** DCL de las cargas producidas en el recorrido de curva sobre el basculante

#### a) Velocidad de la motocicleta

En términos dinámicos, la velocidad de la motocicleta se la obtiene aplicando los principios expuestos en la Ecuación 2.

$$V = \sqrt{\tan[\varphi] * g * R}$$

$$V = \sqrt{\tan[55^\circ] * 9.81 \text{ m/s}^2 * 115\text{m}}$$

$$V = 40.139 \text{ m/s} \approx 144.5 \text{ km/h}$$

#### b) Fuerza aerodinámica

Una vez calculado tal parámetro, la fuerza dinámica se la determina con la Ecuación 1.

$$Fd = \frac{1}{2} * \rho * Cd * A * V^2$$

$$Fd = \frac{1}{2} * 1.167 \text{ kg/m}^3 * 0.8 * 0.3 \text{ m}^2 * (40.139 \text{ m/s})^2$$

$$\mathbf{Fd = 225.628 N}$$

**c) Fuerza centrífuga**

$$Fc = \frac{m * V^2}{R}$$

$$Fc = \frac{210 \text{ kg} * (40.139 \text{ m/s})^2}{115 \text{ m}}$$

$$\mathbf{Fc = 2942.13 N}$$

**d) Carga dinámica sobre la rueda posterior**

Utilizando la Ecuación 19, se determina la carga dinámica ejercida sobre la rueda posterior en la condición de curva,

$$Nrc = Nsr + Fd * \frac{h}{p} * \text{Cos}[\varphi]$$

$$Nrc = 941.76 \text{ N} + (225.628 \text{ N}) \frac{560\text{mm}}{1330\text{mm}} * \text{Cos}[55^\circ]$$

$$\mathbf{Nrc = 996.25 N}$$

**e) Fuerza lateral**

$$Flat = \frac{p - b}{p} * Fc$$

$$Flat = \frac{1330\text{mm} - 722\text{mm}}{1330\text{mm}} * 2942.13 \text{ N}$$

$$\mathbf{Flat = 1344.973 N}$$

**f) Reacciones sobre el anclaje del basculante**

$$\Sigma Fx = 0$$

$$\mathbf{Rx = 0}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$-Ry + Nrc = 0$$

$$Rcy = 996.25 N$$

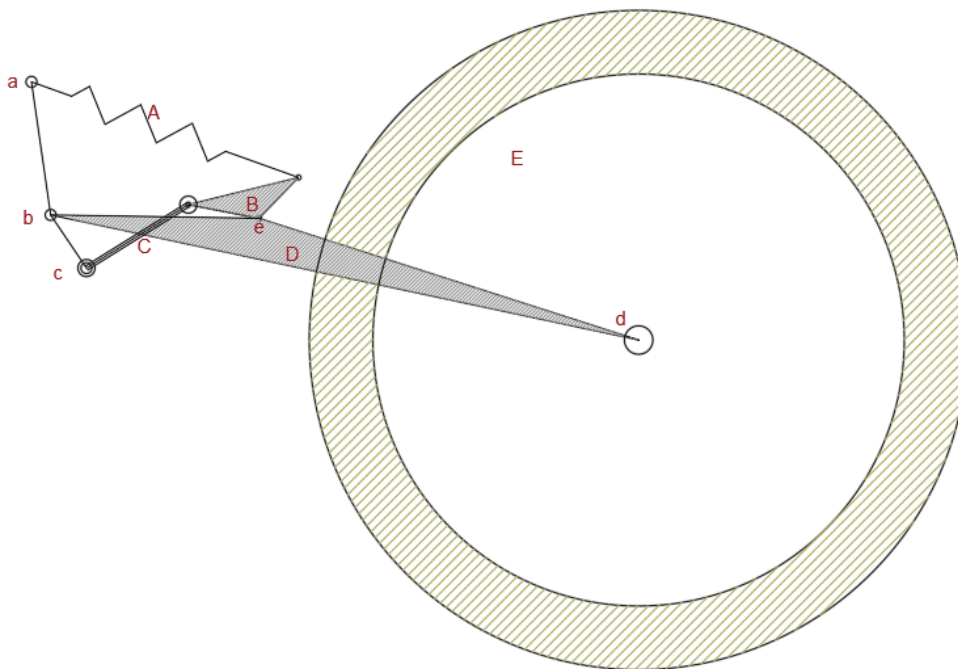
$$\sum Fz = 0$$

$$Rz - Flat = 0$$

$$Rz = 1344.973 N$$

### 3.8 Geometría y cálculos del mecanismo de la suspensión posterior

Se toman en cuenta la disposición de los elementos de la suspensión posterior, como el amortiguador, balancín y los tres puntos de anclajes en el chasis del prototipo. Tal como se lo ha representado en la Figura 43.



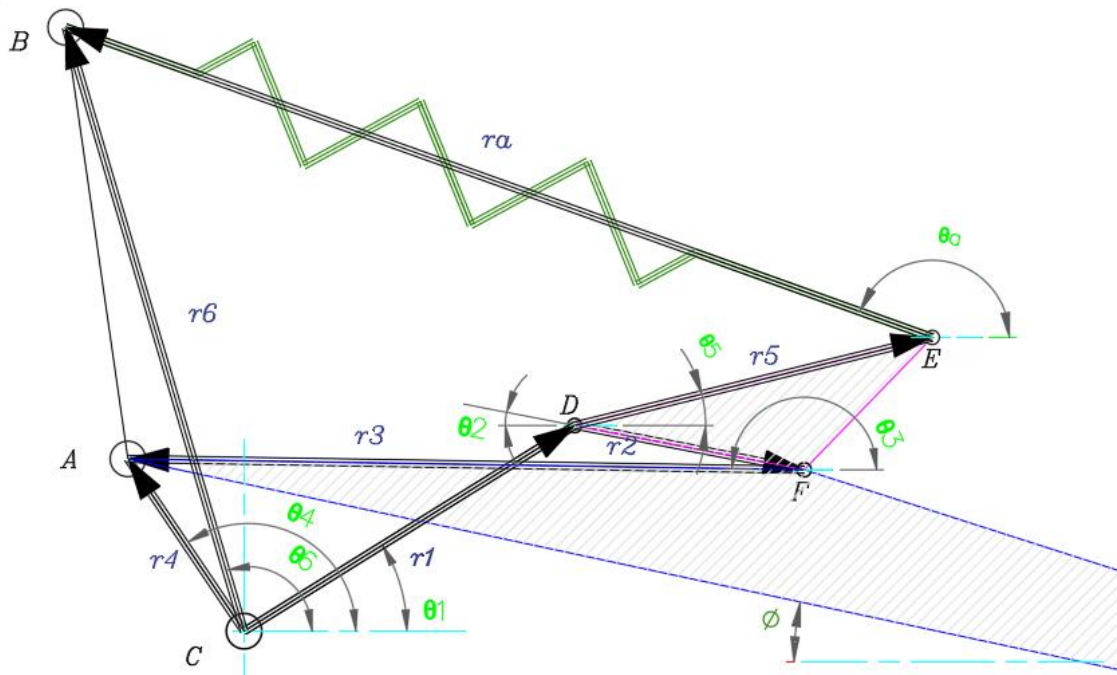
*Figura 43.* Mecanismo de la suspensión posterior

La Tabla 13 muestra en detalle los elementos que forman parte del diseño del sistema de suspensión Back link propuesto previamente.

**Tabla 13**  
*Elementos de la suspensión posterior*

Denominación	Descripción
A	Amortiguador
B	Balancín
C	Varilla articulada
D	Basculante
E	Rueda posterior
a	Anclaje del amortiguador al chasis
b	Anclaje del basculante al chasis
c	Anclaje de la varilla articulada al chasis
d	Unión de la rueda con el basculante
e	Unión del balancín al basculante

El dimensionamiento del mecanismo se aprecia en la Figura 44



**Figura 44.** Diagrama del completo mecanismo de la suspensión posterior

Los datos geométricos obtenidos en el bosquejo del mecanismo se exponen en la Tabla 14

**Tabla 14**

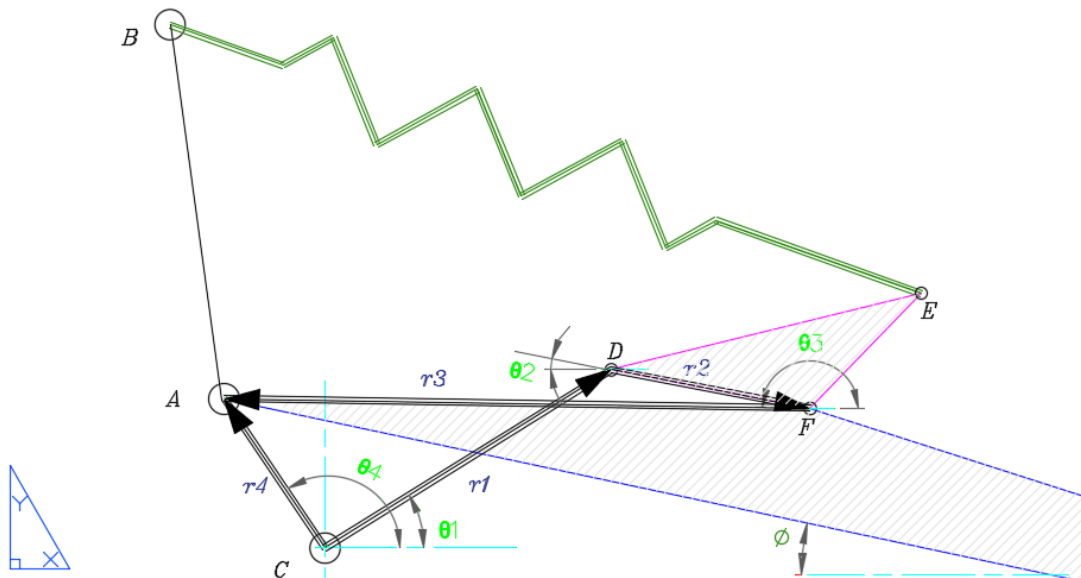
*Datos geométricos del mecanismo de la suspensión posterior*

Valores constantes		Valores variables
$r1$	110 mm	$y$
$r2$	66 mm	$x$
$r3$	191.06 mm	$ra$
$r4$	58.65 mm	$\phi$
$r5$	104 mm	$\theta_1$
$r6$	177.765 mm	$\theta_2$
$\theta_4$	124.013°	$\theta_3$
$\theta_6$	106.47°	$\theta_5$
		$\theta_a$

Para el cálculo de posición y desplazamiento del mecanismo de la suspensión se divide en dos mecanismos para facilitar el cálculo, cuya primera configuración se detalla en la Figura 45.

### 3.8 Cálculos del Sistema de Suspensión

#### 3.8.1 Posición y desplazamiento del primer mecanismo



**Figura 45.** Diagrama del primer mecanismo de cuatro barras

- Ecuación de cierre

$$r_1 + r_2 + r_3 - r_4 = 0$$

- Aplicando Ecuación de Euler

$$r_1 e^{i\theta_1} + r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} - r_4 e^{i\theta_4} = 0$$

Donde:  $e^{i\theta} = \text{Cos}[\theta] + i \text{Sin}[\theta]$

$$r_1 (\text{Cos} [\theta_1] + i \text{Sin}[\theta_1]) + r_2 (\text{Cos} [\theta_2] + i \text{Sin}[\theta_2]) + r_3 (\text{Cos} [\theta_3] + i \text{Sin}[\theta_3]) \\ - r_4 (\text{Cos} [\theta_4] + i \text{Sin}[\theta_4]) = 0$$

$$\text{Ecuación 1 } r_1 \text{Cos} [\theta_1] + r_2 \text{Cos} [\theta_2] + r_3 \text{Cos} [\theta_3] - r_4 \text{Cos} [\theta_4] = 0$$

$$\text{Ecuación 2 } r_1 \text{Sin}[\theta_1] + r_2 \text{Sin}[\theta_2] + r_3 \text{Sin}[\theta_3] - r_4 \text{Sin}[\theta_4] = 0$$

- Sumando al cuadrado ecuación 1 y 2 para eliminar  $\theta_1$

$$\rightarrow (r_1)^2 = (r_4 \text{Cos} [\theta_4] - r_2 \text{Cos} [\theta_2] - r_3 \text{Cos} [\theta_3])^2 + (r_4 \text{Sin}[\theta_4] - r_2 \text{Sin}[\theta_2] \\ - r_3 \text{Sin}[\theta_3])^2$$

$$\rightarrow (r_1)^2 = (r_2)^2 + (r_3)^2 + (r_4)^2 + 2 r_2 \text{Cos} [\theta_2] r_3 \text{Cos} [\theta_3] - 2 r_2 \text{Cos} [\theta_2] r_4 \text{Cos} [\theta_4] \\ - 2 r_3 \text{Cos} [\theta_3] r_4 \text{Cos} [\theta_4] + 2 r_2 \text{Sin} [\theta_2] r_3 \text{Sin}[\theta_3] \\ - 2 r_2 \text{Sin} [\theta_2] r_4 \text{Sin}[\theta_4] - 2 r_3 \text{Sin} [\theta_3] r_4 \text{Sin} [\theta_4]$$

- Usando identidades trigonométricas

$$\rightarrow (r_1)^2 = (r_2)^2 + (r_3)^2 + (r_4)^2 + 2 r_2 r_3 \text{Cos}[\theta_2 - \theta_3] - 2 r_2 r_4 \text{Cos}[\theta_2 - \theta_4] \\ - 2 r_3 r_4 \text{Cos}[\theta_3 - \theta_4]$$

$$\rightarrow \cos[\theta_2 - \theta_3] = \frac{(r_1)^2 - (r_2)^2 - (r_3)^2 - (r_4)^2}{2 * r_2 * r_3} + \frac{r_4}{r_3} \cos[\theta_2 - \theta_4] + \frac{r_4}{r_2} \cos[\theta_3 - \theta_4]$$

- Aplicando la ecuación de Freudenstein

Donde:

$$k_1 = \frac{r_4}{r_3}, \quad k_2 = \frac{r_4}{r_2}, \quad k_3 = \frac{(r_1)^2 - (r_2)^2 - (r_3)^2 - (r_4)^2}{2 r_2 r_3}$$

$$\rightarrow \cos[\theta_2 - \theta_3] = k_3 + k_2 \cos[\theta_2 - \theta_4] + k_1 \cos[\theta_3 - \theta_4]$$

- Resolviendo

$$\begin{aligned} &\rightarrow \cos[\theta_2] \cos[\theta_3] + \sin[\theta_2] \sin[\theta_3] \\ &= k_3 + k_1 (\cos[\theta_2] \cos[\theta_4] + \sin[\theta_2] \sin[\theta_4]) + k_2 \cos[\theta_3 - \theta_4] \\ &\rightarrow k_3 + k_2 * \cos[\theta_3 - \theta_4] \\ &= \cos[\theta_2] (\cos[\theta_3] - k_1 \cos[\theta_4]) + \sin[\theta_2] (\sin[\theta_3] - k_1 \sin[\theta_4]) \end{aligned}$$

Donde:

$$\cos[\theta_2] = \frac{1 - \left(\tan\left[\frac{\theta_2}{2}\right]\right)^2}{1 + \left(\tan\left[\frac{\theta_2}{2}\right]\right)^2} ; \quad \sin[\theta_2] = \frac{2 * \tan\left[\frac{\theta_2}{2}\right]}{1 + \left(\tan\left[\frac{\theta_2}{2}\right]\right)^2}$$

- Reemplazando

$$\rightarrow k_3 + k_2 \cos[\theta_3 - \theta_4]$$

$$\begin{aligned} &= \left( \frac{1 - \left(\tan\left[\frac{\theta_2}{2}\right]\right)^2}{1 + \left(\tan\left[\frac{\theta_2}{2}\right]\right)^2} \right) (\cos[\theta_3] - k_1 \cos[\theta_4]) + \left( \frac{2 * \tan\left[\frac{\theta_2}{2}\right]}{1 + \left(\tan\left[\frac{\theta_2}{2}\right]\right)^2} \right) (\sin[\theta_3] \\ &- k_1 \sin[\theta_4]) \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
&\rightarrow (k_3 + k_2 \cos[\theta_3 - \theta_4]) \left( 1 + \left( \tan\left[\frac{\theta_2}{2}\right] \right)^2 \right) \\
&= \left( 1 - \left( \tan\left[\frac{\theta_2}{2}\right] \right)^2 \right) (\cos[\theta_3] - k_1 \cos[\theta_4]) + \left( 2 * \tan\left[\frac{\theta_2}{2}\right] \right) (\sin[\theta_3] \\
&\quad - k_1 \sin[\theta_4])
\end{aligned}$$

- Resolviendo

$$\begin{aligned}
&\rightarrow ((k_3 + k_2 * \cos[\theta_3 - \theta_4]) + (\cos[\theta_3] - k_1 \cos[\theta_4])) \left( \tan\left[\frac{\theta_2}{2}\right] \right)^2 \\
&\quad - 2(\sin[\theta_3] - k_1 * \sin[\theta_4]) \left( \tan\left[\frac{\theta_2}{2}\right] \right) - \cos[\theta_3] + k_1 \cos[\theta_4] + k_3 \\
&\quad + k_2 \cos[\theta_3 - \theta_4] = 0
\end{aligned}$$

- Aplicando la Ecuación General

$$\text{Donde: } A = -\cos[\theta_3] + k_1 * \cos[\theta_4] + k_3 + k_2 \cos[\theta_3 - \theta_4]$$

$$B = -2(\sin[\theta_3] - k_1 * \sin[\theta_4])$$

$$C = k_3 + k_2 * \cos[\theta_3 - \theta_4] + \cos[\theta_3] - k_1 \cos[\theta_4]$$

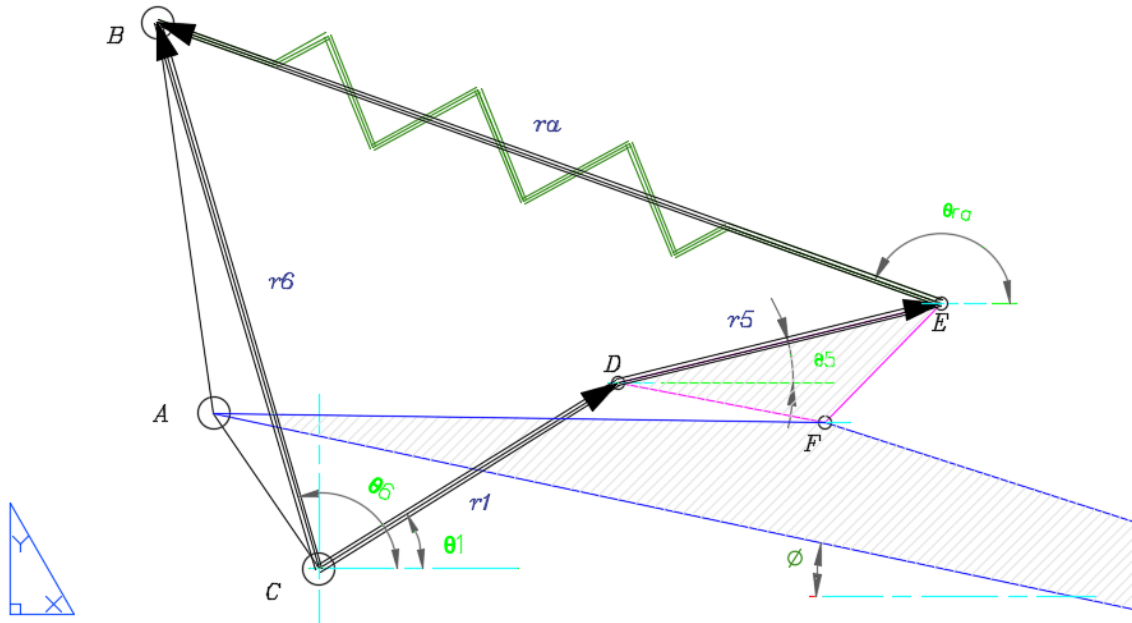
- Ecuación de  $\theta_2$  respecto a  $\theta_3$

$$\theta_2 = 2 \operatorname{ArcTan}\left[\frac{-B - \sqrt{B^2 - 4 A C}}{2 A}\right]$$

- Ecuación de  $\theta_1$  respecto a  $\theta_2$  y  $\theta_3$

$$\theta_1 = \operatorname{ArcSin}\left[\frac{r_4 * \sin[\theta_4] - r_2 * \sin[\theta_2] - r_3 * \sin[\theta_3]}{r_1}\right]$$

### 3.8.2 Posición y desplazamiento del segundo mecanismo



**Figura 46.** Diagrama del segundo mecanismo de cuatro barras

- Ecuación de cierre

$$r_a + r_1 + r_5 - r_6 = 0$$

- Aplicando Ecuación de Euler

Donde  $e^{i\theta} = \text{Cos}[\theta] + i \text{Sin}[\theta]$

$$r_a e^{i\theta_a} + r_1 e^{i\theta_1} + r_5 e^{i\theta_5} - r_6 e^{i\theta_6} = 0$$

$$\text{Ecuación 1 } r_a \text{Cos}[\theta_a] + r_1 \text{Cos}[\theta_1] + r_5 \text{Cos}[\theta_5] - r_6 \text{Cos}[\theta_6] = 0$$

$$\text{Ecuación 2 } r_a \text{Sin}[\theta_a] + r_1 \text{Sin}[\theta_1] + r_5 \text{Sin}[\theta_5] - r_6 \text{Sin}[\theta_6] = 0$$

Sumando al cuadrado Ecuación 1 y 2 para eliminar  $\theta_a$

- Ecuación de la longitud del amortiguador

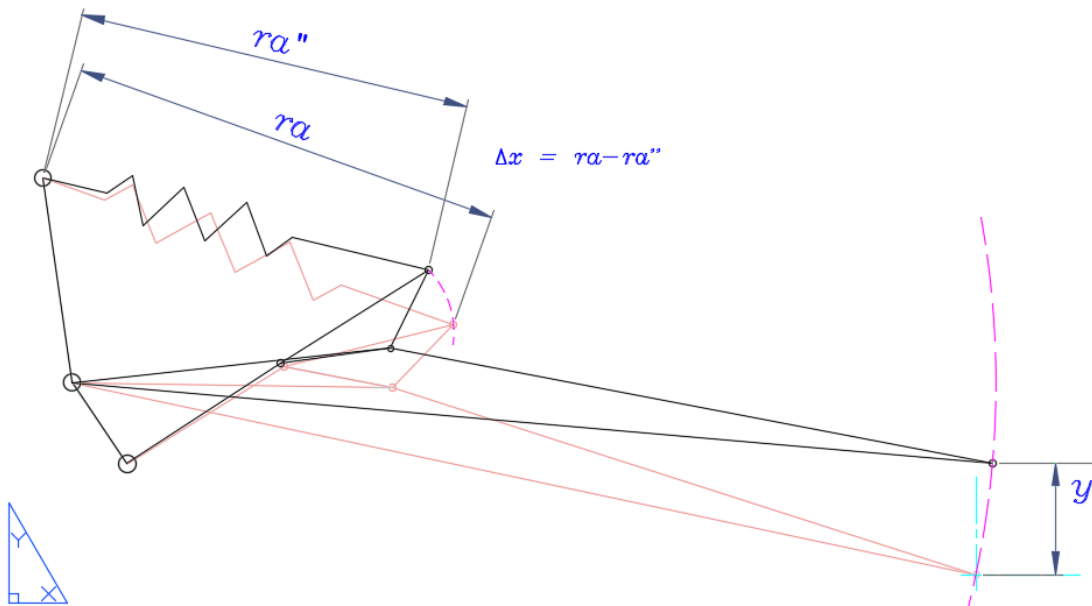
$$ra = \sqrt{(r6 \cos[\theta_6] - r1 \cos[\theta_1] - r5 \cos[\theta_5])^2 + (r6 \sin[\theta_6] - r1 \sin[\theta_1] - r5 \sin[\theta_5])^2}$$

- Ecuación del ángulo de inclinación del basculante respecto al desplazamiento vertical de la rueda posterior

$$\phi = \text{ArcSin}\left[\sin[12^\circ] - \frac{y}{ra}\right]$$

### 3.8.3 Resultados del mecanismo

En la Figura 47 se muestra el comportamiento del mecanismo sometido a las cargas en determinada condición; aquí se denota en forma clara cómo éste comprime el amortiguador, mientras la rueda se desplaza verticalmente.



**Figura 47.** Diagrama desplazamiento del amortiguador respecto al vertical de la rueda posterior

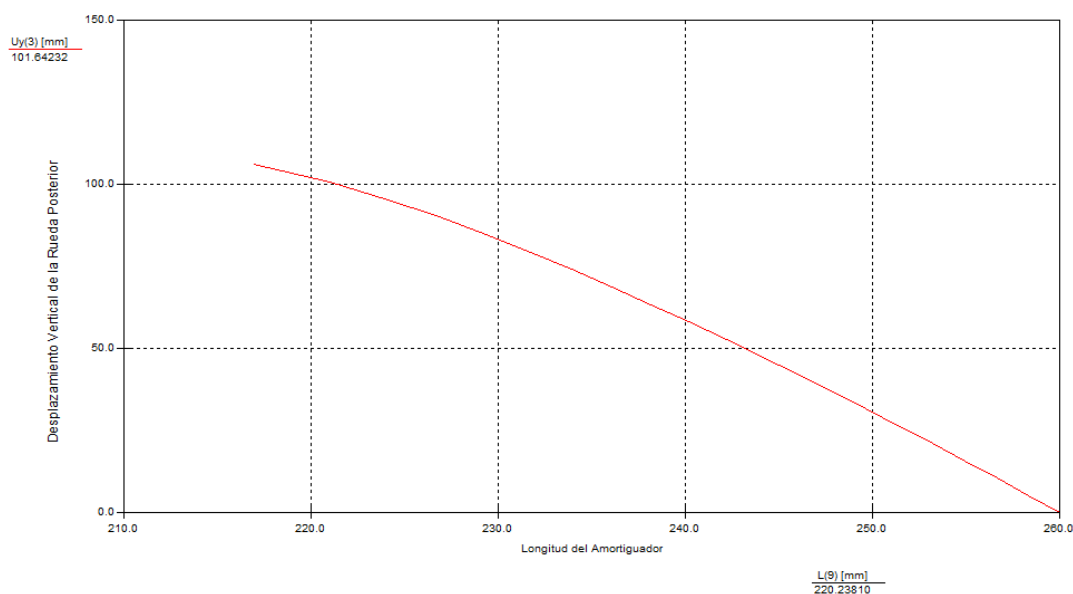
Los valores obtenidos en un rango de 5mm de desplazamiento se muestran en la Tabla 15

**Tabla 15**

*Resultados del mecanismo de la suspensión posterior*

<b><math>h</math></b> mm	<b><math>y</math></b> mm	<b><math>\phi</math></b> Grad	<b><math>ra</math></b> mm	<b><math>x</math></b> mm	<b><math>\theta_1</math></b> Grad	<b><math>\theta_2</math></b> Grad	<b><math>\theta_3</math></b> Grad	<b><math>\theta_5</math></b> Grad
<b>0</b>	-60	18,470	278,120	-18,070	28,236	-154,865	172,600	-0,39
<b>5</b>	-55	17,922	276,674	-16,624	28,593	-156,019	173,148	0,76
<b>10</b>	-50	17,377	275,219	-15,169	28,940	-157,176	173,693	1,92
<b>15</b>	-45	16,833	273,753	-13,703	29,278	-158,337	174,237	3,08
<b>20</b>	-40	16,290	272,277	-12,227	29,606	-159,501	174,780	4,24
<b>25</b>	-35	15,750	270,791	-10,741	29,924	-160,671	175,320	5,41
<b>30</b>	-30	15,210	269,293	-9,243	30,232	-161,846	175,860	6,59
<b>35</b>	-25	14,672	267,784	-7,734	30,530	-163,027	176,398	7,77
<b>40</b>	-20	14,135	266,263	-6,213	30,818	-164,214	176,935	8,95
<b>45</b>	-15	13,600	264,729	-4,679	31,095	-165,409	177,470	10,15
<b>50</b>	-10	13,065	263,182	-3,132	31,360	-166,611	178,005	11,35
<b>55</b>	-5	12,532	261,621	-1,571	31,615	-167,823	178,538	12,56
<b>60</b>	0	12,000	260,046	0,004	31,857	-169,044	179,070	13,78
<b>65</b>	5	11,469	258,454	1,596	32,088	-170,275	179,601	15,02
<b>70</b>	10	10,939	256,847	3,203	32,305	-171,519	180,131	16,26
<b>75</b>	15	10,410	255,222	4,828	32,509	-172,755	180,660	17,50
<b>80</b>	20	9,882	253,578	6,472	32,699	-174,046	181,188	18,79
<b>85</b>	25	9,354	251,914	8,136	32,874	-175,332	181,716	20,07
<b>90</b>	30	8,828	250,228	9,822	33,033	-176,637	182,242	21,38
<b>95</b>	35	8,302	248,519	11,531	33,174	-177,961	182,768	22,70
<b>100</b>	40	7,777	246,783	13,267	33,297	-179,308	183,293	24,05
<b>105</b>	45	7,252	245,019	15,031	33,400	179,320	183,818	-334,58
<b>110</b>	50	6,729	243,224	16,826	33,481	177,920	184,341	-333,18
<b>115</b>	55	6,205	241,393	18,657	33,537	176,486	184,865	-331,75
<b>120</b>	60	5,683	239,522	20,528	33,565	175,014	185,387	-330,27

Los resultados previamente obtenidos son ubicados en la gráfica respectiva (Figura 48), donde se facilita su análisis e interpretación.



**Figura 48.** Gráfica del desplazamiento del amortiguador respecto al vertical de la rueda posterior

### 3.8.4 Cálculo experimental de la constante elástica del amortiguador

Al no contar con el valor de la constante elástica del amortiguador, establecido por catálogo o por el mismo fabricante, se ha optado por determinar este valor experimentalmente, mediante su compresión en una prensa hidráulica, cuyos datos obtenidos han sido sintetizados en la Tabla 16.

**Tabla 16**

*Datos experimentales durante la compresión del amortiguador*

Denominación	Descripción	Magnitud
$Ph$	Presión en la prensa hidráulica	5.2 kg/cm <sup>2</sup>
$re$	Radio del embolo de la prensa	3.5 cm
$xa$	Desplazamiento lineal del amortiguador	20 mm

**a) Fuerza de la prensa hidráulica**

Su valor es calculado aplicando los principios hidráulicos tomados de la ecuación 8

$$Fh = Ph * re^2 * \pi * g$$

$$Fh = 5.2 \text{ kg/cm}^2 * (3.5 \text{ cm})^2 * \pi * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$Fh = 1963.17 \text{ N}$$

**b) Constante elástica**

Posteriormente, se aplica la ecuación 9 para determinar la constante elástica del muelle

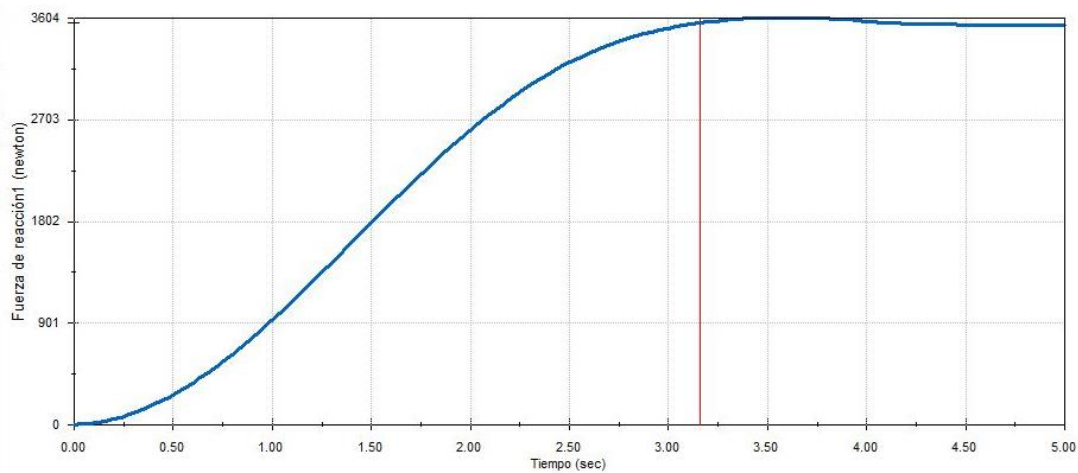
$$k = Fh/xa$$

$$k = 1963.17 \text{ N} / 20 \text{ mm}$$

$$k = 98.158 \text{ N/mm}$$

### 3.8.5 Fuerzas producidas por el amortiguador durante el desplazamiento de la rueda

Mediante la simulación del mecanismo en el software dedicado, se obtiene la gráfica expuesta, donde es posible evidenciar con facilidad la progresividad del sistema de suspensión diseñado (Figura 49).



**Figura 49.** Gráfica de la fuerza del amortiguador

### 3.8.6 Cargas sobre el balancín de la suspensión

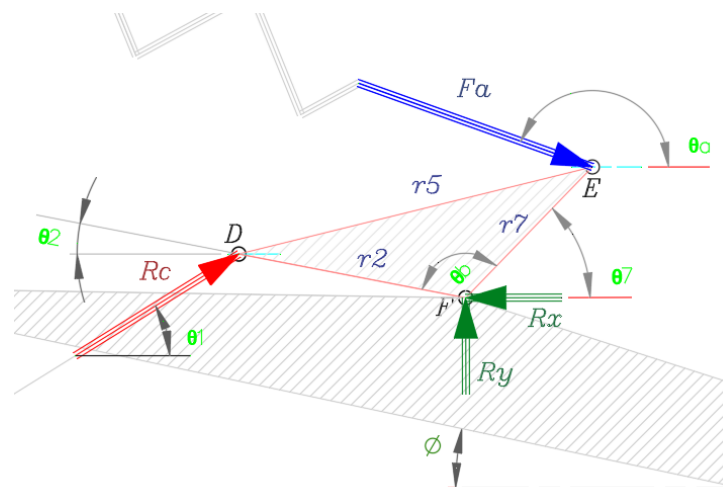
Al ser el balancín, el elemento que soporta la fuerza ejercida tanto por el amortiguador como por la varilla articulada, se ha efectuado el estudio de tal mecanismo en condiciones extremas, es decir, cuando el sistema de absorción de impacto genera la mayor fuerza de compresión. Tal procedimiento y resultados obtenidos han sido resumidos en la Tabla 17.

**Tabla 17**

*Datos y resultados para cálculos de fuerzas sobre el balancín*

Denominación	Descripción	Magnitud
$r2$		66 mm
$r7$		52 mm
$\theta_b$		128.18°
$Fa$	Fuerza del amortiguador	3603 N
$x$	Desplazamiento del amortiguador	36.72 mm
$y$	Desplazamiento vertical de la rueda	97mm
$\theta_1$		32.17°
$\theta_2$		161.68°
$\theta_7$		-109.86°
$\theta_a$		169.45°

En la Fig. 50 se detalla el D.C.L y se detallan las cargas a las que está sometido el balancín



**Figura 50.** Diagrama de cuerpo libre del balancín de la suspensión

a) **Reacciones sobre el anclaje del balancín al basculante**

Para determinar las reacciones en el anclaje, se efectúa la sumatoria de momentos en el mecanismo, tomando como marca fija al punto F detallado en la Figura 50.

$$\sum M = 0$$

$$-RC * r2 * \sin[\theta2 - \theta1] - FA * r7 * \sin[\theta a + \theta7] = 0$$

$$RC = -\frac{FA * r7 * \sin[\theta a + \theta7]}{r2 * \sin[\theta2 - \theta1]}$$

$$RC = -\frac{(3603 \text{ N}) * (52 \text{ mm}) * \sin[10.55^\circ - 109.859^\circ]}{(66 \text{ mm}) * \sin[161.679^\circ - 32.17^\circ]}$$

$$RC = 3631.42 \text{ N}$$

$$\sum Fx = 0$$

$$-Rx + Rc * \cos[\theta1] + Fa * \cos[\theta a] = 0$$

$$Rx = Rc * \cos[\theta1] + Fa * \cos[\theta a] = 0$$

$$Rx = (3631.42 \text{ N})\cos[32.17^\circ] + (3603 \text{ N})\cos[180^\circ - 169.45^\circ] = 0$$

$$Rx = 6616.3 \text{ N}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$Ry + Rc * \sin[\theta1] - Fa * \sin[\theta a] = 0$$

$$Ry = Fa * \sin[\theta a] - Rc * \sin[\theta1]$$

$$Ry = (3603 \text{ N})\sin[10.55^\circ] - (3631.42 \text{ N})\sin[32.17^\circ]$$

$$Ry = 1273. \text{ N}$$



## CAPÍTULO IV

### PROTOTIPADO Y VALIDACIÓN

#### 4.1 Prototipado del basculante

Una vez efectuado el diseño conceptual preliminar, así como los cálculos estáticos y dinámicos, el procedimiento de prototipado consiste en modelar y validar cada uno de los sistemas, mecanismos o elementos a desarrollar, a través de la utilización de software dedicado CAD-CAE. Este apartado tiene un alto grado de importancia en este estudio, teniendo en cuenta que constituye el principal identificador de la eficacia del diseño, garantizando de esta manera su óptimo desempeño luego del proceso de fabricación.

##### 4.1.1 Selección del material

Para la selección del material, se proponen tres materiales distintos, los cuales han sido evaluados bajo criterios técnicos y mediante una matriz que proporciona una ponderación en escala de 1 a 3 a cada parámetro base, tal como se representa en la Tabla 18.

**Tabla 18**

*Evaluación de las alternativas del material para el basculante*

Parámetro a evaluar	Acero	Aluminio	Fibra de Carbono
Accesibilidad	3	2	1
Punto de fluencia	2	2	3
Costo	3	1	1
Peso	1	2	3
Facilidad de manufactura	3	2	1
Capacidad de reciclado	2	2	1
Estética	2	2	2
<b>Valoración Total</b>	<b>16</b>	<b>13</b>	<b>12</b>

**3: Excelente; 2: Bueno; 1: Regular**

En conclusión, en base a los criterios de diseño pre establecidos, se observa que el material seleccionado para la fabricación del basculante es el Acero ASTM A53, esto debido a que es un elemento con elevada ductilidad, tenacidad y bajo costo de fabricación.

La Tabla 19 muestra las propiedades de la estructura tubular de acero, empleada como armazón central en el proceso de manufactura del mencionado componente.

**Tabla 19**

*Características del tubo para la estructura central del basculante*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Tipo	Tubo Cédula 40
Material	ASTM A53 Grado B
Diámetro exterior	26.7 mm
Espesor	2.87 mm
Peso	1.68 kg/m
Punto de fluencia	24.6 kg/mm <sup>2</sup> $\approx$ 240 MPa

Fuente: (Dipac, 2016)

Para el resto de la estructura del basculante se emplea una estructura tubular de acero, cuyas principales características se detallan en la Tabla 20.

**Tabla 20**

*Características del tubo para estructura del basculante*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Tipo	Tubo Estructural
Material	ASTM A500
Diámetro exterior	1 in
Espesor	2 mm
Peso	1.15 kg/m
Punto de fluencia	24.6 kg/mm <sup>2</sup> $\approx$ 240 MPa

Fuente: (Dipac, 2016)

Para manufacturar el anclaje del balancín, se ha optado por emplear una plancha de Acero A36, razón por lo cual, sus principales propiedades han sido resumidas en la Tabla 21.

**Tabla 21**

*Características de la plancha para el anclaje del balancín*

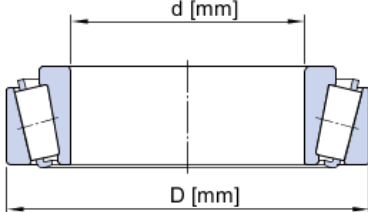
Característica	Descripción
Tipo	Plancha de Acero
Material	ASTM A36
Espesor	4 mm
Punto de Fluencia	250 MPa

Fuente: (Novacero, 2018)

#### 4.1.2 Selección de rodamientos

Los rodamientos son aquellos elementos encargados de resistir las cargas de reacción axial y radial analizadas en el Capítulo III, por tanto, para su selección se da uso de la calculadora SKF en línea y tras el ingreso de los datos requeridos para la selección de un rodamiento cónico, los resultados obtenidos se detallan en la Figura 51.

Bearing type  [Select from list](#)



Outer diameter min  mm      Outer diameter max  mm

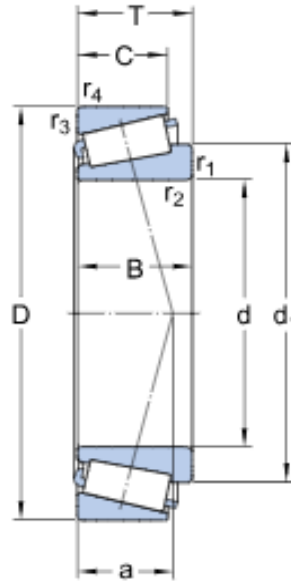
Bore diameter min  mm      Bore diameter max  mm

**Designation**  
**30203**      [ d:17 mm B:13.25 mm D:40 mm C:23.4 kN C<sub>0</sub>:18.6 kN ]

**Figura 51.** Selección del rodamiento cónico

Fuente:(SKF, 2018)

Tras la selección, se han determinado los rodamientos con numeración 30203 JR, siendo la Figura 52 donde se puntualizan sus dimensiones.



**Figura 52.** Dimensiones del rodamiento cónico

Fuente:(SFK, 2018)

Una vez descrita la geometría y dimensionamiento del rodamiento a utilizar, en la Tabla 22 se resumen las principales especificaciones técnicas suministradas por el fabricante.

**Tabla 22**

*Características de los rodamientos*

Característica	Descripción
Tipo	Rodillos Cónicos
Numeración	30203 JR
Capacidad de carga estática	18.6 kN
Capacidad de carga dinámica	23.4 kN
Carga a soportar por cálculo	3.16 kN
Masa	0.079 kg

**Dimensiones**

*D* 40 mm

CONTINÚA →

<i>D</i>	17 mm
<i>T</i>	13.25 mm
<i>B</i>	12 mm
<i>C</i>	11 mm
<i>R</i>	1 mm
<i>rI</i>	1 mm

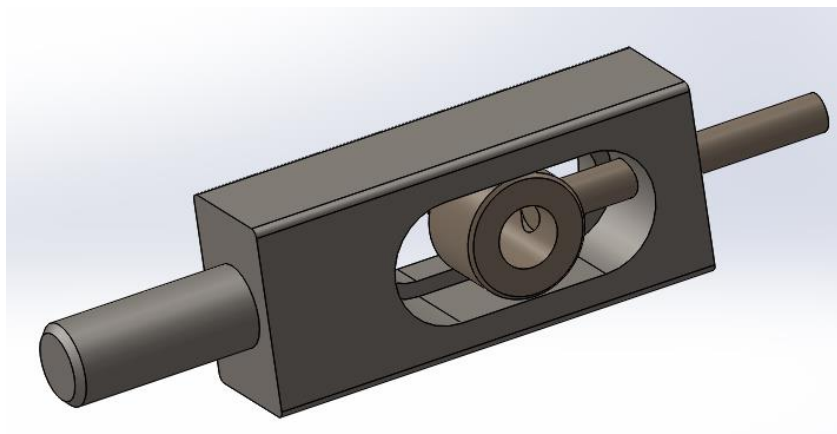
---

Fuente: (SFK, 2018)

#### 4.1.3 Selección y modelado de los soportes de rueda y templadores de cadena

Los soportes de la rueda posterior resisten la transferencia de movimiento proveniente del motor a través de la cadena, razón por la cual ambos deben ser de construcción robusta.

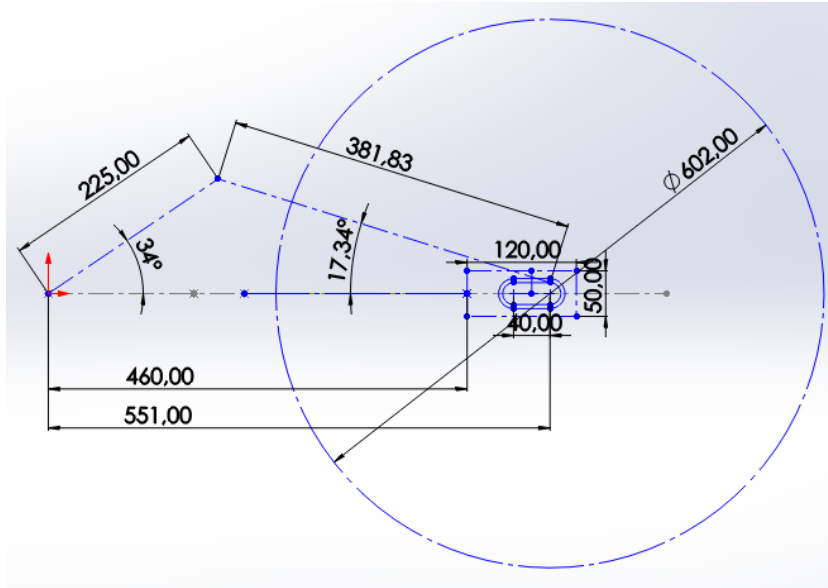
Estos templadores están directamente sujetos al soporte, y constan de una superficie interna mecanizada con el suficiente juego para el efectivo tensado de la cadena. Por tanto, el templador es compatible con el sujetador de rueda y presenta un mecanismo de ajuste sencillo, que es instalado en el extremo del sujetador, el cual empuja hacia atrás al bocín que conecta al eje de la rueda. Este elemento cuenta con un recorrido de 40mm; conjunto que se lo detalla en la Figura 53.



**Figura 53.** Sujetador de rueda posterior y templador de cadena

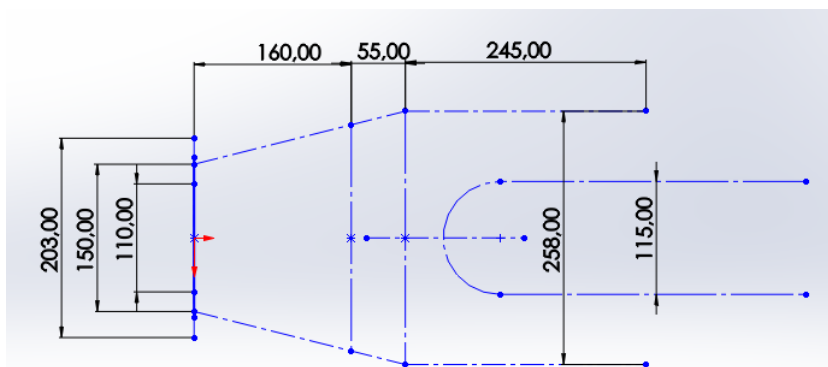
#### 4.1.4 Dimensionamiento y modelado del basculante

Tomando como referencia las dimensiones propuestas en el Capítulo anterior, para realizar el modelado se dibuja un boceto lateral (detallado en la Figura 54), acotando cada sección del mismo, de modo que se mantenga la geometría del elemento en todo momento.



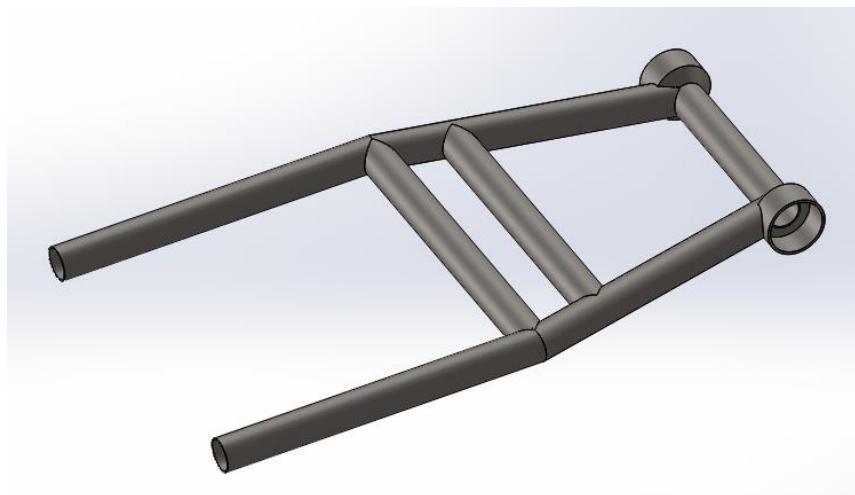
**Figura 54.** Vista lateral para las dimensiones del basculante

Del mismo modo, es necesario realizar un boceto con la vista superior del elemento, a fin de apreciar detalles más complejos de su estructura. Tal detalle, con sus cotas respectivas es ilustrado en la Figura 55.



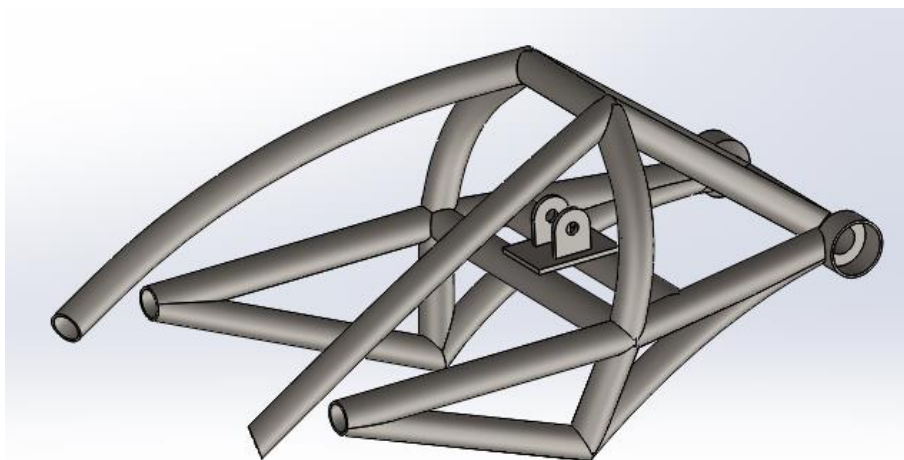
**Figura 55.** Vista superior para las dimensiones del basculante

Con las dimensiones de la tubería previamente establecidas, se procede a crear el modelado, empezando siempre por la estructura central, como se observa en la Figura 56



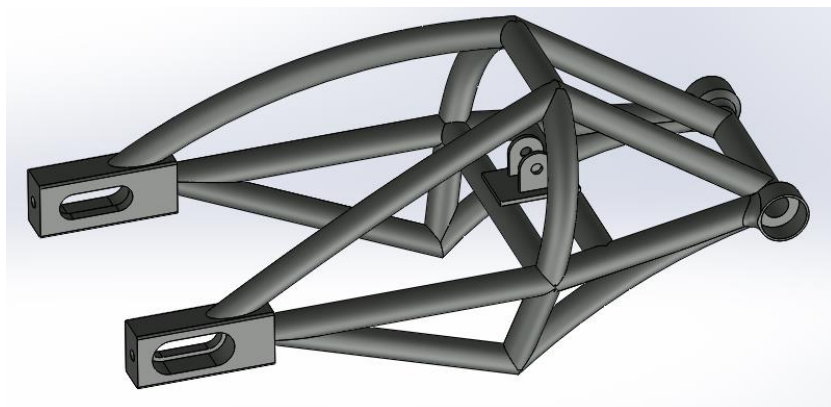
**Figura 56.** Modelado de la estructura central del basculante

A continuación, como se distingue en la Figura 57, se crea el resto de la estructura con las dimensiones pre-definidas, teniendo especial consideración en el correcto modelado de las intersecciones como producto de la unión de más de dos tubos.



**Figura 57.** Modelado de la estructura parcial del basculante

Como último paso en el modelado, se bosqueja y desarrolla el anclaje para el balancín en la parte central del basculante, así como el mecanismo de regulación y ajuste de la tensión de la cadena, mostrado en la Figura 58.



*Figura 58.* Modelado total del basculante

#### 4.1.5 Análisis de esfuerzos

El estudio se basa en las tres condiciones previamente estipuladas, las cuales incluyen: aceleración, aplicación del freno posterior y el recorrido a través de curva, obteniéndose los siguientes resultados:

##### a) Cargas producidas por aceleración en recta

Tras los cálculos previamente realizados, luego de efectuar una simulación estática con las cargas producidas, los resultados para su análisis han sido sintetizados en la Tabla 23

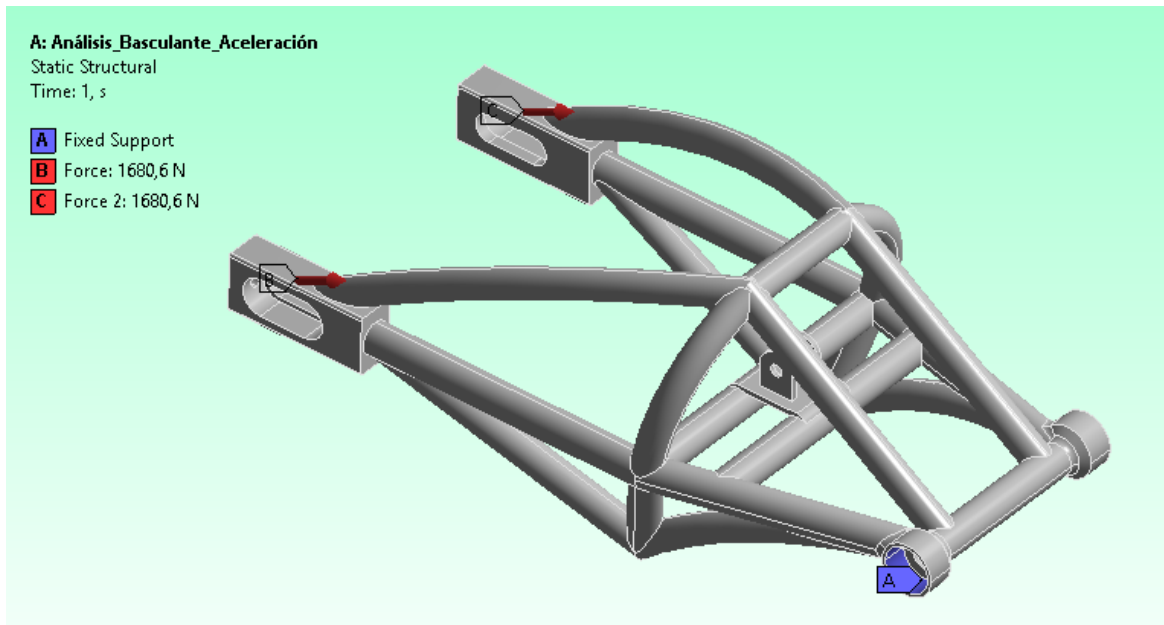
**Tabla 23**

*Resultados de las cargas por aceleración en el basculante*

Denominación	Descripción	Magnitud
<i>S</i>	Fuerza de tracción en rueda posterior	2656.06 N
<i>Nr</i>	Carga sobre rueda posterior por aceleración	2060.1 N
<i>R</i>	Resultante entre <i>S</i> y <i>Nr</i>	3361.2 N
<i>RI</i>	Fuerza aplicada a cada sujetador de la rueda	1680.6 N

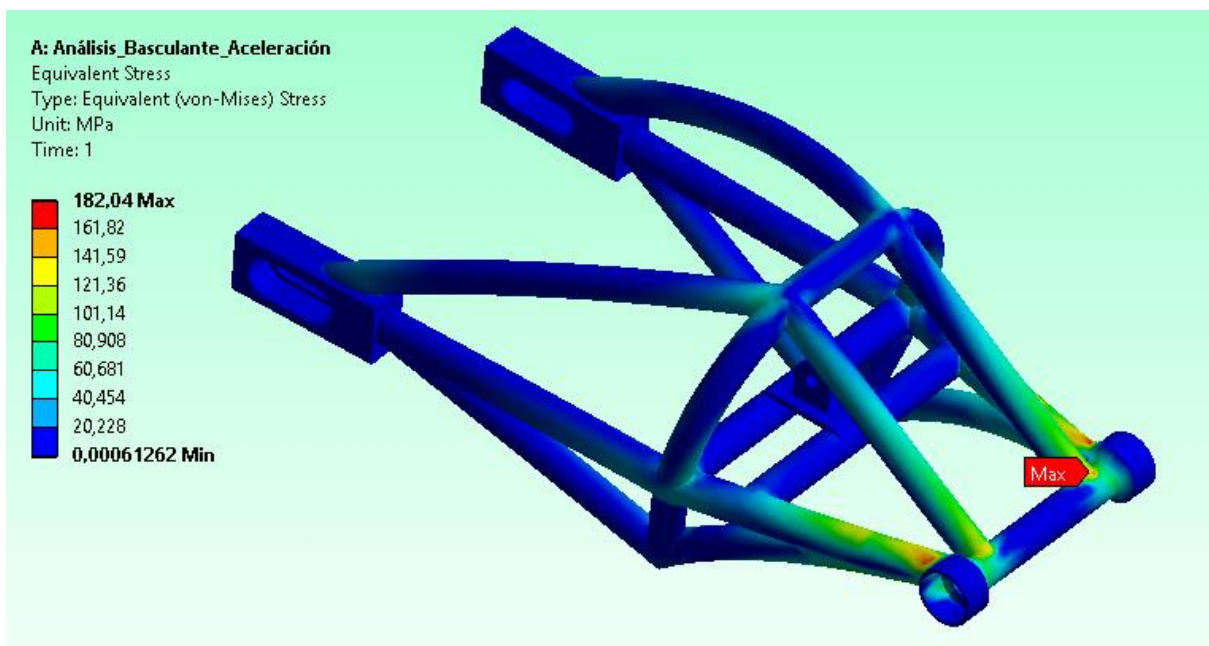


En la Figura 59 se muestra la aplicación de las cargas descritas en la Tabla 23



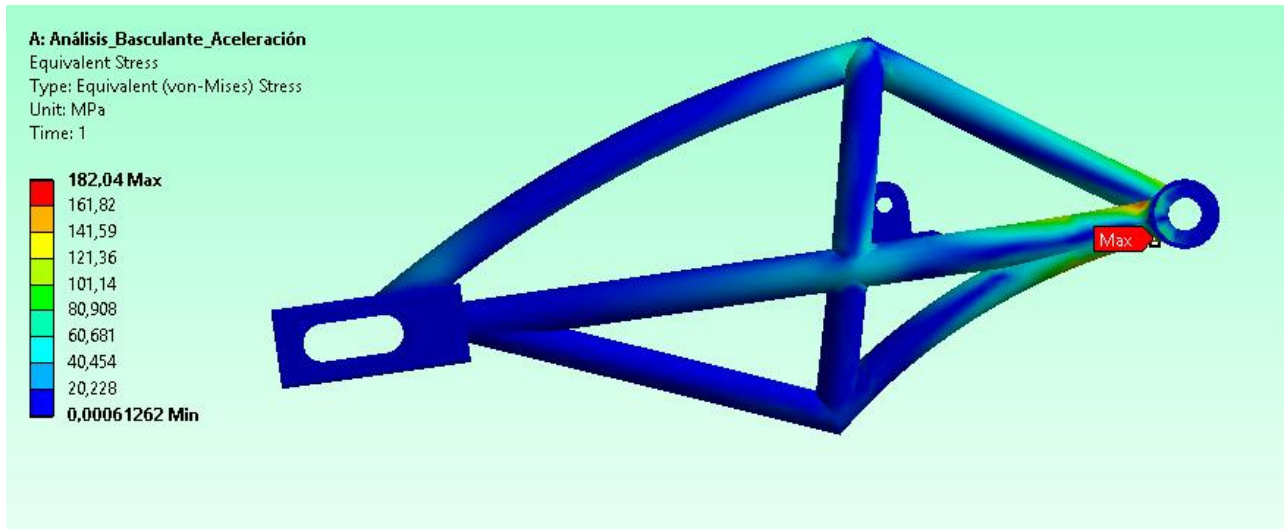
*Figura 59.* Aplicación de Cargas por aceleración en el basculante

Con la simulación de elementos finitos por medio de software CAD-CAE se tiene una visual de los Esfuerzos Von-Mises en el elemento, tal como se detalla en la Figura 60.



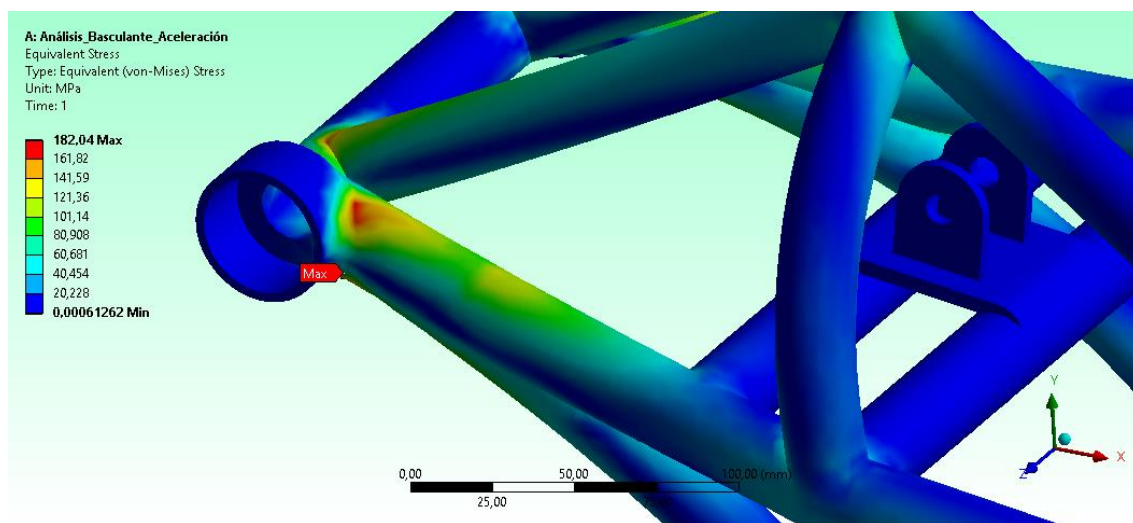
*Figura 60.* Esfuerzos producidos por aceleración en el basculante

En la figura 61 se limita el mismo análisis del basculante, con la particularidad de que se observan los valores del esfuerzo Von-Mises desde una vista lateral.



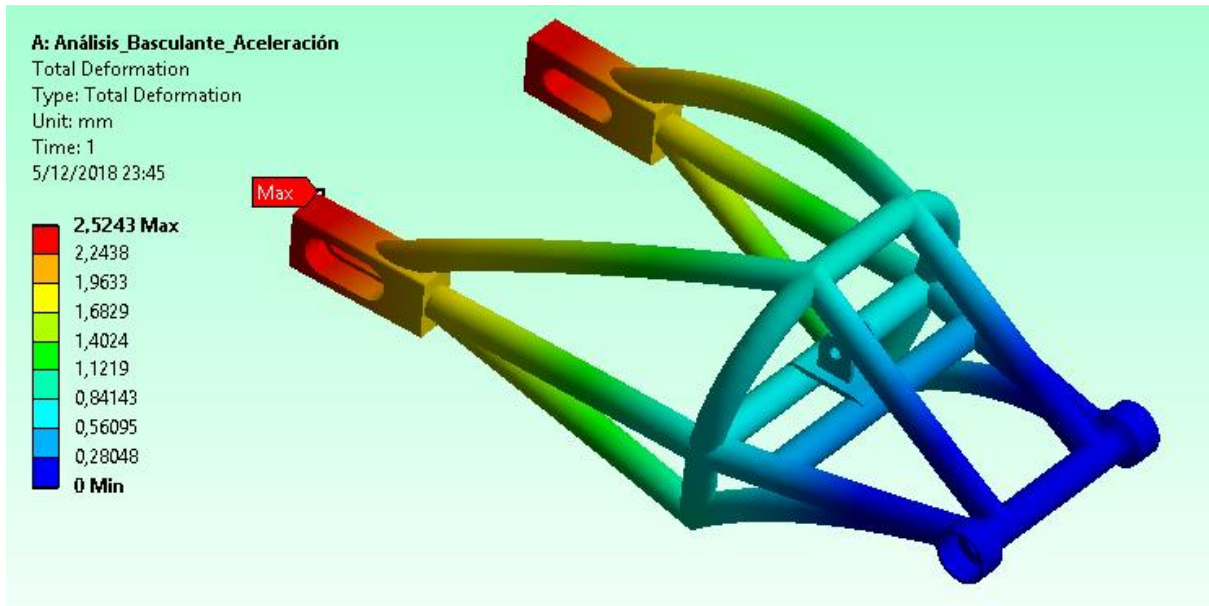
**Figura 61.** Vista lateral de esfuerzos producidos por aceleración en el basculante

En la Figura 62 se precisa que el esfuerzo máximo se presenta en la sección que une el anclaje del basculante, esto debido a que el punto de enlace entre la estructura de mencionado elemento con el chasis es considerado como un foco acumulador de esfuerzos.



**Figura 62.** Esfuerzo máximo producidos por aceleración en el anclaje del basculante

Efectuando un análisis relacionado a la deformación del elemento, la Figura 63 muestra la variación de longitud que se produce en los sujetadores de la rueda posterior.



**Figura 63.** Deformación producida por aceleración en el basculante

Tras el análisis de elementos finitos efectuados a la estructura del basculante, se ha determinado que el esfuerzo Von Mises obtenido es inferior al límite de fluencia del Acero ASTM A 53, obteniéndose un valor calculado de 1.4, ubicando tal parámetro en un rango aceptable. El resumen detallado de tal estudio se le lo puntualiza en la Tabla 24.

**Tabla 24**

*Resultados del análisis de las cargas por aceleración en el basculante*

Descripción	Magnitud
Esfuerzo Von Mises	182.04 MPa
Límite de fluencia Acero ASTM A53	240 MPa
Factor de seguridad	1.4
Deformación	2.524 mm

### b) Cargas producidas por desaceleración por freno posterior

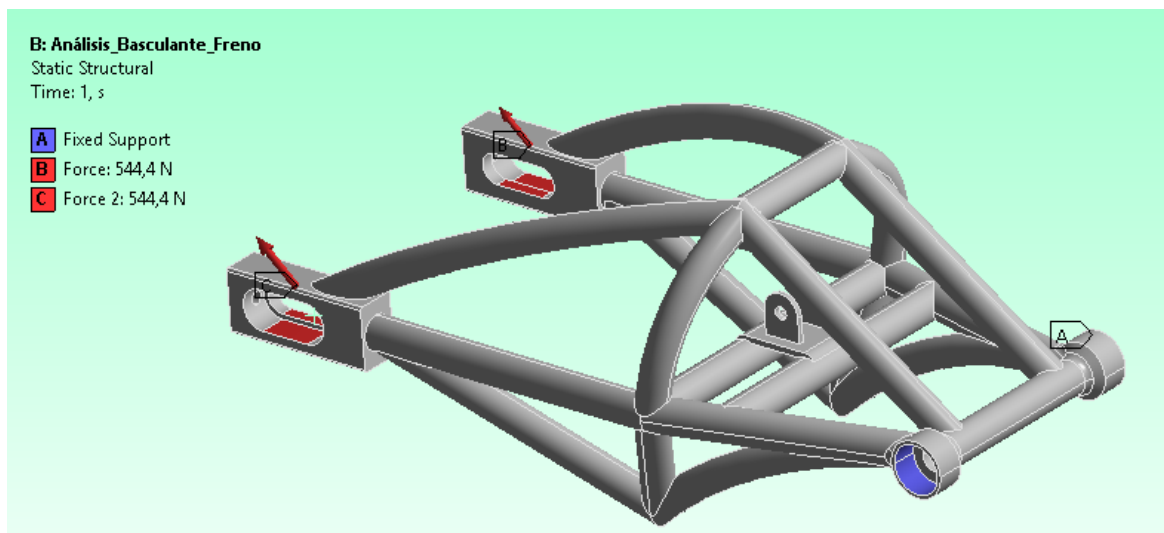
De la misma manera que el análisis anterior, una vez realizada la simulación estática con las cargas producidas por la desaceleración sobre este mismo elemento, se han obtenido importantes resultados, los mismos que han sido expresados en la Tabla 25.

**Tabla 25**

*Resultados de las cargas por aceleración en el basculante*

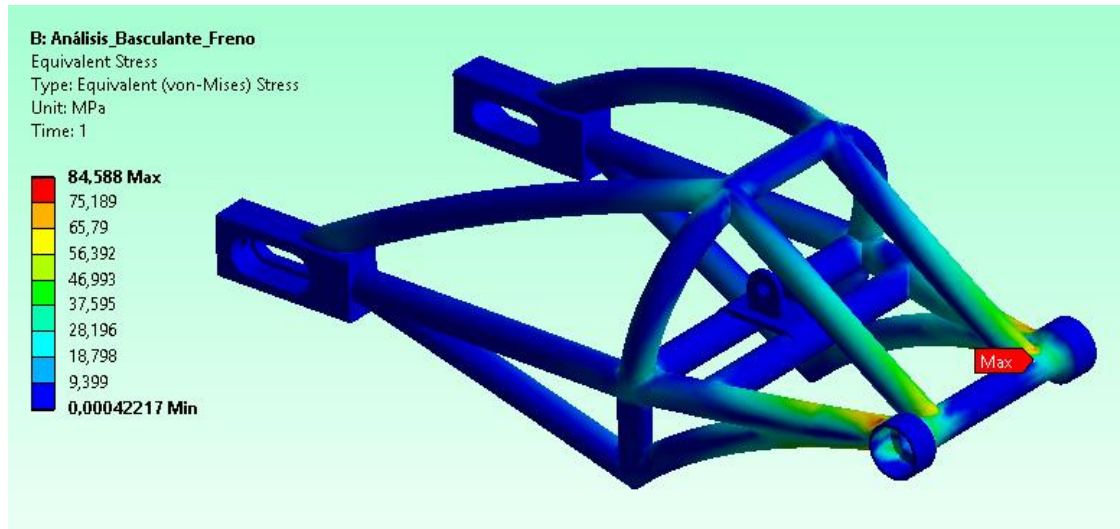
Denominación	Descripción	Magnitud
$F_f$	Fuerza de frenado	941.76 N
$N_{fr}$	Carga sobre rueda posterior por desaceleración	545.23 N
$R$	Resultante entre $F_f$ y $N_{fr}$	1088.8 N
$RI$	Fuerza aplicada a cada sujetador de la rueda	544.4 N

En la Figura 64 se muestra el análisis estático estructural mediante la aplicación de las cargas descritas en la tabla anterior; se visualiza tanto la magnitud y dirección de las fuerzas así como el punto fijo de soporte ubicado en el basculante.



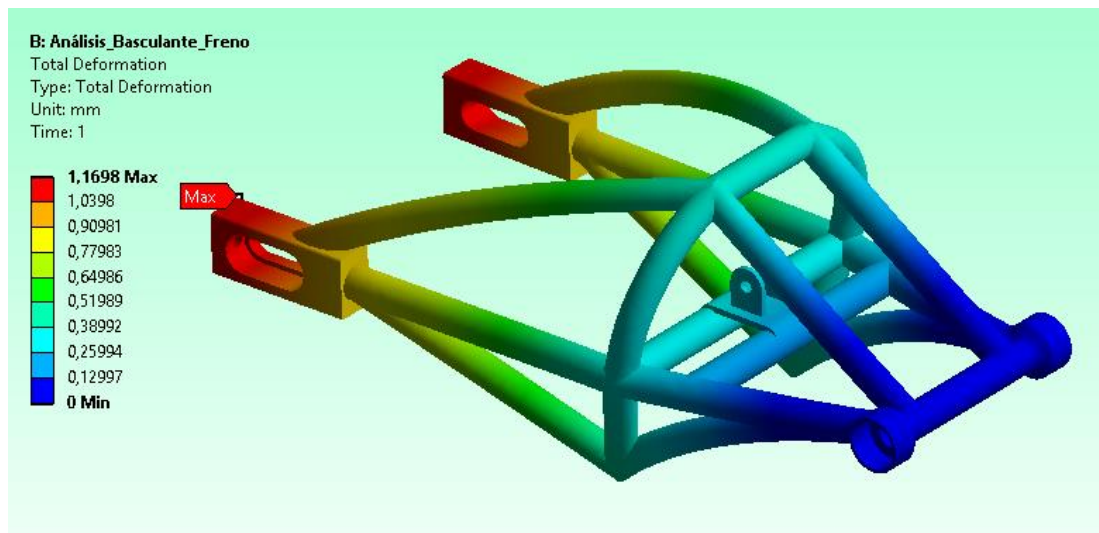
**Figura 64.** Aplicación de cargas por desaceleración en el basculante

Tras la simulación de la estructura mediante elementos finitos, se obtiene una representación visual del esfuerzo Von-Mises, mostrado en la Figura 65.



*Figura 65.* Esfuerzos producidos por desaceleración en el basculante

Posteriormente se determina la deformación dimensional originada en la estructura del elemento, por tanto, en la Figura 66 se detalla la variación longitudinal producida en los sujetadores de la rueda, considerados como principales puntos críticos en el basculante.



*Figura 66.* Deformación producida por desaceleración en el basculante

Con el estudio del Esfuerzo Von-Mises efectuado y al relacionarlo con el punto de fluencia del Acero A53 se concluye que el factor de seguridad del componente está dentro de un rango bastante aceptable, tal como se lo detalla en la Tabla 26.

**Tabla 26**

*Resultados del análisis de las cargas por desaceleración en el basculante*

Descripción	Magnitud
Esfuerzo Von Mises	84.588 MPa
Límite de fluencia Acero ASTM A53	240 MPa
Factor de seguridad	2.9
Deformación	1.1698 mm

**c) Cargas producidas por recorrido de curva**

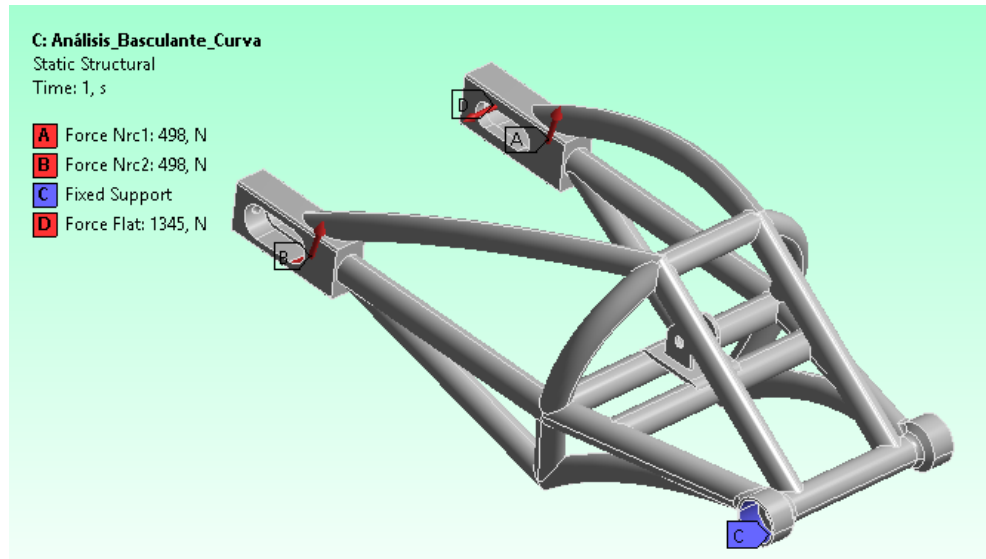
Finalmente, la tercera condición a evaluar es durante el recorrido de la motocicleta por curva, por tanto, en este apartado se presta especial atención a la fuerza lateral producida, al igual que a la carga dinámica originada en la rueda posterior; ambos parámetros han sido ya calculados en el capítulo anterior, razón por la cual a continuación se realizan las simulaciones de esfuerzos por la aplicación de cargas, cuyos módulos han sido expuestos en la Tabla 27.

**Tabla 27**

*Resultados de las cargas por recorrido de curva en el basculante*

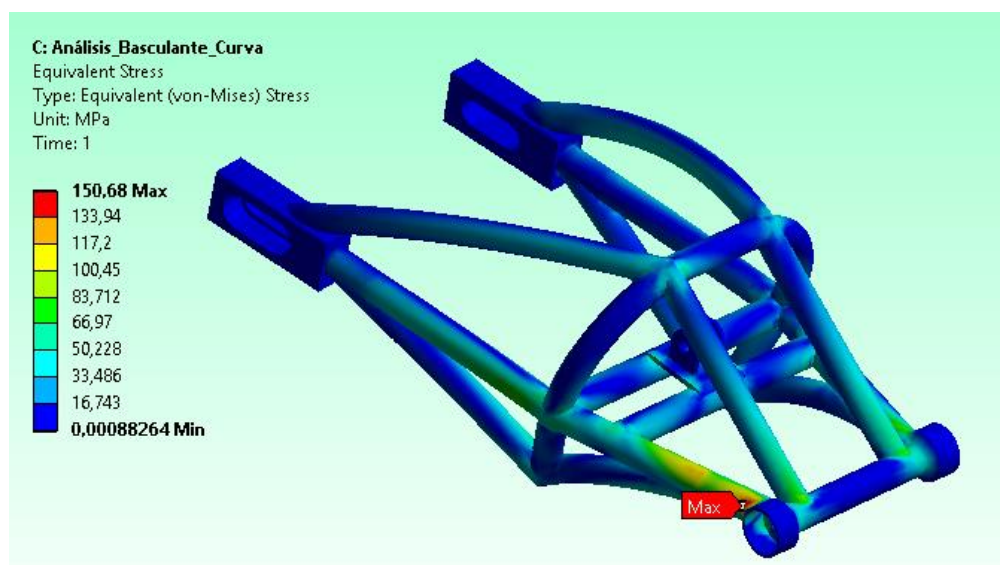
Denominación	Descripción	Magnitud
<i>Flat</i>	Fuerza lateral	1344.973 N
<i>Nrc</i>	Carga sobre rueda posterior por recorrido de curva	996.25 N

En la Figura 67 se puntualizan las fuerzas aplicadas durante la simulación del componente, la manitud de la carga aplicada sobre la rueda se ha dividido de manera uniforme para cada soporte.



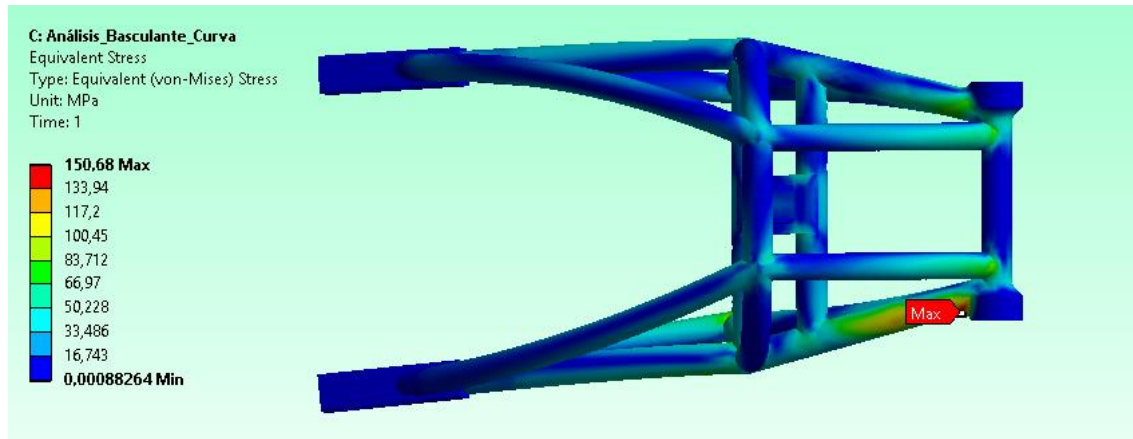
**Figura 67.** Aplicación de cargas por recorrido de curva en el basculante

En la figura 68 se muestran los resultados del esfuerzo Von-Mises obtenidos en el estudio de elementos finitos previo.



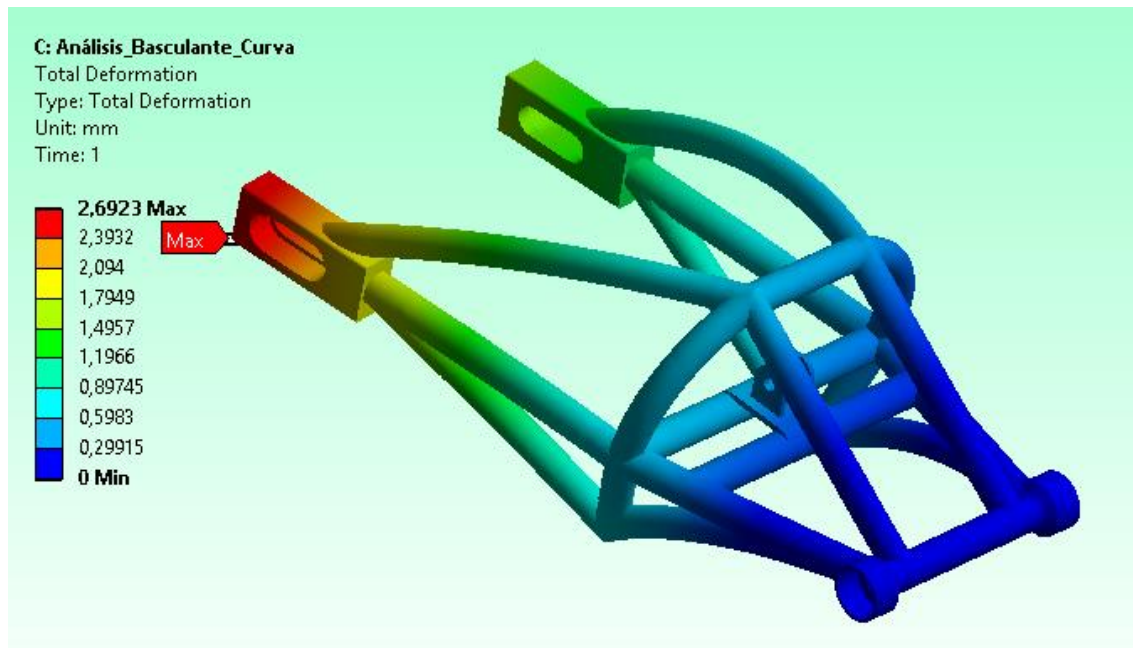
**Figura 68.** Esfuerzos producidos por recorrido de curva en el basculante

A fin de observar de manera detallada los puntos críticos de acumulación de esfuerzos, se ha visto conveniente la proyección de la vista superior del elemento (Fig 69).



**Figura 69.** Vista superior de los esfuerzos producidos en el basculante

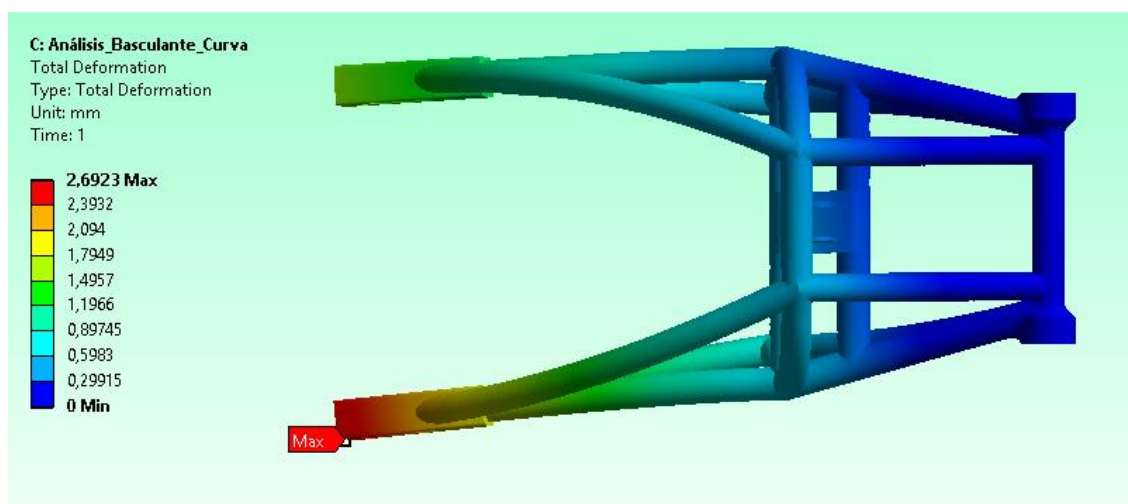
El análisis de deformación dimensional es mostrado en la Figura 70, como se deduce, los puntos más afectados por la aplicación de cargas se encuentran en los sujetadores de la rueda posterior.



**Figura 70.** Deformación producida por recorrido de curva en el basculante



De la misma manera, para una mejor apreciación de la deformación producida en el elemento, la figura 71 detalla una vista superior de la estructura del basculante.



**Figura 71.** Vista superior de la deformación producida por recorrido de curva

Una vez efectuados los análisis estructurales estáticos al componente, se procede a sintetizar los resultados obtenidos, así como también, una vez efectuada la relación entre el límite de fluencia del material y el esfuerzo Von-Mises ya establecido, se concluye que el módulo para el factor de seguridad en la condición especificada es igual a 1.6, por lo que se considera como un valor bastante aceptable, tomando en consideración la magnitud de las cargas utilizadas en el estudio.

**Tabla 28**

*Resultados del análisis de las cargas por recorrido en curva en el basculante*

Descripción	Magnitud
Esfuerzo Von Mises	150.68 MPa
Límite de fluencia Acero ASTM A53	240 MPa
Factor de seguridad	1.6
Deformación	2.69mm

#### d) Cargas en el anclaje del balancín

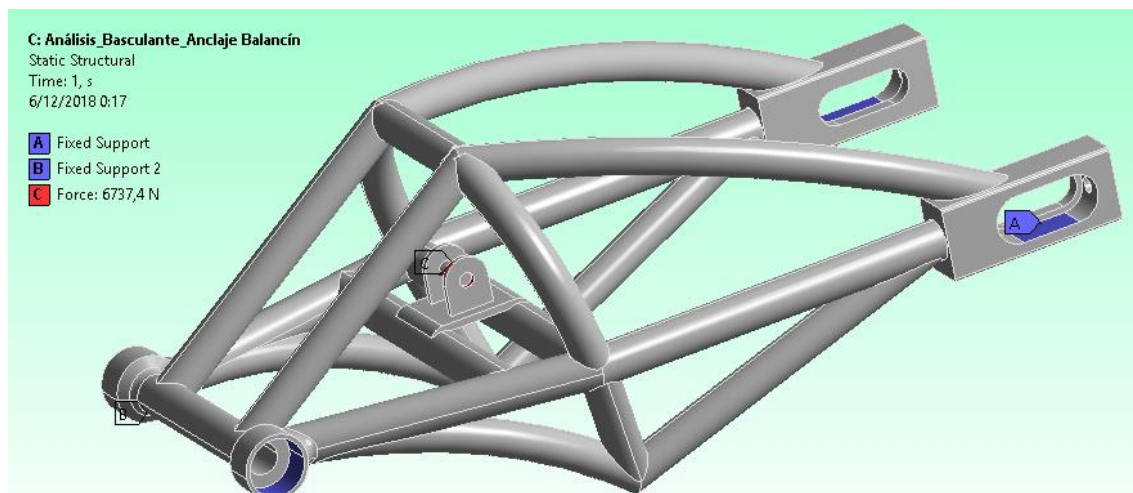
El anclaje del balancín constituye otro punto crítico, cuya superficie se encuentra sometida a continuos esfuerzos flexionantes a causa de las cargas aplicadas sobre los elementos del sistema de suspensión posterior, su completo análisis se lo efectuó en el capítulo anterior, razón por la cual en la Tabla 29 se colocan solamente los resultados obtenidos en el cálculo previo.

**Tabla 29**

*Resultados de las cargas sobre el anclaje del balancín*

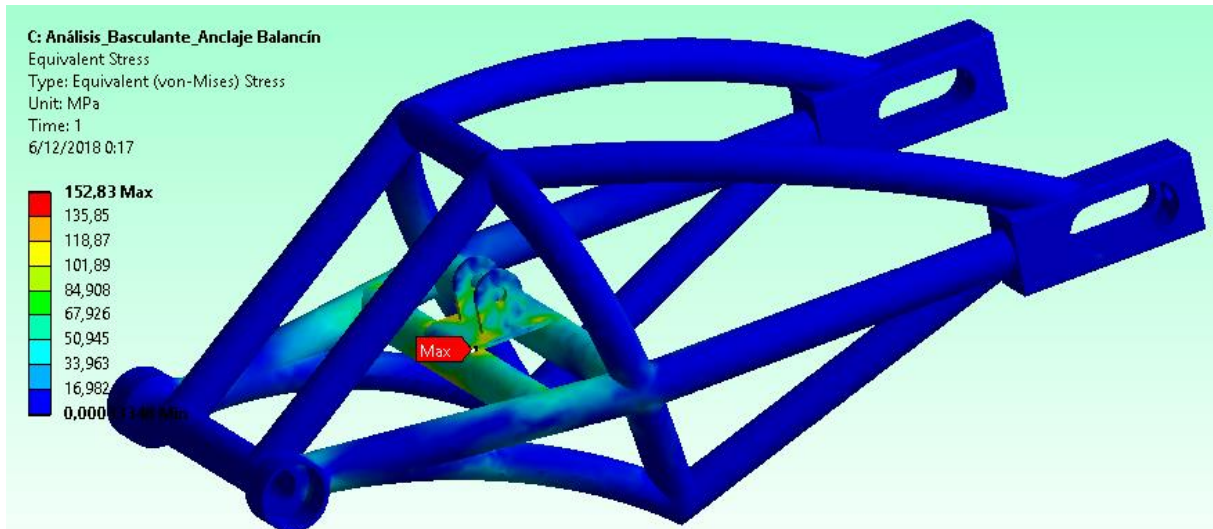
Denominación	Descripción	Magnitud
$R_x$	Reacción en x	6616.3 N
$R_y$	Reacción en y	1273 N
$R$	Resultante entre $R_x$ y $R_y$	6737.4 N

En la figura 72 se muestran las cargas aplicadas sobre la base para el anclaje del balancín, se observa también que en este caso los puntos fijos seleccionados son los soportes de la rueda.



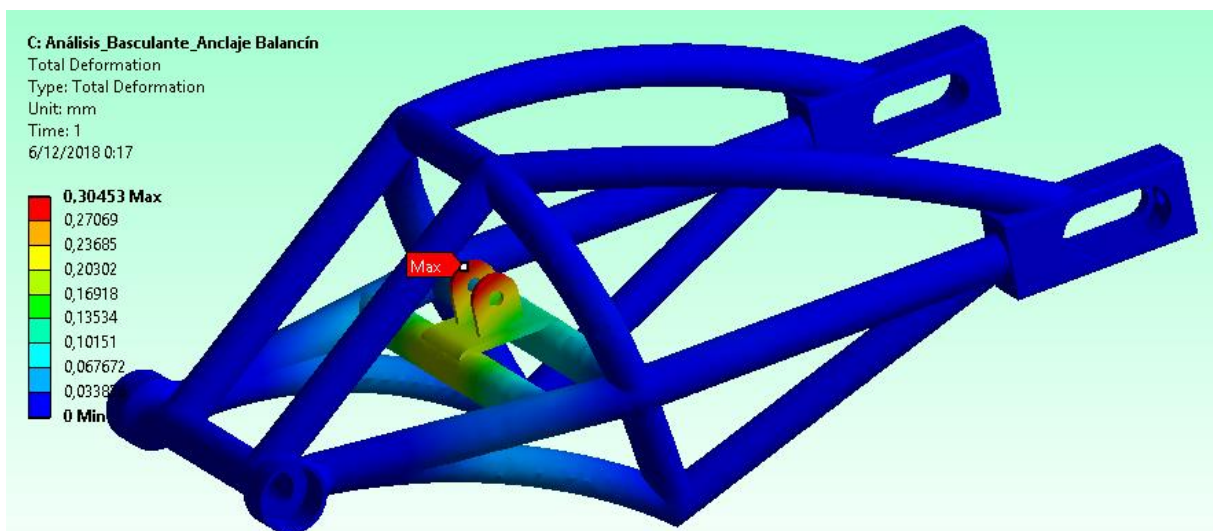
**Figura 72.** Aplicación de cargas sobre el anclaje del balancín

El esfuerzo Von-Mises que se ejerce sobre el soporte, obtenido luego de la aplicación del análisis estructural se lo precisa en la figura 73.



*Figura 73.* Esfuerzo sobre el anclaje del balancín

Se concluye el estudio sobre este elemento, con la obtención del valor de deformación dimensional, cuyo resultado denota una mínima variación de su longitud inicial.



*Figura 74.* Deformación sobre el anclaje del balancín

Con el valor del esfuerzo Von-Mises ya establecido, y con el punto de fluencia del Acero A53 obtenido por catálogos, la Tabla 30 muestra un resumen sobre la operacionalización de variables, mediante el cual se ha obtenido un factor de seguridad de módulo 1.6, valor considerado como admisible.

**Tabla 30**

*Resultados del análisis de las cargas sobre el anclaje del balancín*

Descripción	Magnitud
Esfuerzo Von Mises	152.83 MPa
Límite de fluencia Acero ASTM A36	250 MPa
Factor de seguridad	1.6
Deformación	0.3 mm

## 4.2 Prototipado de los elementos de la suspensión posterior

### 4.2.1 Selección del material para el balancín

El balancín ha sido diseñado para su construcción mediante planchas de Acero ASTM A 1011, razón por lo cual sus principales propiedades han sido obtenidas en catálogos de empresas fabricantes y se los ha detallado en la Tabla 31.

**Tabla 31**

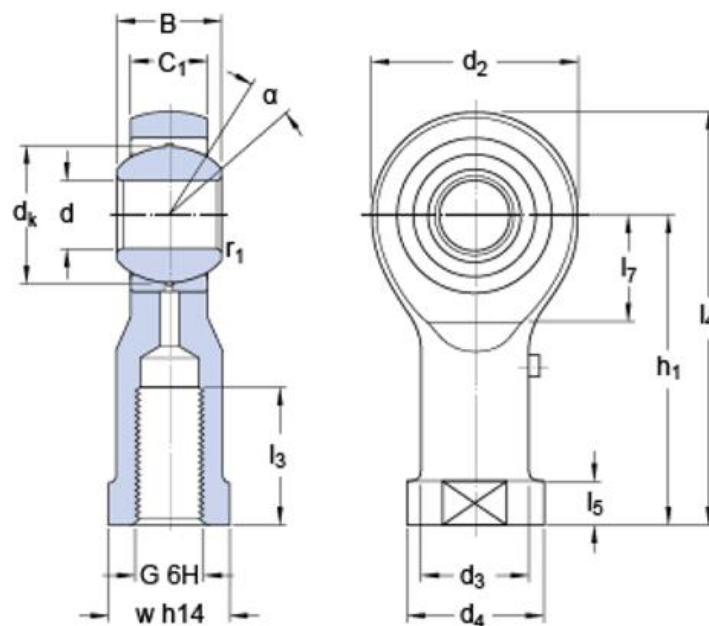
*Características de la plancha de acero para el balancín*

Característica	Descripción
Tipo	Plancha Acero laminada en caliente
Material	ASTM A 1011
Espesor	4 mm
Punto de fluencia	310 MPa

Fuente: (Novacero, 2018)

### a) Cabezas articuladas

El varillaje articulado permite la regulación del sistema de suspensión, así como también es el encargado de soportar las cargas máximas establecidas en apartados previos. Su estructura consta de dos cabezas articuladas o terminales hembras, con rosca derecha y rosca izquierda, cuyos elementos han sido seleccionados por catálogos en base a la fuerza máxima que soporta el elemento bajo condiciones normales de funcionamiento (Figura 75).



**Figura 75.** Dimensiones de las cabezas articuladas

Fuente: (SKF, 2011)

La tabla 32 establece las especificaciones de las cabezas articuladas, las cuales han sido empleadas como elementos de regulación de la precarga en el sistema de suspensión posterior.

**Tabla 32**

*Características de las cabezas articuladas*

Descripción	Denominación
Cabeza articulada rosca derecha	SILKAC 10M
Cabeza articulada rosca izquierda	SIKAC 10M/VZ019

CONTINÚA



Capacidad de carga estática	12.2 kN
Capacidad de carga dinámica	10 kN
Carga a soportar por cálculo	3.6 kN
Masa	0.072 kg

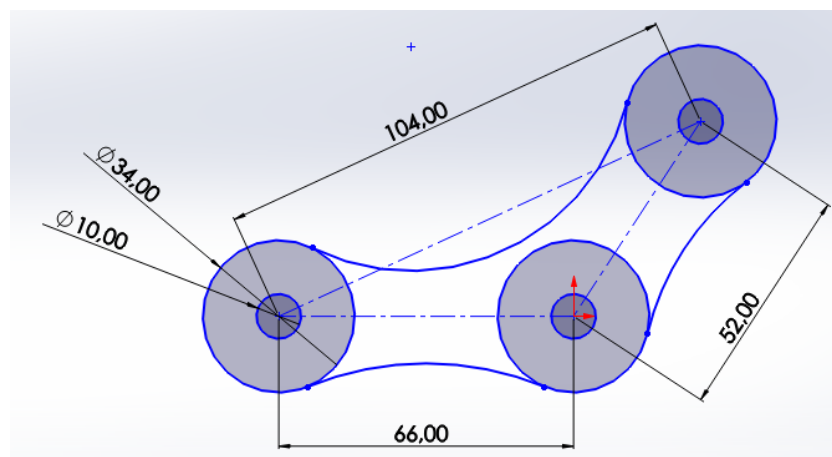
#### Dimensiones

$d$	10 mm
$B$	14 mm
$G$	M 10
$h1$	43 mm
$l4$	58 mm
$l3$	15 mm
$d2$	29 mm

Fuente: (SKF, 2011)

#### 4.2.2 Dimensionamiento y modelado del balancín

Usando las dimensiones del basculante, amortiguador, cabezas articuladas y demás dimensiones expuestas en cálculos anteriores, la Figura 76 muestra el bosquejo respectivo donde se detalla la geometría del balancín diseñado.



**Figura 76.** Dimensionamiento del balancín

Del mismo modo, mediante la utilización de herramientas computacionales CAD-CAE se ha facilitado el desarrollo del modelado del elemento, se ha dedicado especial atención a la optimización del material a fin de reducir el peso del componente durante su fabricación. La Figura 77 muestra el estado final del diseño.



*Figura 77.* Modelado del balancín

#### 4.2.3 Análisis de esfuerzos sobre el balancín

##### a) Análisis estático

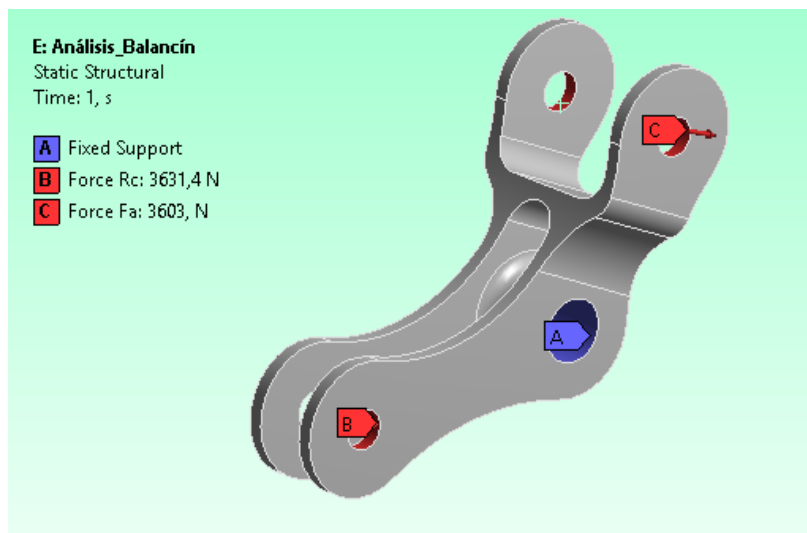
Con los resultados tomados del cálculo del mecanismo de suspensión, la Tabla 33 resume la magnitud de las cargas a aplicar durante el análisis estático del elemento.

**Tabla 33**

*Resultados de las cargas sobre el balancín*

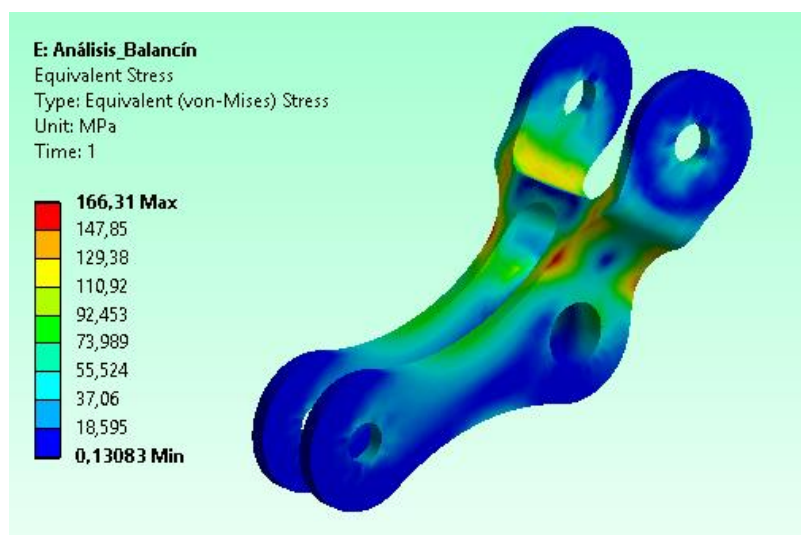
Denominación	Descripción	Magnitud
<i>F<sub>a</sub></i>	Fuerza del amortiguador	3603 N
<i>R<sub>c</sub></i>	Reacción sobre el anclaje de la cabeza articulada	3631.42 N

La Figura 78 muestra la aplicación de fuerzas en el balancín, se detalla a demás que se ha tomado como punto o soporte fijo para el análisis a la sección que sirve como pivote del componente.



*Figura 78.* Aplicación de cargas sobre el balancín

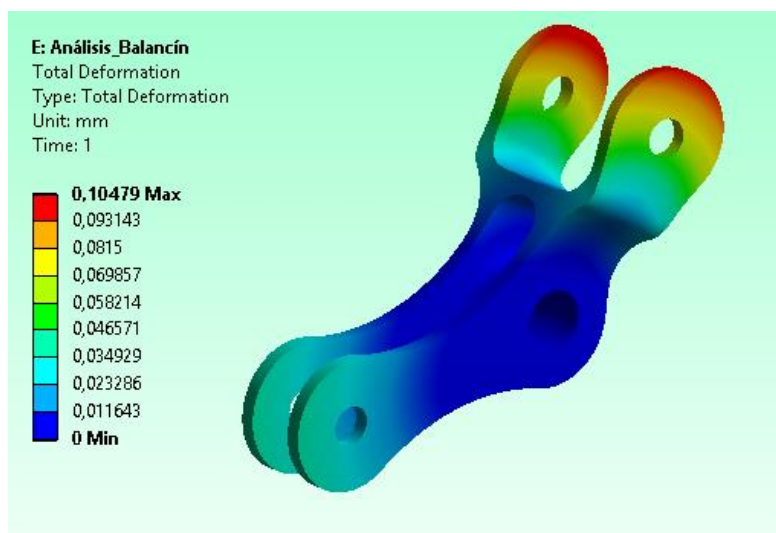
Con la simulación del esfuerzo Von-Mises se facilita la identificación de los puntos críticos de esfuerzo de modo que se obtienen los datos suficientes para determinar el factor de seguridad del elemento.



*Figura 79.* Esfuerzo sobre el balancín



Como complemento se efectúa el análisis de la deformación del balancín. La Figura 80 muestra los resultados, denotando valores bastante bajos en su variación longitudinal, tal suceso corrobora un buen diseño del elemento.



*Figura 80.* Deformación sobre el balancín

Como último punto, la Tabla 34 establece el análisis global obtenido luego del estudio estático estructural del elemento, en esta se detalla un factor de seguridad de 1.9 una vez aplicada la relación entre el esfuerzo Von-Mises y el límite de fluencia del material. Se concluye que el valor obtenido está en el rango de bastante aceptable, puesto que se aproxima a un valor cercano a 2.

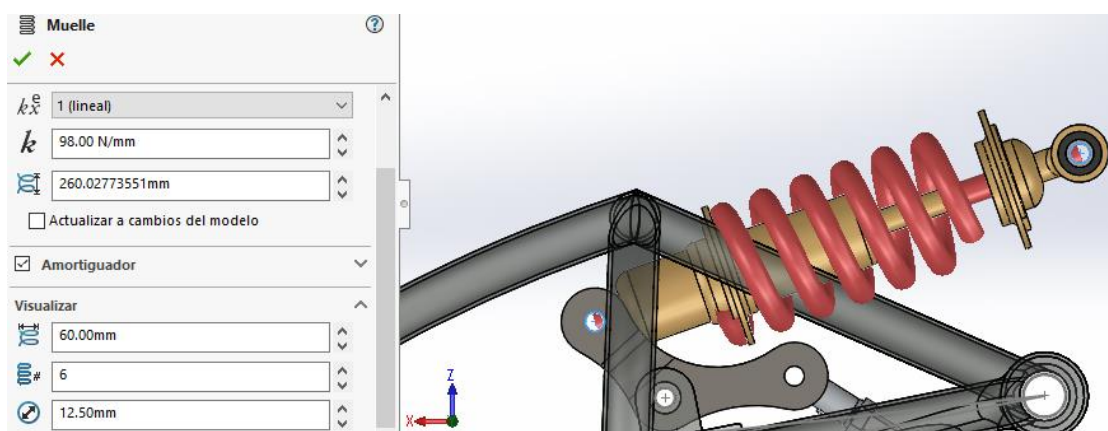
**Tabla 34**

*Resultados del análisis de las cargas estática sobre el balancín*

<b>Descripción</b>	<b>Magnitud</b>
Esfuerzo Von Mises	166.32 MPa
Límite de fluencia Acero ASTM A 1011	310 MPa
Factor de seguridad	1.9

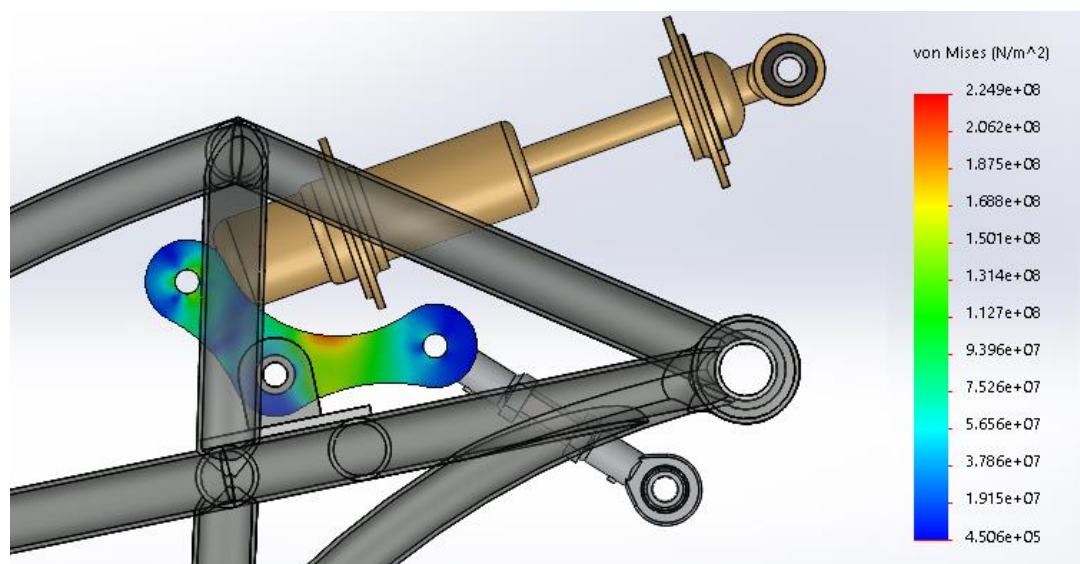
## b) Análisis dinámico

Generando un ensamble de todos los elementos que intervienen en el sistema de suspensión se ha desarrollado una simulación dinámica, introduciendo en el software los datos con las especificaciones técnicas del resorte del amortiguador así como la carga aplicada sobre el basculante previamente analizada, la Figura 81 muestra sus resultados.



**Figura 81.** Aplicación de características del amortiguador

La figura 82 muestra los esfuerzos producidos en el balancín al aplicar las cargas a las que está sometido el sistema de suspensión posterior



**Figura 82.** Esfuerzos producidos por cargas dinámicas sobre el balancín

Una vez culminado el análisis estructural del balancín, los resultados han sido resumidos y expuestos en la Tabla 35.

**Tabla 35**

*Resultados del análisis de las cargas dinámicas sobre el balancín*

<b>Descripción</b>	<b>Magnitud</b>
Esfuerzo Von Mises	225 MPa
Límite de fluencia Acero ASTM A 1011	310 MPa
Factor de seguridad	1.4

## CAPÍTULO V

### PROCESO DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLADO

En este capítulo se detalla el proceso de fabricación de los elementos ya diseñados en capítulos anteriores. Mediante la utilización de la herramienta denominada cursograma sinóptico se explica de manera detallada cada uno de los procesos de construcción y montaje.

En la Tabla 36 se muestra la nomenclatura a emplear en mencionados cuadros sinópticos.

**Tabla 36**

*Nomenclatura de los cursogramas sinópticos*

Símbolo	Significado
○	Operación
□	Inspección
⇒	Transporte
△	Almacenamiento
D	Espera

La Tabla 37 detalla en cambio, las diferentes operaciones a ejecutar durante el proceso de fabricación de los elementos.

**Tabla 37**

*Descripción de operaciones de fabricación*

N° Operación	Operación	Herramientas
1	Medición y Trazado	Pie de Rey, Micrómetro
2	Corte de material	Amoladora, Tronzadora
3	Corte de material	Oxicorte
4	Mecanizado	Fresadora, torno, taladro
7	Doblado	Dobladora hidráulica de tubos
8	Esmerilado	Esmeril
9	Limpieza de rebabas	Cinzel y Amoladora
10	Limpieza	Cepillo de alambre

CONTINÚA →

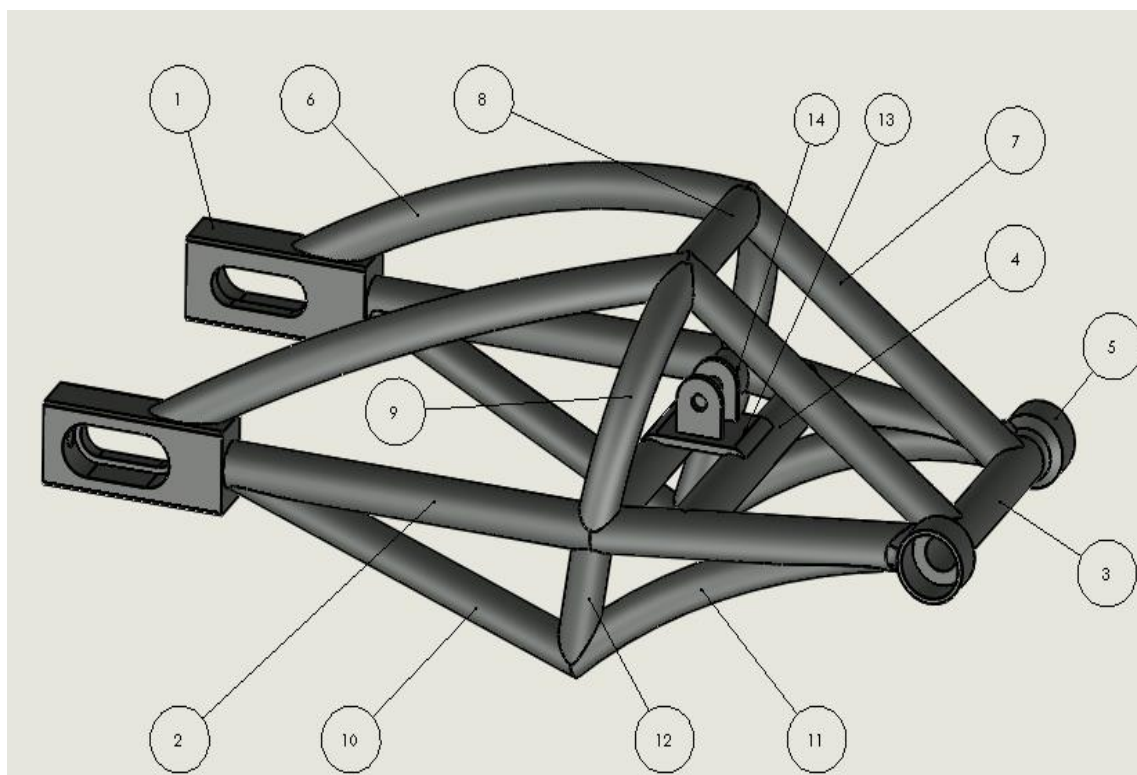
11	Unión de partes	Soldadura TIG
12	Pintura	Pintura al horno

### 5.1 Fabricación del Basculante

Los elementos que forman la estructura del basculante se detallan en la Tabla 38, los cuales han sido representados mediante la numeración de cada uno de los elementos que intervienen en la totalidad del conjunto, en la misma tabla también se detalla la cantidad de elementos similares, así como especificaciones en el dimensionamiento y material a emplear durante su proceso de construcción.

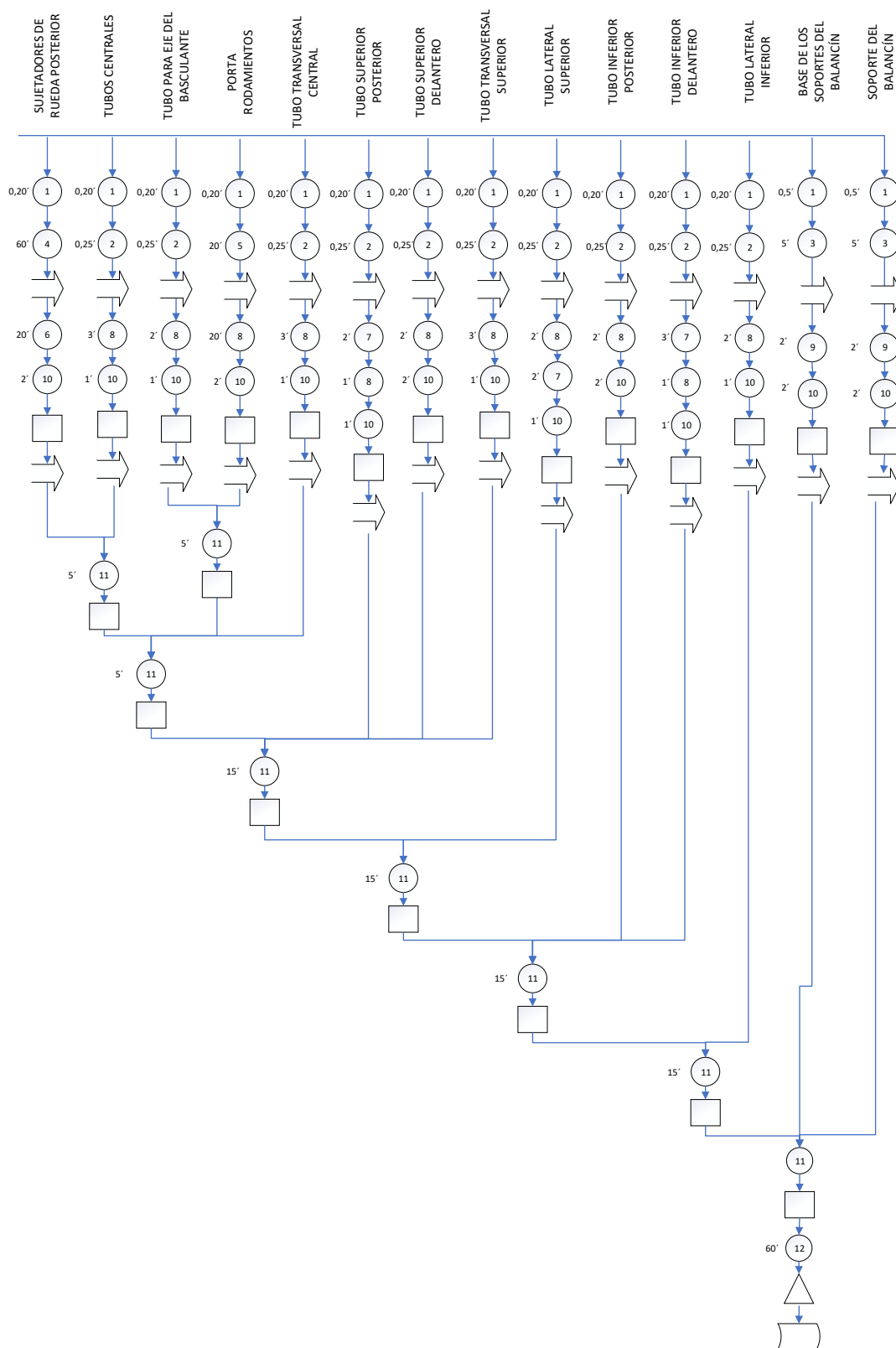
**Tabla 38**

*Elementos para la fabricación del basculante*



<b>N° Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>
1	Sujetador de Rueda Posterior	2	Bloque Acero ASTM A36 125x50x30 mm
2	Tubos Centrales	2	Tubo Cedula 40 ASTM A36 Grado B D: 26.7 mm, e:2.87 mm
3	Tubo para eje del Basculante	1	
4	Tubo Transversal Central	2	
5	Porta Rodamientos	2	Acero ASTM A26
6	Tubo Superior Posterior	2	Tubo Estructural ASTM A500 D: 1 in, e:2 mm
7	Tubo Superior Delantero	2	
8	Tubo Transversa Superior	1	
9	Tubo Lateral Superior	2	
10	Tubo Inferior Posterior	2	
11	Tubo Inferior Delantero	2	
12	Tubo Lateral Inferior	2	
13	Base de los Soportes del Balancín	1	Plancha Acero ASTM A36 e: 4mm
14	Soportes del Balancín	2	

Usando la herramienta de Cursograma Sinóptico, se muestra las operaciones a realizarse a cada elemento para la fabricación final del basculante, como lo muestra la Figura 83



**Figura 83.** Cursograma Sinóptico de fabricación del basculante

En la Figura 84 se muestra como se realiza la unión por suelda MIG del sujetador con la estructura central del basculante.



*Figura 84.* Unión de los sujetadores a la estructura central del basculante

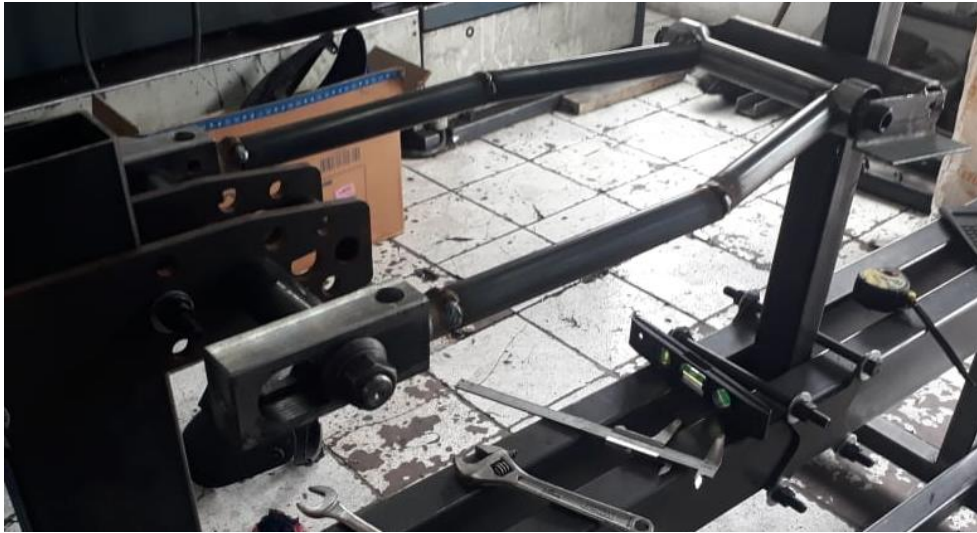
De igual forma en la Figura 85 se muestra la tubería designada para el eje del basculante, así como los porta rodamientos que forman los anclajes para el chasis.



*Figura 85.* Tubo del eje del basculante y los porta rodamientos



En la Figura 86 se muestra la tubería central que forma la estructura del basculante previamente fijada y centrada.



*Figura 86.* Tubos centrales del basculante

La figura 87 muestra en detalle el proceso de soldadura de los trasversales donde se instalara las platinas que formaran el anclaje para el balancín de la suspensión.



*Figura 87.* Estructura central del basculante

A continuación, se procede a soldar el resto de la estructura superior, formada por la tubería doblada como se muestra en la Figura 88.



*Figura 88.* Estructura superior del basculante

Al final se suelda la estructura inferior, tal como se muestra en la Figura 89



*Figura 89.* Estructura inferior del basculante

En la Figura 90 se especifica la estructura del basculante y chasis, mostrando que ambas armazones van de la mano durante el proceso de fabricación.

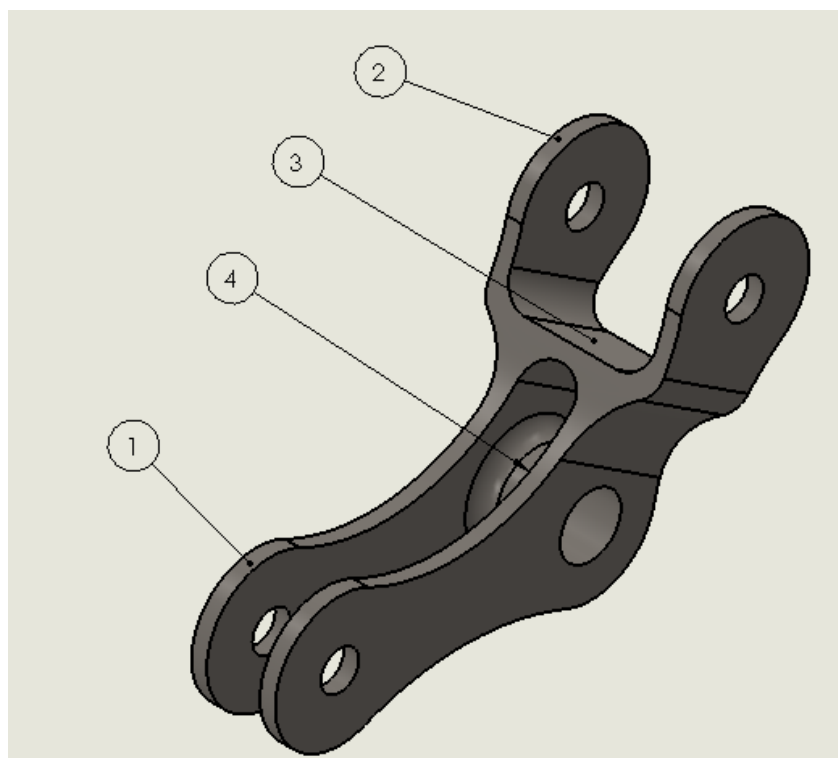


*Figura 90.* Estructura del basculante y chasis durante la fabricación

## **5.2 Fabricación de elementos del sistema de suspensión posterior**

### **5.2.1 Balancín**

En la Tabla 39 se detalla descripción individual de los elementos que forman la estructura del balancín, elemento de mucha importancia en el desempeño del sistema de suspensión posterior.

**Tabla 39***Elementos para la fabricación del balancín*

N° Elemento	Descripción	Cantidad	Material
1	Anclaje de la cabeza articulada	2	Plancha Acero laminado en caliente ASTM A 1011 espesor 4mm
2	Anclaje del amortiguador	2	
3	Placa transversal	1	
4	Eje Hueco del Balancín	1	Eje Acero ASTM A36

Usando la herramienta de Cursograma Sinóptico, se muestra las operaciones a realizarse a cada elemento para la fabricación final del balancín, como lo muestra la Figura 91

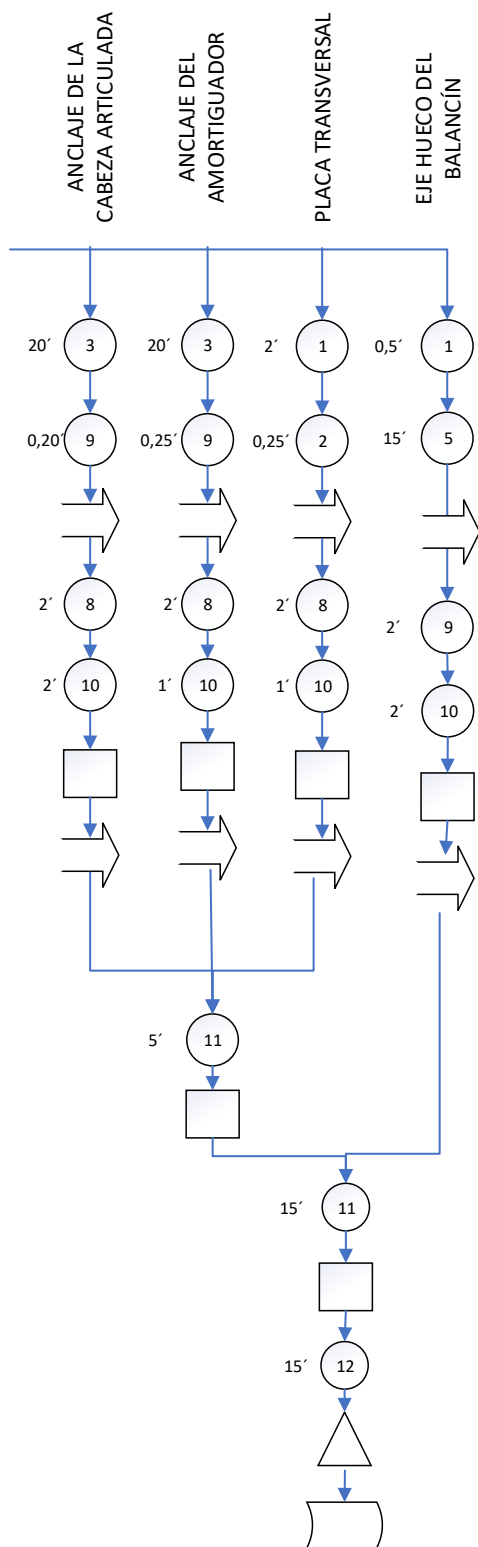


Figura 91. Cursograma sinóptico de fabricación del balancín

En la Figura 92 se muestra el resultado del proceso de Oxicorte aplicado la plancha de acero, obteniendo la forma lateral del balancín.



**Figura 92.** Placas para el balancín

A continuación se realiza el procedimiento de soldado de los acoples para el amortiguador y basculante, como se muestra en la Figura 93.



**Figura 93.** Fabricación del balancín

### 5.3 Ensamblaje

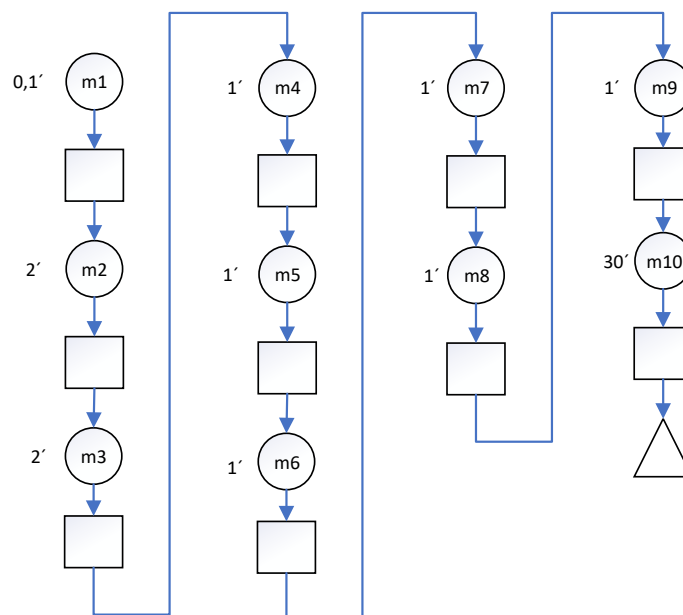
En la Tabla 40 se detallan cada una de las operaciones de montaje, los medios que se emplean, así como las respectivas herramientas para el ensamblaje completo de cada elemento del basculante y sistema de suspensión en el prototipo.

**Tabla 40**

*Descripción de operaciones para ensamblado y montaje*

N° Operación	Operación	Medio	Herramienta
m1	Montaje Rodamientos al Basculante	Grasa	-
m2	Montaje del Basculante al Chasis	Eje Basculante	Racha N° 17
m3	Montaje de Rueda al Basculante	Eje Rueda	Racha N° 19
m4	Montaje de Balancín al Basculante	Perno M10, Largo 60mm	Racha N° 17 y Llave mixta N° 17
m5	Montaje de Amortiguador al Balancín	Perno M10, Largo 60mm	Racha N° 17 y Llave mixta N° 17
m6	Montaje del Amortiguador al Chasis	Perno M10, Largo 60mm	Racha N° 17 y Llave mixta N° 17
m7	Montaje de la Varilla Articulada al Balancín	Perno M10, Largo 40mm	Racha N° 17 y Llave mixta N° 17
m8	Montaje de la Varilla Articulada al Chasis	Perno M10, Largo 40mm	Llave mixta N° 10
m9	Ajuste de la Suspensión Posterior	-	Llave mixta N° 10
m10	Montaje de Sistemas de Tracción y Frenos	-	-

Se elabora además el cursograma de montaje para representar las operaciones de montajes y el tiempo para ejecutarlas como lo muestra la Figura 94.



**Figura 94.** Cursograma de ensamblaje y montaje

Una vez fabricados los componentes, se realiza el proceso de ensamblado, en la Figura 95 se muestra la unión del basculante con el chasis de la motocicleta.



**Figura 95.** Unión del chasis y basculante



Por medio de los rodamientos y usando grasa como se muestra en la Figura 96, se realiza el montaje del basculante por medio del eje respectivo.



**Figura 96.** Colocación de rodamientos en el basculante

Como procedimiento siguiente, se realiza la instalación de la rueda posterior como se lo indica en la Figura 97



**Figura 97.** Ensamblaje de la rueda posterior al basculante

Se colocan los demás elementos de la suspensión posterior como son el balancín y la varilla articulada (Figura 98).



**Figura 98.** Ensamblaje del balancín y varilla articulada

Se coloca el amortiguador como lo muestra la Figura 99, de esta manera, junto con el ensamblaje de la horquilla de la suspensión delantera, la motocicleta ya puede mantenerse fija en el suelo.



**Figura 99.** Ensamblaje del amortiguador

En la Figura 100 se muestra una vista lateral del sistema de suspensión, tracción y rueda posterior.



**Figura 100.** Vista lateral de los elementos ensamblados

## CAPÍTULO VI

### PRUEBAS Y VERIFICACIONES

#### 6.1 Análisis modal de Fallos y Efectos

La Figura 101 muestra el análisis AMFE aplicado a los sistemas diseñados, determinando su grado de posibilidad de falla durante su normal funcionamiento, de aquí la importancia para validar el comportamiento de cada elemento; analizando los resultados, se establece que el mayor Número Prioritario de Riesgo (NPR) recae sobre el basculante.

Componente	Función	Modo Potencia de Fallo	Efecto Potencia de Fallo	Gravedad	Causa Potencia de Fallo	Ocurrencia	Verificación	Detección	NPR	Acción Recomendada				
Basculante	Une el chasis con la rueda posterior	Elevado peso y baja rigidez	Inestabilidad en la suspensión	4	Selección inadecuada del material	7	Revisión de las consideraciones para selección de materiales	2	56	Rediseño para la selección de un nuevo material	3	5	2	30
		Deformación o rotura	Inoperatividad parcial o total del sistema	9	Aplicación de fuerzas externas superiores a las pre-establecidas	6	Análisis de la magnitud de las cargas aplicadas	4	216	Rediseño del material tomando en cuenta las cargas máximas a soportar	4	5	4	80
		Elevado número de articulaciones	Excesiva fuente de rozamiento y holguras	4	Errores en el diseño estructural del elemento	8	Verificación de los cálculos estructurales	2	64	Rediseño estructural del elemento	3	5	2	30
Eje del basculante	Une el basculante al chasis	Deformación o rotura	Desunión de sus elementos anexos	8	Errores en el dimensionamiento	7	Revisión de cotas y parámetros dispuestos por la organización	2	112	Redimensionamiento del elemento basado en cálculos	4	4	2	32
Varilla Articulada	Permite regular la progresividad del sistema de suspensión	Deformación o rotura	Inoperatividad parcial o total del mecanismo	7	Selección inadecuada del material	7	Verificación de los parámetros de diseño y selección de materiales	2	98	Rediseño para la selección y dimensionamiento de un nuevo material	4	5	2	40
	Fija el balancín al chasis	Rotura del perno	Inestabilidad a causa de la desunión de sus elementos	6	Mala calidad del perno seleccionado	4	Revisión de las especificaciones técnicas provistas por el fabricante	5	120	Homologación del proveedor	4	2	5	40
		Oxidación del perno	Desgaste prematuro del elemento	4	Material incompatible o fallas en la lubricación	4	Análisis técnico de la composición y estructura del material	6	96	Cambiar el material por otro con mejores características físicas y químicas	3	2	5	30
Balancín	Soporte del Amortiguador y la Varilla Articulada	Deformación o rotura	Inestabilidad o inoperatividad de la totalidad del conjunto	9	Selección inadecuada del material	7	Comprobación de consideraciones para la selección de materiales	2	126	Rediseño para la selección y dimensionamiento de un nuevo material	4	4	2	32
Amortiguador	Reduce las vibraciones debido a irregularidades del camino	Suspensión demasiado dura o blanda	Inadecuada progresividad	6	Selección errónea de la constante de rigidez del muelle	6	Revisión de diseño del elemento	2	72	Nuevo cálculo para el diseño de una nueva constante de rigidez del muelle	3	4	2	24

**Figura 101.** Análisis Modal de Fallos y Efectos del basculante y Suspensión Posterior

## 6.2 Pruebas y Verificaciones Estáticas

### 6.2.1 Verificaciones del ajuste y regulación de la suspensión posterior

En la Figura 102 se comprueba la ejecución general del ajuste del varillaje articulado de la suspensión, girando el eje de tal manera que el mecanismo se alargue o contraiga, permitiendo de esta manera la regulación de la altura de la sección posterior de la motocicleta, obteniéndose los resultados esperados durante el proceso de diseño.



*Figura 102.* Regulación de la suspensión

La Tabla 41 a su vez, muestra los resultados obtenidos luego de la regulación de la distancia de la varilla articulada con respecto a la altura desde el suelo.

**Tabla 41**

*Ajustes y regulación de la suspensión*

<b>Distancia de la Varilla Articulada</b>	<b>Altura del suelo al Asiento de la Motocicleta</b>
116 mm	835 mm
114 mm	821 mm
112 mm	817 mm
110 mm	810 mm
108 mm	800 mm

### 6.2.2 Verificaciones por Reglamentación

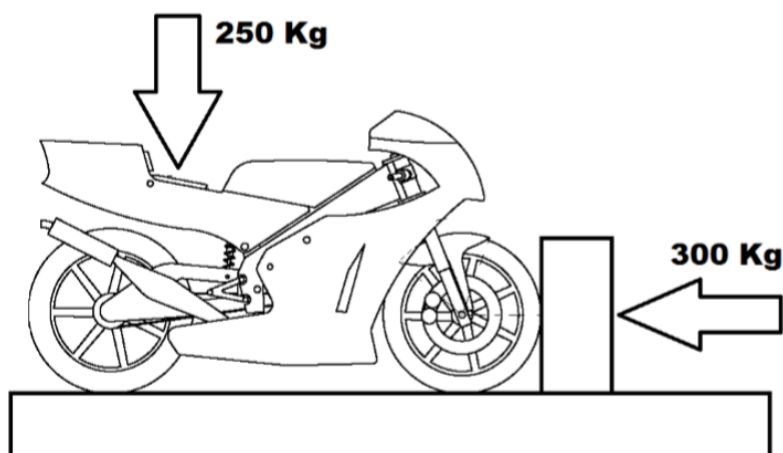
Para efectuar la comprobación del correcto desempeño de todos los sistemas de la motocicleta, se recurre a la Sección ‘E’ del reglamento técnico de Motostudent (Anexo 1), cuyos principales artículos inherentes a las verificaciones técnicas se detallan a continuación:

#### a) Verificaciones de la suspensión posterior en banco de pruebas

Para verificar la rigidez de la estructura de la motocicleta, geometría y el performance del sistema de suspensión, el prototipo fue sometido a rigurosas pruebas en un banco de ensayos ubicado en el complejo de MotorLand en España, tal como se detalla en el Art.3 de mencionada sección en la normativa ya mencionada (MotoStudent, 2017, p. 99).

El proceso de verificación del diseño del sistema consiste en la aplicación de una carga progresiva vertical de 250kg y una horizontal de 300kg sobre el asiento, tal como se detalla en la Figura 103.

Es importante recalcar que, durante estas evaluaciones, el prototipo STÓLIKA fue uno de los que mejor respuesta obtuvo en relación a la aplicación de tales cargas estáticas.



**Figura 103.** Lugar de aplicación de las cargas en la motocicleta.

Fuente:(MotoStudent, 2017)

En la Figura 104 se observa el proceso para la aplicación de la carga durante la competencia, se muestra a demás cómo se verifica la ejecución y la integridad estructural de la motocicleta, cumpliendo en con el Art. E.3.3 de la reglamentación de la Organización (MotoStudent, 2017, p. 99).



**Figura 104.** Colocación de la motocicleta en el banco de ensayo

En la Tabla 42 se exponen los resultados tras la ejecución de la prueba en el banco.

**Tabla 42**

*Resultados de la suspensión posterior en el banco de pruebas*

<b>Carga Aplicada</b>	<b>Observación</b>
Vertical 250 kg	Sin deformación estructural
Frontal 300 kg	Sin deformación estructural

### b) Verificaciones de la Ejecución de los Frenos

Mediante un frenómetro de rodillos, son los organizadores de la competencia quienes realizan la verificación del funcionamiento del freno delantero y posterior (Figura 105).



*Figura 105.* Verificaciones de frenos al prototipo STÓLIKA

Para que el desempeño de este subsistema cumpla con lo estipulado en la competencia, este deberá mostrar un valor superior de fuerza de frenado base de 0.3kN para el freno delantero y 0.25kN para eje posterior (MotoStudent, 2017, p. 101).

Los resultados tras la ejecución de esta prueba se despliegan en la Tabla 43.

**Tabla 43**

*Resultados de la fuerza de los frenos en el frenómetro*

Freno	Valor
Delantero	0.38 kN
Posterior	0.32 kN



### c) Validación de las Pruebas y Verificaciones Estáticas

Tras completar las verificaciones estáticas de manera exitosa, efectuadas por el jurado de la competencia, se colocó un adhesivo como se muestra en la Figura 106.



*Figura 106.* Colocación de adhesivo de las verificaciones estáticas

### 6.2.3 Pruebas Dinámicas

Al superar con éxito las verificaciones estáticas, el artículo E.3.4 de la normativa de Motostudent establece las pruebas dinámicas a efectuarse, destacándose las siguientes:

#### a) Prueba de Frenado

En la Figura 107 se muestra la descripción de la prueba de frenado, en la cual se evalúa la distancia recorrida que se obtiene tras la ejecución de los frenos con una velocidad mínima 80 km/hora.



*Figura 107.* Descripción gráfica de la prueba de frenado  
Fuente:(MotoStudent, 2017)

El desempeño del prototipo durante la prueba de frenado efectuado en la pista de se ilustra en la Figura 108.



**Figura 108.** Ejecución de la prueba de frenado en la Pista de MotorLand

En la Tabla 44 se muestran los resultados de las pruebas de frenado obtenidos en la pista, todas ellas calculadas bajo una velocidad aproximada de 90 Km.

**Tabla 44**

*Resultados de la prueba de frenado*

Medición	Velocidad Teórica	Velocidad Registrado en el Velocímetro	Distancia de Frenado	Tiempo de Frenado
1	80 km/h	89 km/h	25 m	2,37 s
2	80 km/h	91 km/h	23 m	2,22 s
3	80 km/h	87 km/h	21,6 m	2,2 s
4	80 km/h	88 km/h	21,4 m	2,1 s
5	80 km/h	89 km/h	21,5 m	2,2 s
<b>Promedio</b>	<b>80 km/h</b>	<b>88,8 km/h</b>	<b>22,5 m</b>	<b>2,218 s</b>

Partiendo de los datos obtenidos en la prueba anterior (distancias más y menos favorables de frenado), y tras aplicar la ecuación propuesta en el Art. G.4.2.9 del reglamento Motostudent (Anexo 1), se ha determinado que la puntuación de la distancia promedio es igual a 42 puntos sobre un total de 60, siendo considerado este resultado como bastante favorable.

### **b) Desempeño de la motocicleta en carrera de pista**

La carrera se desarrolla en la Pista de MotorLand-España, junto con todos los equipos participantes en la categoría Petrol, como lo muestra la Figura 109.



*Figura 109.* Carrera en la Pista de MotorLand – España

En la Figura 110 se observa el prototipo de motocicleta y su funcionamiento en pista.



*Figura 110.* Prototipo STÓLIKA en la Pista de MotorLand – España

### c) Validación de las pruebas y verificaciones estáticas

Tras completar con éxito las verificaciones dinámicas antes mencionadas por la reglamentación de la competencia, se ubicó un adhesivo sobre el chasis, como se muestra en la Figura 111, completando así con todas las pruebas pre establecidas.



*Figura 111.* Colocación de adhesivo de la todas las verificaciones

## CAPÍTULO 7

### MARCO ADMINISTRATIVO

#### 7.1 Recursos

##### 7.1.1 Recursos Humanos

En la Tabla 45 se describen los recursos humanos que intervinieron durante la ejecución del proyecto.

**Tabla 45**

*Recursos Humanos empleados en la investigación*

Director	Elaboradores
Ing. Mena Stalin	Ortega Alexander Ramos Cristopher

##### 7.1.2 Recursos Tecnológicos

La Tabla 46 detalla los recursos tecnológicos usados para el proyecto.

**Tabla 46**

*Recursos Tecnológicos*

Descripción
Software CAD
Software CAE
Cámaras Fotográficas
Internet
Documentos Digitales
Máquinas / Herramientas
Computador personal
Impresoras

### 7.1.3 Recursos Físicos

En la Tabla 47 se describen los recursos físicos, así como los lugares donde se efectuaron los procesos de fabricación y el protocolo de pruebas del prototipo.

**Tabla 47**

*Recursos Físicos*

Descripción	Instalaciones
<b>Construcción</b>	Taller Mecánico y de manufactura
<b>Pruebas y Verificaciones</b>	Laboratorio de Motores de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Extensión Latacunga Kartódromo Cotopaxi Pista MotorLand / Aragón – España

### 7.1.4 Recursos Materiales

Los Recursos Materiales se detallan en el análisis financiero que se presenta en el siguiente apartado.

## 7.2 Análisis Financiero


### 7.2.1 Gastos para el basculante

La tabla 48 muestra los gastos incurridos para la realización del basculante.

**Tabla 48**

*Elementos y materiales empleados para la fabricación del basculante*

Descripción Materia Prima y Mano de Obra	Detalle	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total
Tubo Cedula 40	Diámetro 26.7mm, Espesor 2.87 mm	\$ 5,00	1 metro	\$ 5,00
Tubo Estructural	Diámetro 1 pulgada, Espesor 2 mm	\$ 14,00	6 metros	\$ 14,00
Plancha Acero	100 x 100 mm, Espesor 4 mm	\$ 5,00	1 unidad	\$ 5,00

CONTINÚA 

Bloque Acero	125 x 50 x 30 mm	\$ 10,00	1 unidad	\$ 10,00
Eje Basculante	Diámetro 16 mm	\$ 5,00	1 unidad	\$ 5,00
Templadores de Cadena	-	\$ 3,50	2 unidades	\$ 7,00
Rodamientos	Cónicos 30203 JR	\$ 15,00	2 unidades	\$ 30,00
Oxicorte de Plancha de Acero	-	\$ 5,00	2 unidades	\$ 10,00
Pintura	Pintura al horno	\$ 60,00	-	\$ 60,00
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 146,00</b>

### 7.2.2 Gastos Sistema de Suspensión Posterior

En la Tabla 49 se muestra los gastos incurridos para la fabricación del sistema de suspensión posterior.

**Tabla 49**

*Elementos y materiales empleados en el sistema de suspensión*

<b>Descripción Materia Prima y Mano de Obra</b>	<b>Detalle</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Total</b>
Plancha Acero Laminada en Caliente	150 x 150 mm, Espesor 4 mm	\$ 7,00	1 unidad	\$ 7,00
Eje de Acero	Diámetro 12 mm, Largo 70 mm	\$ 2,00	1 unidad	\$ 2,00
Cabeza Articulada Rosca Derecha	SILKAC 10M	\$ 20,00	1 unidad	\$ 20,00
Cabeza Articulada Rosca Izquierda	SIKAC 10M	\$ 40,00	1 unidad	\$ 40,00
Amortiguador	Longitud 260 mm	\$ 52,00	1 unidad	\$ 52,00
Pernos Grado 8	M10, Largo 60 mm	\$ 0,90	3 unidades	\$ 2,70
Perno Grado 8	M10, Largo 40 mm	\$ 0,80	2 unidades	\$ 1,60
Oxicorte de Plancha de Acero	-	\$ 5,50	2 unidades	\$ 11,00
Torneado del Eje de la Varilla articulada	-	\$ 10,00	-	\$ 10,00
Pintura	Pintura al horno	\$ 10,00	-	\$ 10,00
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 156,30</b>

### 7.2.3 Gastos de Herramientas

En la Tabla 50 se muestra los gastos cubiertos para la adquisición de herramientas.

**Tabla 50**

*Gastos por la adquisición de herramientas*

Descripción	Detalle	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total
Broca Métrica	Juego de brocas	\$ 20,00	1 unidad	\$ 20,00
Limas	Juego de limas	\$ 25,00	1 unidad	\$ 25,00
Calibrador Pie de Rey		\$ 18,00	1 unidad	\$ 18,00
Disco de Corte	SILKAC 10M	\$ 5,00	1 unidad	\$ 5,00
Disco para pulir	SIKAC 10M	\$ 5,00	1 unidad	\$ 5,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 73,00</b>

### 7.2.4 Gastos Totales

La Tabla 51 detalla los gastos totales del proyecto de investigación

**Tabla 51**

*Total de gastos*

Descripción	Costo Total
Basculante	\$ 146,00
Sistema de Suspensión Posterior	\$ 156,30
Herramientas	\$ 73,00
Manufactura	\$ 800,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1175,30</b>



## CONCLUSIONES

- Con el presente trabajo de investigación se desarrolló el mecanismo de la suspensión posterior tipo Back Link que participó en la V Edición de la competencia Motostudent, cumpliendo la totalidad de objetivos propuestos al inicio del proyecto.
- Para la fabricación del basculante y una vez completado el proceso de selección técnica se optó por emplear la tubería estructural de Acero ASTM A500 y A53, debido a sus favorables características de resistencia y ductilidad; su principal desventaja frente a otros equipos competidores fue el peso total del elemento en la motocicleta.
- Con respecto a la manufactura del balancín y el anclaje para el amortiguador, se seleccionaron planchas de Acero ASTM A36 y A1011 respectivamente, obteniendo muy buenos resultados en las pruebas estáticas y dinámicas.
- Mediante los análisis estructurales efectuados usando software CAD-CAE, analizados en las condiciones más desfavorables durante la conducción en pista, se determinó que el mayor esfuerzo Von Mises se presenta durante la aceleración en recta, registrando un valor de 182.04 MPa; sin embargo, el límite de fluencia del Acero ASTM A53 es de 240 MPa; fijando un factor de seguridad de 1.4, ubicándose en el rango de aceptable.
- El prototipo STÓLIKA, desarrollado por el equipo MAC-ESPE cumplió con todos los estándares de calidad propuestos por la Organización Motostudent, ratificando tal logro al alcanzar la posición #13, entre un total de 45 equipos presentes en la evaluación general del cálculo y diseño estructural de la motocicleta.

- El diseño, fabricación e implementación del basculante y sistema de suspensión posterior tuvo una destacada participación en todas las verificaciones técnicas llevadas a cabo por los organizadores de la competencia, tal hecho se corrobora con la consecución de los 3 adhesivos que denotan la integridad estructural tanto estática como dinámica de la motocicleta, así como la aprobación de las verificaciones administrativas de la totalidad del proyecto.
- En relación a la prueba aplicada al sistema de frenos, los resultados obtenidos fueron bastante aceptables, esto debido a que, luego de evaluar la distancia de frenado promedio (22,5m) con una velocidad media de 88,8 km/h y un tiempo de 2,138s se obtuvo una puntuación de 42 puntos sobre un máximo de 60 puntos que otorga esta prueba.

## **RECOMENDACIONES**

- Para el diseño del balancín, se recomienda realizar un estudio topológico o estudio de optimización de material, a fin de reducir de gran manera el peso del elemento, sin dejar apartado del estudio las cargas a las que estará sujeto.
- Investigar el uso de diferentes materiales y efectuar el respectivo análisis con respecto a la fabricación de la estructura del basculante, en base a fibra de carbono.
- Efectuar un amplio estudio enfocado al diseño de nuevos mecanismos de suspensión posterior que podrían ser un aporte al apartado de innovación en las próximas competencias organizadas por Motostudent.

- Para próximas investigaciones se recomienda evaluar el comportamiento dinámico del sistema de suspensión posterior, efectuando un análisis sobre la incidencia en la regulación de la longitud de las cabezas articuladas como consecuencia de la variación de la altura del asiento de la motocicleta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEADE. (2018). Sector Automotor en cifras. Recuperado el 6 de diciembre de 2018, de <http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2018/10/boletin%2026%20espanol%20resumido.pdf>
- Chiarello, M. (2018). *Progettazione di un forcellone motociclistico innovativo in alluminio e fibra di carbonio per la categoria Moto2* (B.S. thesis). Università di Padova. Recuperado de [http://tesi.cab.unipd.it/59313/1/Chiarello\\_Michele\\_1128812.pdf](http://tesi.cab.unipd.it/59313/1/Chiarello_Michele_1128812.pdf)
- Collantes Gil, A. (2012). *Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición* (B.S. thesis).
- Cossalter, V. (2006). *Motorcycle dynamics*.
- Dipac. (2016). Tubo Estructural Redondo Negro. Recuperado el 3 de diciembre de 2018, de <http://www.dipacmanta.com/tubo-estructural-redondo-negro>
- Foale, T. (2006). *Motorcycle handling and chassis design: the art and science*. Tony Foale.
- Godoy, S. (2018). *Impacto en el mercado interno de motos de procedencia China, HINDU y otras, frente a motos de procedencia Japonesa en la ciudad de Guayaquil* (B.S. thesis). Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Económicas. Recuperado el 8 de diciembre de 2018, de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/34160/1/GODOY%20NAVARRO.pdf>
- Jareño Núñez, A. (2013). *Diseño del basculante de una motocicleta de competición y análisis de fatiga* (B.S. thesis).
- Kawasaki. (2016). Horizontal Back-link rear suspension. Recuperado el 3 de enero de 2019, de <https://www.kawasaki.ca/media/mig/2012/ninja-zx-10r/English/files/assets/downloads/page0014.pdf>

- Marfil, J. M. (2018, octubre 27). V edición de MotoStudent: El futuro de la moto está aquí | Noticias Motos.net. Recuperado 21 de noviembre de 2018, de <https://motos.coches.net/noticias/motosudent-reportaje-2018?fbclid=IwAR2FP43X04jTzREuZrqV7kzeC3a4brAsFfGAipTmj70vNSe8-HoIyiHdF3k>
- Molina, F. (2018). *Diseño de un basculante de motocicleta de fibra de carbono y lino para competición* (PhD Thesis). Recuperado el 9 de diciembre de 2018, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/112836/MOLINA%20-%20DISE%20C3%91O%20DE%20UN%20BASCULANTE%20DE%20MOTOCICLETA%20DE%20FIBRA%20DE%20CARBONO%20Y%20LINO%20PARA%20COMPETICION.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- MotorLand. (2011). Race Track Geometry Data.
- Motostudent. (2017). Reglamento de la competición Motostudent 2017 - 2018. Recuperado el 21 de noviembre de 2018, de [http://www.motostudent.com/assets/files/MS1718\\_Regulations\\_V1\\_ESP.pdf](http://www.motostudent.com/assets/files/MS1718_Regulations_V1_ESP.pdf)
- Norton, R. L. (2016). *Diseño de maquinaria*.
- Novacero. (2018). Planchas sin recubrimiento. Recuperado el 6 de diciembre de 2018, de <https://www.novacero.com/catalogo-productos/planchas-y-flejes-en-rollo/planchas-sin-recubrimiento.html>
- Robinson, J. (1994). *Motorcycle Tuning: Chassis*. Butterworth-Heinemann.

- Sarti, G. (2013). *Progettazione di un forcellone motociclistico innovativo per motociclette da competizione* (B.S. thesis). Università di Padova. Recuperado el 12 de diciembre de 2018, de [http://tesi.cab.unipd.it/44519/1/Giacomo\\_Sarti\\_1036563\\_\(DIDATTICA\\_tesi\).pdf](http://tesi.cab.unipd.it/44519/1/Giacomo_Sarti_1036563_(DIDATTICA_tesi).pdf)
- SKF. (2018). Tapered roller bearings, single row - 30203. Recuperado el 6 de diciembre de 2018, de <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/roller-bearings/tapered-roller-bearings/single-row-tapered-roller-bearings/single-row/index.html?designation=30203>
- SKF. (2011). SKF Spherical plain bearings and rod ends.
- Smith, B., & Kienhöfer, F. (2015). A Carbon Fibre Swingarm Design. *R&D Journal of South African Institution of Mechanical Engineering*, 1–11. Recuperado de [https://cdn.ymaws.com/www.saimeche.org.za/resource/collection/808D30D3-713D-4B6C-A8C2-063D436C8682/2014\\_08\\_Smith\\_and\\_Kienhofer\\_-\\_FINAL,\\_2015,\\_31,\\_1-11.pdf](https://cdn.ymaws.com/www.saimeche.org.za/resource/collection/808D30D3-713D-4B6C-A8C2-063D436C8682/2014_08_Smith_and_Kienhofer_-_FINAL,_2015,_31,_1-11.pdf)
- Stoffregen, J. (2010). *Motorradtechnik: Grundlagen und Konzepte von Motor, Antrieb und Fahrwerk* (Eighth). Olching, Deutschland: Springer-Verlag.
- Thede, P., & Parks, L. (2010). *Race Tech's Motorcycle Suspension Bible*. Motorbooks.
- Zodiac. (2018). BASCULANTE DE ALUMINIO PULIDO PARA V-ROD. Recuperado el 29 de noviembre de 2018, de <https://catalog.zodiac.nl/es/catalog-es/17-chasis-cuadros-suspension/chasis-cuadros-suspension/basculantes/basculante-de-aluminio-pulido-para-v-rod-por-rick-s/>

# ANEXOS



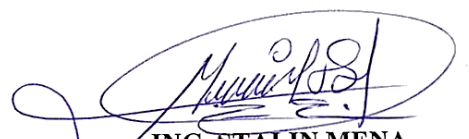
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: **CHRISTIAN ALEXANDER ORTEGA PORTILLA** y **CRISTOPHER BRYAN RAMOS LANDÁZURI**

En la ciudad de Latacunga, a los 24 días del mes de enero del 2019.



**ING. STALIN MENA**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

Aprobado por:



**ING. DANILO ZAMBRANO**  
**DIRECTOR DE CARRERA**



**ABG. DARWIN ALBAN YÁÑEZ**  
**SECRETARIO ACADÉMICO**