



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

### **“DISEÑO, MODELACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CHASIS PARA MOTOCICLETA CON FINES DE PRODUCCIÓN NACIONAL”**

**BONILLA BONILLA ISAAC ANDRÉS  
JAQUE PAUCAR JAIRO VINICIO**

## **TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

# **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2015**

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2014-06-16

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**BONILLA BONILLA ISAAC ANDRÉS**  
**JAQUE PAUCAR JAIRO VINICIO**

---

Titulada:

**“DISEÑO, MODELACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CHASIS PARA MOTOCICLETA CON FINES DE PRODUCCIÓN NACIONAL”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos Santillán M.  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Pablo Sinchiguano  
**DIRECTOR DE TESIS**

---

Ing. Miguel Aquino  
**ASESOR DE TESIS**

---

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** BONILLA BONILLA ISAAC ANDRÉS

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO, MODELACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
PROTOTIPO DE CHASIS PARA MOTOCICLETA CON FINES DE  
PRODUCCIÓN NACIONAL”

**Fecha de Examinación:** 2015-09-21

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Dr. Mario Audelo <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Pablo Sinchiguano <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Miguel Aquino <b>ASESOR DE TESIS</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Dr. Mario Audelo  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** JAQUE PAUCAR JAIRO VINICIO

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO, MODELACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CHASIS PARA MOTOCICLETA CON FINES DE PRODUCCIÓN NACIONAL”

**Fecha de Examinación:** 2015-09-21

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Dr. Mario Audelo <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Pablo Sinchiguano <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Miguel Aquino <b>ASESOR DE TESIS</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Dr. Mario Audelo  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**Isaac Andrés Bonilla Bonilla**

**Jairo Vinicio Jaque Paucar**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres por ser el pilar fundamental en mi vida, quienes me apoyaron los momentos más difíciles y guiarme para ser una persona de bien. A mis hermanos, maestros y amigos quienes me apoyaron todo el tiempo gracias a ellos todo este trabajo ha sido posible.

**Isaac Andrés Bonilla Bonilla**

El presente proyecto va dedicado principalmente a mi madre quien me dio la vida, me vio crecer, dándome sus consejos, e incluso reprendiéndome en ocasiones. Situaciones que me formaron como persona para alcanzar cada una de mis metas. A mi padre que es mi fuerza espiritual, que siempre me cuida desde el cielo junto con Dios y me ha dado fuerzas para seguir adelante y no dejarme vencer por más difícil que sea la situación. Mi único hermano que siempre está pendiente de mi apoyándome en todo lo que este a su alcance. A toda mi familia que siempre me ha brindado su apoyo incondicional.

**Jairo Vinicio Jaque Paucar**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios por darme salud para poder lograr mis objetivos, a mis padres gracias a ellos soy lo que soy que de una u otra manera me apoyaron para terminar con éxito una etapa más de nuestras vidas.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por la oportunidad de obtener una profesión, y todos aquellos familiares, docentes y amigos quienes con perseverancia y sacrificio me ayudaron en momentos difíciles.

**Isaac Andrés Bonilla Bonilla**

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, y la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarme la oportunidad de ir adquiriendo conocimientos técnicos durante mi formación profesional y así alcanzar el título de Ingeniero Automotriz.

En especial a mi madre que con su sacrificio y perseverancia no dejó de ayudarme en mis etapas de estudio, a docentes por impartir sus conocimientos y finalmente a cada uno de mis amigos con los que compartimos experiencias en la Escuela de Ingeniería Automotriz.

**Jairo Vinicio Jaque Paucar**

# CONTENIDO

Pág.

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	<i>Objetivo general.</i> .....	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos:</i> .....	2
<b>2.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DEL CHASIS PARA MOTOCICLETAS</b>	
2.1	Caracterización de motocicletas en función de recientes innovaciones .....	4
2.2	Partes de una motocicleta .....	5
2.2.1	<i>Chasis</i> .....	5
2.2.2	<i>Motor.</i> .....	6
2.2.3	<i>Suspensión.</i> .....	6
2.2.3.1	<i>Suspensión delantera.</i> .....	6
2.2.3.2	<i>Suspensión posterior.</i> .....	7
2.2.4	<i>Ruedas.</i> .....	7
2.3	Chasis.....	8
2.3.1	<i>Tipos de chasis de motocicletas.</i> .....	8
2.3.1.1	<i>Chasis simple cuna cerrada.</i> .....	8
2.3.1.2	<i>Chasis simple cuna abierto.</i> .....	8
2.3.1.3	<i>Chasis simple cuna desdoblado.</i> .....	9
2.3.1.4	<i>Chasis doble cuna.</i> .....	9
2.3.1.5	<i>Chasis multitubular.</i> .....	10
2.3.1.6	<i>Chasis doble viga perimetral.</i> .....	10
2.3.1.7	<i>Chasis monocasco.</i> .....	11
2.3.1.8	<i>Chasis mono viga o de espina central.</i> .....	11
2.4	Características geométricas .....	12
2.4.1	<i>Angulo de dirección.</i> .....	12
2.4.2	<i>Distancia entre ejes.</i> .....	12
2.4.3	<i>Tubo de dirección.</i> .....	13
2.4.4	<i>Avance.</i> .....	13
2.5	Materiales para la fabricación del chasis .....	13
2.5.1	<i>Acero.</i> .....	13
2.5.1.1	<i>Aceros de baja aleación y alta resistencia</i> .....	14
2.5.1.2	<i>Aceros de fase dual.</i> .....	14
2.5.1.3	<i>Aceros al níquel, de carbono muy bajo.</i> .....	14
2.5.1.4	<i>Aceros inoxidables.</i> .....	15
2.5.2	<i>Aluminio.</i> .....	15
2.5.3	<i>Magnesio.</i> .....	15
2.5.4	<i>Fibra de Carbono.</i> .....	16
<b>3.</b>	<b>PROCESO DEL DISEÑO DEL CHASIS</b>	
3.1	Esfuerzos presentes en el chasis .....	18
3.1.1	<i>Esfuerzos de frenado máximo con rueda delantera.</i> .....	19



3.1.2	<i>Peso..</i>	19
3.1.3	<i>Esfuerzos de frenado máximo con rueda posterior.</i>	20
3.1.4	<i>Esfuerzos de aceleración máxima.</i>	22
3.1.5	<i>Esfuerzos de velocidad máximo por el paso en curva.</i>	23
3.2	Normas aplicables al proceso de diseño del chasis de motocicletas	24
3.3	Diseño básico del chasis	25
3.4	Caracterización de material	28
3.4.1	<i>Espectrometría de emisión óptica.</i>	28
3.4.2	<i>Ensayo de tracción.</i>	29
3.4.3	<i>Dureza Vickers.</i>	32
3.4.4	<i>Metalografía.</i>	33
3.5	Acero estructural ASTM A36	35
3.5.1	<i>Características del acero ASTM A36.</i>	35
3.6	Comparación de materiales	36
<b>4.</b>	<b>MODELADO DEL CHASIS DE MOTOCICLETA</b>	
4.1	Modelado del chasis mediante SolidWorks 2014	39
4.2	Proceso del modelado del chasis	39
4.3	Proceso de modelado de piezas complementarias del chasis	43
4.4	Proceso de ensamble piezas complementarias al chasis	44
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL MODELO DEL CHASIS</b>	
5.1	Introducción al método de elementos finitos (en adelante MEF)	46
5.1.1	<i>Sistemas Discretos y Sistemas Continuos.</i>	47
5.2	Análisis y simulación mediante ANSYS	48
5.2.1	<i>Tipos de geometrías.</i>	49
5.2.2	<i>Calidad de malla.</i>	50
5.3	Simulación y ensayo de esfuerzos	51
5.3.1	<i>Ensayo estático.</i>	51
5.3.2	<i>Ensayo de aceleración.</i>	57
5.3.3	<i>Ensayo de frenado.</i>	59
5.3.3.1	<i>Frenado con la rueda posterior.</i>	59
5.3.3.2	<i>Frenado con la rueda delantera.</i>	61
5.3.4	<i>Ensayo al momento de pasar por una curva.</i>	63
5.4	Rediseño	65
<b>6.</b>	<b>PROCESO DE FABRICACIÓN</b>	
6.1	Proceso de fabricación del chasis	67
6.1.1	<i>Jig de ensamblaje.</i>	67
6.2	Proceso de mecanizado	70
6.2.1	<i>Tubo de dirección.</i>	70
6.2.2	<i>Corte, doblado y maquinado de los tubos del chasis.</i>	71
6.2.3	<i>Tubo superior.</i>	71
6.2.4	<i>Tubo inferior.</i>	72
6.2.5	<i>Tubo central.</i>	73
6.2.6	<i>Tubos Laterales.</i>	73
6.2.7	<i>Tubos Posteriores.</i>	74
6.2.8	<i>Tubos de enlace.</i>	74
6.2.9	<i>Tubo de enlace posterior y Tubo de enlace inferior.</i>	74
6.2.10	<i>Otros.</i>	75

6.2.11	<i>Ensamblaje de chasis.....</i>	75
6.3	Proceso de soldadura .....	79
6.4	Inspección de Soldadura .....	82
6.4.1	<i>Inspección visual.. ..</i>	82
6.4.2	<i>Líquidos penetrantes.....</i>	83
6.4.3	<i>Secuencia operacional de líquidos penetrantes coloreado.. ..</i>	85
6.5	Proceso de pintura .....	87
6.5.1	<i>Control de lijado.....</i>	87
6.5.2	<i>Limpieza.....</i>	88
6.5.3	<i>Protección anticorrosiva.. ..</i>	88
6.5.4	<i>Preparación de superficie.. ..</i>	88
6.5.5	<i>Limpieza.....</i>	89
6.5.6	<i>Aplicación de Pintura.....</i>	89
6.5.7	<i>Aplicación de Barniz.. ..</i>	89
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS</b>	
7.1	Costos directos.....	91
7.2	Costos indirectos.....	94
7.3	Costo total.....	95
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
8.1	Conclusiones.....	96
8.2	Recomendaciones .....	97

**BIBLIOGRAFÍA**  
**PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1	Características y aplicaciones de las fibras de carbono ..... 17
2	Parámetros iniciales. .... 18
3	Tipos de chasis y sus características ..... 26
4	Resultados de bastidor de motocicleta Suzuki AX100 ..... 28
5	Designación de grado y composición química de acero al carbono ..... 29
6	Resultados de bastidor Scooter Suzuki – AE 50 R ..... 29
7	Propiedades químicas acero ASTM A 36 ..... 35
8	Propiedades mecánicas ASTM A36 ..... 36
9	Comparación-Composición química ..... 36
10	Comparación-Propiedades Mecánicas ..... 37
11	Otros criterios de aceptación de material ..... 37
12	Materiales de JIG ..... 69
13	Materiales chasis de motocicleta ..... 71
14	Clasificación de los productos según EN 573-1 ..... 84
15	Penetrante coloreado rojo ..... 85
16	Costos materiales del chasis ..... 91
17	Costo del mecanizado de las piezas del chasis ..... 92
18	Costo de piezas cortadas del chasis ..... 92
19	Costo de piezas conformadas del chasis ..... 92
20	Costo de materiales del JIG ..... 93
21	Costo mecanizado piezas del JIG ..... 93
22	Costo de piezas cortadas del JIG ..... 93
23	Costo global de proceso de soldadura ..... 94
24	Otros costos ..... 94
25	Costo directo total ..... 94
26	Costo total ..... 95

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Chasis motocicleta .....	5
2 Horquilla tipo GIRDER .....	7
3 Chasis simple cuna cerrado.....	8
4 Chasis simple cuna abierto .....	9
5 Chasis simple cuna desdoblado .....	9
6 Chasis doble cuna .....	10
7 Chasis multitubular .....	10
8 Chasis doble viga perimetral.....	11
9 Chasis monocasco.....	11
10 Chasis mono viga o de espina central .....	12
11 Características geométricas.....	12
12 Fuerzas de frenado por la rueda delantera .....	19
13 Diagrama de cuerpo libre de frenado por la rueda delantera .....	20
14 Fuerzas de frenado por la rueda posterior.....	21
15 Fuerzas de aceleración máxima .....	22
16 Diagrama de cuerpo libre de aceleración máxima.....	22
17 Fuerzas de velocidad al momento de pasar en curva.....	24
18 Esquema inicial del prototipo .....	27
19 Ángulos de intersección.....	27
20 Dimensiones de probeta para ensayo de tracción. ....	30
21 Diagrama Esfuerzo-Deformación unitaria, Suzuki Ax100.....	30
22 Diagrama Esfuerzo Deformación unitaria Suzuki AE 50 R.....	31
23 Microestructura del material de Motocicleta Suzuki AX 100 .....	33
24 Microestructura de acero con 0,06% C.....	34
25 Microestructura de Scooter AE 50 R - x100.....	34
26 Microestructura de Scooter AE 50 R - x500.....	34
27 Comparación-Composición química .....	36
28 Comparación- Propiedades Mecánicas .....	37
29 Parámetros básicos de diseño .....	40
30 Vista principal del chasis .....	40
31 Vista frontal del chasis.....	41
32 Vista superior del chasis .....	41
33 Vista isométrica del chasis.....	41
34 Vista transparente del chasis .....	42
35 Vista principal del tubo de dirección .....	42
36 Vista superior del tubo de dirección .....	42
37 Vistas del refuerzo delantero .....	43
38 Vistas de refuerzo base motor.....	43
39 Vistas refuerzo posterior eje para anclajes del amortiguador .....	44
40 Vistas ensamble refuerzo frontal al tubo de dirección.....	44
41 Vista de varios ensambles.....	45
42 Vista general del chasis.....	45
43 Sistema continuo (infinitos grados de libertad) .....	47
44 Sistema Discretos.....	47

45	Sistema Continuo .....	48
46	Calidad de malla Element Quality .....	50
47	Geometría definida .....	51
48	Tipo de elemento para la discretización .....	52
49	Material para la geometría .....	52
50	Mallado del chasis en Workbech de Ansys en el análisis estático .....	53
51	Calidad de malla .....	53
52	Calidad mínima de malla .....	54
53	Distribución de cargas sobre el chasis para el análisis estático .....	54
54	Solución del problema .....	55
55	Esfuerzo máximo producido en análisis estático .....	55
56	Deformación máxima producida en el análisis estático.....	56
57	Factor de seguridad del análisis estático del chasis .....	56
58	Distribución de cargas sobre el chasis para análisis de aceleración máxima .....	57
59	Esfuerzo máximo producido en el análisis de aceleración máxima .....	58
60	Deformación total producida en el chasis por la aceleración máxima .....	58
61	Factor de seguridad del chasis producida en la aceleración máxima .....	59
62	Distribución de cargas sobre el chasis en el análisis frenado con rueda posterior .....	60
63	Deformación total del análisis de frenado con rueda posterior.....	60
64	Esfuerzo máximo producido por el análisis de frenado con rueda posterior .....	60
65	Factor de seguridad del chasis en el análisis de frenado con rueda posterior.....	61
66	Distribución de cargas sobre el chasis en el análisis de frenado con rueda delantera.....	61
67	Deformación total del chasis en el análisis de frenado con rueda delantera.....	62
68	Esfuerzo máximo producido por el análisis de frenado con rueda delantera .....	62
69	Factor de seguridad del chasis por el análisis de frenado con rueda delantera...	62
70	Distribución de cargas sobre el chasis en el análisis de curva .....	63
71	Esfuerzo máximo producido por el análisis de curva .....	64
72	Deformación total máxima producida por el análisis en curva.....	64
73	Factor de seguridad del chasis producido por el análisis en curva .....	65
74	Diseño final del chasis vista superior .....	65
75	Diseño final del chasis vista isométrica .....	66
76	JIG.....	68
77	Chasis montado en el JIG .....	68
78	Mecanizado parte superior del tubo de dirección .....	70
79	Mecanizado parte central del tubo de dirección .....	70
80	Cortes rectos en el extremo del tubo.....	71
81	Perfilado tubo superior.....	72
82	Perfilado del tubo inferior .....	72
83	Tubo inferior .....	72
84	Tubo central .....	73
85	Tubo Lateral.....	73
86	Tubos posteriores .....	74
87	Tubo de enlace .....	74
88	Corte con plasma .....	75
89	Refuerzos principales.....	75
90	Ensamblaje de la parte frontal con puntos de suelda SMAW.....	76
91	Ensamblaje de tubos laterales .....	76
92	Tubo lateral a 75mm del tubo superior .....	77

93	Ensamblaje de tubos posteriores.....	77
94	Acople de tubo posterior con tubo lateral.....	77
95	Chasis ensamblado por medio de puntos de suelda.....	78
96	Base de tanque de combustible.....	78
97	Refuerzo central.....	79
98	Guías de descanzador principal y apoyos de motor.....	79
99	Soldadora MIG-MAG.....	80
100	Soldadura de tubo en posición fija.....	81
101	Proceso de soldadura GMAW.....	81
102	Cordones de soldadura – Tubo de dirección.....	82
103	Cordones de soldadura – Tubo latera y posterior.....	82
104	Cordón de soldadura refuerzo posterior.....	83
105	Cordón de soldadura en la base del tanque de combustible.....	83
106	Kit líquidos penetrantes Magnaflux.....	84
107	END refuerzos posteriores.....	86
108	END Refuerzo delantero.....	86
109	END- Unión tubo de enlace y tubo posterior.....	87
110	END Tubo de dirección.....	87
111	Chasis con capa anticorrosiva.....	88
112	Chasis con fondo de relleno blanco.....	88
113	Chasis con capa de pintura.....	89
114	Chasis con capa de barniz.....	89

## SIMBOLOGÍA

$F_A$	Fuerza en el punto A	N
$F_B$	Fuerza en el punto B	N
$N_A$	Normal en el punto A	N
$N_B$	Normal en el punto B	N
$a$	Aceleración	$m/s^2$
$F_c$	Fuerza centrífuga	N
$P$	Peso	N
$\sigma$	Esfuerzo	Pa
$S_{ut}$	Resistencia última a la tensión	MPa
$S_y$	Resistencia a la fluencia	MPa
HV	Dureza Vickers	HV

## LISTA DE ABREVIACIONES

INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
ISO	Organización Internacional de Estandarización
JIS	Estandarización Industrial Japonesa (Japan Industrial Standard)
JASO	Normas de Organización Automotriz Japonesa
ASTM	Sociedad Americana de Ensayos de Materiales
AISI	Instituto Americano del Hierro y el Acero
SAE	Sociedad del Ingenieros Automotrices
SMAW	Soldadura por arco con Electrodo Recubierto (Shield Metal Arc Welding)
GMAW	Soldadura por Arco Metálico a Gas (Gas Metal Arc Welding)
AWS	Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society)
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos



## RESUMEN

Se realizó el Diseño y Construcción de un chasis prototipo de motocicleta, el cual servirá de base al sector productivo de motopartes y a la vez se pretende aportar al incremento del porcentaje de los componentes nacionales en el ensamblaje de motocicletas y así contribuir al cambio de matriz productiva del país.

En el diseño del chasis se consideraron las características geométricas y elementos que irán montados en él, así como materiales de fabricación a los que cuales se ensayaron llegando a determinar el adecuado según las características mecánicas y composición químicas del mismo.

Con el diseño geométrico de chasis simple de cuna abierto se realizaron los análisis en base a los fenómenos de aceleración, desaceleración o frenado con la rueda delantera y posterior, velocidad máxima en curva. Determinando los esfuerzos que se generan en el chasis y los cuales fueron utilizados en el análisis mediante software de Elementos Finitos, obteniendo resultados aceptables en: factor de seguridad, esfuerzos y deformaciones máximas.

Durante la construcción del chasis fue necesario construir un JIG de montaje que facilite la sujeción y posicionamiento adecuado de cada uno de los elementos con los procesos de soldadura. Se realizaron END (Ensayos No Destructivos) a las juntas soldadas, posteriormente se llevó a cabo el proceso de pintura de acuerdo a procesos técnicamente definidos.

Finalmente la determinación del costo de prototipo que incluye materiales de construcción, procesos de manufactura (torneado, conformado, soldadura, pintura, etc.), concluyendo con la factibilidad de producción del chasis con materiales y tecnología nacional así también con un diseño adecuado.

## **ABSTRACT**

The design and construction of a prototype motorcycle chassis, which will guide the productive sector of motorcycle parts and also a contribution to increase the percentage of domestic components in the assembly motorcycles contributing to change the country's productive matrix was performed.

In the chassis design are considered geometric features and elements that will be mounted on it, as well as manufacturing materials which were tested to determine the appropriate arriving as the mechanical properties and chemical composition.

Geometric design with simple open chassis cradle analyzes were performed based on the phenomena of acceleration, deceleration or braking with the front and rear wheel, maximum speed cornering, determining the stresses that are generated in the chassis; which they were used in the analysis by finite element software, obtaining acceptable results in: security factor, effort and maximum deformation.

During construction of the chassis it was necessary to build a jig mounting support and facilitated the proper positioning of elements in welding processes. END performed (NDT) to welds, then held the painting process according to technically defined processes.

Finally the prototype costing of materials including construction, manufacturing processes (turning, forming, welding, painting, etc.), concluding with the feasibility of production of chassis materials and domestic technology and also with a suitable design.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Unas de las estrategias de desarrollo que el Ecuador mantiene como política de estado, es el cambio de matriz productiva y dentro de esta se encuentra el sector de transporte y movilidad, ante ello es importante observar los diferentes medios de transporte que se utilizan en el Ecuador, como es el uso de la motocicleta. Es así que en los últimos años ha crecido la demanda de este tipo de vehículo ante una oferta muy escasa implicando a la vez la necesidad de fabricación de motopartes.

El presente proyecto trata del diseño y construcción del chasis de motocicleta, aportando con ideas innovadoras y tecnológicas al sector metalmecánico productor de motopartes basados en los conocimientos adquiridos durante nuestra formación profesional. El cual servirá como base para la realización de investigaciones futuras y así incursionar en la producción de motopartes nacionales, atendiendo la demanda nacional y posteriormente el mercado internacional.

El Ministerio de Industrias y Productividad a través del acuerdo 14-264 manifiesta que la incorporación de producción local hasta diciembre de 2014 debe ser aproximadamente el 10% de componentes para el ensamblaje de motocicletas y debe ir incrementando progresivamente, un 15% hasta marzo del 2015 y un 20% hasta junio del 2016, la visión de nuestro país es lograr a futuro mayor producción nacional. (ACR, 2014)

En años anteriores el diseño del chasis de una motocicleta se lo realizaba mediante el método prueba-error y con ello iban mejorando los puntos débiles permitiendo así la evolución de sus modelos. En la actualidad se realiza mediante software el cual permite simular y realizar pruebas a la estructura a través de Métodos de Elementos Finitos y así lograr resultados efectivos y reales.

Con la aplicación de la metodología de Ingeniería Inversa lograremos adquirir información en el desarrollo para el diseño y la construcción del chasis con los materiales

nacionales, posteriormente profundizarlo permitiendo mejorar sus propiedades y características logrando que el prototipo tenga buenas prestaciones.

## **1.2 Justificación**

Ante la deficiencia de producción de motopartes nacionales, con el desarrollo de nuestro proyecto se pretende aportar a la iniciativa de la fabricación de elementos que conforman una motocicleta y posteriormente incrementar el porcentaje de fabricación local, regional y del país, en base a un diseño racional y estudio de materiales adecuados basados en normas técnicas, sin descuidar la seguridad de los usuarios, de esta manera aportemos con una parte fundamental al ensamblaje de una motocicleta.

Resulta evidente que el producto de este proyecto servirá para establecer mejoras en lo referente a la producción de motocicletas en el país. La posibilidad de producción de este proyecto es factible ya que contamos con el apoyo gubernamental, teniendo talento humano calificado e ideas innovadoras de nuevos profesionales que se están formando.

## **1.3 Objetivos**

**1.3.1** *Objetivo general.* Realizar el diseño, modelación y construcción de un prototipo de chasis para motocicleta con fines de producción nacional.

**1.3.2** *Objetivos específicos:*

Aplicar los conocimientos necesarios de ingeniería en el diseño del prototipo del chasis de una motocicleta.

Realizar un estudio de materiales y elegir el más apropiado para la construcción del prototipo.

Aplicar Normas y Reglamentos Técnicos tanto nacionales como internacionales necesarios para el diseño y construcción del prototipo del chasis de motocicleta.

Realizar simulaciones aplicables al prototipo del chasis con ayuda del software ANSYS antes de proceder a la construcción.

Realizar el ensamble de los diferentes elementos que conforman el chasis mediante el proceso de soldadura adecuado.

Verificar la calidad de soldadura mediante Tintas Penetrantes, aplicadas a ciertas juntas que conforma el chasis.

## CAPÍTULO II

### 2. CARACTERIZACIÓN DEL CHASIS PARA MOTOCICLETAS

#### 2.1 Caracterización de motocicletas en función de recientes innovaciones

La bicicleta ha sido la base para las primeras motocicletas y ayudó a darle forma a la historia de estas máquinas motorizadas. Los historiadores se disputan todavía cuál es el padre de esta primera máquina. Corría el año 1868. Por aquel entonces, un visionario americano llamado Sylvester Howard Roper se hizo una pregunta: ¿Qué pasaría si a una bicicleta le adapto un motor a vapor? Dicho y hecho. Este fabricó un motor de dos cilindros utilizando el carbón como combustible, lo incrustó en el cuadro de una bicicleta y creó lo que hoy podríamos denominar como la primera motocicleta.

Una motocicleta es un medio de transporte de dos ruedas, comúnmente utiliza un motor de combustión interna a gasolina que le da el impulso motriz. En la actualidad las motocicletas al igual que los autos buscan ser más óptimos en el consumo de combustible, y también amigables con el medioambiente sin descuidar la seguridad. Siendo este medio de transporte el adecuado para zonas urbanas ya que su desplazamiento en este lugar es rápido y sin percances, considerando siempre el respeto a las señales de tránsito conforme indica las leyes y reglamentos.

En los últimos años las empresas fabricantes de motocicletas se han enfocado en la seguridad del conductor, ya sea este caso el sistema de ABS (Anti-lock Brake System) sistema que ayuda a mantener la tracción de la motocicleta evitando que esta pierda adherencia con la calzada gracias a una diferencia de presiones que permiten que las pastillas de la motocicleta frenen de forma intermitente evitando así accidentes. Como también con el transcurso de los años se ha logrado disminuir el peso de las mismas utilizando aleaciones de acero, aluminio y plásticos reforzados.

Una tendencia tecnológica es la presentación de varios modelos eléctricos como es el caso de KTM fabricante austriaco nos presenta Freeride E , la italiana Tacita con su gama T-race, la americana zero motorcycles, BWM con su modelo C-evolution.e, entre otras. Dándonos a conocer su tecnología que en común es la utilización de una batería de Litio,

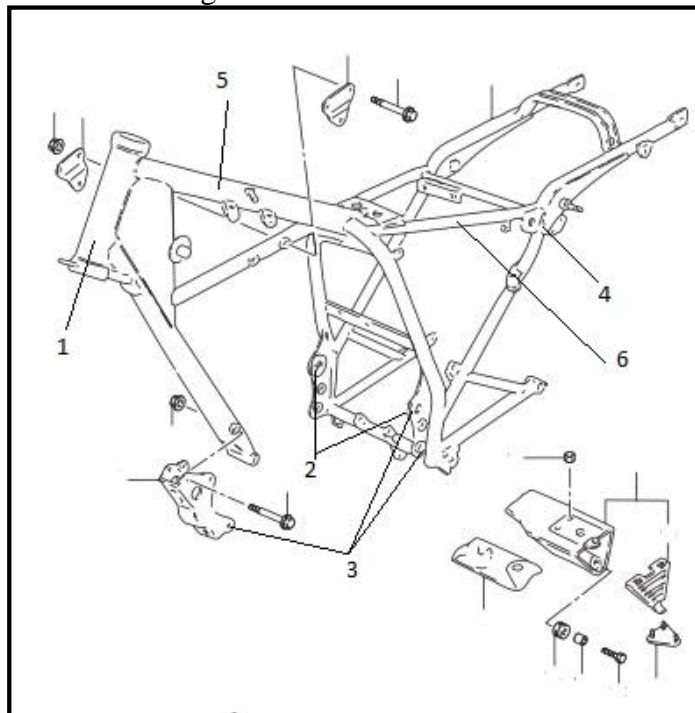
pero el inconveniente se mantiene en la autonomía ya que es muy limitada. Pero el resultado es beneficioso para el medio ambiente reduciendo en su totalidad la emanación de gases contaminantes (CAÑADELL, 2014).

## 2.2 Partes de una motocicleta

**2.2.1 Chasis** El chasis es una de las parte fundamentales de la motocicleta en donde se acoge la mayoría de los componentes formando un solo cuerpo rígido en el que se colocan puntos de apoyo para el motor, el tanque de combustible, además puntos de pivote para al sistema de dirección delantera y al basculante.

Las características principales del chasis es soportar grandes esfuerzos dinámicos sin deformar su estructura bajo condiciones extremas obteniendo así una mejor estabilidad de la motocicleta con el suelo. El material que utilizan frecuentemente es acero o aleación de aluminio muy rara vez ocupan magnesio, fibra de carbono o titanio. El material del chasis debe tener buenas propiedades para soportar el peso de los componentes así también debe ser lo más liviano posible ya que este influye en el comportamiento de la motocicleta.

Figura 1. Chasis motocicleta



Fuente: <https://suzukign125.wordpress.com/2008/04/15/despiese-de-la-suzuki-gn-125/#jp-carousel-14>

Como podemos observar en la figura, en la parte 1 tenemos la zona de anclaje donde va ubicada la horquilla telescópica. En el parte 2 van ubicados los ejes del basculante y el eje soporte del motor con el chasis, en la parte 3 podemos encontrar los elementos donde que sirven como anclajes de soporte del motor.

La parte 4 sirve para colocar los amortiguadores posteriores el cual se une con el basculante, en la parte 5 tenemos la estructura principal que una todo el cuerpo del chasis. Por último la parte 6 se encuentra la estructura donde se sujeta el piloto y a otros elementos como la carrocería y depósito de la gasolina.

**2.2.2 Motor.** En la actualidad existen de 2 tiempos y de 4 tiempos, los motores de 2 tiempos son usados para motocicletas de bajo cilindraje las cual necesita potencia más no velocidad, mientras que los motores de 4 tiempos son más utilizados en motocicletas convencionales.

El número de cilindro de los motores varía de uno hasta seis cilindro en línea, siendo más utilizados los de 4 en línea y los de 2 cilindros en V. La alimentación de estos motores normalmente son a carburador pero últimamente y por disposiciones ambientales se está incorporando la inyección de combustible. La refrigeración de esos motores en la antigüedad era por aire, pero en la actualidad se utilizada radiador con refrigerante para motocicletas de alta gama.

**2.2.3 Suspensión.** La suspensión es un sistema dinámico en el cual se encuentra acoplado en la parte delantera y posterior de cualquier vehículo. La suspensión tiene beneficios, gracias a ello se ha logrado llevar un confort de los ocupantes. Sin embargo, no se logra diseñar una suspensión que cubra todas las necesidades.

El movimiento de la suspensión es en un plano vertical pero debido a la dinámica de la motocicleta da lugar a otros movimientos en relación a otros ejes, si la suspensión no se encuentra debidamente ajustada puede ocasionar problemas con la adherencia y se convierta en inestable y peligrosa.

**2.2.3.1 Suspensión delantera.** En este tipo de suspensión se encuentra varios diseños, pero solo un pequeño número de diseños se han adaptado a las necesidades de fabricante



y usuario, entre alguno de ellos podemos mencionar la horquilla tipo GIRDER la cual fue el primer diseño en suspensión delantera de las motocicletas. Luego el diseño que mejoro una mejor maniobrabilidad fue la horquilla telescópica.

Figura 2. Horquilla tipo GIRDER



Fuente: <http://s227.photobucket.com/user/jasonrodman/media/PhotoID25504.jpg.html>

El sistema de las horquillas telescópicas es empleado en su mayoría por todas las marcas de motocicletas y se utiliza hasta la actualidad.

**2.2.3.2 Suspensión posterior.** En este tipo de suspensión podemos encontrar el basculante que está formado por tubos transversales en el cual se coloca rodamiento para el giro de la rueda. Para que funcione correctamente la suspensión se coloca amortiguadores para evitar que se produzcan esfuerzos contraproducentes al chasis; el diseño del basculante soporta grandes cargas y es así que con ayuda de los amortiguadores se reducen las fuerzas que pueden afectar al giro de las ruedas.

**2.2.4 Ruedas.** Las ruedas se componen de dos elementos, el aro que es la parte rígida y el neumático que va estar en contacto con el piso. La función que poseen las ruedas es facilitar el movimiento a la motocicleta.

Los neumáticos tienen propiedades elásticas en las cuales se pueden adaptar fácilmente al tipo de imperfecciones que posee el terreno y de esta manera es la parte que mayor

influencia tiene sobre la manejabilidad de la motocicleta, ya que soporta las cargas ejercidas por el conductor y la motocicleta.

## 2.3 Chasis

### 2.3.1 Tipos de chasis de motocicletas.

**2.3.1.1 Chasis simple cuna cerrada.** El chasis de simple cuna cerrada es uno de los primeros modelos de chasis para motocicletas similar a los de bicicletas, sobre el cual se le acopla el motor como parte fundamental, cuya ventaja es el bajo índice de peso en función del material ya sea de acero o de aluminio. Sin embargo, una desventaja es que tiene baja rigidez.

Estos chasis forman una cuna debajo del motor, lo cual suelen estar montados en motocicletas de baja potencia que no necesiten tener altas prestaciones. (CASAJÙS, 2012)

Figura 3. Chasis simple cuna cerrado



Fuente:[http://www.portalscooter.com/imagenes/Imagenes\\_Web/albumes/reportajes/chasis/chasis%20simple%20cuna.jpg](http://www.portalscooter.com/imagenes/Imagenes_Web/albumes/reportajes/chasis/chasis%20simple%20cuna.jpg)

**2.3.1.2 Chasis simple cuna abierto.** Es muy similar al chasis de simple cuna cerrado, pero en este caso el montaje del motor se encuentra en la parte inferior de la cuna donde queda abierto mediante un tubo transversal. Este chasis es estandarizado para los motores de cilindradas pequeñas que van desde los 125 a 250 cc. La ventaja es económico pero limitado en relación de prestaciones. (CASAJÙS, 2012)

Figura 4. Chasis simple cuna abierto



Fuente: CASAJÚS Luis. Tipos de chasis de motocicleta.

**2.3.1.3** *Chasis simple cuna desdoblado.* Este tipo de chasis es una variante del chasis tipo cuna, ya que desde el cabezal de la dirección sale un tubo luego se desdobra en dos tubos por delante y debajo del motor llegando hasta la zona donde se encuentre el basculante posterior, este tipo de chasis se utiliza para motocicletas de tipo campo. (CASAJÚS, 2012)

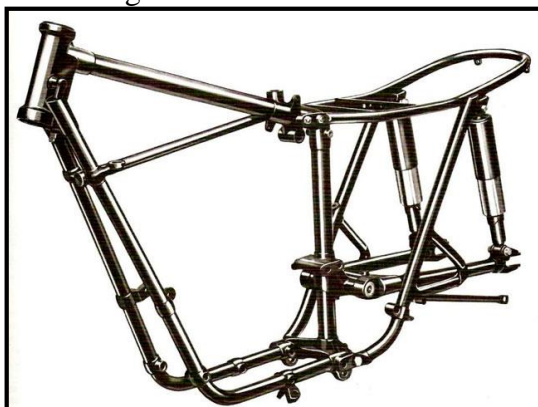
Figura 5. Chasis simple cuna desdoblado



Fuente: CASAJÚS Luis. Tipos de chasis de motocicleta.

**2.3.1.4** *Chasis doble cuna.* El tipo de chasis doble cuna es un avance del chasis de simple cuna ya que ambos tipos de chasis acogían a un motor mono cilíndrico, en este caso en el chasis de doble cuna desciende dos tubos desde el cabezal de dirección hasta llegar a la parte del bastidor posterior por separado en forma de una cuna acogiendo al motor. Este chasis es más rígido que el chasis simple cuna ya que forma una estructura más sólida, en varios casos la parte inferior de la cuna va atornillada con el bastidor posterior para mayor facilidad de montaje y desmontaje del motor. (CASAJÚS, 2012)

Figura 6. Chasis doble cuna



Fuente: Fuente: CASAJÚS Luis. Tipos de chasis de motocicleta.

**2.3.1.5 Chasis multitubular.** Este tipo de chasis consiste en un conjunto de tubos doblados alrededor del motor consta de dos tubos principales a cada lado que va desde el cabezal de dirección hasta la zona del basculante y tubos rectos y cortos uniendo los tubos principales colocados en forma de telaraña, de este modo le dan una gran rigidez ganando espacio para la colocación del motor y de accesorios. Este tipo de chasis se le ocupa mucho en las motocicletas de marca Ducati. (CASAJÚS, 2012)

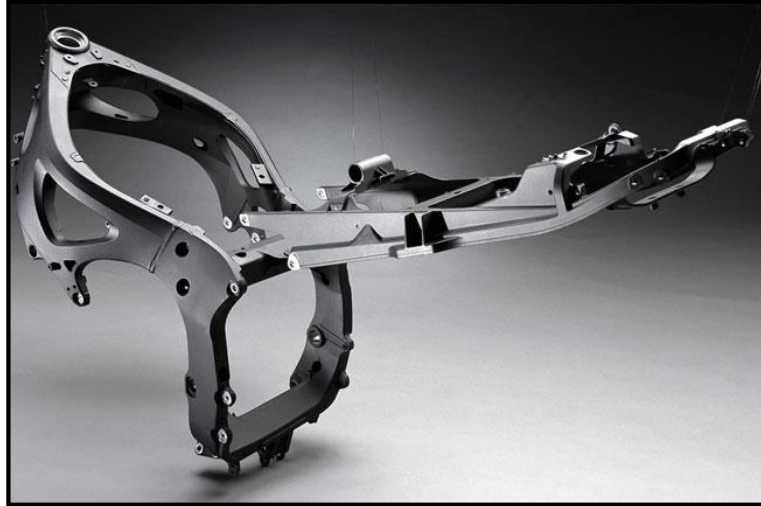
Figura 7. Chasis multitubular



Fuente:[http://www.todocircuito.com/imagen/13408-KTM\\_990\\_Super\\_DukeR\\_2012%202.jpg](http://www.todocircuito.com/imagen/13408-KTM_990_Super_DukeR_2012%202.jpg)

**2.3.1.6 Chasis doble viga perimetral.** Este tipo de chasis se le utiliza para motocicletas deportivas, está diseñado con vigas normalmente construidas de aluminio ubicadas en la parte superior alrededor del motor que van desde el cabezal de dirección hasta el eje basculante, incorporado soportes en la parte inferior para la sujeción del motor, el diseño de este chasis es ligero y pueden ser fabricados mediante fundiciones, laminación o extrusión también pueden ser construidos por una combinación de estos métodos. (CASAJÚS, 2012)

Figura 8. Chasis doble viga perimetral



Fuente: <http://www.publimotos.com/website/images/contenidos/2014/enero/enero-27/tipos-chasis/principal7.jpg>

**2.3.1.7 Chasis monocasco.** Este chasis es de tipo auto-portante de chapa estampada, este tipo de chasis se le utiliza usualmente en las motos Vespa y tiene funciones tanto de chasis como carrocería, también se utiliza en las motos deportivas Kawasaki fabricados de aleaciones de aluminio. (CASAJÙS, 2012)

Figura 9. Chasis monocasco



Fuente: <http://www.publimotos.com/website/images/contenidos/2014/enero/enero-27/tipos-chasis/principal9.jpg>

**2.3.1.8 Chasis mono viga o de espina central.** El chasis tiene una viga principal en la parte superior como refuerzo principal del chasis. El motor en este tipo de chasis ya no estará rodeado en la parte inferior por la cuna sino quedara colgada por medio de soporte laterales que sobresalen hacia la parte inferior. (CASAJÙS, 2012)

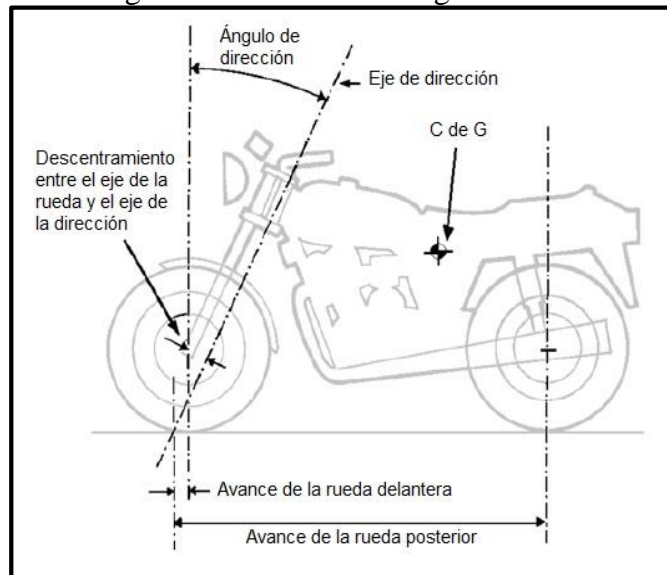
Figura 10. Chasis mono viga o de espina central



Fuente: CASAJÚS Luis. Tipos de chasis de motocicleta.

## 2.4 Características geométricas

Figura 11. Características geométricas



Fuente: FOALE Tony. Motorcycle Handling and chassis design the art and science

**2.4.1** *Angulo de dirección.* El ángulo de dirección comprendido entre el eje del tubo de dirección y una recta vertical. El primer paso del diseño geométrico es colocar la suspensión delantera para poder determinar la posición del tubo de dirección.

**2.4.2** *Distancia entre ejes.* La distancia entre ejes es la medida comprendida entre los centros de la rueda delantera y la rueda posterior. Este parámetro influye en la estabilidad,

una distancia entre ejes larga implica buena estabilidad en línea recta y una distancia entre ejes corta implica buena estabilidad en curva.

**2.4.3** *Tubo de dirección.* El tubo de dirección tiene como objetivo unir el resto del chasis con la suspensión delantera, al eje de dirección que permite ensamblar la corona de la dirección y abrazadera inferior con las barras de suspensión.

**2.4.4** *Avance.* El avance es la distancia horizontal entre el punto de contacto del neumático con el suelo y la extensión de la línea dibujada por el tubo de dirección hasta el suelo, el objetivo del avance es dar una estabilidad direccional.

## **2.5 Materiales para la fabricación del chasis**

Partiendo de una breve clasificación de los metales tenemos materiales ferrosos y no ferrosos, los primeros son los que poseen un componente principal como es el hierro o acero (combinación del hierro con un porcentaje pequeño de carbono). Mientras que los no ferrosos son los que carecen de hierro, estos presentan un costo superior en relación a los ferrosos, las características de estos es que poseen un bajo peso específico, facilidad de manipulación al momento de mecanizarlos y otra muy importante es la capacidad de resistir a la oxidación en condiciones ambientales. Destacándose entre ellos el cobre y sus aleaciones, el aluminio, estaño, plomo, cinc, níquel, cromo, titanio y magnesio.

**2.5.1** *Acero.* Entre la clasificación de los metales ferrosos encontramos el acero, cabe recalcar que es la combinación del hierro con un porcentaje entre el 0,1% e inferior al 2% de carbono, de la misma manera se puede combinar con otros elementos sea el caso del Cr (Cromo) o el Ni (Níquel). La presencia de carbono mejora las propiedades del hierro haciéndolo mucho más resistente a la tracción, de la misma manera aumenta su fragilidad en frío como también disminuye su tenacidad y su ductilidad. Cuando el hierro esta combinado con un porcentaje inferior al 0,1% se los denomina hierro dulce cuya característica es un material magnético, blando y se oxida muy fácilmente, si el porcentaje de carbono se encuentra entre 0,2% y 5% se los denomina fundiciones, se caracterizan por que se funden a temperaturas inferiores en donde se acoplan muy bien al molde. El acero es un material ampliamente usado debido a su bajo costo y sus propiedades pueden ser modificadas dependiendo de la necesidad.

Los métodos para obtener el acero son mediante la refinación del mineral de hierro y reciclando chatarra de acero como la mayor parte de las regiones de nuestro país lo realiza.

“Para la producción de acero primario, el mineral de hierro (óxido de hierro) se calienta en un alto horno en presencia de coque (carbono) y oxígeno. El carbono reduce el oxígeno de hierro a hierro en bruto líquido, produciendo monóxido de carbono y bióxido de carbono como subproductos. La piedra caliza, agregada para ayudar a eliminar impurezas, se funde produciendo escoria líquida. Dado que el hierro bruto líquido contiene cantidades muy grandes de carbono, se sopla oxígeno en el horno de oxigenación o de aceración básico para eliminar carbón excedente y producir acero líquido. También se produce acero reciclando la chatarra del mismo metal. A menudo ésta se introduce en un horno eléctrico de arco. En el cual el calor la funde. Muchos aceros aleados y aceros especiales también se producen utilizando hornos eléctricos.” (ASKELAND, Tercera Edición).

**2.5.1.1 Aceros de baja aleación y alta resistencia (HSLA) y los microaleados.** “Son aceros de bajo carbono, que contienen pequeñas cantidades de elementos de aleación. Los HSLA se clasifican con base en el esfuerzo de cedencia, con grados hasta 80000 psi; además contienen el mínimo de elementos de aleación para todavía obtener el esfuerzo de cedencia adecuado sin tratamiento térmico. En los microaleados, un procesamiento cuidadoso permite la precipitación de carburos y nitruros de Cb, V, Ti, o Zr, lo que da endurecimiento por dispersión y un tamaño fino de grano.” (ASKELAND, Tercera Edición)

**2.5.1.2 Aceros de fase dual.** Estos son de bajo carbono y además no presentan muchos elementos de aleación para una buena templabilidad a procesos normales. “Estos tienen una distribución uniforme de ferrita y de martensita dispersa, la cual proporciona límites elásticos de 60000 a 145000 psi” (ASKELAND, Tercera Edición)

**2.5.1.3 Aceros al níquel, de carbono muy bajo.** “Están altamente aleados. Son austenitizados y templados para producir una martensita blanda que contenga menos de 0,3% C, se precipitan compuestos intermetálicos como el Ni,Ti, el Fe,Mo, y el Ni,Mo” (ASKELAND, Tercera Edición)



**2.5.1.4 Aceros inoxidables.** Contienen cromo, níquel y otros elementos de aleación, los que tienen como mínimo 12% de Cromo (Cr) son considerados verdaderos aceros inoxidables. Con esto se forma una capa protectora de óxido de cromo ante la corrosión, herrumbre, humedad del ambiente y gases corrosivos. Se utiliza para la fabricación de instrumentos quirúrgicos, para sustituir huesos rotos y para utensilios de cocina.

**2.5.2 Aluminio.** Es el segundo material más abundante sobre la tierra además es el que tiene mayor aplicación en ingeniería, es económico y reciclable. Entre sus propiedades tenemos que su densidad es de  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , que vendría a ser la tercera parte de la densidad del acero haciéndolo mucho más liviano favoreciendo para la fabricación de un chasis de motocicleta, un módulo de elasticidad de  $10 \times 10^6 \text{ psi}$ . La propiedad de tensión en comparación al acero es muy bajo pero el beneficio del aluminio radica en su resistencia específica ya que la relación resistencia-peso es excelente.

Entre otras propiedades es buen conductor eléctrico y térmico, no es magnético y algo muy importante es que posee excelente resistencia a la oxidación y a la corrosión debido a la reacción con el oxígeno, se produce una delgada capa de óxido de aluminio que lo protege ante agentes corrosivos. Entre sus desventajas encontramos que no trabaja bien a temperaturas elevadas, además tiene baja dureza razón por la cual mala resistencia al desgaste. (ASKELAND, Tercera Edición)

**2.5.3 Magnesio.** Se extrae electrolíticamente del cloruro de magnesio, el cual se encuentra concentrado en su mayor parte en el agua de mar, su densidad es de  $1,74 \text{ g/cm}^3$ , haciéndolo más liviano que el aluminio, y se funde a una temperatura inferior y de la misma manera su resistencia a la corrosión, pero en un entorno próximo al mar se produce un gran deterioro. Su resistencia específica es comparada con la del aluminio siendo utilizado para aplicaciones espaciales. Siendo su módulo de elasticidad  $6,5 \times 10^6 \text{ psi}$  inferior al del aluminio, y escasa resistencia a la fatiga y al desgaste. (ASKELAND, Tercera Edición)

El magnesio presenta riesgo de inflamabilidad ya sea al momento de una fundición o un maquinado debido a que se combina fácilmente con el oxígeno, aumentando el riesgo si se encuentra en estado de partículas o polvo, es complicado apagarlo y produce un humo blanco.

A pesar de su peso inferior al del aluminio este no presenta propiedades muy relevantes para la fabricación de un chasis de motocicleta debido a que su coste es mayor, problemas al realizar un proceso de soldadura y también por una vida útil limitada.

**2.5.4 Fibra de Carbono.** Es un material compuesto es decir está conformado por la unión de dos o más componentes, originado uno nuevo con propiedades superiores que de forma independiente los componentes no lograrían alcanzar. La fibra de carbono esta combinada por hilos de carbono (refuerzo) los cuales ayudan a la flexibilidad y resistencia, una resina termoestable (matriz) de tipo epoxi que ayuda a unir los hilos de carbono ya que ésta se solidifica con ayuda de un agente endurecedor y las protege de factores externos, además también tenemos un agente de curado el cual convierte la resina en un plástico duro. La unión de todos estos componentes mejoran las propiedades mecánicas del nuevo material.

“El tejido de carbono (refuerzo) en donde el tejido de fibras de carbono procede de una mezcla de polímeros, el más utilizado es el PAN (poliacrilonitrilo) que por ser la materia prima se llama precursor y que normalmente se combina con otros polímeros: metil acrilato, metil metacrilato, vinil acetato y cloruro de vinilo, todos derivados del petróleo, que es carbono concentrado, proveniente de restos de materia orgánica (fósiles).

En particular, el PAN es una fibra de plástico formada por largas cadenas de moléculas de carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno en forma de escaleras. Cuando se calienta el PAN en correctas condiciones de temperatura, las cadenas de moléculas de carbono se juntan mientras los demás elementos se separan, los átomos de carbono del polímero cambian de distribución y forma una estructura estable de anillos fuertemente unidos que soportan los unos a los otros.

Mediante un nuevo calentamiento los anillos se juntan en listones de hexágonos de átomos de carbono muy flexibles, a diferencia del grafito, cuya estructura permanece plana. La unión flexible de los listones evita que se deslicen, como pasa en la estructura plana del grafito, lo que resulta en un notable incremento en la resistencia del material.

Los hilos de PAN son trefilados en filamentos cinco veces más delgados que un cabello humano compuestos entre 92 y 100 % de átomos de carbono.” (URIBE, 2010 pág. 12)

En conclusión la fibra de carbono resulta de la quema de oxígeno, nitrógeno y otros elementos diferentes al carbono que forman parte del material precursor de manera controlada quedando solo partículas de carbono.

Tiene alta resistencia a la fatiga, posee mejor rigidez, baja densidad, ligereza, resistencia mecánica, resistencia química, no necesita un mantenimiento considerable, libertad de forma y una relación resistencia-peso superior a los materiales anteriormente analizados, en donde el material de la matriz transmite la fuerza a las fibras las cuales soportan en su mayoría la fuerza aplicada y además mantiene su resistencia ya sea a temperatura ambiente o a altas temperaturas.

Tabla 1. Características y aplicaciones de las fibras de carbono

<b>Propiedades</b>	<b>Aplicaciones</b>
Resistencia, mecánica, tenacidad y densidad.	Transporte y artículos deportivos.
Estabilidad dimensional (logra conservar su forma )	Tecnología aeroespacial.
Amortiguación de vibraciones, resistencia y tenacidad.	Equipos de audio, brazos de robot.
Resistencia a la fatiga y auto-lubricación.	Maquinaria textil, ingeniería en general.
Resistencia química y térmica	Industria química y nuclear.
Alta conductividad eléctrica.	Componentes equipos electrónicos.
Compatibilidad biológica	Medicina (prótesis, equipamiento quirúrgico)

Fuente: Autores

## CAPÍTULO III

### 3. PROCESO DEL DISEÑO DEL CHASIS

#### 3.1 Esfuerzos presentes en el chasis

El análisis y determinación de esfuerzos es importante, de esta manera se introducirán los resultados en el programa donde se aplicara el método de elementos finitos, para alcanzar resultados similares a la realidad.

Se analizaran las condiciones principales las cuales afecten mayormente al chasis verificando que estos métodos no afecten a la geometría del mismo y que estén dentro de los parámetros establecidos de construcción, observando los esfuerzos y deformaciones generadas. Para ello se necesita estudiar cuatro condiciones principales que se detallan a continuación: (CANO, 2013)

- Frenado máximo con rueda delantera
- Frenado máximo con rueda posterior
- Aceleración máxima
- Velocidad máxima por el paso en curva

Para analizar las condiciones anteriormente mencionadas se necesita parámetros iniciales como el peso y la geometría. Estos valores se obtienen a partir de un catálogo de motocicleta modelo SUZUKI GN 125H debido a que se considera como referencia la geometría del chasis. Obteniendo la siguiente tabla.

Tabla 2. Parámetros iniciales.

Parámetros	Unidad	Valor
Motocicleta en seco	kg	107,00
Piloto y copiloto más accesorios de seguridad	kg	150,00
Peso de gasolina y lubricantes	kg	6,00
Distancia entre ejes	m	1,28
Máximo índice de adherencia neumático-piso		1,20
Centro de gravedad motocicleta ver Fig. 12-13		
Centro de gravedad piloto copiloto ver Fig.12-13		

Fuente: Autores

Los centros de gravedad del piloto y copiloto se obtuvieron mediante mediciones reales, mientras que el centro de gravedad de la motocicleta incluida sus componentes principales se lo determino con ayuda del software SolidWorks.

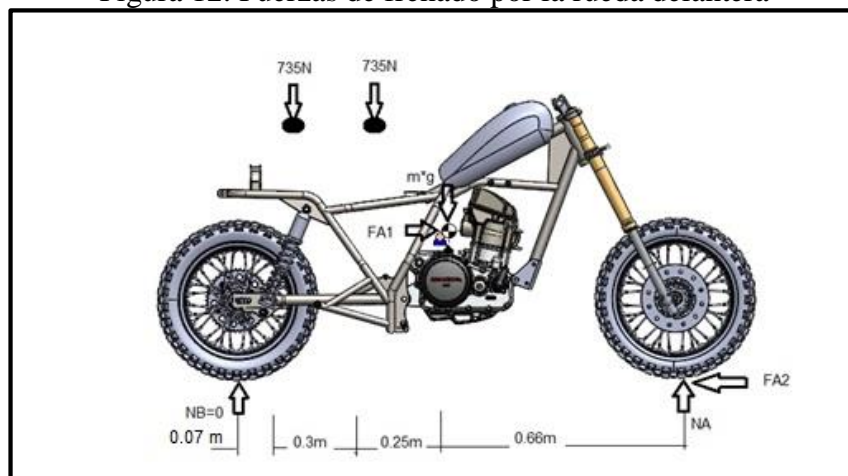
**3.1.1** *Esfuerzos de frenado máximo con rueda delantera.* A continuación se realiza el cálculo del esfuerzo durante el máximo frenado con la rueda delantera, utilizando el freno delantero a su máxima eficiencia. La consecuencia de este caso será que el chasis estará sometido a esfuerzos de flexión y al utilizar el freno posterior esto disminuiría el momento provocado por la horquilla en el tubo de dirección.

**3.1.2** *Peso.* Para realizar el cálculo necesitaremos el peso ( $P$ ) que se ubicara en forma vertical hacia abajo en el centro de gravedad,  $N_A$  y  $N_B$  serán las reacciones aplicadas en el punto de contacto de la motocicleta con el piso en forma vertical en dirección contraria del peso, por otra parte  $F_{A1}$  será la fuerza de inercia y  $F_{A2}$  la fuerza de frenado. (CANO, 2013).

En la tesis doctoral de Giuseppe Polucci (“Dimensionamento di un telaio di motocicletta: Modello di simulazione e risultati di calcolo”, Univeridad de Roma) en el cual estudia el comportamiento del chasis de la motocicleta sometido a tres pruebas diferentes, lo cual nos interesa el valor más alto de desaceleración que es de  $10,88 \text{ m/s}^2$  tanto en el frenado con la rueda delantera como en el frenado con la rueda posterior.

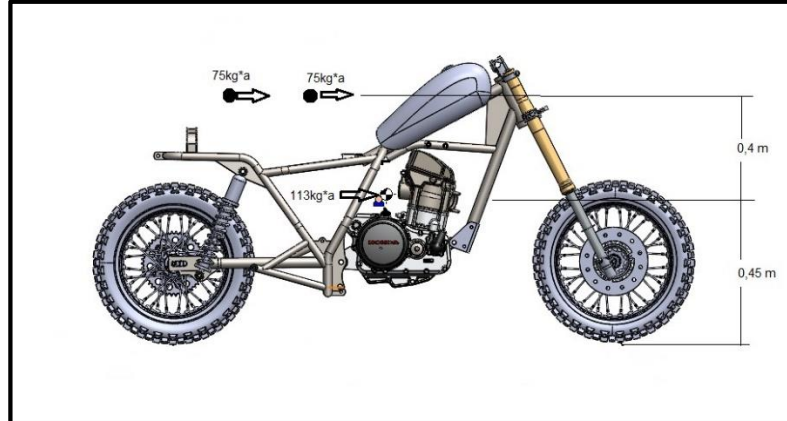
Con estos datos, tenemos:

Figura 12. Fuerzas de frenado por la rueda delantera



Fuente: Autores

Figura 13. Diagrama de cuerpo libre de frenado por la rueda delantera



Fuente: Autores

$$\sum F_x = m * a_x \quad (1)$$

$$F_{A1} - F_{A2} = (263 \text{ kg}) * (-10,88 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$\sum F_y = 0 \quad (2)$$

$$N_A - m * g = 0$$

$$\sum M_A = \sum M_{AK} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & (1107,4 \text{ N}) * (0,66 \text{ m}) + (735 \text{ N}) * (0,91 \text{ m}) + (735 \text{ N}) * (1,2 \text{ m}) - F_{A1}(0,45 \text{ m}) \\ & = -(-816 \text{ N}) * (0,85 \text{ m}) - (-816 \text{ N}) * (0,85 \text{ m}) - (-1229,44 \text{ N}) \\ & * (0,45 \text{ m}) \end{aligned}$$

$$F_{A1} = 758 \text{ N}$$

$$F_{A2} = 2103,44 \text{ N}$$

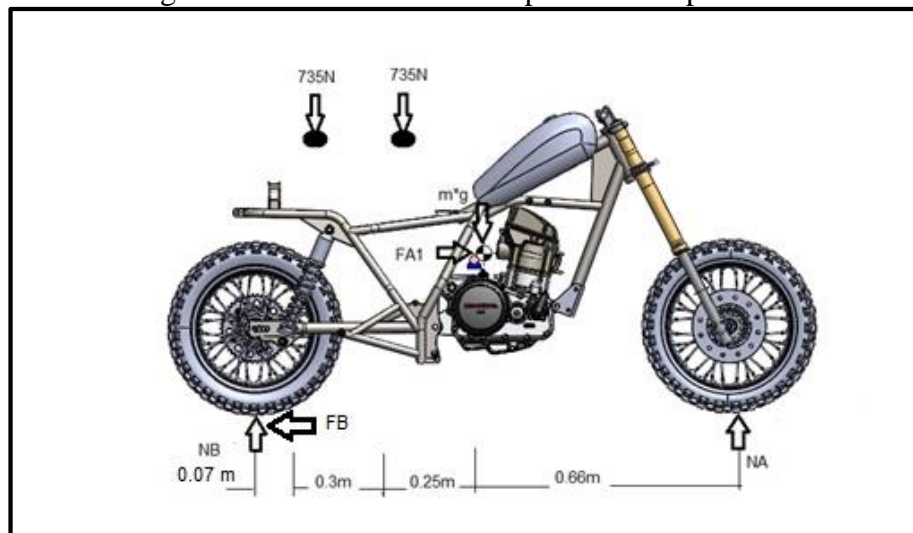
$$N_A = 2577 \text{ N}$$

**3.1.3** *Esfuerzos de frenado máximo con rueda posterior.* Estas fuerzas aparecen aunque son por un mínimo tiempo ya que primero se acciona el freno de la rueda posterior y luego de la rueda delantera. Estas fuerzas no afectan significativamente al chasis pero de igual manera se realiza el estudio.

En este caso existirán reacciones en ambas ruedas de la motocicleta, teóricamente cada una debe ser la mitad del peso de la motocicleta, pero debido a que existe reparto de peso al momento del frenado, en la reacción de la rueda posterior tendrá un índice de 0,7 obtenido en la tesis de Ismael García (“Diseño y desarrollo de un chasis de una motocicleta de 250cc para la II Competición Internacional MotoStudent”).

Realizando los respectivos cálculos, se obtiene:

Figura 14. Fuerzas de frenado por la rueda posterior



Fuente: Autores

$$N_B = P/2 * 0,7 = 2577,4 N * 0,7$$

$$N_B = 1804,18 N$$

$$N_A = 773,22 N$$

De acuerdo a la ecuación 1 tenemos:

$$F_{A1} - F_B = (263 kg) * (-10,88 \frac{m}{s^2})$$

$$\sum M_B = 0 \tag{4}$$

$$-(1107,4 N) * (0,62 m) - (735 N) * (0,07 m) - (735 N) * (0,37 m) - F_{A1}(0,45 m) = 0$$

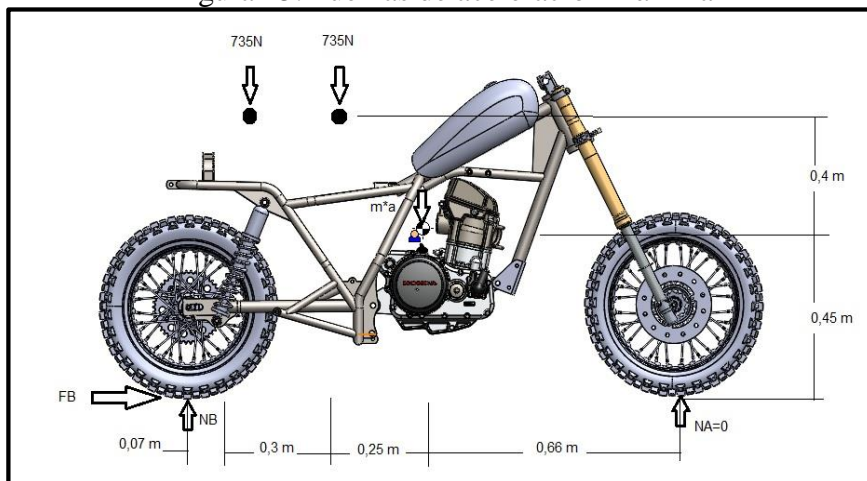
$$F_{A1} = -2244,4 \text{ N}$$

$$F_B = 617,04 \text{ N}$$

**3.1.4 Esfuerzos de aceleración máxima.** Se analiza la aceleración máxima a la que puede estar sometida. La fuerza ( $F_B$ ) está situada en el punto de contacto de la rueda posterior y el suelo provocado por la aceleración en el mismo sentido del movimiento de la motocicleta.

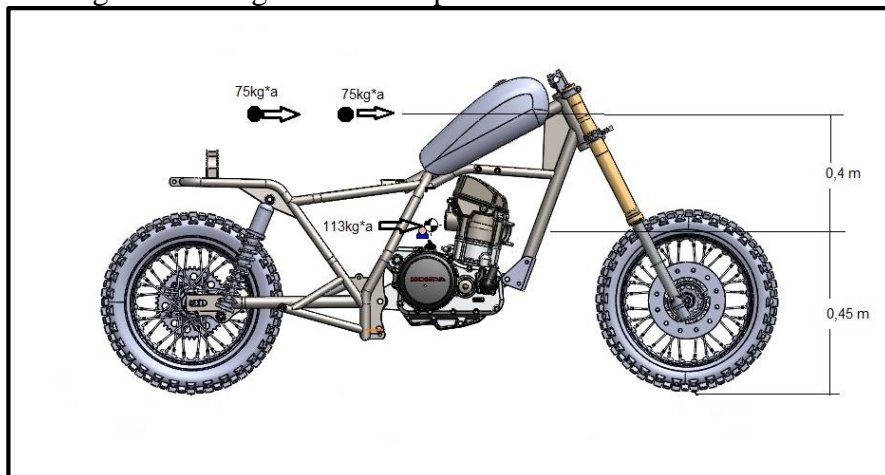
Las normales  $N_A$  y  $N_B$  estarán en sentido vertical ascendente ubicado en el punto de contacto de las ruedas delantera y posterior respectivamente con el piso. El peso ( $P$ ), está ubicada en el centro de gravedad como se muestra en la figura.

Figura 15. Fuerzas de aceleración máxima



Fuente: Autores

Figura 16. Diagrama de cuerpo libre de aceleración máxima



Fuente: Autores



En base a la ecuación 1 se tiene:

$$F_B = (75 \text{ kg} + 75 \text{ kg} + 113 \text{ kg}) * a$$

En base a la ecuación 2 se tiene:

$$N_B - 735 \text{ N} - 735 \text{ N} - 11074,4 \text{ N} = 0$$

En base a la ecuación 3 se tiene:

$$\begin{aligned} & -(735 \text{ N}) * (0,07 \text{ m}) - (735 \text{ N}) * (0,37 \text{ m}) - (1107,4 \text{ N}) * (0,62 \text{ m}) \\ & = -(75 \text{ kg} * a) * (0,85 \text{ m}) - (75 \text{ kg} * a) * (0,85 \text{ m}) - (113 \text{ kg} * a) \\ & * (0,45 \text{ m}) \end{aligned}$$

$$F_B = 1488,58 \text{ N}$$

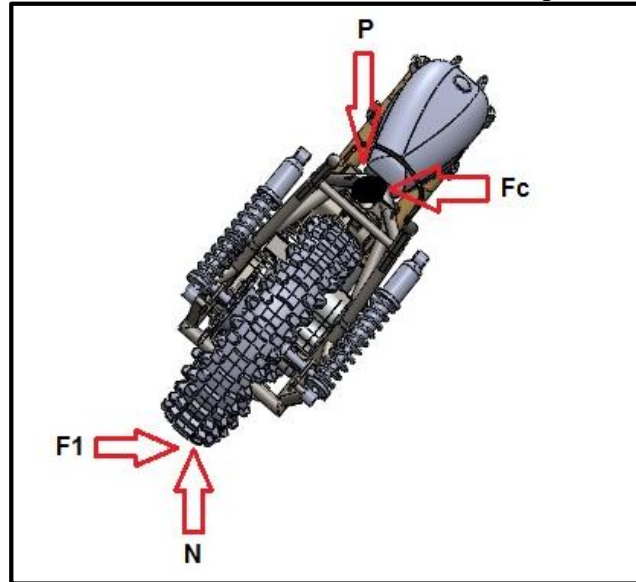
$$N_B = 2577 \text{ N}$$

$$a = 5,66 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

**3.1.5 Esfuerzos de velocidad máximo por el paso en curva.** En este apartado se analiza los esfuerzos provocados por la motocicleta justo en el momento que se pasa una curva con la inclinación máxima de la misma, por lo cual en ese instante no existen fuerzas de aceleración ni de frenado. La fuerza centrífuga que genera la motocicleta debido al momento de circular en la curva se contrarresta por la fuerza de agarre de los neumáticos de la motocicleta. Los esfuerzos producidos en este instante se transmite al chasis por este motivo se considera importante el análisis del mismo. Los resultados los cálculos nos servirán posteriormente para el análisis de elementos finitos por este motivo se necesita que los resultados obtenidos sea lo más preciso posible.

El resultado de la suma vectorial de las fuerzas N (normal) y la suma vectorial de las fuerzas  $F_1$  (fuerza de agarre) deberán ser iguales al resultado de la suma vectorial de P (peso) y  $F_c$  (fuerza centrífuga) respectivamente, tanto en la rueda posterior como en la rueda delantera.

Figura 17. Fuerzas de velocidad al momento de pasar en curva



Fuente: Autores

$$N = P = 2577,4 \text{ N}$$

$$F_1 = F_c = P * 1,2 = 2577,4 * 1,2$$

$$F_1 = F_c = 3092,88 \text{ N}$$

$$\alpha = \arctg \left( \frac{2577,4}{3092,88} \right) = 39,81^\circ$$

$$F_2 = P * \text{sen}40 + F_c * \text{cos}40 \quad (5)$$

$$F_2 = 4026 \text{ N}$$

### 3.2 Normas aplicables al proceso de diseño del chasis de motocicletas

Frente a la variedad de modelos de motocicletas que poseen cada una de las empresas fabricantes no existe una norma específica para el diseño del chasis pero tanto las normas nacionales INEN (Servicio Ecuatoriano de Normalización), como también normas internacionales ISO (International Standard Organization), JIS (Japan Industrial Standard), JASO (Japanese Automotive Standards Organization), etc., tienen normativas de motocicletas enfocadas más a salvaguardar el impacto ambiental, la eficiencia, la seguridad y protección de sus conductores y acompañantes.

Impacto ambiental se refiere al control de la cantidad de gases contaminantes (CO, HC, NO<sub>x</sub>) emitidos por el motor de la motocicleta, de la misma manera el control de niveles de ruido. En referencia a seguridad y protección ponen énfasis en el estado de los diferentes sistemas (dirección, suspensión, frenos, iluminación, etc.) que posee una motocicleta así también el uso de un casco que cumpla con parámetros normativos asegurando la protección del usuario.

### **3.3 Diseño básico del chasis**

A lo largo de mucho tiempo se han dado varios intentos de mejorar el diseño del chasis de motocicleta por medio de varias técnicas, sin embargo, no se ha podido mejorar ya que desde muchos años atrás ha sido el mismo diseño que consta prácticamente de una horquilla telescópica hidráulica montado sobre el tubo de dirección, basculante posterior, tanque de combustible sobre el motor. Sin embargo, varias marcas de empresas han ido acoplado el diseño para todo tipo de necesidad.

“Por otra parte, las estructuras deben ser lo más ligero posible, compatible con una vida útil aceptable. Considerar esto con más detalle en primer lugar tenemos que definir la rigidez y fuerza. La rigidez se refiere a la deformación temporal de una estructura cuando está cargado y descargado y se mide en términos de la flexión lineal o angular en comparación con la fuerza o par de torsión aplicado. La fuerza es una medida de la carga que se puede aplicar antes de que ocurra una falla estructural. Este fallo puede ser la rotura de alguna parte o deformación permanente que permanece después de que se retira la carga.” (FOALE, 2003)

El diseño básico del chasis se trata de configuración tubular ya que es un diseño eficiente en su estructura, liviano y rígido a la vez, tomando en cuenta el tipo y el coste del material que se va a emplear facilitando la soldabilidad del mismo y la viabilidad al momento de la fabricación.

Para una mejor visión de todas las decisiones para el diseño básico del chasis escogido se tomara en cuenta varios puntos importantes como la rigidez, peso, espacio para la facilidad al momento de montar los componentes de la motocicleta, el material a utilizar la facilidad de fabricación y el coste del mismo que se detallan en la siguiente figura.

Tabla 3. Tipos de chasis y sus características

Tipo	Rigidez	Peso	Espacio	Material	Fabricación	Coste
Tubular	Media/Alta	Medio	Medio	Acero / Aluminio	Problemática por elevado número de soldaduras	Medio
Espina Central	Alta	Alto	Medio	Acero / Aluminio	Fácil	Alto coste de los útiles
Monocasco	Media	Medio	Bajo	Aluminio	Dificultad media	Alto
Doble viga	Media/Alta	Medio	Alto	Aluminio	Soldadura complicada	Medio/Alto coste mecanización

Fuente: (GARCIA, 2013)

En la figura podemos observar según las características analizadas en los tipos de chasis, el que más prestaciones tiene para el proceso de construcción es de tipo tubular, por lo que necesitamos que sea rígida y al mismo tiempo liviana, el espacio para el motor y sus accesorios está dentro de los límites aceptables utilizando material de acero y que tenga un menor coste. A pesar que la problemática en la fabricación por el número de soldaduras que se realiza este tipo de chasis es el más óptimo para la fabricación.

“El proceso de diseño básico de un chasis, dado un motor ya existente, sigue una línea de trabajo bien definida. Para empezar se deben tener las dimensiones que se deseen para la motocicleta. Después, con un software CAD se dibujan los elementos principales como ruedas, motor, horquilla para tener una primera aproximación de lo que será el chasis. Este paso es muy importante ya que es en el que se deben colocar las masas, cuanto más concentradas en un punto mucho mejor, más manejable será la motocicleta. El motor por ejemplo se podrá desplazar tan solo unos centímetros arriba o abajo ya que hay que tener en cuenta que es la pieza que más espacio ocupa y tiene un lugar casi predefinido.” (AUTOMOTRIZ.ORG)

Las dimensiones y la geometría inicial del prototipo del chasis para la motocicleta se obtienen tomando como referencia de un chasis de motocicleta Suzuki Gn125 H, en donde se destaca los ángulos principales de intersección entre la unión de los elementos ensamblados y las dimensiones de cada uno de los elementos. En base a estos parámetros se realiza el esquema inicial del prototipo para posteriormente diseñar con la ayuda del software SolidWork.




### 3.4 Caracterización de material

El objetivo de la caracterización es identificar las propiedades del material con la que es fabricado un chasis de motocicleta y así tener una clara referencia al momento de seleccionar el material para nuestra fabricación. Para lo cual analizaremos tres tipos de materiales los dos primeros hace referencia a un chasis de una Motocicleta AX100 y de un Scooter AE 50 R correspondientes a la compañía Suzuki, finalmente el acero estructural ASTM A36 de producción nacional.

**3.4.1 Espectrometría de emisión óptica.** Se preparó el material cuidadosamente de 40 mm de largo y 15 mm de ancho, manteniendo una superficie plana y no necesariamente con un buen acabado, evitando que las muestras entren en contacto directo con los dedos ya que la grasa de los mismos podrían alterar los componentes químicos del material para posteriormente realizar el análisis de material con ayuda de un espectrómetro de emisión óptica, logrando así determinar la composición química de cada una de las muestras obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 4. Resultados de espectrometría de emisión óptica de motocicleta Suzuki AX100

Bruker Analysis Report				
Sample:				
Analysis Time: 16.04.2015 15:54:25		Method: Fe100		
C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
∅ 0,056	<0,0100	0,356	0,023	<0,0100
Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
∅ 0,054	<0,0100	0,014	0,0096	0,047
Co [%]	Mg [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]
∅ <0,0050	<0,0050	<0,0050	0,013	<0,0050
W [%]	Fe [%]			
∅ <0,100	99,40			

Fuente: Autores


Los resultados obtenidos muestran que este material presenta un porcentaje bajo de carbono de 0,056 y no presenta porcentajes relevantes de otros componentes interpretando que no se trata de un acero aleado sino de un acero de bajo carbono con denominación AISI-SAE 1006 con ayuda de la siguiente tabla.

Tabla 5. Designación de grado y composición química de acero al carbono

ASTM A 29/A 29M – 05				
TABLE 1 Grade Designations and Chemical Compositions of Carbon Steel Bars				
Grade Designation	Heat Chemical Ranges and Limits, %			
	Carbon	Manganese	Phosphorus, max	Sulfur, max <sup>A</sup>
Nonresulfurized Carbon Steels <sup>B,C,D,E,F</sup>				
1005	0.06 max	0.25 max	0.040	0.050
1006	0.08 max	0.25–0.40	0.040	0.050
1008	0.10 max	0.30–0.50	0.040	0.050
1010	0.08–0.13	0.30–0.60	0.040	0.050
1011	0.08–0.13	0.60–0.90	0.040	0.050
1012	0.10–0.15	0.30–0.60	0.040	0.050
1013	0.11–0.16	0.50–0.80	0.040	0.050
1015	0.13–0.18	0.30–0.60	0.040	0.050
1016	0.13–0.18	0.60–0.90	0.040	0.050
1017	0.15–0.20	0.30–0.60	0.040	0.050
1018	0.15–0.20	0.60–0.90	0.040	0.050
1019	0.15–0.20	0.70–1.00	0.040	0.050
1020	0.18–0.23	0.30–0.60	0.040	0.050
1021	0.18–0.23	0.60–0.90	0.040	0.050
1022	0.18–0.23	0.70–1.00	0.040	0.050
1023	0.20–0.25	0.30–0.60	0.040	0.050
1025	0.22–0.28	0.30–0.60	0.040	0.050
1026	0.22–0.28	0.60–0.90	0.040	0.050
1029	0.25–0.31	0.60–0.90	0.040	0.050
1030	0.28–0.34	0.60–0.90	0.040	0.050
1034	0.32–0.38	0.50–0.80	0.040	0.050
1035	0.32–0.38	0.60–0.90	0.040	0.050

Fuente: **INTERNATIONAL, ASTM. 2005.** A29/A 29M-05. *Standard Specification for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought, General Requirements for.* United States : ASTM International, 2005.

Tabla 6. Resultados de espectrometría de emisión óptica de Scooter Suzuki – AE 50 R

Bruker Analysis Report					
Sample:					
Analysis Time: 16.04.2015 15:58:32		Method: Fe100			
	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
∅	0,113	<0,0100	0,302	0,022	<0,0100
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
∅	0,059	<0,0100	0,025	0,0066	0,015
	Co [%]	Mg [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]
∅	0,0059	<0,0050	<0,0050	<0,0030	<0,0050
	W [%]	Fe [%]			
∅	<0,100	99,44			

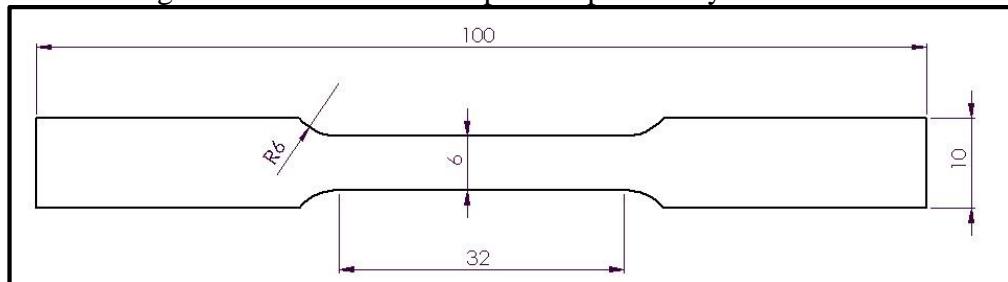
Fuente: Autores

Para este caso presenta un porcentaje de carbono de 0,113. Tratándose de un acero ordinario de bajo carbono como en el caso anterior cuya denominación es AISI-SAE 1010.

**3.4.2** *Ensayo de tracción.* Mediante el ensayo se obtuvo propiedades mecánicas de los dos tipos de chasis anteriormente mencionados.

Se toma como referencia la norma ASTM E8/E8–11 para realizar el ensayo, obteniendo la siguiente probeta cuyas dimensiones se muestran a continuación, las mismas que se mantienen para los dos tipos de materiales ya que su espesor es inferior a 3 mm.

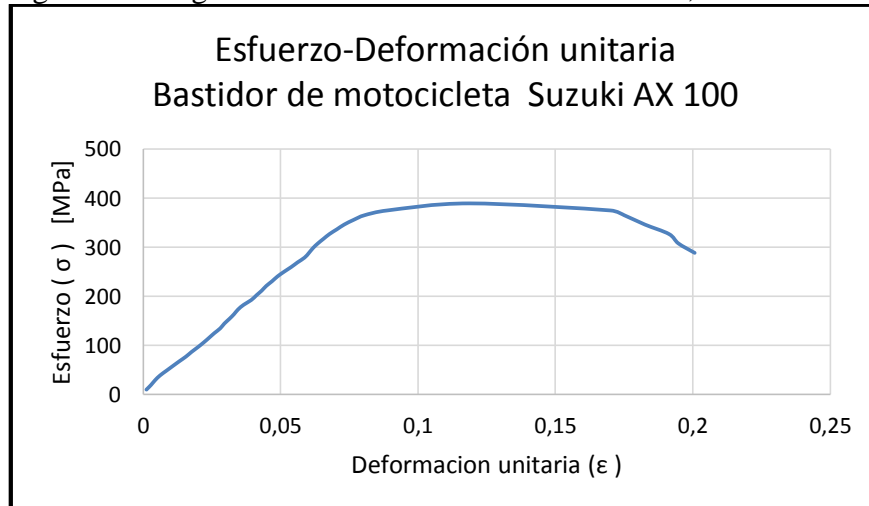
Figura 20. Dimensiones de probeta para ensayo de tracción.



Fuente: Autores

En primer ensayo se realizó en la probeta del bastidor de la motocicleta AX100 donde se obtuvo el siguiente diagrama Esfuerzo-Deformación unitaria, para luego ser analizada y determinar las propiedades del material.

Figura 21. Diagrama Esfuerzo-Deformación unitaria, Suzuki Ax100



Fuente: Autores

Datos iniciales:

Sección Transversal ( $A_0$ ) =  $6 * 1,7 = 10,2 \text{ mm}^2$

Longitud inicial  $l_0 = 32 \text{ mm}$

Longitud final:  $l = 38,422 \text{ mm}$

Carga máxima:  $P_{max} = 405 \text{ kgf}$

Carga de Fluencia:  $P_{fluencia} = 390 \text{ kgf}$



Resistencia ultima a la tensión:

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \quad (6)$$

$$S_{ut} = \frac{405 \text{ kgf}}{10,2 \text{ mm}^2} * \frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kgf}} * \frac{(1000 \text{ mm})^2}{1 \text{ m}^2} * \frac{1 \text{ MPa}}{10^6 \text{ Pa}} \approx 390 \text{ MPa}$$

Resistencia a la Fluencia:

$$S_y = \frac{P_{fluencia}}{A_o} \quad (7)$$

$$S_y = \frac{390 \text{ kgf}}{10,2 \text{ mm}^2} * \frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kgf}} * \frac{(1000 \text{ mm})^2}{1 \text{ m}^2} * \frac{1 \text{ MPa}}{10^6 \text{ Pa}} \approx 375 \text{ MPa}$$

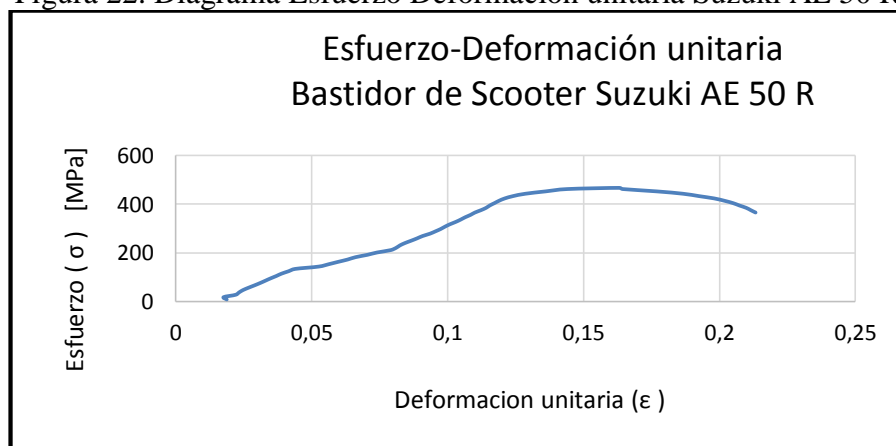
Porcentaje de deformación:

$$\varepsilon (\%) = \frac{\Delta l}{l_o} * 100 = \frac{l-l_o}{l_o} * 100 \quad (8)$$

$$\varepsilon (\%) = \frac{38,422 - 32}{32} * 100 = 20\%$$

Como segunda opción se realizó el ensayo en el material del bastidor Suzuki Scooter AE 50 R obteniendo las siguientes propiedades mecánicas con ayuda de la gráfica Esfuerzo-Deformación unitaria.

Figura 22. Diagrama Esfuerzo Deformación unitaria Suzuki AE 50 R



Fuente: Autores

Datos iniciales:

$$\text{Sección Transversal } (A_0) = 6 * 1,7 = 10,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{Longitud inicial } l_0 = 32 \text{ mm}$$

$$\text{Longitud final: } l = 38,422 \text{ mm}$$

$$\text{Carga máxima: } P_{max} = 485 \text{ kgf}$$

$$\text{Carga de Fluencia} = 460 \text{ kgf}$$

En base a la ecuación 6 se tiene la resistencia última a la tensión:

$$S_{ut} = \frac{485 \text{ kgf}}{10,2 \text{ mm}^2} * \frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kgf}} * \frac{(1000 \text{ mm})^2}{1 \text{ m}^2} * \frac{1 \text{ MPa}}{10^6 \text{ Pa}} \approx 466 \text{ MPa}$$

En base a la ecuación 7 se tiene la resistencia a la Fluencia:

$$S_y = \frac{460 \text{ kgf}}{10,2 \text{ mm}^2} * \frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kgf}} * \frac{(1000 \text{ mm})^2}{1 \text{ m}^2} * \frac{1 \text{ MPa}}{10^6 \text{ Pa}} \approx 442 \text{ MPa}$$

En base a la ecuación 8 se tiene el porcentaje de deformación:

$$\varepsilon (\%) = \frac{38,875 - 32}{32} * 100 = 21\%$$

**3.4.3 Dureza Vickers.** Para la realización del ensayo se utilizó los siguientes datos: una carga aplicada de 300g, el promedio de la longitud diagonal igual a 61,25  $\mu_m$  para posterior poder aplicar la siguiente fórmula y así obtener la dureza del primer material.

$$HV = \frac{1,854 L}{d^2} \quad (9)$$

Donde:

L= carga aplicada, en Kg

d= longitud de la diagonal del cuadrado del impresión, en mm

$$HV = \frac{1,854 * 0,3 \text{ kg}}{(0,06125 \text{ mm})^2} = 148 \text{ HV}$$

Para el segundo material a ser analizado los datos iniciales son los siguientes: una carga aplicada de 300g, promedio de la longitud diagonal igual a 54,29  $\mu_m$  logrando obtener su dureza.

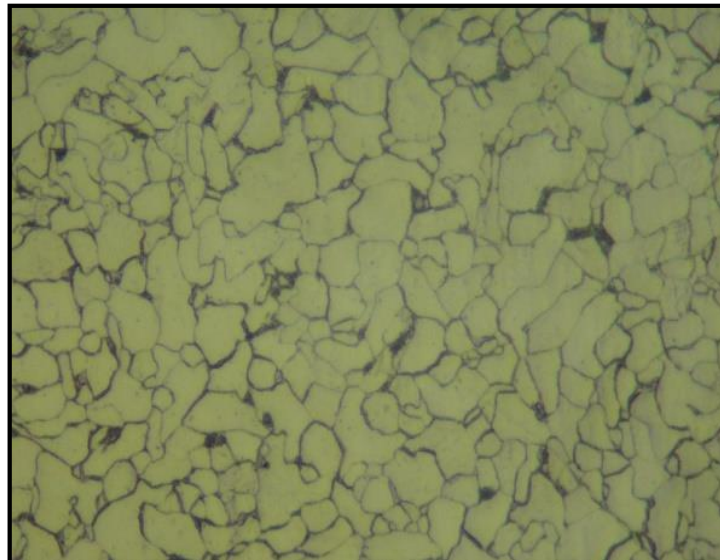
En base a la ecuación 9 se tiene:

$$HV = \frac{1,854 * 0,3 \text{ kg}}{(0,05429 \text{ mm})^2} = 188 \text{ HV}$$

**3.4.4 Metalografía.** Con la finalidad de corroborar los resultados obtenidos en espectrometría de emisión óptica se realiza el análisis en los dos materiales. Para este procedimiento se extrae muestras de los mismos, en primera instancia se desbasta con lijas de 400, 600, 1000, 1500 y 2000 respectivamente con ayuda de la máquina portalijs, para luego realizar un desbastado final en la pulidora y adicionando alúmina ( $Al_2O_3$ ) con de 0,3  $\mu m$  de abrasivo, cerciorándose que el pulido final sean homogéneo llegando así a una apariencia de espejo.

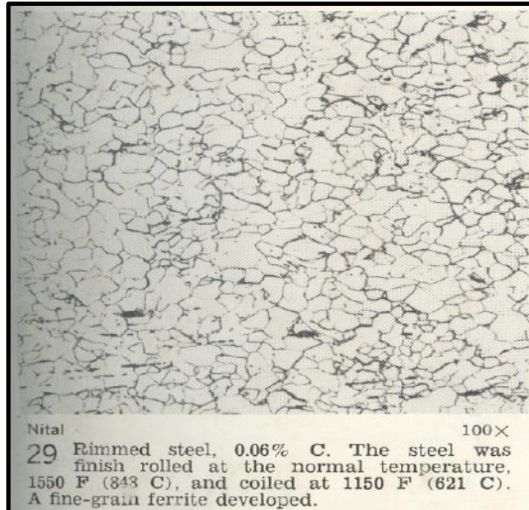
Se realiza el ataque químico con Ácido Nítrico (Nital) al 2% durante 5 segundos en la superficie a ser analizada, inmediatamente retiramos el exceso con abundante agua y alcohol para luego secar con aire y finalmente poder visualizar la microestructura a través del microscopio en aumentos de 100X, 200X, y 500X, las microestructuras resultantes son las siguientes:

Figura 23. Microestructura del material de Motocicleta Suzuki AX 100



Fuente: Autores

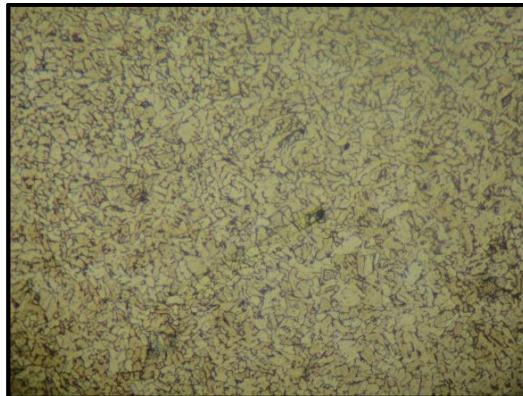
Figura 24. Microestructura de acero con 0,06% C



Fuente: METALS HANDBOOK. Atlas of Microstructures of Industrial Alloys. p. 7

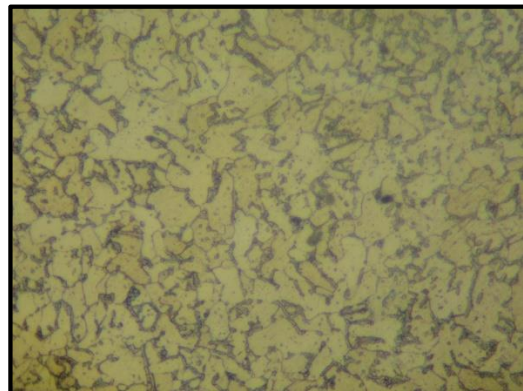
La microestructura del primer material analizado indica que se trata de un acero de muy bajo carbono (0,06 % C) ya que presenta similitud con la fotografía adyacente, coincidiendo con el análisis de espectrometría en donde el valor es de 0,056 % C.

Figura 25. Microestructura de Scooter AE 50 R - x100



Fuente: Autores

Figura 26. Microestructura de Scooter AE 50 R - x500



Fuente: Autores

El segundo material analizado presenta claramente mas porcentaje de carbono que el material anterior ya que tiene relacion directa con la presencia de perlita, con ayuda del analisis de espectrometria en donde nos dio el 0,113 % C y observando que el grano ferritico domina claramente la microestructura el material es un acero AISI SAE 1010.

Una vez caracterizado el material de los dos tipos de chasis se concluye que son aceros de muy bajo contenido de carbono para el caso del chasis de la motocicleta AX 100 se trata de un acero AISI SAE 1006 y para el chasis de la Scooter AE 50 R un acero AISI SAE 1010 se comprobó a través del proceso de metalografía en donde podemos visualizar que existe dominación de ferrita (zona blanca) en comparación a la perlita (zona oscura).

El acero AISI-SAE 1006, su resistencia mecánica es inferior en comparación al AISI-SAE 1010, sus características son: buena conformación en frio, dúctil y buena soldabilidad.

El acero AISI-SAE 1010, su resistencia mecánica es superior al AISI 1006, debido a la mayor cantidad de Carbono, similares propiedades de ductilidad y buena soldabilidad.

### 3.5 Acero estructural ASTM A36

Para el posterior análisis se considera el acero ASTM A36, cuyas características se detallan a continuación.

**3.5.1 Características del acero ASTM A36.** Las propiedades mecánicas y la composición química del acero estructural ASTM A 36 de producción nacional se obtienen de los certificados de materiales que proporciona la empresa IPAC S.A, siendo los siguientes:

Tabla 7. Propiedades químicas acero ASTM A 36

Composición química	Valor [%]
C	0,26 máx.
Mn	0,60 a 1,35
P	0,04 máx.
Si	0,40 máx.
S	0,05 máx.

Fuente: IPAC

Tabla 8. Propiedades mecánicas ASTM A36

Propiedades mecánicas del acero		
Esfuerzo Tracción [MPa]	Esfuerzo Fluencia [MPa]	Elongación [%]
400 a 500	250 Mín.	21 a 23

Fuente: IPAC S.A.

### 3.6 Comparación de materiales

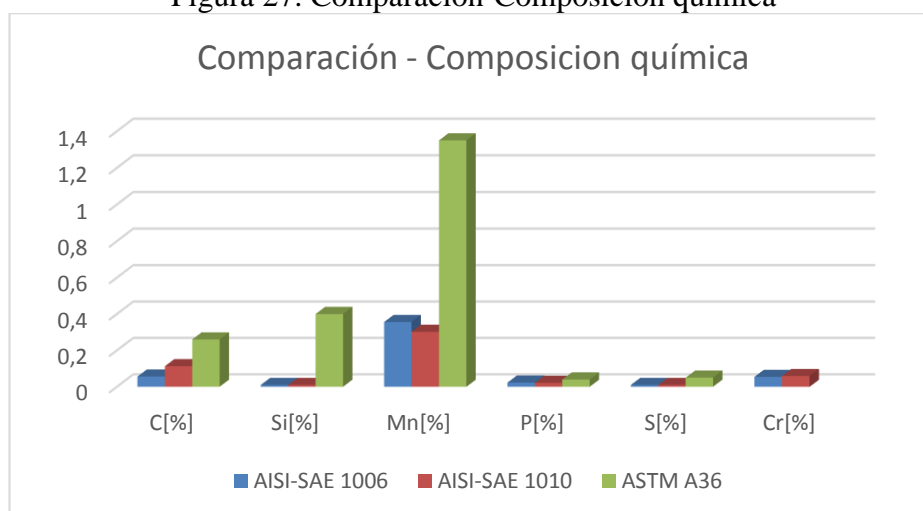
En la comparación de los componentes químicos de los tres materiales se considera los elementos que contengan porcentajes relevantes en su composición en cada uno de ellos logrando la siguiente tabla.

Tabla 9. Comparación-Composición química

COMPARACIÓN DE MATERIALES –COMPOSICIÓN QUÍMICA						
Materiales	Composición química					
	C[%]	Si[%]	Mn[%]	P[%]	S[%]	Cr[%]
AISI-SAE 1006	0,056	<0,01	0,356	0,023	<0,01	0,054
AISI-SAE 1010	0,113	<0,01	0,302	0,022	<0,01	0,059
ASTM A36	0,260	0,40 Max.	0,60 a 1,35	0,04 Máx.	0,05 Máx.	

Fuente: Autores

Figura 27. Comparación-Composición química



Fuente: autores

El acero ASTM A36 es aceptable con respecto a la composición química debido a que posee más porcentaje de carbono el cual aumenta su resistencia a la tracción manteniéndose dentro de los porcentajes de un acero estructural (0,15 – 0,33 %C). El silicio con un máx. 0,4% mejora su templabilidad. El Mn con su propiedad de revertir los

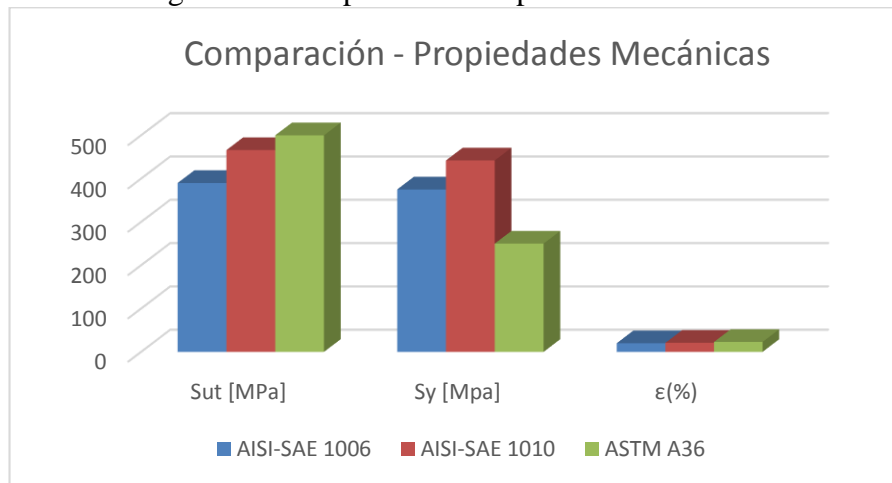
efectos del azufre en el proceso de fabricación. Y la presencia del S mejora su maquinabilidad. (CARRERA, 2012)

Tabla 10. Comparación-Propiedades Mecánicas

	Propiedades Mecánicas		
	Sut [MPa]	Sy [Mpa]	$\epsilon$ [%]
AX 100	390	375	20
AE 50 R	466	442	21
ASTM A36	400 a 500	Min. 250	21 a 23

Fuente: Autores

Figura 28. Comparación- Propiedades Mecánicas



Fuente: Autores

Con referencia a las propiedades mecánicas el acero ASTM A36, donde su resistencia última a la tensión (Sut) se encuentra entre 400 – 500 MPa se aproxima los resultados obtenidos de los materiales analizados incluso superándolos ya que posee un Sut máximo equivalente a 500 MPa, debido al mayor porcentaje de carbono. Su resistencia a la fluencia (Sy) con valor mínimo de 250 MPa es inferior a los otros materiales, pero al comparar su porcentaje de elongación este se asemeja a los demás ya que se encuentra entre el 21-23 % indicándonos que se trata de un material dúctil.

Tabla 11. Otros criterios de aceptación de material

Materiales	Soldabilidad	Conformado	Costo	Disponibilidad de Material
AISI SAE 1006	Aceptable	Aceptable	Accesible	Aceptable
AISI SAE 1010				
ASTM A36				

Fuente: Autores

La soldabilidad es aceptable debido a que los tres materiales son considerados aceros, de la misma manera son de fácil conformado acorde su porcentaje de deformación, el ASTM A36 es un materia común de producción nacional, haciendo fácil su adquisición y de igual manera su costo accesible.



## CAPÍTULO IV

### 4. MODELADO DEL CHASIS DE MOTOCICLETA

#### 4.1 Modelado del chasis mediante SolidWorks 2014

Para el modelado del chasis utilizaremos el software conocido como SolidWorks versión año 2014. El SolidWorks es un programa basado en el diseño asistido por computador, que utilizaremos para la modelación del chasis.

En el programa nos permite modelar piezas y conjuntos, extraer fácilmente los planos y otras informaciones necesarias para la producción, el programa se utiliza para plasmar la idea del diseñador en un sistema CAD, construyendo de forma virtual la pieza o conjunto de acuerdo a la idea del diseñador.

SolidWorks es un programa de diseño en 3D muy interactivo con el usuario, permite realizar operaciones de forma rápida permitiendo plasmar las ideas del diseñador. El programa permite fácilmente la modificación de operaciones sin la necesidad de rehacer los diseños.

También se caracteriza por disponer herramientas fáciles de utilizar esto ayuda el desarrollo de sus proyectos, además de validar, gestionar y comunicar proyecto de forma rápida, precisa y fiable. (CULEBRAS, 2011)

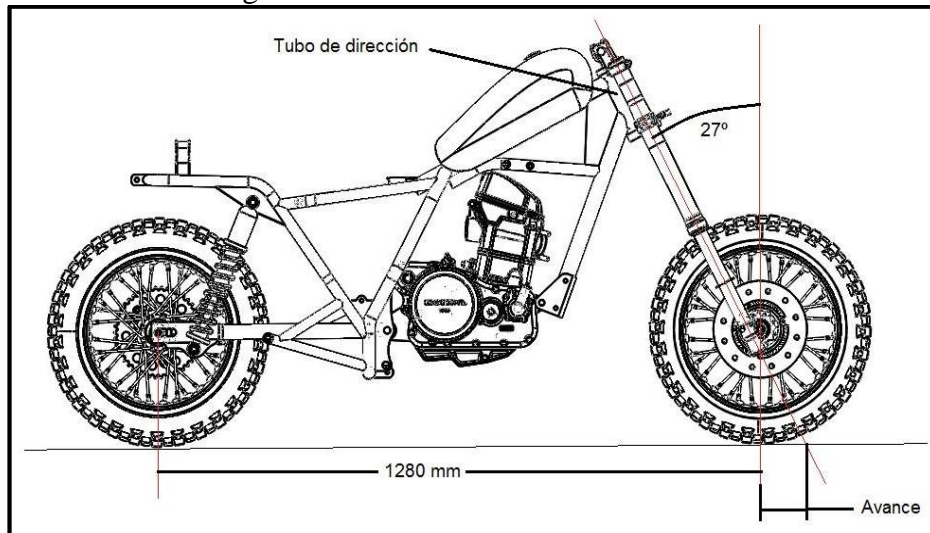
#### 4.2 Proceso del modelado del chasis

El modelado del chasis corresponde a un tipo de chasis de simple cuna abierto y está compuesto por piezas mecanizadas y perfiles tubulares soldadas entre sí, uniendo el tubo de dirección con el eje de suspensión posterior abrazando y sujetando al motor.

Antes de iniciar el proceso de el modelado se debe tener muy en cuenta algunas características geométricas, unas de estas es el ángulo de dirección que es el ángulo comprendido entre el eje del tubo de dirección y una recta vertical, para lo cual en nuestro caso será un ángulo de  $27^\circ$ . Distancia entre los ejes, es la medida comprendida entre los

centros de la rueda delantera y la rueda posterior.

Figura 29. Parámetros básicos de diseño



Fuente: Autores

Para iniciar con el proceso del modelado del chasis primero se procedió a tomar varias medidas sobre un chasis real, hay que tener en cuenta que para tomar las medidas del chasis primero se construyó una base regulable para montar el chasis y nivelarlo, con esto se nos facilita la toma de datos y medidas con mejor referencia.

De acuerdo a las medidas obtenidas se empezó el modelado en SolidWorks mediante las operaciones del programa obteniendo una mayor fiabilidad posible respecto a la realidad.

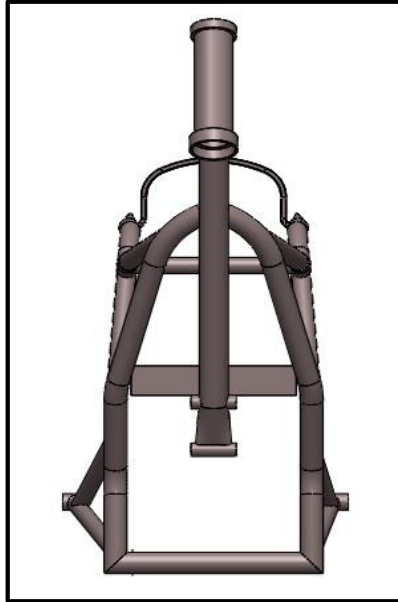
A continuación se muestran varias vistas del chasis modelado en el software:

Figura 30. Vista principal del chasis



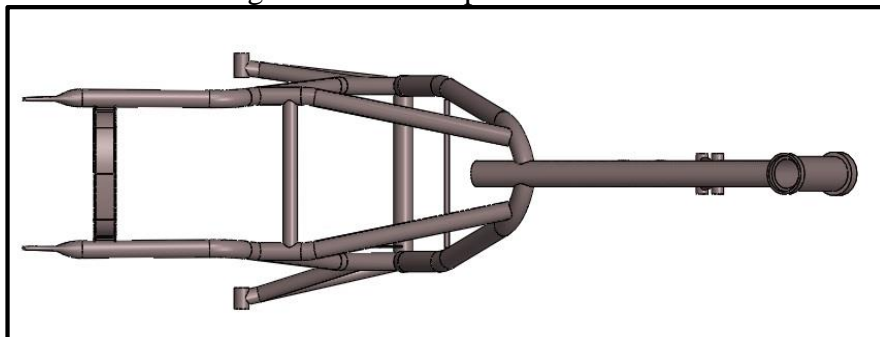
Fuente: Autores

Figura 31. Vista frontal del chasis



Fuente: Autores

Figura 32. Vista superior del chasis



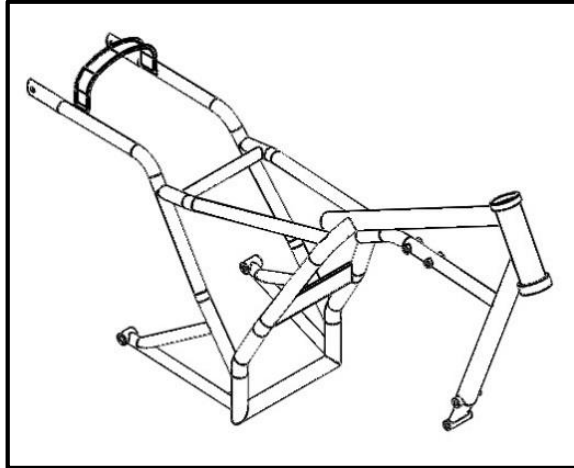
Fuente: Autores

Figura 33. Vista isométrica del chasis



Fuente: Autores

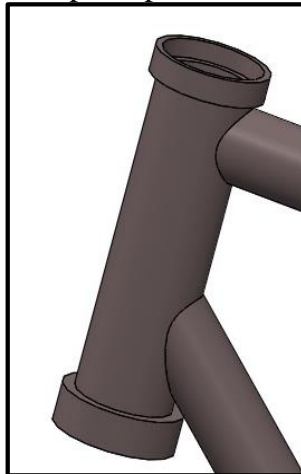
Figura 34. Vista transparente del chasis



Fuente: Autores

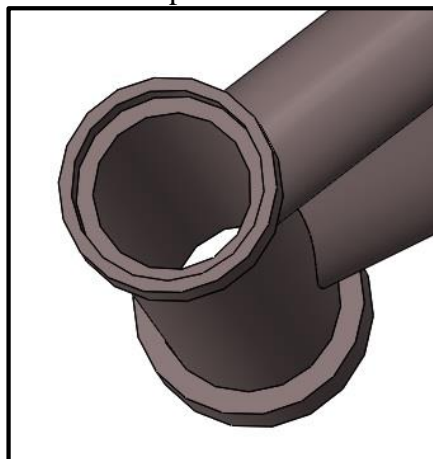
Modelado del tubo de dirección:

Figura 35. Vista principal del tubo de dirección



Fuente: Autores

Figura 36. Vista superior del tubo de dirección

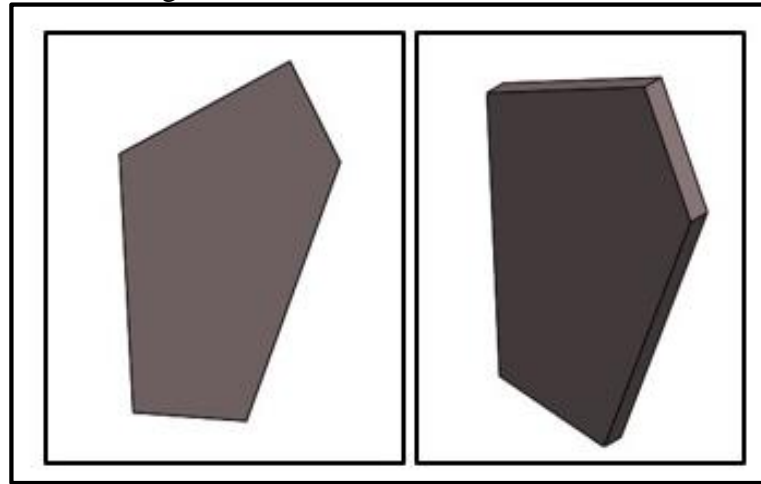


Fuente: Autores

### 4.3 Proceso de modelado de piezas complementarias del chasis

Se ha modelado piezas diferentes para añadir al chasis como refuerzos evitando así una deformación posible por medio de los esfuerzos presentes uno de estos refuerzos sirve para ubicar junto a la pipa de dirección.

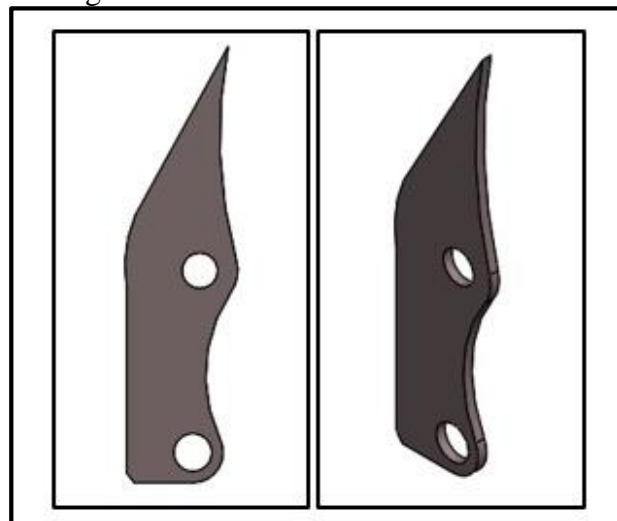
Figura 37. Vistas del refuerzo delantero



Fuente: Autores

A continuación veremos las piezas que se utilizan para sujetar al motor se ubican en la parte inferior del chasis.

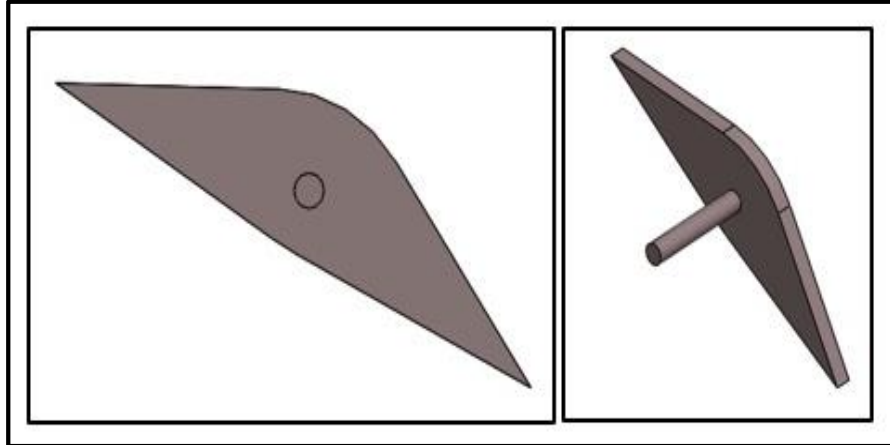
Figura 38. Vistas de refuerzo base motor



Fuente: Autores

Así mismo se modelo las piezas que se ubica en la parte posterior del chasis en donde se ubicara el eje para el amortiguador.

Figura 39. Vistas refuerzo posterior eje para anclajes del amortiguador



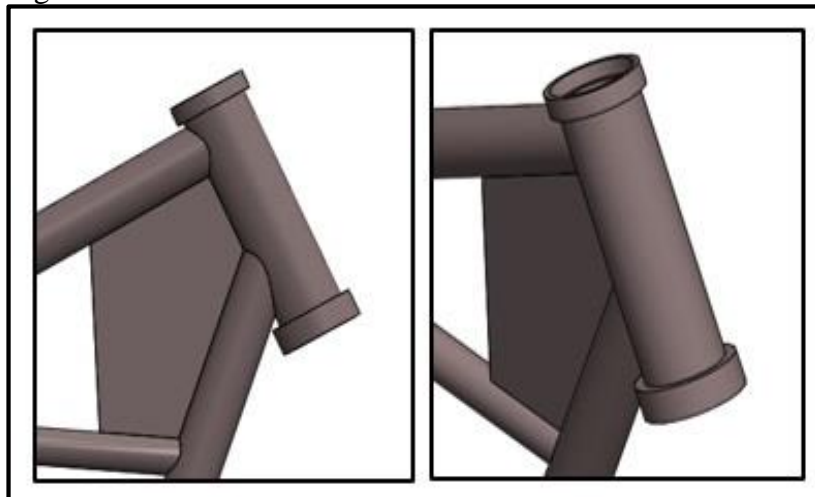
Fuente: Autores

#### 4.4 Proceso de ensamble piezas complementarias al chasis

Una vez terminado el modelado de todas los elementos que conforman el chasis de la motocicleta con ayuda del mismo software se procede a ensamblar cada una de los elementos formando una estructura solida capaz de soportar todas fuerzas que actuan sobre el mismo. Gracias a cada una de las operaciones que nos ofrece el programa, nos facilita ubicar cada una de las partes con mayor facilidad ubicando de una manera precisa y ordenada.

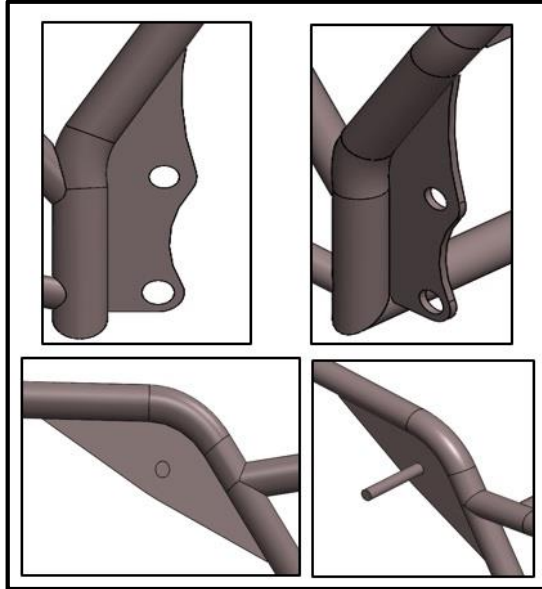
En las siguientes imágenes observamos los ensambles de los refuerzos de elementos que se conectan entre si para generar la geometria del chasis, una vez culminado se procedera al analisis de elementos finitos.

Figura 40. Vistas ensamble refuerzo frontal al tubo de dirección



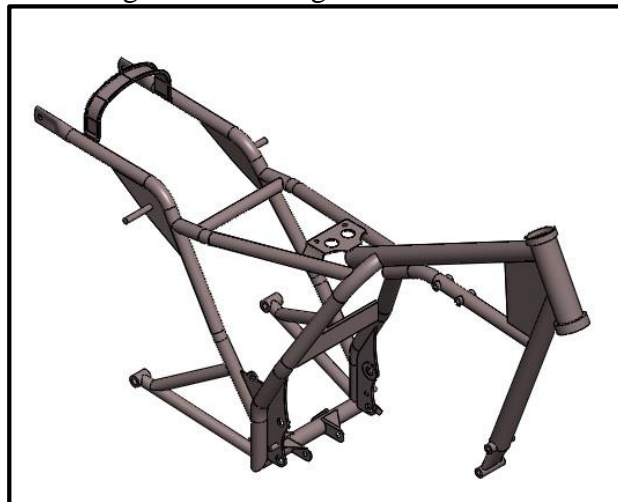
Fuente: Autores

Figura 41. Vista de varios ensambles



Fuente: Autores

Figura 42. Vista general del chasis



Fuente: Autores

## CAPÍTULO V

### 5. ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL MODELO DEL CHASIS

#### 5.1 Introducción al método de elementos finitos (en adelante MEF)

Hoy en día para las soluciones de varios problemas que tienen cierto grado de dificultad, se ha procedido a dar soluciones mediante el método de elementos finitos. Es un método numérico que se utiliza para dar soluciones, al que la mayoría de los problemas presentan comúnmente geometrías complejas, cargas no distribuidas y determinación de propiedades de materiales, en donde no se puede obtener una solución acertada, y con ayuda del método de elementos finitos esto es posible.

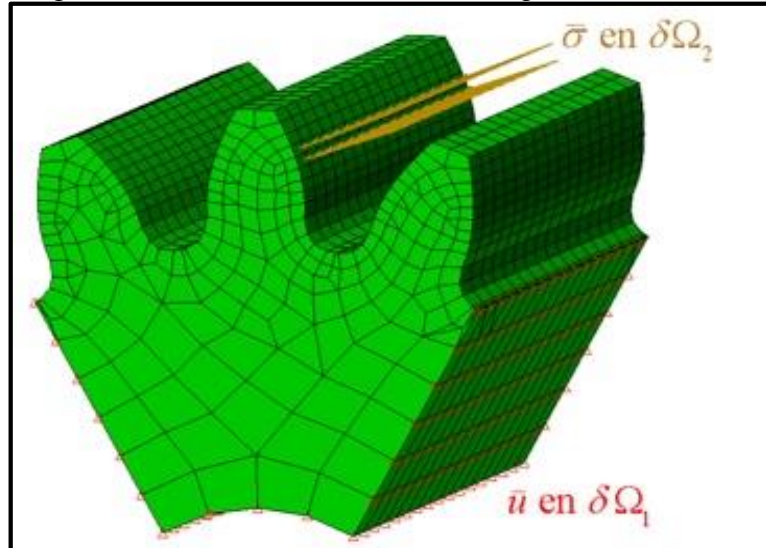
Entre algunas de las soluciones de los elementos finitos tenemos: el análisis de estructura, problemas de transferencia de calor, flujo de fluidos, transporte de masa así como el cálculo de potencial electromagnético. Estas soluciones generalmente requieren la solución de ecuaciones diferenciales ya sean parciales u ordinarias, debido a que se analiza geometrías complejas que no son posible resolver, optimizando el tiempo y la economía en la solución.

El MEF permite realizar un cálculo en condición muy similares a la realidad, el cual podemos realizar cambios al prototipo virtual que se va a construir de forma fácil y económica, mejorando las características del prototipo, ya que antes primero se realizaban los prototipos físicos y sobre ellos se realizaban ensayos para mejorar, de esta forma se perdía tiempo en el desarrollo y por ende un coste económico elevado. El método consiste en dividir el continuo en un número finito de elementos, es decir discretizar el continuo y resolver cada uno de los elementos, para a continuación ensamblar la solución total. La malla es el conjunto de elementos finitos en que se ha dividido el dominio del problema, esta malla define un espacio de funciones de aproximación en la cual busca una posible solución. (CULEBRAS, 2011)

De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo, es decir, de infinitos grados de libertad, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no.



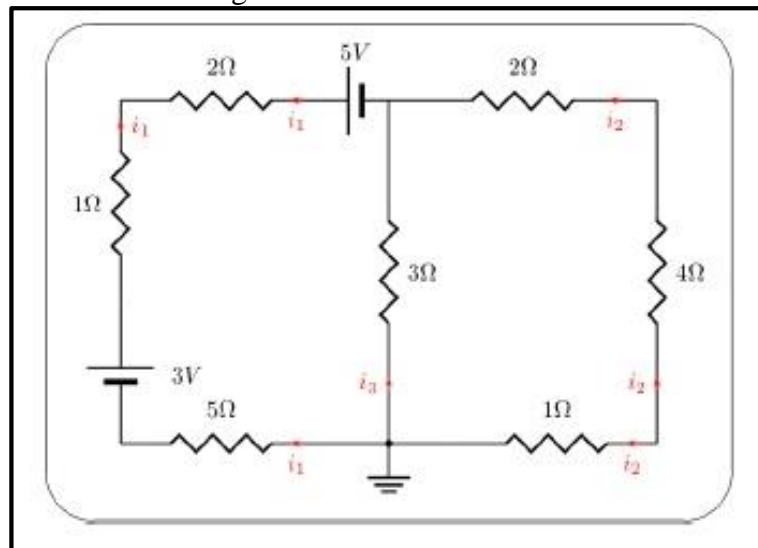
Figura 43. Sistema continuo (infinitos grados de libertad)



Fuente: J.N. Reddy. Introducción al método de elementos finitos.

**5.1.1** *Sistemas Discretos y Sistemas Continuos.* Los sistemas discretos, son aquellos en los que se puede distinguir a simple vista la repetición de componentes o elementos iguales o de características similares. Por ejemplo los sistemas eléctricos en los que se repiten elementos tales como resistencias o impedancias.

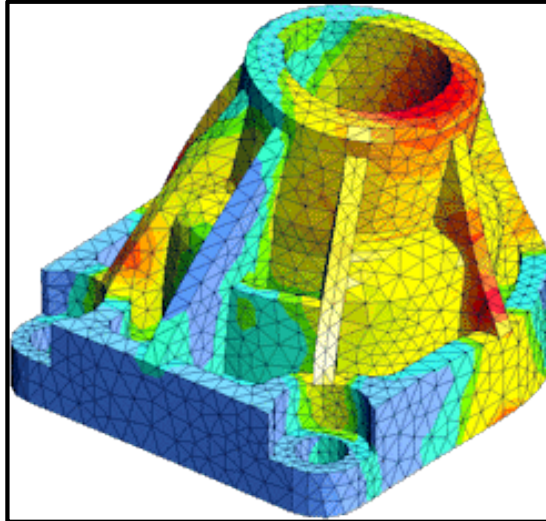
Figura 44. Sistema Discretos



Fuente: J.N. Reddy. Introducción al método de elementos finitos.

En cambio, los sistemas continuos, son aquellos que representan una porción de sustancia esta puede ser sólida, líquida o gaseosa. En este tipo de sistemas no es posible advertir una partición natural sino para su análisis es preciso dividirlos o discretizarlos en un número finito de elementos.

Figura 45. Sistema Continuo



Fuente: [https://ingenierodelacrisis.files.wordpress.com/2012/09/pumpe\\_fem.gif](https://ingenierodelacrisis.files.wordpress.com/2012/09/pumpe_fem.gif)

## 5.2 Análisis y simulación mediante ANSYS

“El proceso fundamental del Método de los Elementos Finitos puede ser sintetizado en los siguientes pasos:

### PREPROCESO (Preparación del problema)

- Definir el dominio geométrico del problema
- Definir el tipo de elemento que será utilizado en la discretización.
- Definir las propiedades de los materiales de cada elemento.
- Definir las propiedades geométricas de los elementos (longitud, área, etc.)
- Definir las conectividades de los elementos (malla de modelo).
- Definir las restricciones físicas del problema (condiciones de contorno).
- Definir las cargas aplicadas sobre el dominio.

### PROCESO (Solución del problema)

- Cálculo de las matrices de rigidez y vectores de carga de cada elemento.
- Ensamblaje de las matrices de rigidez y de los vectores de carga elementales. Obtención del sistema global de ecuaciones.

- Reducción del sistema de ecuaciones mediante la aplicación de las condiciones de contorno.
- Resolución del sistema de ecuaciones asociado al problema. Obtención de los valores nodales de las variables de campo que representan el problema.
- Calculo de variables derivadas como fuerzas de reacción, tensiones en los elementos, flujos de calor, etc.

#### POSTPROCESO (Análisis y evaluación de los resultados)

- Representación gráfica de los resultados (clasificación en colores dependiendo la magnitud de las variables, curvas de resultados, etc.).
- Verificación de la condición de equilibrio.
- Representación del dominio deformado (en caso de que se trate de un problema estructural).” (VALERO, 2004)

#### 5.2.1 *Tipos de geometrías.* Cuerpos sólidos son geométrica y espacialmente 3D y 2D.

- Sólidos 3D están engranados de forma determinada con orden superior elementos sólidos tetraédricos o hexaedros con funciones de forma cuadrática.
- Cada nodo en un elemento de 3D tiene tres grados de libertad de traslación (DOF) para estructural o una temperatura DOF para térmica.
- Sólidos 2D se engranan de forma determinada con orden superior elementos sólidos triangulares o cuadrangulares con funciones de forma cuadrática.
- Cada nodo en un elemento 2D tiene dos grados de libertad de traslación para estructural o una temperatura DOF para térmica.
- Sólidos 2D se utilizan para representar tres tipos de geometría 3D “Axis métrico”

“tensión plana” y “deformación plana”.

Cuerpos superficiales son geoméricamente 2D pero espacialmente 3D.

- Cuerpos superficiales representan estructuras que son delgadas en una dimensión (a través del espesor). Espesor no se modela pero suministra como un valor de entrada.
- Cuerpos superficiales están engranados con elementos de lámina que tiene seis DOF (UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ)

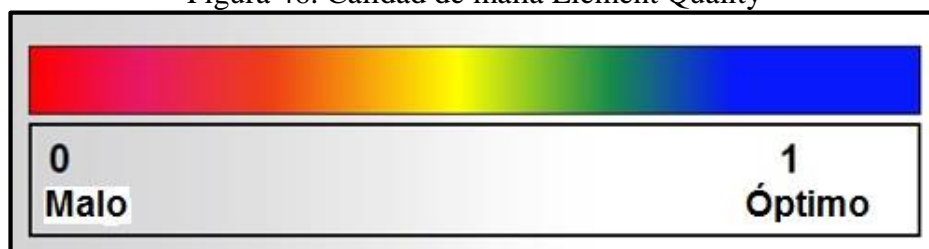
Cuerpos lineales son geoméricamente 1D pero espacialmente 3D.

- Cuerpos lineales representan estructuras que son delgadas en dos dimensiones. La sección transversal no se modela, se asigna a la línea de cuerpo.
- cuerpos de línea se modelan con elementos de viga que tiene seis DOF (UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ).

**5.2.2** *Calidad de malla.* Ansys interactúa con varios criterios de calidad de malla entre ellos: Element Quality, Aspect Ratio, Jacobian Ratio, Warping Ratio, Parallel Deviation, Maximum Corner Deviation, Skewness y Orthogonal Quality.

Siendo más frecuente el Element Quality, este método es utilizado en el radio del volumen a la longitud de borde para un elemento dado.

Figura 46. Calidad de malla Element Quality



Fuente: file:///D:/Tesis/CAPITULO%205/fotos/calidad%20de%20malla.jpg

Dependiendo del color varía la calidad de malla, mientras más cerca de 0 (color rojo) la calidad de malla es deficiente y más cerca de 1 (color azul) la calidad de malla óptima.

### 5.3 Simulación y ensayo de esfuerzos

En este capítulo se analizará el comportamiento de bastidor de la motocicleta obteniendo conocimiento de cual decisión tomar y seguir con el desarrollo de la construcción.

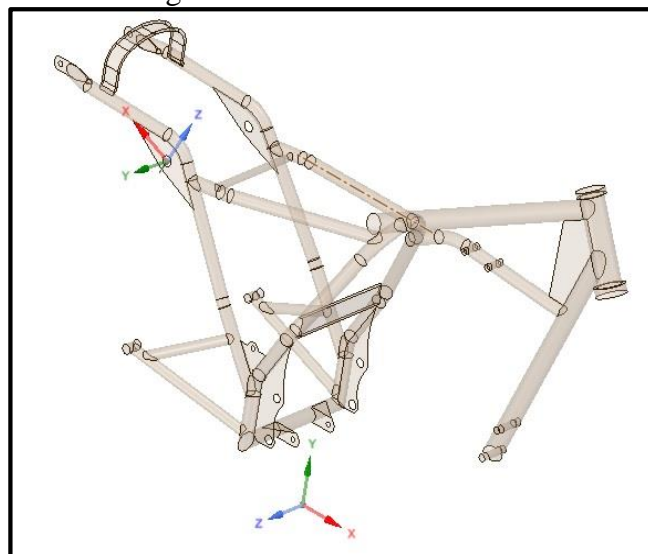
**5.3.1 Ensayo estático.** En este ensayo se determinará los esfuerzos máximos y mínimos de las deformaciones provocadas por las diferentes cargas que se aplican al bastidor. Las cargas mencionadas se presentan cuando el piloto y copiloto se sientan sobre la motocicleta a esto se suman las cargas del peso propio de motor y subsistemas de la motocicleta.

Para este análisis por medio de elementos finitos utilizamos Workbench del software Ansys donde nos dará los resultados de las reacciones y deformaciones que sufre el bastidor.

- Definir el dominio geométrico del problema

Para empezar con el análisis el primero paso se importa la geometría generada en SolidWork y convierte el diseño en superficies por medio de SpaceClaim de Ansys, lo cual nos permite tener un mejor resultado de mallado de la geometría.

Figura 47. Geometría definida

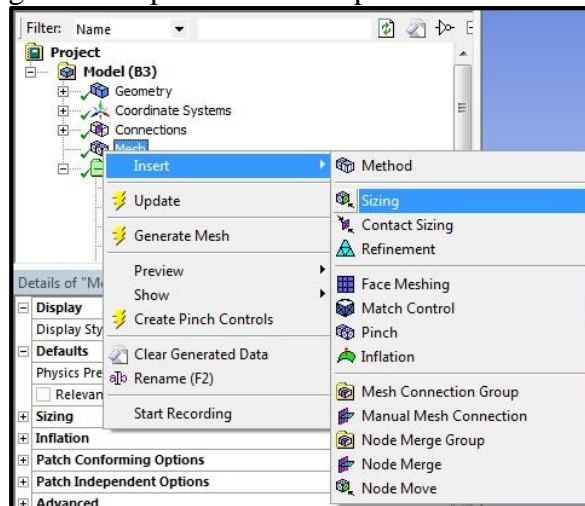


Fuente: Autores

- Definir el tipo de elemento que será utilizado en la discretización.

Para la discretización utilizamos elementos cuadráticos que son útil en el modelo geométrico para obtener una malla de calidad alta.

Figura 48. Tipo de elemento para la discretización



Fuente: Autores

- Definir las propiedades de los materiales de cada elemento.

De ahí se selecciona el material que se va a utilizar en la construcción del bastidor que será de acero estructural ASTM A36.

Figura 49. Material para la geometría

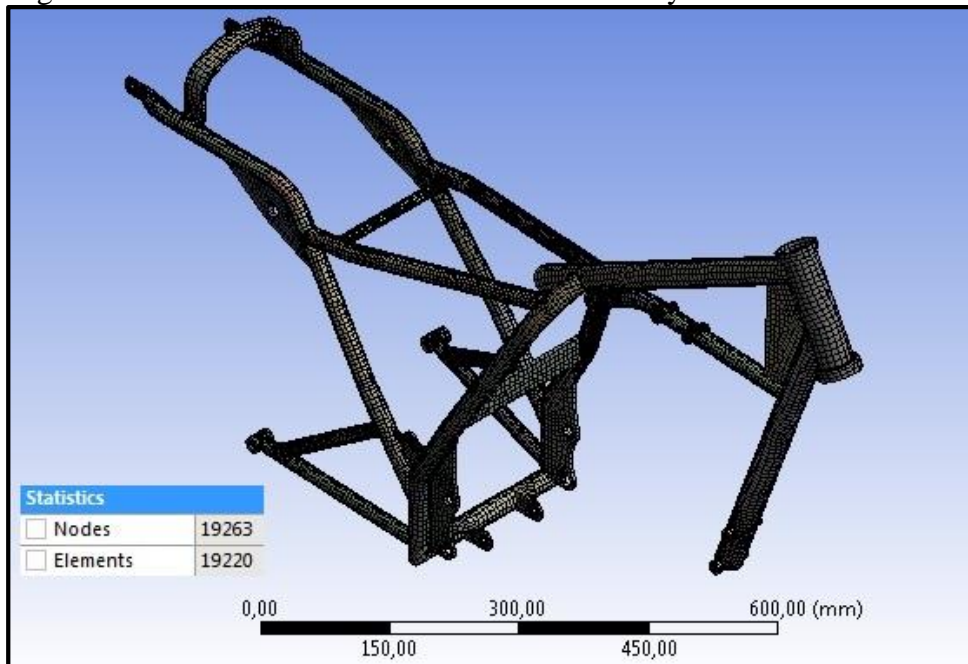
4		Structural Steel	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1	
* <a href="#">Click here to add a new material</a>				
Properties of Outline Row 4: Structural Steel				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Density	7850	kg m <sup>-3</sup>	
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's ...		
8	Young's Modulus	2E+11	Pa	
9	Poisson's Ratio	0,3		
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa	
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa	
12	Field Variables			
13	Temperature	Yes		
14	Shear Angle	No		
15	Degradation Factor	No		
16	Alternating Stress Mean Stress	Tabular		
20	Strain-Life Parameters			
28	Tensile Yield Strength	250	MPa	
29	Compressive Yield Strength	250	MPa	
30	Tensile Ultimate Strength	400	MPa	

Fuente: Autores

- Definir las conectividades de los elementos (malla de modelo).

El siguiente paso es realizar el mallado de la geometría, para el mallado se utiliza la herramienta propia del programa. La presente malla contiene 19263 nodos y 19220 elementos.

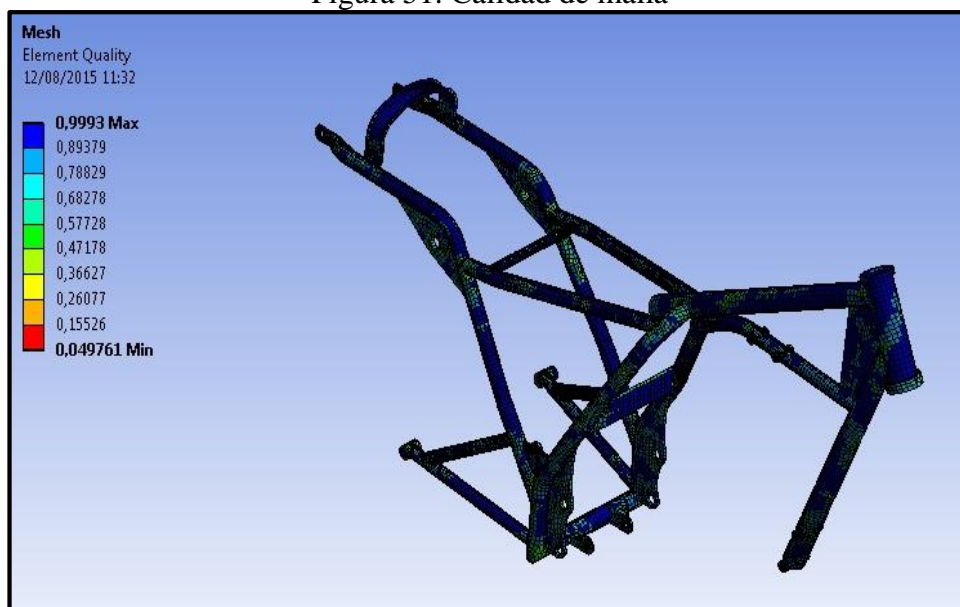
Figura 50. Mallado del chasis en Workbench de Ansys en el análisis estático



Fuente: Autores

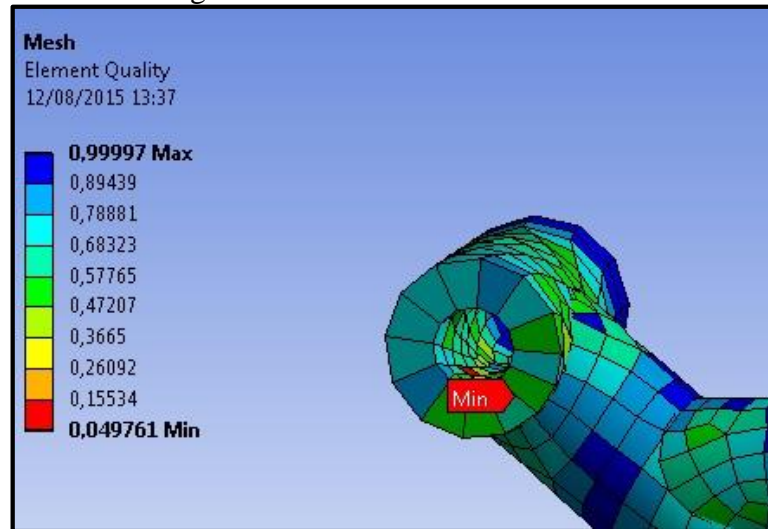
Como se observa en la figura 52 la calidad de malla se encuentra en excelente estado ya que la mayor parte se encuentra cercana en el valor óptimo de la malla.

Figura 51. Calidad de malla



Fuente: Autores

Figura 52. Calidad mínima de malla



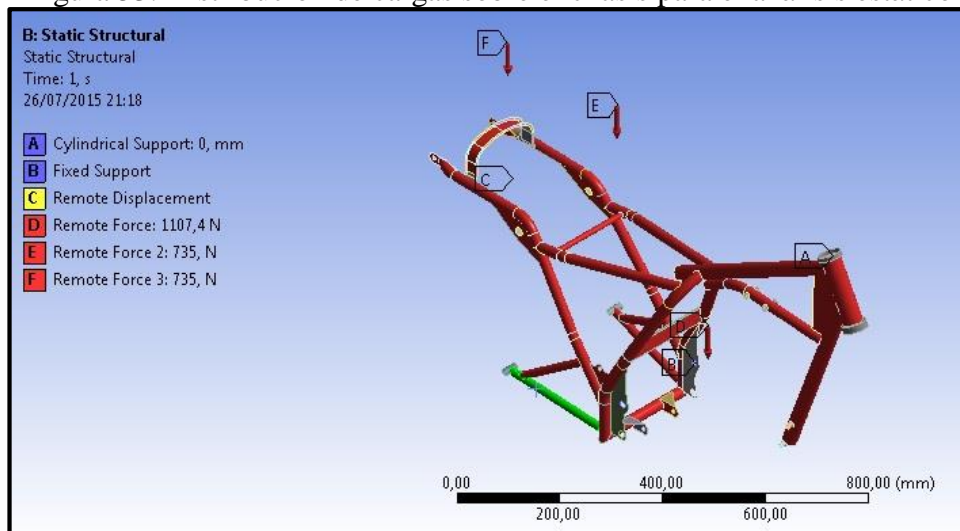
Fuente: Autores

Como se observa en la figura 51 la calidad de malla mínima está en un valor 0,049 y se observa que es un valor superficial y que no es de mucha consideración para el análisis de la geometría.

- Definir las restricciones físicas del problema y las cargas aplicadas sobre el dominio.

Una vez realizado el mallado de geometría, se procede a colocar cada una de las cargas obtenidas previamente y de la misma manera colocar las restricciones de movimiento en los puntos donde el chasis de ensambla con las suspensiones y el amortiguador.

Figura 53. Distribución de cargas sobre el chasis para el análisis estático



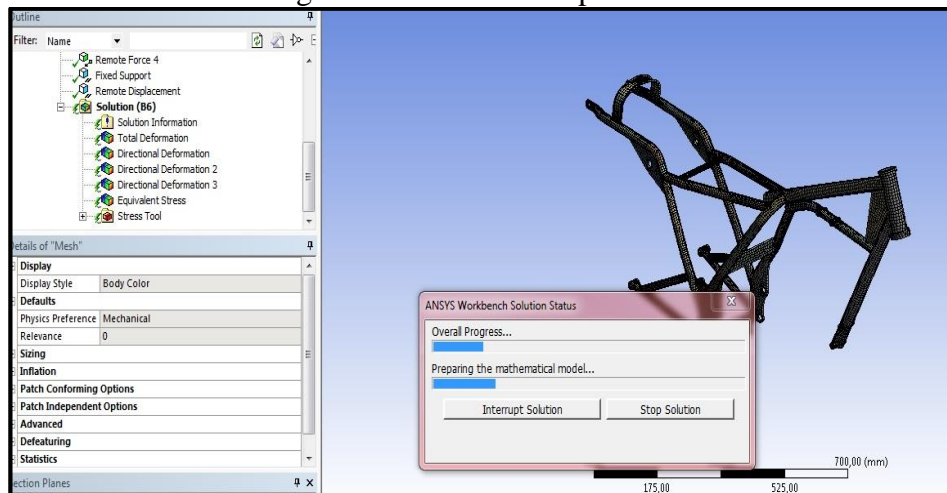
Fuente: Autores



Para el siguiente paso es el proceso de solución y el cual se obtiene los resultados de esfuerzo máximo, deformación máxima y el factor de seguridad y que los observamos gráficamente a continuación.

- Proceso de solución

Figura 54. Solución del problema

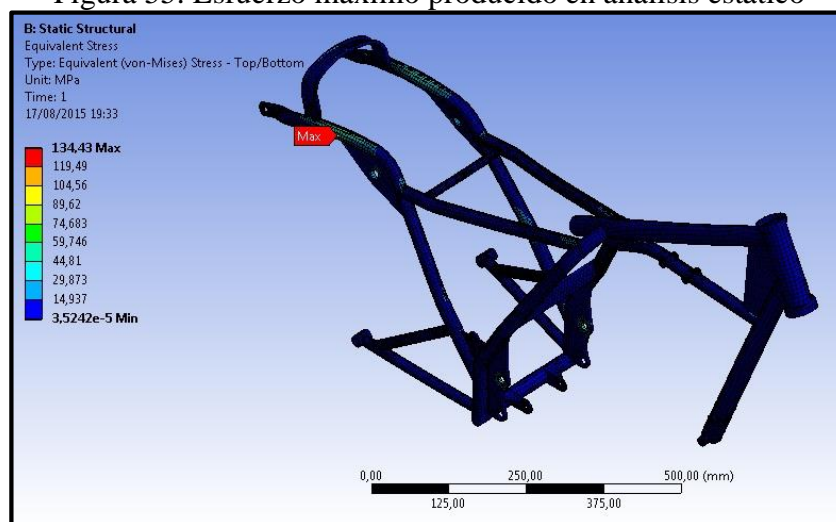


Fuente: Autores

En la figura 55 se observa que el programa Ansys procede a solucionar de acuerdo a matrices y ecuaciones que el mismo programa posee, esta solución puede demorar dependiendo el tipo de geometría.

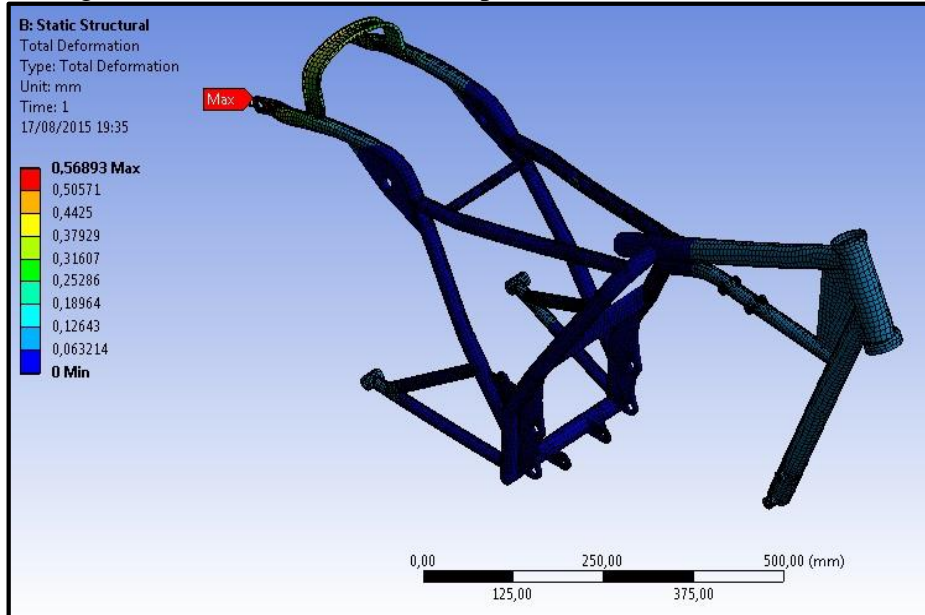
- Proceso de análisis de resultados

Figura 55. Esfuerzo máximo producido en análisis estático



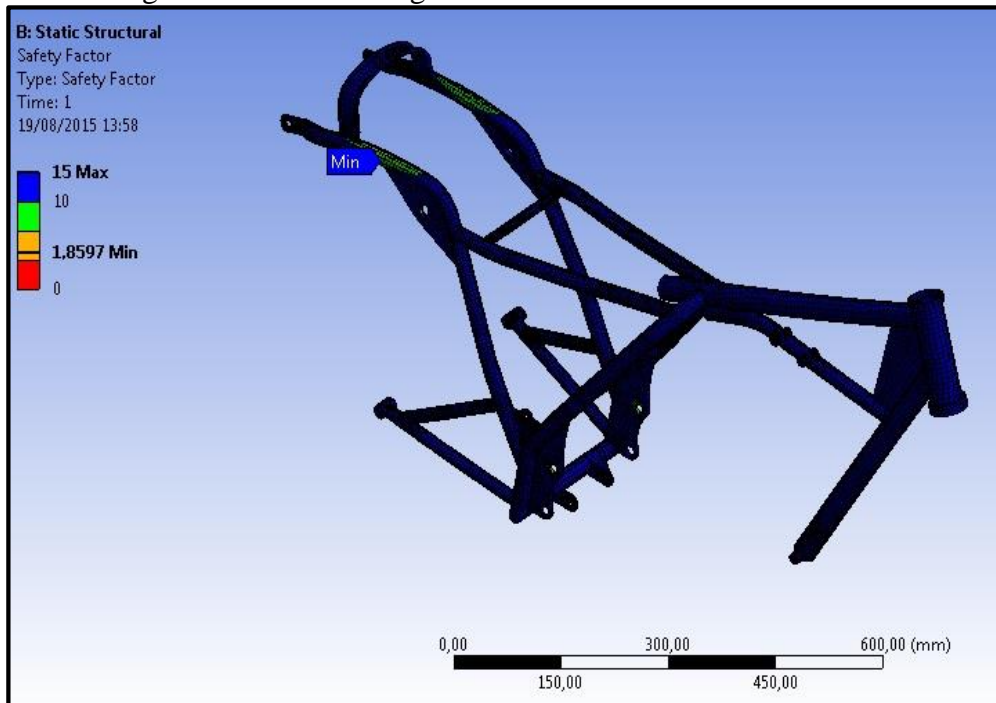
Fuente: Autores

Figura 56. Deformación máxima producida en el análisis estático



Fuente: Autores

Figura 57. Factor de seguridad del análisis estático del chasis



Fuente: Autores

Como se observa en los gráficos el resultado de esfuerzo máximo es 130,37 MPa, tomando en cuenta que el límite de fluencia de material es de 250 MPa se puede decir que no presenta ningún inconveniente para la fabricación en la zona posterior derecho del bastidor donde se coloca el asiento, el factor de seguridad es de 1,85 sabiendo que el factor de seguridad debe ser mayor a 1 para evitar falla, sin embargo, el factor mínimo

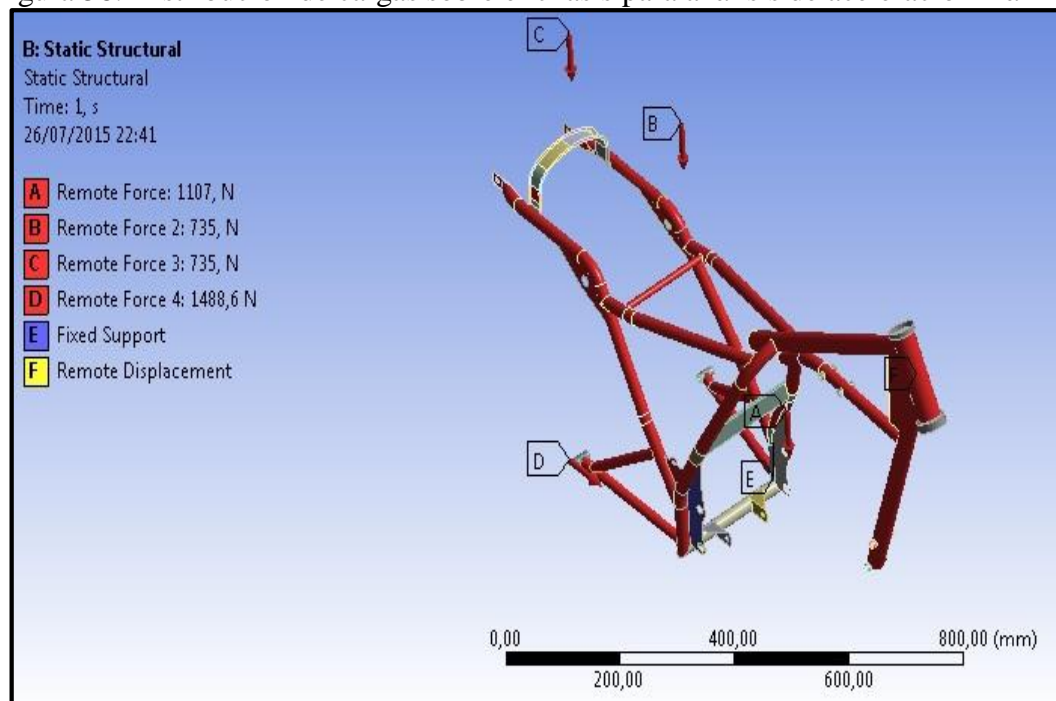
para este caso se considera de 1,5.

Para verificar el resultado de la deformación se realiza un cálculo de acuerdo a la norma AISC 360 donde el resultado debe ser mayor a la deformación obtenida por el cálculo en Ansys, para el respectivo cálculo se tiene la formula  $L/240$  donde L es la longitud del material a deformarse.

La longitud del material es de 250 mm permitiéndonos obtener 1,04 mm de deformación y comparando con la deformación obtenida del Ansys que es 0,5 mm se observa que la deformación no pasa del límite permitido.

**5.3.2 Ensayo de aceleración.** En este análisis se utiliza el mismo procedimiento que en el caso anterior comenzando con el pre proceso hasta la aplicación de las cargas y las restricciones de movimiento sobre la geometría, ya que los análisis que se realizan tienen diferentes situaciones.

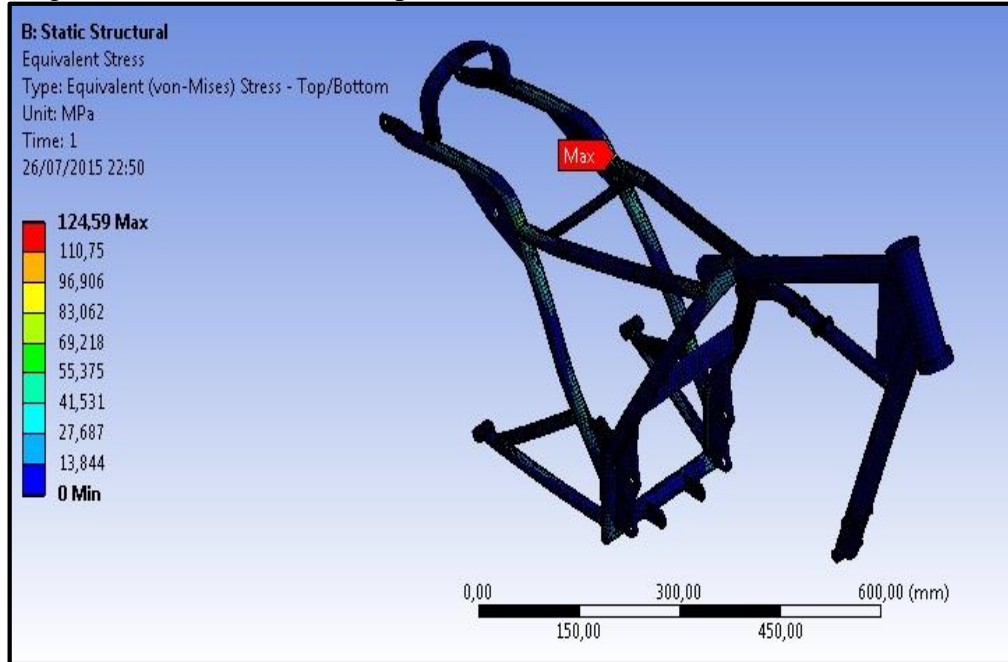
Figura 58. Distribución de cargas sobre el chasis para análisis de aceleración máxima



Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura 60, el resultado del esfuerzo máximo es de 124,59 Mpa en el punto de unión entre los tubos posteriores izquierdo lo que se debe tomar en cuenta y reforzar.

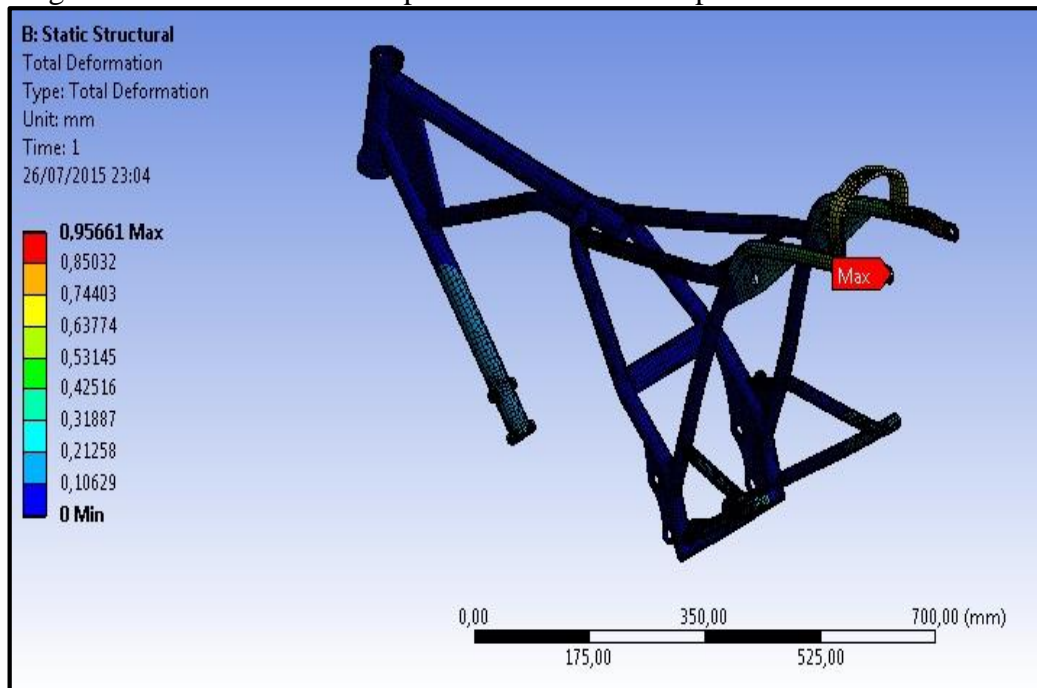
Figura 59. Esfuerzo máximo producido en el análisis de aceleración máxima



Fuente: Autores

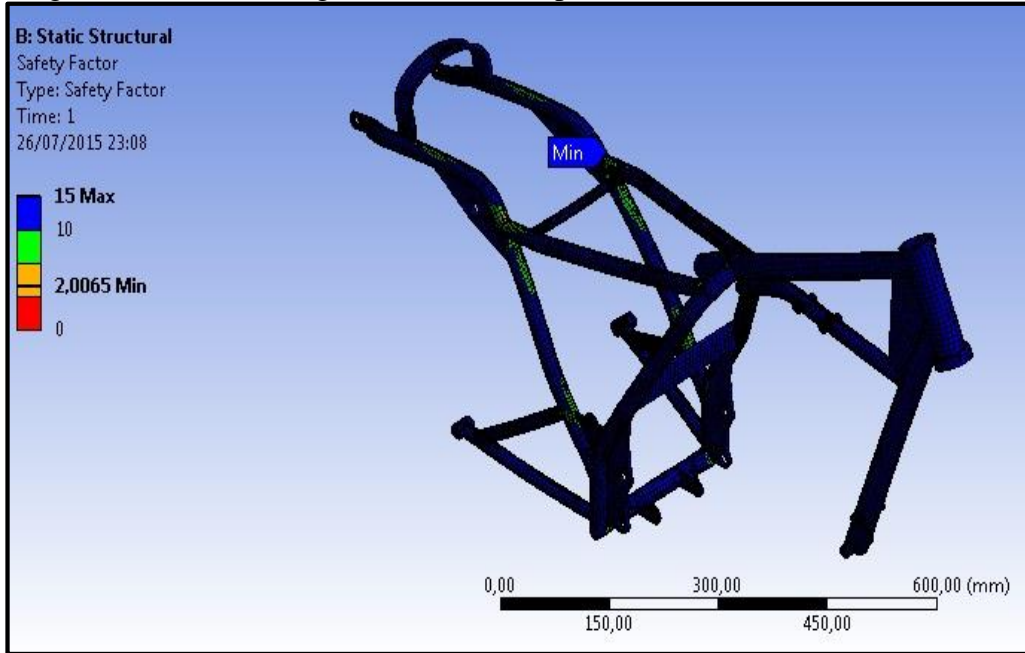
En la figura 61 y la figura 62 se obtiene una deformación máxima de 0,95 mm y un factor de seguridad de 2 respectivamente, el factor de seguridad se sitúa en el tubo posterior izquierdo por lo que es recomendable reforzar como medida de seguridad, de esta manera se asegura el diseño.

Figura 60. Deformación total producida en el chasis por la aceleración máxima



Fuente: Autores

Figura 61. Factor de seguridad del chasis producida en la aceleración máxima



Fuente: Autores

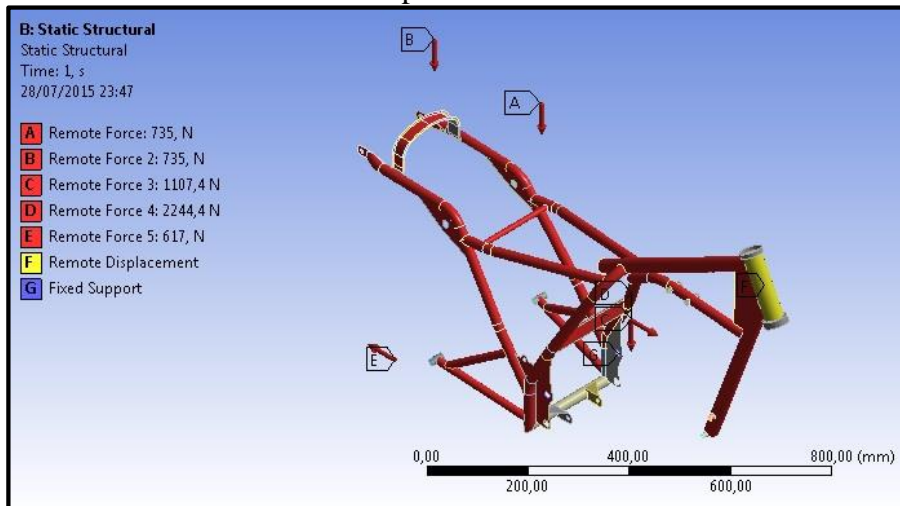
El esfuerzo máximo en el ensayo de aceleración es de 124,59 MPa siendo un valor aceptable ya que es menor al esfuerzo del material que es de 250 MPa por lo que no habrá una ruptura ni deformación permanente en la estructura. Además el factor de seguridad se encuentra en 2 ubicado en la unión entre los tubos posteriores y de enlace por lo que la estructura tiene menor probabilidad de un fallo.

La longitud del elemento a deformarse es de 325 mm y resultado obteniendo la deformación es de 1,35 mm de acuerdo a la norma AISC 360, por lo que la deformación obtenida del Ansys es inferior con un valor de 0,95 mm por lo que no se considera una deformación excesiva.

**5.3.3** *Ensayo de frenado.* Para este análisis se divide en dos ensayos el cual sería, frenada con la rueda posterior y frenada con la rueda delantera. En este ensayo como en los anteriores el pre proceso es el mismo hasta la distribución de cargas.

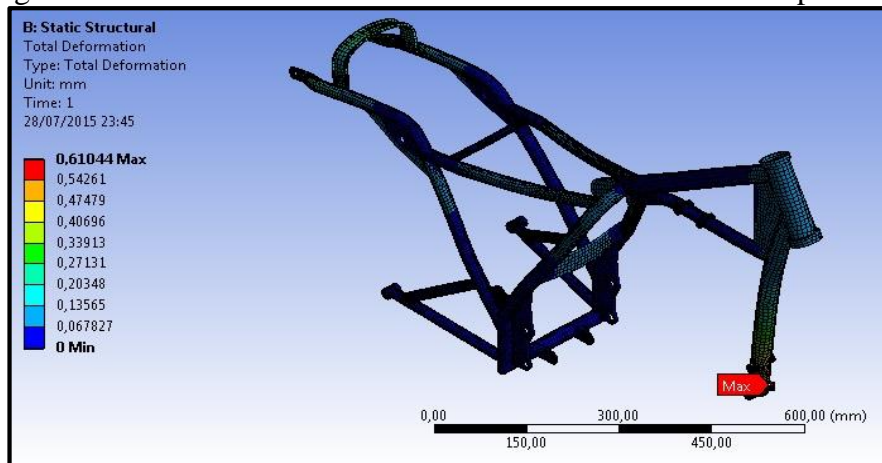
**5.3.3.1** *Frenado con la rueda posterior.* Para realizar el análisis de frenado con la rueda posterior se procede a colocar las cargas de las fuerzas de frenado y de los ocupantes previamente obtenidas de la misma forma se colocan las restricciones de movimiento como podemos observar en la figura 63, de esta manera se procede a la simulación de la motocicleta en el momento de frenado con la rueda posterior.

Figura 62. Distribución de cargas sobre el chasis en el análisis frenado con rueda posterior



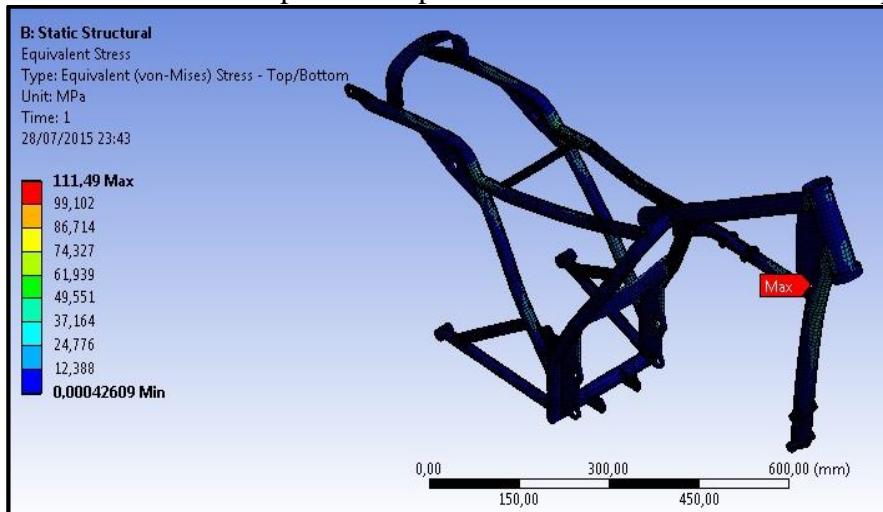
Fuente: Autores

Figura 63. Deformación total del análisis de frenado con rueda posterior



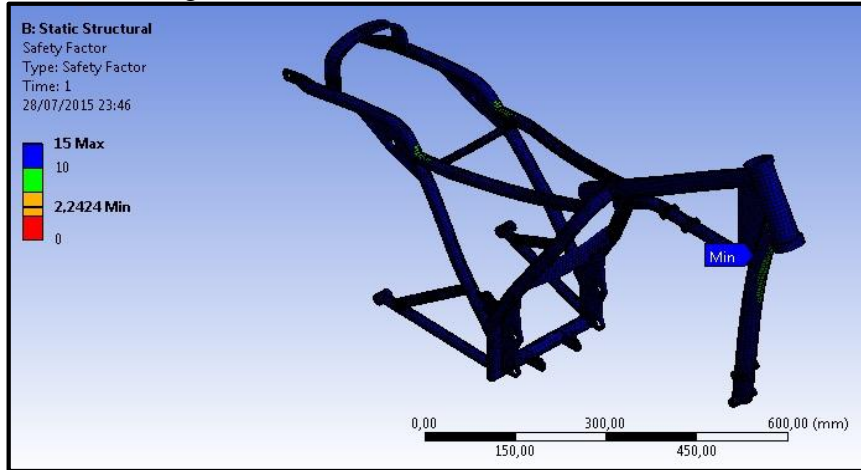
Fuente: Autores

Figura 64. Esfuerzo máximo producido por el análisis de frenado con rueda posterior



Fuente: Autores

Figura 65. Factor de seguridad del chasis en el análisis de frenado con rueda posterior

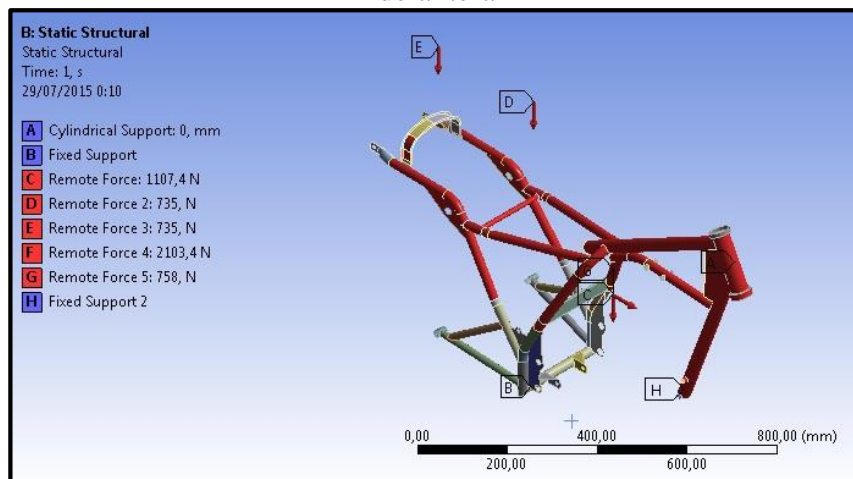


Fuente: Autores

El esfuerzo máximo es de 111,49 MPa y se representa en el tubo frontal debajo del tubo de dirección, es menor al esfuerzo máximo del material por lo que no presentara ninguna falla de ruptura. El factor de seguridad de 2,24 que significa que la carga la resistencia de la estructura es mayor a la requerida para evitar una deformación o un fallo de ruptura. La deformación máxima obtenida del Ansys es de 0,61 mm, comparando con la deformación del tubo de longitud de 426 mm con deformación de 1,77 mm es menor considerando una deformación mínima.

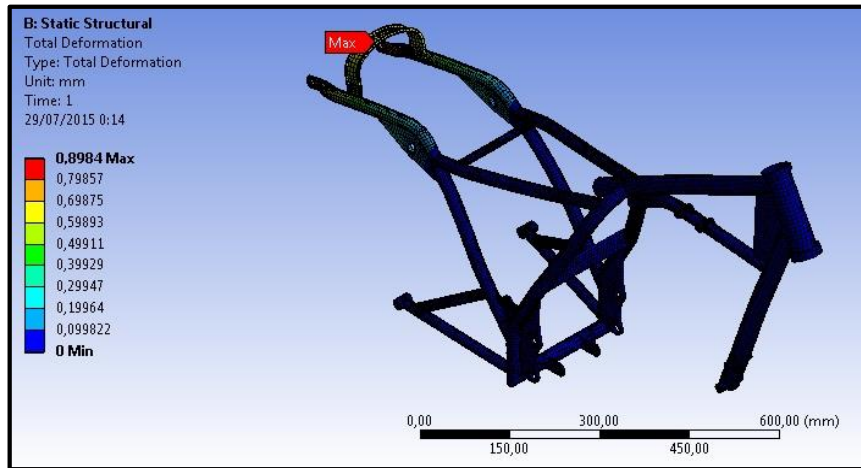
**5.3.3.2 Frenado con la rueda delantera.** Para realizar el análisis así mismo primero se debe colocar las cargas y las restricciones de movimiento en el chasis como a continuación se mostrara en la figura 67.

Figura 66. Distribución de cargas sobre el chasis en el análisis de frenado con rueda delantera



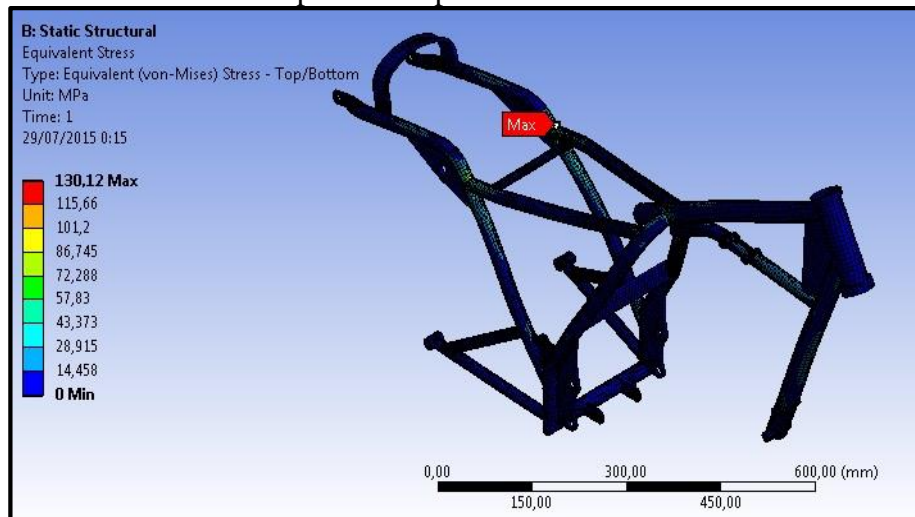
Fuente: Autores

Figura 67. Deformación total del chasis en el análisis de frenado con rueda delantera



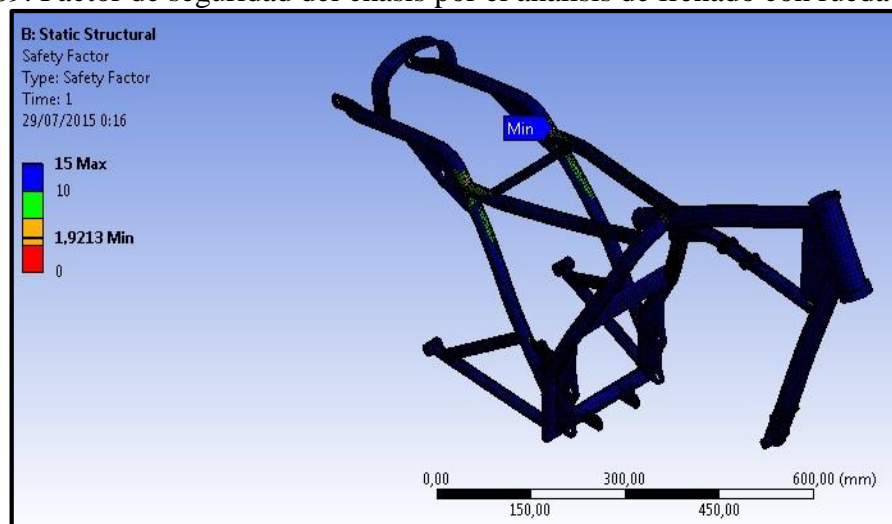
Fuente: Autores

Figura 68. Esfuerzo máximo producido por el análisis de frenado con rueda delantera



Fuente: Autores

Figura 69. Factor de seguridad del chasis por el análisis de frenado con rueda delantera



Fuente: Autores



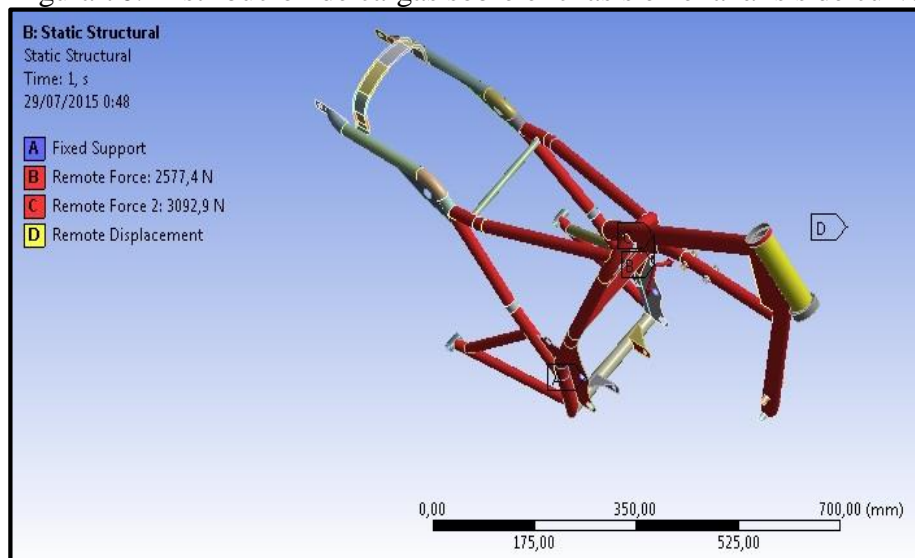
El esfuerzo máximo del análisis de frenado con la rueda delantera es de 130,12 MPa y se ubica en la unión entre los tubos posteriores izquierdo siendo este menor al esfuerzo del material, el factor de seguridad es de 1,92 siendo mayor al factor de seguridad requerido para que no exista ningún fallo en la estructura.

La deformación máxima es de 0,89 mm en el tubo posterior izquierdo, teniendo como deformación del material de 1,04 mm debido a su longitud de 250 mm. Por lo que la deformación obtenida del Ansys no sobrepasa la deformación del material siendo esta aceptable.

**5.3.4** *Ensayo al momento de pasar por una curva.* Este análisis se realiza cuando la motocicleta va a salir de una curva y al mismo tiempo comienza acelerar, cuando la motocicleta y el conductor y copiloto se inclinan a un lado para tomar la curva, el centro de gravedad de la motocicleta del piloto y copiloto combinados también se inclinan.

Por lo cual para este análisis también se utiliza el software Ansys, que al igual que los análisis anteriores primero se realiza el pre proceso. Posteriormente se aplican las cargas y restricciones en el chasis.

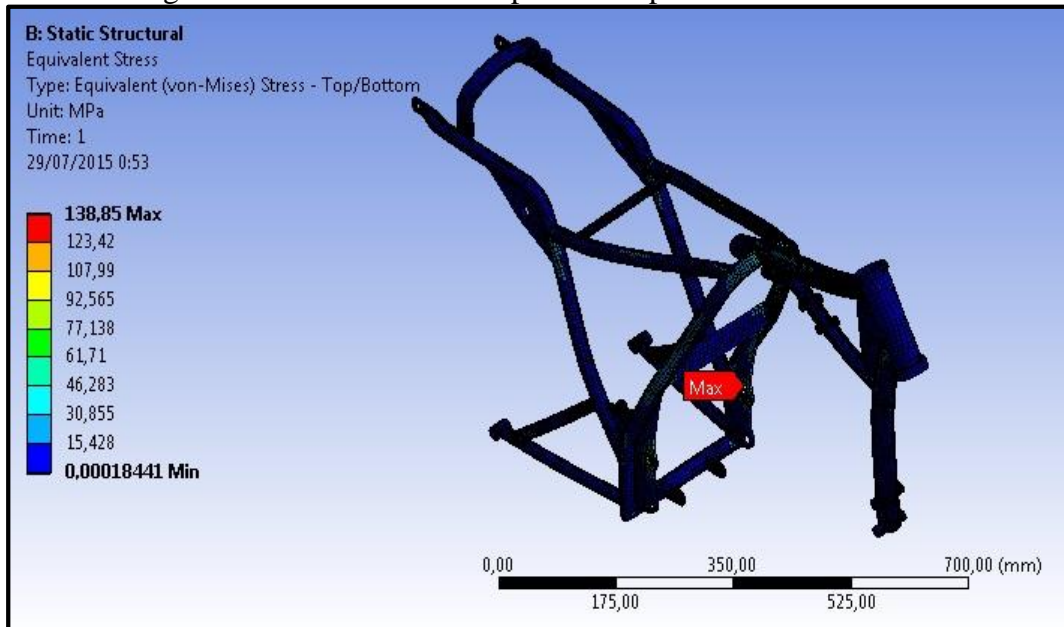
Figura 70. Distribución de cargas sobre el chasis en el análisis de curva



Fuente: Autores

El análisis indica que el esfuerzo máximo es de 138,85 MPa y está ubicada en el refuerzo central donde se coloca el motor lo cual nos damos cuenta que la selección del material fue adecuado debido que no supera el límite de fluencia del material que es de 250 MPa.

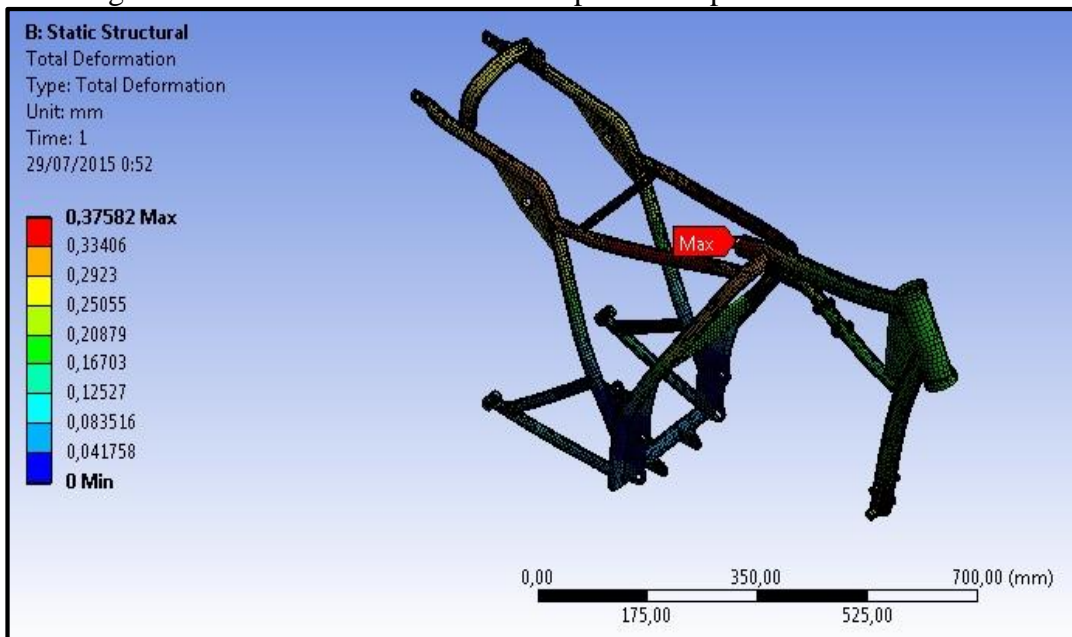
Figura 71. Esfuerzo máximo producido por el análisis de curva



Fuente: Autores

En cuanto a la deformación máxima el valor obtenido no representa mayor riesgo para la estructura teniendo una deformación de 0,3 mm sobre el tubo principal del bastidor como lo podemos observar en la figura 73.

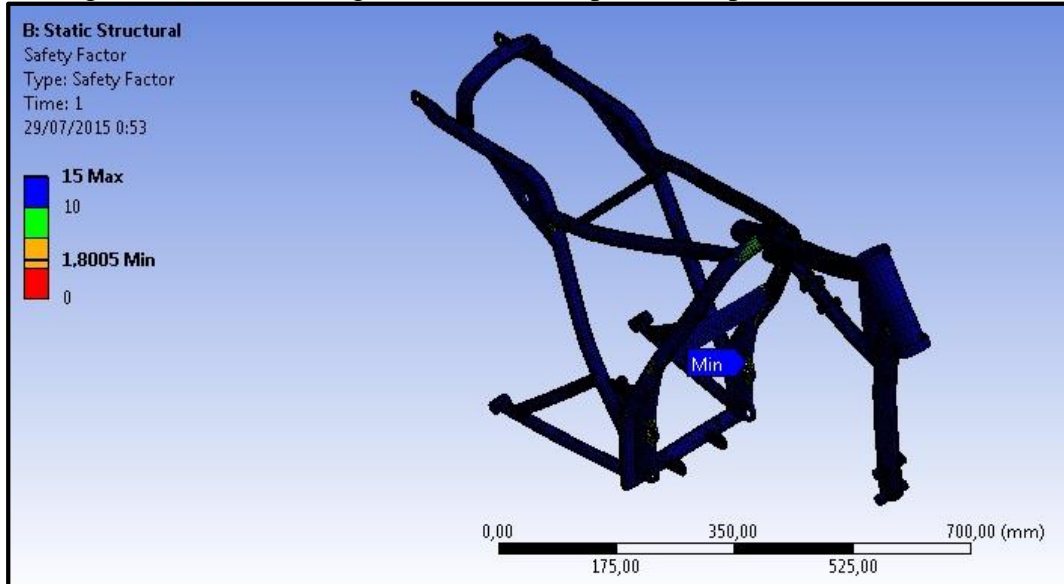
Figura 72. Deformación total máxima producida por el análisis en curva



Fuente: Autores

Por último se observa que el factor de seguridad es de 1,8 en el ensayo al momento de pasar por una curva y notamos que es un valor aceptable.

Figura 73. Factor de seguridad del chasis producido por el análisis en curva



Fuente: Autores

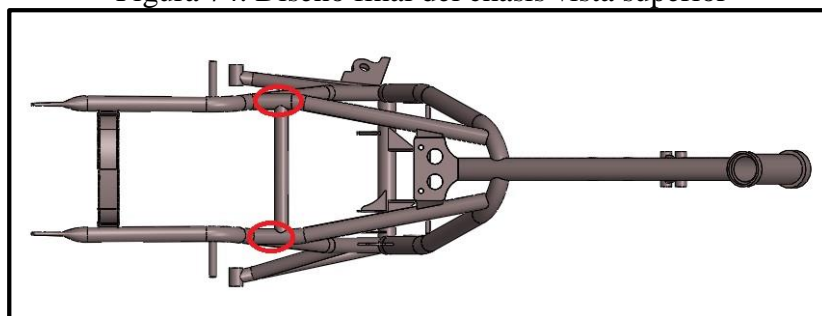
En este ensayo el factor de seguridad es 1,8 por lo que la estructura no presentara fallo cuando el chasis sufra las cargas. Además el esfuerzo es de 138,85 MPa menor al esfuerzo que el material con el que se realizó el análisis.

La deformación que sufre es de 0,37 mm no es muy considerada debido a la deformación del material que es de 1,90 mm con una longitud de 458 mm.

#### 5.4 Rediseño

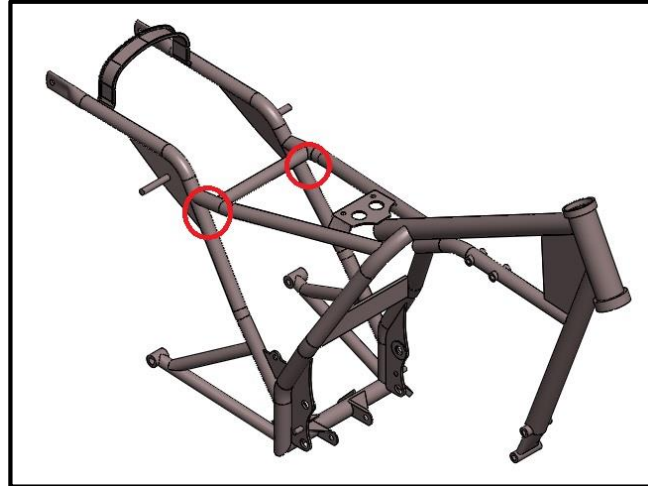
Al comprobar que el resultado de los esfuerzos máximos y deformaciones máximas que está sometido el diseño, al que puede soportar el chasis se realiza un proceso de optimización en las zonas que representa mayor resistencia con el objetivo de que pueda alcanzar la eficiencia máxima de diseño.

Figura 74. Diseño final del chasis vista superior



Fuente: Autores

Figura 75. Diseño final del chasis vista isométrica



Fuente: Autores

De acuerdo a los resultados obtenidos se establece las zonas donde se deben reforzar indicadas en las figuras 75 y 76, precautelando la seguridad del diseño ya que existe una posibilidad mínima de fallo.

Al finalizar el proceso de análisis se concluyó que el material utilizado acero estructural A36 cumple con las características y soporta los esfuerzos y deformaciones que se presentan en el chasis siendo adecuado para proceder al proceso de fabricación de acuerdo a los resultados obtenidos.

## CAPÍTULO VI

### 6. PROCESO DE FABRICACIÓN

#### 6.1 Proceso de fabricación del chasis

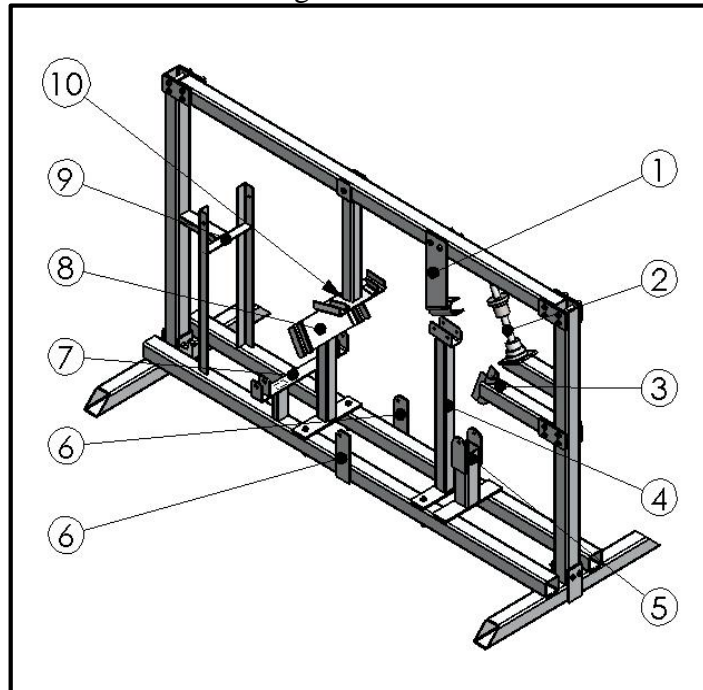
Para la construcción de chasis de motocicletas los fabricantes se enfocan en parámetros anteriormente analizados y deben de cumplir con dimensiones y geometrías específicas las cuales varían de acuerdo al modelo de motocicleta y necesidades de los usuarios. Para lo cual es necesario una estructura de ensamblaje (en adelante JIG) debido a que se produce en serie y con ello se logra optimizar tiempo, para lo cual involucra procesos de mecanizado, soldadura y pintura que más adelante serán detallados cada uno de estos. Cabe mencionar que en la actualidad se prefiere chasis manufacturados en aluminio siendo popular el de doble viga, pero estas tienen mayor acogida para motocicletas de competición.

**6.1.1 Jig de ensamblaje.** “Un JIG es simplemente una estructura para sostener las partes que componen el chasis en su ubicación correcta durante la soldadura. Puede ser simple o compleja, dependiendo de la cantidad y la calidad de los chasis a ser producidos. Para trabajos puntuales o trabajo experimental de desarrollo, el sistema más versátil es el uso de una superficie plana rígida como una base para apoyar sub-jigs hechas fácilmente”. (FOALE, 2002).

Para la fabricación del chasis se construye un Jig el cual es de gran ayuda al momento de ensamblar los tubos sirviendo como guía, manteniendo la posición y dimensiones de cada uno de los elementos que conforman el chasis, posteriormente brinda facilidad al momento de soldar. Para lo cual se empezara identificando los puntos importantes que deben ser fijos en este caso se considerara el ángulo de  $27^\circ$  del tubo de dirección(2) como uno de los más relevantes ya que es el punto de partida para la fabricación, luego la parte donde se ubica la base del motor frontal (5), siguiendo con la base inferior donde van sujetos los apoyas pies del conductor, parte del motor y puntos de pivote del basculante(6), luego se mantendrá fijo la distancia de los apoyas pies del acompañante(7) debido a que esta parte es asimétrica y finalmente la parte posterior de la estructura donde va el asa de sujeción del acompañante y las luces direccionales (9).

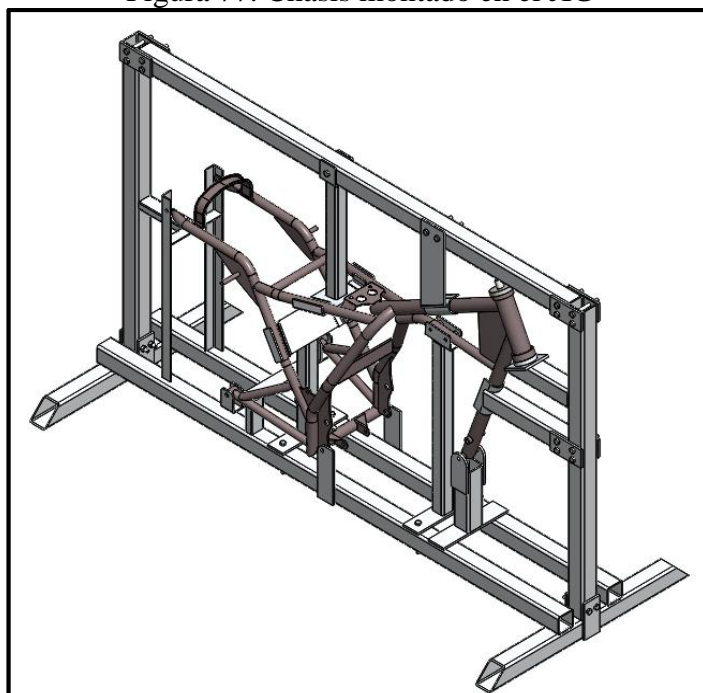
Se localiza puntos estratégicos que sirvan de guías para los tubos de la estructura los cuales son desmontables, se empieza con una guía para el tubo superior e inferior de la parte frontal (1-3), como también para el tubo central-frontal (4), tubos posteriores (8) y finalmente para los tubos de enlace (10).

Figura 76. JIG



Fuente: Autores

Figura 77. Chasis montado en el JIG



Fuente: Autores

La construcción se lleva a cabo con las dimensiones, materiales y geometrías especificadas en los planos, utilizando un proceso de soldadura SMAW (Shield Metal Arc Welding) con electrodo E 6011, se verifica que la estructura se encuentre completamente ubicada para evitar que sufra deformaciones luego del proceso de soldadura, para las partes desmontables se sujeta con pernos M8X60. Además se estabiliza de forma horizontal y vertical.

Tabla 12. Materiales de JIG

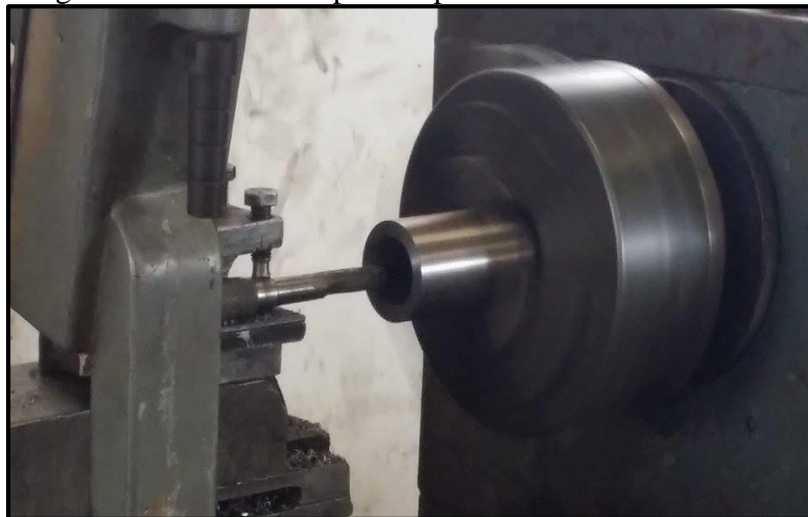
<b>Listado de materiales-JIG</b>		
<b>Material</b>	<b>Longitud [mm]</b>	<b>Cantidad</b>
Tubo cuadrado ASTM A36 50 X 3 mm	1500	2
Tubo cuadrado ASTM A36 50 X 3 mm	650	2
Tubo cuadrado ASTM A36 50 X 3 mm	850	2
Tubo cuadrado ASTM A36 50 X 3 mm	1400	1
Tubo cuadrado ASTM A36 50 X 3 mm	190	1
Tubo cuadrado ASTM A36 50 X 3 mm	274	1
Tubo cuadrado ASTM A36 50 X 3 mm	165	1
Tubo cuadrado ASTM A36 1 1/2 pulg., x 2 mm	322	1
Tubo cuadrado ASTM A36 1 1/2 pulg., x 2 mm	310	1
Tubo cuadrado ASTM A36 1 1/2 pulg., x 2 mm	475	1
Tubo rectangular ASTM A36 40 x 20 x 2 mm	98	2
Tubo rectangular ASTM A36 40 x 20 x 2 mm	140	1
Perfil L 30 x 30 x 3 mm	500	2
Perfil L 30 x 30 x 3 mm	166	1
Perfil L 20 x 20 x 3 mm	80	2
Perfil L 20 x 20 x 3 mm	50	2
Platina e = 6 mm	75 x 75	1
Platina e = 6 mm	210 X 50	3
Platina e = 6 mm	150 X 50	2
Platina e = 6 mm	100 X 50	12
Platina e = 4 mm	255 x 75	1
Platina e = 4 mm	287 x 80	2
Platina e = 4 mm	434 x 38	1
Platina e = 4 mm	51 x 38	2
Platina e = 4 mm	150 x 50	1
Platina e = 3 mm	100 x 90	2
Platina e = 3 mm	115 x 80	1
Eje de transmisión AISI 1018 2-1/2 pulg.	100	1

Fuente: Autores

## 6.2 Proceso de mecanizado

**6.2.1 Tubo de dirección.** El material a utilizar un eje de acero AISI 4340 perforado de diámetro exterior de 75 mm y e interior de 35 mm, se realiza un refrentado en los extremos del eje para delimitar a la longitud a 162 mm, luego se realiza un cilindrado en la parte exterior para que el diámetro sea de 54 mm, acorde al plano se empieza mecanizando la parte superior y luego inferior donde van los rodamientos, con diámetro exterior de 51 mm y 54 mm, un interior de 45 mm y 48 mm, una profundidad de 11 mm y 13 mm respectivamente, finalmente un cilindrado en la parte central para obtener un diámetro de 43mm.

Figura 78. Mecanizado parte superior del tubo de dirección



Fuente: Autores

Figura 79. Mecanizado parte central del tubo de dirección

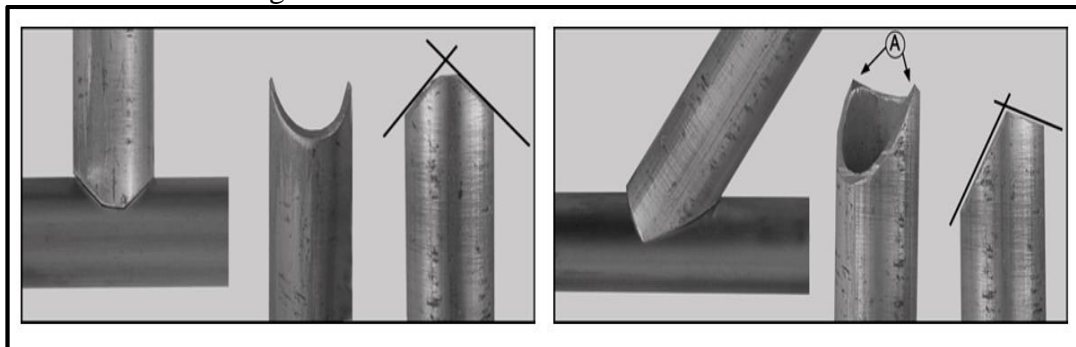


Fuente: Autores



**6.2.2 Corte, doblado y maquinado de los tubos del chasis.** El en caso de tubos redondos es necesario darles forma a los extremos para que acoplen perfectamente a la estructura. Esto se hace a menudo con una fresa de diámetro apropiado acorde al ángulo requerido. En la mayoría de los casos dos cortes de sierra rectos en el extremo del tubo redondo producirán una articulación muy bien ajustada, siendo el método más rápido. Si el perfil de corte no coincide exactamente con el tubo de acoplamiento se procederá a un ajuste rápido con una lima o pulidora. (FOALE, 2002).

Figura 80. Cortes rectos en el extremo del tubo



Fuente: FOALE Tony. Motorcycle Handling and Chassis design the art science.

A continuación se enlista los materiales del chasis.

Tabla 13. Materiales chasis de motocicleta

Materiales chasis de motocicleta	
Material	Designación
Tubo estructural redondo ASTM A36 1-1/4 pulg., e = 2 mm	Tubo superior
Tubo estructural redondo ASTM A36 1-1/4 pulg., e = 2 mm	Tubo inferior
Tubo estructural redondo ASTM A36 1 pulg., e = 2 mm	Tubos laterales
Tubo estructural redondo ASTM A36 7/8 pulg., e = 1,5 mm	Tubo central
Tubo estructural redondo ASTM A36 7/8 pulg., e = 1,5 mm	Tubos posteriores
Tubo estructural redondo ASTM A36 7/8 pulg., e = 1,5 mm	Tubos de enlace
Tubo estructural redondo ASTM A36 3/4 pulg., e = 1,5 mm	Tubos apoya pies
Eje de acero AISI 4340	Tubo de dirección

Fuente: Autores

**6.2.3 Tubo superior.** Se corta una sección de 480 mm y se realiza un perfilado en un extremo con dos cortes rectos (método rápido) aproximadamente con un ángulo de intersección de 90°, para un mejor acople se procede a pulir dándole la forma del diámetro del tubo de dirección.

Figura 81. Perfilado tubo superior



Fuente: Autores

**6.2.4** *Tubo inferior.* Se corta una sección de 440 mm a un extremo se realiza un perfilado con ángulo de intersección de  $47^\circ$  utilizando el método rápido, en el otro se le presiona de tal forma que se ensamble perfectamente al bocín. Acorde al plano se ubica otro bocín a 60 mm, sirviendo como puntos de sujeción del motor.

Figura 82. Perfilado del tubo inferior



Fuente: Autores

Figura 83. Tubo inferior



Fuente: Autores

**6.2.5** *Tubo central.* Se corta un sección de 340 mm para luego marcar el punto donde se va a realizar el dobléz, el cual está ubicado a 90 mm de uno de los extremos, con ayuda de una dobladora manual se precede hasta alcanzar un ángulo de  $148^\circ$  con un radio de 100 mm. Se realiza un perfilado en un extremo con un ángulo de intersección de  $74^\circ$ . Finalmente se ubica dos bocines con una separación de 50 mm entre ellos, siendo puntos de anclaje del motor.

Figura 84. Tubo central



Fuente: Autores

**6.2.6** *Tubos Laterales.* Se corta una sección lo suficientemente para realizar los dobleces, se marca los puntos donde se van a realizar acorde las dimensiones y especificación del plano, para este caso se trabaja en dos planos diferentes, se empieza con un dobléz de  $151^\circ$  a 112 mm de un extremo del tubo con un radio de 60 mm, se trabaja en otro plano donde se procede con un dobléz de  $194^\circ$  a 117 mm del primer dobléz con radio de 100 mm y uno que empieza a 177 mm de aproximadamente  $\frac{1}{4}$  de circunferencia con un radio de 82 mm, se corta el exceso de material en los extremos a las dimensiones deseadas para finalmente realizar un perfilado a uno de los extremos con el método rápido. Se considera en la construcción un tubo para el lado izquierdo y uno para el derecho.

Figura 85. Tubo Lateral



Fuente: Autores

**6.2.7** *Tubos Posteriores.* Se corta una sección de 682 mm , para este caso tambien se trabaja en dos planos, en uno de los cuales se realiza un doblez a 280 mm de uno de los extremos a un angulo de  $127^\circ$  y con un radio de 60 mm, se trabaja en otro plano para realizar un doblez de  $176^\circ$  a una distancia de 158 mm del otro extremo del tubo , finalmente perfilar a un extremo del tubo y por el otro se le presiona para lograr una superficie plana en donde va acoplado el asa del acompañante. Se considera para la construccion un tubo para el lado derecho y otro para el lado izquierdo.

Figura 86. Tubos posteriores



Fuente: Autores

**6.2.8** *Tubos de enlace.* Se corta una sección de 355 mm, se realiza un doblez a  $169^\circ$  con un radio de 90 mm y a una distancia de 70 mm de un extremo, para realizar dos perfilados en el extremo que acoplado al tubo lateral se lo realiza con el método rápido, para el otro extremo se lo realiza con un ángulo de  $62^\circ$ .

Figura 87. Tubo de enlace



Fuente: Autores

**6.2.9** *Tubo de enlace posterior y Tubo de enlace inferior.* Se corta una sección de 192 mm y 242 mm respectivamente en cada de extremos de los tubos se debe realizar un perfilado acorde a la geometría hacer ensamblado.

**6.2.10 Otros.** Existe elementos complementarios ya sea el caso de cinco refuerzos principales, uno en la parte frontal, dos en la parte central los cuales tienen mayor importancia debido a que ahí se aloja los apoyapiés del conductor, como también puntos de anclaje del motor y pivote del basculante, finalmente dos en la parte posterior conjuntamente con un eje roscado donde va ensamblado los amortiguadores, todos estos refuerzos están contruidos con planchas de espesor de 6 mm cortados con plasma acorde modelos de los planos.

Figura 88. Corte con plasma



Fuente: Autores

Figura 89. Refuerzos principales



Fuente: Autores

Además otras piezas como la base de apoyo del asiento, un refuerzo en la intersección del tubo superior con los tubos laterales y tubo central, guías para el descansador principal como también para el descansador lateral, puntos de apoyo del motor, y finalmente bases para accesorios como carenados y caja de herramientas.

**6.2.11 Ensamblaje de chasis.** El ensamblaje del chasis se facilita con el JIG ya construido el cual debe estar completamente nivelado horizontal y verticalmente con todos sus componentes bien ajustados, se inicia acoplando el tubo de dirección el cual se

encuentra fijo a  $27^\circ$ , luego se ensambla el tubo superior colocándolo en la guía correspondiente, un bocín debe estar acoplado fijamente al JIG para ensamblar el tubo inferior, el tubo central se acopla en las guías de los bocines. Para cada ensamble se verifica la juntas de soldadura, dimensiones y finalmente se procede a realizar puntos de suelda con proceso SMAW.

Figura 90. Ensamblaje de la parte frontal con puntos de suelda SMAW



Fuente: Autores

Se continúa con la parte central, los refuerzos están fijos al JIG esta parte es muy importante se debe verificar las dimensiones con cada uno de los puntos donde va ir anclado el motor, se ubica los tubos laterales el extremo inferior junto a los refuerzos y el extremo superior a una distancia de 75 mm del tubo superior, se verifica juntas y dimensiones para proceder a realizar puntos de suelda con proceso SMAW.

Figura 91. Ensamblaje de tubos laterales



Fuente: Autores

Figura 92. Tubo lateral a 75mm del tubo superior



Fuente: Autores

El ensamblaje de los tubos posteriores se realiza ubicando uno de los extremos a los puntos fijos de JIG , luego se ubica en las guías para finalmente verificar juntas, la dimensión de 94 mm de forma vertical al tubo lateral y realizar puntos de suelda con proceso SMAW.

Figura 93. Ensamblaje de tubos posteriores



Fuente: Autores

Figura 94. Acople de tubo posterior con tubo lateral



Fuente: Autores

Los tubos de enlace se colocan sobre las guías del JIG los cuales quedan a 70mm del doblez de 127° del tubo posterior por un extremo por el otro verificar que acople muy bien a los tubos laterales finalmente se proceder a realizar puntos de suelda con proceso SMAW. Completando la estructura principal, tenemos dos bocines anclados fijamente al JIG a una distancia de 260 mm, se ubica los tubos de los apoyapiés verificando que se acoplen perfectamente con los tubos posteriores para terminar se procede a realizar puntos de suelda con proceso SMAW de la misma manera se ensambla el tubo de enlace posterior a 45 mm como se especifica en el plano y también el tubo de enlace inferior.

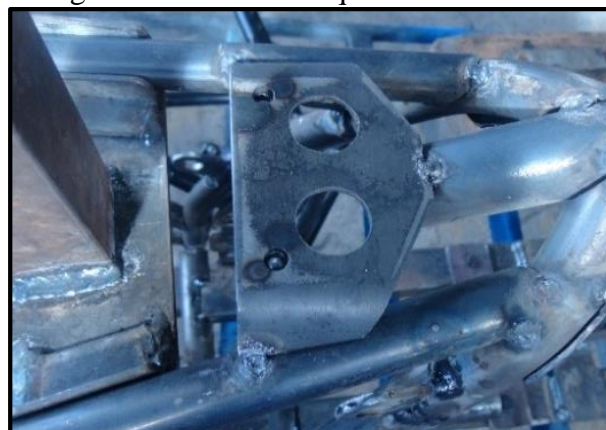
Se completa la estructura ensamblando piezas complementarias como los refuerzos de los tubos posteriores en donde van los amortiguadores, refuerzo central, la base para el tanque de combustible, las guías para el descansador principal y lateral, finalmente las bases para los carenados y la caja de herramientas, permaneciendo en su lugar con ayuda de puntos de suelda.

Figura 95. Chasis ensamblado por medio de puntos de suelda.



Fuente: Autores

Figura 96. Base de tanque de combustible



Fuente: Autores



Figura 97. Refuerzo central



Fuente: Autores

Figura 98. Guías de descanzador principal y apoyos de motor



Fuente: Autores

### 6.3 Proceso de soldadura

Para la fabricación del chasis se utiliza el proceso de soldadura GMAW (Gas Metal Arc Welding), el cual “es un proceso por arco eléctrico que produce la coalescencia de los metales por el calentamiento de ellos, entre un electrodo continuo (o alambre) que hace la de metal de aporte y el metal base. La protección se obtiene enteramente por medio de un gas suministrado extremadamente. Algunos nombres comunes para el proceso son: soldadura MIG, soldadura MIG-MAG, soldadura CO<sub>2</sub>, soldadura con micro alambre de soldadura con arco corto, soldadura por transferencia de baño y soldadura en alambre. La designación MIG se debe a la utilización de gases inertes como el Helio y el Argón, la designación MAG a la utilización de gases activos comúnmente el CO<sub>2</sub>.

El proceso de soldadura GMAW es capaz de soldar la mayoría de los metales ferrosos y no ferrosos, desde secciones delgadas a gruesas. Este proceso puede usarse en todas las posiciones para producir depósitos de soldadura con un poco o nada de escoria. Mayores tasas de deposición, velocidades de avance y eficiencias de la soldadura, dan como resultado un menor tiempo de soldaduras en tareas de producción, en comparación al proceso de soldadura SMAW.

En la actualidad este proceso también puede ser utilizado en forma automática, se aplica masivamente en la industria automotriz y en soldaduras de grandes producciones ya sean seriadas, o en procesos automatizados robotizados.

Figura 99. Soldadora MIG-MAG



Fuente: Autores

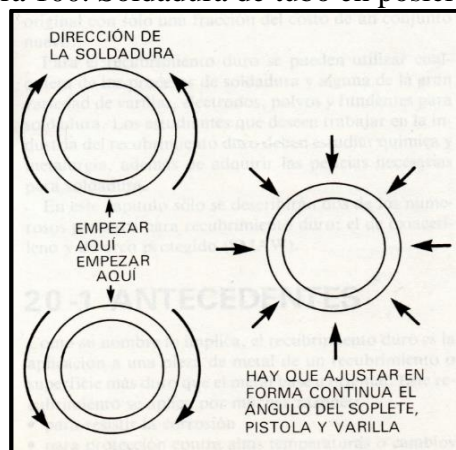
Para seleccionar el material de aporte se debe considerar que este debe tener iguales o mejores propiedades que el material base (tubos redondos estructurales ASTM A36). Para lo cual según la norma AWS 5.18 se escoge el ER 70S-6, el mismo que utiliza CO<sub>2</sub> como gas protector en donde E indica que es un electrodo metálico consumible continuo, R varilla, 70 resistencia a la tracción en el cordón igual a 70000 Lb/in<sup>2</sup> (480 Mpa), S alambre sólido, 6 indica la composición química aproximada del electrodo y/o los requisitos de pruebas de impacto.

Los parámetros considerados para el proceso de soldadura son: metal de aporte ER70S-6 con diámetro de 0,9 mm, un voltaje de 18,8, velocidad de salida del metal de aporte 11 m/min y una presión de gas protector (CO<sub>2</sub>) de 5 MPa.

El proceso de soldadura en perfiles tubulares requiere un alto grado de pericia. Se puede utilizar en los tubos cualquier proceso de soldadura, porque las pericias requeridas son más bien cuestión de la posición que del proceso. La diferencia entre las placas y los tubos es que, en estos, hay que hacer ajustes continuos en el ángulo de la pistola para lograr una penetración completa. Además hay que ajustar el ángulo en forma constante en una soldadura en toda la circunferencia. Los tubos se pueden soldar en cualquiera de las posiciones, mediante cordones, costuras o una combinación de ambos. (PENDER, 1989)

Al momento de soldar el chasis se utiliza el método de posición fija que consiste en que el soldador trabaja alrededor del tubo sin moverlo, normalmente se empieza por la parte de abajo y continuamos a la parte superior por ambos lados, pero en ciertas circunstancias se empieza por la parte superior continuando hacia abajo por los ambos lados.

Figura 100. Soldadura de tubo en posición fija



Fuente: PENDER James. Soldadura. Pg.217

Una vez considerado los parámetros de soldadura se procede a soldar el chasis el mismo que se encuentra previamente ensamblado.

Figura 101. Proceso de soldadura GMAW



Fuente: Autores

## 6.4 Inspección de Soldadura

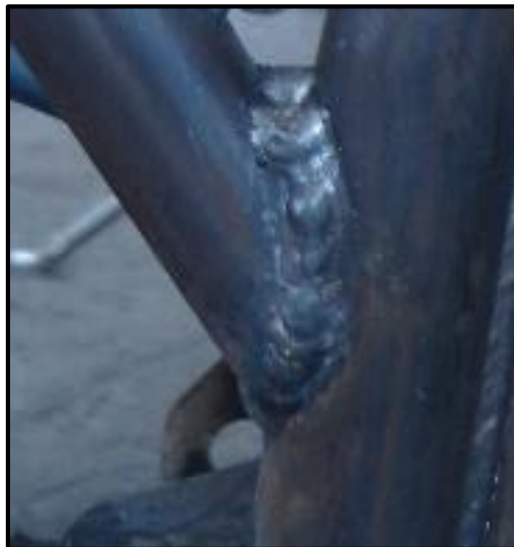
**6.4.1 Inspección visual.** En base a los criterios de aceptación según norma AWS D1.3 los cordones de soldadura del chasis no presenta fisuras ni grietas. No presenta mordeduras de borde (socavado) debido a que no existe hendiduras adyacentes a los cordones y las caras de la soldadura presentan forma homogénea plana y algunos lugares un poco convexa. Cumpliendo al 100% con la inspección visual. Además no presenta ninguna perforación en el metal base.

Figura 102. Cordones de soldadura – Tubo de dirección.



Fuente: Autores

Figura 103. Cordones de soldadura – Tubo latera y posterior



Fuente: Autores

Figura 104. Cordón de soldadura refuerzo posterior.



Fuente: Autores

Figura 105. Cordón de soldadura en la base del tanque de combustible



Fuente: Autores

**6.4.2 Líquidos penetrantes.** “El ensayo por líquidos penetrantes (PT) se define como el ensayo no destructivo basado en un sistema que comprende un penetrante, un método de eliminación del exceso de penetrante y un revelador, que proporciona indicaciones visibles de las discontinuidades abiertas a la superficie.

Está basado en la utilización de un líquido con propiedades físico-químicas como el efecto de capilaridad, que hace capaz de penetrar en discontinuidades abiertas a la superficie, de forma que, al limpiar el exceso de líquido superficial, quede solamente el introducido en las grietas para posteriormente, ayudado casi siempre por la acción de un agente denominado revelador, salir y señalar sobre la superficie las zonas en las que existen discontinuidades”. (SEF,DGZfP, AEND, COFREND Y BINDT, 2007)

En base a la tabla 9 se utiliza un penetrante tipo II, un disolvente de método C y un revelador de forma d. En el caso de inspección de soldadura se aconseja un penetrante coloreado rojo ver Tabla 10. Tratándose de un equipo de inspección portátil (aerosoles). Los cuales deben ser obligatoriamente del mismo fabricante y seguir sus recomendaciones.

Figura 106. Kit líquidos penetrantes Magnaflux



Fuente: Autores

Tabla 14. Clasificación de los productos según EN 573-1

Penetrante		Eliminador		Revelador	
Tipo	Denominación	Método	Denominación	Forma	Denominación
I	Penetrante fluorescente	A	Agua	a	Seco
II	Penetrante coloreado	B	Emulsificador lipofílico 1 Emulsificador con base de aceite 2 Aclarado con agua corriente	b	Soluble en agua
III	Penetrante mixto (fluorescente y coloreado)	C	Disolvente (líquido)	c	Suspensión en agua
		D	Emulsificador hidrofílico 1 Preaclarado opcional (Agua) 2 Emulsificante (disuelto en agua) 3 Aclarado final (Agua)	d	Base disolvente (húmedo no acuoso)
		E	Agua y disolvente	e	Soluble en agua, suspensión en agua o base disolvente para aplicaciones especiales (como reveladores pelables)

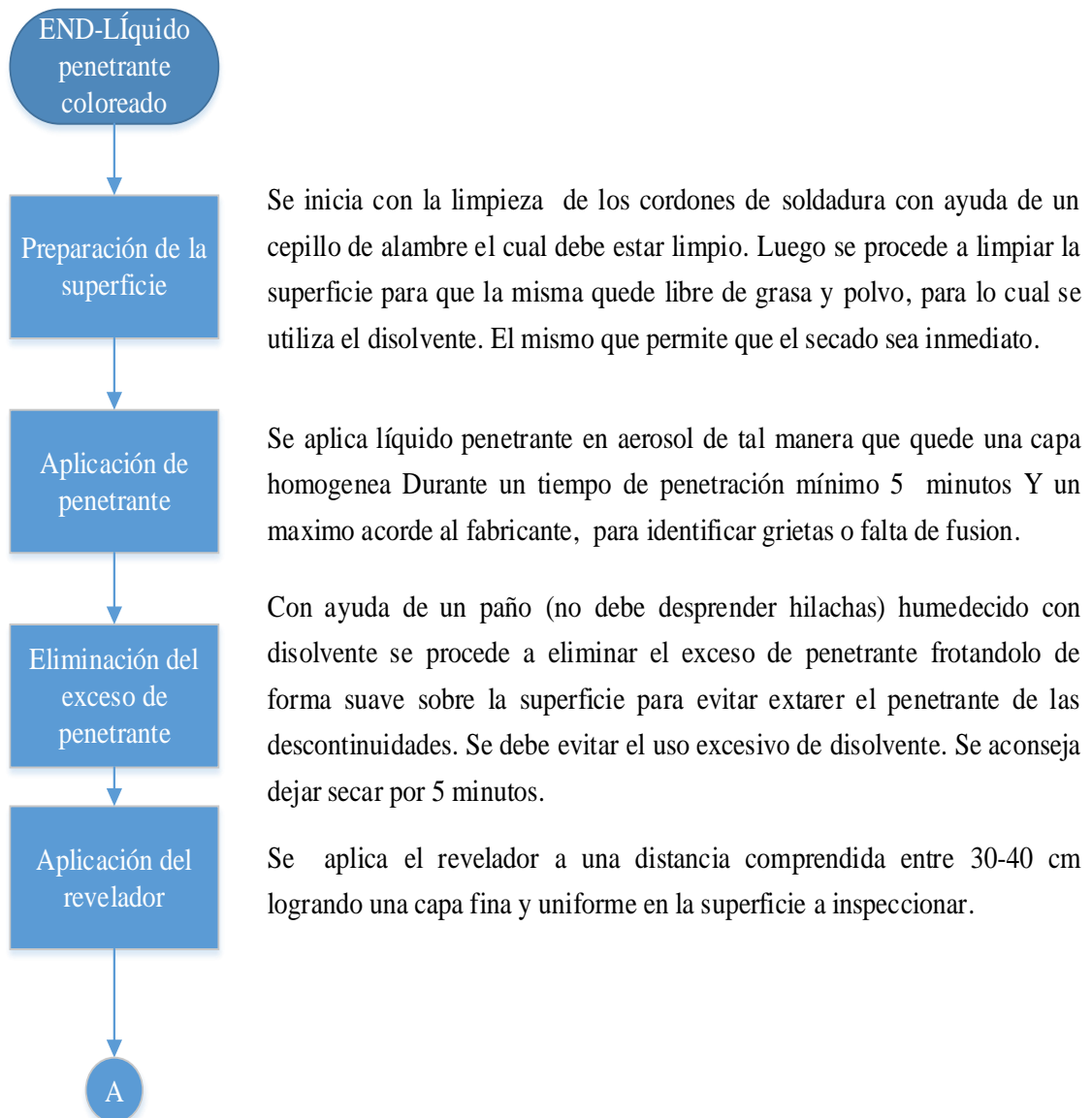
Autor: SEF,DGZfP, AEND, COFREND Y BINDT. Líquidos penetrantes. Manual de estudio 1,2 y 3. Pg 29.

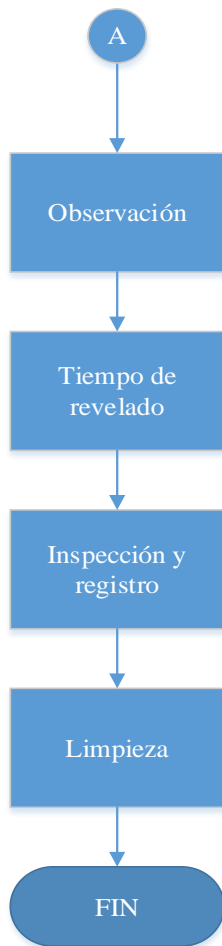
Tabla 15. Penetrante coloreado rojo

Penetrante coloreado rojo		
Ventajas	Limitaciones	Aplicaciones
*No necesitan luz UV para su observación. *Se emplea a pie de obra *Pueden emplearse en piezas en las que no se permite lavar con agua empleando disolventes orgánicos no inflamables.	*Su sensibilidad es inferior a la de los penetrantes fluorescentes. *Sensibilidad media. *Difícil de emplear en piezas moldeadas con arena. *El tiempo de penetración es largo. *Poco sensible para pequeñas discontinuidades (grietas finas).	*Soldaduras y piezas de fundición. *Todo tipo de material sin mecanizar.

Autor: SEF, DGZfP, AEND, COFREND Y BINDT. Líquidos penetrantes. Manual de estudio 1,2 y 3. Pg 58.

**6.4.3** *Secuencia operacional de líquidos penetrantes coloreado.* Para el procedimiento se considera la norma ASME V, su Art. 6 y Art. 24 SE-165.





Una vez aplicado el revelador se permanece a expectativa de presencia de contrastes en la superficie.

Mínimo 10 minutos.

Para la inspección se debe tener una iluminación mínima de 1000 lux. El ensayo se realiza al interperie sin ningún inconveniente. Se registra a través de fotografías para el posterior análisis.

Se limpia todas las secciones inspeccionadas quedando completamente libre de penetrante y revelador debido a que estos líquidos pueden afectar a procesos posterior sea el caso de la pintura .

Figura 107. END refuerzos posteriores.



Fuente: Autores

Figura 108. END Refuerzo delantero



Fuente: Autores

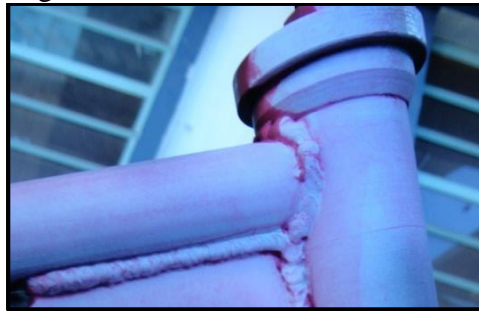


Figura 109. END- Unión tubo de enlace y tubo posterior



Fuente: Autores

Figura 110. END Tubo de dirección.



Fuente: Autores

Las figuras 108 – 109 – 110 no presentan ningún contraste en las superficies analizadas indicando que no hay presencia de discontinuidades en los cordones de soldadura. Sin embargo en la figura 111 si visualiza mayor concentración de contraste rojo en la parte superior debido a una defectuosa eliminación del exceso de penetrante considerando una identificación falsa.

## 6.5 Proceso de pintura

Este proceso tiene como finalidad proteger la estructura de la corrosión y también la presentación estética para lo cual debe ser sometido a varios procesos los cuales serán detallados a continuación.

**6.5.1 Control de lijado.** Previamente se retira la escoria resultado del proceso de soldadura, con un cepillo de alambre limpiamos los cordones. Para preparar la superficie se inicia con lija de agua de grano P150, para luego proceder con una de P250, todas las superficies deben ser preparadas para el proceso de pintura, dejando libre de impurezas y aproximadamente lisa para luego dejarla secar ya que se utilizó agua para el lijado.

**6.5.2 Limpieza.** Comúnmente existe en el mercado varios productos para la limpieza de las superficies con el objetivo de dejarla libre de grasas e impurezas, para la estructura se utiliza tiñer logrando los mismos resultados.

**6.5.3 Protección anticorrosiva.** Una vez que la superficie este completamente lisa y limpia, se prepara el wash primer (protección anticorrosiva), acorde el fabricante consiste en 1 parte de primer, 1 parte de catalizador y 30% de tiñer, se cubre toda la estructura con el preparado realizando 1-2 pasadas dejando una capa entre 10 – 15 micras finalmente se deja secar por 10 minutos.

Figura 111. Chasis con capa anticorrosiva



Fuente: Autores

**6.5.4 Preparación de superficie.** Se prepara el fondo de relleno color blanco, con 4 partes de fondo, la primera parte se compone de catalizador, la siguiente parte de tiñer, con una presión de 2 – 3 bares hasta lograr una capa entre 50 – 70 micras sobre la superficie, el fabricante menciona 30 minutos de secado a una temperatura de 60 °C.

Figura 112. Chasis con fondo de relleno blanco

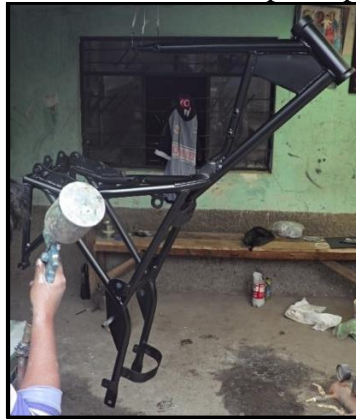


Fuente: Autores

**6.5.5 Limpieza.** Consiste en limpiar la superficie de la estructura utilizando una lija de agua de grano P400 por toda la superficie posteriormente se deja a la intemperie para que se proceda a secar totalmente debido que se utiliza agua para el proceso de lijado luego con la ayuda de un paño remover las impurezas dejando lista para la pintura.

**6.5.6 Aplicación de Pintura.** La pintura a utilizar en la estructura es un negro perlado para lo cual se prepara con dos partes de pintura y una de tñer, para cubrir de pintura toda la superficie del chasis con una presión adecuada de 2 – 3 bares, se realiza dos pasadas para obtener una capa fina de 10 – 15 micras, se deja secar por 2 – 3 minutos hasta que la base quede mate.

Figura 113. Chasis con capa de pintura



Fuente: Autores

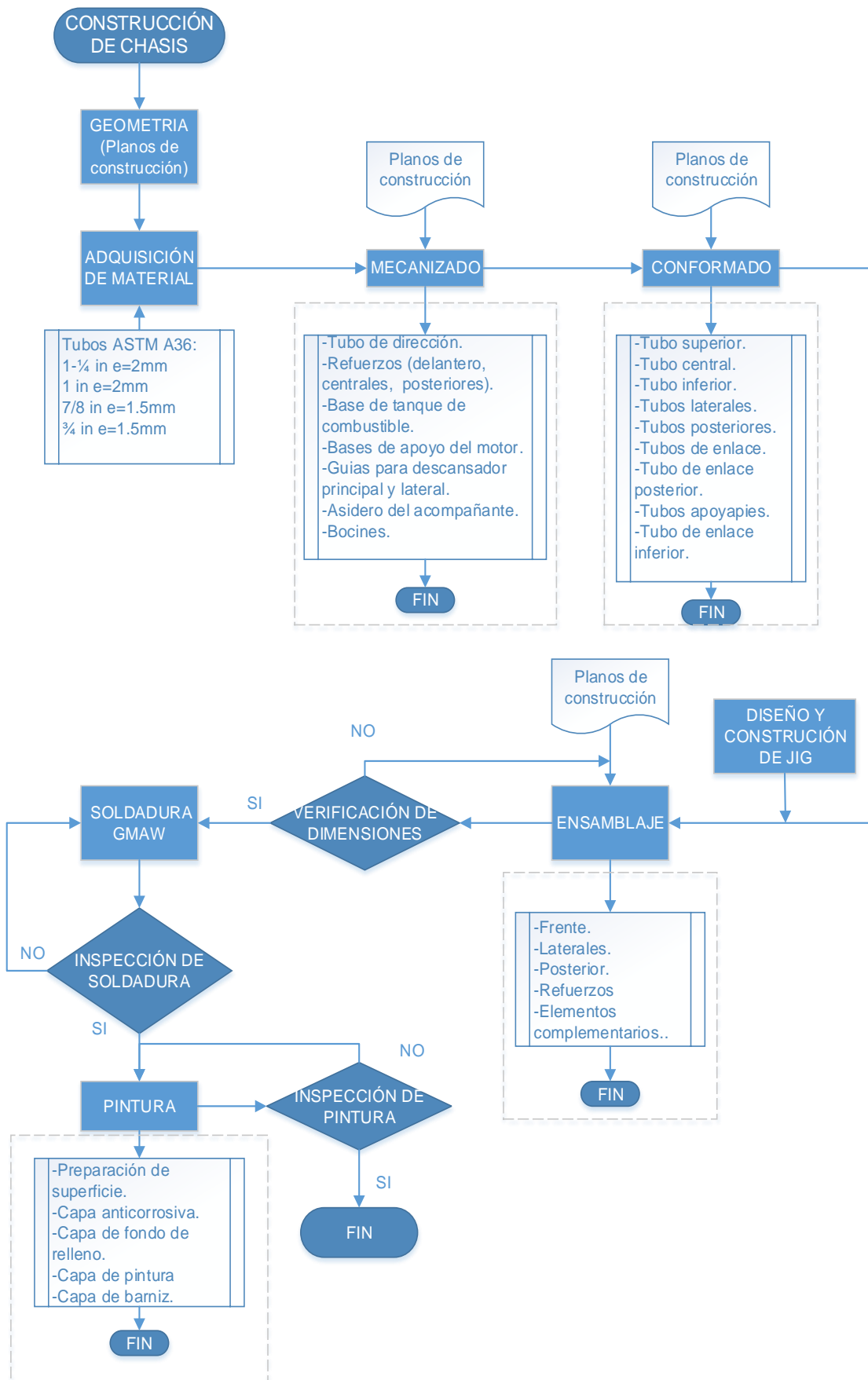
**6.5.7 Aplicación de Barniz.** Se prepara con dos partes de barniz, una de catalizador y 10% de tñer, cubriendo toda la superficie con 1 – 2 pasadas logrando una capa entre 50 – 60 micras finalmente se deja secar 30 minutos.

Figura 114. Chasis con capa de barniz



Fuente: Autores

## DIAGRAMA DEL PROCESO DE CONSTRUCCION DEL CHASIS



## CAPÍTULO VII

### 7. ANÁLISIS DE COSTOS

#### 7.1 Costos directos

Los costos se elaboraron de acuerdo al proceso de construcción del prototipo del chasis de motocicleta, teniendo en cuenta el precio de toda la materia prima que se utilizó y el corte, conformado del mismo.

El presupuesto se dividió en partes:

- Costo de materiales del chasis
- Costo del mecanizado de las piezas del chasis
- Costo de piezas cortadas y conformadas del chasis
- Costo de materiales del JIG
- Costo de mecanizado de las piezas del JIG
- Costo de piezas cortadas del JIG
- Costo proceso soldadura

Los costos de los materiales del chasis se describen en la siguiente tabla sin tener en cuenta el precio del transporte.

Tabla 16. Costos materiales del chasis

Tipo de material	Cantidad	Costo/m [USD]	Costo/kg [USD]	Total [USD]
Tubo redondo 1 - 1/4 pulg., e = 2 mm	1,00 [m]	130,00		1,30
Tubo redondo 1 pulg., e = 2 mm	1,25 [m]	1,03		1,29
Tubo redondo 7/8 pulg., e = 1,5 mm	3,00 [m]	0,70		2,10
Tubo redondo 3/4 pulg., e = 1,5 mm	1,00 [m]	0,77		0,77
Eje Macizo 3/4 pulg.	1,00 [kg]		1,58	1,58
Eje perforado $\text{Øe} = 75 \text{ mm}$ $\text{Øi} = 40 \text{ mm}$	4,00 [kg]		3,44	13,76
Planchas e = 8 mm	1,50 [kg]		3,33	5,00
Planchas e = 5 mm	1,20 [kg]		2,50	3,00
<b>Total</b>				<b>28,80</b>

Fuente: Autores

Para realizar los costos de mecanizado de las piezas y del corte y conformado del chasis se toma en cuenta el trabajo realizado y la mano de obra para obtener los costos total de los mismos.

Tabla 17. Costo del mecanizado de las piezas del chasis

Pieza	Cantidad	Tiempo [h]	Costo/hora [USD]	Total [USD]
Tubo de dirección	1	4,00	18,00	72,00
Bocines Øe = 14 mm Øi = 8 mm	2	0,92	18,00	33,12
Bocines Øe = 16 mm Øi = 8 mm	2	1,08	18,00	38,88
Bocines Øe = 20 mm Øi = 11 mm	2	1,16	18,00	41,76
<b>Costo Total</b>				185,76

Fuente: Autores

Tabla 18. Costo de piezas cortadas del chasis

Pieza	Cantidad	Costo / unidad [USD]	Total [USD]
Tubo superior e inferior	2	5,00	10,00
Tubo lateral	2	5,00	10,00
Tubo posterior	2	5,00	10,00
Tubo apoya pies	4	5,00	20,00
Tubo de enlace	2	5,00	10,00
Tubo central	1	5,00	5,00
Platina soporte motor	2	30,00	60,00
Platina soporte amortiguador	2	20,00	40,00
Platina refuerzo tubo de dirección	1	10,00	10,00
<b>Costo Total</b>			175,00

Fuente: Autores

Tabla 19. Costo de piezas conformadas del chasis

Pieza	Cantidad	Costo / unidad [USD]	Total [USD]
Tubo lateral	2	30,00	60,00
Tubo posterior	2	20,00	40,00
Tubo central	1	10,00	10,00
<b>Costo Total</b>			110,00

Fuente: Autores

Para los costos de los materiales para la construcción del JIG, no se toma en cuenta el precio del transporte.

Tabla 20. Costo de materiales del JIG

Tipo de material	Cantidad [m, kg]	Costo/ m [USD]	Costo/ kg [USD]	Total [USD]
Tubo cuadrado 50 x 50 x 3 mm	7,00	3,25		22,75
Tubo cuadrado 1-1/2 pulg., x 2 mm	1,10	2,87		3,15
Tubo rectangular 40 x 20 x 2 mm	0,24	2,42		0,58
Perfil L 30 x 30 x 3 mm	0,66	1,75		1,15
Perfil L 20 x 20 x 3 mm	0,13	1,53		0,20
Platina e = 6 mm	2,68	1,50		4,02
Platina e = 4 mm	1,50	1,17		1,75
Platina e = 3 mm	0,19	0,83		0,16
Eje de transmisión AISI 1018 2-1/2 pulg.	2,50 [Kg]		1,60	4,00
<b>Costo Total</b>				<b>37,76</b>

Fuente: Autores

Para realizar los costos de mecanizado, así como de las piezas cortadas para la construcción del JIG se toma en cuenta el trabajo realizado y la mano de obra sacando un solo costo.

Tabla 21. Costo mecanizado piezas del JIG

Pieza	Cantidad	Tiempo [h]	Costo / hora [USD]	Total [USD]
Guía superior de tubo de dirección	1	0,67	18,00	12,00
Guía inferior de tubo de dirección	1	0,75	18,00	13,50
<b>Costo Total</b>				<b>25,50</b>

Fuente: Autores

Tabla 22. Costo de piezas cortadas del JIG

Pieza	Cantidad	Costo/unidad [USD]	Total [USD]
Corte de los tubos cuadrados de 50 x 50 x 3 mm	10	2,00	20,00
Corte de los tubos cuadrados 1-1/2 pulg., x 2 mm	3	2,00	6,00
Corte de los tubos rectangulares de 40 x 20 x 2 mm	3	2,00	6,00
Corte del perfil en L	7	1,00	7,00
Corte de las platinas	26	1,50	39,00
<b>Costo total</b>			<b>78,00</b>

Fuente: Autores

Los costos en el proceso de soldadura se toman en cuenta la mano de obra, el trabajo realizado y el material utilizado para este proceso.

Tabla 23. Costo global de proceso de soldadura

Tipo de proceso	Total [USD]
Soldadura chasis	75,00
Soldadura JIG	30,00
<b>Costo Total</b>	<b>105,00</b>

Fuente: Autores

En los costos directos también se consideran el transporte y el material investigativo que se utilizó para la realización del proyecto de construcción del chasis para motocicleta con fines de producción nacional. Una vez obtenido todos los costos directos se procede a realizar los costos indirectos.

Tabla 24. Otros costos

Tipo	Total [USD]
Transporte	80,00
Material investigativo	50,00
<b>Total</b>	<b>130,00</b>

Fuente Autores

Tabla 25. Costo directo total

Proceso	Total [USD]
Costos materiales del chasis	28,80
Costo del mecanizado de las piezas del chasis	185,76
Costo de piezas cortadas del chasis	175,00
Costo de piezas conformadas del chasis	110,00
Costo de materiales del JIG	37,76
Costo mecanizado piezas del JIG	25,50
Costo de piezas cortadas del JIG	78,00
Costo proceso de soldadura	105,00
Otros costos	130,00
<b>Costo Total</b>	<b>875,82</b>

Fuente: Autores

## 7.2 Costos indirectos

Para la obtención de los costos indirectos se considera el 20% del costo total directo debido a los factores que se pueden producir, teniendo como resultado 175,21 [USD] como costo total indirecto.



### 7.3 Costo total

Obtenido los costos directos y los indirectos se procedió a sacar el costo total para la construcción del prototipo que se describe en la siguiente tabla.

Tabla 26. Costo total

<b>Tipo</b>	<b>Valor [USD]</b>
Costos directos	875,72
Costos indirectos	175,16
<b>Costo Total</b>	1050,98

Fuente: Autores

## CAPÍTULO VIII

### 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1 Conclusiones

Una vez terminado el proyecto se obtuvo el prototipo en base a fundamentos de diseño, para lo cual se utilizó el software SolidWork 2014 para el proceso de modelación y el proceso de manufactura se llevó a cabo con maquinaria y herramientas específicas. Siendo factible a futuro una producción nacional debido a que se tiene recursos necesarios y no presentó ningún limitante al momento de la construcción del prototipo.

Se considera cargas que influyen en el comportamiento del chasis ya sea el peso promedio de dos personas, el peso propio de la motocicleta, y las fuerzas actuantes de las diferentes condiciones de comportamiento.

Se realizó el estudio en tres tipos de materiales, dando como resultado un acero AISI-SAE 1006 y AISI-SAE 1010 de los chasis analizados, indicando que se tratan de aceros de bajo carbono no aleados, en comparación con el ASTM A36 posee un porcentaje superior de Carbono mejorando su resistencia a la tracción pero a la vez su límite de fluencia es inferior, pero posterior al análisis por elementos finitos no presento ningún problema. Siendo viable la fabricación del prototipo con acero ASTM A36 de producción nacional.

Existen normativas de motocicletas enfocadas a salvaguardar el impacto ambiental, la eficiencia de la motocicleta, la seguridad y protección de sus ocupantes. Pero no existe una norma específica para el diseño del chasis.

Luego de realizar las simulaciones respectivas con el software Ansys se obtuvo resultados favorables para la construcción, obteniendo factores de seguridad mayores a 1,5 siendo óptimos para evitar fallos en la estructura.

El ensamblaje se realizó con ayuda de un JIG de montaje facilitando en el proceso de soldadura GMAW.

Se realizó un ensayo no destructivo de líquidos penetrantes donde no presentó ningún defecto en los cordones de soldadura.

## **8.2 Recomendaciones**

Utilizar maquinaria (dobladora y cortadora de tubos en ángulos) y herramientas adecuadas para la construcción siguiendo las especificaciones técnicas de los planos.

El JIG debe estar completamente nivelado de manera horizontal y vertical, sus componentes rígidos (apretados), para evitar dimensiones erróneas al momento del ensamblaje.

Disponer de personal capacitado para procesos de soldadura GMAW, y posteriormente realizar una inspección de soldadura.

Proteger al chasis con una capa anticorrosiva durante el proceso de pintura.

Realizar un estudio en el proceso de fabricación con el objetivo de optimizar tiempo y operaciones.

Realizar un estudio y análisis en las zonas donde sufren deformaciones plásticas (tubos doblados), de igual manera el comportamiento del material en las uniones soldadas.

Profundizar criterios de esfuerzos presentes en el chasis, considerando los diversos factores que influyen en el comportamiento de la motocicleta.

## BIBLIOGRAFÍA

**ACR.** Ensamblaje de motos con partes y piezas nacionales avanza en Cuenca. [En línea] 28 de 08 de 2014. <http://www.elmercurio.com.ec/445545-ensamblaje-de-motos-con-partes-y-piezas-ecuatorianas-avanza-en-cuenca/#.VL6JrUeG8Zk>.

**ASKELAND, Donald.** *Ciencia y Tecnología de los Materiales*. Tercera Edición. Mexico : International Thomson Editores.

**AUTOMOTRIZ.ORG, Mecánico.** Mecánico Automotriz.org. [En línea] [Citado el: 06 de 05 de 2015.] <http://www.mecanicoautomotriz.org/141-manual-motocicletas-chasis-diseno-fabricacion>.

**CANO, Jose.** "Diseño y fabricación de un chasis de una motocicleta de 125 cc 2T para la I competición internacional Motostudent". Director: Horacio Sánchez Reinoso. Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2013.

**CAÑADELL, Xavier.** Electromaps. [En línea] 7 de Octubre de 2014. <http://www.electromaps.com/articulo/intermot-cologne-2014>.

**CARRERA, Martin.** "Elaboracion de un procedimiento para fundir acero de medio carbono en el horno de induccion para el laboratorio de fundicion". Director: Fausto Oviedo Fierro. Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2012.

**CASAJÚS, Luis.** Centro Zaragoza. [En línea] Marzo de 2012. [http://www.centro-zaragoza.com:8080/web/sala\\_prensa/revista\\_tecnica/hemeroteca/articulos/R51\\_A2.pdf](http://www.centro-zaragoza.com:8080/web/sala_prensa/revista_tecnica/hemeroteca/articulos/R51_A2.pdf).

**CULEBRAS, Patxi.** "Modelado, Análisis y simulación de un chasis de motocicleta". Director: José Perez Alonso. Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2011.

**FOALE, Tony.** *Motorcycle handling and chassis design the art and science*. ESPAÑA : Cycle World magazine, 2002. Vol. First.

**GARCIA, Ismael.** "Diseño y desarrollo de un chasis de una motocicleta de 250cc para la II Competición internacional MotoStudent". Director: Horacio Sánchez Reinoso. Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2013.

**PENDER, James.** *Soldadura*. Mexico : McGRAW-HILL, 1989.

**SEF,DGZfP, AEND, COFREND Y BINDT. 2007.** *Líquidos penetrantes manual de estudio niveles 1, 2 y 3*. 2007.

**URIBE, Carolina.** Fibra de Carbono, presente y futuro de un material revolucionario. [En línea] 2010. <http://www.metalactual.com/revista/11/materialescarbono.pdf>.

**VALERO, Eduardo.** *Aplicacion de metodo de los eementos finitos*. 2004.

# PLANOS