



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

#### TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO  
DE SISTEMA ESTRUCTURAL PARA UN VEHÍCULO  
TRICIMOTO ADAPTADO PARA LAS NECESIDADES DE  
PERSONAS CON CAPACIDADES ESPECIALES (PARAPLEJIA)

#### AUTORES:

JARA SALAS, JORGE LUIS  
QUESPAZ PADILLA, SANTIAGO WLADIMIR

DIRECTOR: ING. OLMEDO FERNANDO, MSc.

SANGOLQUÍ, 2016



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL PARA UN VEHÍCULO TRICIMOTO ADAPTADO PARA LAS NECESIDADES DE PERSONAS CON CAPACIDADES ESPECIALES**” realizado por los señores JORGE LUIS JARA SALAS y SANTIAGO WLADIMIR QUESPAZ PADILLA, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditar y autorizar a los señores JORGE LUIS JARA SALAS y SANTIAGO WLADIMIR QUESPAZ PADILLA para que lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 29 de septiembre del 2016**



Ing. Fernando Olmedo Msc.

Director



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

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

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, JORGE LUIS JARA SALAS, con cédula de identidad N° 1715896559 y SANTIAGO WLADIMIR QUESPAZ PADILLA, con cédula de identidad N° 1721651758 declaro que este trabajo de titulación **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL PARA UN VEHÍCULO TRICIMOTO ADAPTADO PARA LAS NECESIDADES DE PERSONAS CON CAPACIDADES ESPECIALES”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

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

**Sangolquí, 29 de septiembre del 2016**

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Jorge Luis Jara Salas'.

Jorge Luis Jara Salas  
C.C. 1715896559

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Santiago Wladimir Quespaz Padilla'.

Santiago Wladimir Quespaz Padilla  
C.C. 1721651758



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

### AUTORIZACIÓN

Nosotros, JORGE LUIS JARA SALAS y SANTIAGO WLADIMIR QUESPAZ PADILLA, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución la presente trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL PARA UN VEHÍCULO TRICIMOTO ADAPTADO PARA LAS NECESIDADES DE PERSONAS CON CAPACIDADES ESPECIALES**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 29 de septiembre del 2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jorge Luis Jara Salas'.

Jorge Luis Jara Salas

C.C. 1715896559

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Santiago Wladimir Quespaz Padilla'.

Santiago Wladimir Quespaz Padilla

C.C. 1721651758

Sangolquí, Agosto 2016

## DEDICATORIA

El presente proyecto de grado es dedicado a Dios, por brindarme las diferentes oportunidades de superación personal y por derramar en mí sus bendiciones y guiar mi camino.

Es difícil no dedicarte este esfuerzo a ti maestro, amigo, padre y abuelito. Hubiera querido entregarte personalmente el resultado de tanto esfuerzo, pero nos faltó tiempo. Ahora es momento de ver cristalizado un sueño mutuo, y al fin poder mirar al cielo y decir MISIÓN CUMPLIDA PAPI JORGE.

Ahora dedicaré este trabajo a un ser maravilloso y quien ha sido la principal artífice para alcanzar múltiples logros. Espero que sientas orgullo de la persona y el profesional que has formado, esto va por ti MAMI.

No por ser los últimos, quiere decir que son menos importantes, es simplemente porque hay muchos a quien dedicar el esfuerzo, ya que han sido ese apoyo inconstante, ese consejo acertado, la presión justa para seguir. Esto también es logro de ustedes familia y quiero que lo hagan propio en especial mis hermanos, primos, sobrinos.

Te lo dedicó a ti compañera de mil y una luchas, por ser la columna principal de todo un caminar, que siempre has estado ahí de mi mano y en ocasiones has puesto el hombro para culminar etapas difíciles mientras perseguía un sueño.

***Jorge Luis Jara***

Sangolquí, Agosto 2016

## DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a Dios, por darme la oportunidad de cada día ver la luz del amanecer y estar conmigo siempre, además a quienes iluminaron mi camino en cada momento de oscuridad y dificultades.

Agradezco a mi madre Dolores Padilla y mi padre Wilfrido Quespaz por su sacrificio y dedicación conmigo, les agradezco por que formaron un gran ser humano y profesional.

A mis hermanos Jairo, Bryan y Bymmer por esa comprensión incondicional en cada etapa de mi vida y estudios.

A mi esposa Mayra Colcha por creer en mí, enseñarme a ser mejor hijo, mejor hermano.

A mis familiares y amigos que supieron guiarme en las dificultades de la vida gracias por brindarme su apoyo.

***Santiago Quespaz***

## AGRADECIMIENTO

Te agradezco a ti señor, por brindarme la oportunidad de formar parte de una hermosa familia, que siempre ha estado ahí para brindarme su apoyo.

Gracias viejito por ser el impulso que necesitaba. Quiero agradecerte a ti José Jara por ser un gran padre, que aunque la vida no nos permitió vivir muchos años juntos, los pocos que tuvimos fueron inolvidables.

El ángel que dios envía para cuidarnos tiene un nombre general y es MADRE, el mío tiene nombre específico PATRICIA SALAS, gracias por sacrificarte siempre por brindarnos un mejor porvenir a mis hermanos y a mí.

Gracias hermanos por ser siempre mi apoyo, mis amigos y en ocasiones cómplices de travesuras, esto es también un logro propio ya que siempre han sido esa luz que guía y a la vez acompaña en el camino.

Gracias a ti por ser mi compañera y sobre todo mi amiga. La vida me quedará corta para recompensar los desvelos y las muestras incontables de amor y preocupación.

Gracias a todos los que de alguna manera han compartido conmigo su conocimiento, espero ser un buen discípulo de sus enseñanzas.

***Jorge Luis Jara***

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a Dios por permitirme culminar lo que tanto he anhelado, a mis padres que son el pilar fundamental de mi vida, por cada consejo brindado, por el apoyo incondicional, por no dejarme desmayar, creer en mis ideales y por corregir todos los errores cometidos.

A mis abuelitos Carmen Aguirre y José Padilla, por brindarme su cariño, afecto y amor gracias por cuidarme desde el cielo.

A mis hermanos Jairo, Bryan, Bymmer por estar siempre conmigo, comprenderme en todo, brindarme su ayuda, son mi mayor fortaleza y el estímulo necesario para seguir adelante.

A mi esposa Mayra por formar parte de mi vida y brindarme mis grandes tesoros Dilan y Wladimir gracias por llegar a mi vida.

A todas las personas que me ha enseñado a luchar sin desmayar, a creer que lo imposible es posible y compañeros que estuvieron presentes en mi vida.

**Santiago Quespaz**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO</b> .....	i
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	ii
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xvii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xix
<b>NOMENCLATURA</b> .....	xxvii
<b>RESUMEN</b> .....	xxx
<b>ABSTRACT</b> .....	xxxii

### CAPITULO 1: GENERALIDADES

1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Definición del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Importancia.....	4
1.6 Alcance del proyecto.....	4

### CAPITULO 2: MARCO TEORICO

2.1 Definición de parapleja.....	5
2.1.1 Dimensiones características de las personas con capacidades especiales para el diseño del vehículo tricimoto.....	5
2.1.2 Alcances.....	6
2.1.2.1 Alcance lateral.....	6
2.1.2.2 Alcance frontal.....	8

2.1.3	Visibilidad.....	9
2.1.4	Giros y maniobras .....	10
2.1.5	Dimensiones de las personas en sillas de ruedas .....	12
2.1.5.1	Dimensiones de las personas en silla de ruedas en Personas de sexo masculino .....	12
2.1.5.2	Dimensiones de las personas en silla de ruedas en personas de sexo femenino.....	14
2.1.6	Rampas.....	16
2.1.7	Barandas.....	18
2.2	Métodos De Diseño Estructural .....	19
2.2.1	Diseño por esfuerzos permisibles (ASD).....	19
2.2.2	Métodos de diseño por carga y resistencia (LRFD).....	20
2.2.3	Normativa inen 1323:2009 para construcción de carrocerías.....	21
2.2.3.1	Objetivo.....	21
2.2.3.2	Alcance.....	21
2.2.3.3	Definiciones .....	21
2.2.3.4	Tipos de carga de diseño .....	22
2.3	Definición de Tricimoto.....	25
2.3.1	Partes de la Tricimoto .....	25
2.3.2	Sistema Estructural.....	25
2.3.2.1	Bastidor tricimoto.....	25
2.3.2.2	Tipos de Bastidor .....	27
2.3.3	Motor.....	32

2.3.3.1 Partes del Motor .....	32
2.3.4 Sistema de Dirección.....	34
2.3.4 .1 Tipo de sistema de dirección.....	34
2.3.5 Sistema de Frenos .....	35
2.3.5.1 Clasificación de sistemas de frenos.....	36
2.3.6 Sistema Eléctrico.....	37
2.3.6.1 Caja de fusibles .....	37
2.3.6.2 Líneas Eléctricas .....	37
2.3.6.3 Arnés .....	37
2.3.6.4 Interruptores .....	38
2.3.6.5 Luces .....	38
2.3.7 Sistema de Transmisión .....	38
2.3.7.1 Transmisión por cadena .....	38
2.3.7.2 Transmisión por cardan.....	38
2.3.7.3 Transmisión de Potencia – Correa Dentada con Engranaje.....	38
2.3.8 Sistema de Suspensión .....	38
2.3.8.1 Espirales .....	39
2.3.8.2 Amortiguadores.....	39
2.3.8.3 Suspensión delantera.....	40
2.3.8.4 Sistema posterior.....	41
2.3.9 Sistema de Escape .....	43
2.3.10 Sistema de Encendido .....	43

2.3.10.1 Encendido por magneto para motores de dos tiempos.....	43
2.3.10.2 Encendido por batería para motores de dos tiempos.....	44
2.3.10.3 Sistema de Encendido por descarga de condensador .....	44
2.3.10.4 Diodo.....	44
2.3.10.5 Transistor.....	44
2.3.10.6 SCR .....	44
2.3.11 Sistema de rampa .....	44
2.3.12 Concepto y detalles de procesos de Soldadura .....	45
2.3.12.1 Soldadura Eléctrica con Electrodo revestido. (SMAW) .....	45
2.3.12.2 Soldadura metálica con arco eléctrico y gas de protección (GMAW) MIG/MAG.....	46
2.3.12.3 Soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas de protección (TIG) GTAW .....	47
2.4 Simulación y modelamiento en Software .....	48
2.4.1 Software de modelamiento en CAD .....	48
2.4.2 Modelador Paramétrico.....	48
2.4.3 Software de Simulación CAE .....	49
2.4.4 Análisis de CAE.....	49
2.5 Módulos de Simulación en CAE.....	49
2.5.1 Static Structural.....	49
2.5.2 Transient Structural.....	49
2.5.3 Análisis y Diseño basado en simulación en Software.....	50
2.5.4 Estudio Estático y Dinámico.....	50

2.5.4.1 Esfuerzo.....	50
2.5.4.2 Tipos de esfuerzos.....	50
2.5.4.3 Teorías dinámicas.....	56
2.6 Análisis Estático y Dinámico .....	58
2.6.1 Análisis Estático Estructural .....	58
2.6.2 Análisis Dinámico Transitorio .....	58
2.6.3 Análisis Dinámico Transitorio .....	58
2.6.4 Métodos de solución .....	59
2.6.5 Método de Integración .....	59
2.6.6 Método Reducción.....	60
2.6.7 Método de superposición.....	60
2.7 Proceso de Análisis .....	61

### CAPITULO 3: DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL PROTOTIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL

3.1 Diseño del prototipo.....	62
3.1.1 Introducción .....	62
3.1.2 Factores fundamentales para definir el prototipo de sistema estructural.....	62
3.1.3 Diseño conceptual .....	63
3.1.3.1 Detalle conceptual del vehículo .....	64
3.2 Diseño estructural.....	70
3.2.1 Sistema de referencia .....	70
3.2.2 Metodología utilizada para el análisis estructural del prototipo del sistema estructural .....	71
3.2.3 Centro de gravedad .....	72

3.2.3.1	Altura del centro de masa.....	72
3.3	Cargas.....	74
3.3.1	Cargas muertas.....	75
3.3.1.1	Calculo del peso del prototipo de sistema estructural.....	76
3.3.1.2	Peso de silla de ruedas.....	77
3.3.1.3	Peso del motor.....	79
3.3.1.4	Peso de la batería.....	80
3.3.1.5	Peso del piso.....	80
3.3.1.6	Calculo de la carga muerta considerando un factor crítico de 20%.....	81
3.3.2	Cargas vivas.....	82
3.3.2.1	Calculo de la peso del ocupante.....	83
3.3.2.2	Calculo de la carga viva.....	84
3.3.3	Carga de giro.....	85
3.3.3.1	Calculo de carga aplicada a una curvatura.....	86
3.3.4	Carga de frenado.....	88
3.3.4.1	Calculo de la carga de frenado.....	88
3.3.4.2	Simulación de Frenado.....	94
3.3.5	Carga de aceleración brusca.....	98
3.3.5.1	Calculo carga de aceleración brusca.....	98
3.3.5.2	Simulación de Aceleración Brusca.....	102
3.3.6	Carga por resistencia del aire frontal.....	107
3.3.6.1	Calculo de la carga por resistencia del aire frontal.....	107

3.3.6.2 Simulación de la Resistencia de aire frontal.....	109
3.3.7 Cargas de impacto.....	114
3.3.7.1 Calculo de la carga de impacto superior.....	114
3.3.7.2 Impacto lateral (il).....	115
3.3.7.3 Impacto frontal (if).....	120
3.3.8 Carga sobre el techo (ct).....	125
3.3.8.1 Simulación de cargas sobre el techo.....	126
3.3.9 Calculo de cargas de vuelco.....	130
3.3.10 Simulación de torsión.....	137
3.4 Vista de la estructura prototipo.....	141
3.5 Selección de requerimientos necesarios del vehículo.....	145
3.5.1 Selección del tipo de material.....	145
3.5.1.1 Propiedades generales de los materiales.....	145
3.5.2 Selección del perfil estructural para la construcción de piso, laterales y techo del prototipo.....	147
3.5.2.1 Selección de la mejor alternativa.....	148
3.5.3 Selección del diámetro y espesor del perfil estructural para la construcción del bastidor, laterales y techo del prototipo.....	148
3.5.3.1 Selección de la mejor alternativa.....	150
3.5.4 Selección de plancha antideslizante para piso y rampa.....	151
3.5.4.1 Selección de la mejor alternativa.....	152
3.5.5 Selección de cilindraje de motor.....	152
3.5.5.1 Selección de la mejor alternativa.....	153

3.5.6 Selección de la transmisión del vehículo .....	154
3.5.6.1 Selección de la mejor alternativa .....	155
3.5.7 Selección del material para cubierta exterior .....	155
3.5.7.1 Selección de la mejor alternativa .....	156

#### CAPITULO 4: CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS.

4.1 Procesos de construcción .....	157
4.1.1 Diagrama de procesos Sistema estructural.....	157
4.1.2 Cronograma de construcción.....	159
4.2.1 Detalle y cantidad de materiales .....	162
4.2.2 Medidas específicas de cada elemento.....	162
4.3 Construcción y montaje sistema estructural.....	163
4.3.1 Preparación de materiales .....	164
4.3.1.1 Trazo y corte .....	164
4.3.1.2 Doblado .....	168
4.3.1.3 Proceso de doblado de perfil tubular.....	171
4.3.1.4 Biselado.....	175
4.3.1.5 Soldadura.....	177
4.3.1.6 Pintura .....	188
4.5 Pruebas de Funcionamiento. ....	189
4.5.1 Escenario de pruebas.....	190
4.5.2 Parámetros requeridos en las pruebas .....	191

#### CAPITULO 5: ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

5.1 Presupuesto de Inversión. ....	193
5.2 Análisis económico.....	194

5.2.1 Costos Directos.....	194
5.2.1.1 Materia Prima.....	194
5.2.1.2 Mano de obra.....	195
5.2.1.3 Costo Diseño.....	196
5.2.1.4 Costo de Soldadura.....	197
5.2.1.3 Costo Sistemas Complementarios.....	203
5.2.2 Costos indirectos.....	204
5.2.2.1 Personal Asesor.....	204
5.2.2.2 Costos de oficina.....	205
6.2.3 Costo total.....	206
5.2.4 Beneficio.....	206
5.3 Análisis Financiero.....	207
5.3.1 Análisis Beneficio/Costo.....	207
5.4 Análisis de Impacto Social-Económico.....	207

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.....	208
6.2. Recomendaciones.....	210
Bibliografía.....	211

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Resumen de cargas muertas .....	<b>72</b>
<b>Tabla 2</b> Resumen de carga viva.....	<b>75</b>
<b>Tabla 3</b> Resumen de cargas .....	<b>75</b>
<b>Tabla 4</b> Tipo de carga aplicada en cada nodo de la estructura.....	<b>138</b>
<b>Tabla 5</b> Calculo de la frecuencia del movimiento de la base en relacion a distintas velocidades .....	<b>147</b>
<b>Tabla 6</b> Tabla de datos de convergencia .....	<b>151</b>
<b>Tabla 7</b> Selección de tipo de perfil estructural.....	<b>153</b>
<b>Tabla 8</b> Selección del diámetro y espesor del perfil estructural.....	<b>155</b>
<b>Tabla 9</b> Selección de material para piso y rampa.....	<b>157</b>
<b>Tabla 10</b> Selección del cilindraje de motor .....	<b>158</b>
<b>Tabla 11</b> Selección del tipo de transmisión.....	<b>160</b>
<b>Tabla 12</b> Selección del tipo de recubrimiento exterior .....	<b>161</b>
<b>Tabla 13</b> Características de la ruta de prueba tricimoto .....	<b>196</b>
<b>Tabla 14</b> Análisis de aceleración en recta .....	<b>197</b>
<b>Tabla 15</b> Análisis de frenado en recta .....	<b>197</b>
<b>Tabla 16</b> Estabilidad en ruta inicio 1 y ruta de regreso 2.....	<b>198</b>
<b>Tabla 17</b> Presupuesto de Inversión.....	<b>199</b>
<b>Tabla 18</b> Costo Directo Total .....	<b>200</b>
<b>Tabla 19</b> Costo Materia Prima .....	<b>201</b>
<b>Tabla 20</b> Costo Mano de Obra .....	<b>202</b>
<b>Tabla 21</b> Costo Diseño .....	<b>202</b>
<b>Tabla 22</b> Costo electrodo .....	<b>207</b>
<b>Tabla 23</b> Costo Mano de Obra y Gastos Generales .....	<b>207</b>
<b>Tabla 24</b> Costo gas de protección .....	<b>208</b>
<b>Tabla 25</b> Costo Total de soldadura.....	<b>209</b>
<b>Tabla 26</b> Costo Sistemas Complementarios.....	<b>210</b>
<b>Tabla 27</b> Costo indirecto Total.....	<b>210</b>
<b>Tabla 28</b> Costo Personal Asesor.....	<b>211</b>
<b>Tabla 29</b> Costo de oficina.....	<b>212</b>
<b>Tabla 30</b> Costo Total .....	<b>212</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1,</b> Distribución de personas con capacidades especiales según la provincia.....	2
<b>Figura 2,</b> Dimensiones básicas en metros de la silla de ruedas para personas con capacidades especiales.....	7
<b>Figura 3,</b> Vista Superior, medidas en centímetros de alcance para personas adultas sentadas en silla de ruedas.....	8
<b>Figura 4,</b> Vista Lateral, medidas en centímetros de alcance para personas adultas sentadas en silla de ruedas.....	8
<b>Figura 5,</b> Vista Posterior, medidas en centímetros de alcance para personas adultas sentadas en silla de ruedas.....	9
<b>Figura 6,</b> Vista del alcance frontal.....	10
<b>Figura 7,</b> Alcance lateral.....	10
<b>Figura 8,</b> Dimensiones de visibilidad.....	11
<b>Figura 9,</b> Vista superior, giro 90 grados.....	12
<b>Figura 10,</b> Vista superior, giro 180 grados.....	13
<b>Figura 11,</b> Vista superior, giro 360 grados.....	13
<b>Figura 12,</b> Medidas Corporales de una persona adulta, sexo masculino.....	14
<b>Figura 13,</b> Vista Frontal de una persona adulta en silla de ruedas, sexo masculino.....	15
<b>Figura 14,</b> Vista lateral de una persona adulta en silla de ruedas, sexo masculino.....	15
<b>Figura 15 ,</b> Medidas Corporales de una persona adulta, sexo femenino.....	16
<b>Figura 16,</b> Vista frontal de una persona adulta en silla de ruedas, sexo femenino.....	17
<b>Figura 17,</b> Vista lateral de una persona adulta en silla de ruedas, sexo femenino.....	17
<b>Figura 18,</b> Rango de pendientes para personas con capacidades especiales en silla de ruedas.....	18
<b>Figura 19,</b> Vista lateral, dimensiones de una baranda.....	19
<b>Figura 20,</b> Descripción del tipo de servicio, masa de cada ocupante y espacio necesario .....	23

<b>Figura 21,</b> Peralte y radio de curvatura de los vehículos según la velocidad.....	24
<b>Figura 22,</b> Geometría de dirección de la motocicleta.....	28
<b>Figura 23,</b> Detalles de un Sistema de Dirección .....	31
<b>Figura 24,</b> Sistema de Frenos de Tambor.....	32
<b>Figura 25,</b> Despiece de la rueda y el freno trasero.....	33
<b>Figura 26,</b> Diagrama de un sistema de Freno de Disco Delantero.....	34
<b>Figura 27,</b> Sistema de Suspensión.....	36
<b>Figura 28,</b> Detalles de una Horquilla traseras y de las piezas de fijación.....	38
<b>Figura 29,</b> Horquilla trasera de una motocicleta peso ligero.....	39
<b>Figura 30,</b> Detalle Horquilla trasera.....	39
<b>Figura 31,</b> Descripción Gráfica del vehículo y sus sistemas.....	49
<b>Figura 32,</b> Descripción Gráfica configuración Sistema Motriz.....	50
<b>Figura 33,</b> Descripción Gráfica Anclaje delantero superior.....	51
<b>Figura 34,</b> Descripción Gráfica Anclaje delantero inferior.....	51
<b>Figura 35,</b> Descripción Gráfica Anclaje lateral.....	52
<b>Figura 36,</b> Descripción Gráfica Anclaje Inferior Medio.....	53
<b>Figura 37,</b> Descripción Gráfica Anclaje Intermedio y superior.....	53
<b>Figura 38,</b> Descripción Gráfica Sistema de suspensión.....	54
<b>Figura 39,</b> Descripción Gráfica Sistema Eléctrico.....	55
<b>Figur a 40,</b> Tipos de uniones en tubería.....	56
<b>Figura 41,</b> Grafica de configuración de soldadura, tamaño de garganta.....	57
<b>Figura 42,</b> Espesor de Garganta.....	57
<b>Figura 43,</b> Parametros de Soldadura.....	59
<b>Figura 44,</b> Sistema de referencia del sistema estructural.....	61
<b>Figura 45,</b> Diagrama de posición del centro de gravedad.....	63
<b>Figura 46,</b> Diagrama de dimensionamiento de la altura del centro de gravedad.....	64
<b>Figura 47,</b> Vista frontal del centro de gravedad y su altura.....	65
<b>Figura 48,</b> Diseño de prototipo estructural en CAD CAE.....	67
<b>Figura 49,</b> Mallado del diseño estructural del prototipo.....	68
<b>Figura 50,</b> Silla de ruedas estándar.....	69

<b>Figura 51,</b> Cargas vivas de diseno.....	73
<b>Figura 52,</b> Diagrama de radio de giro.....	79
<b>Figura 53,</b> Diagrama de cuerpo libre.....	82
<b>Figura 54,</b> Distancia de parada del vehiculo respecto a la velocidad.....	87
<b>Figura 55,</b> Diagrama del sistema de frenos del vehiculo.....	87
<b>Figura 56,</b> Cargas aplicadas a la estructura prototipo en la simulacion de frenado.....	88
<b>Figura 57,</b> Deformacion Total en la estructura prototipo en la simulacion de frenado.....	89
<b>Figura 58,</b> El esfuerzo equivalente elastico en la simulacion de frenado.....	90
<b>Figura 59,</b> El esfuerzo equivalente de Von-Mises.....	91
<b>Figura 60,</b> Diagrama de cuerpo libre para aceleración brusca.....	94
<b>Figura 61,</b> Aplicación de cargas en la estructura prototipo en la simulacion de aceleracion brusca.....	97
<b>Figura 62,</b> Deformacion total del prototipo de la estructura.....	98
<b>Figura 63,</b> Esfuerzo equivalente elastico aplicando aceleracion brusca.....	99
<b>Figura 64,</b> Esfuerzo equivalente (Von- Mises) aplicando aceleracion brusca.....	100
<b>Figura 65,</b> Esquema de área real.....	101
<b>Figura 66,</b> Simulación de la resistencia al aire frontal .....	104
<b>Figura 67,</b> Simulación de la resistencia al aire frontal.....	105
<b>Figura 68,</b> Simulación de la resistencia al aire frontal.....	106
<b>Figura 69,</b> Simulación de la resistencia al aire frontal.....	107
<b>Figura 70,</b> La simulación de cargas laterales aplicadas a la estructura prototipo.....	110
<b>Figura 71,</b> Resultado de impacto lateral con deformacion total.....	111
<b>Figura 72,</b> Esfuerzo equivalente elastico en un impacto lateral.....	112
<b>Figura 73,</b> Esfuerzo equivalente Von-Mises en el impacto lateral.....	113
<b>Figura 74,</b> Cargas aplicadas en un impacto frontal.....	115
<b>Figura 75,</b> Deformación total en el Impacto frontal en la estructura prototipo del vehículo.....	116

<b>Figura 76,</b> Esfuerzo equivalente elastico en el impacto frontal de la estructura prototipo.....	117
<b>Figura 77,</b> Esfuerzo equivalente de Von-Mises en el impacto frontal de la estructura prototipo.....	118
<b>Figura 78,</b> Esquema de cargas sobre el techo.....	120
<b>Figura 79,</b> Deformacion total de la simulacion de cargas sobre el techo.....	121
<b>Figura 80,</b> Esfuerzo elastico equivalente de cargas sobre el techo.....	122
<b>Figura 81,</b> Esfuerzo equivalente Von-Mises aplicando carga sobre el techo.....	123
<b>Figura 82,</b> Cargas aplicadas a la simulacion de vuelco de la estructura prototipo.....	127
<b>Figura 83,</b> Deformacion total de la estructura prototipo en la simulacion de vuelco.....	128
<b>Figura 84,</b> Esfuerzo equivalente elastico en la simulacion de vuelco de la estructura prototipo.....	129
<b>Figura 85,</b> Esfuerzo equivalente de Von-Mises en la simulacion de vuelco.....	130
<b>Figura 86,</b> Asignacion de fuerzas en la estructura prototipo.....	131
<b>Figura 87,</b> Deformacion de la estructura aplicando fuerzas de torsion.....	132
<b>Figura 88,</b> Esfuerzo de limite elastico aplicado torsion.....	133
<b>Figura 89,</b> Esfuerzo equivalente Von Mises.....	134
<b>Figura 90,</b> Vista isométrica de la estructura prototipo.....	135
<b>Figura 91,</b> Vista lateral derecha de la estructura prototipo.....	135
<b>Figura 92,</b> Vista lateral izquierda de la estructura prototipo.....	136
<b>Figura 93,</b> Vista frontal de la estructura prototipo.....	136
<b>Figura 94,</b> Vista Superior de la estructura prototipo.....	137
<b>Figura 95,</b> Vista Inferior de la estructura prototipo.....	137
<b>Figura 96,</b> Carga Critica aplicada en los nodos respectivos.....	140
<b>Figura 97,</b> Carga Critica aplicada en los nodos respectivos.....	141
<b>Figura 98,</b> Resultado de la deformacion total aplicando la combinacion de cargas.....	141
<b>Figura 99,</b> Modelos de un grado de libertad usados para el análisis de vibración transitoria.....	145

<b>Figura 100,</b> Modelo simple de una tricimoto viajando a una velocidad constante en una carretera que se aproxima a una función sinusoidal.....	146
<b>Figura 101,</b> Variación de la frecuencia del movimiento de la base en relación a la velocidad.....	148
<b>Figura 102,</b> Resumen de frecuencias características que puedes presentar en los vehículos y sus efectos sobre el cuerpo humano.....	150
<b>Figura 103,</b> Relación de convergencia entre el número de elementos y la deformación existente.....	152
<b>Figura 104,</b> Relación de convergencia entre el número de elementos y el esfuerzo equivalente .....	152
<b>Figura 105,</b> Grafica puntuación asignada a alternativas de perfil estructural, para bastidor, laterales y techo.....	154
<b>Figura 106,</b> Características de Tubería estructural redonda.....	155
<b>Figura 107,</b> Grafica puntuación asignada a alternativas de perfil estructural, para bastidor, laterales y techo.....	156
<b>Figura 108,</b> Grafica puntuación asignada a alternativas de Plancha Antideslizante para Piso y Rampa.....	158
<b>Figura 109,</b> Grafica puntuación asignada a alternativas de Cilindraje de Motor para vehículo tricimoto.....	159
<b>Figura 110,</b> Grafica puntuación asignada a alternativas de tipo de transmisión.....	160
<b>Figura 111,</b> Grafica puntuación asignada a alternativas de Recubrimiento Exterior para vehículo tricimoto.....	162
<b>Figura 112,</b> Aplicación de perfiles tubulares de fabricación NOVACERO.....	166
<b>Figura 113,</b> Medidas de perfiles tubulares redondos de fabricación NOVACERO.....	166
<b>Figura 114,</b> Aplicación de perfiles tubulares de perfil cuadrado de fabricación NOVACERO.....	167
<b>Figura 115,</b> Medidas de perfiles tubulares de perfil cuadrado de fabricación NOVACERO.....	167
<b>Figura 116,</b> Piso del sistema estructural.....	168
<b>Figura 117,</b> Baranda principal del sistema estructural.....	168
<b>Figura 118,</b> Trazo de la medida del perfil tubular para corte.....	171

<b>Figura 119</b> , Trazo de la medida del perfil tubular para doblado.....	171
<b>Figura 120</b> , Corte manual del perfil tubular circular.....	172
<b>Figura 121</b> , Corte del chasis mediante amoladora.....	172
<b>Figura 122</b> , Corte de proteccion del chasis de la moto.....	173
<b>Figura 123</b> , Corte de perfil tubular mediante disco de corte.....	173
<b>Figura 124</b> , Defectos típicos en el doblado de tubos.....	174
<b>Figura 125</b> , Terminos utilizados en el doblado de un tubo.....	176
<b>Figura 126</b> , Forma de doblado de un perfil tubular circular.....	177
<b>Figura 127</b> , Forma de aplicar fuerza en la dobladora manual.....	177
<b>Figura 128</b> , Matriz utilizada para el doblado de perfil tubular circular.....	178
<b>Figura 129</b> , Posicion del perfil tubular en la dobladora manual.....	178
<b>Figura 130</b> , Aplicación de la fuerza en la dobladora manual.....	179
<b>Figura 131</b> , Verificación del doblado en la maquina manual.....	179
<b>Figura 132</b> , Verificación de medidas después del doblado.....	180
<b>Figura 133</b> , Finalización del doblado en el perfil tubular circular.....	180
<b>Figura 134</b> , Ensamble de partes con boca de pescado.....	181
<b>Figura 135</b> , Unión de partes mediante biselado a 45 grados.....	182
<b>Figura 136</b> , Unir las partes biseladas con soldadura.....	182
<b>Figura 137</b> , Estructura inicial del sistema estructural.....	183
<b>Figura 138</b> , Estructura externa techo y bases para la tercera llanta, fijación de motoneta.....	183
<b>Figura 139</b> , Estabilidad de la estructura armada.....	184
<b>Figura 140</b> , Establecer y marcar medidas del sistema de dirección.....	184
<b>Figura 141</b> , Colocar los travesaños en el piso y la rampa.....	185
<b>Figura 142</b> , Verificar las medidas exteriores de la estructura principal.....	185
<b>Figura 143</b> , Verificar la perpendicularidad y medidas establecidas.....	186
<b>Figura 144</b> , Soldar los tensores en las diagonales principales.....	186
<b>Figura 145</b> , Verificar las medidas de cada una de las diagonales y abrir o cerrar los tensores.....	187
<b>Figura 146</b> , Complemento de soldadura en la estructura principal mediante soldadura MIG.....	187

<b>Figura 147,</b> Colocar los refuerzos en el piso y la rampa.....	188
<b>Figura 148,</b> Unión del sistema de dirección al sistema estructura.....	188
<b>Figura 149,</b> Fijación mediante soldadura del sistema de dirección al sistema estructural.....	189
<b>Figura 150,</b> Unión del sistema estructural con el sistema de propulsión.....	189
<b>Figura 151,</b> Fijar al sistema estructural el sistema de propulsión.....	190
<b>Figura 152,</b> Acople de la tercera rueda.....	190
<b>Figura 153,</b> Complemento de soldadura en la tercera rueda.....	191
<b>Figura 154,</b> Complemento de soldadura en el sistema estructural y refuerzos.....	191
<b>Figura 155,</b> Vista frontal de finalización de soldadura en el sistema estructural.....	192
<b>Figura 156,</b> Finalización de soldadura en el sistema estructural.....	192
<b>Figura 157,</b> Finalización de soldadura en el sistema estructural vista desde una perspectiva posterior.....	193
<b>Figura 158,</b> Vista posterior de finalización de soldadura en el sistema estructural.....	193
<b>Figura 159,</b> Vista posterior de pintura en el sistema estructural.....	194
<b>Figura 160,</b> Escenario de pruebas de la tricimoto.....	197
<b>Figura 161,</b> Desglose de costo de soldadura.....	203
<b>Figura 162,</b> Descripción de metal depositado.....	204
<b>Figura 163,</b> Eficiencia de deposición por proceso.....	204
<b>Figura 164,</b> Velocidad de deposición proceso Mig sólido en relación al diámetro.....	205
<b>Figura 165,</b> Factor de Operación por proceso.....	206
<b>Figura 166,</b> Flujo de gas por proceso mig.....	206

## NOMENCLATURA

CONADIS	Consejo Nacional de Discapacidades
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
Ab	Carga de Aceleración Brusca
F	Carga de Frenado
G	Carga de Giro
Raf	Carga de Resistencia al Aire Frontal.
M	Carga Muerta
V	Carga Viva
$\Delta$	Representa la deformación
Af	Área correspondiente al vehículo en un plano perpendicular a su eje longitudinal.
Cx	Coefficiente de resistencia Frontal del aire
ASD	Diseño por Esfuerzos Permisibles (Allowable Stress Design)
LRFD (Load and Resistance Factor Design)	“Diseño por Factores de Carga y Resistencia o Estados límites”
AISC	Instituto Americano de Aceros de Construcción
ASTM	Sociedad Americana de Pruebas a Materiales
AWS	Sociedad Americana para la Soldadura
RPM	Revoluciones Por Minuto
SMAW	Soldadura Eléctrica con Electrodo revestido

GMAW	Soldadura metálica con arco eléctrico y gas de protección
GTAW	Soldadura de tungsteno con arco eléctrico y gas de protección
CAD	Diseño asistido por computador (computer-aided design)
CAE	Ingeniería asistida por ordenador (Computer-Aided-Engineering)
Mpt	Masa del Prototipo
Ppt	Peso del Prototipo
g	Gravedad 9.81 m/s <sup>2</sup>
Ms	Masa de silla de ruedas
Ps	Peso Silla de ruedas
Mm	Masa del motor centrifugo
Pm	Peso del motor centrifugo
Mb	Masa de la batería
Pb	Peso de la batería
Mp	Masa del piso
Pp	Peso de Piso
Mpt	Masa del perfil tubular del sistema estructural
Cmp	Masa total de la carga muerta del vehículo.
Fcmp	Masa con un factor del 20%
Cmn	Carga Muerta por nodo
Mo	Masa del ocupante
Po	Peso del Ocupante

Scv	Sobrecarga Ocupante
Mcvn	Masa final de la carga viva por nodo
Cfn	Carga de frenado por nodo
Frp	Fuerza de fricción en el punto P.
Frd	Fuerza de fricción en el punto D.
Rp	Fuerza normal en P.
Rd	Fuerza normal en D.
Dac	Desaceleración máxima
Abn	Aceleración brusca por cada nodo
Fe	Fuerza de empuje
Rdin	Radio dinámico de la rueda
<i>Crsfn</i>	Carga de resistencia de aire frontal por cada nodo
Is	Carga de Impacto superior
Il	Carga de Impacto lateral
Fln	Carga de impacto lateral aplicada en cada nodo.
If	Carga de Impacto frontal
Ffn	Carga de impacto frontal aplicada a cada nodo.
Fsn	Carga de impacto superior soportado en cada nodo.
MIG	Soldadura por gas inerte de protección
rx	Radio de giro de la sección con respecto al eje x
ry	Radio de giro de la sección con respecto al eje y
$\rho$	Densidad

$\sigma$  Tensión

$k$  Rigidez

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación consiste en solventar los inconvenientes de transporte para una persona con capacidades especiales, dotándole de un vehículo seguro, eficiente y económico. Específicamente se ha construido un sistema estructural prototipo, con el principal objetivo de cumplir las normas técnicas relacionadas a la construcción de carrocerías y vehículos tricimoto, de esta manera entregar un vehículo incluyente adecuado para las necesidades de personas con capacidades especiales. El sistema estructural en su conjunto fue diseñado con énfasis a optimizar recursos, sin que esto afecte en algo la calidad del producto final. Su construcción se ha realizado con materiales de calidad. Asimismo se realizó controles de calidad en cada etapa, para de esta manera asegurar la eficiencia y calidad del producto final. La simulación en software permitió conocer las diversas deficiencias que podría tener la estructura, logrando de esta manera corregirlas en su totalidad. El vehículo ha sido sometido a diversas pruebas de funcionamiento, en las cuales se ha probado su comportamiento general con diferente carga máxima, detalladas a continuación: 60 kg, 70 kg, 90 kg y 160 kg, mostrando buena estabilidad, adecuada resistencia, suficiente potencia a pesar de contar con un motor de 150 c.c., buena maniobrabilidad y una aceptable suspensión. Tiene un consumo de combustible promedio urbano de 40 km/ gal y consumo promedio en carretera de 50 km/gal. Una independencia de abastecimiento de 75 km. Demostrando de esta manera ser un vehículo eficiente y económico. Los elementos de seguridad pasiva instalados en los vehículos, tienen como finalidad disminuir al máximo los efectos ocasionados por un accidente. Especificando que son de uso obligatorio el casco homologado y la utilización de los cinturones de seguridad instalados, así como el uso constante de los frenos propios de la silla de ruedas.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **PERSONA CON CAPACIDADES ESPECIALES**
- **SISTEMA ESTRUCTURAL**
- **VEHÍCULO INCLUYENTE**
- **TRICIMOTO**
- **CONSUMO DE COMBUSTIBLE.**

## **ABSTRACT**

The present project of investigation consists of settling the disadvantages of transport for a person with disabilities, providing him with a sure, efficient and economic vehicle. Specifically a structural system has constructed prototype itself, with the principal aim to fulfill the technical procedure related to the construction of auto bodies and vehicles tricimoto, hereby to deliver an enclosing vehicle adapted for the persons' needs with special capacities.

The structural system in his set was designed emphatically to optimizing resources, without this affects in something the quality of the final product. His construction has been realized by qualit materials. Likewise quality controls were realized in every stage, hereby to assure the efficiency and quality of the final product. The simulation in software allowed to know the diverse deficiencies that the structure might have, managing hereby to correct them in its entirety.

The vehicle has been submitted to diverse tests of functioning, in which his general behavior has been proved by different maximum load, detailed later: 60 kg, 70 kg, 90 kg and 160 kg, showing good stability, suitable resistance, sufficient power in spite of possessing an engine of 150 c.c., good maneuverability and an acceptable suspension. It has a consumption of average urban fuel of 40 km/gal and average consumption in road of 50 km/gal. An independence of supply of 75 km. Demonstrating hereby to be an efficient and economic vehicle.

The elements of passive safety installed in the vehicles, they have as purpose diminish to the maximum the effects caused by an accident. Specifying that are of obligatory use the approved hull and the utilization of the installed safety belts, as well as the constant use of the own brakes of the wheelchair.

### **KEYWORDS:**

- **PERSON WITH DISABILITIES**
- **STRUCTURAL SYSTEM**
- **ENCLOSING VEHICLE**
- **TRICIMOTO**
- **CONSUMPTION OF FUEL.**

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

### 1.1 Antecedentes

Para iniciar con el estudio del proyecto partiremos definiendo a una persona con discapacidad para lo cual citaremos:

*“Art. 6.- considera persona con discapacidad a toda aquella que, como consecuencia de una o más deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales, con independencia de la causa que la hubiera originado, ve restringida permanentemente su capacidad biológica, psicológica y asociativa para ejercer una o más actividades esenciales de la vida diaria (1)”*

Por lo tanto desde el inicio de la humanidad, los problemas relacionados con el transporte de personas con capacidades especiales, siempre han estado presentes, sin embargo no se ha dado una solución adecuada para este problema, manteniéndose a la voluntad de los conductores de transporte público y a los recursos económicos de dichas personas.

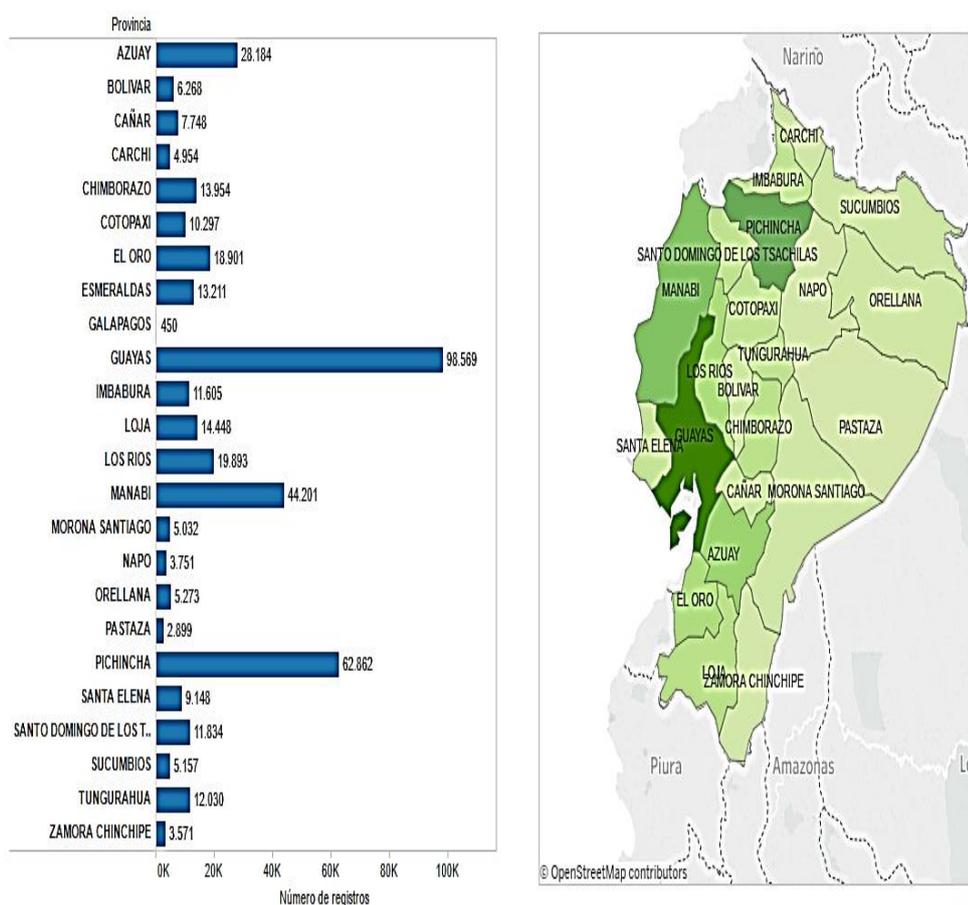
En cuanto a una de las enfermedades más comunes en el ámbito de la discapacidad y materia central de base en este proyecto entenderemos a la paraplejia como la parálisis de los miembros inferiores, en algunos casos con movilidad nula o reducida y que tiene diversas causas.

En consecuencia de aquello para transportar personas con capacidades especiales, *específicamente de las cuales presentan paraplejia, en transporte público o en automóviles adaptados*, ha sido necesaria la ayuda de una segunda persona la cual realiza un levantamiento o traslado del peso de la persona con capacidades especiales desde la silla de ruedas hasta el habitáculo del vehículo.

La deficiencia en el transporte, el cual no está diseñado para personas con diferentes capacidades, hace un verdadero reto ocupar su servicio en horas pico, sumado a esto la indolencia de pasajeros y conductores, que en su mayoría prefieren evitar a estos usuarios.

En el Ecuador el Consejo Nacional de Discapacidades (CONADIS) creado en agosto de 1992, organismo autónomo de carácter público, es el encargado a nivel nacional de dictar políticas, impulsar investigaciones y coordinar y ejecutar acciones para asegurar la prevención, detección oportuna, habilitación y rehabilitación de la discapacidad y garantizar la plena vigencia, difusión y ejercicio de los derechos de estas personas.

En la figura 1 se puede observar datos estadísticos de las personas con discapacidad registrados desde el año 1994 hasta el 2016.



**Figura 1,** Distribución de personas con capacidades especiales según la provincia

**Fuente:** (CONADIS, 2015)

A lo largo de los años, el ser humano siempre se ha visto en la necesidad de diseñar vehículos o mecanismos que le permitan trasladarse con el menor esfuerzo físico posible.

En la historia humana, la discapacidad, en sus diversas manifestaciones ha sido objeto de discriminación. Dentro de los derechos humanos se menciona que todos los miembros de la sociedad tienen los mismos derechos, que incluyen los civiles, culturales, económicos, políticos y sociales. Dentro de esto, las personas con discapacidad pueden gozar, sin discriminación alguna, de todos ellos.

## **1.2 Definición del problema**

La falta de vehículos adecuados para el transporte de personas con capacidades especiales, que tengan como cualidades ser económico, accesible y eficiente.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar y construir un prototipo de sistema estructural para un vehículo trici-moto adaptado para las necesidades de personas con capacidades especiales, con el fin de solventar satisfactoriamente sus necesidades de movilidad y transporte.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar y construir el sistema estructural bajo los requerimientos de diseño.
- Seleccionar los sistemas complementarios al sistema estructural.
- Realizar pruebas que servirán para comprobar la eficiencia, utilidad y las prestaciones del vehículo.
- Elaborar el análisis económico – financiero de los sistemas que conforman el vehículo.

## **1.4 Justificación**

La Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE es una institución que busca formar académicos, profesionales e investigadores de excelencia, con alta conciencia ciudadana, implementando nuevas alternativas de solución a los problemas del país, aportando así con el Plan Nacional de Desarrollo (2).

Las continuas discriminaciones que reciben a diario las personas con Diversidad Funcional, al momento de utilizar el transporte público, además de la dificultad para acceder a estos vehículos, por la deficiente accesibilidad existente.

Debido a esto se tomó la iniciativa de diseñar un prototipo de sistema estructural para un vehículo trici-moto adaptado para las necesidades de personas con discapacidad física (paraplejía), aportando así para su inclusión económica y social.

### **1.5 Importancia**

Proporcionar una alternativa para la solución del problema de movilidad, que actualmente tienen las ciudades respecto a las personas con capacidades especiales.

Brindándoles un medio de transporte económico, eficiente, ágil y útil permitiéndoles con esto trasladarse de forma rápida y segura, aportando con esto al plan nacional del buen vivir y colaborando para su inclusión económica, educativa y social.

### **1.6 Alcance del proyecto**

La búsqueda de soluciones tendientes a mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad física (paraplejía) que no cuentan con un medio de transporte económico, eficiente y útil orienta a este proyecto a fijarse como alcance diseñar y construir un prototipo de sistema estructural para un vehículo trici-moto adaptado para las necesidades de personas con discapacidad física (paraplejía), para lo cual se contemplará las siguientes etapas:

1. Diseño del sistema estructural.
2. Montaje del sistema de suspensión,
3. Selección y montaje del sistema de frenos,
4. Selección y estudio de materiales de construcción de los diversos sistemas.
5. Elaboración de planos de construcción.
6. Construcción y operación del prototipo.

## 7. Pruebas y análisis de resultados.

La construcción se realizará bajo estrictas normas de calidad, procurando realizar control de calidad a cada pieza y proceso, para asegurar así la fiabilidad del vehículo.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Definición de paraplejia

Empezaremos definiendo el término paraplejia y para lo cual citaremos:

*“... la paraplejia es la parálisis de los miembros inferiores, cuya causa es: La lesión bilateral de la vía motora, que puede ser afectada a nivel de la protoneurona o dentoneurona... (3).”*

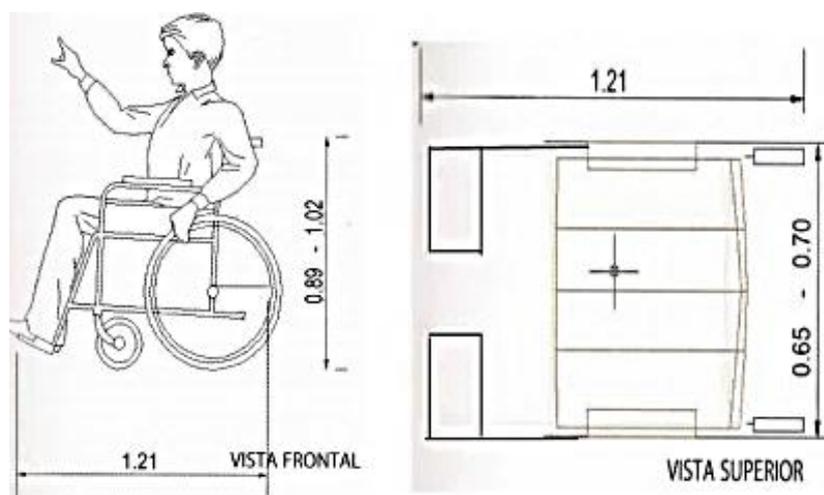
En virtud de aquello a la paraplejia se le conoce como una enfermedad que inmoviliza los miembros inferiores de las personas, impidiéndoles moverse por sí solos sino a través de un medio de transporte y necesariamente con la ayuda de otra persona.

#### 2.1.1 Dimensiones características de las personas con capacidades especiales para el diseño del vehículo tricimotor

El factor más importante al momento del diseño del vehículo son las medidas de alcance de las personas con capacidades especiales, las medidas de silla de ruedas debido a que existe una gran cantidad de modelos y marcas de sillas de ruedas, por eso se debe utilizar medidas estándar con normas y reglamentos establecidos.

Los documentos del CONADIS son una base para el diseño del vehículo tricimotor, para cumplir con los requerimientos de normas de vehículos adaptados para personas con capacidades especiales.

A continuación la figura 2 describe cada una de las medidas estándar establecidas para personas con capacidades especiales:



**Figura 2,** Dimensiones básicas en metros de la silla de ruedas para personas con capacidades especiales.

**Fuente:** (Pachar, 2012)

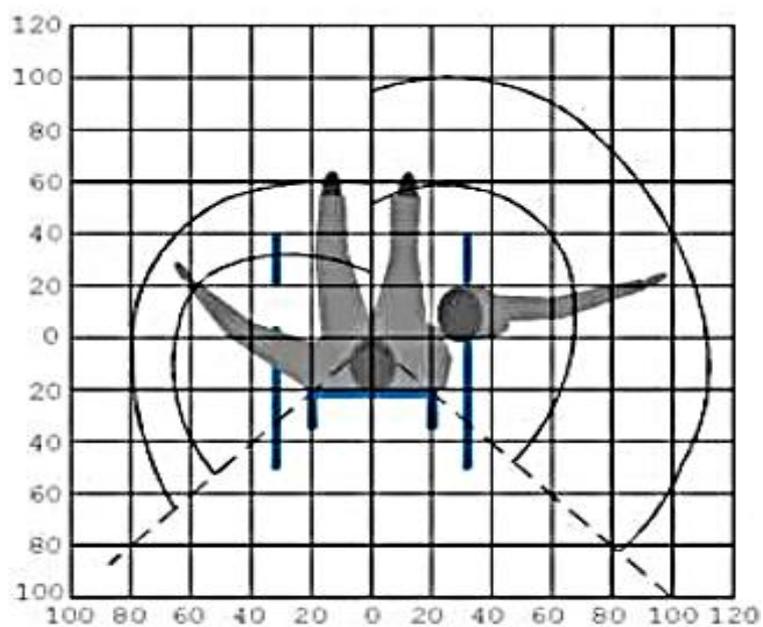
## 2.1.2 Alcances

### 2.1.2.1 Alcance lateral

Al referirnos al alcance hacemos mención a aquella “*dimensión que puede alcanzar una persona sentada en su silla de ruedas (5)*”, puede realizar un estiramiento pero no es recomendado debido a la comodidad que se puede afectar al momento de las maniobras.

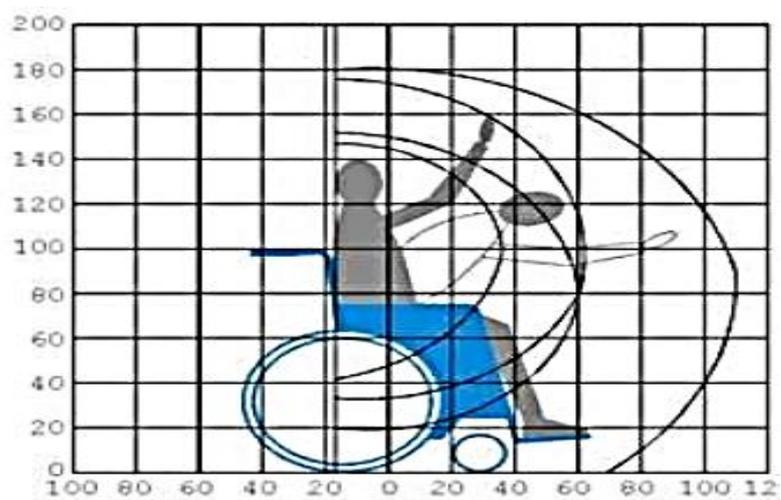
Por lo tanto el alcance es el factor más indispensable al momento del diseño debido a la colocación de los mandos manuales, instrumentos y todos los demás elementos que deberán ser manipulados por el conductor del vehículo.

En la figuras 3, 4 y 5 se ilustra las dimensiones de una persona con capacidades especiales sentada en una silla de ruedas, se observa con cuadrícula cada una es de 20 centímetros por 20 centímetros las imágenes fueron extraídas del Manual una Ciudad para Todos cuya autora es la Señora Sonia Verswyvel con el Patrocinio de la Sociedad Colombiana de Arquitectos y la Sociedad Colombiana de Ingenieros.



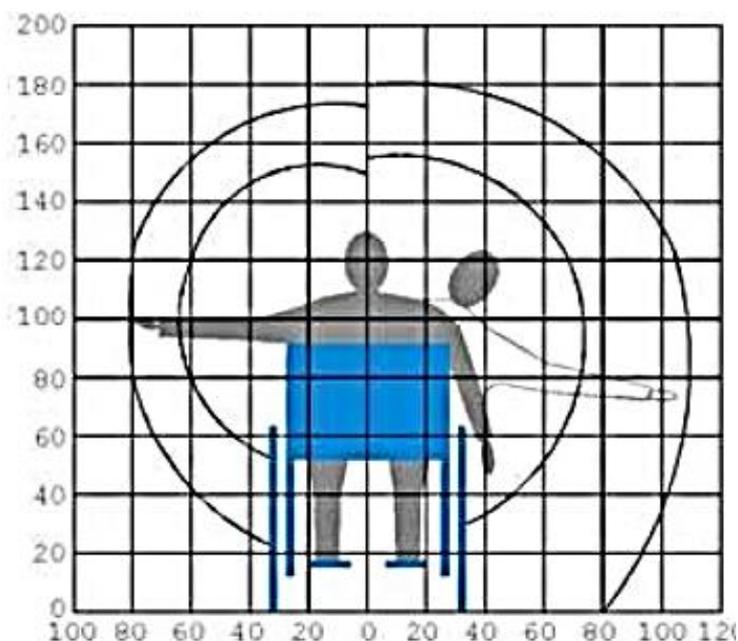
**Figura 3,** Vista Superior, medidas en centímetros de alcance para personas adultas sentadas en silla de ruedas.

**Fuente:** (VERSWYVEL, 2011)



**Figura 4,** Vista Lateral, medidas en centímetros de alcance para personas adultas sentadas en silla de ruedas.

**Fuente:** (VERSWYVEL, 2011)



**Figura 5,** Vista Posterior, medidas en centímetros de alcance para personas adultas sentadas en silla de ruedas.

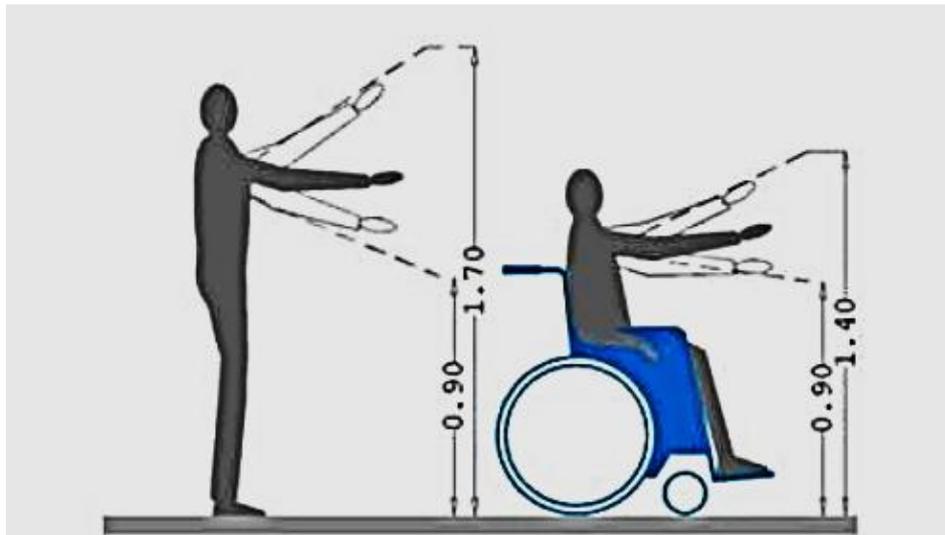
**Fuente:** (VERSWYVEL, 2011)

### 2.1.2.2 Alcance frontal

Al alcance se le conoce como la dimensión máxima que una persona sentada en silla de ruedas puede alcanzar con las manos estiradas, es decir el manejo de la ergonomía al momento de conducir.

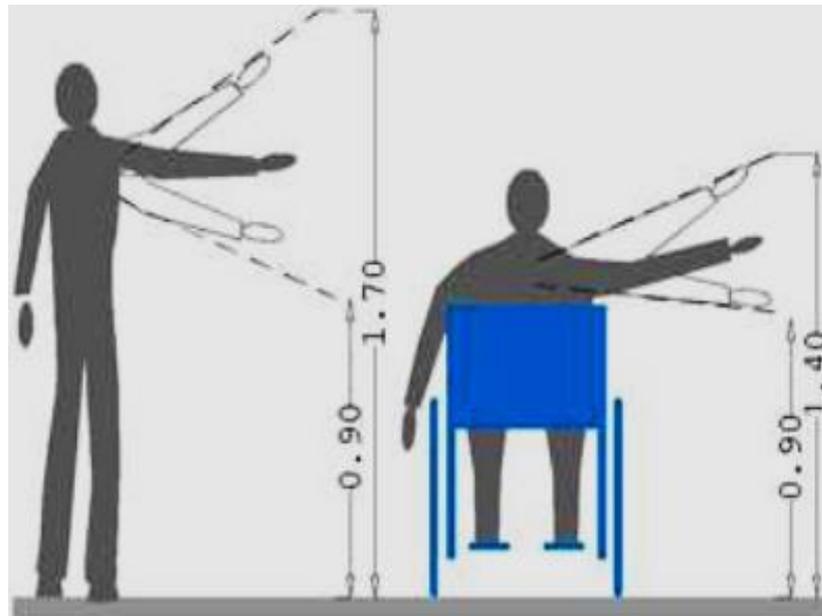
Las dimensiones de alcance frontal son características del diseño del vehículo debido a que según el alcance frontal se ubica el anclaje de la silla de ruedas, los mandos manuales y la instrumentación.

En la figura 6 y 7 se ilustra las dimensiones de una persona con capacidades especiales sentada en una silla de ruedas, se observa las dimensiones con escala en metros; las imágenes fueron extraídas del Manual Una Ciudad para Todos cuya autora es la Señora Sonia Verswyvel con el Patrocinio de la Sociedad Colombiana de Arquitectos y la Sociedad Colombiana de Ingenieros.



**Figura 6,** Vista del alcance frontal

**Fuente:** (VERSWYVEL, 2011)



**Figura 7,** Alcance lateral

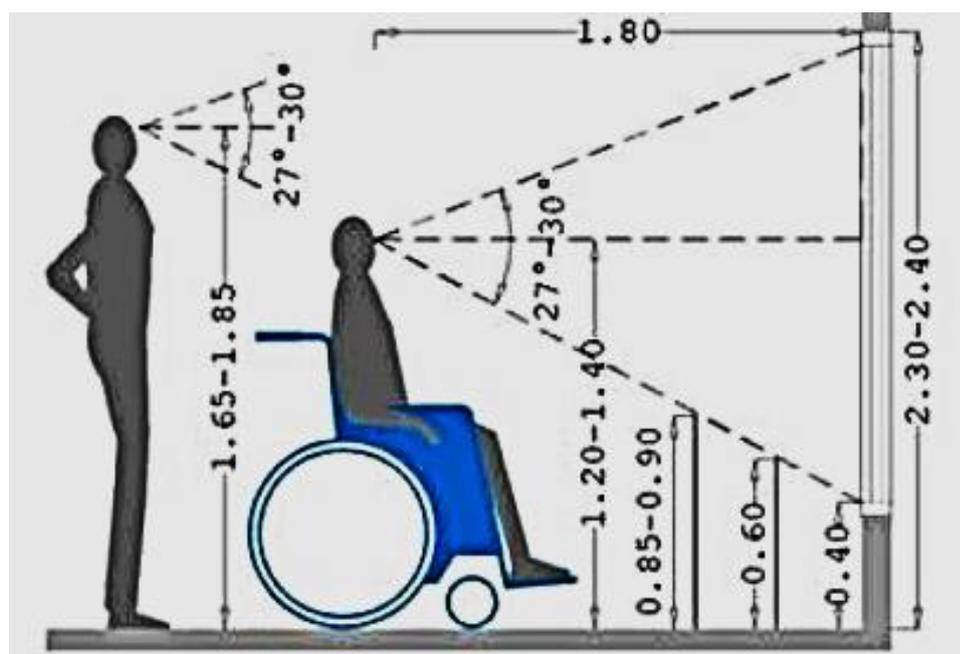
**Fuente:** (VERSWYVEL, 2011)

### 2.1.3 Visibilidad

El factor principal al momento de conducir es la visibilidad, debido a que una persona normalmente sin obstrucción tiene un rango de visión periférico de 165 grados pero al momento de sentarse detrás de un volante se reduce de 90 a 100 grados el rango de campo de visión periférico.

En la persona con capacidades especiales no cambia este rango de visión debido a que la posición es la misma al momento de conducir.

A continuación en la figura 8 se ilustra las dimensiones de una persona con capacidades especiales sentada en una silla de ruedas, se observa la visibilidad al momento de conducir la silla de ruedas; las imágenes fueron extraídas del Manual Una Ciudad para Todos cuya autora es la Señora Sonia Verswyvel con el Patrocinio de la Sociedad Colombiana de Arquitectos y la Sociedad Colombiana de Ingenieros.



**Figura 8,** Dimensiones de visibilidad

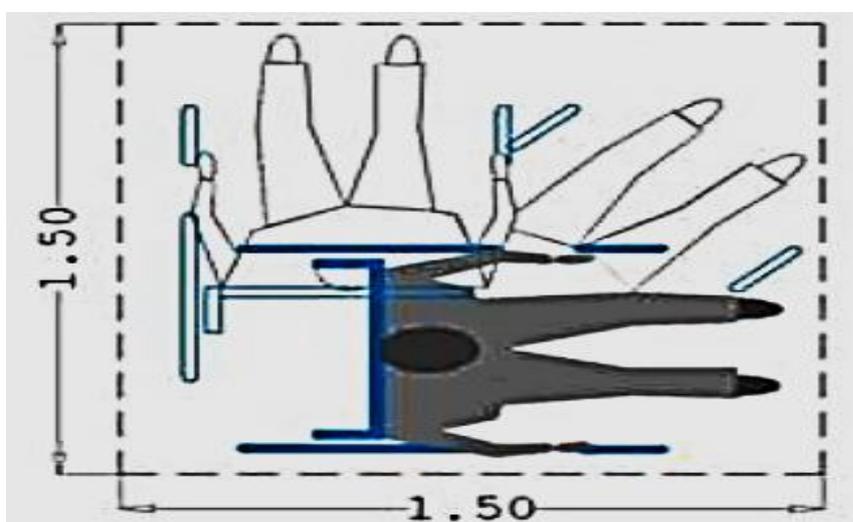
**Fuente:** (VERSWYVEL, 2011)

### 2.1.4 Giros y maniobras

En nuestro caso el acceder al vehículo va a ser en línea recta, pero las dimensiones deben ser tomadas en cuenta debido a las maniobras o giros inesperados que puedan existir al momento de subir al vehículo.

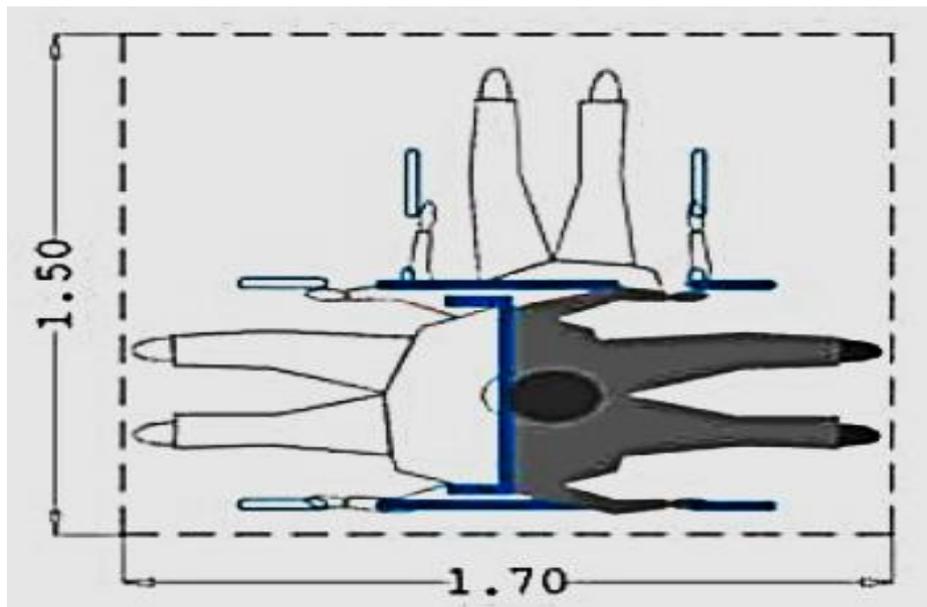
Se debe tener presente las acciones de giro y las principales dimensiones de requerimientos de espacio para los giros de 90 grados, 180 grados, 360 grados o realizar una evaluación de que tan factible es que una persona pueda realizar giros y maniobras dentro del vehículo.

A continuación en la figuras 9, 10 y 11 se ilustra las dimensiones de una persona con capacidades especiales sentada en una silla de ruedas, se muestra las distintas dimensiones en metros para realizar las distintas maniobras; las imágenes fueron extraídas del Manual Una Ciudad para Todos cuya autora es la Señora Sonia Verswyvel con el Patrocinio de la Sociedad Colombiana de Arquitectos y la Sociedad Colombiana de Ingenieros.



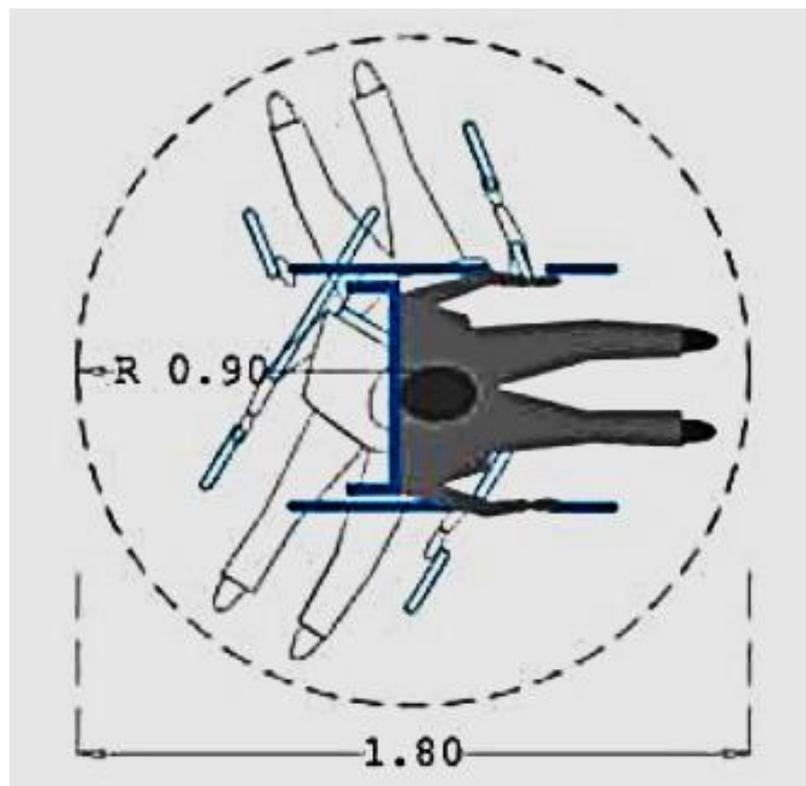
**Figura 9,** Vista superior, giro 90 grados

**Fuente:** (VERSWYVEL, 2011)



**Figura 10**, Vista superior, giro 180 grados

**Fuente:** (VERSWYVEL, 2011)



**Figura 11**, Vista superior, giro 360 grados

**Fuente:** (VERSWYVEL, 2011)

### 2.1.5 Dimensiones de las Personas en sillas de ruedas

Se ha recopilado datos de personas en silla de ruedas, debido a la preocupación y el interés de entidades privadas y públicas. Estos datos han sido de las medidas estándar o promedio de una persona en silla de ruedas para que sirva como base en la construcción de las sillas de ruedas, adaptaciones, utensilios, equipos y un sin número de objetos para mejorar la calidad de vida de las personas por ese motivo hemos basado este proyecto en estadísticas recopiladas para la construcción del vehículo.

En las figuras 12 y 13 se establecen las medidas que se va utilizar para la construcción del vehículo tricimoto son para una persona adulta de sexo masculino o femenino como el alcance al frente, el alcance lateral, etc.

#### 2.1.5.1 Dimensiones de las personas en silla de ruedas en Personas de sexo masculino

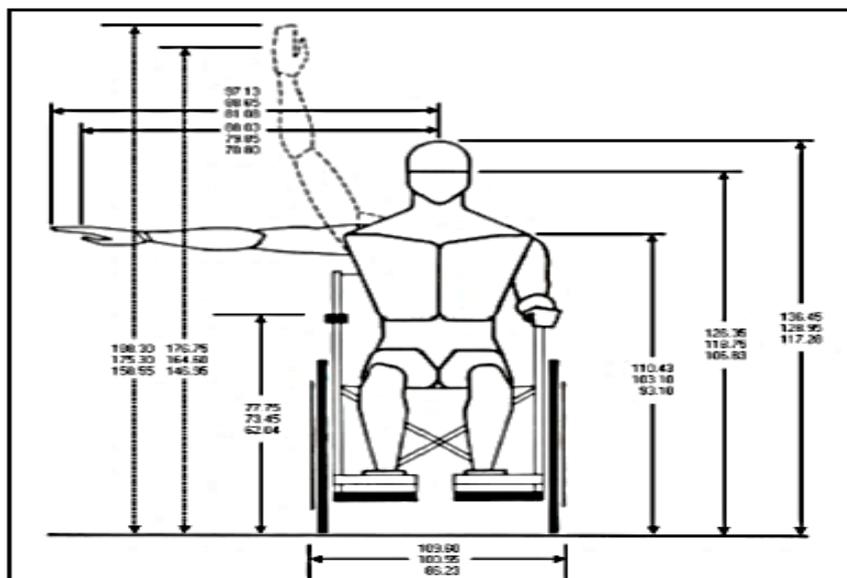
En la publicación Ciudades Accesibles del Consejo Nacional de Discapacidades (CONADIS) (5), se encuentra los datos de una persona adulta de sexo masculino sentado en una silla de ruedas, se puede visualizar los datos suministrados en la figura 12 y visualizar las medidas principales en las figuras 13 y 14 .

PER CEN	MEDIDAS CORPORALES						
	Alcance hacia arriba		Del piso a la	Altura al	Altura al	Alcance abajo	
TIL	Dedo	Puño	Cabeza	ojo	hombro	Dedo	Puño
5	158.55	146.95	117.28	106.83	93.10	68.25	58.73
50	175.30	164.60	128.95	118.75	103.10	75.20	65.45
95	188.30	176.75	136.45	126.35	110.43	85.68	76.15
D.E.	9.11	9.58	6.02	5.79	5.25	5.83	5.53
PROM	174.36	164.08	128.25	118.28	102.64	75.96	66.30

PER CEN	MEDIDAS CORPORALES						
	Alcance al frente		Longitud antebrazo		Alcance lateral		Profundidad del tronco
TIL	Dedo	Puño	Dedo	Puño	Dedo	Puño	
5	80.73	71.30	27.45	19.40	81.08	70.80	27.33
50	89.60	79.25	37.80	27.45	88.65	79.85	35.45
95	98.10	87.93	51.33	41.30	97.13	88.03	43.28
D.E.	5.47	5.19	7.78	9.68	5.32	5.15	4.81
PROM	89.33	79.59	38.56	29.93	89.30	79.93	35.33

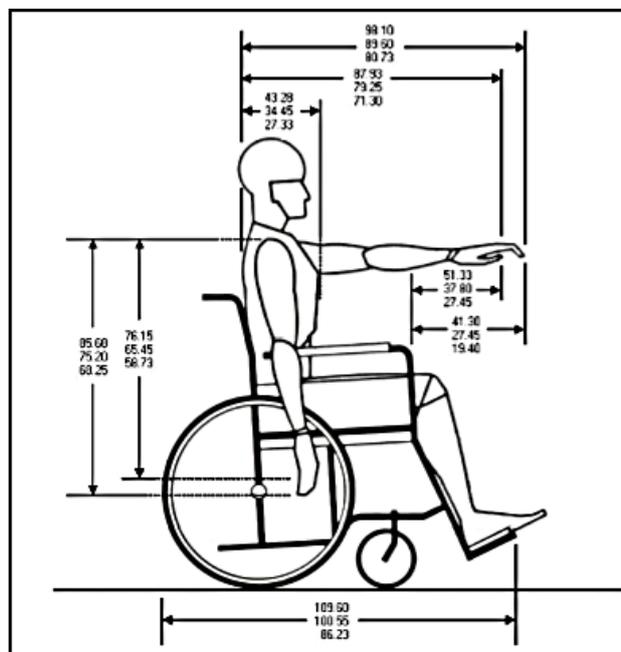
**Figura 12,** Medidas Corporales de una persona adulta, sexo masculino

**Fuente:** (CONADIS, 2014)



**Figura 13,** Vista Frontal de una persona adulta en silla de ruedas, sexo masculino

**Fuente:** (CONADIS, 2014)



**Figura 14,** Vista lateral de una persona adulta en silla de ruedas, sexo masculino

**Fuente:** (CONADIS, 2014)

### 2.1.5.2 Dimensiones de las personas en silla de ruedas en personas de sexo femenino

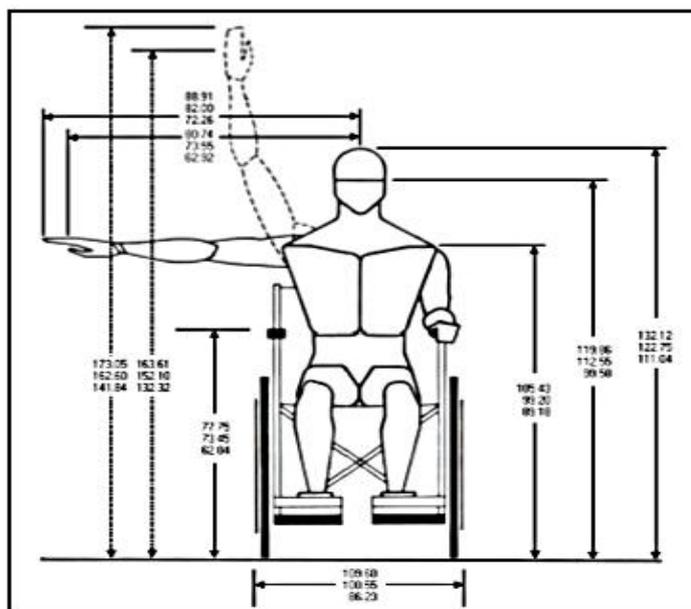
En la publicación Ciudades Accesibles del Consejo Nacional de Discapacidades (CONADIS) (5), se encuentra los datos de una persona adulta de sexo femenino sentado en una silla de ruedas, se puede visualizar los datos suministrados en la figura 15 y visualizar las medidas principales en las figuras 16 y 17.

PER CEN TIL	MEDIDAS CORPORALES						
	Alcance hacia arriba		Del piso a la cabeza	Altura al ojo	Altura al hombro	Alcance abajo	
	Dedo	Puño				Dedo	Puño
5	141.84	132.32	111.04	99.58	89.18	59.14	49.64
50	162.60	152.10	122.75	112.55	99.20	66.75	58.40
95	173.05	163.61	132.12	119.86	105.43	74.81	65.46
D.E.	9.77	9.75	10.45	6.94	5.98	5.13	5.17
PROM	160.77	150.60	122.65	111.34	97.82	66.50	57.61

PER CEN TIL	MEDIDAS CORPORALES						
	Alcance al frente		Longitud antebrazo		Alcance lateral		Profundidad del tronco
	Dedo	Puño	Dedo	Puño	Dedo	Puño	
5	74.76	65.66	21.61	13.00	72.26	62.92	28.06
50	81.10	72.10	29.75	21.10	82.00	73.55	35.75
95	88.96	79.69	43.32	34.79	88.91	80.74	48.59
D.E.	4.34	4.59	7.17	7.46	5.45	5.71	6.60
PROM	81.22	72.25	30.60	22.24	81.12	72.65	36.43

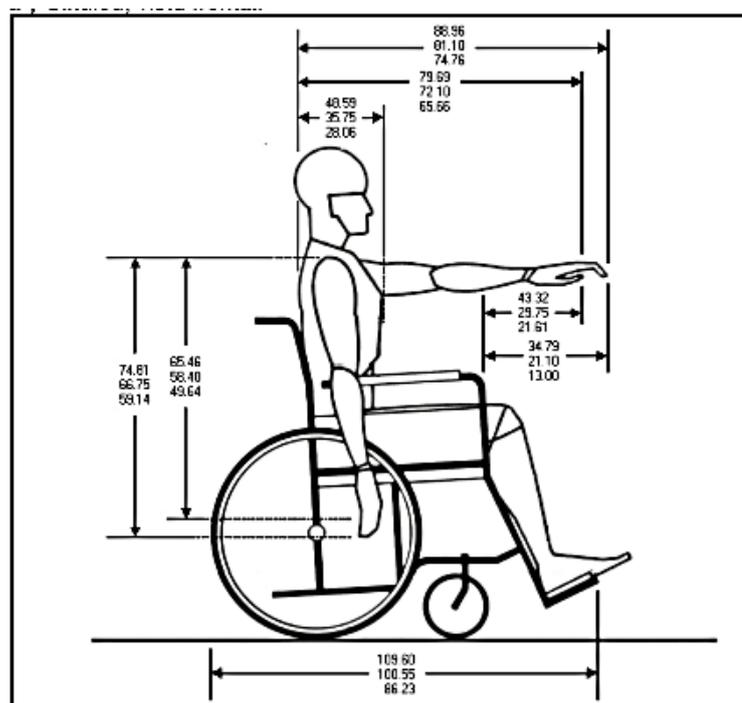
Figura 15 , Medidas Corporales de una persona adulta, sexo femenino

Fuente: (CONADIS, 2014)



**Figura 16,** Vista frontal de una persona adulta en silla de ruedas, sexo femenino

**Fuente:** (CONADIS, 2014)



**Figura 17,** Vista lateral de una persona adulta en silla de ruedas, sexo femenino

**Fuente:** (CONADIS, 2014)

### 2.1.6 Rampas

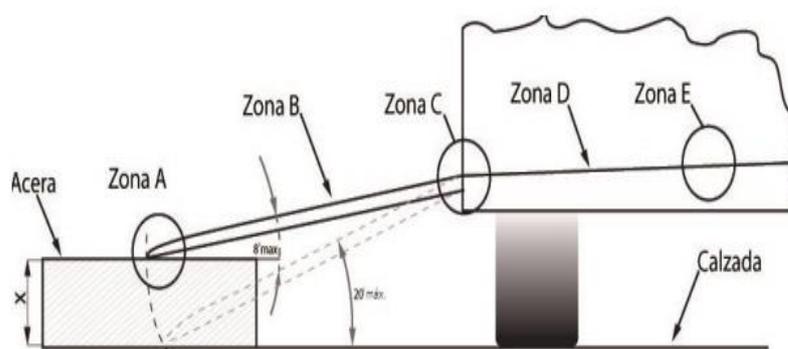
El acceso de la silla de ruedas se lo va a realizar por la parte posterior de nuestro vehículo por medio de una rampa, existe una determinada pendiente para que el ascenso del conductor no sea tan forzado por lo que nos podemos regir a normas existentes (6) y a trabajos de investigación previos (4).

Por la necesidad de buscar autonomía a las personas que va dirigido este proyecto se necesita que la accesibilidad al vehículo sea de lo más sencilla sin una pendiente demasiada pronunciada.

El vehículo no debe ser demasiado bajo debido a las irregularidades de la calzada y a los reductores de velocidad que en sectores de las vías no cumplen con los requerimientos de la norma.

Lo factible es colocar una rampa con una pendiente mínima para la accesibilidad de las personas con capacidades especiales con poco esfuerzo según la CONADIS en el artículo Ciudades Accesibles la rampa que una persona con capacidades especiales en su silla de ruedas puede ascender sin ayuda es de 10 por ciento o menor.

Según las normas INEN 2853:2014 rampas para el ingreso y egreso de personas con movilidad reducida a vehículos para el transporte terrestre de pasajero. Se puede establecer los rangos de pendientes visualizados en la figura 18.

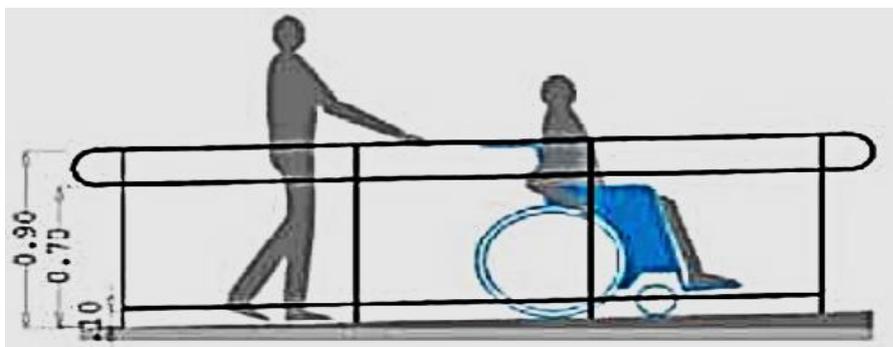


**Figura 18,** Rango de pendientes para personas con capacidades especiales en silla de ruedas.

**Fuente:** (CONADIS, 2012)

### 2.1.7 Barandas

Para la accesibilidad en las rampas se puede colocar barandas, se tiene pensado establecer el corral alrededor del espacio del conductor o jaula de seguridad, por lo que se necesita saber las dimensiones a las que se encuentran las barandas de nuestra persona y las cuales se detallan en la figura 19.



**Figura 19,** Vista lateral, dimensiones de una baranda.

**Fuente:** (VERSWYVEL, 2011)

### 2.2 Métodos De Diseño Estructural

De acuerdo con el tratadista “*McCORMAC/CSERNAK*, el método de diseño estructural consiste en “La especificación proporciona dos métodos aceptables para diseñar miembros de acero estructural y sus conectores. Estos son el Diseño con factores de carga y resistencia (7).

El diseño LRFD y ASD se basan en los principios de diseño de estado límite, el cual proporciona las fronteras de la utilidad estructural aprovechando al máximo los recursos.

Existen dos tipos de estado límites los de resistencia y los de servicio los cuales describen una condición en la estructura o una parte de ella debe cumplir una función establecida.

El objetivo de utilizar los métodos de diseño es reducir las fallas en los miembros estructurales y sus conectores, debido a que no se posee con la suficiente información de carga o resistencia para la resolución de problemas.

### 2.2.1 Diseño por esfuerzos permisibles (ASD)

En el método ASD las cargas de servicio se acumulan para establecer las combinaciones factibles y el valor mayor obtenido es utilizado para calcular las distintas fuerzas en los elementos estructurales.

*“La resistencia requerida no debe exceder la resistencia admisible de diseño permitida por las especificaciones. (8)”*

$$\frac{R_n}{\Omega} \geq R_a \quad (\text{Ec} - 2.1)$$

Donde:

Ra: Resistencia requerida (ASD)

Rn: Resistencia nominal

$\Omega$ : Factor de seguridad

Rn/ $\Omega$ : Resistencia Admisible

Las fuerzas y momentos de cada uno de los miembros estructurales se combinan, para formar una resistencia requerida la cual se calcula por métodos normalizados y estandarizados.

Existen varios modelos de combinaciones de cargas nominales y de servicio, se pueden aplicar dependiendo del caso, se rigen al código de construcción.

El factor de seguridad posee un valor específico dependiendo del caso y de la carga considerada.

### 2.2.2 Métodos de diseño por carga y resistencia (LRFD)

Los métodos de diseño por carga y resistencia son para “... *El diseño por factores de carga y resistencia: la resistencia requerida determinada con base en las combinaciones de*

*carga factorizadas no debe exceder la resistencia de diseño de cada componente estructural*  
(8) ”

$$R_a = \sum_i (Y_i \cdot Q_i) \leq \phi \cdot R_n \quad (\text{Ec-2.2})$$

Donde:

$Y_i$ : Factor de carga i

$Q_i$ : Efecto de carga i

$Y_i \cdot Q_i$ : Carga factorizada i

$R_a = \sum_i (Y_i \cdot Q_i)$ : Resistencia requerida del análisis estructural

$\phi$ : Factor de resistencia

$R_n$ : Resistencia nominal

$\phi \cdot R_n$ : Resistencia del diseño

La diferencia entre los dos métodos LFRD y ASD se puede decir que el LFRD es más conservador que el ASD además el factor económico también influye en la toma de decisiones al momento del diseño.

Se puede utilizar cualquiera de los dos procedimientos para el diseño de miembros estructurales, las cargas establecidas individualmente se calculan de acuerdo a la especificación de la norma.

Al grupo de cargas individuales (carga muerta, carga viva, carga de viento, carga de lluvia, etc.) se las denomina carga de servicio o carga de trabajo, se realiza una combinación de cargas para cualquiera de los métodos en el método ASD se toma en cuenta el mayor número de cargas mientras con el método LFRD se escoge el mayor combinación de cargas linealmente, de manera que seleccionamos el máximo valor el cual nos ayuda al análisis y diseño estructural de los miembros.

### **2.2.3 Normativa NTE INEN 1323-2009 Vehículos automotores. Carrocerías de buses. Requisitos.**

La Normativa NTE INEN 1323: 2009 establece un sin número de especificaciones para la construcción de carrocerías, de las cuales citaremos las siguientes:

#### ***Objetivo***

*La norma establece los requisitos principales para la fabricación y montaje de carrocerías de buses para sus distintas modalidades.*

#### ***Alcance***

*La norma incluye a los chasis y carrocería auto portante.*

#### ***Definiciones***

*La norma NTE INEN adopta definiciones en la norma vigente INEN ISO 3833 vigente, NTE INEN 1155 vigente a continuaciones algunas definiciones que ayudaran a la construcción del vehículo tricimotor:*

- ***Carga de aceleración brusca (Ab):*** se produce al momento de que el vehículo acelera bruscamente.
- ***Carga de frenado (F):*** es la fuerza producida al momento del frenado del vehículo puede ser bruscamente o normalmente.
- ***Carga de giro (G):*** es la fuerza que se produce al momento de giro del vehículo.
- ***Carga por Resistencia del Aire Frontal (Raf):*** es la fuerza del aire que se produce al momento de actuar sobre un área del vehículo.
- ***Carga Muerta (M):*** es el peso total de la carrocería al momento que se encuentre funcionando, es decir elementos estructurales y no estructurales con todo los accesorios.
- ***Carga Viva (V):*** se refiere a la carga del o los ocupantes que se van a transportar en el vehículo, la carga viva se distribuyen uniformemente en todos los elementos estructurales del bastidor.

- **Carrocería:** es un conjunto estructural que tiene como objetivo resguardar al o los ocupantes posee elementos de confort y seguridad.
- **Carrocería Auto portante:** es un tipo de bastidor el cual funciona como carrocería y bastidor a la vez.
- **Bastidor o Chasis:** es un elemento estructural el que soporta todos los elementos de los vehículos como el motor, transmisión, suspensión, dirección, frenos)
- **Capacidad de carga:** es la carga máxima para la que se diseña el vehículo.

De las especificaciones citadas de la Norma NTE INEN 1323:2009 (9), se identifica la terminología, el alcance y el objetivo, permitiendo de esta manera formar una idea general y establecer los términos adecuados para comprender exitosamente las especificaciones que se detallaran a continuación.

### Tipos de carga de diseño

Con respecto a las cargas de diseño la Normativa INEN 1323: 2009 las define y las clasifica de la siguiente manera:

**Cargas de Diseño:** se utilizan para el análisis cuasi estático de los elementos estructurales que conforman la carrocería se aplican las cargas que se presentan a continuación:

**Cargas Vivas:** se utiliza la figura 20 descrita a continuación dependiendo el tipo de servicio.

TIPO DE SERVICIO (ver nota 3)	MASA DE UN OCUPANTE (kg)	MASA MÍNIMA DE EQUIPAJE DE MANO POR PASAJERO (kg)	MASA MÍNIMA DE EQUIPAJE A TRANSPORTARSE EN BODEGAS PORTA EQUIPAJES (kg) (ver nota 4)	ESPACIO NECESARIO POR PASAJERO DE PIE (m <sup>2</sup> )
Urbano	70	-	-	0,16
Urbano (escolar e institucional)	70	-	-	Sin pasajeros de pie
Interurbano (Intraprovincial)	70	5	100 x Vol	0,16
Larga Distancia (Interprovincial y turismo)	70	5	100 x Vol	Sin pasajeros de pie

**Figura 20,** Descripción del tipo de servicio, masa de cada ocupante y espacio necesario.

**Fuente:** (INEN 1323, 2009)

**Carga de Giro (G):** la carga de giro se calcula en función de la fuerza centrífuga esta fuerza se genera al momento que un vehículo ingresa a una curva abierta o cerrada también depende de la velocidad de ingreso del vehículo a la curva. La velocidad de vuelco es mayor a la centrífuga por esta razón se calcula sobre el peso total del vehículo a plena carga y su centro de gravedad. A continuación se presenta una tabla extraída de la norma INEN 1323:2009 Carga de giro en función del radio de curvatura y peralte de la calzada se visualiza en la figura 21.

Velocidad (del vehículo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)	Peralte (%)
80	250	8
85	300	
90	350	
95	400	
100	450	
105	500	
110	550	
115	600	
120	700	
125	800	
130	900	6,97
135	1050	6,25
140	1250	5,49
145	1475	4,84
150	1725	4,29

**Figura 21,** Peralte y radio de curvatura de los vehículos según la velocidad.

**Fuente:** (INEN 1323, 2009)

**Carga de frenado (F):** se asume una desaceleración mayor o igual a  $4 \text{ m/s}^2$ <sup>1</sup>

**Carga de aceleración brusca (Ab):** se calcula de la manera contraria a la carga de frenado.

---

<sup>1</sup> **Referencia:** De acuerdo con el Ensayo del Tipo 0 con motor embragado para vehículos de clase N de la Directiva 98/12/CE DE LA COMISIÓN EUROPEA, Anexo 2, Ensayo de frenado y de dispositivos de frenado.

**Carga de resistencia del aire frontal (Raf):** es la resistencia de un área en donde actúa el aire como fuerza opositora al movimiento del vehículo que corresponde a la proyección del vehículo al plano perpendicular. Se aplica la siguiente formula:

$$Raf = \frac{1}{2} \times Cx \times \rho \times Af \times V^2 \quad (\text{Ec-2.3})$$

Donde:

Raf = Carga por resistencia Aerodinámica, en N.

$\rho$  = Densidad del aire, en  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

V = Velocidad del aire, en (m/s). Como mínimo 25 (m/s)

Af = Área correspondiente al vehículo en un plano perpendicular a su eje longitudinal en  $m^2$ .

Cx = Coeficiente de resistencia frontal del aire como mínimo de 0.7.

De las especificaciones citadas de la Norma NTE INEN 1323:2009 (9), se identifica el tipo de cargas que deben utilizarse para el diseño de carrocerías, asimismo se detalla los parámetros necesarios para un correcto cálculo de esta; Si la carga fuese constante se muestra el valor asignado.

### **Combinaciones de cargas básicas según NTE INEN 1323:2009**

Con respecto a combinación de cargas básica, la Normativa INEN 1323: 2009 establece las siguientes combinaciones de cargar para el método ASD y LRFD:

#### **Según el método ASD (Allowable strength design)**

$$1. \quad M \quad (\text{Ec-2.4})$$

2.  $M + V$  (Ec-2.5)
3.  $M + V + G$  (Ec-2.6)
4.  $M + V + F$  (Ec-2.7)
5.  $M + V + F + Raf$  (Ec-2.8)
6.  $M + V + Raf$  (Ec-2.9)
7.  $M + V + Ab$  (Ec-2.10)
8.  $M + V + Ab + Raf$  (Ec-2.11)

***Según el método LFRD (Load resistance factor design)***

1.  $1,4*M + V$  (Ec-2.12)
2.  $1,2*M + 1,6*V + 0,5*G$  (Ec-2.13)
3.  $1,2*M + 0,5*V + 1,6*G$  (Ec-2.14)
4.  $1,2*M + 1,6*F + 0,8*Raf$  (Ec-2.15)
5.  $1,2*M + 0,5*V + 0,5*F + 1,3*Raf$  (Ec-2.16)
6.  $1,2*M + 1,5*Ab + 0,5*V$  (Ec-2.17)
7.  $0,9*M - 1,3*Raf$  (Ec-2.18)
8.  $0,9*M + 1,3*Raf$  (Ec-2.19)

*Se puede utilizar cualquiera de los dos métodos de diseño expuestos por la norma los factores de los métodos de diseño se encuentran indicados en AISC (Specification for Structural Steel Buildings) y AISI North American Specification for design of Cold Formed Steel- Structural Members (9).*

De las especificaciones citadas de la Norma NTE INEN 1323:2009, podemos identificar los métodos de diseño y las distintas combinaciones de cargas asignadas a cada uno. Las cuáles serán utilizadas para identificar la carga crítica y desarrollar el diseño en base de esta.

## **2.3 Definición de Tricimoto**

Una tricimoto es un vehículo motorizado de tres ruedas. Sucesor de los primeros triciclos, los cuales disponían de dos ruedas traseras y una delantera.

### **2.3.1 Partes de la Tricimoto.**

Un vehículo tricimoto es un conjunto de sistemas a continuación detallados, centrándonos en el diseño de un sistema estructural moderno, eficiente y que se relacione adecuadamente con los demás sistemas para el correcto funcionamiento del vehículo mencionado.

- 1. Sistema Estructural.**
- 2. Sistema Motriz (motor).**
- 3. Sistema de Dirección.**
- 4. Sistema de Frenos.**
- 5. Sistema de Transmisión.**
- 6. Sistema de Suspensión.**
- 7. Sistema de Escape.**
- 8. Sistema de Encendido.**
- 9. Sistema de Rampa.**

### **2.3.2 Sistema Estructural**

Es un conjunto de elementos diseñados para ser la columna vertebral del vehículo, además de ser el soporte de sistemas anexos.

#### **2.3.2.1 Bastidor tricimoto**

Una parte principal del diseño del bastidor de la tricimoto es la ubicación en donde va a funcionar sea zona urbana, rural, perimetral o carretera y adicionalmente el tipo de motor que se instalara debido a su número de cilindros, disposición. También debemos apoyarnos en la geometría del chasis, la rigidez, peso.

La parte principal en la estructura de un vehículo es el bastidor o chasis ya que todas las fuerzas actúan sobre esta estructura, como por ejemplo el peso del motor, conductor, etc.

Los materiales de construcción del chasis al inicio era el acero, pero con el paso del tiempo han evolucionado con materiales como aluminio, titanio, magnesio hasta llegar a la fibra de carbono.

La geometría de la estructura del chasis va acompañada de la rigidez, estas dos propiedades se pueden combinar para obtener una gran estabilidad.

El avance es la distancia que forma el eje de dirección y el punto de contacto con la rueda.

Los ángulos que hace referencia la figura 22 es el tubo frontal de la dirección y el ángulo de tubo del asiento.

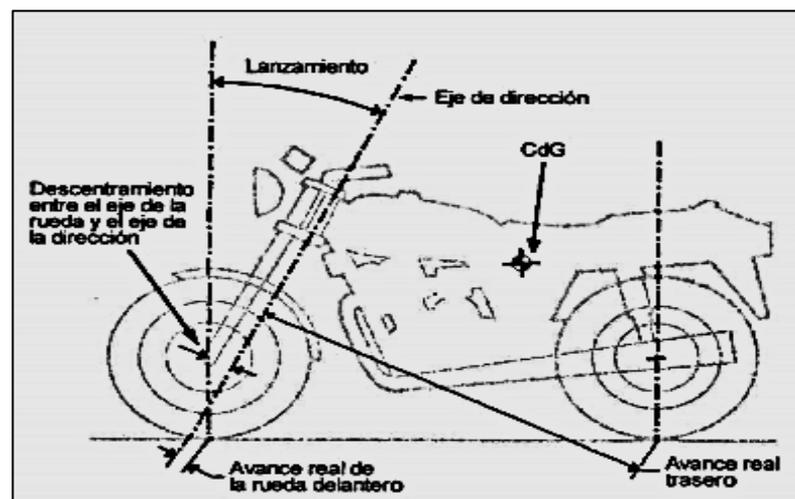


Figura 22, Geometría de dirección de la motocicleta

Fuente: (Honda, 2012)

### 2.3.3 Sistema Motriz

El motor es el encargado de convertir la energía química en movimiento longitudinal, este movimiento se transmite a las ruedas motrices mediante cadenas, bandas, ejes rotativos depende de la necesidad de cada vehículo.

### **2.3.3.1 Partes del Motor**

#### **2.3.3.1.1 Bloque de cilindros**

El bloque de cilindros es la parte principal del motor donde se alojan las partes móviles como pistones y no móviles como los cilindros, el material que compone los bloques de cilindros son de hierro fundido, aluminio en la actualidad se utilizan aleaciones de acero y aluminio.

#### **2.3.3.1.2 Cilindros**

Existen cavidades dentro del bloque de cilindros en las cuales se desplazan los pistones para el ingreso de la mezcla aire combustible, después se la comprime para combustionar lo cual genera movimiento longitudinal y se transmite este movimiento a las ruedas motrices.

#### **2.3.3.1.3 Carter de Aceite**

El Carter de aceite es un depósito de aceite, se encuentra ubicado en la parte inferior del bloque de cilindros, el carter de aceite es una tapa la cual tiene como función principal alojar el aceite para la lubricación del motor, retener impurezas, proteger al motor.

#### **2.3.3.1.4 Culata**

La culata se encuentra en la parte superior del bloque de cilindros, se puede decir que se encuentra la cámara de compresión, válvulas de admisión, válvulas de escape y las bujías.

El material que conforma la culata es de hierro fundido, aluminio, aleaciones de acero y aluminio.

#### **2.3.3.1.5 Pistón**

Es una parte móvil del motor de combustión interna tiene como función la succión de la mezcla aire combustible y la evacuación de los gases quemados. Su movimiento va desde el punto muerto superior al punto muerto inferior además es el encargado de transmitir el movimiento generado por la combustión al cigüeñal a través de la biela.

### **2.3.3.1.6 Biela**

Es un brazo que transmite la fuerza longitudinal y la transforma en fuerza circular en el cigüeñal la cual a su vez se dirige al volante de inercia.

### **2.3.3.1.7 Cigüeñal**

Es un eje que posee distintos apoyos los cuales recibe el movimiento longitudinal del pistón – biela y lo transforma en un movimiento giratorio, el cigüeñal está conformado de aleaciones de acero y aluminio, su conformado lo realizan en caliente para aliviar las tensiones.

#### **2.3.3.1.7.1 Especificaciones**

- Cilindrada: 150 cc
- Distancia entre ejes: 195 cm
- Longitud total: 250 cm
- Ancho total: 120 cm
- Altura: 150 cm

El motor para el vehículo posee un motor de 150 cc con una velocidad máxima de 50 Km/h a 1200 rpm (según la ley transito), es un motor de combustión interna de dos tiempos el sistema de enfriamiento es al ambiente.

### **2.3.4 Sistema de Dirección**

El sistema de dirección es un conjunto de mecanismos, su objetivo es guiar la o las ruedas por una trayectoria deseada por el conductor.

El sistema de dirección del vehículo debe cumplir las siguientes características:

**Suavidad:** nos ayuda para una buena maniobrabilidad al momento de conducir, se consigue realizado que todas sus piezas encajen perfectamente y con un correcto ajuste.

**Precisión:** esta característica va ligada al confort al momento de conducir el vehículo, la dirección del vehículo no debe ser dura debido a que dificulta el movimiento y control adecuado del vehículo, por el contrario tampoco debe ser muy suave debido a que se produce una inestabilidad al momento de existir grandes irregularidades en la vía.

**Seguridad:** se puede decir que la fiabilidad del sistema de dirección depende tanto del mecanismo a utilizar como de los materiales a emplear en la construcción.

Existen varios tipos de sistemas de dirección el tornillos sin fin, por tornillo y palanca, por cremallera, manillar.

#### **2.3.4.1 Sistema Manillar**

El sistema de dirección manillar es el que se usa en bicicletas y motos este sistema carece de multiplicadores posee un manillar con un radio de giro en vez del volante, este a su vez es unido a un eje o barra de dirección, además posee bridas de sujeción que se unen a la rueda delantera.

La ventaja de la dirección manillar es que su diseño es sencillo y directo en comparación con el sistema de dirección de los automóviles debido a que poseen mecanismos complejos de varias piezas, ejes y engranajes por lo que el sistema de dirección manillar resulta de fácil y rápido mantenimiento además el costo no es elevado.

La dirección manillar como se muestra en la figura 23, posee adicionalmente una envidiable precisión al momento de conducir, las irregularidades de la calzada se siente en el manillar por lo que es muy sensible para el conductor por lo que le ayuda a tener un mejor control del vehículo.

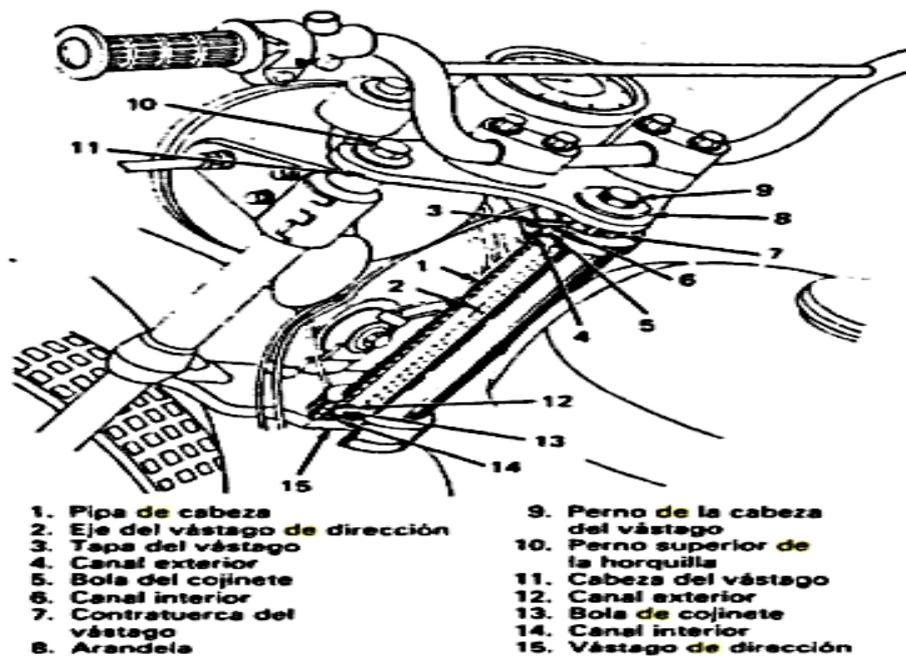
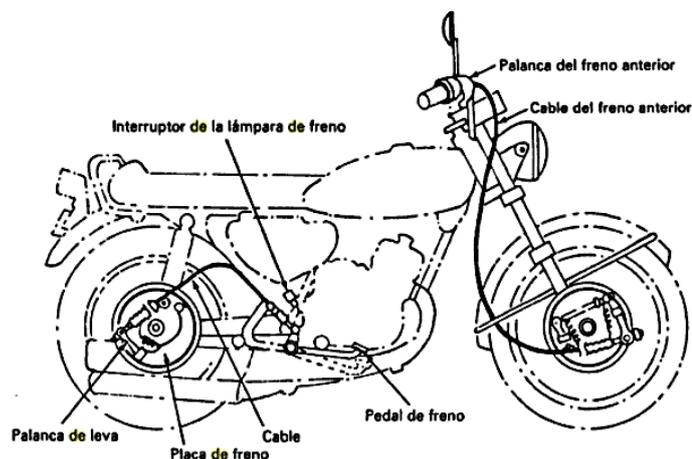


Figura 23, Detalles de un Sistema de Dirección

Fuente: (Kawasaki, 2002)

### 2.3.5 Sistema de Frenos

El principio de funcionamiento del sistema de frenos se basa en la Ley de Pascal la cual establece que cuando se aplica presión a un líquido en un recipiente cerrado, la fuerza resultante se transmite a todas las direcciones por igual sin reducirse. La función principal del sistema de frenos es reducir la velocidad del vehículo paulatinamente hasta detenerlo si fuera el caso mediante la fricción de dos materiales, en la figura 24 se puede observar un esquema general.



**Figura 24,** Sistema de Frenos de Tambor

**Fuente:** (Kawasaki, 2002)

### 2.3.5.1 Clasificación de sistemas de frenos

Existen dos clasificaciones principales:

#### 2.3.5.1.1 Frenos de tambor

En general la mayoría de este sistema de frenos se encuentra en automóviles de carga como por ejemplo camionetas, camiones de carga liviana, camiones de carga pesada, buses, volquetas, tráileres.

El funcionamiento comprende desde que se acciona el pedal del freno este mando acciona ordena a las zapatas que se expandan o se liberen al momento de soltar el pedal del freno.

Las partes constitutivas del sistema de frenos detalladas en la figura 25 son el tambor es la parte móvil va acoplado antes de la rueda además se sujeta con pernos, espárragos, tuercas en cambio las zapatas se encuentran fijadas a un placa de freno que es el elemento fijo, se encuentra sujeto a la mangueta las zapatas son sujetas con resortes al plato y son accionadas mediante las levas de freno.

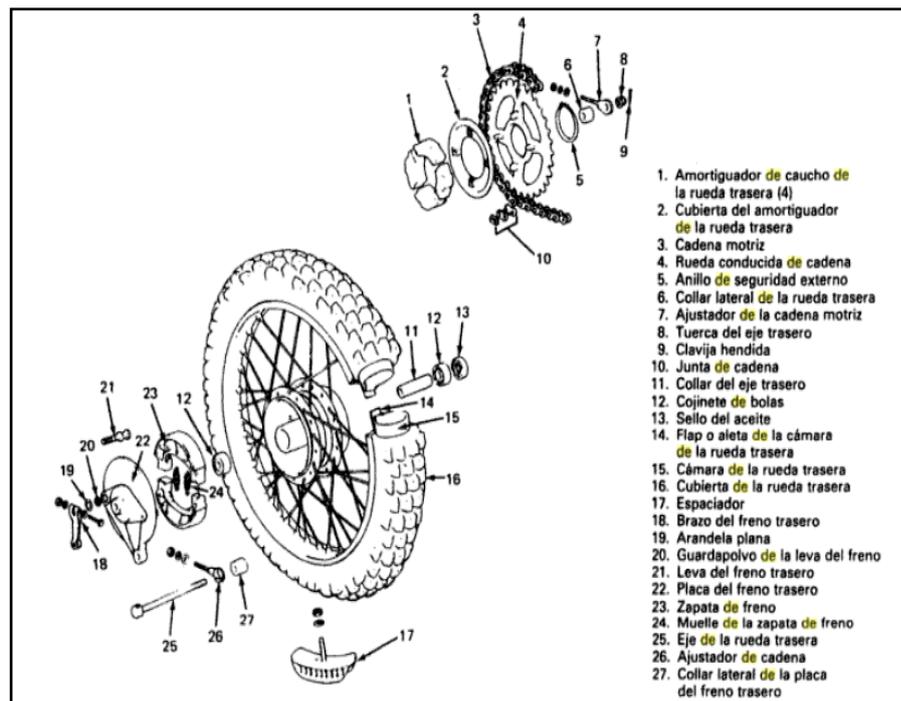
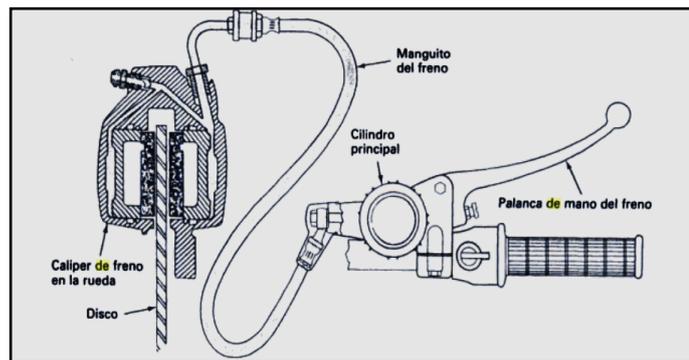


Figura 25, Despiece de la rueda y el freno trasero

Fuente: (Honda, 2012)

### 2.3.5.1.2 Frenos de disco

En la actualidad es común encontrar en todo tipo de vehículo liviano posee el sistema de frenos de disco detallado en la figura 26, como en motocicletas, automóviles; se utiliza para este tipo de automotores debido a que no trabajan con grandes masas, se puede decir que el sistema de frenos de disco reduce la distancia de detención del vehículo (el arrastre).



**Figura 26,** Diagrama de un sistema de Freno de Disco Delantero

**Fuente:** (Honda, 2012)

### 2.3.6 Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico de todo automotor se encarga del arranque del motor, alumbrado como por ejemplo el faro, luz de matrícula, luz de pare, bocina, luces direccionales.

El sistema eléctrico consta de algunas partes principales como:

**2.3.6.1 Caja de fusibles:** Los fusibles son una seguridad para todo el sistema eléctrico debido a que si existe un corto circuito o una descarga eléctrica se funden primero.

**2.3.6.2 Líneas Eléctricas:** es el cableado que recorre toda la motocicleta para que se distribuya la electricidad a todos los accesorios.

**2.3.6.3 Arnés:** se puede verificar que no posea falsos contactos, así mismo que no se encuentre contaminado, cero humedades, polvo o sarro de lo contrario no existe una correcta continuidad de corriente.

**2.3.6.4 Interruptores:** cumple la función de encender el motor y demás accesorios, se encuentra expuestos a la intemperie por lo que es más probable que sufran desgaste.

**2.3.6.5 Luces:** existen luces de parqueo, luces direccionales, luces de guía, luces de faro, luces de stop por lo general son accesorios de conducción las leyes son muy claras y todo tipo de vehículo automotor está regulado.

### **2.3.7 Sistema de Transmisión**

El sistema de transmisión tiene la finalidad de dar movimiento a las rueda motriz mediante distintos elementos mecánicos como pueden ser cardan, cadena, correa dentada.

A continuación los tipos de sistemas de transmisión:

#### **2.3.7.1 Transmisión por cadena:**

Este sistema de transmisión por cadena es utilizado un porcentaje que rodea el 95 por ciento de la población del país debido a su fácil mantenimiento, los elementos que conforman el sistema de transmisión por cadena es una cadena, un piñón y la corona que forman parte del mecanismo que aprovecha al máximo la potencia del motor logrando redirigir el movimiento del motor a la rueda motriz.

#### **2.3.7.2 Transmisión por cardan:**

El sistema de transmisión por cardan se encuentra conformado por engranajes cónicos y un eje de transmisión, los elementos mecánicos son los encargados

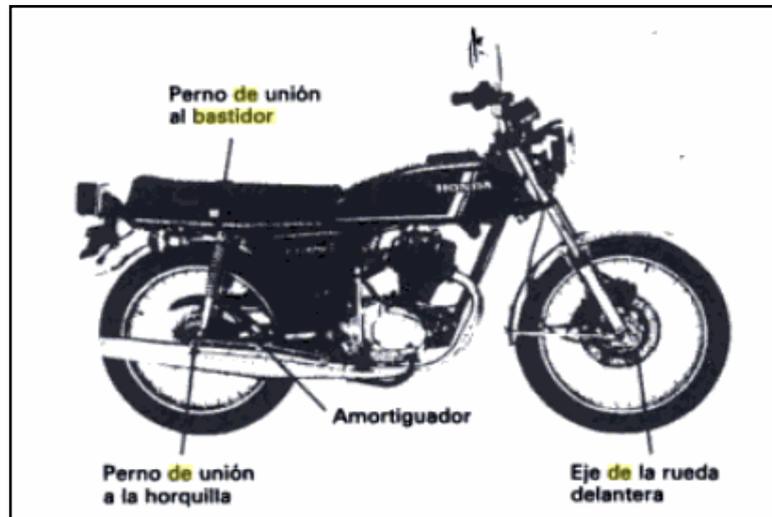
#### **2.3.7.3 Transmisión de Potencia – Correa Dentada con Engranaje**

Este sistema de transmisión consta de una correa dentada, un engrane y la corona es encargada de llevar el movimiento del motor a la rueda posterior o a la rueda motriz.

### **2.3.8 Sistema de Suspensión**

La función del sistema de suspensión es brindar estabilidad y confort al momento de conducir la motocicleta se presenta un esquema básico de estos en la figura 27. El sistema de suspensión para cumplir con este fin consta con distintos elementos

mecánicos como amortiguadores y espirales los que absorben los defectos e irregularidades de la calzada.



**Figura 27,** Sistema de Suspensión

**Fuente:** (Honda, 2012)

### **2.3.8.1 Espirales**

Los espirales son elementos del sistema de suspensión que aprovecha las propiedades elásticas de los materiales para absorber las irregularidades. Las funciones que cumple los espirales o muelles del sistema de suspensión:

- Absorbe impacto de la calzada por flexión y torsión
- Suspender movimientos bruscos.
- Proporciona una estabilidad al conducir.
- Brinda seguridad y confort al momento de manejar el vehículo.
- Trabaja para reducir el impacto del bastidor.

### **2.3.8.2 Amortiguadores:**

Es un elemento que sirve para absorber vibraciones de los elementos elásticos (espirales, muelles, ballestas, etc.). Al momento de que existe una irregularidad en la calzada el amortiguador se comprime o se estira según los requerimientos, absorbe la

energía mecánica producida por la no continuidad de la vía, se transmite la energía almacenada en el amortiguador al bastidor que este a su vez va sujeto a la carrocería.

Existen amortiguadores fijos y regulables, los amortiguadores fijos poseen siempre la misma dureza mientras los regulables existen un margen en donde pueden variar su dureza.

#### **2.3.8.2.1 Tipos de amortiguadores:**

Los más comunes en la actualidad son los tipos telescopio, su funcionamiento es de tipo hidráulico.

- Los amortiguadores convencionales hidráulicos son mono tubo y bitubo en esta categoría existen fijos y regulables.
- Los amortiguadores a gas monotubo y bitubo en esta categoría existen no regulables.
- Los amortiguadores a gas monotubo en esta categoría existen regulables.

#### **2.3.8.3 Suspensión delantera**

En general existen varios tipos de suspensión una de las primeras que apareció fue la horquilla tipo Girder, pero con el paso del tiempo alrededor de los años 50, la horquilla telescópica se estableció debido a su amortiguación con fricción.

##### **2.3.8.3.1 Horquillas con pipa de dirección**

La suspensión delantera con horquillas con pipa de dirección presenta algunas desventajas la horquilla es una palanca que existe sobre la pipa de la dirección, debido al momento de detenerse se producen grandes fuerzas las cuales son absorbidas por el bastidor el que debe ser muy robusto para soportar.

##### **2.3.8.3.2 Suspensiones por rueda empujada**

Este tipo de suspensiones poseen una estructura tubular ensamblada a la dirección con dos brazos articulados se colocan anclajes para los amortiguadores.

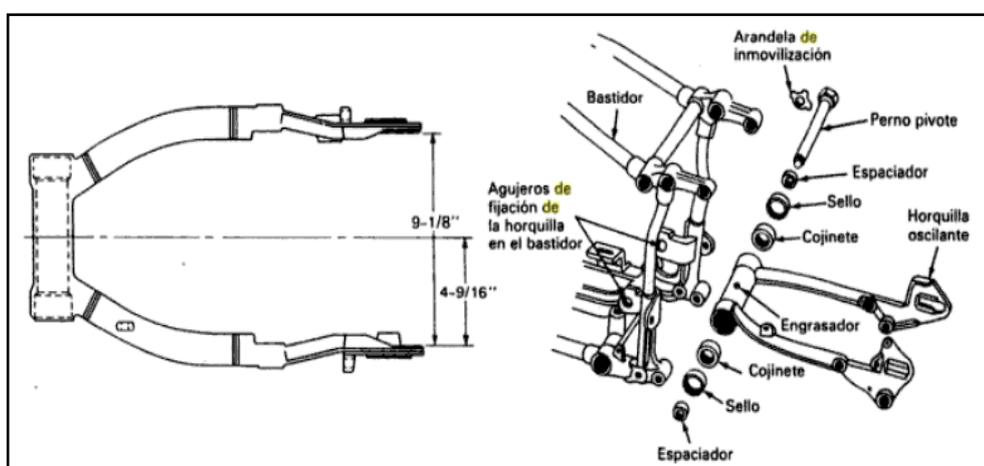
Existen brazos articulados dependiendo de la forma o de la necesidad a cumplir como pueden ser independientes o también en forma de U para la parte posterior de la rueda.

### 2.3.8.3.3 Suspensión por rueda tirada

La suspensión en cualquier tipo mejora la manera de conducción al absorber las irregularidades este tipo de suspensión por rueda tirada difiere de la rueda empujada en que los brazos articulados se encuentra por delante del eje de la rueda, existe una desventaja con el eje de dirección debido a que la inercia se incrementa.

### 2.3.8.4 Sistema posterior

Los primeros sistemas de suspensión posterior fueron muy sencillos y eran orientados para ensamblar en chasis rígidos. En los años 50 el sistema de suspensión posterior más común fue el plunger pero después el de brazo oscilante fue reemplazando en todo el mundo y se detalla en la figura 28.



**Figura 28,** Detalles de una Horquilla traseras y de las piezas de fijación.

**Fuente:** (Harley, 2015)

### 2.3.8.4.1 Diseño tradicional

El sistema se usa generalmente en todo tipo de motocicletas el amortiguador va sujeto del extremo superior al bastidor y el extremo inferior al brazo oscilante el cual es detallado en la figura 29.

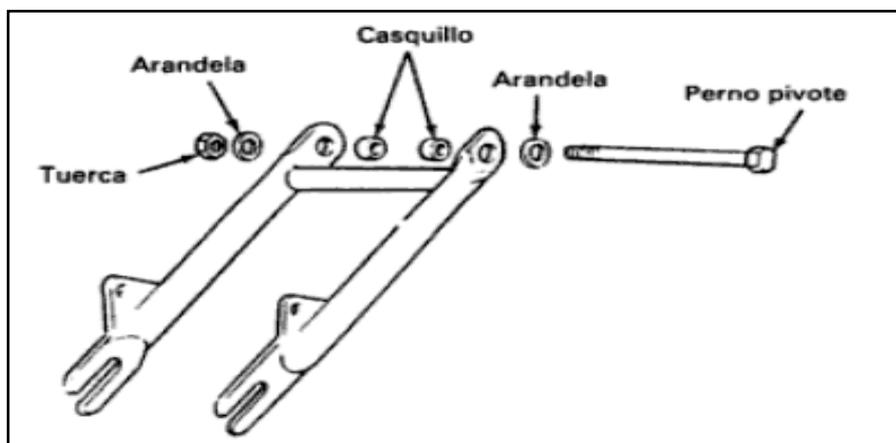


Figura 29, Horquilla trasera de una motocicleta peso ligero

Fuente: (Harley, 2015)

### 2.3.8.4.2 Diseño mono shock

En este tipo de diseño se utiliza un solo amortiguador que va a soportar al basculante triangulado el cual se detalla en la figura 30.

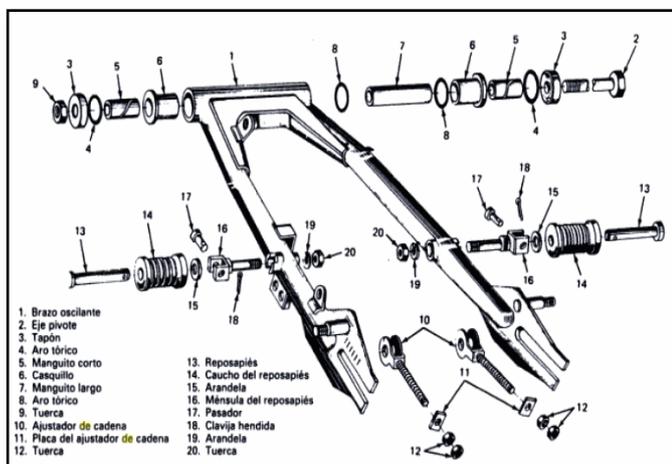


Figura 30, Detalle Horquilla trasera

Fuente: (Kawasaki, 2002)

### **2.3.9 Sistema de Escape**

El sistema de escape tiene la función de evacuar los gases residuales de la cámara de combustión, al momento de abrirse la válvula de escape se crea una presión que llega hasta el final del tubo de escape, se cierra la válvula de escape y en el final del tubo de escape se crea una onda de depresión que retrocede al inicio en donde la válvula de escape se encuentra cerrada.

La onda de depresión vuelve a salir al constar que la válvula de escape se encuentra cerrada.

### **2.3.10 Sistema de Encendido**

Existen dos categorías por magneto y batería, hasta hace poco tiempo las motocicletas utilizaban el encendido por magneto, pero también existe el encendido por descarga de un condensador.

#### **2.3.10.1 Encendido por magneto para motores de dos tiempos**

Este sistema utiliza al magneto que es el encargado de generar la corriente primaria por lo que no se utiliza una batería para generar una corriente. Si se necesita detener el motor solo se coloca el interruptor en OFF, en ese momento se conecta a masa el circuito primario y se detiene el motor.

La funcionalidad para un motor de dos tiempos la leva que produce la apertura o cierre de contactos va montada al ruptor en el extremo del cigüeñal y en consecuencia los dos giran a la misma velocidad, no todos los sistema por magneto van montados al volante en algunos casos van por separados pero la funcionalidad es la misma.

#### **2.3.10.2 Encendido por batería para motores de dos tiempos**

El tipo de encendido por batería posee tres juegos de ruptores y tres bobinas de encendido para un motor de dos tiempos y tres cilindros, todos estos elementos van montados en una platina pero en realidad son tres sistemas separados uno para cada cilindro, estos son activados por una batería y una misma leva

### **2.3.10.3 Sistema de Encendido por descarga de condensador**

Este sistema carece de ruptor pero la función que realiza es la misma ayuda a que las bujías produzcan una chispa en el momento oportuno, el sistema utiliza varios componentes un condensador, diodos, transistores análogos y un rectificador de silicio.

### **2.3.11 Sistema de rampa**

Es una estructura que nos brinda un acceso al usuario al automotor con un ángulo máximo de inclinación de 30 grados.

Se encuentra conformado con perfiles cuadrados de  $\frac{3}{4}$  y espesor de 1.5 mm, estos perfiles forman un rectángulo de 650 \* 800 mm, en su interior su configuración se reduce a 250\*250 mm para mejorar su rigidez y la estructura está recubierta con tool de acero y pintado con un antideslizante especial. .

El sistema puede ser manual, automático o semiautomático depende de la necesidad del usuario además se puede activar por cilindros hidráulicos, electrohidráulicos o engranes.

Todo el sistema fue referenciado de una investigación previa (4).

## **2.4 Simulación y modelamiento en Software**

### **2.4.1 Software de modelamiento en CAD**

El software establecido para el modelamiento de la estructura a construir es CAD es una aplicación de automatización de diseño mecánico que permite a los diseñadores plasmar sus ideas de forma clara y precisa.

Posee modelización en 3D (3 dimensiones) de cada uno de los componentes, en el caso del prototipo estructural podemos verificar distintas combinaciones de los elementos, geometría, tipo de material para encontrar el mejor modelo que cumpla todos los requerimientos establecidos.

El modelamiento nos ayuda a ahorrar tiempo y recursos, en el prototipo estructural debido a que se puede mejorar los puntos críticos o corregir si así lo

requiere, mejorando el funcionamiento de los elementos todo sin la necesidad de la compra de material ni la construcción del mismo.

El proceso de diseño en CAD es:

- Identificar los requisitos de diseño.
- Conceptualizar el modelo en función de las necesidades identificadas.
- Desarrollo del modelo.
- Análisis del modelo.
- Generación del prototipo.
- Construcción del modelo.
- Generación de planos.

La herramienta de CAD se basa en técnicas de modelado paramétrico. Los distintos usuarios pueden establecer el diseño de piezas que se puede combinar con distintos ensambles hasta llegar a prototipo de diseño deseado.

#### **2.4.2 Modelador Paramétrico.**

Las técnicas de modelador paramétrico establece la construcción de la geometría, dimensión y tipo de material establecido para el prototipo, por lo que se puede variar la dimensión del o los elementos establecidos por lo que la geometría se actualiza automáticamente con las nuevas dimensiones.

#### **2.4.3 Software de Simulación CAE**

El software establecido para la simulación del prototipo estructural, este tipo de software realiza cálculos estáticos y dinámicos, el método es mediante elementos finitos obtiene resultados aproximados optimizando recursos.

#### **2.4.4 Análisis de CAE**

Generación del modelo:

- Importar y generar el modelo.
- Características específicas del material.
- Mallado del modelo (generar el mallado).

Solución:

- Establecer el tipo de solución (deformación total).
- Especificar las condiciones requeridas (fijación, fuerzas, etc.)
- Obtener solución.

Comprobación de resultados:

- Validación de resultados.
- Listado de resultados.

## **2.5 Módulos de Simulación en CAE**

### **2.5.1 Static Structural**

Es un módulo de CAE el cual realiza un análisis direccionado a realizar modelos matemáticos bajo cargas aplicadas a distintos elementos en forma estática.

### **2.5.2 Transient Structural**

Es un módulo de CAE se encarga de análisis transitorio estructural o ciclo de análisis por tiempo, se aplica para determinar los desplazamientos variables de tiempo en el que se involucran tensiones, fuerzas y fracturas que se generan en un elemento mecánico bajo cargas por ciclos dinámicos

### **2.5.3 Análisis y Diseño basado en simulación en Software**

El procedimiento establecido para el análisis dinámico transitorio completo consta de los siguientes pasos principales:

1. Construcción o Importación del modelo.
2. Aplicar cargas.
3. Obtener solución.
4. Revisar los resultados.

## **2.6 Análisis Estático y Dinámico**

### **2.6.1 Análisis Estático Estructural**

El Static Structural pertenece al módulo de CAE, es una técnica que sirve para determinar el resultado en modo estático de una estructura, esta estructura se encuentra

sometida a la carga calculada anteriormente aceleración, frenado, cargas vivas, cargas muertas, etc. El análisis estático estructural determina los desplazamientos, tensiones y las fuerzas en los elementos estructurales a diseñar causados por las cargas anteriormente mencionadas las cuales no son inducidas significativamente por la inercia y efectos de amortiguación.

Las condiciones en el análisis estático estructural son para este caso una carga constante y se supone que las cargas en la estructura varían lentamente y paso a paso con respecto al tiempo.

Proceso de análisis Static Structural:

- Seleccionamos Static Structural al proyecto nuevo.
- Guardamos el nuevo proyecto asignamos un nombre.
- Importamos la nueva geometría a analizar.
- En modelo se establece condiciones requeridas.
- Resolver.
- Solución.

### **2.6.2 Análisis Dinámico Transitorio**

El transient structural pertenece al módulo de CAE es una técnica que sirve para determinar un resultado de modo dinámico de una estructura bajo la aplicación de cualquier tipo de carga que depende del tiempo. Se puede establecer este tipo de análisis para el cálculo de variables en el tiempo desplazamientos, tensiones y fuerzas en una estructura debido a su aplicación de con cualquier combinación estática, transitorias y cargas armónicas. El tiempo de la carga aplicada afecta de tal manera que los efectos de la inercia o de amortiguación se consideran importantes.

El programa CAE utiliza el método de integración Newmark tiempo para resolver estas ecuaciones en puntos de tiempo discretos. El incremento de tiempo entre los puntos de tiempo sucesivos se llama el intervalo de tiempo de integración.

### **2.6.3 Análisis Dinámico Transitorio**

El análisis dinámico transitorio generalmente requiere más recursos del equipo y más de sus recursos, en términos del tiempo de ingeniería en cuestión por lo que se puede reducir en forma significativa estos recursos realizando un trabajo preliminar como por ejemplo:

- Primero analizar un modelo sencillo. Un modelo simple con vigas, masas y resortes nos puede proporcionar la información necesaria a un costo mínimo. Por consiguiente podemos determinar la respuesta dinámica de la estructura.
- Se puede realizar primero un análisis estático para comprender la manera que afecta la respuesta al momento de incluir no linealidades.
- Realizar un análisis modal calculando las frecuencias naturales y las formas de los modos se de comprender como se comporta la estructura dependiendo de los modos. Además las frecuencias naturales son importantes al momento de la etapa de tiempo de integración correcta.
- En un problema no lineal se considera su estructuración, las porciones lineales del modelo para reducir los costos de análisis.

#### **2.6.4 Métodos de solución**

Existen tres métodos de solución para resolver el análisis dinámico transitorio: completa, reducida y el método de superposición. El programa de CAE utiliza el método de superposición modal, se puede examinar las ventajas y desventajas del método que utiliza el programa CAE para la solución de los distintos problemas.

#### **2.6.5 Método de Integración**

El método de integración utiliza los completos matrices del sistema para calcular la solución temporal sin reducir la matriz. El método de integración permite todo tipo de no linealidad que incluye plasticidad, grandes deflexiones, grandes deformaciones, etc. se puede decir que es el más poderoso de los tres métodos.

Ventajas del método de integración:

- Utiliza las matrices completas, por lo que la matriz de masa se encuentra incluida.
- Es sencilla de usar, no debe preocuparse por la elección de grados de libertad.
- Al momento de calcular los desplazamientos también se calculan las tensiones.

- Se incluyen todo tipo de carga.

La principal desventaja del método de integración es el más costoso de los tres métodos.

#### **2.6.6 Método Reducción.**

El método reducido aplica la reducción de la matriz de análisis por lo que el tamaño del problema mediante el uso de grados de libertad y matrices reducidas. Una vez realizada el cálculo de los desplazamientos en la matriz reducida CAE expande la solución a la matriz original.

Ventajas del método de Reducción:

- Es rápido de aplicar.
- El costo del método de reducción menor que el método de integración.

Desventajas del método de reducción:

- Calcula solo los desplazamientos en la matriz reducida. Requiere de un segundo paso para el cálculo completo del desplazamiento, tensión y la fuerza.
- No se puede aplicar aceleraciones sin embargo se encuentran permitidos.
- Los grados de libertad deben estar establecidos por el usuario para cada una de las cargas aplicadas.
- El tiempo se mantendrá constante durante el transitorio, no se permite el tiempo paso a paso de manera automática.
- La única linealidad permitida es simple contacto de nodo a nodo.

#### **2.6.7 Método de superposición.**

El método que posee el programa CAE es el de superposición el que consiste sumas por coeficientes formas modales, a partir de un análisis modal para calcular la respuesta de la estructura.

Ventajas del método de superposición:

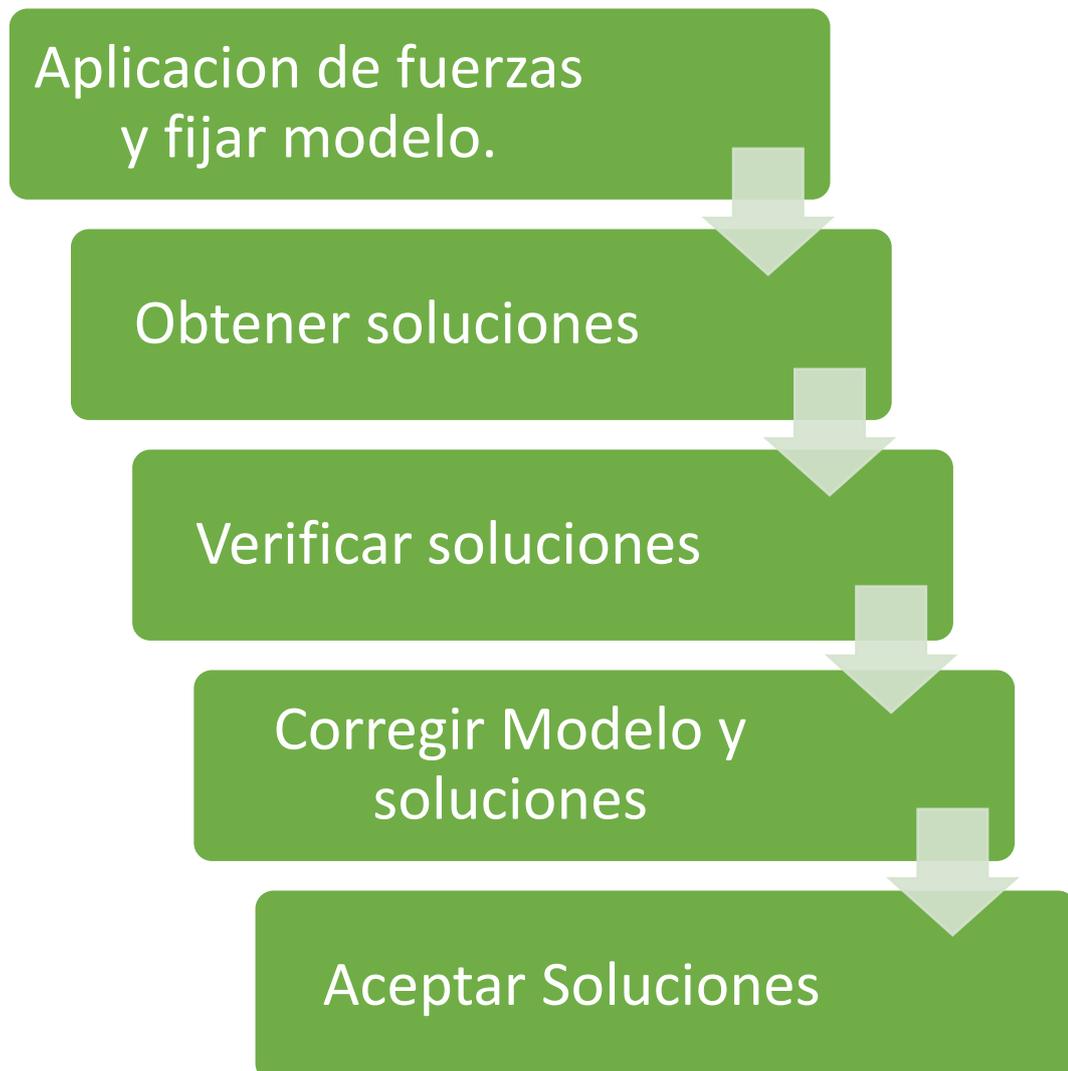
- Es el método menos costoso de los tres y rápido de aplicar.
- Los elementos de cargas aplicados en el análisis modal anterior se pueden aplicar en el análisis dinámico transitorio.

- Se acepta de amortiguamiento modal.

Las desventajas del método de superposición:

- El paso del tiempo se mantiene constante durante el transitorio.
- La única linealidad permitida es simple contacto de nodo a nodo.
- No se utilizan por un flotante o estructura disjuntos.
- Las condiciones iniciales no pueden tener cargas o desplazamiento aplicados previamente.
- No aceptara desplazamientos.

### 2.7 Proceso de Análisis



## **CAPITULO 3**

### **DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL PROTOTIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL.**

#### **3.1 Diseño del prototipo**

##### **3.1.1 Introducción**

Durante el desarrollo del presente capítulo se irá delineando las características definitivas del prototipo, tomando en cuenta las condiciones y escenarios a los cuales estará sometido tanto el sistema estructural como el vehículo en su totalidad.

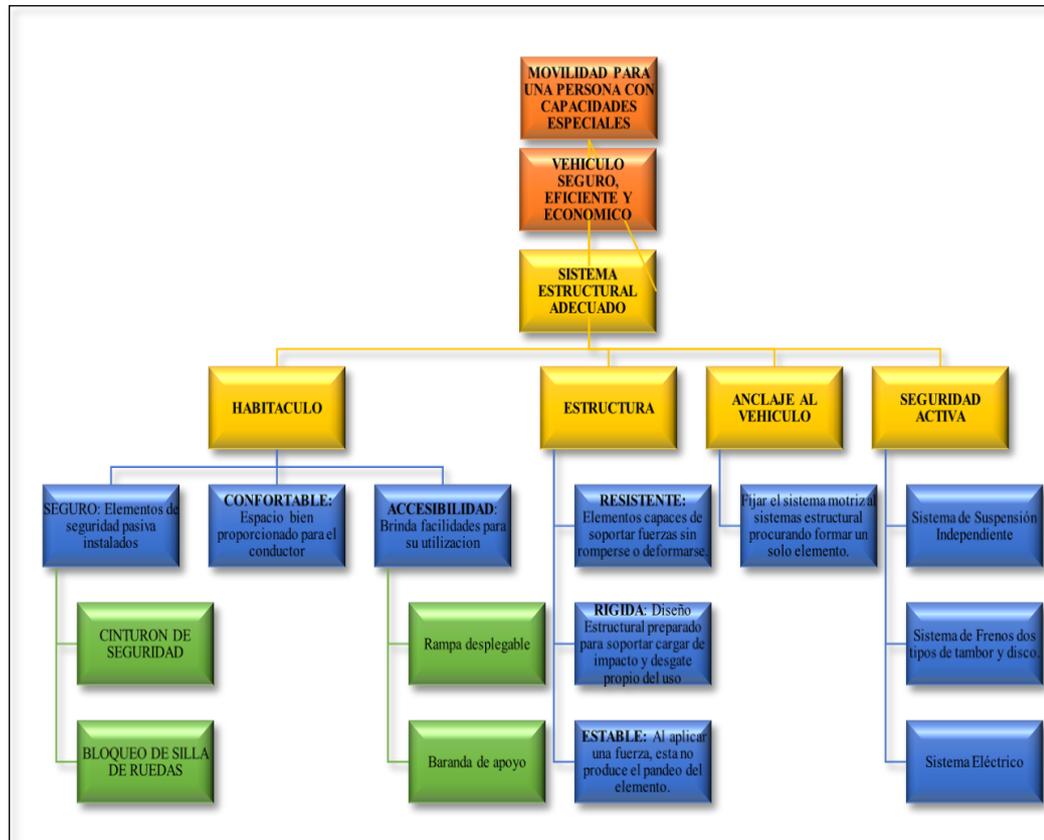
El objetivo del presente capítulo será, el diseño exclusivo del prototipo de sistema estructural. No obstante para fines de comprobación y pruebas de funcionamiento se realizará la selección de algunos requerimientos necesarios del vehículo para su correcto desempeño.

##### **3.1.2 Factores fundamentales para definir el prototipo de sistema estructural.**

Los factores principales que serán evaluados en el siguiente análisis son:

- **Confiabilidad:** Materiales de buena calidad, Procesos de Manufactura adecuados y supervisados, Tipo de Soldadura y material de aporte correctamente seleccionado.
- **Seguridad:** Elementos de seguridad activa y pasiva instalados.
- **Costo:** Minimizar costos con el uso eficiente de materiales.
- **Peso:** Reducir la masa total seleccionando el material y el perfil óptimo.
- **Tipo de Material:** Escoger el tipo de material de mejor propiedades mecánicas.
- **Tipo de Perfil Estructural:** Elegir el perfil con mejor mecanizado y a la vez el que brinde excelentes propiedades mecánicas.

### 3.1.3 Diseño conceptual



#### 3.1.3.1 Detalle conceptual del vehículo

A continuación detallaremos los procedimientos realizados a cada uno de los sistemas complementarios del sistema estructural. A continuación detallaremos la imagen del vehículo realizada para fines de simulación y la imagen real del producto final detallada en la figura 31.



**Figura 31,** Descripción Gráfica del vehículo y sus sistemas

### 3.1.3.1.1 Sistema Motriz.

Al ser un vehículo tricimotor, se esperaría que la transmisión sea distribuida a las dos ruedas posteriores, para lo cual sería necesario la utilización de un diferencial. Esto motivó a tener una sola rueda motriz por la configuración del vehículo seleccionado y la optimización de recursos, lo que se evidencia en la figura 32.



**Figura 32,** Descripción Gráfica configuración Sistema Motriz.

### 3.1.3.1.2 Anclaje.

El objetivo de este sistema es unificar en un solo cuerpo el sistema motriz, de dirección y estructural mediante el uso de procesos de soldadura.

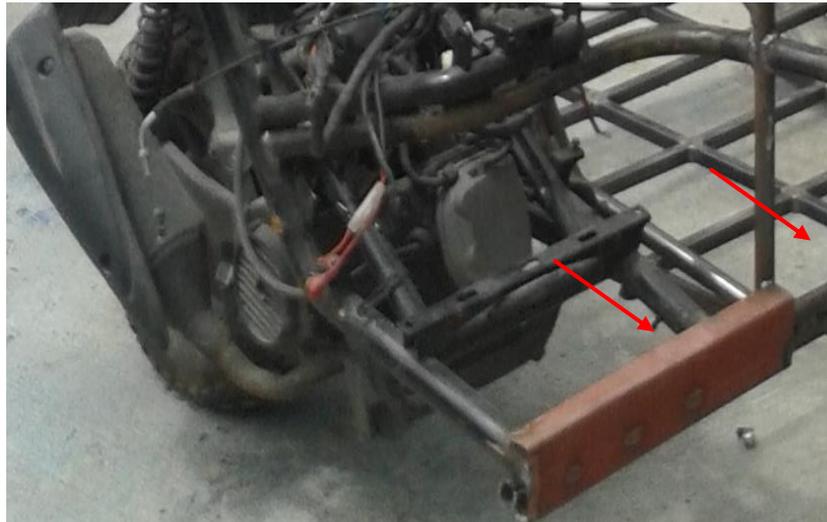
El anclaje se divide en tres puntos de apoyo con el sistema motriz y en el mismo número con el sistema de dirección, los cuales detallaremos a continuación:

1. Apoyo delantero superior (figura 33), el cual fue realizado con un tubo de presión de 4 mm de espesor y que se une al lateral derecho del sistema estructural y al apoya asiento de la motoneta.



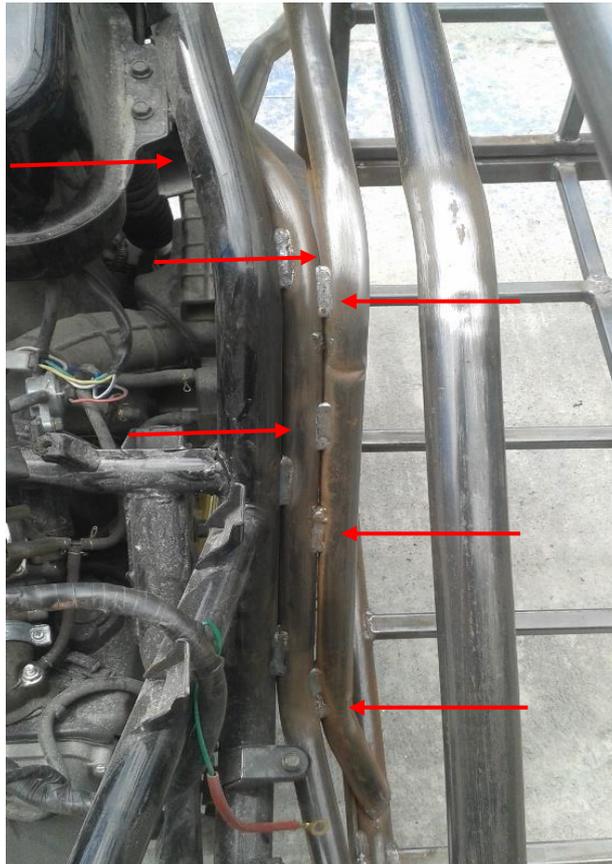
**Figura 33,** Descripción Gráfica Anclaje delantero superior

Apoyo delantero inferior (Figura 34), el cual une de forma perpendicular dos tubos (1plg de diámetro y 2mm de espesor) del sistema estructural y los tubos propios del bastidor original de la motoneta (1.5 plg de diámetro y 4 mm de espesor), además de contar con un perfil U (60\*20) para lograr mejorar la unión y el aspecto de la misma.



**Figura 34,** Descripción Gráfica Anclaje delantero inferior

2. Apoyo lateral (Figura 35), su configuración se realizó en forma paralela y une dos tubos (1plg de diámetro y 2mm de espesor) del lateral derecho del sistema estructural, con el tubo (2 plg de diámetro y 2.5 mm de espesor) del bastidor de la motoneta, mediante cordón de soldadura intermitente.



**Figura 35,** Descripción Gráfica Anclaje lateral

3. Apoyo inferior medio (Figura 36), el objetivo de esta unión es lograr nivelar la dirección de la motoneta, el sistema estructural y el piso. La configuración se establece en forma paralela entre tres tubos (1plg de diámetro y 2mm de espesor) del bastidor del sistema estructural y parte del bastidor del piso de la motoneta, reforzado por un ángulo de 50\*50, el cual es el encargado de alinear los tubos y reforzar esta unión. Para mejorar el aspecto de la junta se recubre con una placa de aluminio antideslizante. Esta unión fue realizada con soldadura intermitente y de contorno.



**Figura 36,** Descripción Gráfica Anclaje Inferior Medio

4. Apoyo intermedio y superior (Figura 37), su objetivo es estabilizar el sistema estructural y el sistema de dirección, equilibrando las reacciones de los verticales con la parte intermedia del manubrio.

La configuración se realiza con dos tubos de presión (1.5 plg de diámetro y 4 mm de espesor) y los verticales del sistema estructural (1plg de diámetro y 2mm de espesor), con un punto de apoyo específico en el manubrio. La distancia existente entre los dos apoyos es reforzado por un tubo (1plg de diámetro y 2mm de espesor) de 15 cm.



**Figura 37,** Descripción Gráfica Anclaje Intermedio y superior

### **3.1.3.1.3 Sistema de Suspensión.**

El objetivo principal de este sistema es reducir y absorber los efectos ocasionados por las desigualdades de los terrenos por donde se desplaza el vehículo. Su configuración es similar a la suspensión posterior de la motoneta.

La suspensión del sistema estructural se configuro de tal manera de aprovechar la suspensión delantera y posterior derecha de la motoneta y realizar una réplica de esta última para el lado izquierdo del vehículo, que se identifica en la figura 38.

Se construyó una bóveda la cual alojara al sistema, asimismo una horquilla que tendrá como principal función ser el soporte de los amortiguadores y el conjunto del neumático. Su configuración en forma de H se logró con el uso de perfil estructural cuadrado de  $\frac{3}{4}$  \* 1.5 de espesor, además se reforzó la parte superior con un tubo de presión (1.5 plg de diámetro y 4 mm de espesor), el mismo que servirá para fijar los amortiguadores a la estructura.



**Figura 38,** Descripción Gráfica Sistema de suspensión

#### **3.1.3.1.4 Sistema de Eléctrico.**

El objetivo de este sistema es proporcionar iluminación y guía, cuenta con el sistema estándar de la motoneta para luces altas, bajas, medias, direccionales tanto delanteras como posteriores y además una guía doble en la parte posterior derecha la cual cumplirá las funciones de guía, stop y direccional.



**Figura 39,** Descripción Gráfica Sistema Eléctrico

#### **3.1.3.1.5 Seguridad pasiva.**

Se realizaron múltiples acciones para asegurar la seguridad del ocupante las cuales detallaremos a continuación:

1. Dos cinturones de seguridad, los cuales cumplirán la función de restringir el movimiento horizontal y vertical de la silla de ruedas y de su ocupante, la elección de estos elementos de seguridad pasiva, se realizó para no limitar a un solo modelo de silla de ruedas.
2. El piso del habitáculo y la rampa se configuraron de manera que la distancia máxima entre los travesaños y largueros sea menor a 25 cm, asimismo se instaló acero antideslizante con un acabado de UNITHANE-BATEPIEDRA para mejorar la adherencia al mismo.
3. Instalación de dos seguros adicionales en la rampa, los cuales impedirán que la rampa se despliegue sin que estos hayan sido desactivados.
4. La utilización del casco homologado resulta obligatorio para preservar la seguridad del ocupante del vehículo.

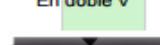
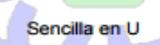
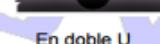
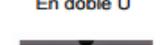
#### **3.1.3.1.6 Soldadura.**

A continuación detallaremos todos los parámetros utilizados durante el proceso de soldadura, tomando en cuenta que una vez seleccionado el proceso de soldadura GMAW, el tipo de material de aporte y de material base.

Es necesario conocer las diferentes variables que nos permitirán sacarle el mayor provecho al proceso seleccionado.

#### **Uniones soldadas**

Existen varios tipos de uniones soldaduras con angulo, soldaduras a tope, de penetracion completa y de penetracion parcial las cuales se pueden identificar en la Figura 40. En ninguna de las soldaduras sea a tope o con angulo las piezas no necesitan preparacion el metal base y la diferencia que existe entre la penetracion parcial y completa , comprende que la una alcanza el espesor del material base.

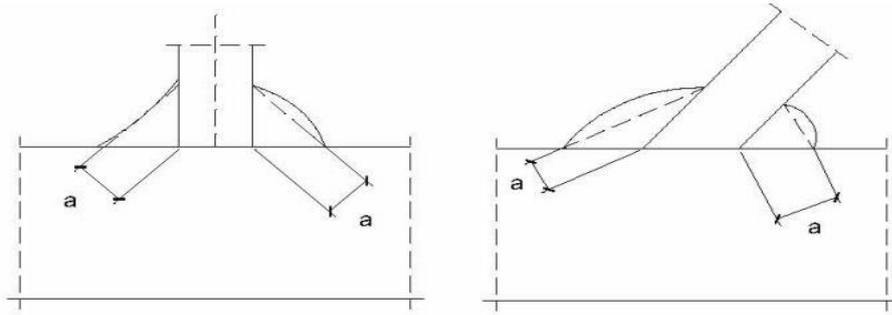
Tipo de soldadura	Tipo de unión		
	Unión a tope	Unión a tope en T	Unión de solape
Soldadura en ángulo			
Soldadura de ojal (o en ranura)			
Soldadura a tope con penetración completa	Sencilla en V  En doble V  Sencilla en U  En doble U 	   	
Soldadura a tope con penetración parcial	En doble V  En doble U 	En chafán doble 	

**Figura 40,** Tipos de uniones en tubería.

**Fuente:** (ARATEC, 2015)

### **Garganta de la soldadura**

El espesor de la garganta ( $a$ ) de la soldadura (Figura 41) se establece dependiendo del ángulo, la garganta es mayor para las alturas consideradas, se mide una perpendicular a la cara exterior respecto a los triángulos que forman en la superficie de las piezas que hayan penetrado y la superficie exterior, .



**Figura 41,** Grafica de configuración de soldadura, tamaño de garganta

**Fuente:** (Asta, 2014)

Al realizar el cordón se deber tomar en cuenta las siguientes limitaciones de la garganta, detalladas en la Figura 42:

- El espesor de la garganta no debe ser menor a 3mm en la soldadura en angulo.
- Si existe una penetracion profunda, se debe tomar en cuenta la siguiente figura para conseguir de forma estable la penetracion requerida.
- Si existe soldadura automatica con arco sumergido se puede considerar sin ningun ensayo el incremento del espesor en un 20% hasta 2 mm.

<b>Espesor de garganta, <math>a</math></b>			
	<b>EAE</b>	<b>DB SE-AE</b>	<b>EC3</b>
Caso General	$a \geq 3 \text{ mm}$ en chapas de espesor $\leq 10 \text{ mm}$	$a \geq 4 \text{ mm}$	$a \geq 3 \text{ mm}$
	$a \geq 4,5 \text{ mm}$ en chapas de espesor $\leq 20 \text{ mm}$		
	$a \geq 5,6 \text{ mm}$ en chapas de espesor $> 20 \text{ mm}$		
Para piezas de sección tubular	$a \geq 0,7 \times t_{\min}$		

**Figura 42,** Espesor de Garganta

**Fuente:** (ARATEC, 2015)

### Calculo del espesor de la garganta

$$a = 0,7 * t_{min}$$

$$a = 0,7 * 2 \text{ mm}$$

$$a = 1,4 \text{ mm}$$

### Parametros de Soldadura

**1. Parametros predeterminados:** seleccionamos estos paramentros antes de iniciar la soldadura.

- Tipo de electrodo
- Diametro del electrodo
- Tipo de gas de proteccion
- Flujo de gas de proteccion

**2. Parametros dependientes del equipo:** se ajustan en el equipo de soldadura.

- Tension
- Inductancia
- Velocidad de alimentacion del alambre

**3. Parametros dependientes del operario:** este tipo de parametros depende de la habilidad del soldador.

- Velocidad de soldadura
- Inclination de la pistola
- Distancia de la boquilla de contacto a la pieza

### Parametros de la máquina

Para establecer la velocidad de avance de soldadura se utiliza 30 segundos mientras pulsamos la pistola, al finalizar medimos el alambre. La distancia medida la duplicamos y obtenemos la velocidad de avance la cual se puede identificar en la Figura 43.

$$dal = 3,18 \text{ m en } 30\text{segundos}$$

$dal = 6,36 m$  en 60segundos

### Parametros

- Tipo de electrodo : E70S-6
- Diametro del electrodo: 0.8 mm
- Tipo de gas de proteccion : Dioxido de Carbono
- Flujo de gas de proteccion : 10 litros/min
- Tension :20 V
- Inductancia:14,64 J/mm
- Velocidad de alimentacion del alambre:5.9 m/min
- Velocidad de soldadura:6.36 m/min
- Inclinacion de la pistola : 90 grados
- Distancia de la boquilla de contacto a la pieza: 15mm

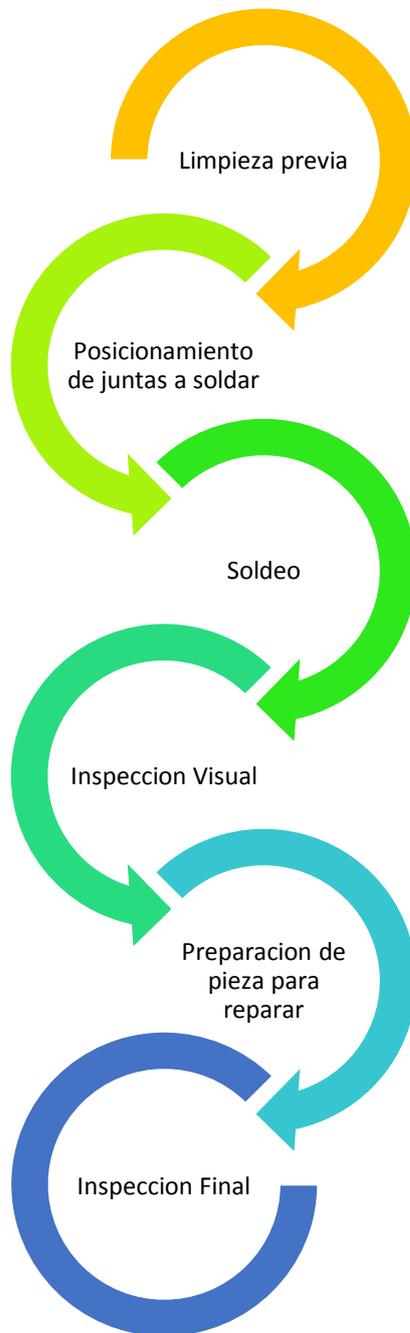
### Ajuste de la maquina

MIG/MAG Soldadura de los aceros al carbón								
	Espesor del material (mm)	Separación o abertura (mm)	Diametro del alambre	Material depositado (g/m)	Velocidad de alimentación (m/min)	Amperaje (A)	Velocidad de soldadura (cm/min)	Voltaje (V)
	1	0	0,6	0,02	7,0	60	83	14
	2	1,0	0,8	0,03	6,8	110	83	16
	3	2,0	1,0	0,05	6,0	150	63	20/22
	6	2,0	1,2	0,085	3,5	205	50	22/26
	6	1,5	1,0	0,145	6,8/6,0	150/190	68/45	20/24
	10	2	1,2	0,239	6,0/24	150/340	38/60	20/34
	15	2	1,2	0,620	6,0/24	150/340	38/60	20/34
	20	3	1,6	1,450	6,0/12	200/430	44/450	20/38
	2	0	0,8	0,04	10/17	110	61/113	16
	4	0	1,0	0,078	7/13	180/280	54/99	22/34
	6	0	1,2	0,176	5/14	200/350	24/67	24/35
	12	0	1,2	0,673	5/14	200/350	7/17	24/35
	20	0	1,2	1,817	5/14	200/350	2,5/6,5	24/35

Figura 43, Parametros de Soldadura

Fuente: (Lincoln, 2014)

## Proceso de soldadura



## 3.2 DISEÑO ESTRUCTURAL

### 3.2.1 SISTEMA DE REFERENCIA

#### INTRODUCCIÓN

El conjunto de coordenadas conforman el sistema de referencia, se pueden establecer coordenadas para identificar un punto en el espacio. Además se puede establecer un sistema de referencia fijo o móvil dependiendo de la situación o el caso a analizar.

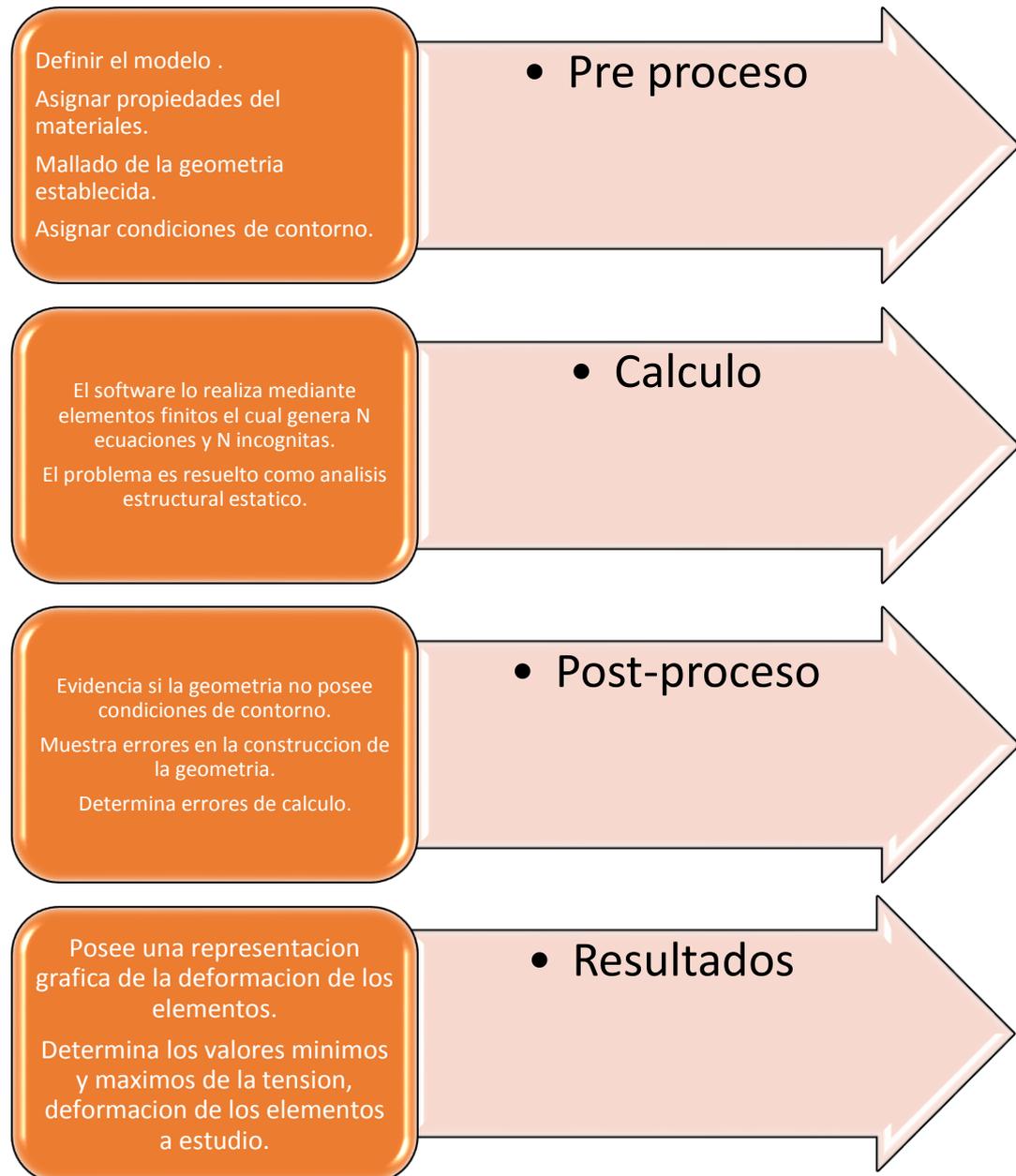
El sistema de referencia que se utiliza para este tipo de vehículo tricimoto es de tres dimensiones tomando como punto de referencia al centro de gravedad. Se utiliza las coordenadas del plano vertical transversal de referencia(X), plano vertical longitudinal de referencia (Y), plano horizontal de referencia (Z) por lo que se debe trabajar con las tres coordenadas.

Para poder establecer el Sistema de Referencia, se considera que el vehículo estará sometido a seis grados de libertad de un cuerpo espacial.



**Figura 44,** Sistema de referencia del sistema estructural

### 3.2.2 Metodología utilizada para el Análisis estructural del prototipo del sistema estructural



### 3.2.3 Centro de gravedad

El centro de gravedad es el punto en donde la masa total de todo el vehículo y ocupantes es equilibrada, obteniendo el centro de gravedad se puede realizar el análisis y comportamiento. Existen varios métodos para encontrar el centro de gravedad para esto se debe conocer todas las masas de los elementos, componentes, etc. y donde se encuentra exactamente ubicado cada una de las masas.

El centro de gravedad o centro de masa es un punto en el vehículo en el que se aplican las fuerzas de inercia, se puede decir que los resultados que se obtengan al realizar una aceleración o desaceleración es una resistencia del vehículo.



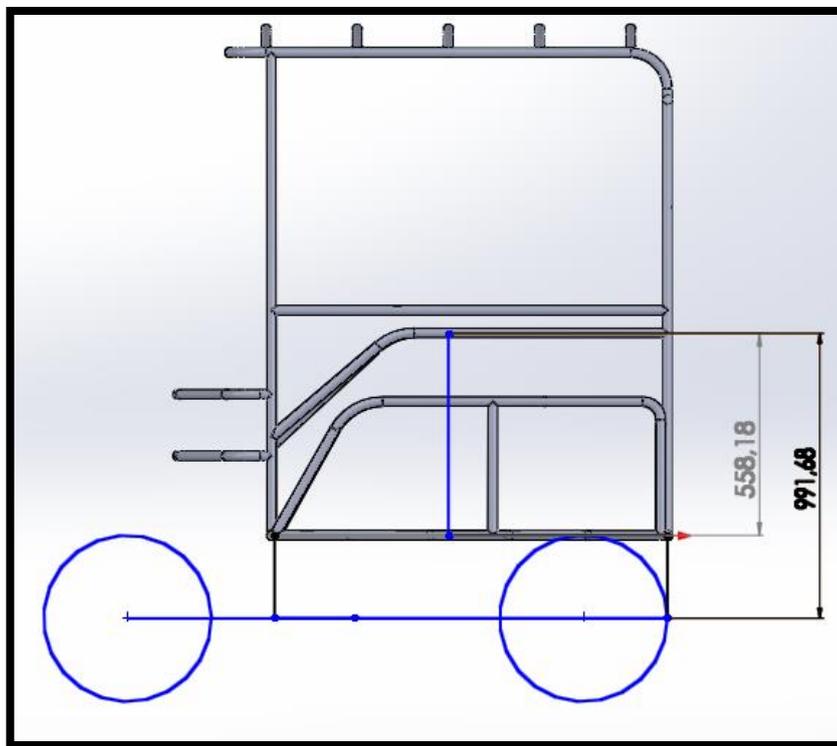
Figura 45, Diagrama de posición del centro de gravedad

#### 3.2.3.1 Altura del centro de masa

Mientras la altura del centro de masa tiene más distancia con la referencia del contacto de la superficie, la transferencia de carga será mayor. Por lo que las motos de competición al momento de un frenado brusco la rueda posterior se levanta debido a que su centro de masa se encuentra más alto de lo normal.

Se puede decir que esto ocurre normalmente cuando la altura del centro de masa es mayor 45% - 55% de la distancia entre ejes, con estas condiciones la rueda posterior

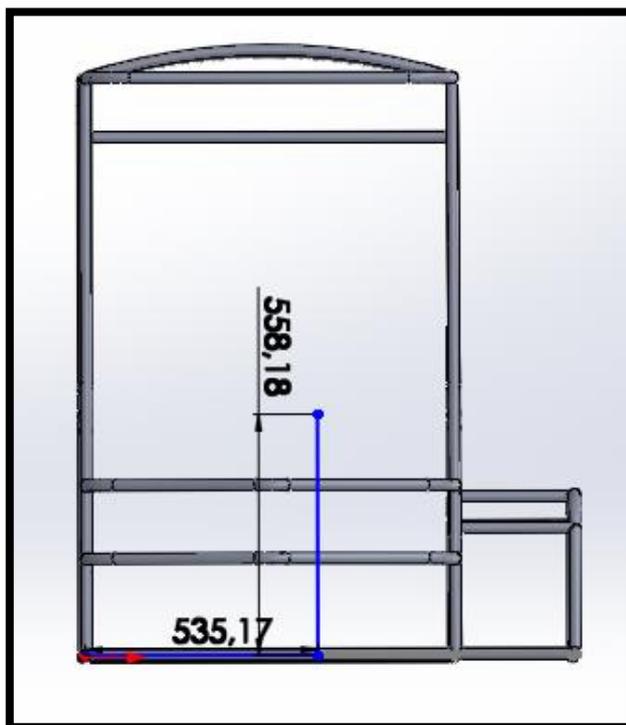
es incapaz de frenar por lo que la rueda delantera realiza todo el trabajo, pero si en cambio el centro de masa se encontrara mas abajo existiria una carga para la rueda posterior para poder frenar a tope y asi que la rueda delantera no cargue con todo el esfuerzo de frenado.



**Figura 46,** Diagrama de dimensionamiento de la altura del centro de gravedad.

Para encontrar la distancia de la rueda posterior y el centro de gravedad (b) primero se debe determinar la masa total del vehículo y todas las cargas sobre cada rueda en condiciones estáticas.

La posición del centro de gravedad varía según la posición del conductor si se encuentra cerca o alejado del eje posterior, pero también lo mueve hacia la izquierda o derecha dependiendo si las condiciones al momento de girar en una curva, por lo que de eso determina la posición de los manillares, asiento, etc.



**Figura 47,** Vista frontal del centro de gravedad y su altura

### 3.3 Cargas

La función principal de la estructura principal o bastidor del vehículo es soportar cargas. En el diseño del vehículo prototipo se debe tomar en cuenta todas las cargas existentes como carga viva, carga muerta, carga de impacto, carga de viento.

Los pesos y las cargas se deben estimar correctamente antes de realizar cualquier diseño o análisis a la estructura.

En el país no existe ni rige ninguna norma que regule la construcción y el análisis estructural de este tipo de vehículo, por lo que nos hemos visto en la necesidad de regirnos a una norma similar utilizadas en las carrocerías de buses.

El INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) posee una normativa ecuatoriana NTE INEN 1323 “VEHÍCULOS AUTOMOTORES CARROCERÍAS DE BUSES” (9), señala los métodos para determinar cargas, combinaciones de cargas, características, dimensiones del espacio de supervivencia, requisitos de la estructura y

demás características que se deberá cumplir para ser homologado y obtener el permiso de construcción.

En la normativa que se va utilizar para el diseño del vehículo prototipo no se considera los impactos frontales y laterales como peligrosos, pero si se hace un análisis del impacto de volcadura y las diferentes pruebas de vuelco.

Para conservar la integridad física de nuestro conductor en un accidente, hemos visto la necesidad de aplicar una norma o reglamento en donde nos guie las características a considerar en caso de impacto frontales, laterales y superiores que se dan en un accidente.

El reglamento que se asemeja para nuestro diseño es el presentado por la FAU (Federación Automovilística Universitaria) y en la cual se determinara y analizara las cargas de impacto.

### **3.3.1 Cargas muertas**

La carga muerta se considera en si el peso propio de la estructura y todos los elementos que se hallan unidos y soportados por el vehículo en si deben estimarse antes de diseñar o realizar cualquier análisis.

Existen especificaciones técnicas del perfil a utilizar en donde se encuentra la masa dependiendo de la longitud por lo que se puede realizar una estimación correcta de cada una de las cargas.

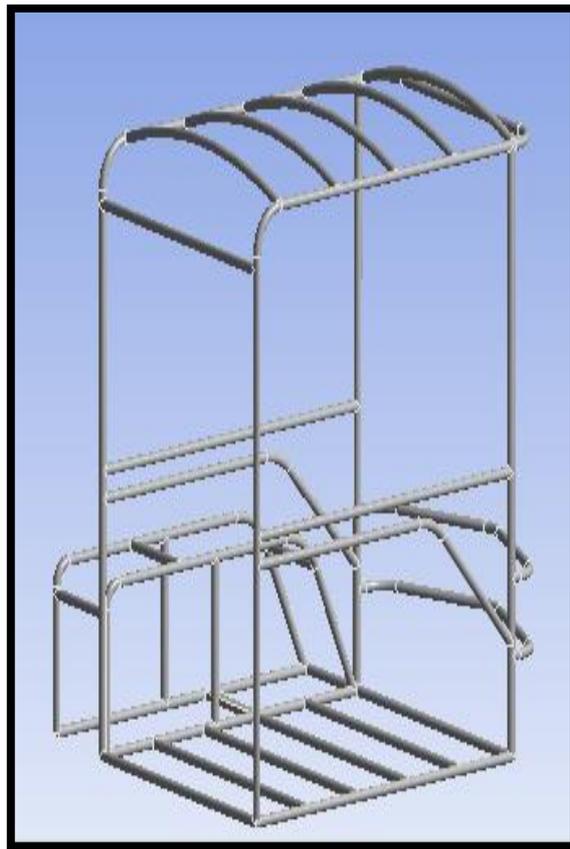
Según la norma NTE INEN 1323 “Corresponde el peso total de la carrocería incluidos todos los componentes estructurales y no estructurales permanentes” (9), en este caso se debe considerar las cargas generadas por el sistema estructural, la silla de ruedas, el motor de propulsión, la batería, el techo y el piso de la estructura.

### **Sistema Estructural**

El sistema estructural del vehículo prototipo consiste en perfil tubular circular, de diámetro de 1 pulgada y espesor de 2 milímetros. El vehículo se

encuentra constituido del perfil tubular circular el chasis, el habitáculo del conductor, la estructura del techo.

Aproximadamente se utilizara 4 perfiles tubulares redondos por 6m nos da un valor de 24m por lo que nos da una masa de 42,72 kg en nuestra estructura.



**Figura 48,** Diseño de prototipo estructural en CAD CAE

### 3.3.1.1 Calculo del peso del prototipo de sistema estructural

$$M_{pt} = 42.72kg$$

$$P_{pt} = M_{pt} * g \quad (\text{Ec} - 3.1)$$

$$P_{pt} = 42.72kg * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

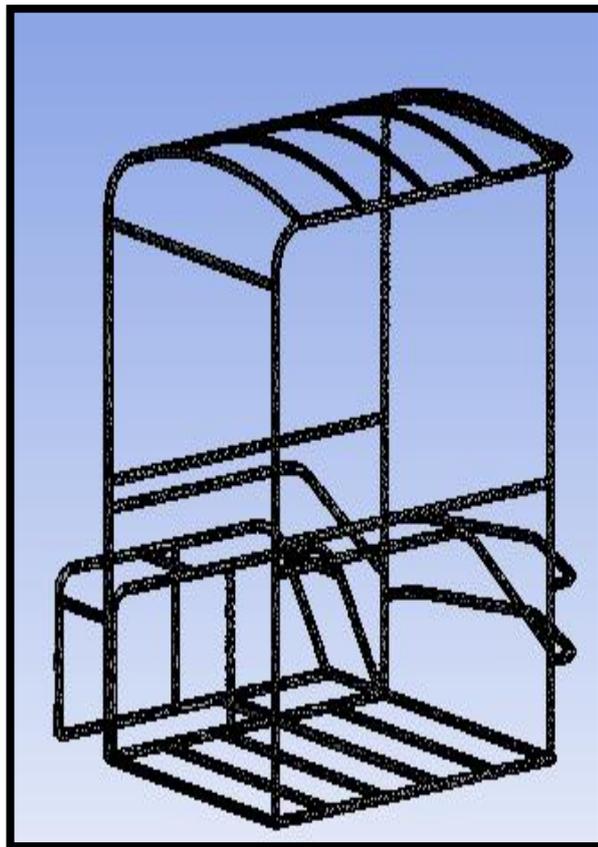
$$P_{pt} = 419.08 N$$

**Donde:**

M<sub>pt</sub> = masa de 4 perfiles tubulares redondos de 6m y espesor de 1.5 mm

P<sub>pt</sub> = peso de 4 perfiles tubulares redondos de 6m y espesor 1.5 mm

G = aceleración de la gravedad



**Figura 49,** Mallado del diseño estructural del prototipo.

### 3.3.1.2 Peso de silla de ruedas

Existen distintos tipos de sillas de ruedas, sus modelos son muy variados en el mercado local. Algunos tipos de sillas de ruedas son mecánicas otras son

eléctricas por lo que difieren en el tipo de material para la construcción pueden ser de hierro, acero, aluminio, titanio, etc. por lo que se vuelve complicado establecer una silla estándar por lo que se decide por obtener los datos de la silla de ruedas común en el mercado las características se encuentra en los anexos.



**Figura 50,** Silla de ruedas estándar

**Fuente:** (Xenon2, 2011)

### **Cálculo aproximado de peso de la silla de ruedas**

$$M_s = 15.4 \text{ kg}$$

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$P_s = M_s * g \quad (\text{Ec} - 3.2)$$

$$P_s = 15.4kg * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$P_s = 151 N$$

Donde:

$M_s$ = Masa aproximada de la silla de ruedas

$P_s$ = peso aproximado de la silla de ruedas

$g$ = aceleración de la gravedad.

### 3.3.1.3 Peso del motor

El tipo de motor es centrifugó de aproximadamente 150 cc tiene una potencia de 15 hp posee más características las cuales se detallan en el anexo.

#### Calculo del peso del motor centrifugo

$$M_m = 23kg$$

$$P_m = M_m * g \quad (\text{Ec} - 3.3)$$

$$P_m = 23kg * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$P_m = 225.63 N$$

Donde:

$M_m$ = masa del motor centrifugó

$P_m$ = peso del motor

### 3.3.1.4 Peso de la batería

La batería es la fuente de alimentación para el encendido del vehículo, también proporciona energía a las luces guías, faros, luces de pare, luces direccionales por lo que el peso de la batería debe ser considerado.

#### Calculo del peso de la batería

$$Mb = 1.5kg$$

$$Pb = Mb * g \quad (\text{Ec} - 3.4)$$

$$Pb = 1.5kg * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$Pb = 14.71 N$$

### 3.3.1.5 Peso del piso

Las características de la superficie se encuentra estimadas en los planos del vehículo, el material de que se encuentra constituido el piso es de acero corrugado. La masa se encuentra estipulada en los catálogos de referencia.

#### Calculo del peso de piso

$$Mp = 53.66kg$$

$$Pp = Mp * g \quad (\text{Ec} - 3.5)$$

$$Pp = 53.66kg * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$Pp = 526.40 N$$

Donde:

$M_p$ =masa del piso del sistema estructural.

$P_p$ =peso del piso del sistema estructural

$g$ =aceleración de la gravedad

### 3.3.1.6 Calculo de la carga muerta considerando un factor crítico de 20%

$$C_{mp} = M_{pt} + M_s + M_m + M_b + M_p \quad (\text{Ec} - 3.6)$$

$$C_{mp} = 42.72kg + 15.4kg + 23kg + 1.5kg + 53.66kg$$

$$\mathbf{C_{mp} = 136.28kg}$$

Factor crítico del 20% para la carga muerta

$$F_{cmp} = 0.2 * C_{mp} \quad (\text{Ec} - 3.7)$$

$$F_{cmp} = 0.2 * 136.28kg$$

$$F_{cmp} = 27.256kg$$

$$C_m = C_{mp} + F_{cmp} \quad (\text{Ec} - 3.8)$$

$$C_m = 136.28kg + 27.256kg$$

$$\mathbf{C_m = 163.54kg}$$

**Donde:**

$M_{pt}$  = masa del perfil tubular del sistema estructural

$M_s$  = masa de la silla de ruedas

$M_m$  = masa del motor

$M_b$  = masa la batería y elementos del sistema eléctrico

$M_p$  = masa del piso del vehículo prototipo

$C_{mp}$  = masa total de la carga muerta del vehículo.

$F_{cmp}$  = masa con un factor del 20%

$C_m$  = masa de la carga muerta con un incremento del 20%

**Tabla 1**

Resumen de cargas muertas

	Masa(kg)	Masa + 20% Sobrecarga (kg)	$g=9.81m/s^2$	CARGA MUERTA (N)
<b>Estructura</b>	42,72	51,27	9,81	502,92
<b>piso</b>	53,66	64,39	9,81	631,69
<b>silla de ruedas</b>	15,40	18,48	9,81	181,29
<b>motores</b>	23,00	27,60	9,81	270,76
<b>baterías</b>	1,50	1,80	9,81	17,65
<b>Masa Final Total</b>	163,54			1604,30

**Calculo de la Carga Muerta por nodo.**

$$C_{mn} = \frac{C_m}{n} \quad (\text{Ec} - 3.9)$$

$$C_{mn} = \frac{1604.30 \text{ N}}{6}$$

$$C_{mn} = 267.38 \text{ N}$$

**3.3.2 Cargas vivas**

El tipo de cargas vivas que se debe tomar en cuenta según la norma NTE INEN 1323 “Considera a la carga del ocupante y se le considera distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales de la carrocería” (9).

En la norma NTE INEN 1323 existe una referencia en la que se indica que la masa de un ocupante para cada uno de los servicios de transporte, se debe tomar en cuenta que el vehículo prototipo es monoplaza lo que quiere decir que no lleva pasajeros, además no posee un espacio destinado a las maletas o equipaje así que se descarta esta masa. En la tabla siguiente se observa las masas de cargas vivas para el diseño:

Tipo de servicio	Masa de un ocupante (kg)	Masa mínima de equipaje de mano por pasajero (kg)	Masa mínima de equipaje a transportarse en bodegas porta equipajes (kg)	Espacio necesario por pasajero de pie (m <sup>2</sup> )
Urbano	70	-	-	0,16
Urbano (escolar e institucional)	70	-	-	Sin pasajeros de pie
Interurbano (intraprovincial)	70	5	100 x Vol	0,16
Larga distancia (interprovincial y turismo)	70	5	100 x Vol	Sin pasajeros de pie

Figura 51, Cargas vivas de diseño

Fuente: (INEN 1323, 2009)

### 3.3.2.1 Calculo de la peso del ocupante

$$M_o = 70kg$$

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$P_o = M_o * g \quad (\text{Ec} - 3.10)$$

$$P_o = 70kg * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$P_o = 686.7 N$$

**Donde:**

M<sub>o</sub> = masa promedio de un ocupante

P<sub>o</sub> = peso del ocupante del vehículo prototipo

g = aceleración de la gravedad

### Calculo de la sobre carga de un ocupante

$$Scv = 0.2 * Po \quad (\text{Ec} - 3.11)$$

$$Scv = 0.2 * 686.7 N$$

$$Scv = 137.34 N$$

Donde:

Scv = sobre carga al 20%

### 3.3.2.2 Calculo de la carga viva

$$Cv = Po + Sc \quad (\text{Ec} - 3.12)$$

$$Cv = 686.7 N + 137.34 N$$

$$Cv = 824.04 N$$

$$Mcv = \frac{Cv}{g} \quad (\text{Ec} - 3.13)$$

$$Mcv = \frac{824.04 N}{9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$Mcv = 84kg$$

### Calculo de carga viva por nodo

$$Mcvn = \frac{Mcv}{n} \quad (\text{Ec} - 3.14)$$

$$Mcvn = \frac{824.04N}{6}$$

$$Mcvn = 137.34 N$$

Donde:

Cv = carga viva

Po = Peso del ocupante promedio

Sc = el 20% del peso del ocupante promedio

Mcv = Masa final de la carga viva

g = aceleración de la gravedad

**Tabla 2**

Resumen de carga viva

	Masa(kg)	Masa + 20% Sobrecarga (kg)	$g=9.81m/s^2$	CARGA VIVA (N)
<b>Ocupante</b>	70,00	84,00	9,81	824,04
<b>Masa Final Total</b>	<b>84,00</b>		<b>824,04</b>	

**Tabla 3**

Resumen de cargas

	Masa(kg)	Masa + 20% Sobrecarga (kg)	$g=9.81m/s^2$	CARGA MUERTA (N)
<b>CARGA VIVA</b>	70,00	84,00	9,81	824,04
<b>CARGA MUERTA</b>	136,28	163,54	9,81	1604,30
<b>Masa Total</b>	<b>247,54</b>		<b>2428,34</b>	

### 3.3.3 Carga de giro

El vehículo prototipo se encuentra diseñado para el transporte de una persona en la ciudad, según la Ley Orgánica de Tránsito y Transporte Terrestre la velocidad máxima en el sector urbano es de 50 Km/h. La velocidad máxima del vehículo prototipo es de 60 Km/h por lo que se debe considerar esta velocidad para la carga de giro.

La norma NTE INEN 1323 la carga de giro “Se debe calcular en función de la fuerza centrífuga que genera un vehículo al entrar a una curva de determinado radio y a cierta velocidad, la velocidad crítica debe ser mayor a 90 km/h” (9), si nos regimos

a la norma NTE INEN 1323 se puede llegar a la conclusión de que la carga de giro no es significativa ni afecta a la estructura al momento de realizar una maniobra, por lo que el análisis de la carga de giro no es necesario para el vehículo prototipo.

Para un aspecto informativo realizaremos un cálculo referencial, tomando en cuenta que el vehículo alcanza una velocidad de 90 km/h.

$$PBV = CM + CV + CVH \quad (11)$$

**Donde:**

PBV= Peso bruto del vehículo

CM= Carga muerta

CV= Carga viva

CVH= Carga vehículo

$$PBV = 1604.3 + 824.04 + 1079.1$$

$$PBV = 3507.44 \text{ N} = 357.54 \text{ kgf}$$

$$G = \frac{PBV * V^2 \left(\frac{m}{s}\right)}{R} \quad (11)$$

**Donde:**

V= Velocidad del vehículo 90 km/ h o 25 m/s.

R= Radio de curvatura de la carretera (m)

$$G = \frac{357.54 * 25^2}{350}$$

$$G = 638.46 N$$

### 3.3.3.1 Calculo de carga aplicada a una curvatura

La fuerza centripeta, es la fuerza aplicada al momento que el vehiculo entra en una curva, se dirige al interior de la curvatura del objeto en movimiento, siempre se dirige en forma en perpendicular al movimiento del cueepo que se aplica.

El radio de curvatura minimo es de 10m.

La velocidad maxima del vehiculo es de 50Km/h (13.89m/s)

$$F_c = Cmf * \frac{v^2}{r} \quad (\text{Ec} - 3.15)$$

$$F_c = 247.54 \text{ kg} * \frac{(13.89 \frac{m}{s})^2}{10 \text{ m}}$$

$$F_c = 4775.84 N$$

La carga calculada anteriormente se puede asumir que cada una de las ruedas puede soportar cada una de las cargas debido a la fuerza centripeta. A continuacion se va a calcular la fuerza centripeta de cada una de las ruedas la rigidez minima recomendada es de 1500 N\*m/grado. Para la simulacion se debe obtener una carga igual o superior a la recomendada.

$$F_{cr} = \frac{F_c}{r} \quad (\text{Ec} - 3.16)$$

$$F_{cr} = \frac{4775.84 \text{ N}}{3}$$

$$F_{cr} = 1592 \text{ N}$$

### Calculo de ángulo de giro

El ángulo de giro ( Fig 3.18) para un determinado radio de giro se obtiene de un triángulo rectángulo, aplicando las funciones trigonométricas de seno, coseno, tangente. Se debe tener en cuenta que el radio de giro mínimo en los vehículos es el doble de la distancia entre ejes en consecuencia el radio de giro máximo es el siguiente:

$$\tan(Avi) = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}}$$

$$\tan(Avi) = \frac{b}{R} \quad (\text{Ec} - 3.17)$$

$$\tan(Avi) = \frac{1300 \text{ mm}}{2 * (1300\text{mm})}$$

$$\tan(Avi) = 0.5$$

$$Avi = 26.57^\circ$$

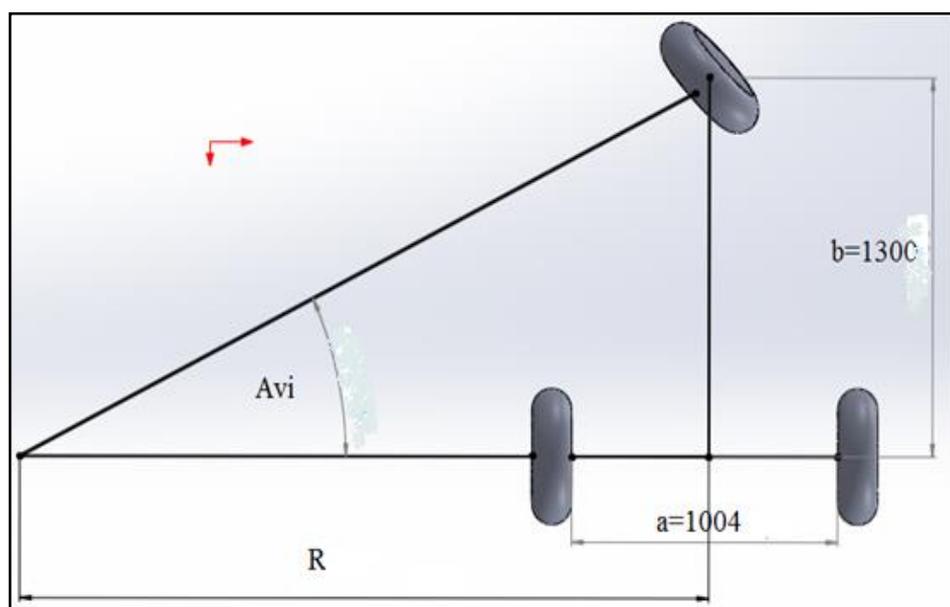


Figura 52, Diagrama de radio de giro

### 3.3.4 Carga de frenado.

La carga de frenado es una fuerza aplicada al sistema estructural del vehículo debido a que es el encargado de soportar los elementos como por ejemplo: silla de ruedas, ocupante, batería, etc. Al momento de accionar el freno las ruedas reducen su velocidad para que el vehículo se detenga y esto genera una carga de frenado por todos los elementos incluidos.

La norma NTE INEN 1323 acerca de la carga de frenado “corresponde a la fuerza producida por el frenado del vehículo” según la norma para realizar el cálculo se debe asumir una desaceleración mayor o igual a  $4 \text{ m/s}^2$ .

#### 3.3.4.1 Cálculo de la carga de frenado.

$$Ds = 4 \frac{m}{s^2}$$

$$Cf = Cm_f * Ds \quad (\text{Ec} - 3.18)$$

$$Cf = 247.54kg * 4 \frac{m}{s^2}$$

$$Cf = 990.16 N$$

### Calculo de la carga de frenado en cada nodo

$$n = 42 \text{ nodos}$$

$$Cfn = \frac{Cf}{n} \quad (\text{Ec} - 3.19)$$

$$Cfn = \frac{990.16 N}{42 \text{ nodos}}$$

$$Cfn = 23.58 N/nodo$$

### Donde:

Ds = Factor de desaceleración

Cmf = masa total

Cf = carga de frenado

n = número de nodos

Cfn = carga de frenado en cada nodo

### Análisis de frenado

En el momento en que un vehículo desacelera o acelera produce fuerzas de inercia, lo que provoca una transferencia de masa del eje delantero al eje posterior las cuales

generan reacciones de distintas magnitudes en los neumáticos, las cargas se encuentran en función del coeficiente de fricción entre las ruedas y la calzada, tiempo de frenado y la masa del vehículo prototipo. Se realiza un diagrama del cuerpo libre donde se considera la velocidad inicial como 60 km/h y el tiempo de frenado como 3 segundos.

Inicialmente se procede al cálculo de la desaceleración:

$$Dac = \frac{v_o - v_f}{t} \quad (\text{Ec} - 3.20)$$

$$Dac = \frac{16,67 \frac{m}{s} - 0 \frac{m}{s}}{3 s}$$

$$Dac = 5,56 \frac{m}{s^2}$$

$$Dac = 0,57 g$$

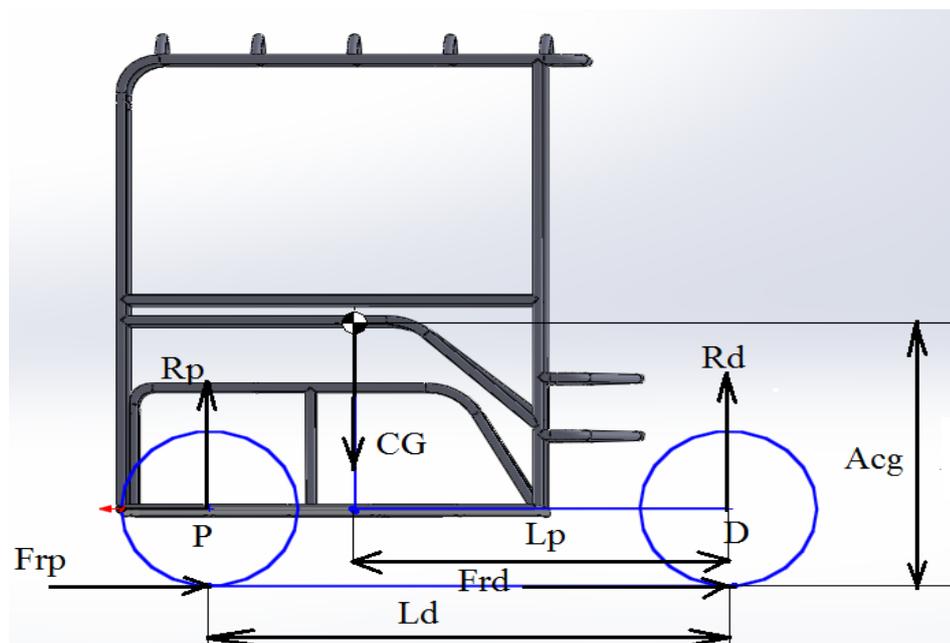


Figura 53, Diagrama de cuerpo libre

$$\Sigma F_x = m * a \quad (\text{Ec} - 3.21)$$

$$F_{rp} + F_{rd} = C_{mf} * D_{ac}$$

$$\Sigma F_y = m * g \quad (\text{Ec} - 3.22)$$

$$R_p + R_d = C_{mf} * g$$

$$\Sigma MP = I$$

$$\Sigma MP = R_d * L_d + C_{mf} * D_{ac} * A_{cg} + C_{mf} * g * L_p = \frac{4I_r * D_{ac}}{R_{din}} \quad (\text{Ec} - 3.23)$$

Despejando  $R_d$  se obtiene:

$$R_d = \frac{\frac{4I_r * D_{ac}}{R_{din}} - C_{mf} * D_{ac} * A_{cg} + C_{mf} * g * L_p}{L_d}$$

$$R_d = \frac{4\left(0,27 \text{ kg} * \text{m}^2 * 0,57 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) - 247,54 \text{ kg} * 0,57 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,552 \text{ m} + 247,54 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,978 \text{ m}}{1,45 \text{ m}}$$

$$R_d = 1129,06 \text{ N}$$

$$R_p + R_d = C_{mf} * g \quad (\text{Ec} - 3.24)$$

$$R_p + 1129,06 \text{ N} = 247,54 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$R_p = 2428,37 \text{ N} - 1129,06 \text{ N}$$

$$\mathbf{Rp = 1299,31 N}$$

Se debe determinar la fuerza de fricción en P para resolver el sistema de ecuaciones con la siguiente ecuación:

$$Frd = \mu * Rd \quad (\text{Ec} - 3.25)$$

$$Frd = 1,1 * 1299,31 N$$

$$\mathbf{Frd = 1429,241 N}$$

$$Frp - Frd = Cmf * Dac \quad (\text{Ec} - 3.26)$$

$$Frp - 1429,241 = 247,54 \text{ kg} * 0,57 * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$\mathbf{Frp = 2813,41 N}$$

En donde:

Frp = Fuerza de fricción en el punto P.

Frd = Fuerza de fricción en el punto D.

Rp = Fuerza normal en P.

Rd = Fuerza normal en D.

Cmf = Masa total = 247.54 kg

Dac = aceleración máxima = 0,57 g

g = gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup>

Ld = longitud del eje posterior al eje delantero = 1.45 m

$L_p$  = Longitud del eje delantero al centro de gravedad = 0.978 m

$A_{cg}$  = altura del centro de gravedad = 0.552 m

$R_{din}$  = radio dinámico = 0.23 m

$I_r$  = Inercia de la rueda = 0.27 kg\*m<sup>2</sup>

$u$  = coeficiente de fricción. = 1.1

### **Carga torsional de frenado**

Las fuerzas de fricción resultantes en cada punto de apoyo de las ruedas generan un par torsional en la estructura del vehículo prototipo por lo que a continuación se determina este par a través de la resultante de cada rueda por el diámetro del disco de freno.

$$T_p = \frac{F_{rp}}{2} * Dd \quad (\text{Ec} - 3.27)$$

$$T_d = \frac{F_{rd}}{1} * Dd \quad (\text{Ec} - 3.28)$$

Reemplazado con los datos obtenidos se obtiene los siguientes resultados:

$$T_p = \frac{2813,41 \text{ N}}{2} * 0,102 \text{ m}$$

$$T_d = \frac{1429,241 \text{ N}}{1} * 0,102 \text{ m}$$

$$\mathbf{T_p = 143,48 \text{ N} * m}$$

$$\mathbf{T_d = 145,78 \text{ N} * m}$$

## Sistema de Frenado

En el instante de accionar el freno del vehículo intervienen otras fuerzas, entre las cuales se destacan los rozamientos del disco, tambor y pastilla, la resistencia del aire al movimiento del vehículo, y el mismo motor que al momento de estar encendido el cual actúa como freno por girar más rápido las ruedas del motor.

### Fuerza del frenado

La fuerza de frenado ( $F_f$ ) que hay que aplicar a un vehículo para disminuir su velocidad o detenerlo está en función del peso del vehículo ( $P_v$ ) y del coeficiente de adherencia en las ruedas ( $\mu$ ). Por lo tanto la Fuerza de frenado viene determinada por esta expresión.

Al momento de disminuir la velocidad o detener el vehículo se aplica una fuerza de frenado la que depende del peso del vehículo y el coeficiente de adherencia de las ruedas a continuación se detalla la fórmula de fuerza de frenado.

El coeficiente de fricción se encuentra dado por tablas las cuales depende la naturaleza de la calzada sea hormigón, asfalto grueso, asfalto normal, etc. las condiciones climáticas de la zona quiere decir se encuentre seco o mojado, etc. Los neumáticos afectan la condición de frenado del vehículo debido a su estado sea nuevo o usado. Por lo que se utilizara un factor 1 en condiciones óptimas.

$$F_f = P_v * \mu$$

$$F_f = 1604.3 \text{ N} * 1$$

$$F_f = 1604.3 \text{ N}$$

$F_f$ =Fuerza de frenado.

$P_v$ =peso del vehículo.

$\mu$ =coeficiente de fricción de los neumáticos y calzada.

### Distancia de parada del vehículo

En el cálculo de la distancia de parada de los vehículos suele utilizarse una fórmula simplificada, debido a que la distancia depende de la fuerza de frenado, la adherencia de los neumáticos, la velocidad del vehículo, fuerza y dirección del viento, etc. por lo que ninguno de estos factores antes mencionado se toma en cuenta.

A continuación se detalla la fórmula aplicada:

$$D = \frac{Vt^2}{e * kc}$$

$$D = \frac{50^2}{0.80 * 254}$$

$$D = \frac{2500}{0.80 * 254}$$

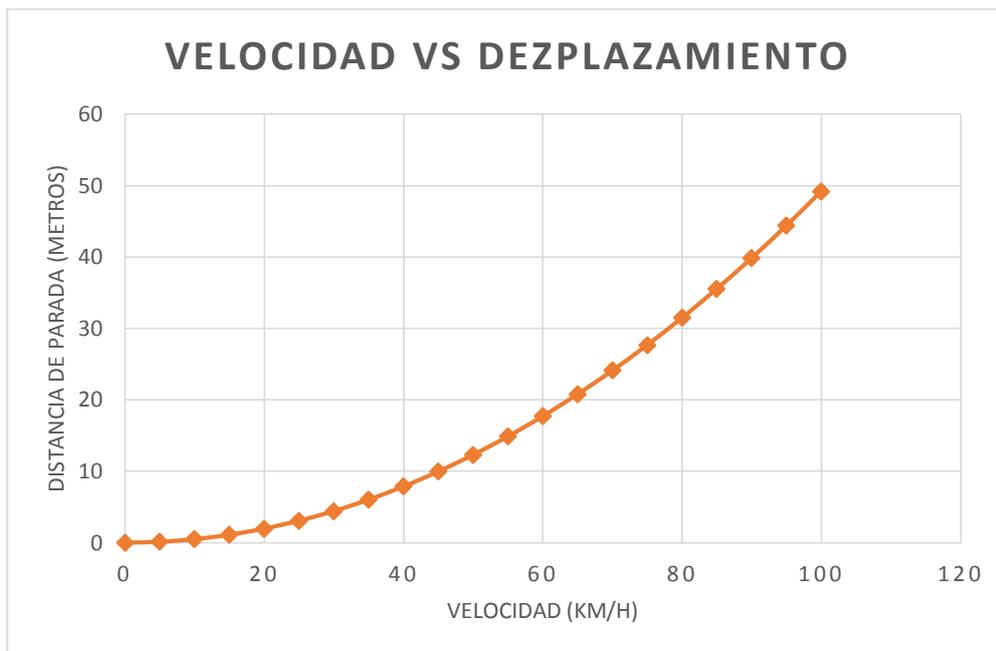
$$D = 12.3 \text{ m}$$

D=distancia de parada en metros

Vt=velocidad en Km/h

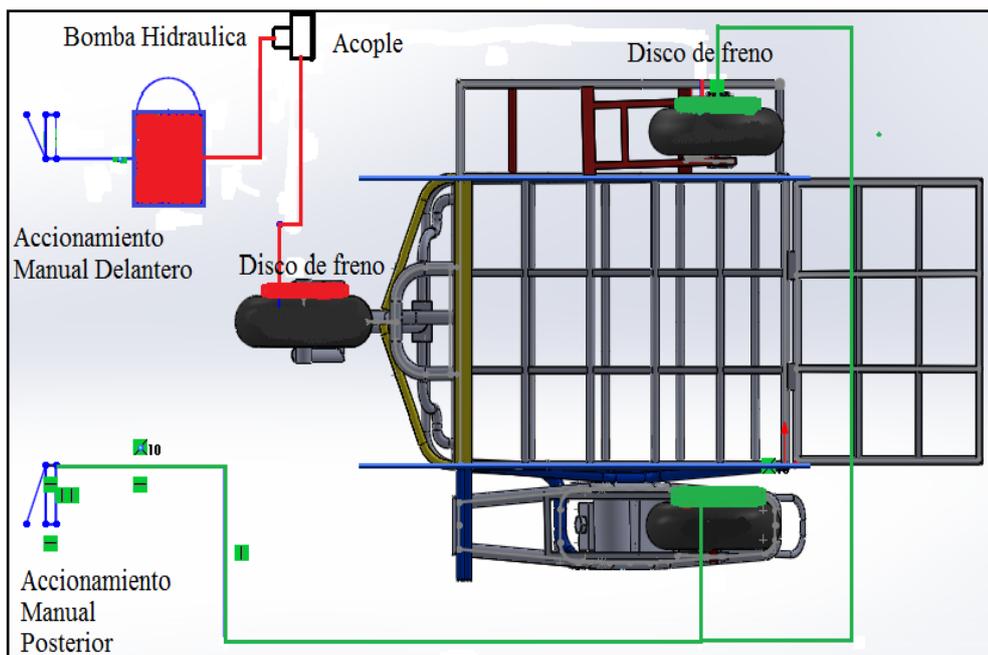
E=porcentaje de eficacia de los frenos

Kc= constante para la distancia se encuentran expresada en metros.



**Figura 54,** Distancia de parada del vehículo respecto a la velocidad.

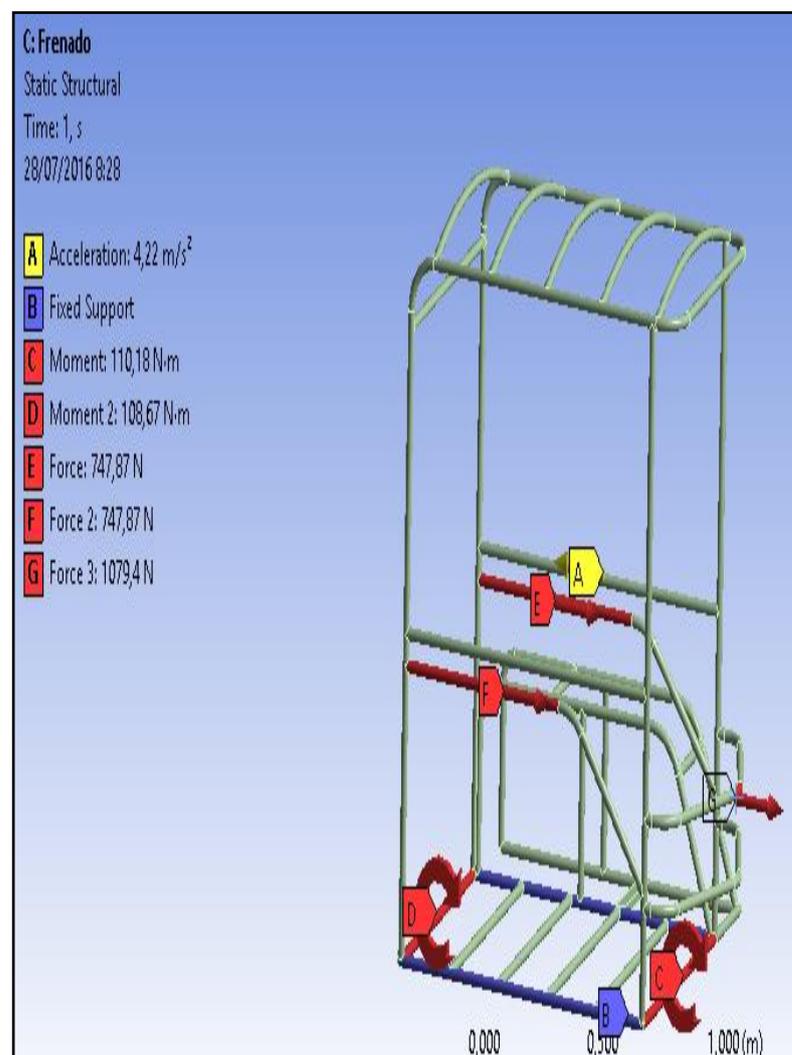
### Esquema del circuito de frenado



**Figura 55,** Diagrama del sistema de frenos del vehículo

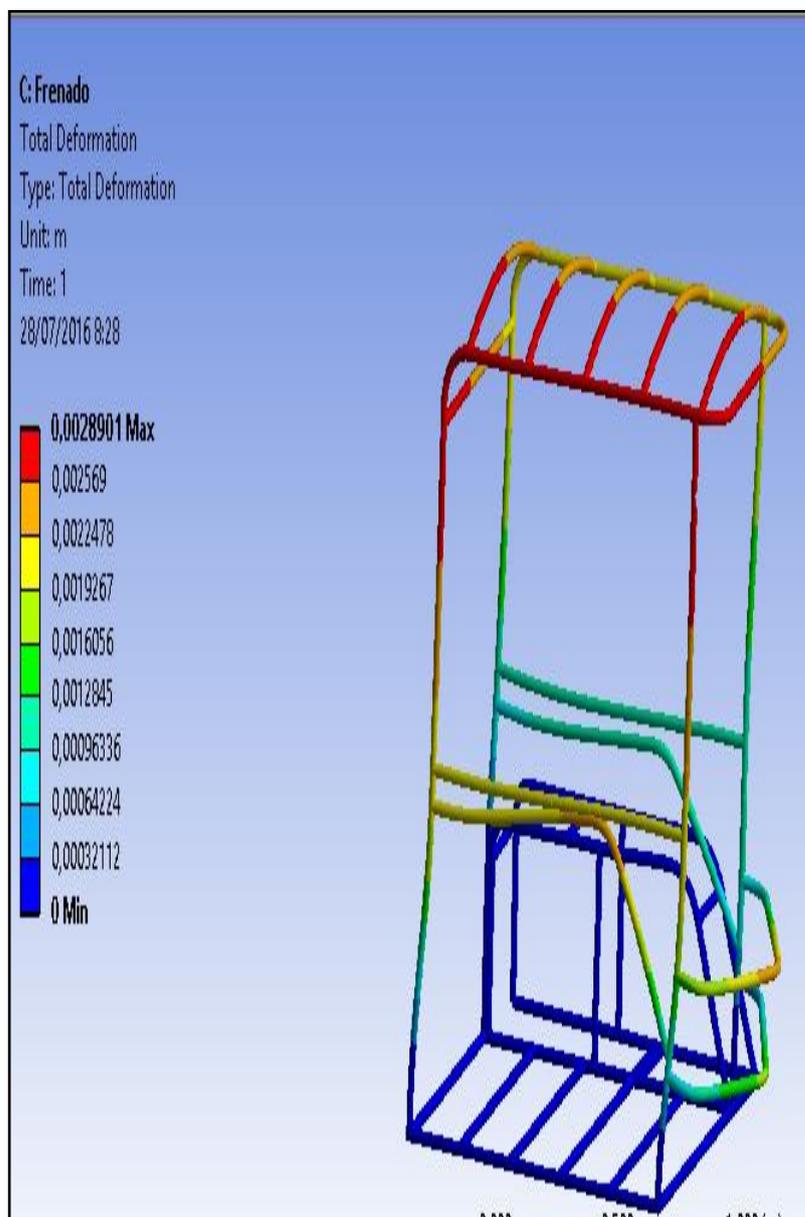
### 3.3.4.2 Simulación de Frenado

La simulación del prototipo estructural en condiciones de frenado en CAE, establece en restringir el movimiento en los puntos de anclaje inferiores de la suspensión por lo que las fuerzas de fricción actuaran en los puntos superiores en dirección de movimiento del vehículo prototipo. Las reacciones establecidas en cada punto de las ruedas perpendiculares al movimiento del vehículo prototipo se transfieren a los puntos de anclaje de los amortiguadores. La simulación es de frenado o desaceleración por lo que genera un momento torsor el que afecta la estructura del prototipo se la toma en cuenta en la simulación de frenado, además se toma en cuenta la carga viva y la carga muerta.



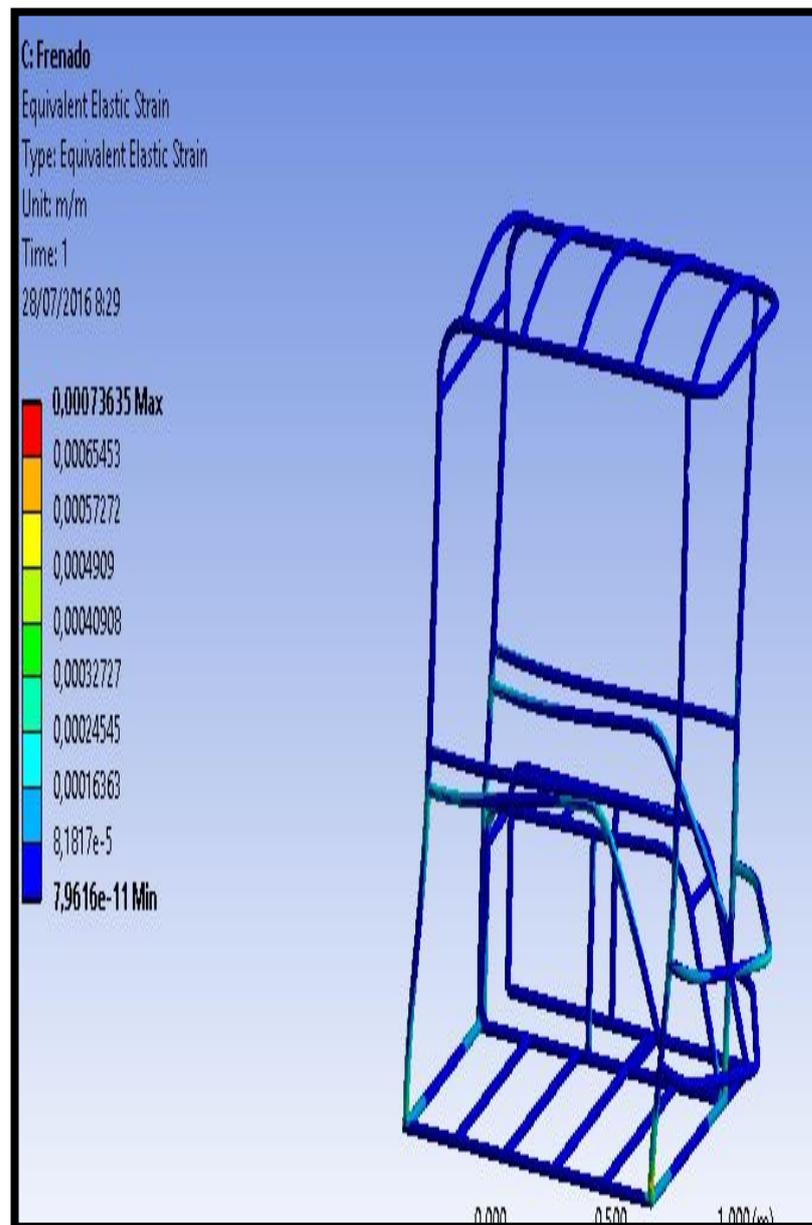
**Figura 56,** Cargas aplicadas a la estructura prototipo en la simulacion de frenado.

La figura 56 se muestra la aplicación de cargas para la simulación de frenado, desaceleración y los momentos que actúan en la estructura prototipo del sistema.



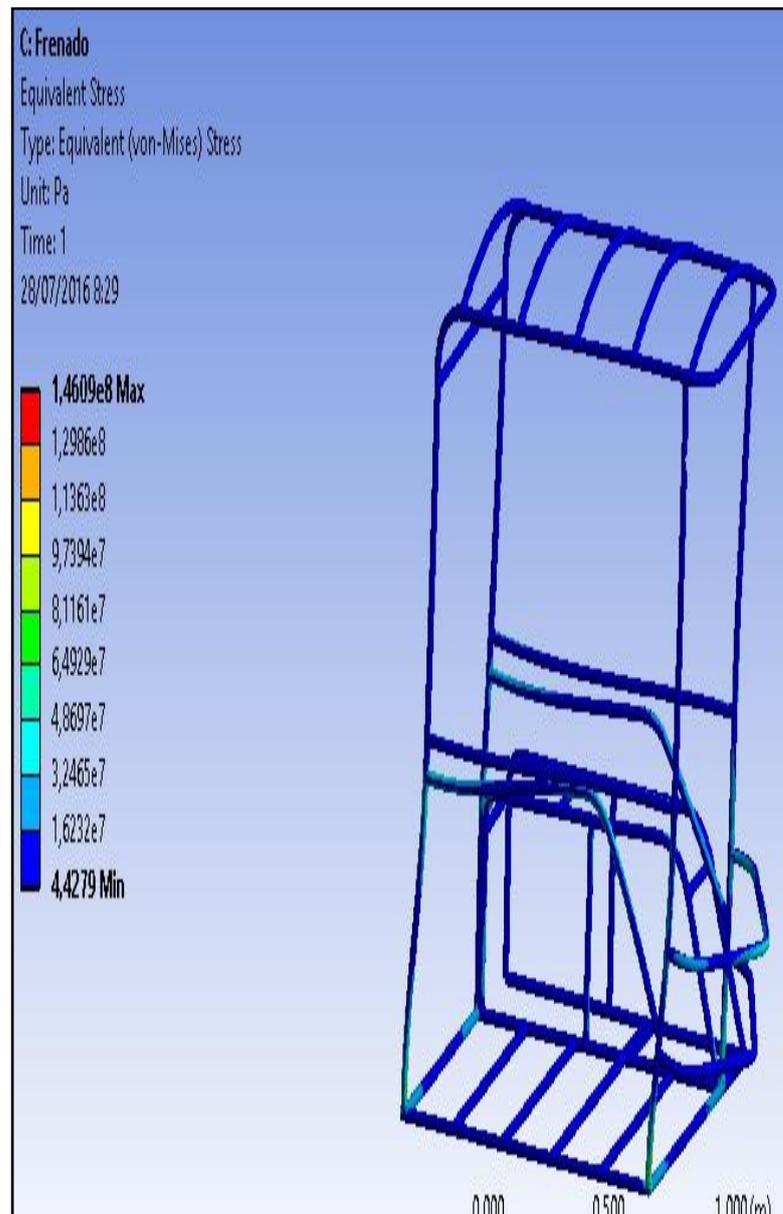
**Figura 57,** Deformacion Total en la estructura prototipo en la simulacion de frenado

El resultado de la aplicación de las cargas de frenado que se observa en la figura 57 se muestra una máxima deformación en la zona superior derecha del sistema estructural, alcanzando un valor aproximado de 3 milímetros.



**Figura 58,** El esfuerzo equivalente elastico en la simulacion de frenado

Los resultados de esfuerzo equivalente elástico aplicando las cargas de frenado se muestra en la figura 58, el valor obtenido de 0,65 m/m en la zona inferior derecha del sistema estructural.



**Figura 59,** El esfuerzo equivalente de Von-Mises

El esfuerzo equivalente de Von-Mises aplicando las cargas de frenado en el sistema estructural prototipo mostrado en la figura 59, se identifica un valor de 81.16 MPa en la parte inferior derecha e izquierda.

### 3.3.5 Carga de aceleración brusca

La carga de aceleración brusca es cambiar del estado de inercia a movimiento, la norma NTE INEN 1323 define a la aceleración brusca como “la carga generada por la aceleración del vehículo”. En el cálculo “es el mismo procedimiento de la carga de frenado pero el sentido de aplicación es inverso de la carga de frenado” es decir la aceleración de  $4 \text{ m/s}^2$  (9).

#### 3.3.5.1 Cálculo carga de aceleración brusca

$$Ab = Cmf * As \quad (\text{Ec} - 3.29)$$

$$Ab = 247.54kg * 4 \frac{m}{s^2}$$

$$Ab = 990.16N$$

#### Calculo carga de aceleración brusca por cada nodo

$$Abn = \frac{Ab}{n} \quad (\text{Ec} - 3.30)$$

$$Abn = \frac{990.16 N}{42 \text{ nodos}}$$

$$Abn = 23.58 \frac{N}{\text{nodos}}$$

**Donde:**

Ab = carga de aceleración brusca

Cmf = carga total

As = aceleración del vehículo

Abn = Aceleración brusca por cada nodo

n = número de nodos

### Calculo estático de aceleración brusca.

Se calcula la fuerza de empuje ( $F_e$ ), con el torque máximo y el radio de la rueda con la siguiente ecuación:

$$F_e = \frac{T_{max}}{R_{din}} \quad (\text{Ec} - 3.31)$$

$$F_e = \frac{15 \text{ N} * \text{m}}{0,23 \text{ m}}$$

$$F_e = 65,22 \text{ N}$$

Se calcula la fuerza g en función de la gravedad con la siguiente ecuación:

$$FG = \frac{F_e}{Cmf * g} \quad (\text{Ec} - 3.32)$$

$$FG = \frac{65,22 \text{ N}}{247,54 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$FG = 0,026 \text{ g}$$

En donde:

FG = Fuerza G.

$F_e$  = Fuerza de empuje.

Cmf = Masa total del vehículo y ocupante.

Rdin = radio dinámico de la rueda

Se realiza un diagrama de cuerpo libre para determinar las reacciones en los neumáticos, figura 60.

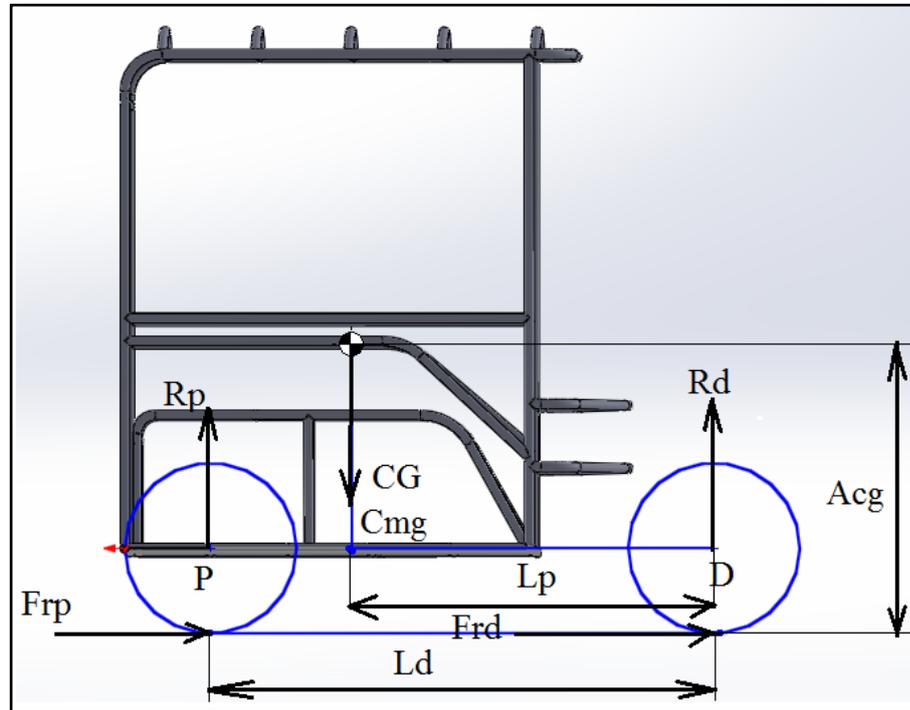


Figura 60, Diagrama de cuerpo libre para aceleración brusca

Aplicando las ecuaciones de la estática se obtiene:

$$\Sigma F_x = m * a$$

$$F_{rp} + F_{rd} = C_{mf} * A_c \quad (\text{Ec} - 3.33)$$

$$\Sigma F_y = m * g$$

$$R_p + R_d = C_{mf} * g \quad (\text{Ec} - 3.34)$$

$$\Sigma M_P = I$$

$$\Sigma M_P = R_d * L_d + C_{mf} * A_c * A_{cg} + C_{mf} * g * L_p = \frac{4I_r * A_c}{R_{din}} \quad (\text{Ec} - 3.35)$$

Despejando  $R_d$  se obtiene:

$$R_d = \frac{\frac{4Ir * Ac}{R_{din}} + Cmf * Ac * Acg + Cmf * g * Lp}{Ld}$$

$$R_d = \frac{\frac{4\left(0,27 \text{ kg} * \text{m}^2 * 0,026 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}{0,23 \text{ m}} - 247,54 \text{ kg} * 0,026 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,552 \text{ m} - 247,54 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,978 \text{ m}}{1,45 \text{ m}}$$

$$\mathbf{R_d = 1662,75 \text{ N}}$$

$$R_p + R_d = Cmf * g \quad (\text{Ec} - 3.36)$$

$$R_p + 1662,75 \text{ N} = 247,54 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$R_p = 2428,37 \text{ N} - 1662,75 \text{ N}$$

$$\mathbf{R_p = 765,62 \text{ N}}$$

Se debe determinar la fuerza de fricción en P para resolver el sistema de ecuaciones con la siguiente ecuación:

$$F_{rp} = \mu * R_d \quad (\text{Ec} - 3.37)$$

$$F_{rp} = 1,1 * 1662,75 \text{ N}$$

$$\mathbf{F_{rp} = 1829,025 \text{ N}}$$

$$F_{rp} - F_{rd} = Cmf * Ac \quad (\text{Ec} - 3.38)$$

$$F_{rp} - 1829,025 = 247,54 \text{ kg} * 0,026 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{rp} = 1892,16 \text{ N}$$

En donde:

$F_{rp}$  = Fuerza de fricción en el punto P.

$F_{rd}$  = Fuerza de fricción en el punto D.

$R_p$  = Fuerza normal en P.

$R_d$  = Fuerza normal en D.

$C_{mf}$  = Masa total = 247.54 kg

$A_c$  = aceleración máxima = 0,026g

$g$  = gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup>

$L_d$  = longitud del eje posterior al eje delantero = 1.45 m

$L_p$  = Longitud del eje delantero al centro de gravedad = 0.978 m

$A_{cg}$  = altura del centro de gravedad = 0.552 m

$R_{din}$  = radio dinámico = 0.23 m

$I_r$  = Inercia de la rueda = 0.27 kg\*m<sup>2</sup>

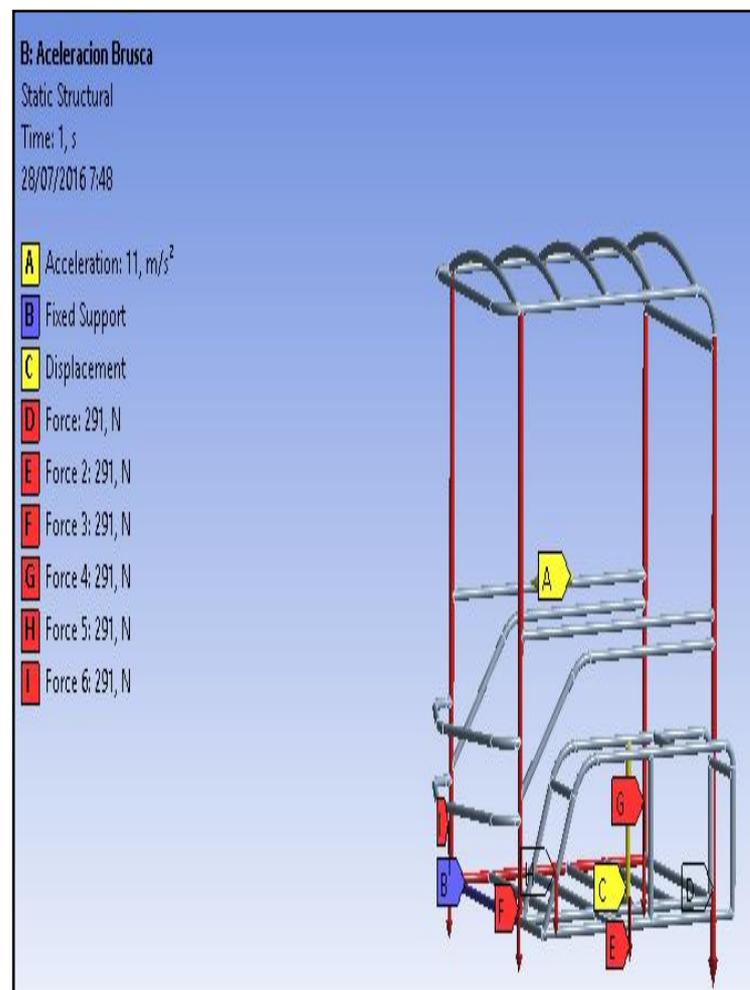
$u$  = coeficiente de fricción. = 1.1

Al momento de la simulación se establece en el eje posterior se utiliza una simetría y se divide para dos debido a sus dos ruedas posteriores mientras en el eje delantero se mantiene.

### 3.3.5.2 Simulación de Aceleración Brusca

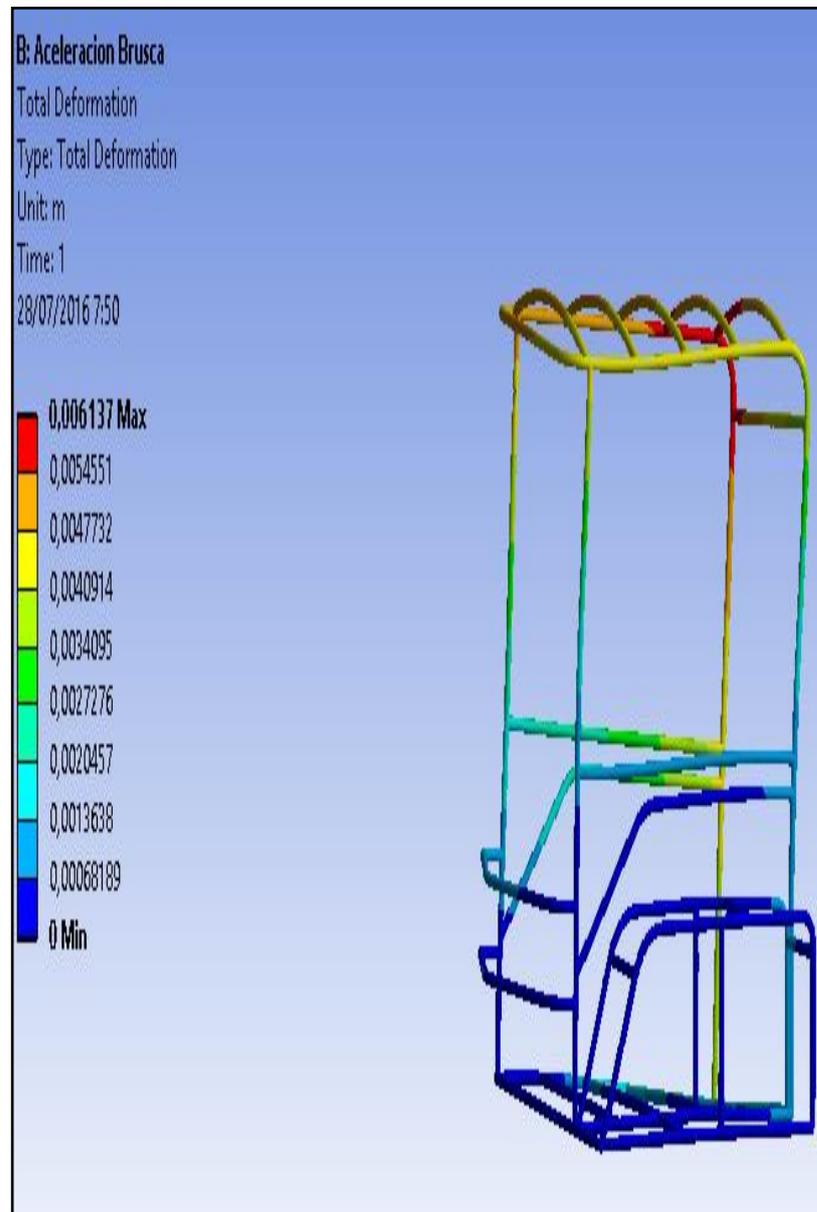
La simulación de aceleración establece ciertos parámetros, los cuales establecen restringir el movimiento en los puntos de anclaje e incluir la aceleración máxima a la que va a trabajar el prototipo la que se encuentra establecida en la norma, se incrementa la aceleración para obtener una deformación visible en la simulación.

Por lo que la simulación de aceleración se entiende que el motor entrega un torque el cual se encuentra en las especificaciones del vehículo a adaptar, según el manual del usuario el promedio del torque a 6000 rpm es de 15 N\*m por lo que al momento de la simulación se debe tomar en cuenta.



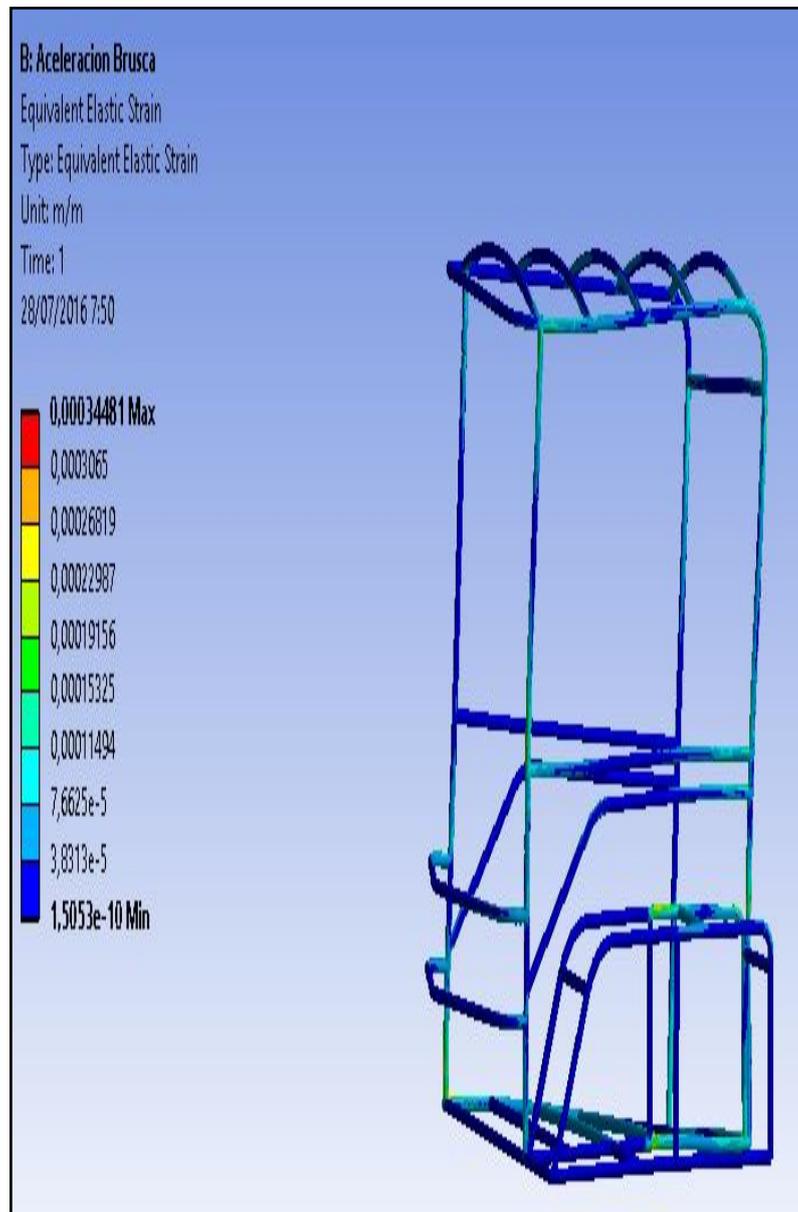
**Figura 61,** Aplicación de cargas en la estructura prototipo en la simulacion de aceleracion brusca.

En la simulación de aceleración brusca se muestra en la figura 61 se muestra la aplicación de las cargas a cada nodo que interviene. Las cargas vivas y muertas afectan la aceleración brusca y se oponen al movimiento. Es posible identificar las cargas aplicadas a las columnas principales del sistema estructural prototipo.



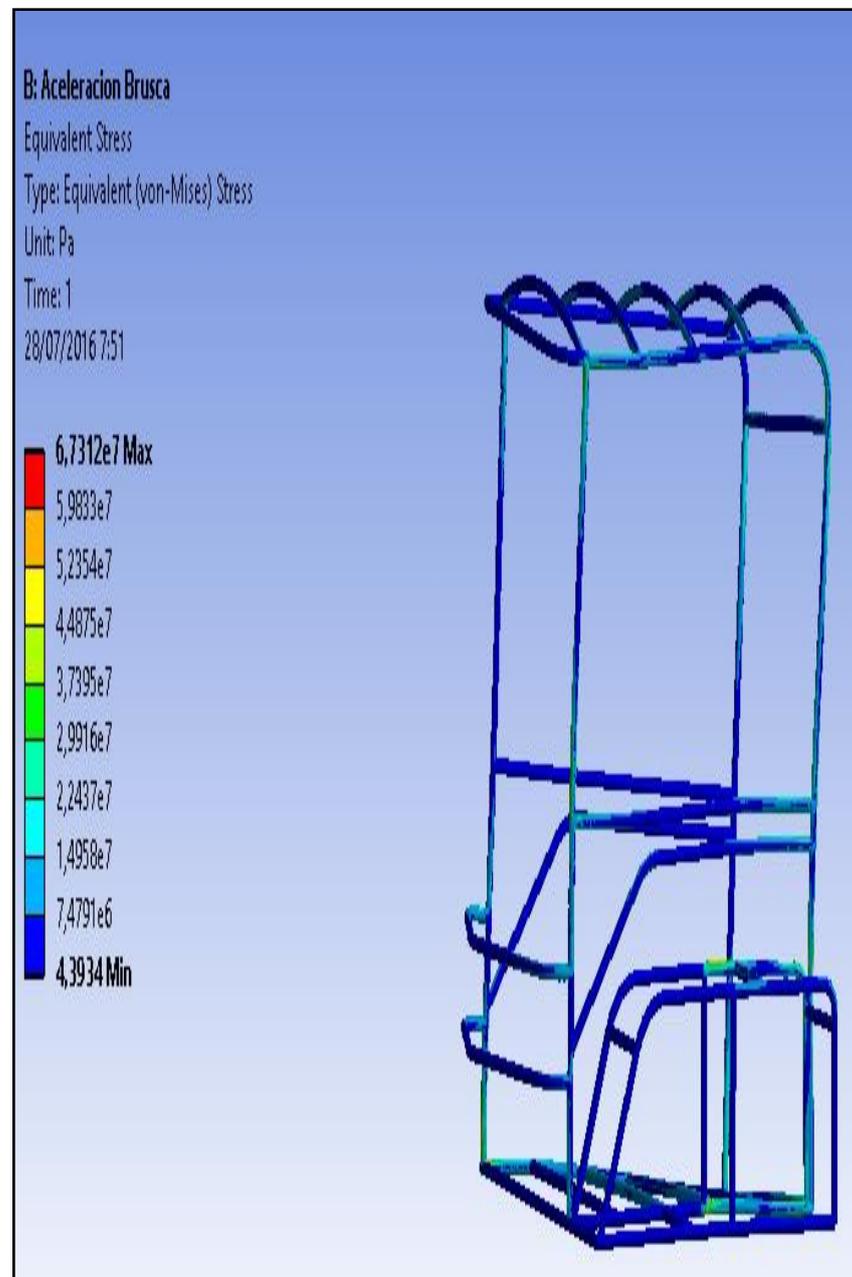
**Figura 62,** Deformacion total del prototipo de la estructura

En la simulación de aceleración brusca la deformación del sistema estructural prototipo se muestra en la figura 62, se obtiene un resultado en la parte inferior derecha de 3,4 mm, asimismo se puede observar que la zona superior derecha es la que mayor afectación presentaría con un valor de 6 mm.



**Figura 63,** Esfuerzo equivalente elástico aplicando aceleracion brusca

La simulación de aceleración brusca aplicando las cargas, muestra un esfuerzo equivalente elástico en la parte inferior derecha y la parte superior izquierda del sistema estructural prototipo. Es posible identificar en la figura 63, un resultado aproximado de 0,2 m/m.



**Figura 64**, Esfuerzo equivalente (Von- Mises) aplicando aceleracion brusca

En el esfuerzo equivalente de Von-Mises aplicando las cargas de aceleración brusca al sistema estructural, se obtiene un resultado de 44,87 MPa, indicado en la figura 64 , las zonas que se encuentran afectadas por resultado obtenido son las partes inferior derecha y la parte intermedia izquierda del sistema.

### **3.3.6 Carga por resistencia del aire frontal**

La resistencia del aire frontal depende de cada vehículo debido a su tamaño, no es lo mismo el área de un camión que el área de un automóvil por lo que la resistencia del aire frontal es la proyección del vehículo en un plano perpendicular a su eje longitudinal.

La norma NTE INEN 1323 establece que la resistencia del aire frontal “corresponde a la fuerza del aire actuante sobre el área frontal del vehículo (9)”.

#### **3.3.6.1 Calculo de la carga por resistencia del aire frontal**

##### **Carga por resistencia al aire frontal**

$$Cx = 0.7$$

$$\rho = 0.9 \frac{kg}{m^3}$$

### Calculo del área real del aire frontal

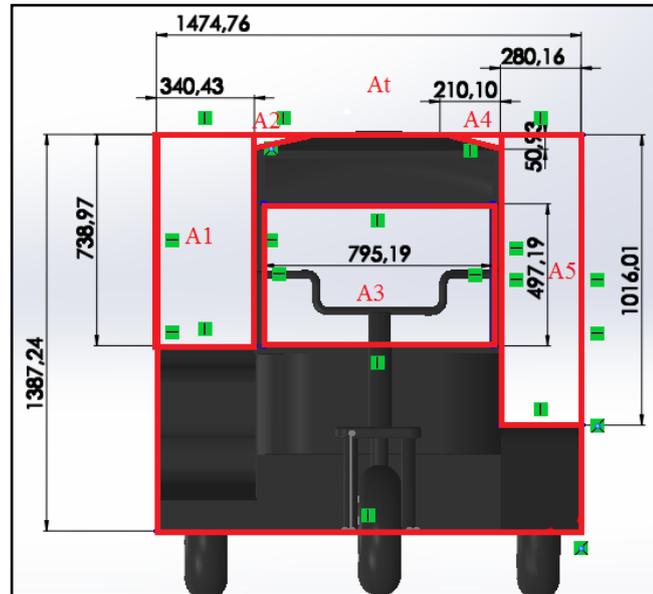


Figura 65, Esquema de área real

$$Ar = At - A1 - A2 - A3 - A4 - A5 \quad (\text{Ec} - 3.39)$$

$$Ar = 1.47m * 1.39m - 0.739m * 0.340m - 0.5 (0.21m*0.05m) - 0.8m*0.5m - 0.5 (0.21m*0.05m) - 1.02m*0.28m$$

$$Ar = 2.04m^2 - 0.25m^2 - 0.005m^2 - 0.4m^2 - 0.005m^2 - 0.29m^2$$

$$Ar = 1.09 \text{ mm}^2$$

$$Cx = 0.7$$

$$\rho = 0.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Ar = 1.09m^2$$

$$V = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Crsf = \frac{1}{2} * Cx * p * Ar * V^2 \quad (\text{Ec} - 3.40)$$

$$Crsf = \frac{1}{2} * 0.7 * 0.9 \frac{kg}{m^3} * 1.09m^2 * (25 \frac{m}{s})^2$$

$$Crsf = 214.59 N$$

**Calculo de la carga de resistencia de aire frontal por cada nodo.**

$$Crsfn = \frac{Crsf}{n} \quad (\text{Ec} - 3.41)$$

$$Crsfn = \frac{214.59 N}{8 \text{ nodos}}$$

$$Crsfn = 26.82 N/nodos$$

**Donde:**

Cx = coeficiente de resistencia de aire frontal

$\rho$  = densidad del aire

b = ancho total del vehículo

h = alto total del vehículo

A = área total del vehículo

V = velocidad mínima del mínima del aire según NTE INEN 1323

Crsf = carga por resistencia aerodinámica

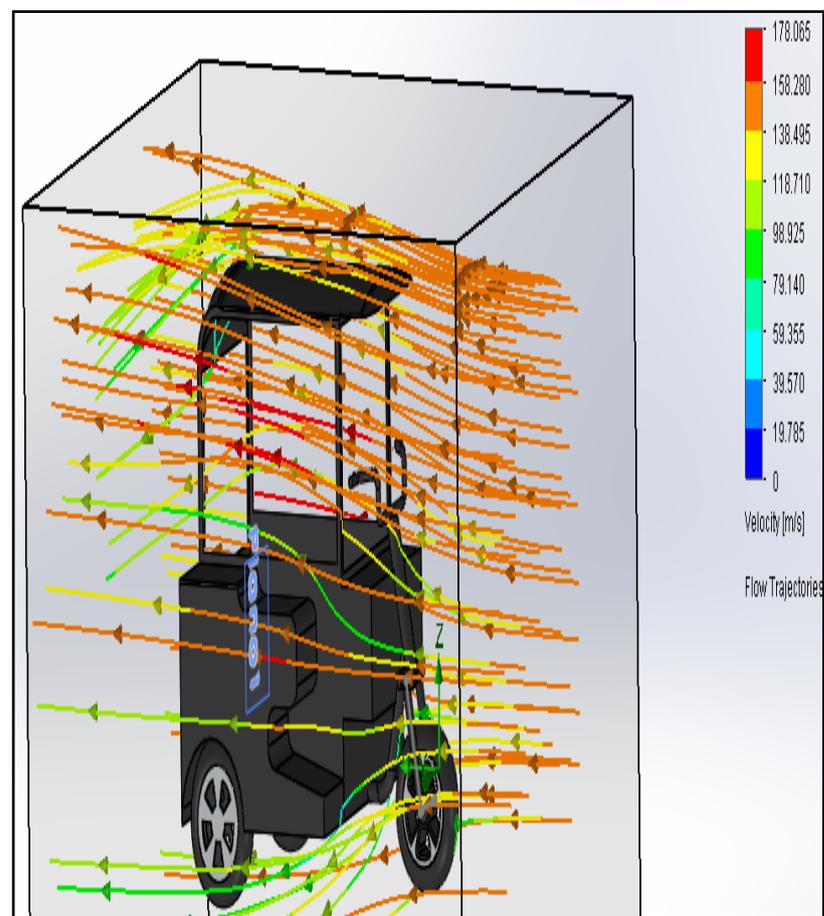
Crsfn = carga por resistencia aerodinámica en cada nodo

n = número de nodos en el área frontal

### 3.3.6.2 Simulación de la Resistencia de aire frontal.

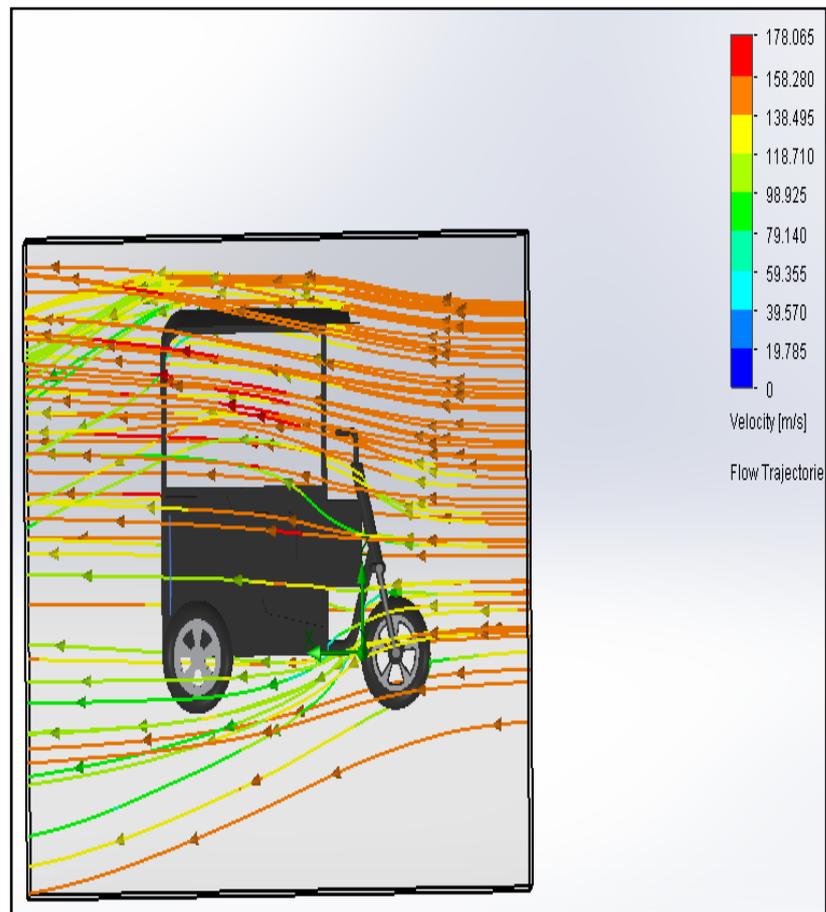
La simulación de la resistencia al aire frontal, se obtiene mediante la utilización del esquema realizado del vehículo, en el cual se determina el o los planos de incidencia.

Seguido se coloca en el plano seleccionado los puntos en los cuales se efectuara el analisis del efecto del aire.



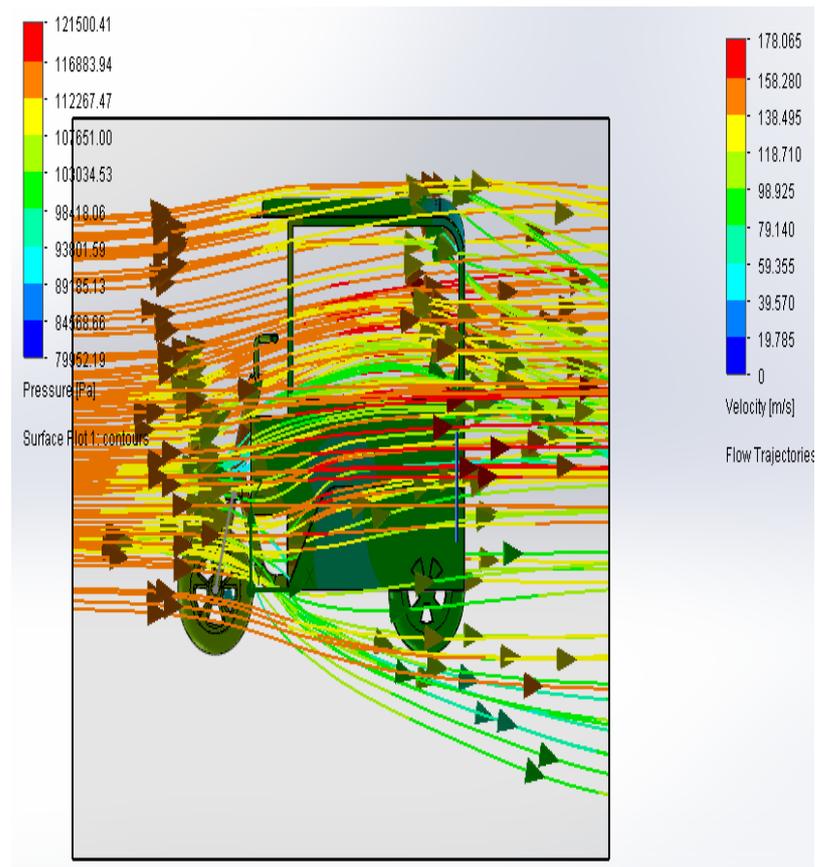
**Figura 66,** Simulación de la resistencia al aire frontal (Vista Isométrica).

La simulación de la resistencia al aire frontal mostrada en la Figura 66, permite identificar la trayectoria del flujo de aire al chocar con el vehículo e identificar las diferentes velocidades que toma el aire, estableciendo que la mínima velocidad al chocar con la tricimoto es de 158 m/s.



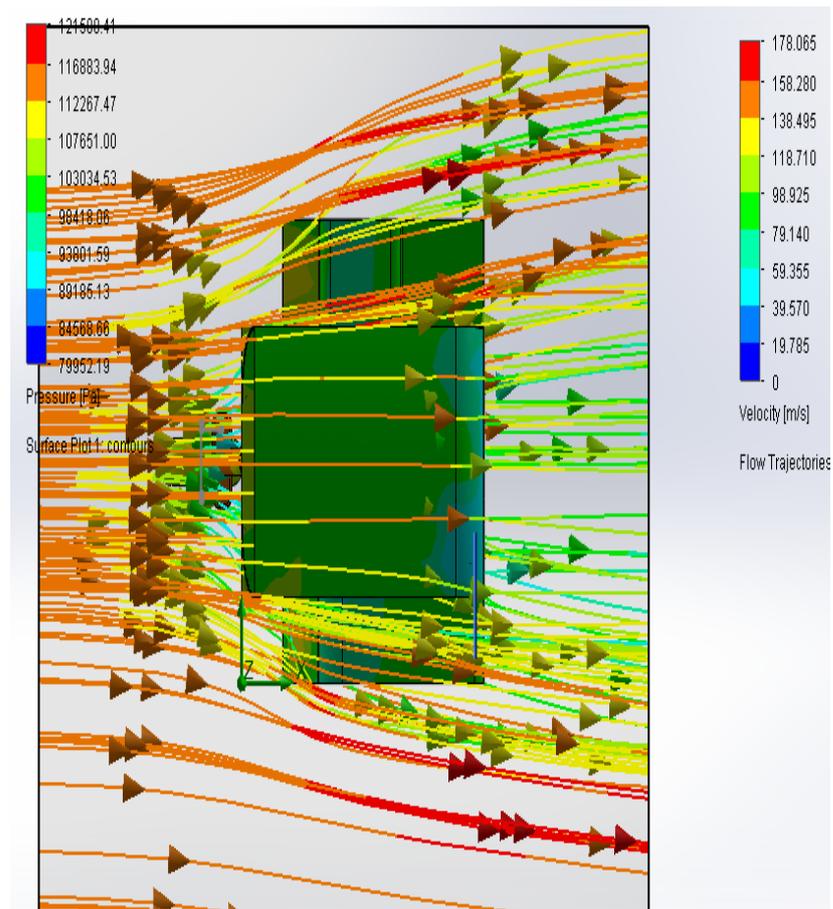
**Figura 67**, Simulación de la resistencia al aire frontal (Vista Lateral Derecha).

La simulación de la resistencia al aire frontal mostrada en la Figura 67, permite identificar la trayectoria del flujo de aire al chocar con el vehículo en vista lateral derecha, identificando las diferentes velocidades que toma el aire.



**Figura 68,** Simulación de la resistencia al aire frontal (Vista Lateral Izquierda).

La simulación de la resistencia al aire frontal mostrada en la Figura 68, permite identificar la trayectoria del flujo de aire al chocar con el vehículo en vista lateral izquierda, asimismo muestra la presión que ejerce el aire sobre el vehículo, la cual toma como valor máximo 116884 Pa en la zona central inferior.



**Figura 69,** Simulación de la resistencia al aire frontal (Vista Superior).

La simulación de la resistencia al aire frontal mostrada en la Figura 69, permite identificar la trayectoria del flujo de aire al chocar con el vehículo en vista lateral izquierda, asimismo muestra la presión que ejerce el aire sobre el vehículo.

### 3.3.7 Cargas de impacto

#### Impacto superior (Is) (4)

El reglamento de la Federación Automovilística Universitaria en caso de existir un impacto superior, la aceleración que deberá soportar la estructura es de  $2 * g$  (4).

#### 3.3.7.1 Calculo de la carga de impacto superior

$$F_s = C_{mf} * 2 * g \quad (\text{Ec} - 3.42)$$

$$F_s = 247.54 \text{kg} * 2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_s = 4856.73 \text{ N}$$

#### Calculo carga de impacto superior aplicado en cada nodo

$$F_{sn} = \frac{F_s}{n} \quad (\text{Ec} - 3.43)$$

$$F_{sn} = \frac{4856.73 \text{ N}}{4 \text{ nodos}}$$

$$F_{sn} = 1214.18 \text{ N/nodos}$$

#### Donde:

$F_s$  = Carga de impacto superior.

$F_{sn}$  = Carga de impacto superior soportado en cada nodo.

$n$  = número de nodos en la parte superior de la estructura.

$g$  = aceleración de la gravedad.

$C_{mf}$  = masa total.

### 3.3.7.2 Impacto lateral (II) (4)

Según la norma de la Federación de Automovilística Universitaria en el caso de existir un impacto lateral la estructura debera soportar una aceleración de  $4 * g$  (4).

#### Calculo de carga de impacto lateral

$$Fl = Cmf * 4 * g \quad (\text{Ec} - 3.44)$$

$$Fl = 247.54kg * 4 * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$Fl = 9713.46 N$$

#### Calculo de la carga de impacto lateral aplicada a cada nodo

$$Fln = \frac{Fl}{n} \quad (\text{Ec} - 3.45)$$

$$Fln = \frac{9713.46 N}{19 \text{ nodos}}$$

$$Fln = 511.23 N/nodos$$

#### Donde:

Fl = carga de impacto lateral

Cmf = masa total.

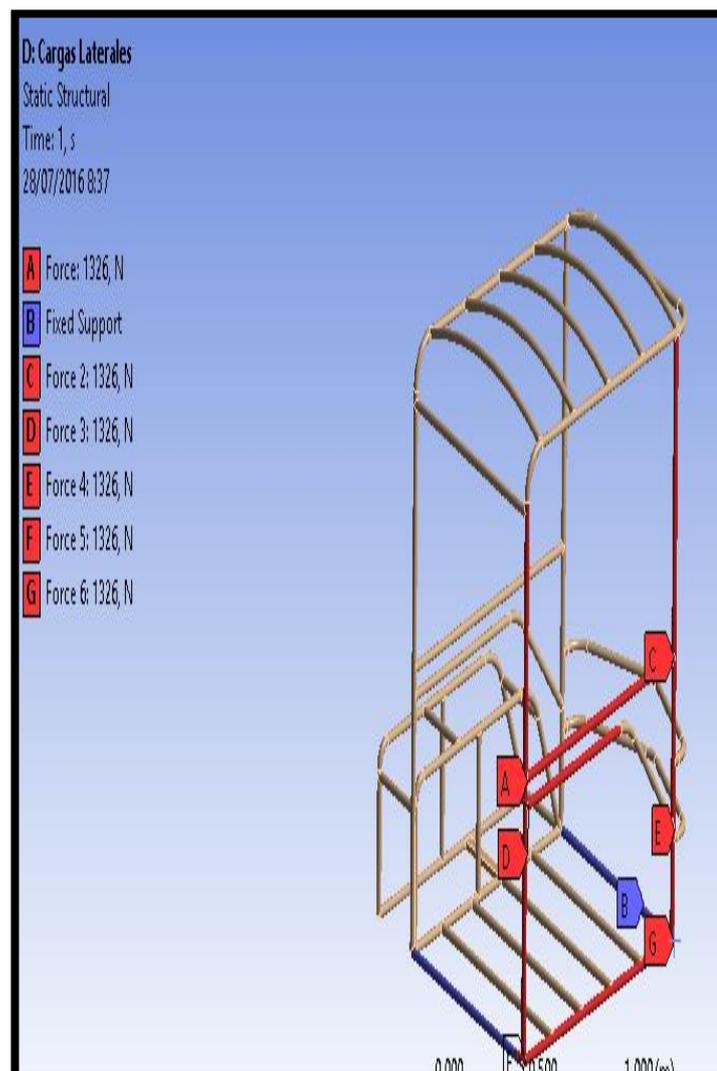
g = aceleración de la gravedad.

Fln = carga de impacto lateral aplicada en cada nodo.

n = número de nodos

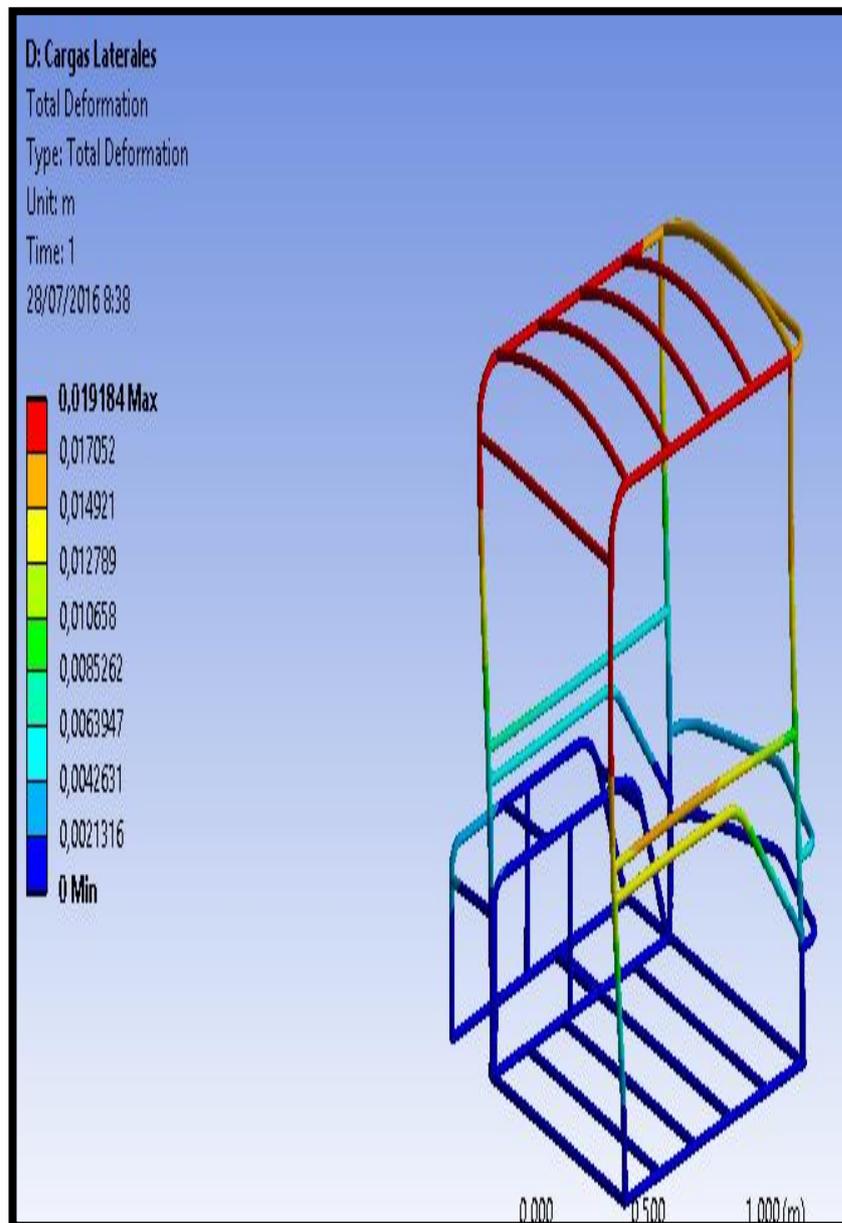
### 3.3.7.2.1 Simulación de Cargas Laterales

La simulación en CAD-CAE del sistema estructural prototipo para cargas laterales al pasar por una curva a una velocidad máxima en este caso es de 60 km/h, se debe restringir el movimiento en los puntos de anclaje donde las fuerzas de fricción actúan en los puntos de anclaje en dirección a la fuerza centrípeta que intenta sacar al vehículo prototipo de la curva. Las reacciones que actúan en forma perpendicular a las ruedas se transmiten a los puntos de anclaje de los amortiguadores por lo que adicionalmente se toman en cuenta para la simulación las cargas vivas y muertas que se ejercen.



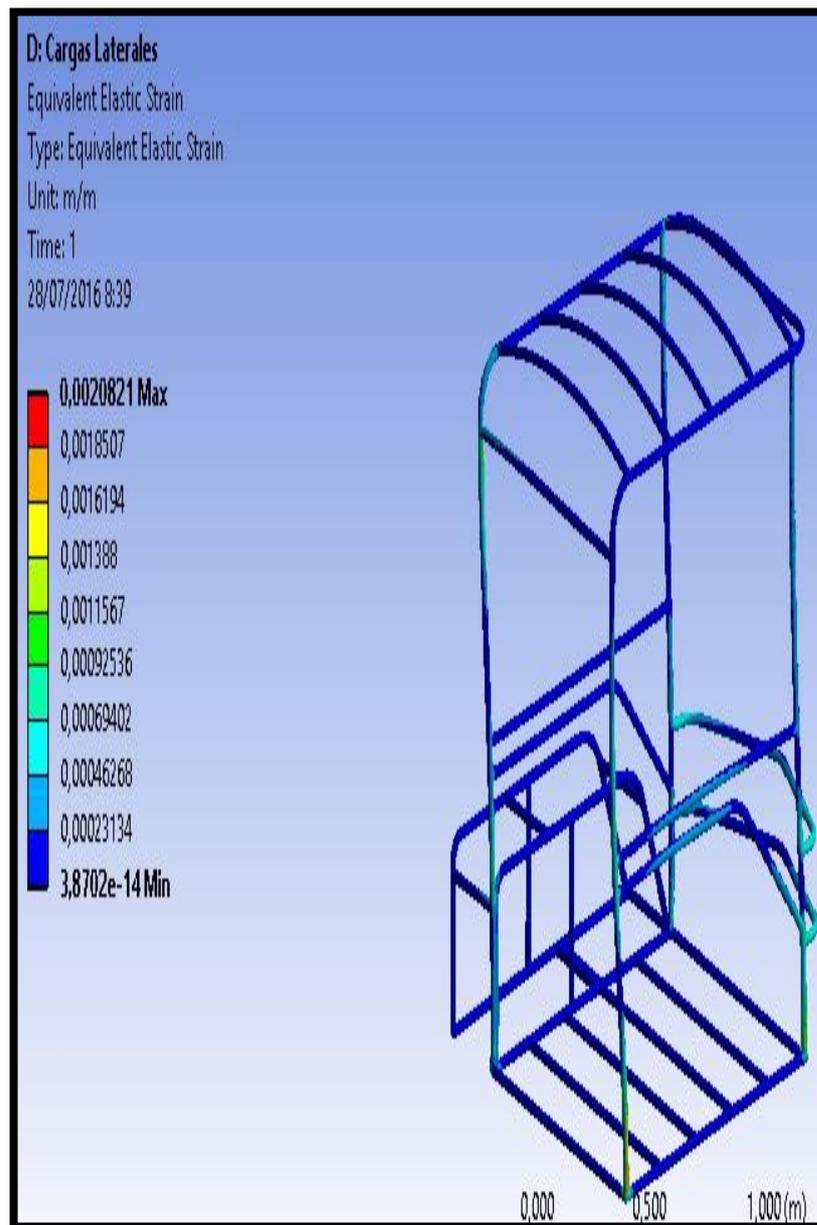
**Figura 70,** La simulación de cargas laterales aplicadas a la estructura prototipo

Las cargas de impacto lateral se aplican a cada uno de los nodos, además la fijación del sistema estructural se puede observar detalladamente en la figura 70.



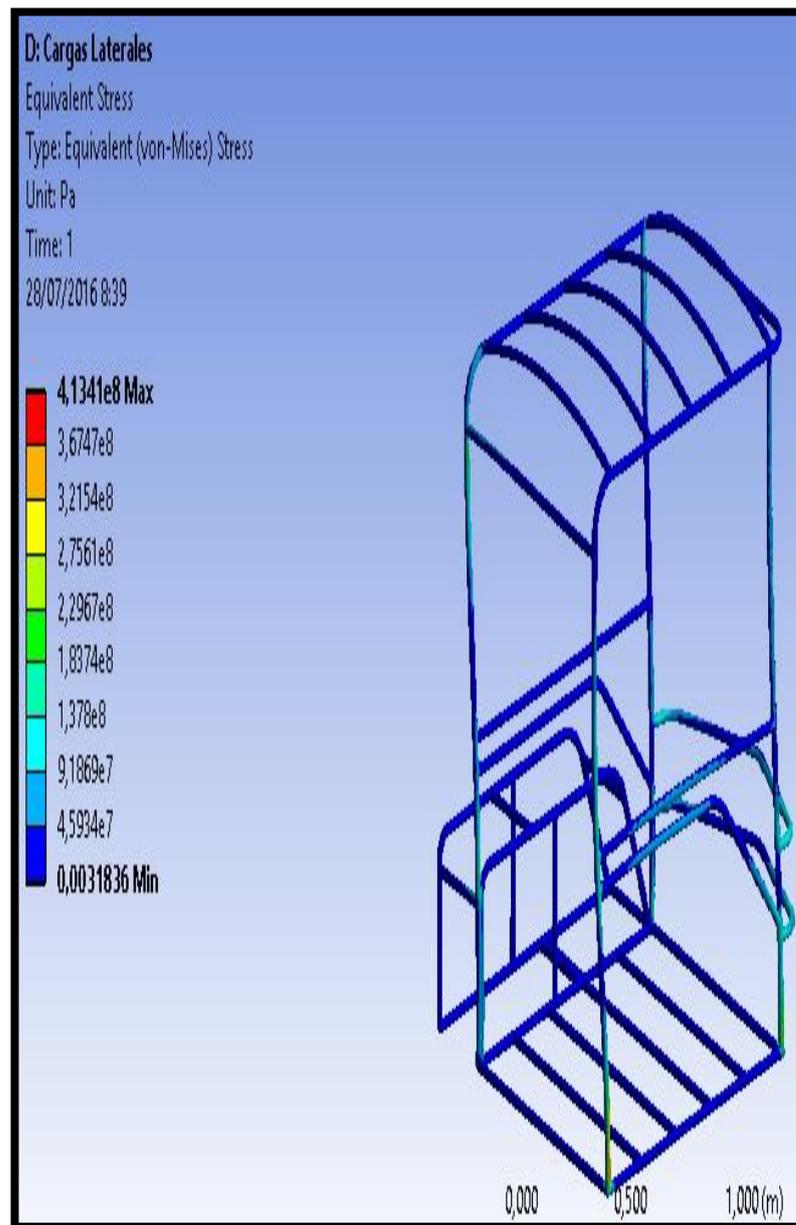
**Figura 71,** Resultado de impacto lateral con deformacion total.

La deformacion total resultado del impacto lateral da un valor maximo de 19,18 mm. Es posible identificar en la figura 71, la zona superior como la que mayor afectación tendría.



**Figura 72,** Esfuerzo equivalente elastico en un impacto lateral.

En la simulación de impacto lateral, el esfuerzo equivalente elástico da un resultado de 1.8 m/m. En la figura 72 es posible identificar las zonas afectadas, mostrando que la zona lateral derecha inferior es la de mayor influencia.



**Figura 73,** Esfuerzo equivalente Von-Mises en el impacto lateral

El esfuerzo equivalente de Von-Mises en la simulación de impacto lateral se muestra en la figura 73, es posible identificar la zona inferior derecha del sistema estructural como la más afectada con un valor de 276 MPa.

### 3.3.7.3 Impacto frontal (If) (4)

La normativa de la Federación Automovilística Universitaria el impacto frontal que deberá soportar la estructura es de  $8g$  (4).

#### Calculo de la carga de impacto frontal

$$Ff = Cmf * 8 * g \quad (\text{Ec} - 3.46)$$

$$Ff = 247.54kg * 8 * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$Ff = 19426.94 N$$

#### Calculo de la carga de impacto frontal aplicada en cada nodo

$$Ffn = \frac{Ff}{n} \quad (\text{Ec} - 3.47)$$

$$Ffn = \frac{19426.94 N}{4 \text{ nodos}}$$

$$Ffn = 4856.73 N/nodos$$

**Donde:**

Ff = carga de impacto frontal

Cmf = masa total

g = aceleración de la gravedad

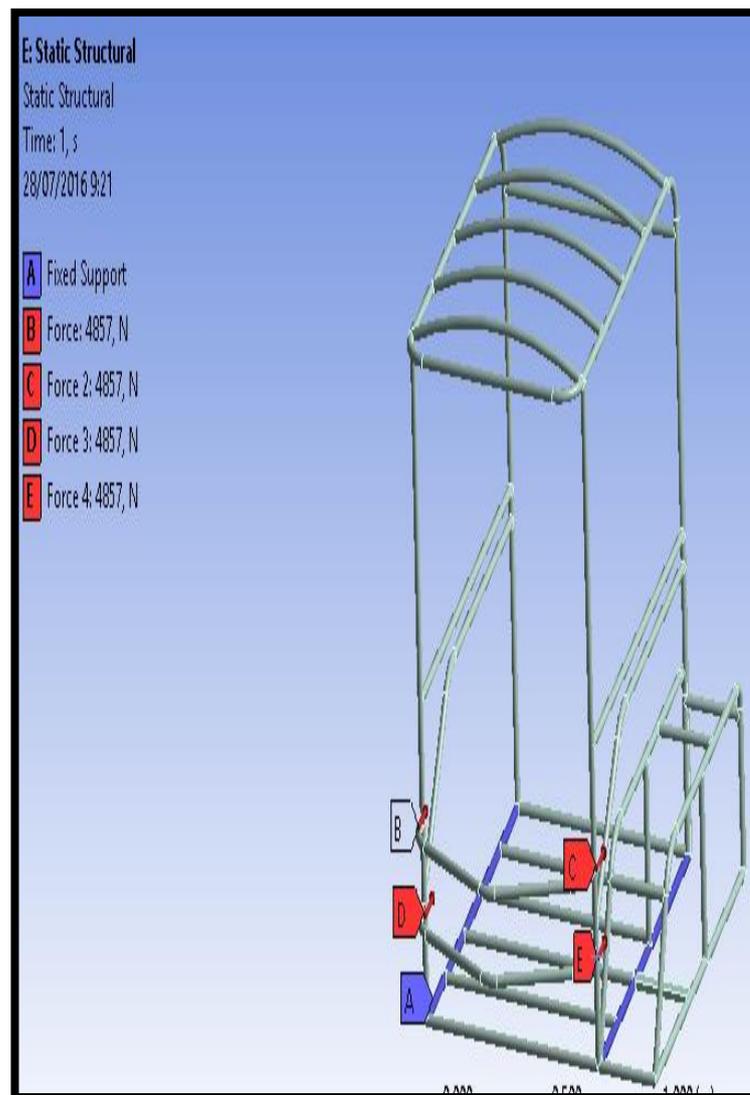
Ffn = carga de impacto frontal aplicada a cada nodo.

n = número de nodos

#### 3.3.7.3.1 Simulación de Impacto Frontal

La simulación en CAD-CAE del sistema estructural prototipo para el vehículo las cargas de impacto frontal restringe el movimiento en los nodos de la celda del

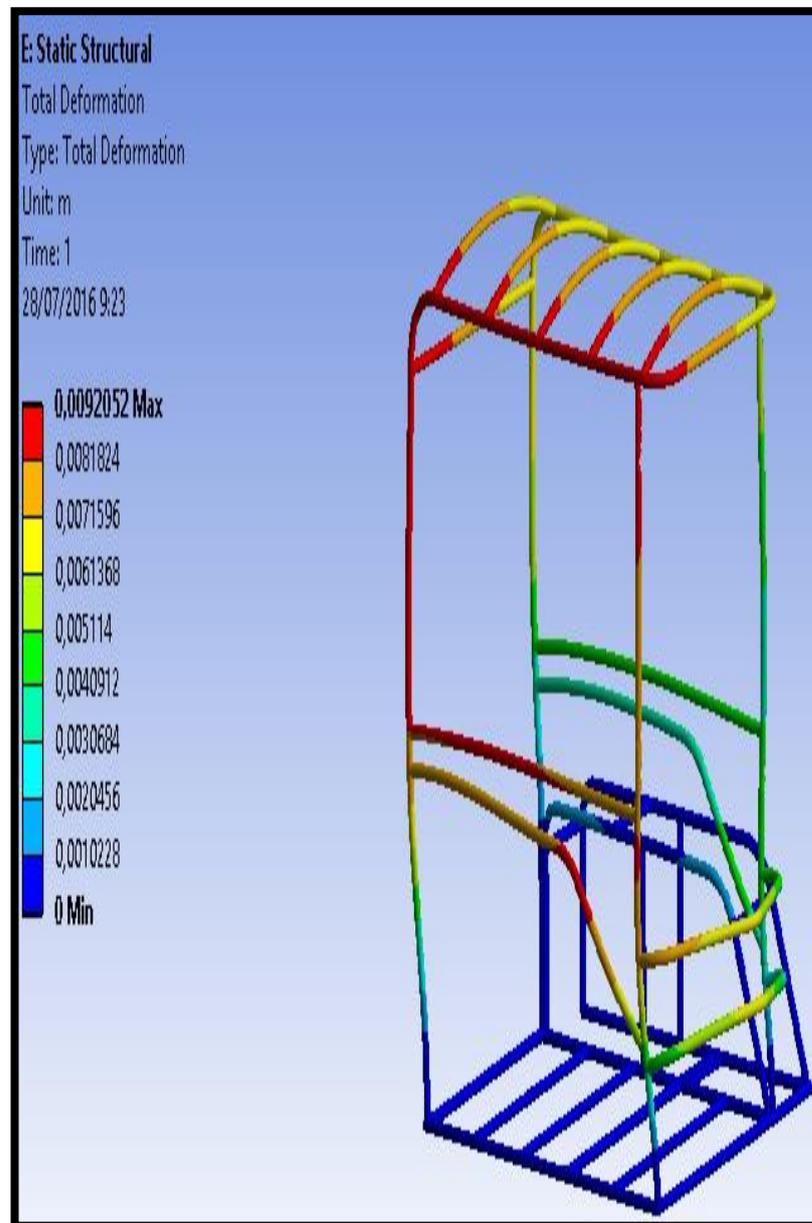
conductor para seguridad del mismo, por lo que las fuerzas que actúan durante el impacto son ubicadas en la parte delantera. Por lo que al momento de colocar las cargas de impacto se debe establecer que la condición según el reglamento es que no exista ruptura en la estructura entonces se compara el máximo esfuerzo producido con el esfuerzo último a la tracción y no con el límite a la fluencia.



**Figura 74,** Cargas aplicadas en un impacto frontal

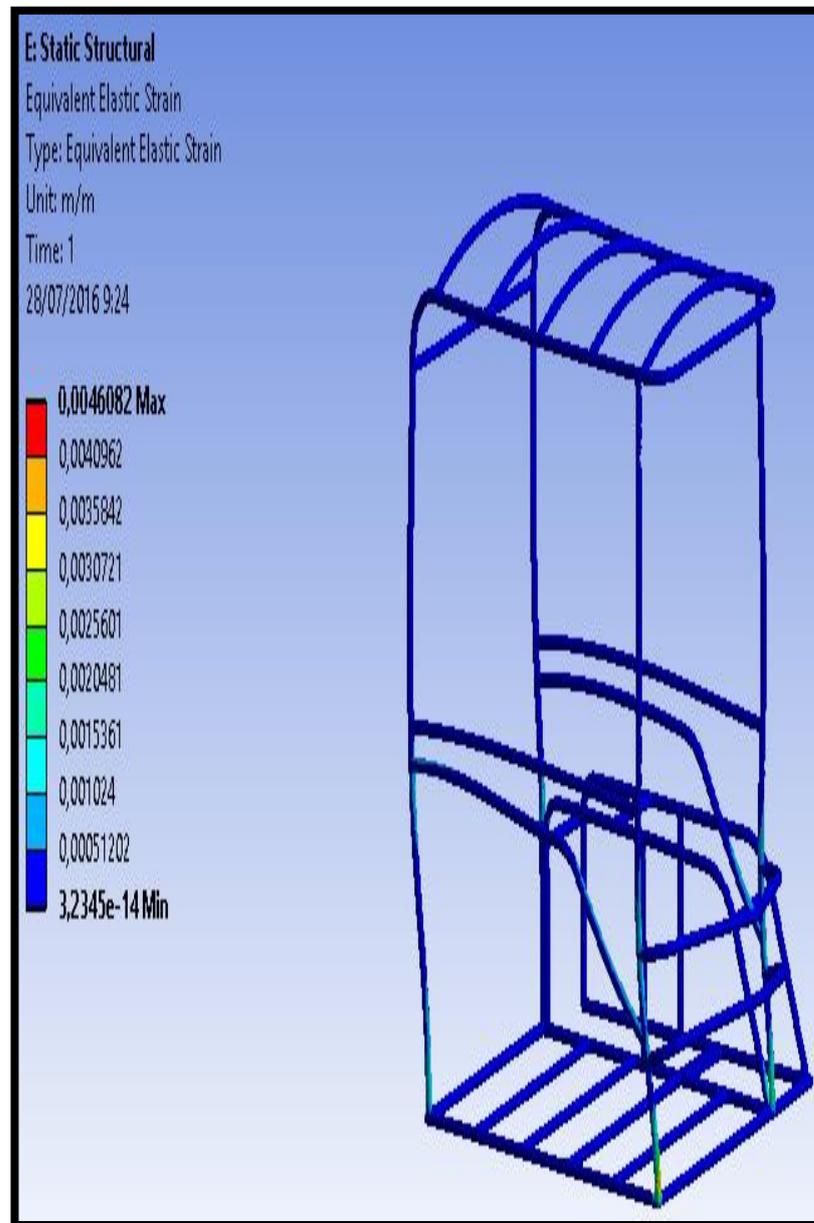
En la figura 74, se observa la aplicación de las cargas en el caso de existir un impacto frontal, las cuales se encuentran distribuidas equitativamente en la parte frontal de la estructura prototipo, se fija un soporte estructural por determinar la

deformación total, el esfuerzo equivalente elástico y el esfuerzo equivalente Von-Mises.



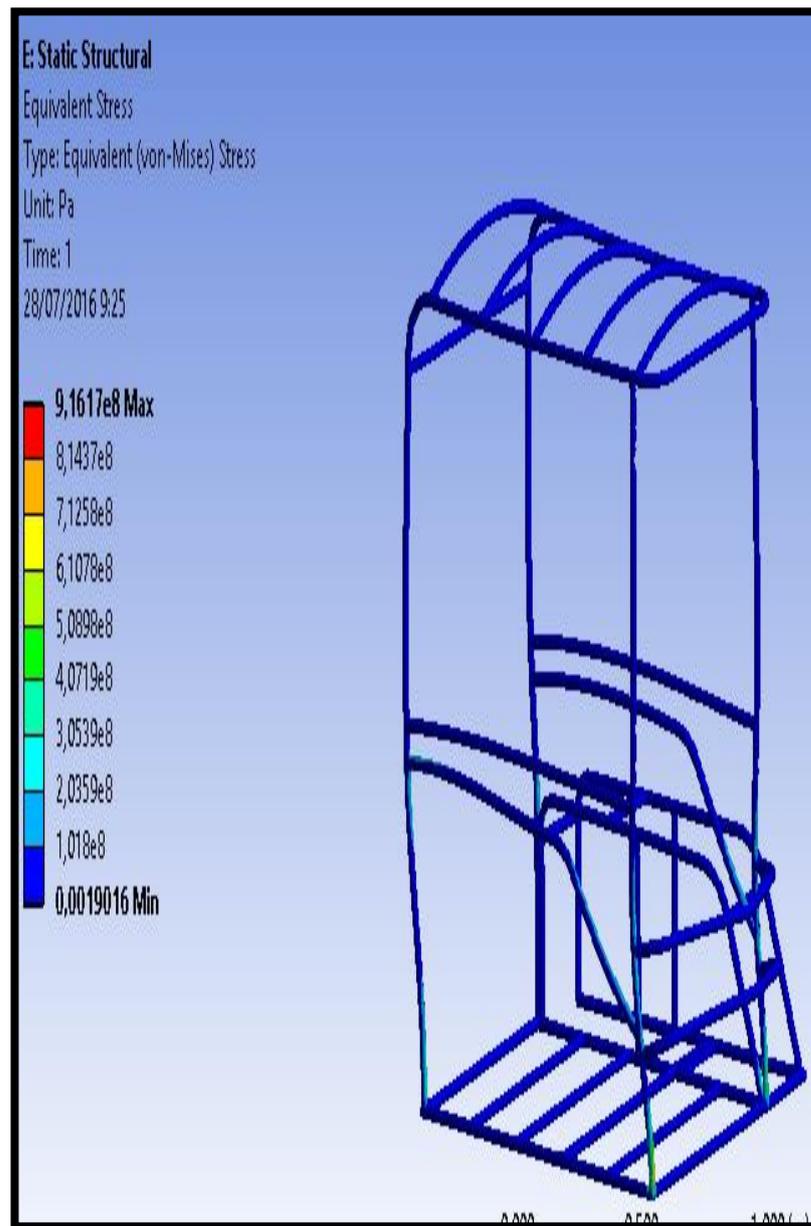
**Figura 75**, Deformación total en el Impacto frontal en la estructura prototipo del vehículo.

La deformación total en la simulación de impacto frontal del sistema estructural se muestra en la figura 75, se identifica la zona superior derecha con un valor de 9,2 mm como la más afectada.



**Figura 76,** Esfuerzo equivalente elastico en el impacto frontal de la estructura prototipo.

En la simulación de impacto frontal, el esfuerzo equivalente elástico da un resultado de 9.07 m/m. En la figura 76, es posible identificar las zonas afectadas, mostrando que la zona frontal inferior es la de mayor influencia.



**Figura 77,** Esfuerzo equivalente de Von-Mises en el impacto frontal de la estructura prototipo

El esfuerzo equivalente de Von-Mises en la simulación de impacto lateral se muestra en la figura 77, es posible identificar la zona frontal inferior derecha del sistema estructural como la más afectada con un valor de 305 MPa.

### 3.3.8 Carga sobre el techo (Ct)

La norma NTE INEN 1323 “La carrocería deberá resistir una carga estática sobre el techo del 50% del peso máximo admisible para el bastidor, sin experimentar deformación en ningún punto que supere los 70mm”.

#### Calculo de carga sobre el techo

$$Ft = Cmf * g \quad (\text{Ec} - 3.48)$$

$$Ft = 247.54kg * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$Ft = 2428.36 N$$

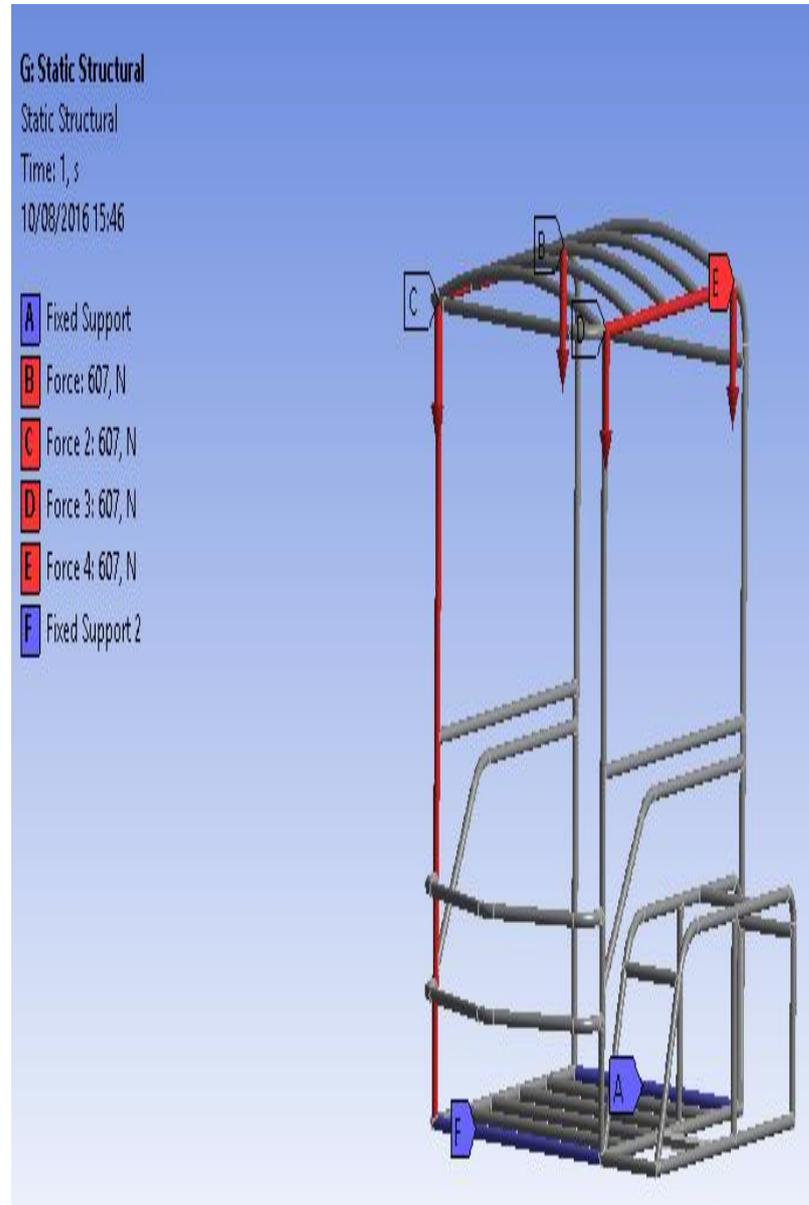
#### Calculo de la carga sobre el techo aplicado en cada nodo

$$Ftn = \frac{Ft}{n} \quad (\text{Ec} - 3.49)$$

$$Ftn = \frac{2428.36 N}{4 \text{ nodos}}$$

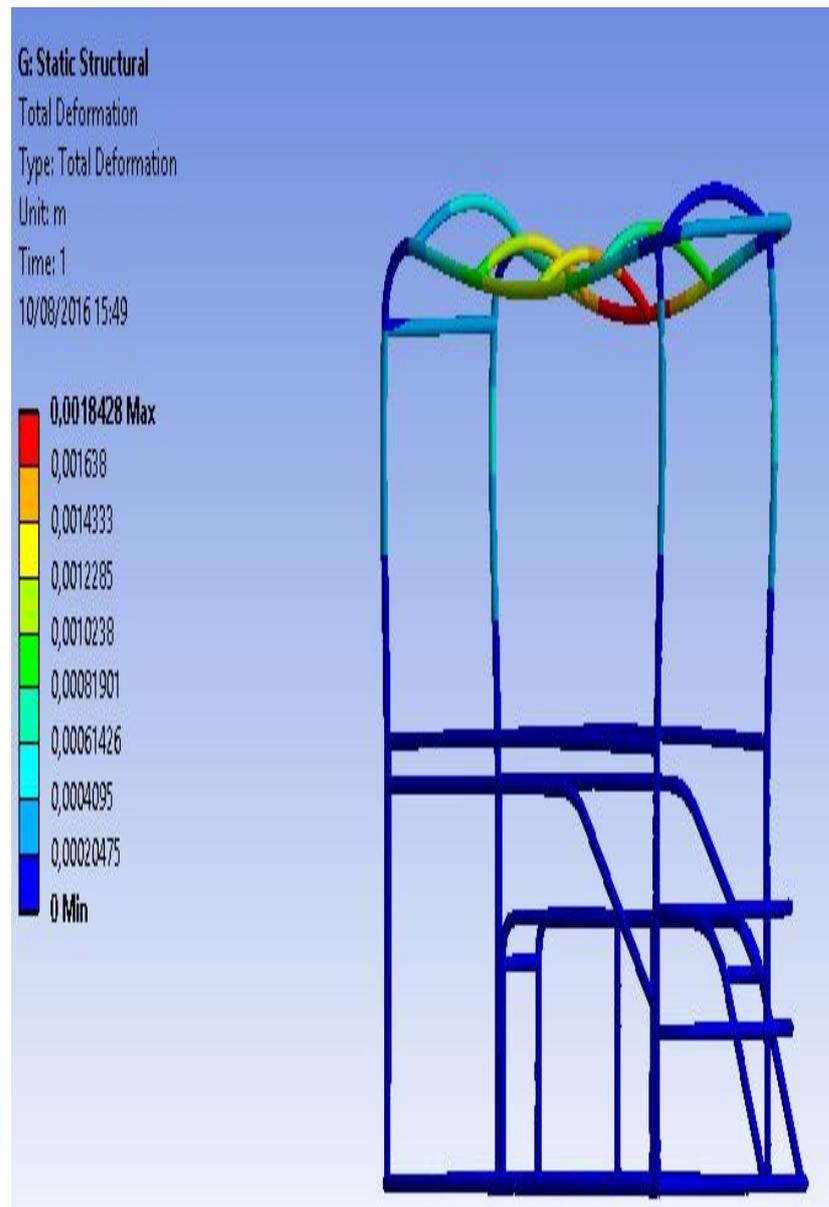
$$Ftn = 607.1 N/nodos$$

### 3.3.8.1 Simulación de cargas sobre el techo.



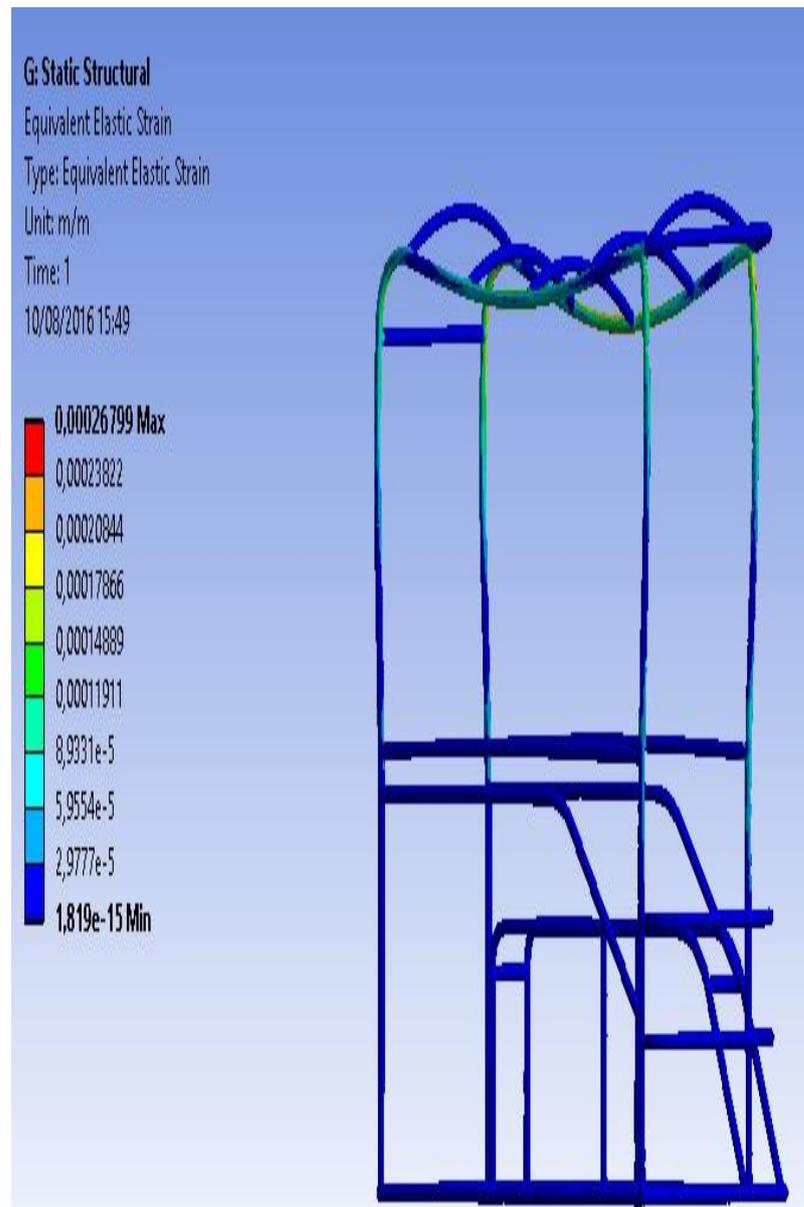
**Figura 78,** Esquema de cargas sobre el techo.

En la figura 78 se muestra las cargas aplicadas en el techo del sistema estructural prototipo y la fijación existente.



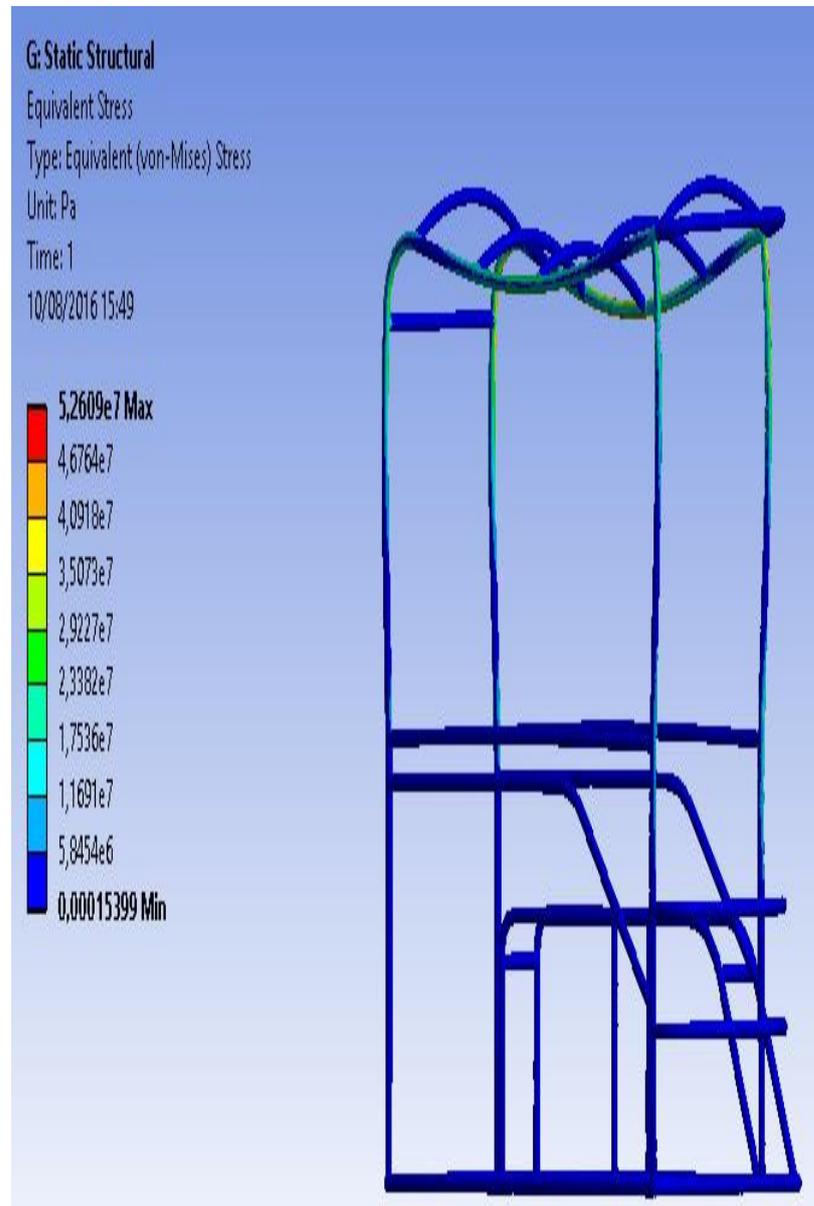
**Figura 79,** Deformacion total de la simulacion de cargas sobre el techo

La deformacion total resultado de carga sobre el techo da un valor maximo de 2 mm. Es posible identificar en la figura 79 la zona superior izquierda como la que mayor afectación tendría.



**Figura 80,** Esfuerzo elastico equivalente de cargas sobre el techo.

En la simulación de cargas sobre techo, el esfuerzo equivalente elástico da un resultado de 2.67 m/m. En la figura 80 es posible identificar las zonas afectadas, mostrando que la zona lateral izquierda es la de mayor influencia.



**Figura 81**, Esfuerzo equivalente Von-Mises aplicando carga sobre el techo.

El esfuerzo equivalente de Von-Mises, en la simulación de carga sobre techo se muestra en la figura 81, es posible identificar a los largueros del techo del sistema estructural como los más afectados con un valor de 52.6 MPa.

### 3.3.9 Calculo de cargas de vuelco (4)

Lo necesario al momento de realizar el analisis para la prueba de vuelco se realiza cuando un vehiculo circula alrededor de una curva a alta velocidad, otra caracteristica importante es la aerodinamica del vehiculo que no alcanzan velocidades importantes o superiores a 95Km/h aunque la importancia es minima, se debe suponer la calzada no presente irregularidades se puede decir que son despreciables.

El principio es determinar la velocidad de derrape y vuelco establecido según las siguientes ecuaciones:

$$V_{ld} = \sqrt{\frac{G \cdot R \cdot U + G \cdot R \cdot \tan \theta}{1 - U \cdot \tan \theta}} \quad (\text{Ec} - 3.50)$$

$$V_v = \sqrt{\frac{R \cdot G \cdot \frac{T_c}{2 \cdot H_c} + G \cdot R \cdot \tan \theta}{1 - \frac{T_c}{2 \cdot H_c} \cdot \tan \theta}} \quad (\text{Ec} - 3.51)$$

Donde:

$V_{ld}$  = velocidad de derrape

$V_v$  = velocidad de vuelco

$G$  = gravedad

$R$  = Radio de curvatura = 12,76 m

$U$  = coeficiente de friccion = 1,1

$T_c$  = ancho de via = 1,5 m

$H_c$  = altura del centro de gravedad = 0,742 m

Reemplazando los datos en la ecuacion :

$$Vld = \sqrt{\frac{9,81 \frac{m}{s^2} * 12,76 m * 1,1 + 9,81 \frac{m}{s^2} * 12,76 m * \text{tang } 30}{1 - 1,1 * \text{tang } 30}}$$

$$Vld = \sqrt{3152,704}$$

$$Vld = 23,99 \frac{m}{s}$$

$$Vv = \sqrt{\frac{12,76 m * 9,81 \frac{m}{s^2} * \frac{1,5 m}{2 * 0,742} + 9,81 \frac{m}{s^2} * 12,76 * \text{tang } 35}{1 - \frac{1,5 m}{2 * 0,742} * \text{tang } 35}}$$

$$Vv = \sqrt{4235,58}$$

$$Vv = 27,07 \frac{m}{s}$$

La velocidad de vuelco y la velocidad de derrape se puede decir que primero derrapa el vehiculo antes de volcarse, se establece una velocidad promedio del vehiculo de 40 km/h.

Si existiera el caso de que por cualquier eventualidad, obstaculos en la calzada o desniveles, se puede decir que el vehiculo puede circular a una velocidad maxima de 50 km/h de acuerdo a Ley Organica de Transporte Terrestre Transito y Seguridad Vial.

Existen fuerzas que actuan al momento de circular en una curva la que se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$P_c = m a_c = C m f * \frac{v^2}{R} \quad (\text{Ec} - 3.52)$$

$$P_c = 247,54 * \frac{(11,11)^2}{12,47}$$

$$P_c = 2450,23 \text{ N}$$

$$P_t = C m f * a_t \quad (\text{Ec} - 3.53)$$

$$P_t = 247,54 \text{ kg} * 5,55 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_t = 1373,85 \text{ N}$$

La fuerza resultante aplicada en el vehiculo en el analisis de vuelco se encuentra a continuacion:

$$P_r = \sqrt{P_c^2 + P_t^2} \quad (\text{Ec} - 3.54)$$

$$P_r = \sqrt{(2450,23)^2 + (1373,85)^2}$$

$$P_r = 2809,11 \text{ N}$$

Donde:

Cmf = masa del vehiculo.

ac = aceleracion centripeta

at = aceleracion tangencial

$v$  = velocidad

$R$  = radio de curvatura

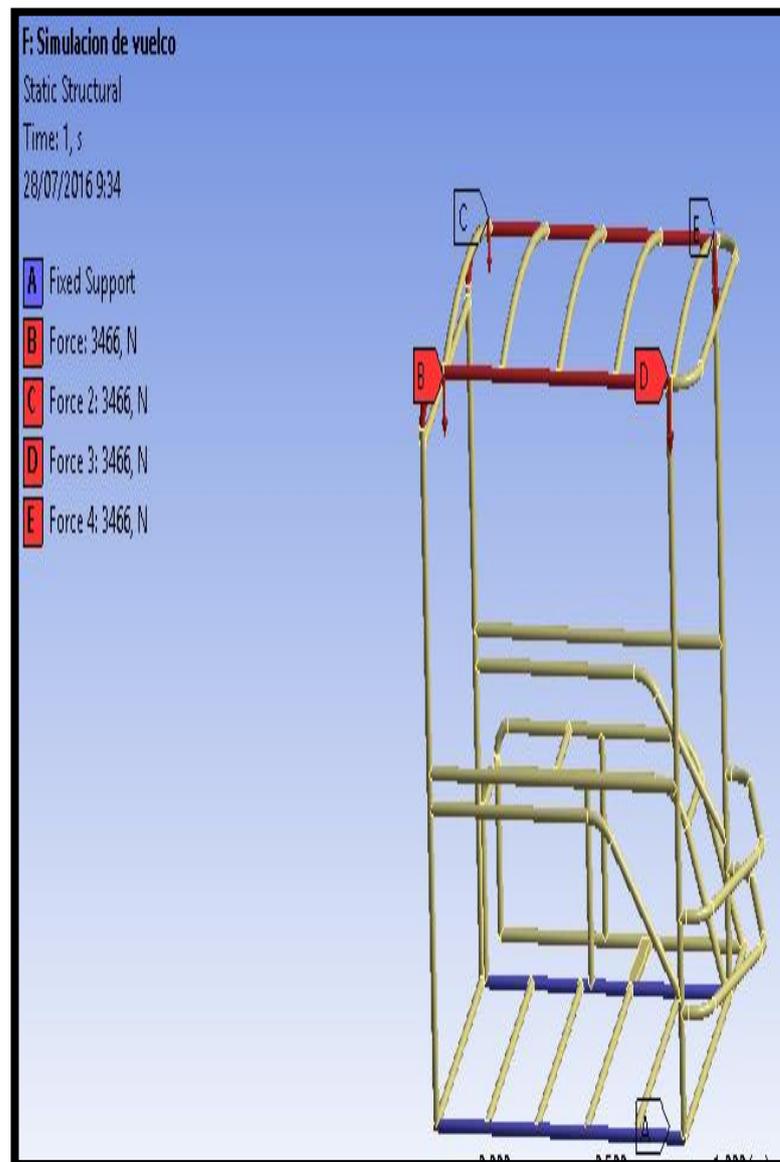
$P_c$  = fuerza centripeta

$P_t$  = Fuerza tangencial

$P_r$  = Fuerza resultante

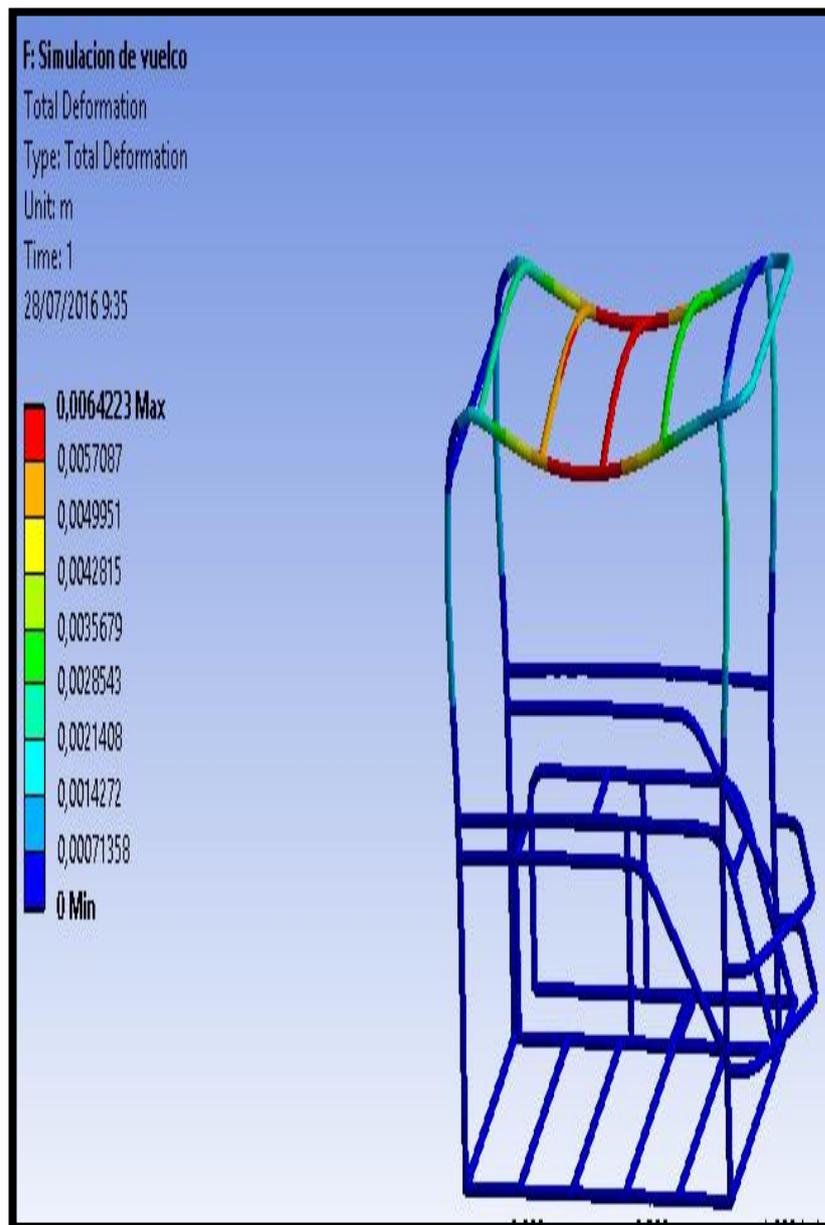
### **3.3.9.1 Simulación de vuelco**

La simulación CAD-CAE de la estructura del vehículo prototipo para condiciones de vuelco se basa por restringir el movimiento en los nodos de la jaula del conductor para garantizar la seguridad del mismo, las fuerzas aplicadas durante el impacto son ubicadas en la parte superior de la estructura del vehículo.



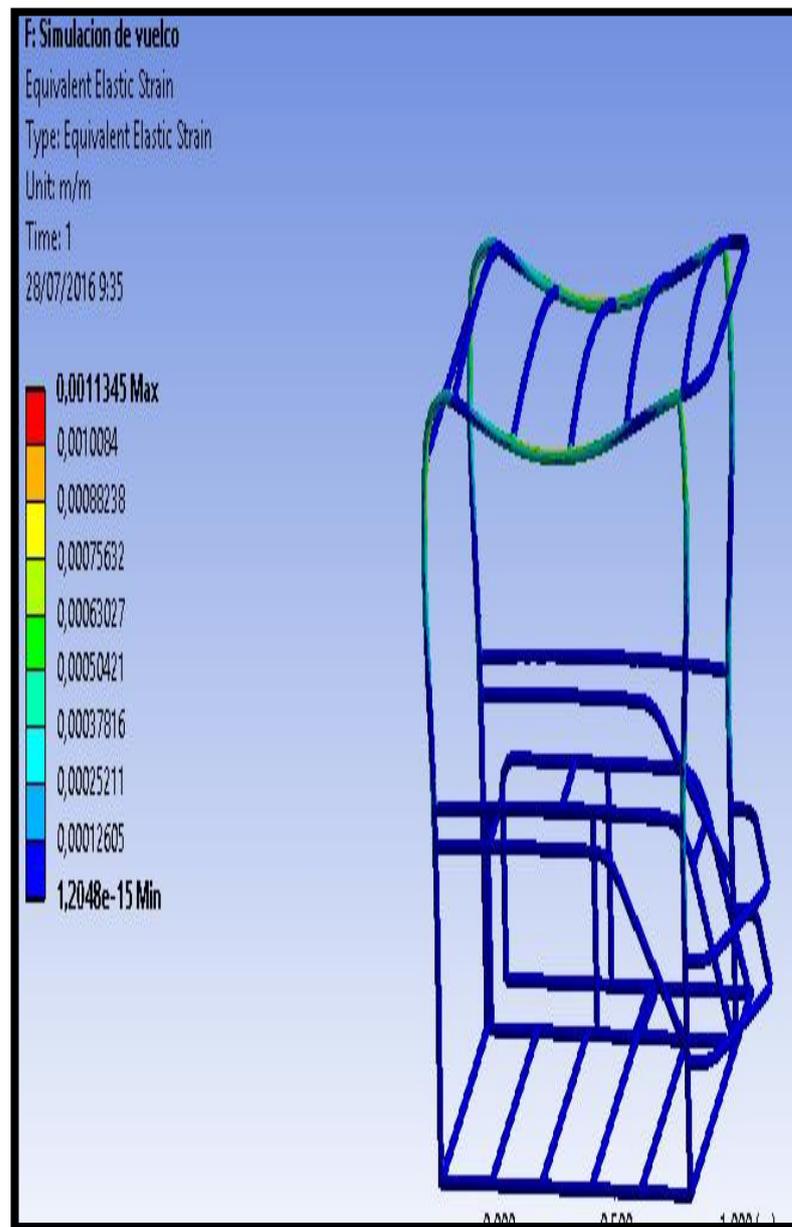
**Figura 82,** Cargas aplicadas a la simulacion de vuelco de la estructura prototipo.

La figura 82 se refiere al modelo esquemático de la estructura prototipo en la que se observa la aplicación de las cargas en la parte superior como se puede observar. La simulación se hace en el modelo de estructura estática y se fija un soporte para la simulación de vuelco.



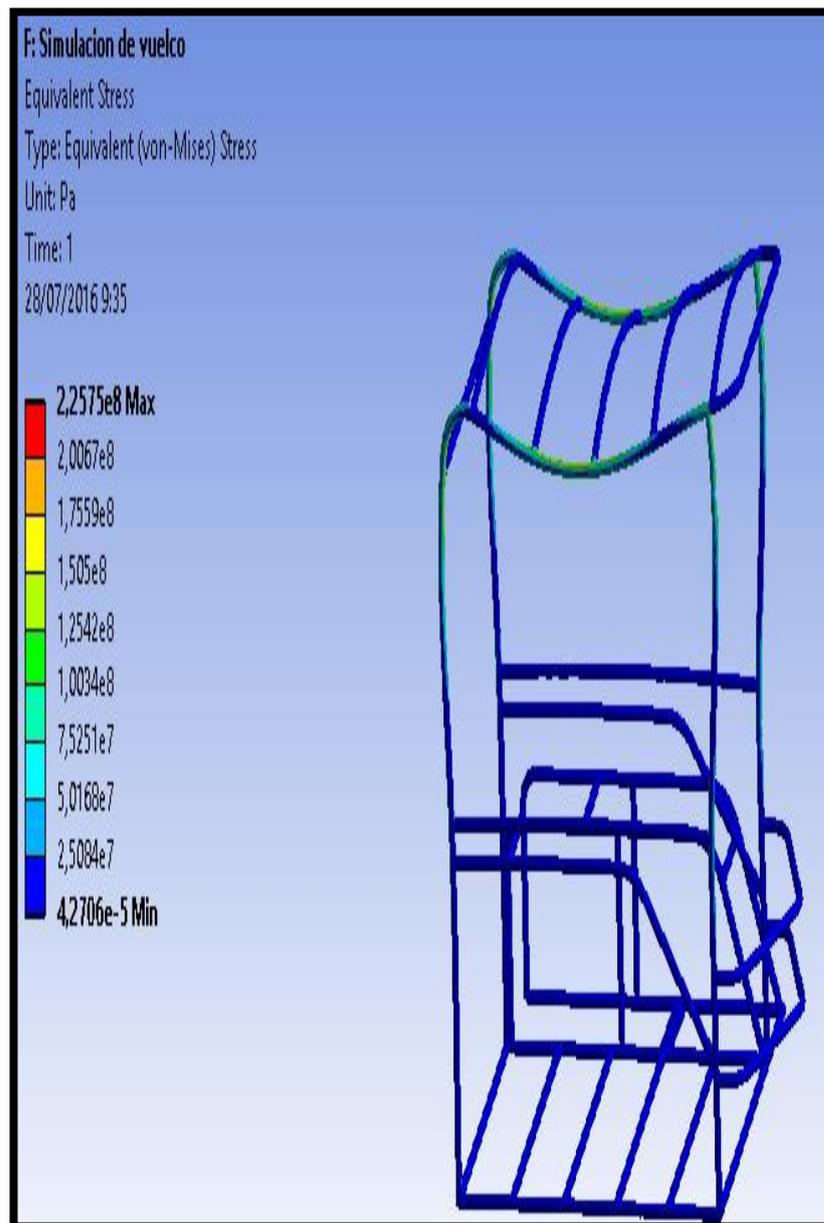
**Figura 83,** Deformación total de la estructura prototipo en la simulación de vuelo.

La deformación total de la estructura prototipo en la simulación de vuelo establece un valor máximo de 6 mm. Es posible identificar en la Figura 83 la zona superior intermedia como la que mayor afectación tendría.



**Figura 84**, Esfuerzo equivalente elástico en la simulación de vuelco de la estructura prototipo.

En la simulación de vuelco, el esfuerzo equivalente elástico da un resultado de 1.3 m/m. En la figura 84 es posible identificar las zonas afectadas, mostrando que la zona superior central y los parantes son los de mayor influencia.



**Figura 85,** Esfuerzo equivalente de Von-Mises en la simulacion de vuelco

El esfuerzo equivalente de Von-Mises en la simulación de vuelco mostrado en la figura 85, es posible identificar la zona superior central y parantes del sistema estructural como los más afectados con un valor de 226 MPa.

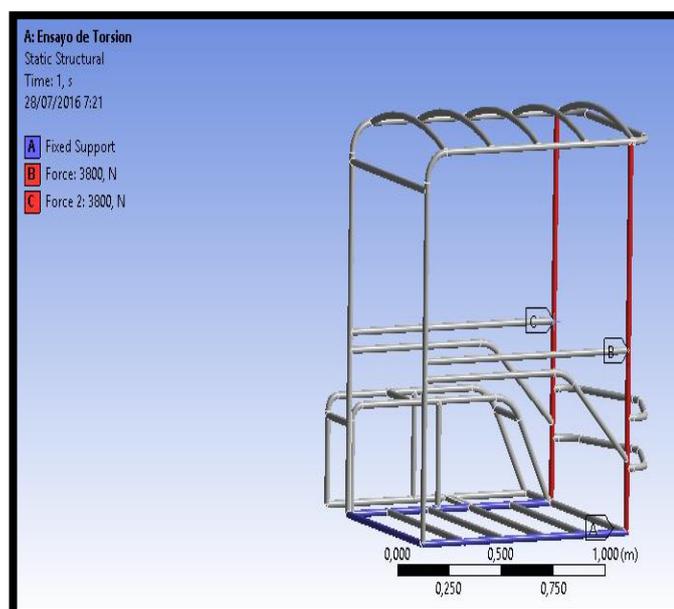
### 3.3.10 Simulación de torsión

Una vez realizado el modelo prototipo de la estructura, se deberá determinar la resistencia del modelo prototipo inicial y progresivamente se harán modificaciones hasta obtener una alta rigidez con un bajo peso, esta simulación es importante debido a la carga con la que se trabaja es la máxima

El análisis para obtener el par torsor de la carga aplicada en la simulación, se calcula en el momento en el que el vehículo circula a través de una curva, debido a que en ese instante las cargas resultantes son mayores en las ruedas interiores y exteriores pero con distintas magnitudes por lo que se obtiene un valor de momento diferente.

La carga mínima recomendable a usar es de  $1500 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{grado}$ , por lo que al momento del cálculo se deberá obtener igual o mayor, por lo que se considera cargas puntuales en los extremos, la carga aplicada es independiente de la rigidez del prototipo de la estructura.

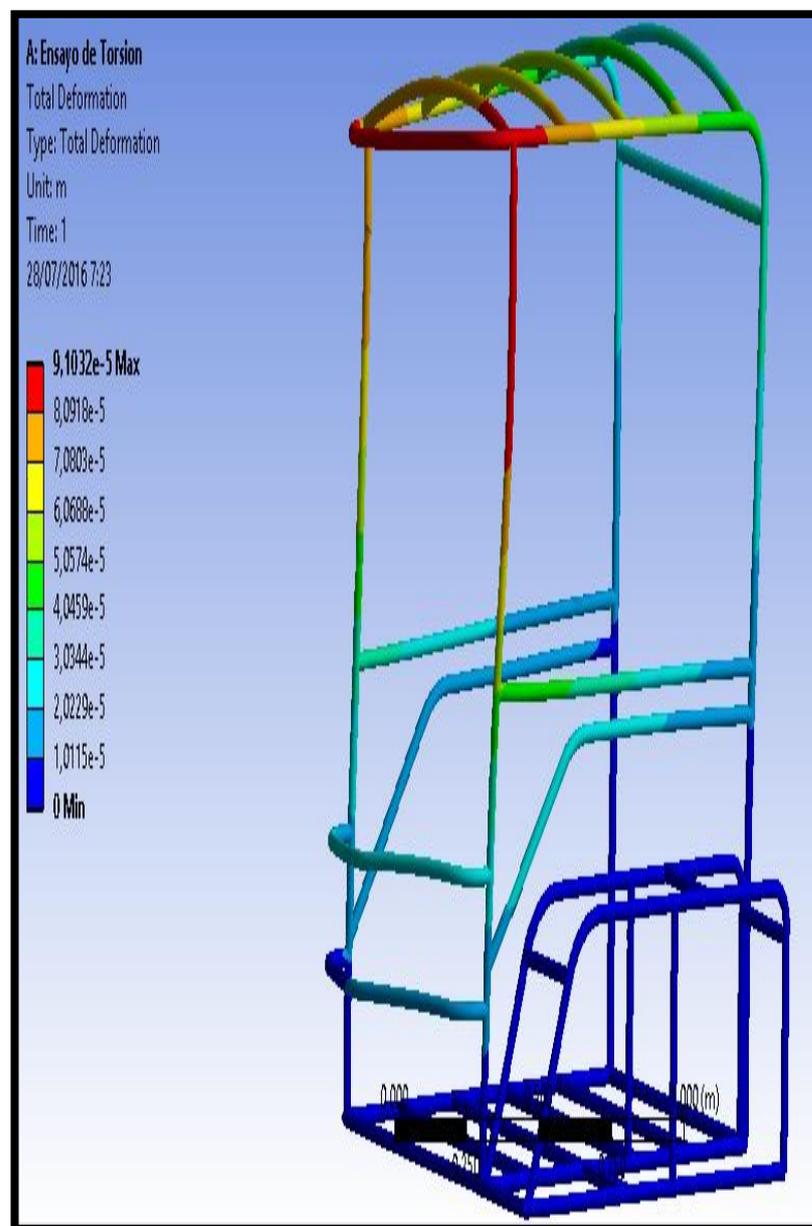
El sistema CAD-CAE son comunmente utilizados para la simulacion de nuestro sistema estructural CAD (Computer Aided Design) significa diseño asistido por computador y CAE (Computer Aided Engineering) significa ingenieria asistida por computador.



**Figura 86,** Asignacion de fuerzas en la estructura prototipo

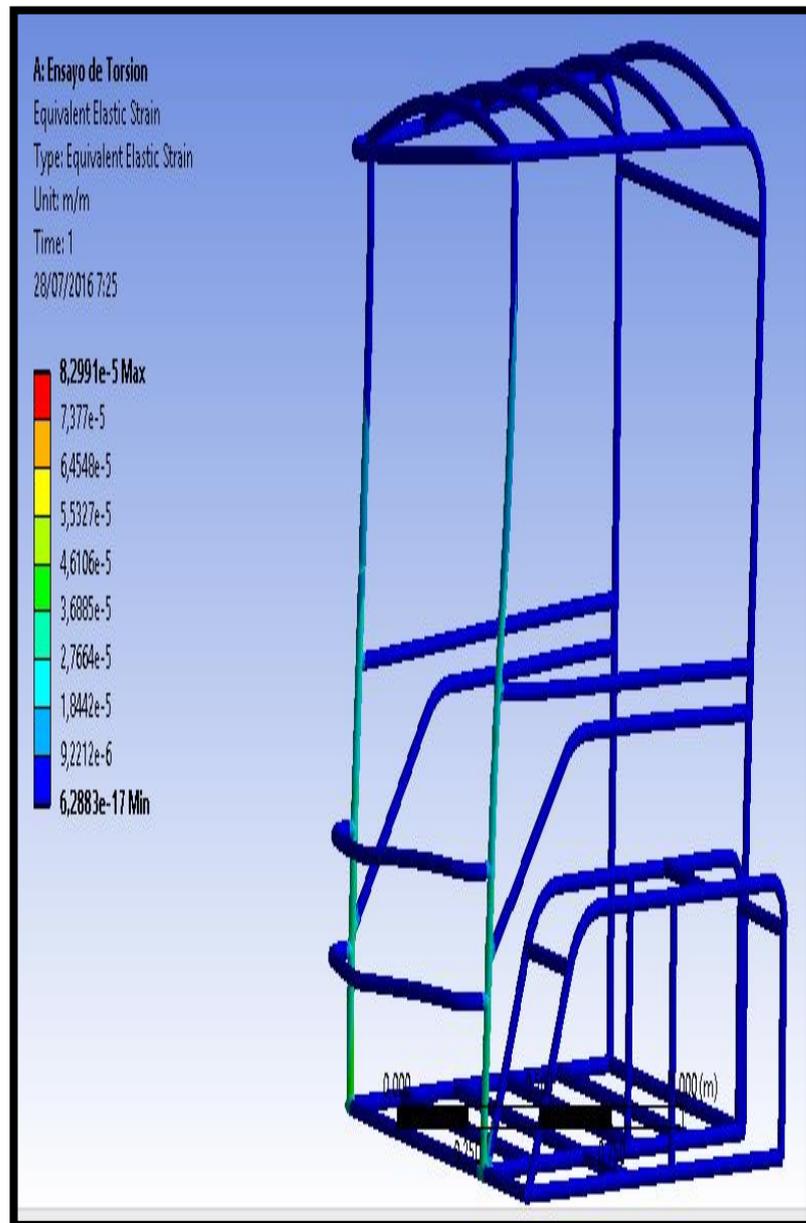
La rigidez de la estructura base del vehículo prototipo se obtendrá a través del software, el que nos permite establecer resultados de deformación mínima y máxima para cada uno de los elementos aplicados en la figura establecida anteriormente.

La ventaja significativa del software es que se puede probar varias configuraciones o modelos antes de la construcción, y lo fundamental de esto es la obtención de resultados confiables del desplazamiento que sucede al aplicar las cargas.



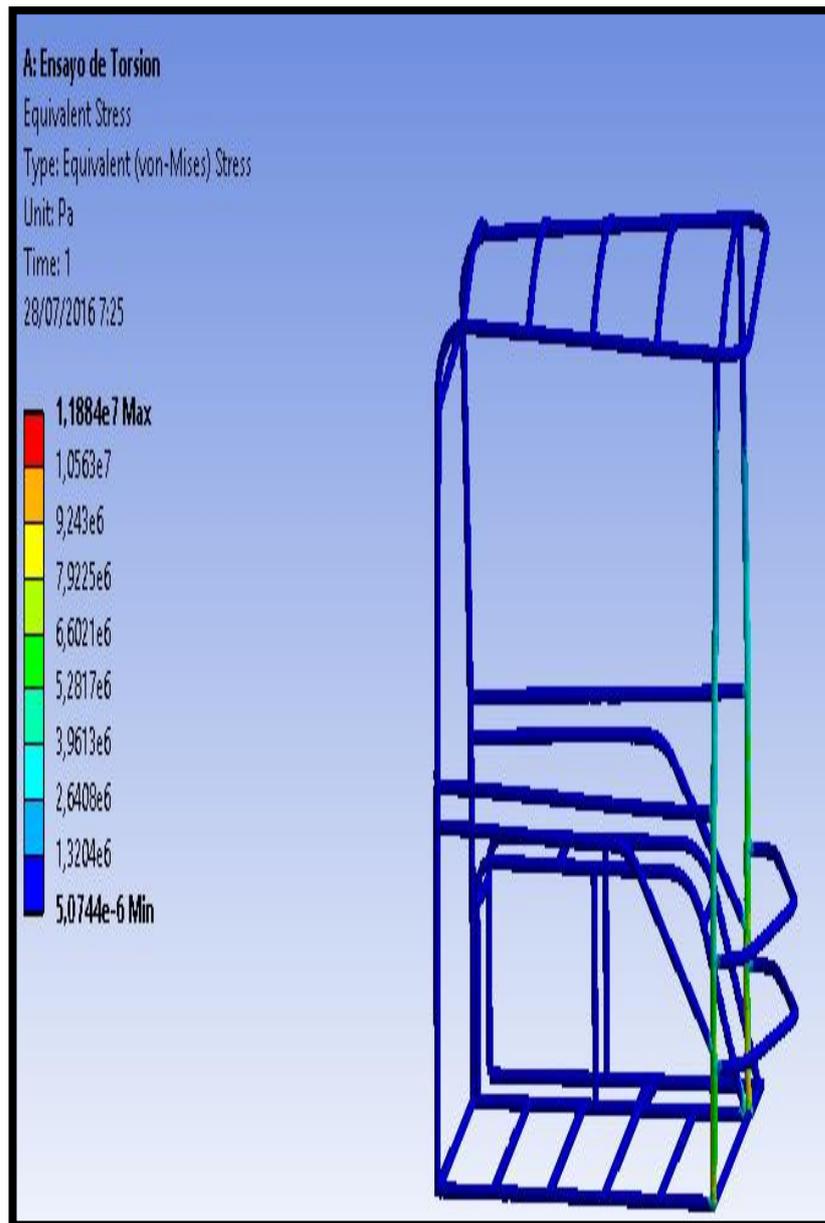
**Figura 87**, Deformacion de la estructura aplicando fuerzas de torsion.

La deformación total resultado de la torsión da un valor máximo que no sobrepasa el 1 mm. Es posible identificar en la figura 87 la zona superior izquierda como la que mayor afectación tendría.



**Figura 88,** Esfuerzo de limite elastico aplicado torsion

En la simulación de torsión, el esfuerzo equivalente elástico da un resultado menor a 1 m/m. En la figura 88 es posible identificar las zonas afectadas, mostrando que la zona frontal inferior es la de mayor influencia

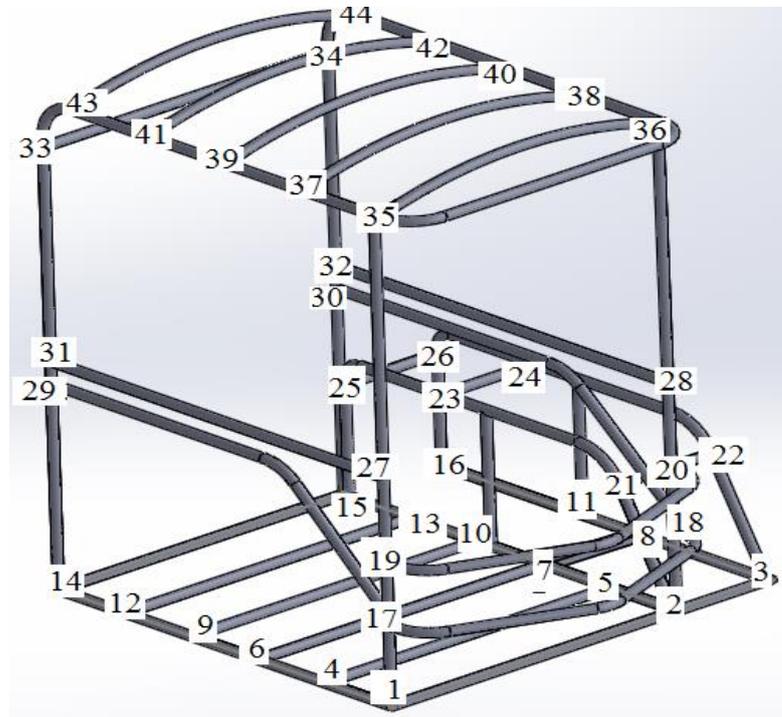


**Figura 89,** Esfuerzo equivalente Von Mises

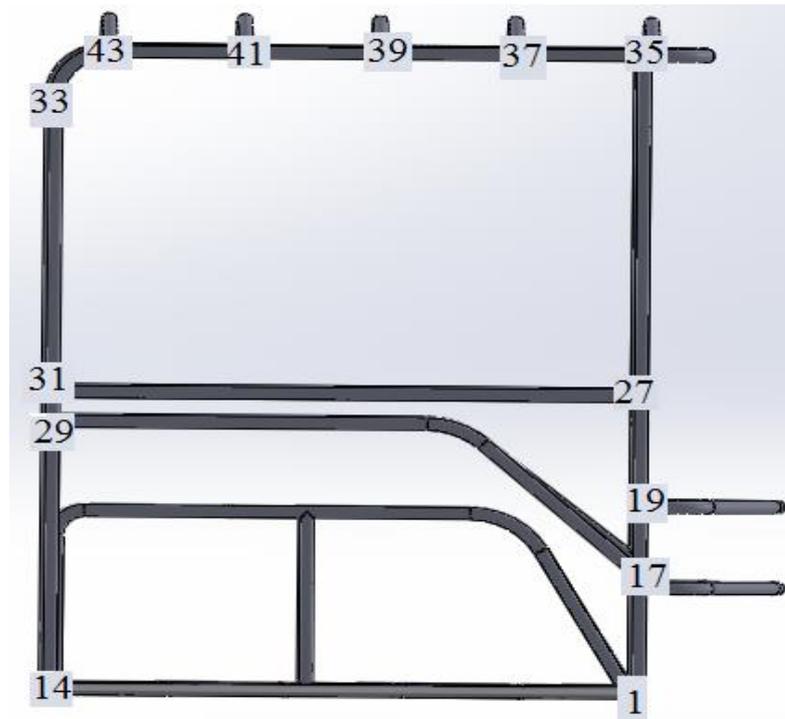
El esfuerzo equivalente de Von-Mises en la simulación de torsión mostrado en la figura 89, permite identificar la zona frontal inferior del sistema estructural como la más afectada con un valor de 9.24 MPa.

### 3.4 Vista de la estructura prototipo

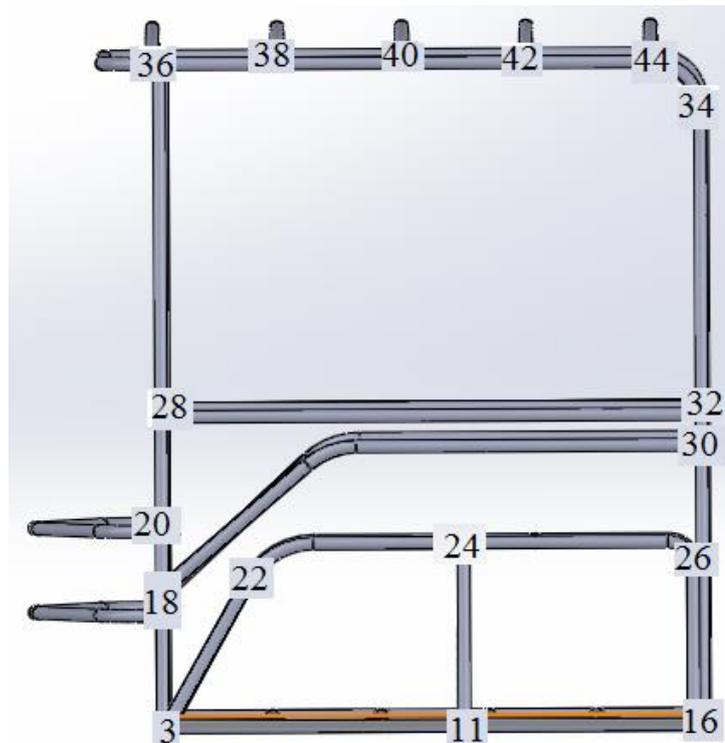
A continuación se puede observar en la fig 3.53, 3.54,3.55,3.56,3.57 y 3.58 la estructura prototipo inicial creada en el software SOLID WORKS .



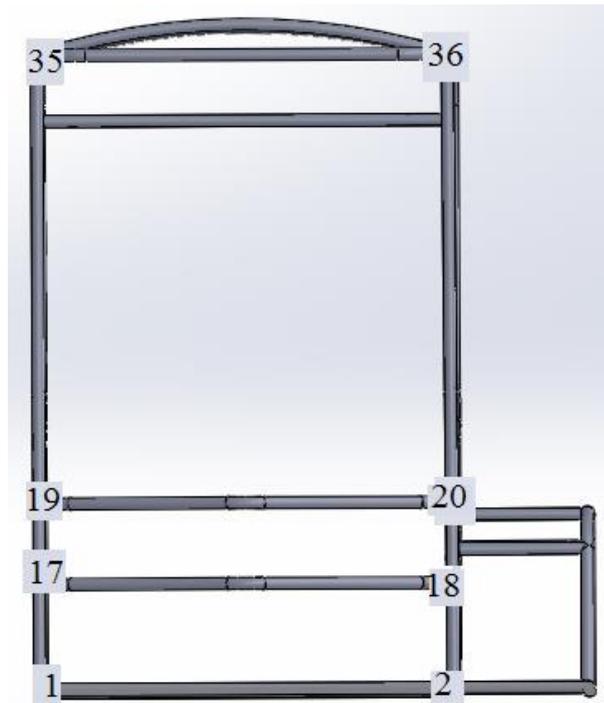
**Figura 90,** Vista isométrica de la estructura prototipo



**Figura 91,** Vista lateral derecha de la estructura prototipo



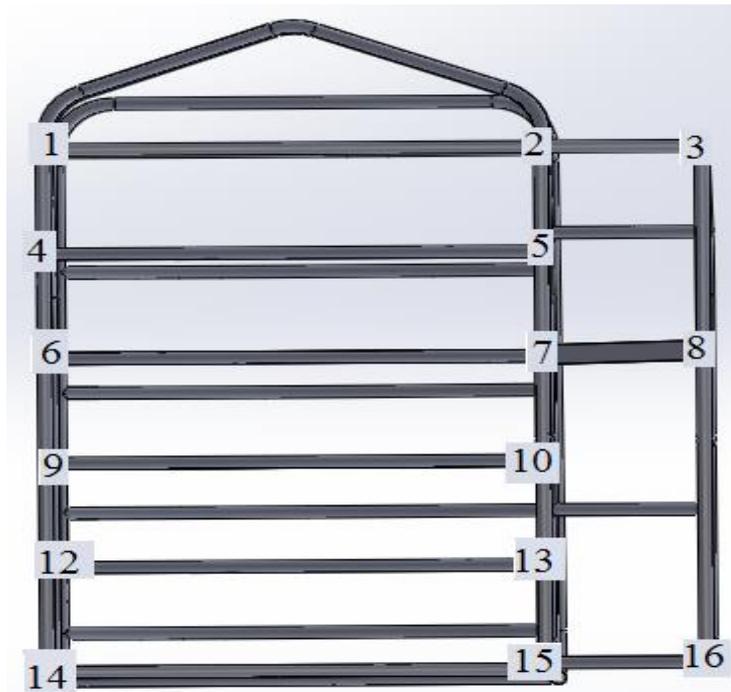
**Figura 92,** Vista lateral izquierda de la estructura prototipo



**Figura 93, Vista** frontal de la estructura prototipo



**Figura 94, Vista** Superior de la estructura prototipo



**Figura 95,** Vista Inferior de la estructura prototipo

**Tabla 4**

Tipo de carga aplicada en cada nodo de la estructura.

TIPO DE CARGA	CARGA (N)	NODOS SELECCIONADOS	CARGA POR NODO (N)
Carga viva	824.04	3,4,7,8,13,14	137,34
Carga muerta	1604.30	3,4,7,8,13,14	267,38
Carga de Giro	638.46		
Carga de frenado	990,16	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42	23,58
Carga de aceleración brusca	990, 16	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42	23,58
Carga de resistencia del aire frontal	214,59	1, 2, 3, 4, 26, 27, 28, 29	26,82
Carga de impacto superior	4856.73	28,29,40,41	1214.18
Carga sobre el techo	2428.36	28,29,40,41	607.1
Carga de impacto lateral	9713.46	3,5,7,9,11,13,15,17,19,20,22,24, 28,30,32,34,36,38,40	511,23
Carga de impacto frontal	19426,94	1,2,26,27	4856,73
Carga de Vuelco	2809.11		

### Calculo de carga crítica

*Según el método ASD (Allowable strength design)*

$$1. M \quad (\text{Ec-2.4})$$

$$M=1604.3 \quad N= 0.3606 \text{ klb}$$

2.  $M + V$  **(Ec-2.5)**  
 $1604.3+824.04=2428.34 N=0.546klb$
3.  $M + V + G$  **(Ec-2.6)**  
 $1604.3+824.04+638.46=3066.8 N=0.689klb$
4.  $M + V + F$  **(Ec-2.7)**  
 $1604.3+824.04+990.16=3418.5 N=0.768klb$
5.  $M + V + F + Raf$  **(Ec-2.8)**  
 $1604.3+824.04+990.16+214.59=3633.09 N=0.816klb$
6.  $M + V + Raf$  **(Ec-2.9)**  
 $1604.3+824.04+214.59=2642.93 N=0.596klb$
7.  $M + V + Ab$  **(Ec-2.10)**  
 $1604.3+824.04+990.16=3418.5 N=0.768klb$
8.  $M + V + Ab +Raf$  **(Ec-2.11)**  
 $1604.3+824.04+990.16+214.59=3633.09 N=0.816klb$

**Según el método LFRD (Load resistance factor design)**

1.  $1,4*M + V$  **(Ec-2.12)**  
 $(1.4*1604.3)+824.04=3070.06 N =0.690klb$
2.  $1,2*M + 1,6*V + 0,5*G$  **(Ec-2.13)**  
 $(1.2*1604.3)+ (1.6*824.04)+ (0.5*638.46)=3562.85N=0.8klb$
3.  $1,2*M + 0,5*V + 1,6*G$  **(Ec-2.14)**  
 $(1.2*1604.3)+ (0.5*824.04)+ (1.6*638.46)=3358.72N=0.755klb$
4.  $1,2*M + 1,6*F + 0,8*Raf$  **(Ec-2.15)**  
 $(1.2*1604.3)+ (1.6*990.16)+ (0.8*214.59)=3681.09N=0.827klb$
5.  $1,2*M + 0,5*V + 0,5*F + 1,3*Raf$  **(Ec-2.16)**  
 $(1.2*1604.3)+ (0.5*824.04)+ (0.5*990.16)+ (1.3*214.59)=3111.23N$   
 $=0.699klb$

$$6. \quad 1,2*M + 1,5*Ab + 0,5*V \quad (\text{Ec-2.17})$$

$$(1,2*1604,3)+(1,5*990,16)+(0,5*824,04)=3822,42$$

$$N=0,859klb$$

$$7. \quad 0,9*M - 1,3*Raf \quad (\text{Ec-2.18})$$

$$(0,9*1604,3)-(1,3*214,59)=1164,90N=0,262klb$$

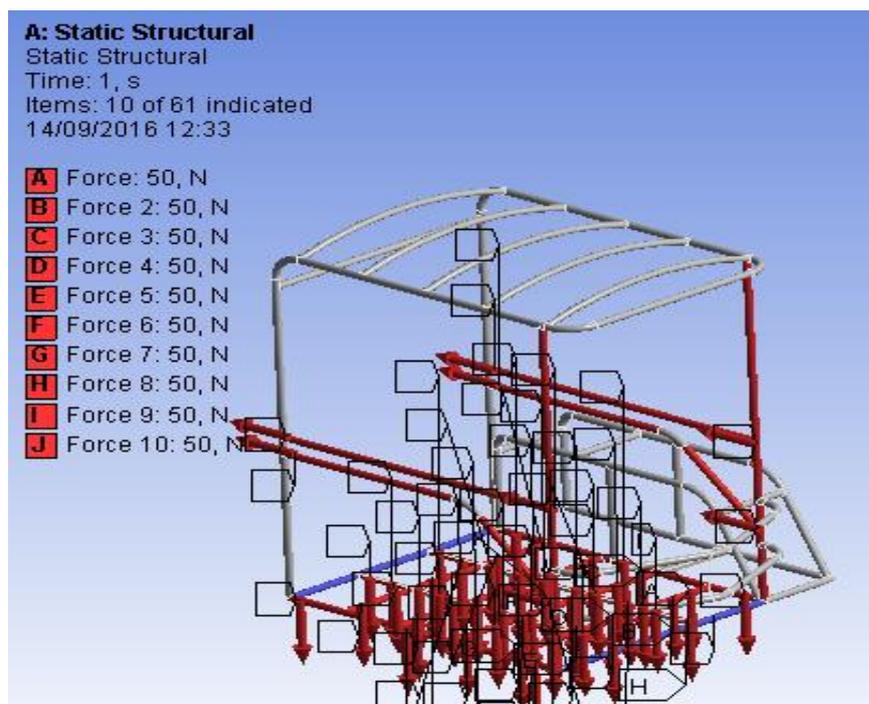
$$8. \quad 0,9*M + 1,3*Raf \quad (\text{Ec-2.19})$$

$$9. \quad (0,9*1604,3)+(1,3*214,59)=1722,84N=0,387klb$$

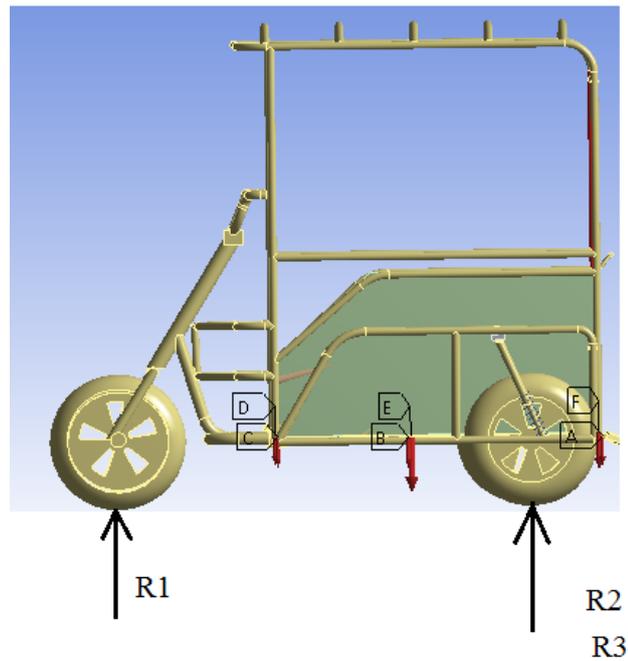
Una vez realizado el cálculo de las diferentes combinaciones de los métodos ASD y LRFD, tomaremos como carga crítica la combinación número 6 correspondiente a la ecuación 2.17 del método LRFD la cual tiene como resultado  $3822,42 \text{ N} = 0,859 \text{ klb}$ .

### Diagrama de Cuerpo Libre.

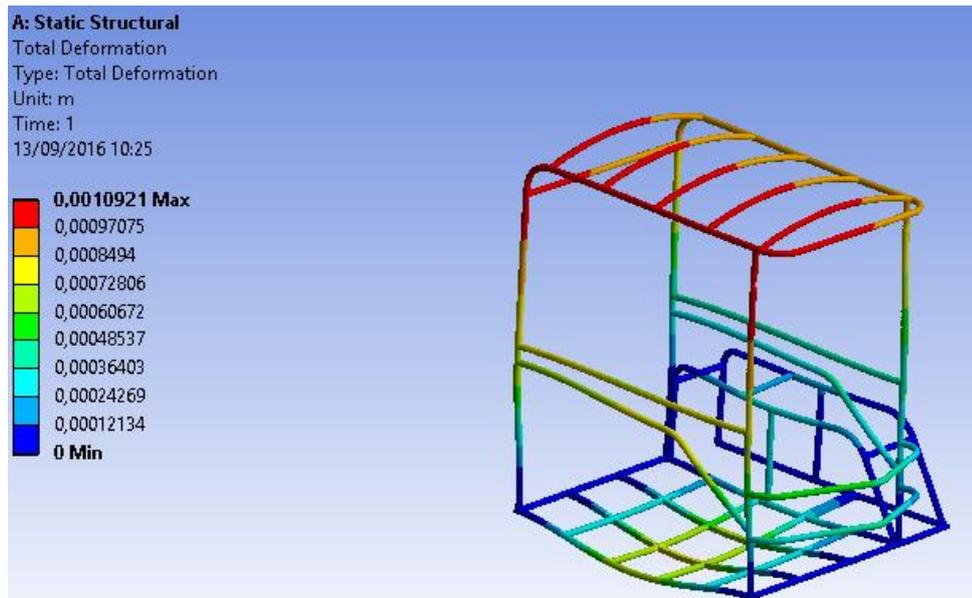
El diagrama de cuerpo libre muestra la combinación de carga crítica aplicada en la estructura, se identifica en la figura 96 y 97.



**Figura 96,** Carga Crítica aplicada en los nodos respectivos.



**Figura 97,** Carga Crítica aplicada en los nodos respectivos.



**Figura 98,** Resultado de la deformación total aplicando la combinación de cargas.

En la figura 98 se observa la deformación total en el sistema estructural la parte mas afectada es el centro del piso y los parantes del techo la deformación en el piso es

aproximadamente menor de 1mm. La deformacion en los perfiles del techo la deformacion es mayor de 1 mm

### Comprobación de resistencia de perfiles previo a su selección.

Datos:

$$Pu = 1.2 m + 1.5 Ab + 0.5 V$$

$$Pu = ((1.2*1604.3) + (1.5*990.16) + (0.5*824.04))$$

Acero A500

$$Pu == 3822.42 N = 0.859klb$$

Fy=46 klb/in2

$$\text{Asumimos } \frac{kl}{r} = 50$$

Fu=58 klb/in2

$$\phi Fcr = 35 \text{ KSI}$$

$$Areq = \frac{Pu}{\phi Fcr} = \frac{0.859}{35}$$

$$Areq = 0.0245 \text{ in}^2$$

ESCOGEMOS

1) Tubo estructural Redondo  $\phi=1''$  in y t= 1.5 mm

$$A=1.13 \text{ cm}^2=0.175\text{in}^2$$

$$\frac{kl}{r} = \frac{63}{0.3346}$$

$$r=0.85 \text{ cm}= 0.3346 \text{ in}$$

$$\frac{kl}{r} = 188.28$$

Kl/r	$\phi Fcr$
188	6.39
188.28	X
189	6.32

$$\frac{188 - 188.28}{188.28 - 189} = \frac{6.39 - x}{x - 6.32}$$

$$\phi Fcr = x = 6.37$$

$$\phi P_n = \phi F_{cr} * A$$

$$\phi P_n = 6.37 * 0.175$$

$$\phi P_n = 1.1148 \text{ klb} > 0.859 \text{ klb} \quad \text{SI CUMPLE}$$

2) Tubo estructural Redondo  $\phi = 1''$  in y  $t = 2$  mm

$$A = 1.47 \text{ cm}^2 = 0.228 \text{ in}^2 \quad \frac{kl}{r} = \frac{63}{0.327}$$

$$r = 0.83 \text{ cm} = 0.327 \text{ in} \quad \frac{kl}{r} = 192.66$$

Kl/r	$\phi F_{cr}$
192	6.13
192.66	X
193	6.06

$$\frac{192 - 192.66}{192.66 - 193} = \frac{6.13 - x}{x - 6.06}$$

$$\phi F_{cr} = x = 6.08$$

$$\phi P_n = \phi F_{cr} * A$$

$$\phi P_n = 6.08 * 0.228$$

$$\phi P_n = 1.387 \text{ klb} > 0.859 \text{ klb}$$

SI CUMPLE.

3) Tubo Estructural cuadrado  $\frac{3}{4}''$  y  $t = 1.5$  mm

$$A = 1.05 \text{ cm}^2 = 0.163 \text{ in}^2 \quad \frac{kl}{r} = \frac{40}{0.295}$$

$$r = 0.75 \text{ cm} = 0.295 \text{ in} \quad \frac{kl}{r} = 135.6$$

Kl/r	$\phi F_{cr}$
135	12.4
135.6	X
136	12.2

$$\frac{135 - 135.6}{135.6 - 136} = \frac{12.4 - x}{x - 12.2}$$

$$\phi F_{cr} = x = 12.28$$

$$\phi P_n = \phi F_{cr} * A$$

$$\phi P_n = 12.28 * 0.163$$

$$\phi P_n = 2 \text{ klb} > 0.859 \text{ klb}$$

SI CUMPLE.

4) Tubo sin costura ced. 40  $\phi = 1 \frac{1}{2}$ " y  $t = 1.5 \text{ mm}$

Acero A106

$$F_y = 35 \text{ klb/in}^2 \quad \text{Asumimos } \frac{kl}{r} = 50$$

$$F_u = 60 \text{ klb/in}^2 \quad \phi F_{cr} = 27.7 \text{ KSI}$$

$$A = \frac{P_u}{\phi F_{cr}} = \frac{0.859}{27.7}$$

$$A = 0.031 \text{ in}^2$$

$$A = 2.036 \text{ in}^2 \quad \frac{kl}{r} = \frac{48}{0.622}$$

$$r = 1.58 \text{ cm} = 0.622 \text{ in} \quad \frac{kl}{r} = 77.17$$

Kl/r	$\phi F_{cr}$
77	23.3
77.17	X
78	23.1

$$\frac{77 - 77.17}{77.17 - 78} = \frac{23.3 - x}{x - 23.1}$$

$$\phi F_{cr} = x = 23.27$$

$$\phi P_n = \phi F_{cr} * A$$

$$\phi P_n = 23.27 * 2.036$$

$$\varnothing P_n = 47.37 \text{ klb} > 0.859 \text{ klb}$$

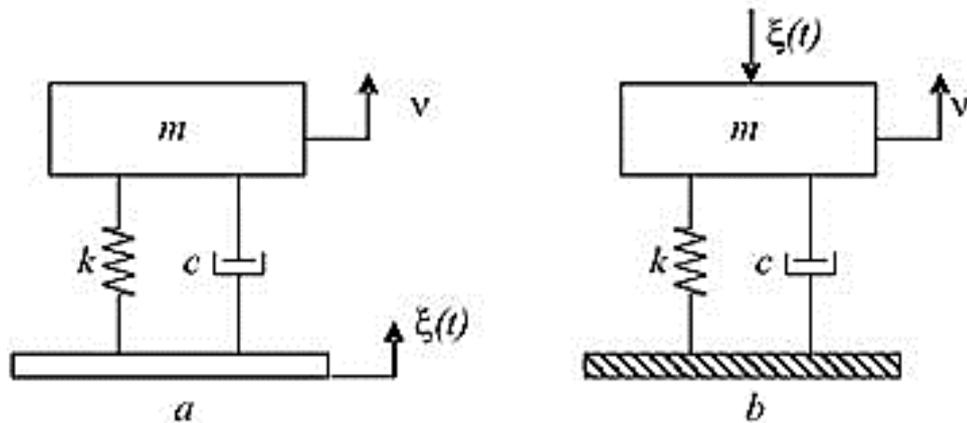
SI CUMPLE.

### Análisis de vibraciones

Este análisis se puede realizar mediante un modelo de un grado de libertad, el cual permite representar la suspensión independiente de un sexto del vehículo. Además podremos analizar la magnitud de la frecuencia natural del movimiento vertical de la masa no suspendida.

El sistema puede ser modelado por un resorte lineal en paralelo con un amortiguador viscoso.

Las masas de un vehículo se unen entre sí mediante el sistema de suspensión, la figura 99 muestra esquemáticamente esta configuración.



**Figura 99**, Modelos de un grado de libertad usados para el análisis de vibración transitoria: (a) excitación por desplazamiento en la base, (b) excitación por fuerza aplicada en la masa.

**Fuente:** (ESTRUCPLAN, 2014)

Donde:

$\xi(t)$ : Fuerza variable en el tiempo

**m**: masa suspendida.

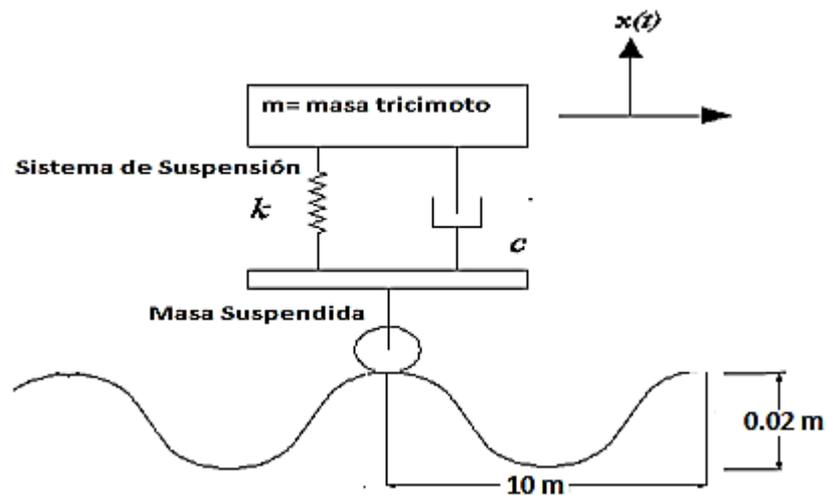
**k** : Elemento elastico de rigidez “K”

$c$  : Elemento amortiguador con coeficiente “C”

La ecuación que gobierna el movimiento para este tipo de sistema se describe a continuación:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = \xi(t)$$

En la figura 100 podemos observar la superficie de la carretera que se asemeja a una función sinusoidal en su sección transversal proporcionando de esta manera un desplazamiento.



**Figura 100**, Modelo simple de una tricimota viajando a una velocidad constante en una carretera que se aproxima a una función sinusoidal.

**Fuente:** (INMAN, 2007)

La función sinusoidal en su sección transversal es descrita por:

$$y(t) = (0.01\text{ m}) \sin \omega_b t$$

Donde

$$\omega_b = v \left( \frac{km}{h} \right) * \left( \frac{1}{0.01km} \right) * \left( \frac{1\text{ h}}{3600\text{ s}} \right) * \left( \frac{2\pi\text{ rad}}{\text{ciclo}} \right)$$

Se puede determinar que la velocidad del vehiculo determina la frecuencia del movimiento de la base.

Para analizar el efecto de la velocidad en la amplitud del desplazamiento, asi como el efecto de la masa de la tricimoto, debemos calcular previamente los siguientes aspectos con los datos suministrados a continuacion:

$T = 0.01 \text{ Km}$  Período (Superficie de la carretera)

$Y = 0.01 \text{ m}$  Amplitud (Superficie de la carretera)

$v = 50 \text{ km/h}$  Velocidad del vehiculo.

$K = 29100 \text{ N/m}$  Constante de rigidez del Resorte

$c = 3581 \text{ N*s/m}$  Constante de Amortiguación

$m = 90 \text{ kg}$  Masa Critica en la rueda posterior

#### 1. Frecuencia de movimiento de la base

$$\omega_b = v \left( \frac{km}{h} \right) * \left( \frac{1}{T} \right) * \left( \frac{1 h}{3600 s} \right) * \left( \frac{2\pi rad}{ciclo} \right)$$

$v = \text{Velocidad del tricimoto}$

$T = \text{Periodo de la superficie de la carretera}$

Calculo para  $v = 50 \text{ Km/h}$

$$\omega_b = \left( 50 \frac{km}{h} \right) * \left( \frac{1}{0.01} \right) * \left( \frac{1 h}{3600 s} \right) * \left( \frac{2\pi rad}{1} \right)$$

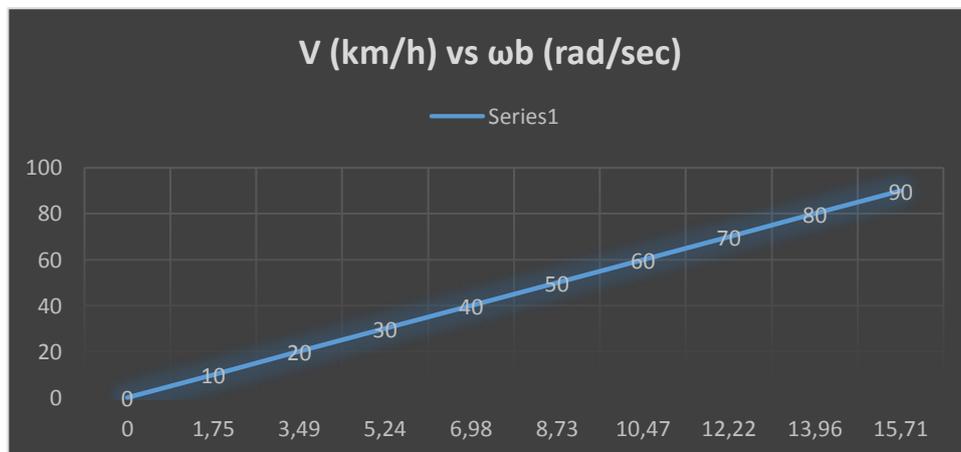
$$\omega_b = 8.73 \text{ rad/s} = 1.39 \text{ Hz}$$

**Tabla 5**

Calculo de la frecuencia del movimiento de la base en relación a distintas velocidades.

V (km/h)	$\omega_b$ (rad/s)
0	0
10	1,75
20	3,49
30	5,24
40	6,98
50	8,73
60	10,47
70	12,22
80	13,96
90	15,71

En la tabla 5, se muestra que la variación de la frecuencia de movimiento de la base es lineal en relación al aumento de la velocidad del vehículo.



**Figura 101,** Variación de la frecuencia del movimiento de la base en relación a la velocidad.

## 2. Frecuencia Natural

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

k = Constante de Rigidez del resorte.

m = Masa crítica de rueda posterior

$$\omega_n = \sqrt{\frac{29100 \text{ N/m}}{90 \text{ kg}}}$$

$$\omega_n = 17.98 \text{ rad/s} = 2.86 \text{ Hz}$$

### 3. Radio de frecuencia

$$r = \frac{\omega b}{\omega_n}$$

$$r = \frac{8.73}{17.98}$$

$$r = 0.485$$

### 4. Radio de amortiguación

La razón de amortiguamiento define el tipo de amortiguamiento del sistema, si es =1 entonces es críticamente amortiguado, si es menor a 1 es sub-amortiguado y sobre amortiguado si es mayor a 1.

$$\xi = \frac{c}{2\sqrt{k * m}}$$

c = Constante de Amortiguación

$$\xi = \frac{3581 \text{ N.s/m}}{2\sqrt{29100 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 90 \text{ Kg}}}$$

$$\xi = 1.106$$

La razón de amortiguamiento muestra que nuestro sistema es sobre amortiguado.

5. Transmisión de movimiento

$$x = y * \sqrt{\frac{1 + (4\xi^2 * r^2)}{(1 - r^2)^2 + 4\xi^2 * r^2}}$$

$$x = 0.01 * \sqrt{\frac{1 + (4(1.106)^2 * 0.485^2)}{(1 - 0.485^2)^2 + 4(1.106)^2 * 0.485^2}}$$

$$x = 0.011 \text{ m}$$

6. Transmisión de Fuerza

$$F(t) = r^2 * k * x$$

$$F(t) = 0.485^2 * 29100 * 0.011$$

$$F(t) = 76.19 \text{ N}$$

De los datos obtenidos de la frecuencia de movimiento de la base y de la frecuencia natural podremos identificar en la figura 102, los efectos que se presentan en el vehículo y sobre el cuerpo humano. Asimismo es posible identificar la transformación de movimiento y fuerza que recibe el sistema. Los cálculos realizados tomaron como fuente guía un trabajo de investigación previo para lo cual será citado (10).

Frecuencias en Hz.		Efectos producidos		
		Sobre las personas	Sobre los automóviles actuales	
Muy bajas	< 0.5		Sensación de mareo con grandes amplitudes	
Bajas 0.5 a 4	1 a 3	1.2 a 2	Frecuencia del movimiento vertical del paso humano	Modos de baja frecuencia de la m. suspendida y del conjunto: movimiento vertical, balanceo, cabeceo y guiñada
		1 a 2	Resonancia de la cabeza en movimientos horizontales	
		1 a 3	Umbral mínimo de la ICV en movimientos horizontales	
Medias De 4 a 20	4 a 8	4 a 6	Resonancia del cuerpo en movimientos horizontales y verticales	Frecuencia de rotación de ruedas en circulación a baja velocidad
		4 a 8	Mínimo umbral de incomodidad en movimientos verticales	
	10 a 20	10 a 20		Frecuencia natural de masas semisuspendidas y frecuencias medias del conjunto (m.s y m.s.s) Frecuencia de rotación de ruedas a velocidad media o alta Oscilaciones localizadas en zonas de la carrocería y otros sistemas o de deformación del bastidor a flexión o torsión
		11 a 15	Poca resonancia en el cuerpo ante movimientos verticales	
		15 a 20	Resonancia de la cabeza con vibraciones verticales	
Altas > 20	20 a 200	20 a 200		Vibraciones provocadas por acciones directas
		60 a 90	Resonancia del globo ocular	
		80 a 95		Vibraciones propias de neumáticos radiales
		100 a 200	Resonancia mandíbulas	
		170 a 200		Vibraciones propias de neumáticos diagonales

**Figura 102,** Resumen de frecuencias características que pueden presentarse en los vehículos y sus efectos sobre el cuerpo humano.

**Fuente:** (UPS-CT001907, 2010)

## Mallado

Al aplicar el metodo de elementos finitos el software realiza un mallado, quiere decir que lo descompone en partes pequenas las cuales se analizan como elementos. Los elementos se relacionan con los nodos respectivos, los nodos son las uniones que existen en cada elemento con sus adyacentes.

## Convergencia

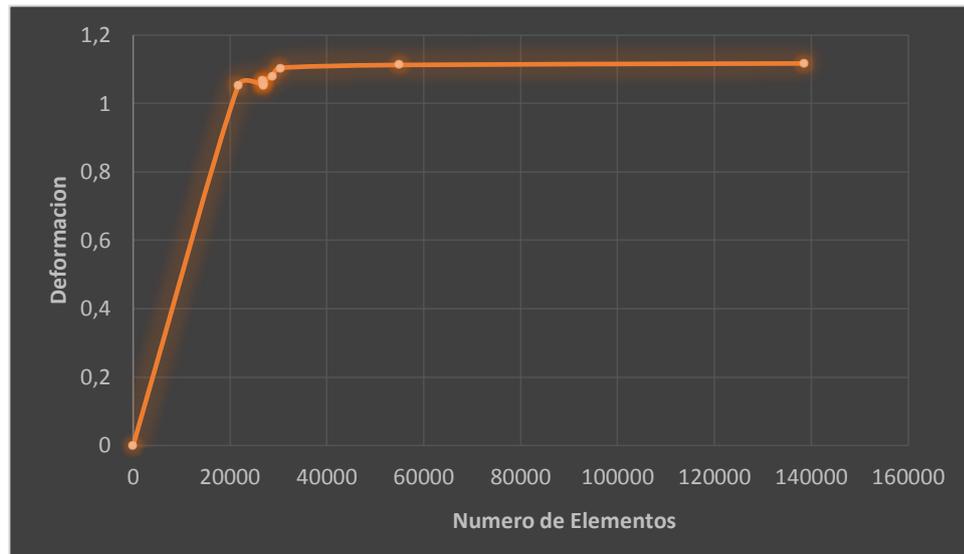
Al refinar la malla los elementos se vuelven pequenos y la solucion tiende a ser exacta. El criterio de convergencia no permite conocer el error, pero nos proporciona una tendencia a la solucion exacta.

A continuacion se observa los datos obtenidos despues de la simulacion de carga critica.

**Tabla 6**

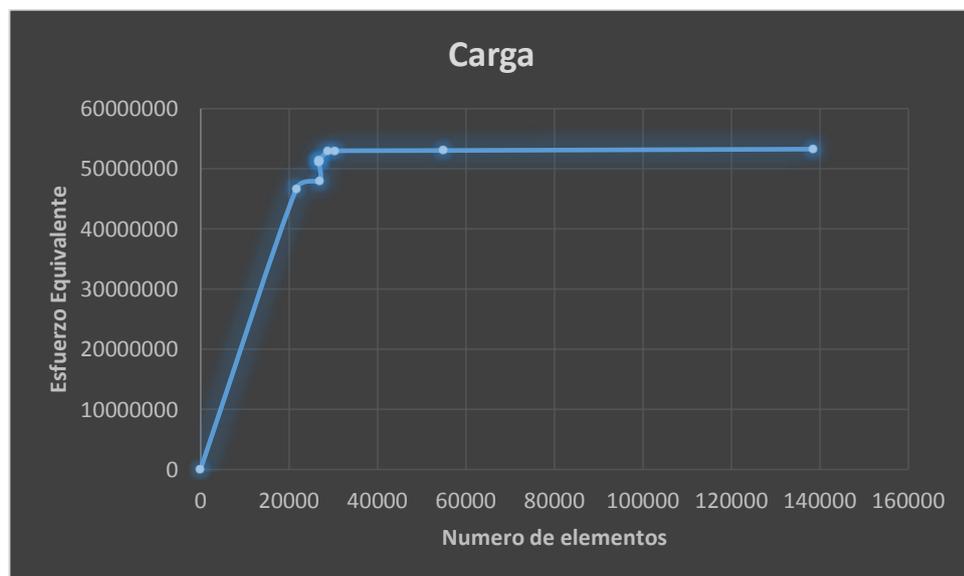
Tabla de datos de convergencia

<b>Nodos</b>	<b>Elementos</b>	<b>Tamaño (m)</b>	<b>Deformación (mm)</b>	<b>Esfuerzo Equivalente (Pa)</b>
<b>270388</b>	138539	0,008	1,117	53238000
<b>119443</b>	54904	0,01	1,1125	53012000
<b>66058</b>	30434	0,02	1,1041	52970000
<b>62052</b>	28731	0,04	1,0809	52842000
<b>57661</b>	26763	0,08	1,0659	51355000
<b>57928</b>	26954	0,1	1,0623	51290000
<b>57415</b>	26796	0,2	1,0556	51083000
<b>57385</b>	26861	0,4	1,0526	47886000
<b>47680</b>	21680	0,6	1,0522	46674000



**Figura 103,** Relación de convergencia entre el número de elementos y la deformación existente

La figura 103 muestra la relación existente entre el número de elementos y la deformación, aproximadamente a partir de los 60000 elementos se observa un comportamiento lineal constante. Es posible identificar una deformación máxima aproximada de 1,1mm en el rango de convergencia.



**Figura 104,** Relación de convergencia entre el número de elementos y el esfuerzo equivalente

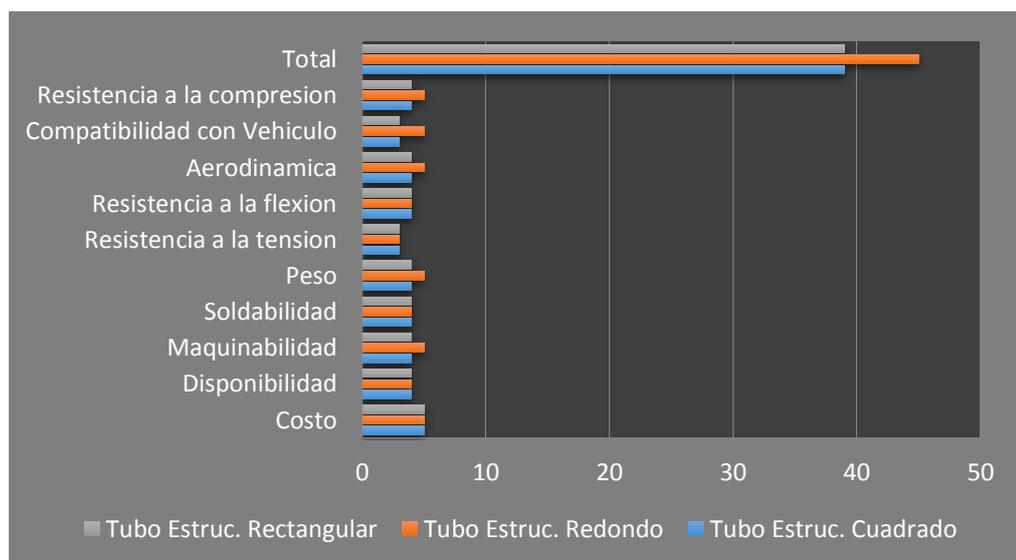
La figura 104 muestra la relacion existente entre el numero de elementos y el esfuerzo equivalente, aproximadamente a partir de 40000 elementos se observa un comportamiento lineal constante. Es posible identificar un esfuerzo equivalente maximo aproximado de 52000000 Pa en el rango de convergencia.

### 3.5 Selección de requerimientos necesarios del vehículo

#### 3.5.1 Selección del perfil estructural para la construcción de piso, laterales y techo del prototipo.

Se realizara inicialmente una selección del tipo de perfil a utilizar, se escogerá de las siguientes alternativas:

1. Tubo Estructural Redondo
2. Tubo Estructural Cuadrado
3. Tubo Estructural Rectangular



**Figura 105,** Grafica puntuación asignada a alternativas de perfil estructural, para bastidor, laterales y techo

**Tabla 7**

Selección de tipo de perfil estructural.

Parámetro de Perfil Estructural.	Alternativas		
	1	2	3
Tipo de perfil	Cuadrado	Redondo	Rectangular
Costo	5	5	5
Disponibilidad	4	4	4
Maquinabilidad	4	5	4
Soldabilidad	4	4	4
Peso	4	5	4
Resistencia a la tensión	3	3	3
Resistencia a la flexión	4	4	4
Aerodinámica	4	5	4
Compatibilidad con Vehículo	3	5	3
Resistencia a la compresión	4	5	4
<b>Total</b>	39	45	39

### 3.5.1.1 Selección de la mejor alternativa

De acuerdo al análisis realizado y tomando en cuenta los resultados obtenidos en la Tabla 7, se concluye que la alternativa 2 correspondiente al Tubo Estructural Redondo es la seleccionada, por brindar mejores características al diseño.

### 3.5.2 Selección del diámetro y espesor del perfil estructural para la construcción del bastidor, laterales y techo del prototipo.

Para el presente diseño se evaluara el desempeño de las siguientes alternativas:

1. Tubo Estructural Redondo de 1 '' de diámetro y espesor de 1.5 mm.
2. Tubo Estructural Redondo de 1 '' de diámetro y espesor de 2 mm.
3. Tubo Estructural Redondo de 1 ½ '' de diámetro y espesor de 1.5 mm.
4. Tubo Estructural Redondo de 1 ½ '' de diámetro y espesor de 2 mm.
5. Tubo Estructural Redondo de 2 '' de diámetro y espesor de 1.5 mm.
6. Tubo Estructural Redondo de 2 '' de diámetro y espesor de 2 mm.

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas			
Diámetro Exterior	Espesor			Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	
D	e	A	P	I	W	i	
pulg.	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
1	25,40	1,50	1,13	0,88	0,81	0,64	0,85
		2,00	1,47	1,15	1,01	0,80	0,83
1 1/2	38,10	1,50	1,72	1,35	2,89	1,52	1,30
		2,00	2,27	1,78	3,71	1,95	1,28
2	50,80	1,50	2,32	1,82	7,06	2,78	1,74
		2,00	3,07	2,41	9,14	3,60	1,73
		3,00	4,51	3,54	12,92	5,09	1,69

Aplicaciones		Beneficios	
- Estructuras: portantes, galpones y naves industriales.	- Construcción: rejas, portones, columnas.	- Automotriz y de autopartes: carrocería, remolques y rodados.	- Agroganadera: maquinaria e implementos agrícolas, avícolas y ganaderos.
- Señalización y vialidad: alumbrado, soportes.	- Equipos y máquinas de todo tipo.	- Duradero: Al construir con acero, asegura que su producto tenga una vida útil, superior a los materiales de construcción convencionales.	- Económico: Se optimiza el uso del material produciéndose ahorro en obras, por facilidad y rapidez de uso y armado ahorra en tiempo y personal.
		- Ecológico: Con el uso de acero, se minimiza la utilización de madera y su desecho, por lo que contribuye al medio ambiente.	

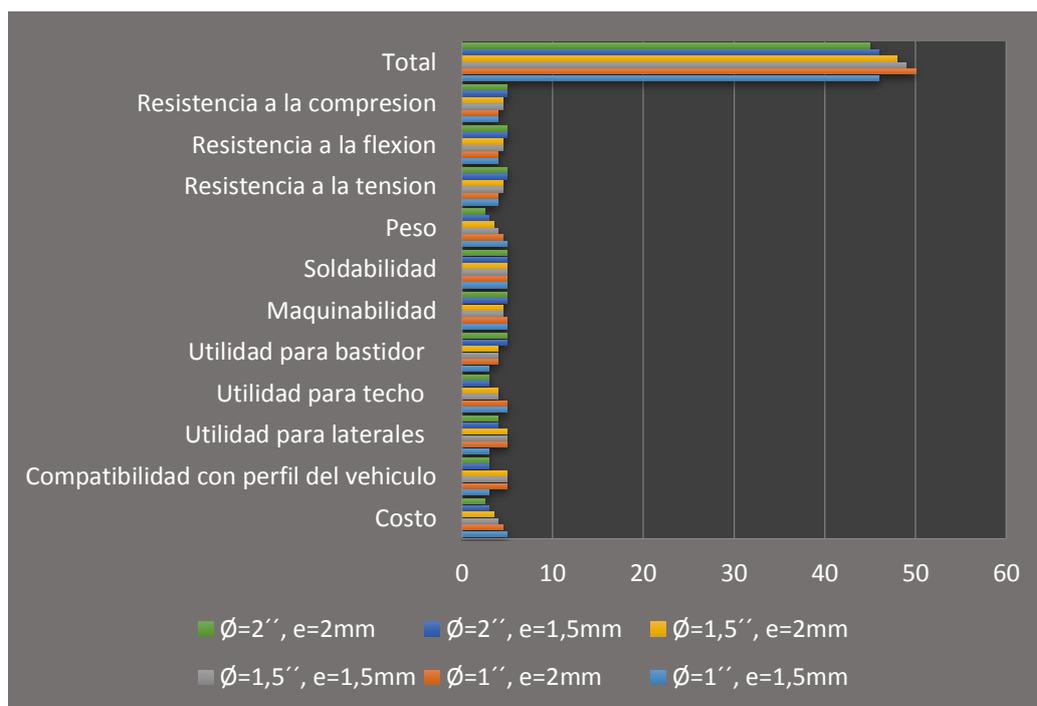
Figura 106, Características de Tubería estructural redonda.

FUENTE: (IPAC, 2014)

Tabla 8

Selección del diámetro y espesor del perfil estructural

Parámetro de Perfil Estructural	Alternativas					
	1	2	3	4	5	6
	REDONDO					
Tipo de perfil	$\text{Ø}=1''$ , e=1,5m m	$\text{Ø}=1''$ , e=2mm	$\text{Ø}=1,5''$ , e=1,5m m	$\text{Ø}=1,5''$ , e=2mm	$\text{Ø}=2''$ , e=1,5m m	$\text{Ø}=2''$ , e=2mm
Costo	5	4,5	4	3,5	3	2,5
Compatibilidad con perfil del vehículo	3	5	5	5	3	3
Utilidad para laterales	3	5	5	5	4	4
Utilidad para techo	5	5	4	4	3	3
Utilidad para bastidor	3	4	4	4	5	5
Maquinabilidad	5	5	4,5	4,5	5	5
Soldabilidad	5	5	5	5	5	5
Peso	5	4,5	4	3,5	3	2,5
Resistencia a la tensión	4	4	4,5	4,5	5	5
Resistencia a la flexión	4	4	4,5	4,5	5	5
Resistencia a la compresión	4	4	4,5	4,5	5	5
<b>Total</b>	46	50	49	48	46	45



**Figura 107,** Grafica puntuación asignada a alternativas de perfil estructural, para bastidor, laterales y techo

### 3.5.3.1 Selección de la mejor alternativa

De acuerdo al análisis realizado y tomando en cuenta los resultados obtenidos en la Tabla 8, se concluye que la alternativa 2 correspondiente al tubo redondo de 1" de diámetro y 2 mm de espesor es el perfil seleccionado, por brindar mejores características al diseño.

### 3.5.4 Selección de plancha antideslizante para piso y rampa

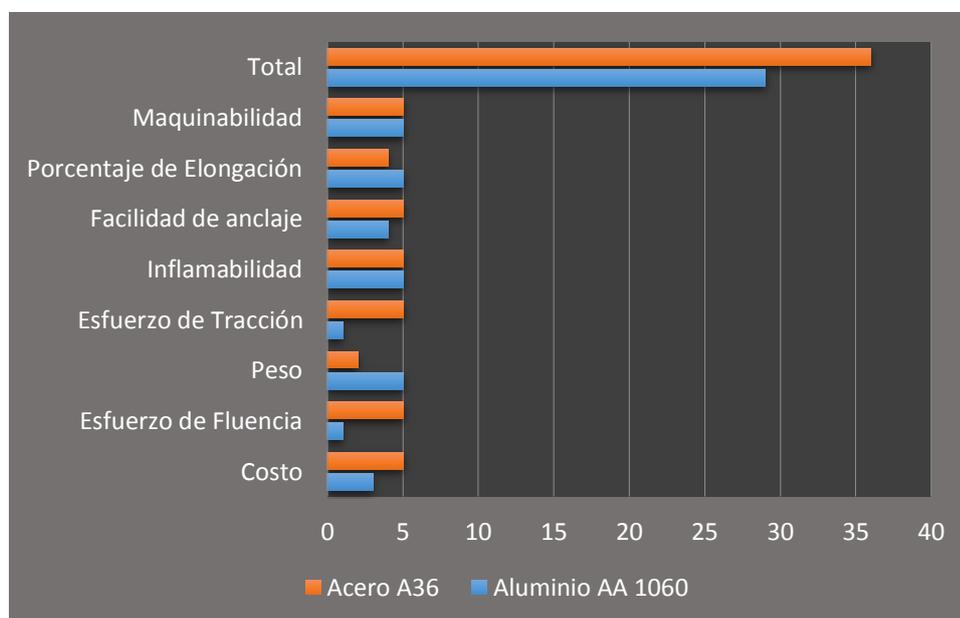
Para la selección de este elemento de nuestro sistema estructural se tiene las siguientes alternativas:

1. Plancha de Aluminio AA 1060- H18 antideslizante
2. Plancha de Acero Negro A-36 antideslizante

**Tabla 9**

Selección de material para piso y rampa.

Parámetro de plancha para el Piso y la Rampa	Alternativas	
	1	2
Tipo de plancha	Aluminio AA 1060	Acero A-36
Costo	3	5
Esfuerzo de Fluencia	1	5
Peso	5	2
Esfuerzo de Tracción	1	5
Inflamabilidad	5	5
Facilidad de anclaje	4	5
Porcentaje de Elongación	5	4
Maquinabilidad	5	5
<b>Total</b>	29	36

**Figura 108**, Grafica puntuación asignada a alternativas de Plancha Antideslizante para Piso y Rampa

### 3.5.4.1 Selección de la mejor alternativa

De acuerdo al análisis realizado y tomando en cuenta los resultados obtenidos en la Tabla 9, se concluye que la alternativa 2 correspondiente a Plancha de Acero Negro A-36 antideslizante es la seleccionada, por brindar mejores características al diseño.

### 5.5 Selección de cilindraje de motor

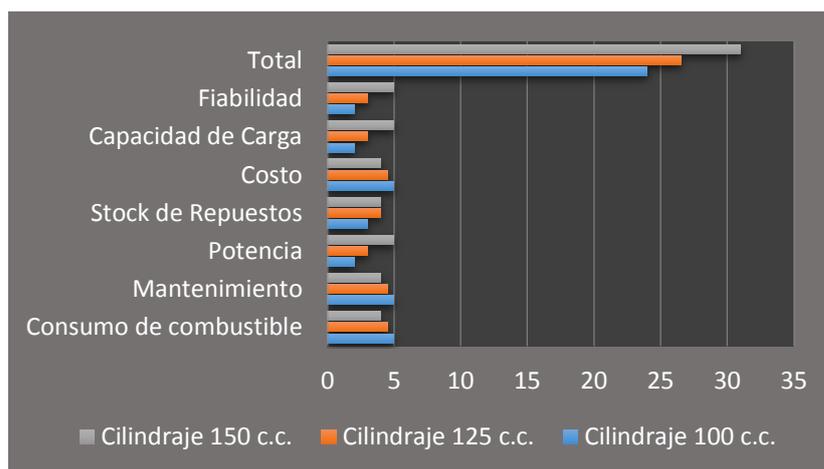
Para la selección de este importante elemento del conjunto del vehículo se tomara en cuenta las siguientes alternativas:

1. Motor de combustión interna de cilindraje 100 c.c
2. Motor de combustión interna de cilindraje 125 c.c
3. Motor de combustión interna de cilindraje 150 c.c

**Tabla 10**

Selección del cilindraje de motor

Parámetros de los Motores	Alternativas		
	1	2	3
<b>Cilindraje</b>	100 cc	125 cc	150cc
<b>Consumo de combustible</b>	5	4,5	4
<b>Mantenimiento</b>	5	4,5	4
<b>Potencia</b>	2	3	5
<b>Stock de Repuestos</b>	3	4	4
<b>Costo</b>	5	4,5	4
<b>Capacidad de Carga</b>	2	3	5
<b>Fiabilidad</b>	2	3	5
<b>Total</b>	24	26,5	31



**Figura 109,** Grafica puntuación asignada a alternativas de Cilindraje de Motor para vehículo tricimotor.

### 3.5.5.1 Selección de la mejor alternativa

De acuerdo al análisis realizado y tomando en cuenta los resultados obtenidos en la Tabla 3., se concluye que la alternativa 3 correspondiente a Motor de combustión interna de cilindraje 150 c.c es la seleccionada, por brindar mejores prestaciones para un adecuado funcionamiento del vehículo.

### 3.5.6 Selección de la transmisión del vehículo

Este Conjunto de elementos se selecciona para brindar mayor seguridad y confort al usuario de nuestro diseño, las alternativas escogidas son las siguientes:

1. Sistema de Transmisión Automática
2. Sistema de Transmisión Semi-Automática
3. Sistema de Transmisión Manual

Tabla 11

Selección del tipo de transmisión

Parámetro de transmisión	Alternativas		
	1	2	3
Tipo de transmisión	Automática	Semi automática	Manual
Costo	4	4,5	5
Poca Multiplicidad de Tareas	5	4	2
Accesibilidad para conducción	5	3	2
Utilidad Persona Cap. Esp.	5	4	3
Consumo de Combustible	4	4,5	5
Aprovechar Pot. De Motor	4	4,5	5
Costo Mantenimiento	3	4	5
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>28,5</b>	<b>27</b>

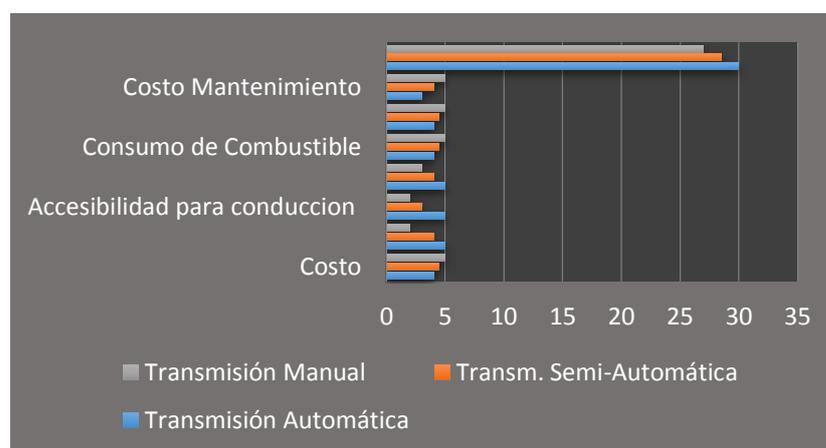


Figura 110, Grafica puntuación asignada a alternativas de tipo de transmisión.

### 3.5.6.1 Selección de la mejor alternativa

De acuerdo al análisis realizado y tomando en cuenta los resultados obtenidos en la Tabla 11, se concluye que la alternativa 1 correspondiente al Sistema de

Transmisión Automática es la seleccionada, por brindar mejores prestaciones de accesibilidad al diseño.

### 3.5.7 Selección del material para cubierta exterior

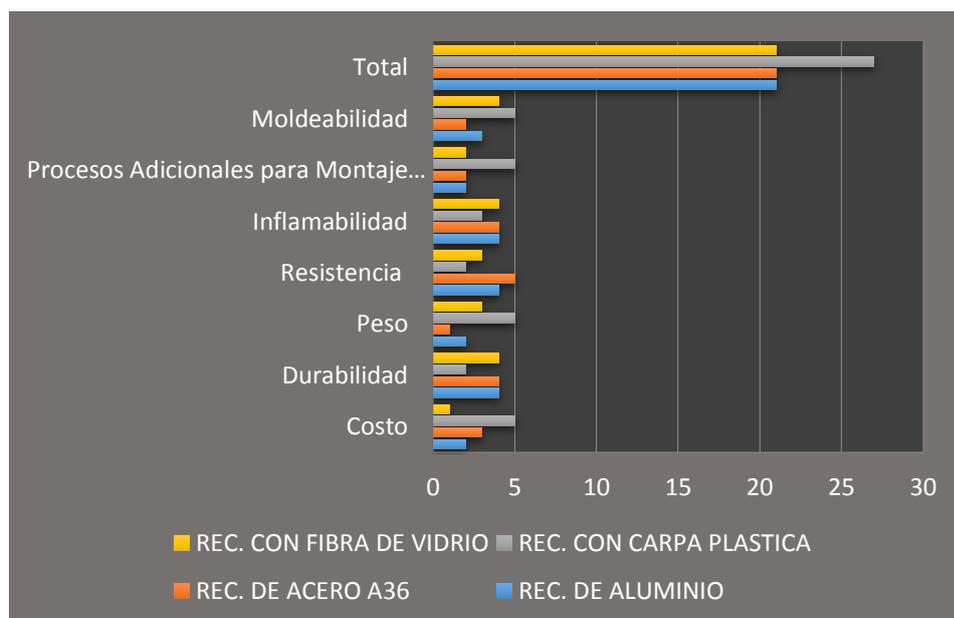
Este elemento es un extra para nuestro diseño y dependerá mucho del gusto del usuario, sin ser obligatoria su utilización, las alternativas para la selección son las siguientes:

1. Recubrimiento con planchas de Aluminio.
2. Recubrimiento con planchas de Acero A36
3. Recubrimiento con Carpa Plástica.
4. Recubrimiento con Fibra de Vidrio.

**Tabla 12**

Selección del tipo de recubrimiento exterior

Parámetros de Recubrimiento Exterior	Alternativas			
	1	2	3	4
Tipo de recubrimiento	Aluminio	Acero A-36	Carpa	Fibra de v.
Costo	2	3	5	1
Durabilidad	4	4	2	4
Peso	2	1	5	3
Resistencia	4	5	2	3
Inflamabilidad	4	4	3	4
Procesos Adicionales para Montaje (soldadura, pintura, recubrimiento anticorrosivo)	2	2	5	2
Maleabilidad	3	2	5	4
<b>Total</b>	21	21	27	21



**Figura 111,** Grafica puntuación asignada a alternativas de Recubrimiento Exterior para vehículo tricimoto.

### 3.5.7.1 Selección de la mejor alternativa

De acuerdo al análisis realizado y tomando en cuenta los resultados obtenidos en la Tabla 12. , se concluye que la alternativa 3 correspondiente al Recubrimiento exterior con Carpa Plástica es la seleccionada, por brindar mejores prestaciones de funcionalidad respecto al costo.

## CAPITULO 4

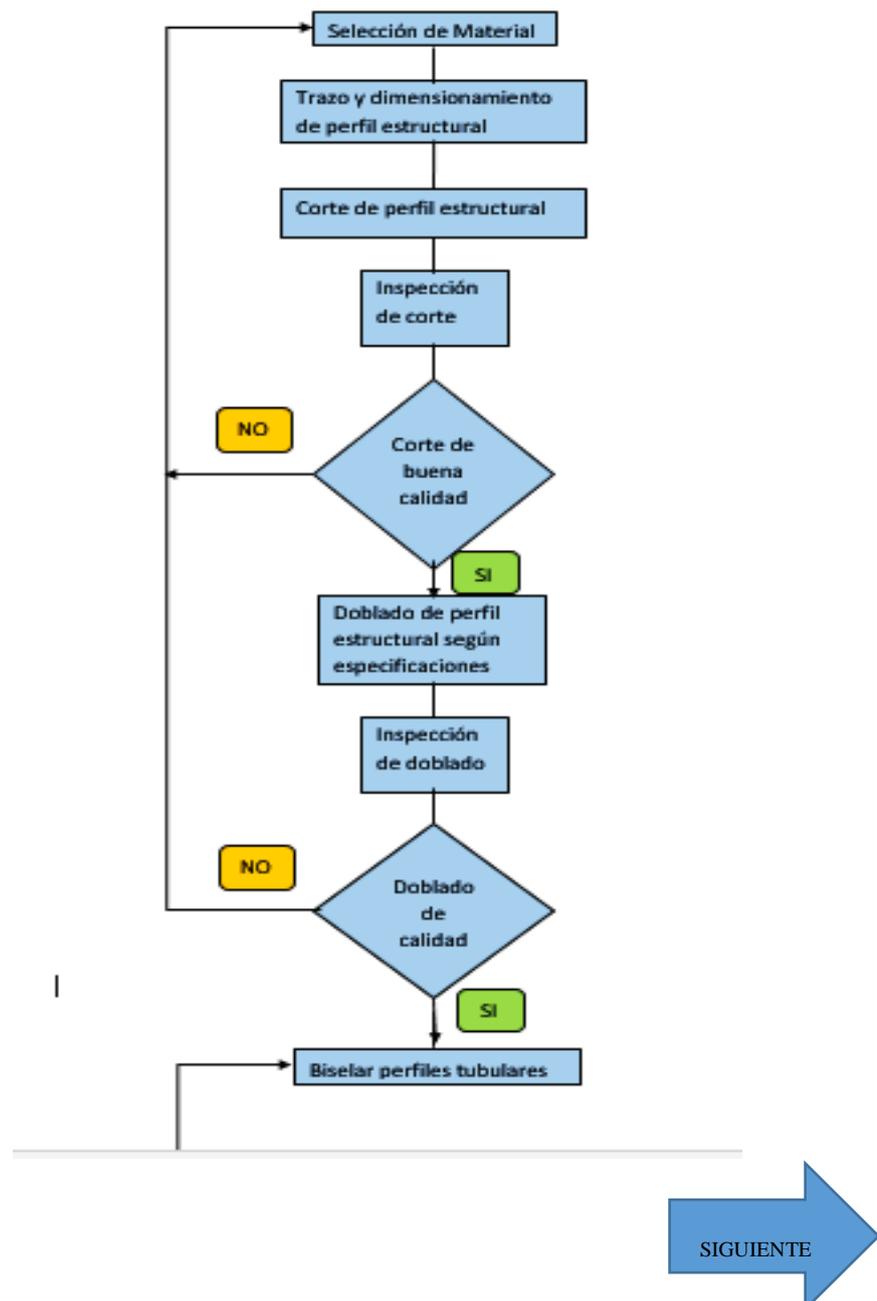
### CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS

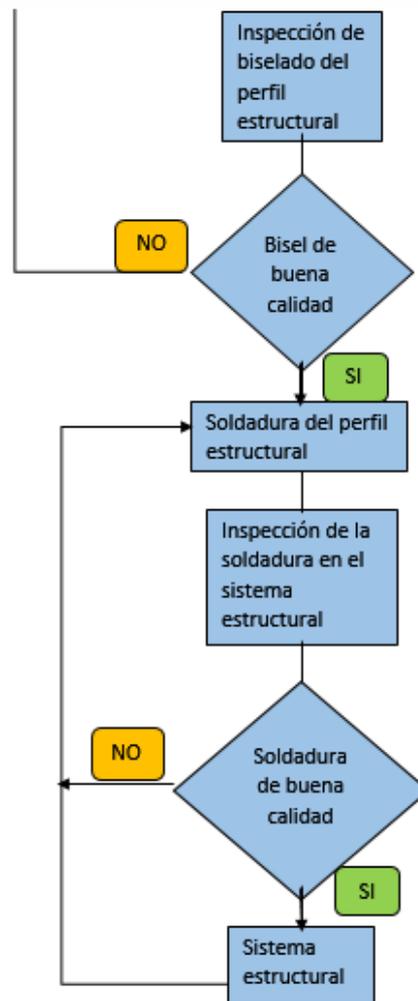
#### 4.1 Procesos de construcción

##### 4.1.1 Diagrama de procesos Sistema estructural

###### DIAGRAMA DE PROCESOS

###### Proceso 1: Sistema Estructural





#### 4.1.2 Cronograma de construcción

LISTADO DE ACTIVIDADES	
1	Adquisición de materiales de construcción y ensamble (perfil estructural tubular, perfil estructural cuadrado, plancha de aluminio, electrodos, etc.)
2	Corte de perfil estructural redondo según los planos establecidos.
3	Doblado de perfil estructural redondo según los planos establecidos.
4	Montaje de los perfiles estructurales principales y verificación de medidas establecidas, del sistema estructural establecido.
5	Montaje del sistema de dirección en el sistema estructural y verificación de medidas establecidas.
6	Montaje del sistema de propulsión en el sistema estructural para la tricimoto. Colocación de perfiles estructurales tubulares para el anclaje del sistema de propulsión.
7	Montaje de la tercera rueda con amortiguadores y aditamentos, según los planos establecidos. Verificación de medidas.
8	Construcción del techo con perfil estructural tubular según especificación de los planos establecidos.
9	Construcción del piso con perfil estructural redondo según especificación de los planos establecidos.
10	Construcción y Montaje de la rampa de acceso para la persona con capacidades especiales.
11	Finalizar el sistema estructural con los detalles establecidos en los planos.
12	Soldar todas las uniones de los perfiles estructurales redondos y perfiles estructurales cuadrado según las especificaciones.
13	Soldar el anclaje del sistema de dirección con el sistema estructural y soldar el anclaje del sistema de propulsión con el sistema estructural.
14	Verificación y pruebas de soldadura en uniones del sistema estructural.
15	Preparación de la superficie de los perfiles estructurales tubulares
16	Terminar la colocación de piso corrugado en el sistema estructural y rampa.
17	Colocación de luces de pare, direccionales, etc. Instalación de sistema de seguridad de la silla de ruedas.

18	Recubrimiento exterior del techo.
19	Realización de pruebas con el sistema estructural
20	Verificación y ajustes de las pruebas realizadas del sistema estructural.

Anexo3: Cronograma.

### 4.2 Materiales

**TUBERIAS**

**Tubería redonda**

Tubería redonda mecánica, se la utiliza para muebles metálicos, divisiones modulares, juegos infantiles, pasamanos, estructuras espaciales, línea blanca, etc. Tubería redonda estructural, se la utiliza para postes de luz, manijas para carretillas, estructuras para letreros, etc.



NORMA: NTE INEN 2415-08 GRADO: A16

**TABLA: TUBERIA REDONDA**

6 metros		6 metros	
Dimensiones (plg x mm)	Peso (kg)	Dimensiones (plg x mm)	Peso (kg)
1/2 x 0.75	1.43	1 x 0.90	3.30
5/8 x 0.75	1.71	1 1/4 x 0.90	4.15
3/4 x 0.75	2.08	1 1/2 x 0.90	4.98
7/8 x 0.75	2.51	3/4 x 1.1	2.98
1 x 0.75	2.76	7/8 x 1.1	3.55
1/2 x 0.90	1.72	1 x 1.1	4.01
5/8 x 0.90	2.06	1 1/4 x 1.1	5.05
3/4 x 0.90	2.46	1 1/2 x 1.1	6.09
7/8 x 0.90	3.01	1 7/8 x 1.1	7.62

\*\* Medidas de diámetro exterior \*\*

APLICACIONES



Figura 112, Aplicación de perfiles tubulares de fabricación NOVACERO

FUENTE: (NOVACERO, 2014)

**Tubería redonda**

Tubería redonda mecánica, se la utiliza para muebles metálicos, divisiones modulares, juegos infantiles, pasamanos, estructuras espaciales, línea blanca, etc. Tubería redonda estructural, se la utiliza para postes de luz, manijas para carretillas, estructuras para letreros, etc.

**TABLA: TUBERIA REDONDA**

6 metros		6 metros		6 metros	
Dimensiones (plg x mm)	Peso (kg)	Dimensiones (plg x mm)	Peso (kg)	Dimensiones (plg x mm)	Peso (kg)
5/8 x 1.5	3.35	* 1 x 2	7.35	* 4 1/2 x 2	33.23
* 3/4 x 1.5	4.20	* 1 1/4 x 2	9.23	5 x 2	37.30
7/8 x 1.5	4.65	* 1 1/2 x 2	11.12	* 2 x 3	21.24
* 1 x 1.5	5.30	* 1 3/4 x 2	12.95	* 2 1/2 x 3	26.88
* 1 1/4 x 1.5	6.72	* 2 x 2	14.46	* 3 x 3	33.28
* 1 1/2 x 1.5	8.10	2 3/8 x 2	17.66	3 1/2 x 3	38.20
* 1 3/4 x 1.5	9.84	* 2 1/2 x 2	18.18	* 4 x 3	43.74
* 2 x 1.5	10.92	* 3 x 2	22.47	4 1/2 x 3	50.16
* 2 1/2 x 1.5	13.74	* 3 1/2 x 2	25.72	5 x 3	55.00
3/4 x 2	5.56	* 4 x 2	29.96	* 4 x 4	59.20

\* Tubería redonda disponible en galvanizado

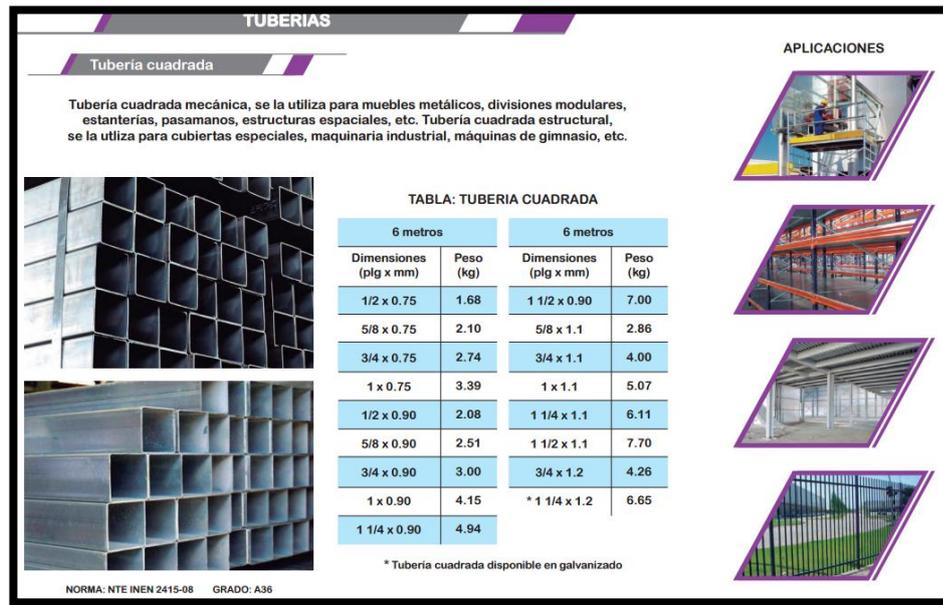
\*\* Medidas de diámetro exterior \*\*

APLICACIONES



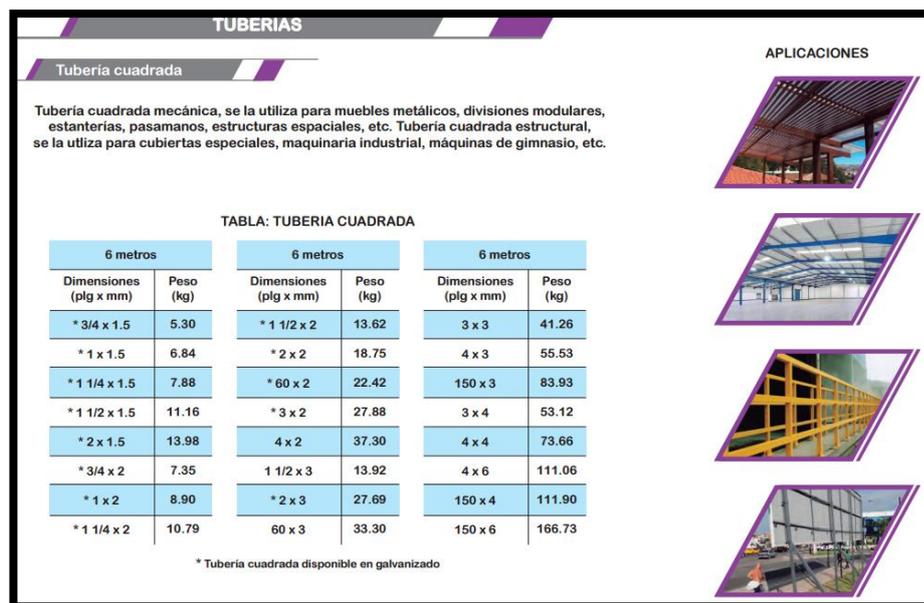
Figura 113, Medidas de perfiles tubulares redondos de fabricación NOVACERO

FUENTE: (NOVACERO, 2014)



**Figura 114,** Aplicación de perfiles tubulares de perfil cuadrado de fabricación NOVACERO

**FUENTE:** (NOVACERO, 2014)



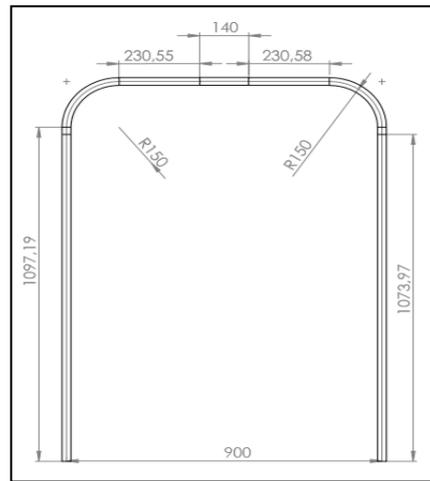
**Figura 115,** Medidas de perfiles tubulares de perfil cuadrado de fabricación NOVACERO

**FUENTE:** (NOVACERO, 2014)

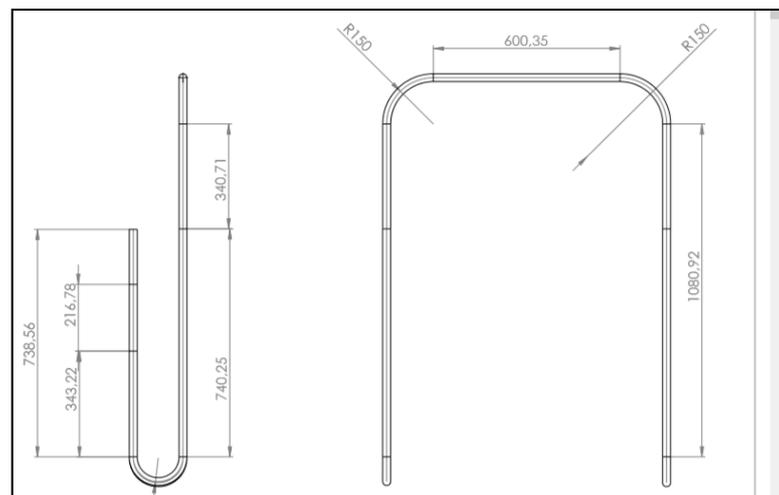
#### 4.2.1 Detalle y cantidad de materiales

## Anexo A. Planos de construcción

### 4.2.2 Medidas específicas de cada elemento



**Figura 116,** Piso del sistema estructural.



**Figura 117,** Baranda principal del sistema estructural.

Los elementos restantes se detallan en el ANEXO A: Planos de construcción.

### 4.3 Construcción y montaje sistema estructural

DIAGRAMA DE PROCESO ACTUAL								
No.	ACTIVIDAD					Tiempo	Distancia	Observaciones
	Oper.	Trans.	Ins.	Dem.	Alm.	min.	mts.	
1							900	Transporte de materia prima desde la distribuidora hasta el taller.
2						20		Trazo de cada medida de los elementos del sistema estructural.
3						40		Corte de cada elemento trazado del sistema estructural anteriormente
4						15		Antes de la verificación de las medidas establecidas se debe esperar a que se enfrie el material cortado.
5							20	Traslado al área de inspección
6						20		Inspección de los elementos anteriormente cortado y verificación de las medidas.
7						25		Los elementos del sistema estructural deben ser doblados de acuerdo a los ángulos y arcos establecidos.
8						25		La verificación de los elementos doblados de acuerdo a los ángulos establecidos.
9							5	Traslado de la sección de corte a la mesa para biselar el perfil tubular.
10						30		Biselar los elementos trazados y cortados del sistema estructural.
11						15		Antes de la verificación de los biseles establecidos para la unión de los elementos se debe esperar el enfriamiento.
12						25		Verificar el biselado de los elementos que conforman el sistema estructural.
13						60		Unión de los elementos por medio de soldadura para conformar el sistema estructural.
14						15		Antes de verificar la soldadura se debe esperar a que se enfrien los cordones de soldadura.
15							5	Traslado del sistema estructural al área de inspección.
16						25		Verificación de la soldadura en cada elemento de unión del sistema estructural

DIAGRAMA DE PROCESO ACTUAL								
No.	ACTIVIDAD					Tiempo	Distancia	Parte: Montaje
	Oper.	Trans.	Ins.	Dem.	Alm.	min.	mts.	Observaciones
1	○	➔	▭	⊖	△		1800	Adquisicion y movilizacion de motoneta al taller de fabricacion.
2	●	➔	▭	⊖	△	45		Desmontar las partes principales de cables de acelerador y frenos.
3	●	➔	▭	⊖	△	15		Trazo y dimensionamiento del chasis.
4	●	➔	▭	⊖	△	25		Corte del chasis de la motoneta
5	○	➔	▭	⊖	△		10	Movilizacion al area de inspeccion.
6	○	➔	■	⊖	△	20		Inspeccion del corte del chasis de la motoneta.
7	●	➔	▭	⊖	△	30		Soldar y centrar el sistema de direccion de la motoneta.
8	●	➔	▭	⊖	△	30		Soldar y centra el sistema de propulsion de la motoneta.
9	○	➔	▭	⊖	△		10	Movilizar al area de inspeccion
10	○	➔	■	⊖	△	30		Inspeccion de anclaje del sistema de suspension y sistema de propulsion.

### 4.3.1 Preparación de materiales

#### 4.3.1.1 Trazo y corte

La operación de trazado consiste en señalar sobre la superficie exterior de una pieza o material en bruto las líneas o medidas que delimitan cada elemento que conforma el sistema estructural. Las herramientas utilizadas para señalar las marcas en la superficie se conocen como puntas de señalar, granete o punta de marcar, gramil.

El trazado de cada uno de los elementos que conforman el sistema estructural se realiza en la preparación de materiales. En los anexos se encuentra los planos establecidos de cada elemento y las medidas requerida, requieren una tolerancia de 15 centímetros de desperdicio, además se debe tomar en cuenta al momento del doblado la tolerancia debido a que se disminuye al momento del doblado.



**Figura 118,** Trazo de la medida del perfil tubular para corte



**Figura 119,** Trazo de la medida del perfil tubular para doblado

La operación de corte de materiales se refiere a la separación de un material en dos dependiendo de las medidas requeridas, existen distintas maneras de corte manual o automático. Las herramientas de corte utilizadas son sierra de mano, cizalla. Se

necesita una herramienta de sujeción para poder realizar el corte manual por lo que el tornillo de banco es una herramienta principal.



**Figura 120,** Corte manual del perfil tubular circular



**Figura 121,** Corte del chasis mediante amoladora.



**Figura 122,** Corte de proteccion del chasis de la moto

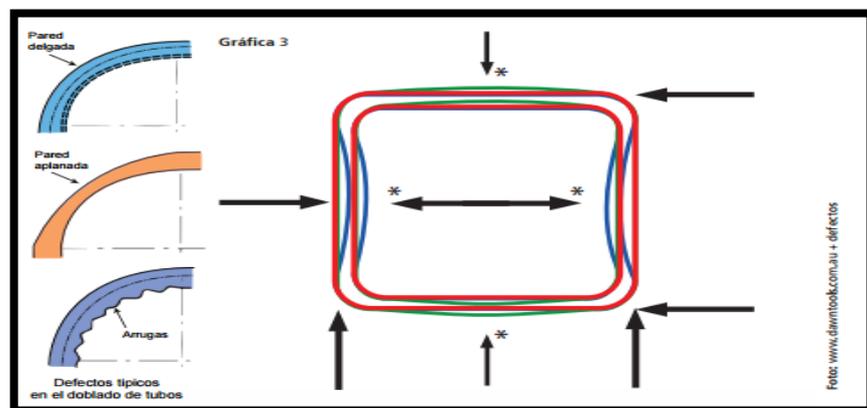


**Figura 123,** Corte de perfil tubular mediante disco de corte.

### 4.3.1.2 Doblado

El proceso de doblado es complejo e implica fuerzas de compresión y tensión las que ayudan al proceso de doblado. La técnica de doblado que se utilice para el proceso no es importante debido a los principios básicos utilizados para el proceso de doblado, por el lado interior del doblado el material se comprime, en cambio por el exterior el material el material se tensa. Al actuar simultáneamente los esfuerzos de tensión y compresión en el material se produce un adelgazamiento y elongación de la pared externa, y por el contrario en la pared interna causa un engrosamiento y acortado de la pared interna en consecuencia el perfil tubular circular sufre un aplanamiento en el doblez.

En la siguiente figura establece como se distorsiona los tubos al momento del doblado el color rojo muestra un tubo cuadrado al momento de aplicar la fuerza de doblado. En el color azul se muestra como las paredes laterales se vuelven cóncavas, el color verde de las líneas muestra las paredes superior e inferior se vuelven convexas como muestra las figuras. Para evitar cada una de las distorsiones vistas en la figura como pared plana y arrugas se debe constreñir las paredes superior e inferior mientras el mandril interior soporta a las paredes laterales.



**Figura 124,** Defectos típicos en el doblado de tubos.

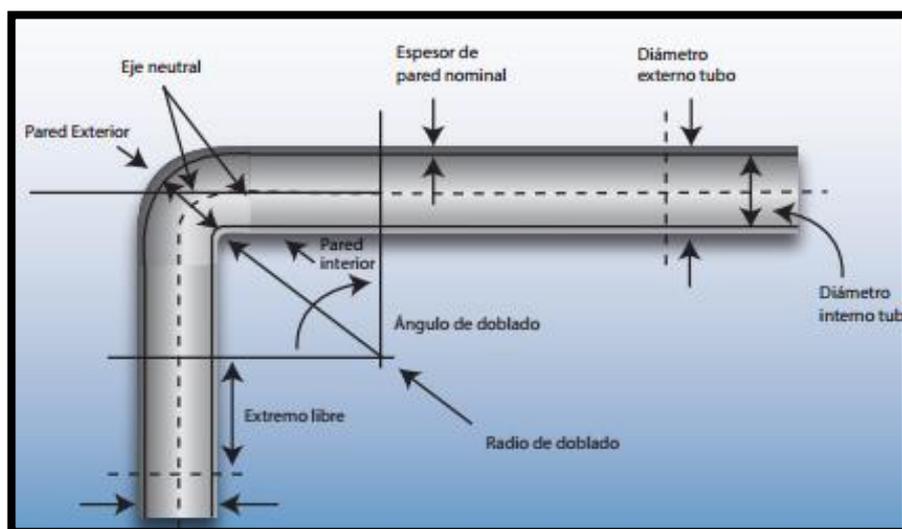
**Fuente:** (DOWNBOOK, 2014)

Para el doblado se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- **Manufacturabilidad:** la parte principal es la factibilidad de manufacturarlo, se debe tener presente si existen partes que no pueden ser manufacturarse de manera rentable.
- **Material:** se debe tener en cuenta el proveedor debido a la certificación y el respaldo de elaboración del material.
- **Dobladora:** se puede decir que es una de las condiciones más importantes debido a que los aditamentos que se utilizan deben ser los adecuados y precisos.
- **Herramental:** se debe revisar con detenimiento el diseño y construcción de cada una de las partes. Además se debe tener en cuenta el mantenimiento para su reparación y remplazo de piezas.
- **Personal:** las personas deben ser evaluadas en aptitud mecánica, recibir capacitación, experiencia obtenida en distintos campos de trabajo. Los problemas se presentan a diario en la construcción se evalúa la aptitud de cada operador al momento de resolver, como trabajan en equipo.
- **Producción:** la producción de un elemento o pieza se basa en cumplir las expectativas del cliente. La supervisión del personal de operadores ayuda a elaborar un plan de respaldo para manejar interrupciones del proceso de elaboración de la pieza o máquina.

En el proceso de doblado de tubos se puede concluir que no es una operación sencilla por las variables que intervienen en el proceso. Si se necesita obtener excelentes resultados es necesario controlar eficazmente todos los requisitos del proceso de conformado y los requerimientos del material a utilizar con esto se logra evitar costos adicionales y fallas ocurridas en el proceso.

En la industria no se consideran tanto la importancia del radio, espesor y diámetro, pero se puede decir que no son problemas nuevos. Las características principales que se debe tomar en cuenta al momento del proceso de doblado son el diámetro interior y exterior del tubo, el espesor de la pared nominal y el eje neutral.



**Figura 125,** Terminos utilizados en el doblado de un tubo

**Fuente:** (GUERRERO, 2008)

En la figura 125 se observan términos de doblado de un tubo el ángulo y radio de doblado depende del proceso utilizado y la maquina sea prensa o dobladora utilizada para el proceso. Generalmente los tubos mientras mayor es el diámetro y menor es el espesor, el radio de curvatura disminuye las fuerzas que actúan sobre el tubo aumentan exponencialmente de manera significativa y pueden ocasionar graves deformaciones en el material. Por el contrario si el diámetro del tubo es pequeño y la pared gruesa no necesita ningún apoyo para realizar el doblez.

Los parámetros importantes para evitar el aplanamiento o hundimiento es la correcta relación de dimensión del tubo con el radio curvado. El radio mínimo de doblado debe ser alrededor de 1.5 veces el diámetro al momento de utilizar el mandril y así mejorar la calidad del tubo y 3 veces cuando no se utiliza el mandril. Se puede decir que la ductilidad del material es un factor importante al momento del proceso.

### 4.3.1.3 Proceso de doblado de perfil tubular



**Figura 126,** Forma de doblado de un perfil tubular circular



**Figura 127,** Forma de aplicar fuerza en la dobladora manual.



**Figura 128,** Matriz utilizada para el doblado de perfil tubular circular.



**Figura 129,** Posicion del perfil tubular en la dobladora manual



**Figura 130,** Aplicación de la fuerza en la dobladora manual



**Figura 131,** Verificación del doblado en la maquina manual



**Figura 132,** Verificación de medidas después del doblado



**Figura 133,** Finalización del doblado en el perfil tubular circular

#### 4.3.1.4 Biselado

Es la preparación del tubo para soldar, también se esmerila los extremos cortados por seguridad y razones estéticas.

Se utiliza la forma de boca de pescado para empalmar dos tubos para reducir el aporte de material de soldadura y para que la unión que existe entre dos elementos sea equitativa y puedan trabajar como un solo elemento.

El siguiente procedimiento es para realizar la boca de pescado:

- Se realiza el corte de la medida señalada en el perfil tubular.
- Realizamos un bisel en las partes que se realizaron cortes.
- Marcamos la forma de la boca de pescado según el requerimiento.
- Procedemos a realizar el corte de la boca de pescado con la amoladora.
- Comprobamos que la boca de pescado tenga la forma deseada para la unión.
- Esmerilamos las partes donde se realizó el corte para que no exista peligro.



**Figura 134,** Ensamble de partes con boca de pescado.



**Figura 135,** Unión de partes mediante biselado a 45 grados



**Figura 136,** Unir las partes biseladas con soldadura

#### 4.3.1.5 Soldadura



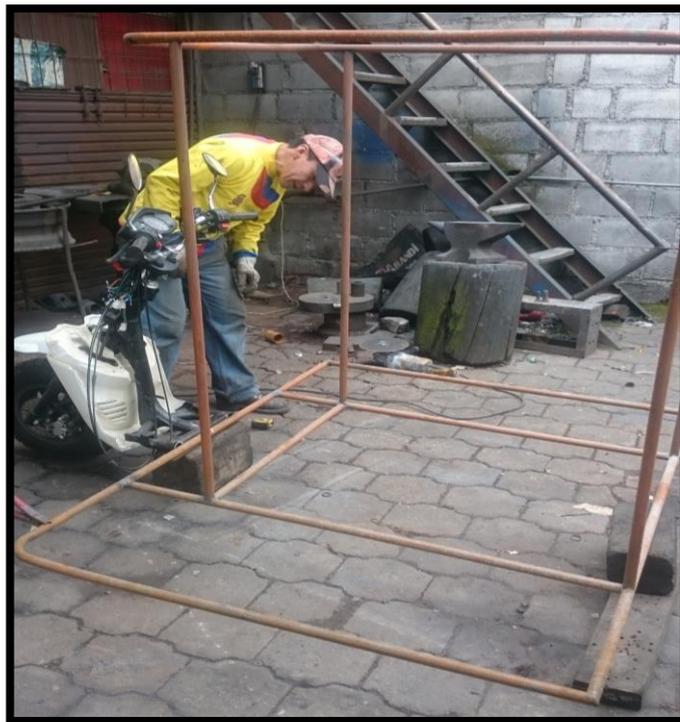
**Figura 137,** Estructura inicial del sistema estructural.



**Figura 138,** Estructura externa techo y bases para la tercera llanta, fijación de motoneta



**Figura 139,** Estabilidad de la estructura armada



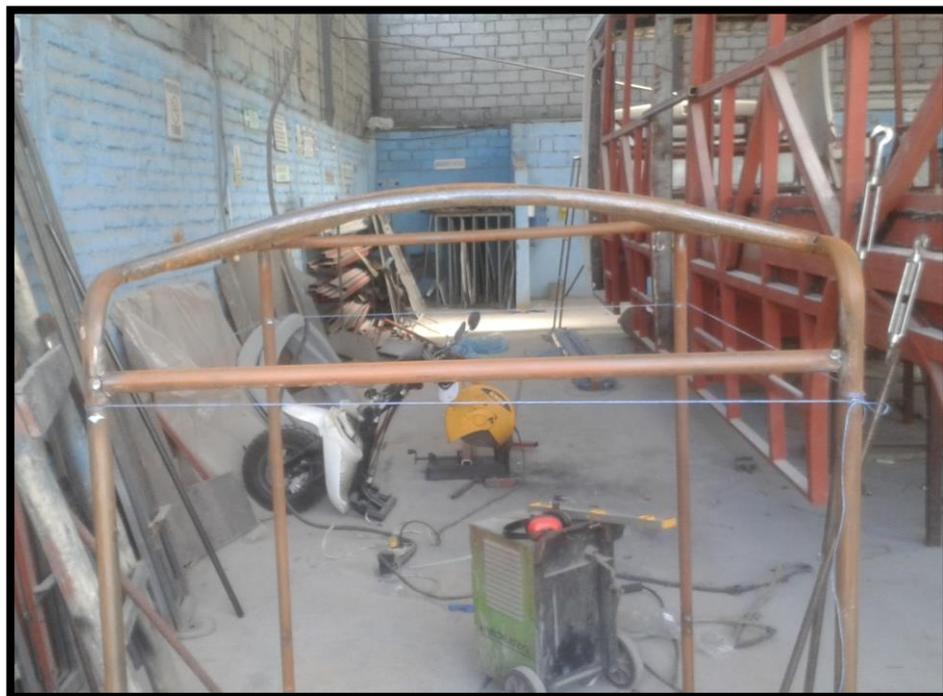
**Figura 140,** Establecer y marcar medidas del sistema de dirección



**Figura 141,** Colocar los travesaños en el piso y la rampa



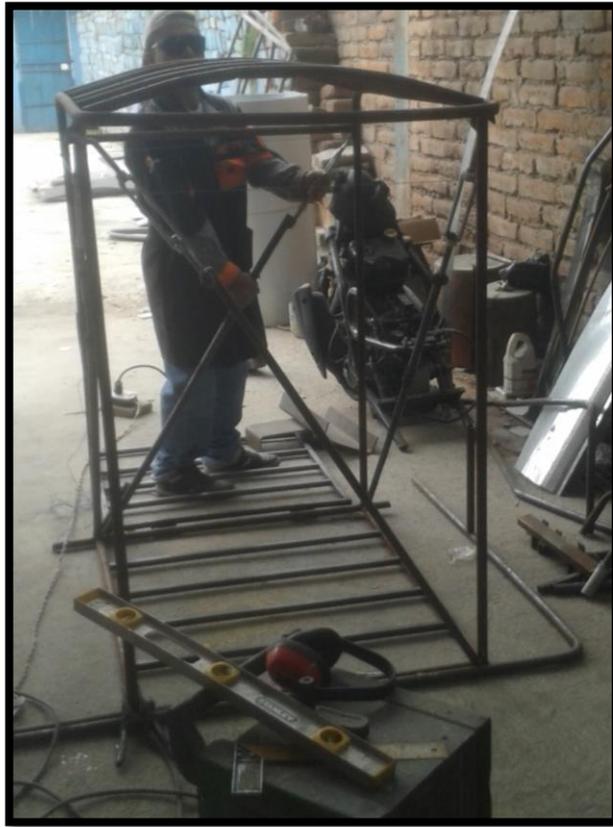
**Figura 142,** Verificar las medidas exteriores de la estructura principal



**Figura 143,** Verificar la perpendicularidad y medidas establecidas



**Figura 144,** Soldar los tensores en las diagonales principales



**Figura 145,** Verificar las medidas de cada una de las diagonales y abrir o cerrar los tensores.



**Figura 146,** Complemento de soldadura en la estructura principal mediante soldadura MIG



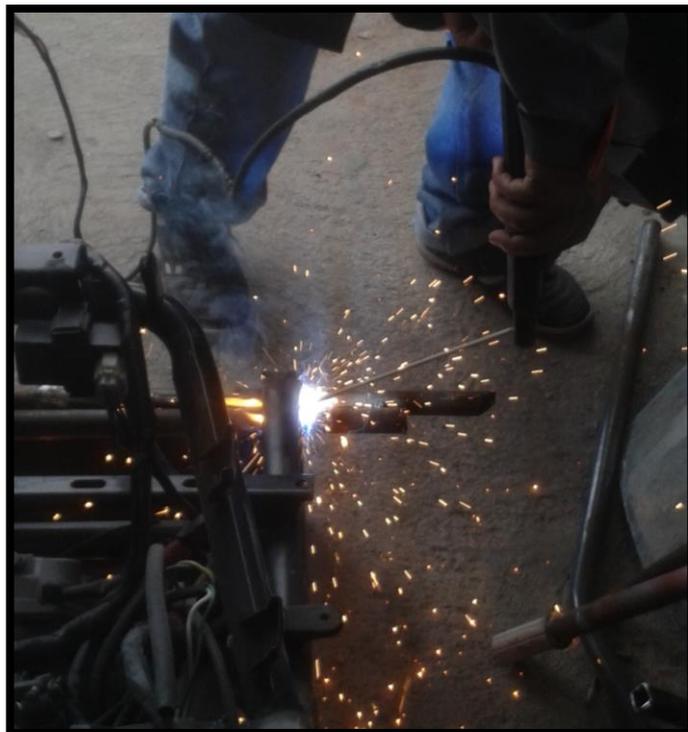
**Figura 147,** Colocar los refuerzos en el piso y la rampa



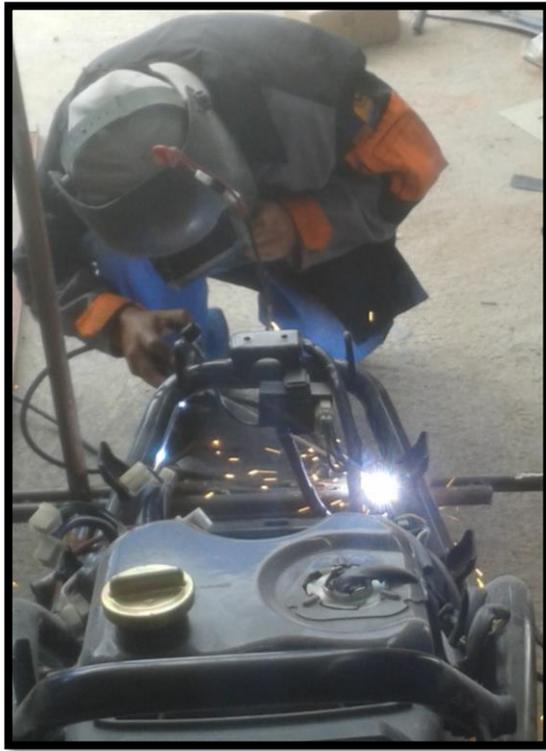
**Figura 148,** Unión del sistema de dirección al sistema estructura



**Figura 149,** Fijación mediante soldadura del sistema de dirección al sistema estructural



**Figura 150,** Unión del sistema estructural con el sistema de propulsión



**Figura 151,** Fijar al sistema estructural el sistema de propulsión



**Figura 152,** Acople de la tercera rueda



**Figura 153,** Complemento de soldadura en la tercera rueda



**Figura 154,** Complemento de soldadura en el sistema estructural y refuerzos



**Figura 155,** Vista frontal de finalización de soldadura en el sistema estructural



**Figura 156,** Finalización de soldadura en el sistema estructural



**Figura 157,** Finalización de soldadura en el sistema estructural vista desde una perspectiva posterior



**Figura 158,** Vista posterior de finalización de soldadura en el sistema estructural

#### 4.3.1.6 Pintura

La aplicación de pinturas a cualquier estructura metálica sirve para proteger las superficies metálicas, sirven para inhibir el proceso de corrosión con esta protección se aísla el metal de los agentes climáticos u otros factores que pueden degradar el material.

La pintura es un agente protector en contra del oxígeno y otros elementos agresivos que provocan la degradación del material.



**Figura 159,** Vista posterior de pintura en el sistema estructural

#### **4.4 Pruebas de Funcionamiento.**

El ensayo de aceleración en plano, detallado en la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2477:2012 “VEHÍCULOS AUTOMOTORES. VEHÍCULOS DE TRES RUEDAS PARA TRANSPORTE DE PASAJEROS Y PARA TRANSPORTE DE CARGA. REQUISITOS. (12)” Especifica el fundamento, el equipo necesario, la manera adecuada de realizar la prueba y otros. A continuación detallaremos las especificaciones de la norma:

##### ***Ensayo de aceleración en plano***

***Fundamento.*** Determinar la capacidad de aceleración del vehículo

***Equipo de ensayo.*** Equipo de adquisición de datos con sensores de velocidad, distancia, tiempo y aceleración (cuarta rueda manual, cuarta rueda óptica, por ejemplo) instalado de acuerdo con las recomendaciones del fabricante de este instrumento.

1. ***Vehículo de ensayo.*** Se debe contar con un vehículo completamente equipado de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:
  1. *Verificar el nivel de los fluidos del vehículo (aceite caja, aceite motor, refrigerantes y otros) y llenar a la máxima capacidad recomendada por el fabricante.*
  2. *Inflar las llantas a la máxima presión recomendada por el fabricante.*
  3. *Cargar el vehículo con su peso bruto vehicular (PBV).*
2. ***Ruta de prueba.***
  1. *El Lugar de la prueba debe ser una vía seca, recta, pavimentada y plana.*
  2. *La longitud de la vía de prueba debe ser suficiente para lograr acelerar al vehículo de 0 km/h hasta 40 km/h y poder operarlo y detenerlo con seguridad.*

##### ***3. Procedimiento.***

1. *Iniciar la prueba con el vehículo en reposo, el motor en ralentí y la transmisión engranada.*
2. *Acelerar al máximo el vehículo hasta alcanzar la velocidad de 40 km/h.*
3. *Registrar el tiempo y la distancia necesarios para alcanzar la velocidad especificada.*
4. *Registrar y promediar un mínimo de 3 lecturas en cada prueba.*

De las especificaciones citadas de la Norma NTE INEN 2477:2012, se obtiene el proceso adecuado y normalizado para comprobar el correcto funcionamiento de nuestro vehículo tricimotociclo, con las especificaciones y parámetros necesarios para el desarrollo de la prueba de ruta (12).

#### **4.5 Análisis de Resultados.**

Se identifica los datos obtenidos, para establecer el funcionamiento del vehículo en diversas circunstancias, comprobando su capacidad de carga y de maniobrabilidad.

##### **4.5.1 Escenario de pruebas**

Se establece según la tabla presentada a continuación:

**Tabla 13**

Características de la ruta de prueba tricimotociclo

Escenario de Pruebas			
Conductor	Jorge Luis Jara Salas		
Ubicación	Pichincha, Quito		
Material de Calzada	<b>Longitud</b>	<b>Curvas</b>	<b>Sector</b>
Asfalto	26.7 Km	23	Urbano



**Tabla 16**

Estabilidad en ruta inicio 1 y ruta de regreso 2.

<b>PRUEBA DE CONDUCCIÓN EN LA RUTAS</b>					
<b>N</b>	<b>Ruta</b>	<b>Velocidad 30 (km/h)</b>	<b>Velocidad 40 (km/h)</b>	<b>Inclinación</b>	<b>Resultado</b>
1	1	Estable	Estable	Izquierda	Aprobado
2	1	Estable	Estable	Derecha	Aprobado
3	1	Estable	Estable	Izquierda	Aprobado
4	1	Aumentar Velocidad	Estable	Derecha	Aprobado
5	1	Estable	Estable	Derecha	Aprobado
6	1	Estable	Estable	Izquierda	Aprobado
7	1	Estable	Estable	Izquierda	Aprobado
8	1	Aumentar Velocidad	Estable	Derecha	Aprobado
9	1	Estable	Estable	Derecha	Aprobado
10	1	Estable	Estable	Izquierda	Aprobado
11	2	Estable	Estable	Izquierda	Aprobado
12	2	Aumentar Velocidad	Estable	Derecha	Aprobado
13	2	Aumentar Velocidad	Estable	Izquierda	Aprobado
14	2	Aumentar Velocidad	Estable	Derecha	Aprobado
15	2	Aumentar Velocidad	Estable	Izquierda	Aprobado
16	2	Aumentar Velocidad	Estable	Izquierda	Aprobado
17	2	Estable	Estable	Derecha	Aprobado
18	2	Estable	Estable	Izquierda	Aprobado
19	2	Estable	Estable	Derecha	Aprobado
20	2	Estable	Estable	Izquierda	Aprobado
21	2	Estable	Estable	Derecha	Aprobado
22	2	Estable	Estable	Derecha	Aprobado
23	2	Estable	Estable	Izquierda	Aprobado

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

#### 5.1 Presupuesto de Inversión.

El presupuesto de inversión se realizó tomando en cuenta las partes necesarias para la construcción de nuestro prototipo de sistema estructural, adicionalmente era necesario incluir los sistemas complementarios del vehículo en su totalidad, para así poder realizar las pruebas necesarias para comprobar la calidad y eficiencia de nuestro diseño.

Todos estos ítems se detallan en la tabla 17.

**Tabla 17**

Presupuesto de Inversión.

<b>PRESUPUESTO DE INVERSIÓN</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
	[USD]
Personal Ejecutor	\$ 2.000,00
Personal Asesor	\$ 2.000,00
Materiales	\$ 695,00
Otros Costos	\$ 450,00
Costos de Oficina	\$ 290,00
<b>Total</b>	<b>\$ 5.435,00</b>

Este presupuesto se aprobó como una referencia inicial aproximada del costo de construcción del sistema estructural, el mismo podría tener variaciones dependiendo de las especificaciones y necesidades que se presenten durante la ejecución del proyecto.

## 5.2 Análisis económico.

### 5.2.1 Costos Directos.

Este subcapítulo será destinado a detallar los costos relacionados a la obtención del producto final, algunos de los cuales especificaremos a continuación: mano de obra, materiales, costo de diseño, equipos, suministros, consumibles, entre otros.

La tabla 18 detalla los costos directos totales, los mismos que se desglosaran en los siguientes subcapítulos para una explicación adecuada y en detalle.

**Tabla 18**

Costo Directo Total

<b>COSTO DIRECTO TOTAL</b>	
<b>Descripción</b>	<b>VALOR [USD]</b>
Materia prima (materiales y consumibles)	\$ 426,03
Mano de Obra	\$ 920,00
Costo diseño	\$ 2.000,00
Soldadura	\$ 107,78
Sistemas Complementarios	\$ 360,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3.813,81</b>

#### 5.2.1.1 Materia Prima.

La materia prima es esencial para la construcción del sistema estructural, es necesario establecer la cantidad necesaria de materiales y suministros para poder optimizar los recursos; Asimismo es importante asegurar la calidad de los materiales, porque de esa manera certificamos que se cumple satisfactoriamente con las

prestaciones del sistema estructural y del vehículo. En la tabla 19 a continuación detallamos los materiales utilizados:

**Tabla 19**

Costo Materia Prima

MATERIA PRIMA							
ORD	Descripción	Cant. [m]	Cant. [u]	Peso [kg/m]	Peso Total [kg]	Costo Unitario [USD/]	Costo Total [USD]
1	TUBO ESTRUCTURAL NEGRO CUADRADO 3/4" e=1,5mm	15,16	3	0,877	13,29	\$ 7,00	\$ 21,00
2	TUBO ESTRUCTURAL NEGRO REDONDO 1" e=2mm	31	8	1,17	36,27	\$ 5,79	\$ 46,32
3	TUBO DE PRESIÓN 1 1/2" de e=4 mm		1		8	\$ 18,00	\$ 18,00
3	PLANCHA DE ALUMINIO ANTIDESLIZANTE 1220*2440*1,5		1		13,4	\$ 52,51	\$ 52,51
4	ACERO ANTIDESLIZANTE	1,03*0,85	1		5	\$ 33,24	\$ 33,24
4	Remaches 3/16 x 1/4"		100			\$ 0,04	\$ 4,48
5	Remaches 3/16 x 1/2"		100			\$ 0,06	\$ 5,60
6	Bisagras acero inoxidable 3"		3			\$ 3,18	\$ 9,54
7	Aldaba		2			\$ 1,68	\$ 3,36
8	Disco de corte 7x1/8x7/8"		2			\$ 9,55	\$ 19,11
9	Sierra grano grueso 12"-18T 2,176 3,52		2			\$ 1,97	\$ 3,94
10	Disco de Desbaste		2			\$ 4,78	\$ 9,56
11	Material de recubrimiento exterior (lona y carpa)	1,2*1,6	6			\$ 14,56	\$ 87,36
12	Materiales consumibles (mecánicos y eléctricos)		1			\$ 112,00	\$ 112,00
<b>TOTAL</b>							<b>\$ 426,03</b>

### 5.2.1.2 Mano de obra.

La tabla 20 detalla los costos de mano de obra, identificando este rubro como indispensable, el recurso humano es importante ya que la calidad del producto final es directamente proporcional a la capacidad y a la experiencia de los técnicos encargados de la construcción y el montaje.

**Tabla 20**

Costo Mano de Obra

<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>ORD</b>	<b>Descripción</b>	<b>Horas</b>	<b>Valor [USD/h]</b>	<b>USD</b>
<b>1</b>	Metal mecánico	72	10	\$ 720,00
<b>3</b>	Eléctrico	8	8	\$ 64,00
<b>4</b>	Ayudante mecánico	34	4	\$ 136,00
<b>TOTAL</b>		114		<b>\$ 920,00</b>

### 5.2.1.3 Costo Diseño.

La tabla 21 detalla el costo relacionado al proceso de diseño, el cual refleja el esfuerzo de los investigadores para plasmar las enseñanzas de sus maestros en un producto final de buena calidad y eficiente.

**Tabla 21**

Costo Diseño

<b>COSTO DISEÑO</b>					
<b>ORD</b>	<b>Nombre</b>	<b>Labor</b>	<b>Tiempo [h]</b>	<b>Valor [USD/h]</b>	<b>USD</b>
<b>1</b>	Sr. Jorge Luis Jara	Responsable proyecto	200	\$ 5,00	\$ 1.000,00
<b>2</b>	Sr.Santiago Qespaz	Responsable proyecto	200	\$ 5,00	\$ 1.000,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 2.000,00</b>

**5.2.1.4 Costo de Soldadura.**

Para el desarrollo del cálculo de este rubro es necesario tomar en cuenta las diferentes variables que influyen en el proceso de soldadura identificadas en la Figura 161, empezando con el tipo de proceso, la longitud y tamaño del cordón de soldadura, el material de aporte, si es necesario gas de protección y la mano de obra que es un parámetro indispensable para la calidad de nuestro producto final.

Además en todas las operaciones de fabricación de productos se verán incluidos los siguientes procesos:

1. Materia Prima (abastecimiento y almacenamiento)
2. Preparación de Materiales para Soldadura (biselado, corte)
3. Configuración de componentes.
4. Soldadura
5. Operaciones Mecánicas Subsecuentes
6. Tratamientos Térmico
7. Inspección.



#### 5.2.1.4.2 Eficiencia de aportación:

Representa la Relación existente entre el metal efectivamente depositado y la cantidad requerida de electrodos en peso para efectuar dicho depósito, la cual se detalla en la Figura 163.

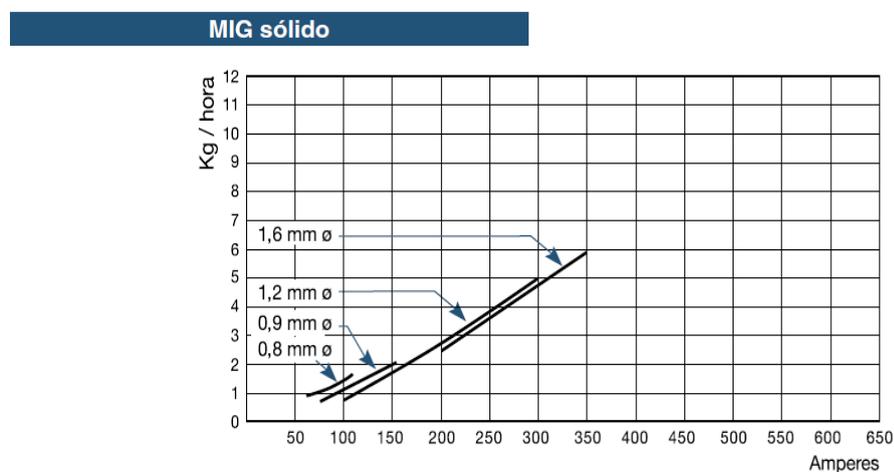
Proceso	Eficiencia deposición (%)
Electrodo manual	60-70
MIG sólido	90
MIG tubular c/protección	83
MIG tubular s/protección	79
TIG	95
Arco sumergido	98

**Figura 163**, Eficiencia de deposición por proceso.

Fuente: (INDURA, 2014)

#### 5.2.1.4.3 Velocidad de deposición:

Representa la cantidad de material de aporte depositado en un periodo de tiempo determinado, que puede identificarse en la Figura 164.



**Figura 164**, Velocidad de deposición proceso Mig sólido en relación al diámetro.

Fuente: (INDURA, 2014)

#### 5.2.1.4.4 Factor de operación:

Se define como la relación entre el tiempo en que ha existido arco y el tiempo real o tiempo total pagado, estos datos se detallan en la figura 165.

Proceso	Factor de Operación (%)
Electrodo manual	5- 30
MIG sólido	10- 60
MIG tubular	10- 60
TIG	5- 20
Arco sumergido	50-100

**Figura 165,** Factor de Operación por proceso

**Fuente:** (INDURA, 2014)

#### 5.2.1.4.5 Flujo gas:

Cantidad de gas necesario para protección por unidad de tiempo, detallada en la Figura 166.

Proceso	Flujo gas (m <sup>3</sup> /hr)
MIG sólido	0,8-1,2
MIG tubular	1,0-1,4
TIG	0,5-1,0

**Figura 166,** Flujo de gas por proceso mig

**Fuente:** (INDURA, 2014)

Una vez identificado los parámetros necesarios para nuestro proceso de soldadura, empezaremos a detallar los costos unitarios de cada rubro y las fórmulas para con la información adecuada obtener el costo de electrodo, mano

de obra y gas de protección que se utilizara en nuestro proyecto, el resultado final será el costo total de soldadura.

#### 5.2.1.4.6 Costo electrodo.

A continuación detallaremos la fórmula utilizada para el cálculo, además de los parámetros seleccionados y las diferentes variables (13), la cual se detalla en la tabla 22.

$$\frac{(\$)}{\text{m.l.}} = \frac{\text{Pmd (kg./ml) x Valor Electrodo (\$/kg)}}{\text{Eficiencia Deposición (\%)}}$$

**Tabla 22**

Costo electrodo

<b>COSTO ELECTRODO</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Peso Material Depositado	kg/ml	0,098
Valor electrodo	USD/kg	2,7
Longitud de soldadura	ml	5
Eficiencia de deposición	%	0,9
<b>TOTAL</b>	<b>USD</b>	<b>1,47</b>

#### 5.2.1.4.7 Costo mano de obra y gastos generales.

Detallamos la fórmula a utilizar (13) y los parámetros seleccionados detallados en la tabla 23.

$$\frac{(\$)}{\text{m.l.}} = \frac{\text{Pmd (kg./ml)} \times \text{Valor M.O. y G.G. (\$/hr)}}{\text{Velocidad Deposición (kg./hr)} \times \text{F. Operación (\%)}}$$

**Tabla 23**

Costo Mano de Obra y Gastos Generales

<b>COSTO MANO DE OBRA</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Cant.[h]</b>	<b>Valor total</b>
Peso Material Depositado	kg/ml	0,098		0,098
Valor mano de obra y Gastos Generales	USD/kg	3,5	8	28
Volumen Cordón Soldadura en forma lineal	ml	5		5
Velocidad de Deposición	kg/h	0,15	8	1,2
Factor de Operación	%	0,6		0,6
<b>TOTAL</b>		<b>USD</b>		<b>19,06</b>

**5.2.1.4.8 Costo gas de protección.**

Detallamos la fórmula a utilizar (13) y los parámetros seleccionados detallados en la tabla 24.

$$\frac{(\$)}{\text{m.l.}} = \frac{\text{Pmd (kg./ml)} \times \text{flujo Gas (m}^3\text{/hr)} \times \text{Valor Gas (\$/m}^3\text{)}}{\text{Velocidad Deposición (kg./hr)}}$$

**Tabla 24**

Costo gas de protección

<b>COSTO GAS DE PROTECCIÓN</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor total</b>
Peso Material Depositado	kg/ml	0,098
Flujo de Gas	m3/h	0,9
Valor de gas	USD/m3	12,67
Velocidad de Deposición	kg/h	0,15
Longitud de soldadura	ml	5
<b>TOTAL</b>	<b>USD</b>	<b>\$ 37,25</b>

**5.2.1.4.9 Costo Total del Proceso de Soldadura.**

A continuación calcularemos el costo total de soldadura, el cual es el resultado de la suma del costo de electrodo, el costo de mano de obra y gastos generales y por último el costo del gas de protección, todos estos datos detallados en la Tabla 25.

**Tabla 25**

Costo Total de soldadura

<b>COSTO TOTAL SOLDADURA</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
COSTO ELECTRODO	\$ 1,47
COSTO MANO DE OBRA	\$ 19,06
COSTO GAS DE PROTECCIÓN	\$ 37,25
OTROS	\$ 50,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 107,78</b>

### 5.2.1.3 Costo Sistemas Complementarios.

Detallamos a continuación todos los sistemas necesarios para el correcto funcionamiento de nuestro sistema estructural, los cuales se identifican en la Tabla 26, estos sistemas están orientados a brindar seguridad al ocupante.

**Tabla 26**

Costo Sistemas Complementarios

<b>SISTEMAS COMPLEMENTARIOS</b>		
<b>ORD</b>	<b>Descripción</b>	<b>USD</b>
<b>1</b>	Sistema de amortiguación y Anclaje al vehículo	\$ 60,00
<b>2</b>	Sistema de rodaje	\$ 40,00
<b>3</b>	Sistema eléctrico	\$ 80,00
<b>4</b>	Sistema de frenos	\$ 80,00
<b>5</b>	Sistema de anclaje silla de ruedas-vehículo	\$ 100,00
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 360,00</b>

**5.2.2 Costos indirectos.**

Los costos indirectos son gastos que no influyen directamente en el costo del producto final, pero es necesario incurrir en ellos para concluir el sistema estructural y poder además realizar las pruebas necesarias para garantizar su calidad, estos costos involucrados se muestran en la tabla 27.

**Tabla 27**

Costo indirecto Total

<b>COSTO INDIRECTO TOTAL</b>	
<b>Descripción</b>	<b>VALOR [USD]</b>
Alquiler Vehículo para pruebas	\$ 300,00
Personal Asesor	\$ 1.000,00
Costos de Oficina	\$ 590,00
Montaje y Desmontaje del sistema estructural en el vehículo	\$ 100,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.990,00</b>

**5.2.2.1 Personal Asesor.**

A continuación detallaremos los costos relacionados a asesoría detallados en la Tabla 28, la cual es realizada por una profesional capacitado en el área de influencia.

**Tabla 28**

Costo Personal Asesor

<b>PERSONAL ASESOR</b>				
<b>Nombre</b>	<b>Cargo</b>	<b>Tiempo [h]</b>	<b>Valor [USD/h]</b>	<b>USD</b>
Ing. José Olmedo	Director Proyecto de Inv.	50	\$ 20,00	\$ 1.000,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 1.000,00</b>

**5.2.2.1 Costos de oficina.**

En este subcapítulo se detalla todos los costos de presentación escrita de los avances y la presentación final; asimismo recoge los costos incurridos para la recopilación de información que son desglosados en la tabla 29.

**Tabla 29**

Costo de oficina

<b>COSTOS DE OFICINA</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo[USD]</b>
Útiles de Oficina	\$ 100,00
Copias blanco/negro	\$ 30,00
Copias Color	\$ 30,00
Impresiones planos	\$ 40,00
Impresiones color	\$ 50,00
Impresiones blanco/negro	\$ 40,00
Internet	\$ 50,00


 SIGUIENTE

Empastado, anillado	\$ 50,00
Transporte	\$ 200,00
<b>Total</b>	<b>\$ 590,00</b>

### 6.2.3 Costo total.

El costo total de nuestro proyecto es el resultado de la suma de costos directos e indirectos los cuales se demuestran en la tabla 30.

**Tabla 30**

Costo Total

<b>COSTO TOTAL</b>	
<b>Descripción</b>	<b>VALOR [USD]</b>
Costo Directo	\$ 3.813,81
Costo Indirecto	\$ 1.990,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 5.803,81</b>

### 5.2.4 Beneficio.

Para evaluar el beneficio del proyecto es preciso determinar su viabilidad. Al ser un proyecto enfocado a solucionar un problema social, el beneficio se evaluará en torno a la independencia que le puede dar al usuario para transportarse de manera económica y segura.

El principio básico en el cual basamos nuestro proyecto es aportar para la inclusión de personas con capacidades especiales, las cuales a diario sufren discriminación y

abusos en el transporte público. Si logramos reducir un poco la brecha de abuso sufrido por personas que lo único que quieren es ser tratados en equidad de condiciones, definitivamente el proyecto será viable.

### **5.3 Análisis Financiero.**

Este proyecto desde su inicio fue idealizado para aportar a la sociedad con un nuevo medio de transporte económico y eficiente, dejando de lado cualquier actitud distinta a la de apoyar y centrándolo en un proyecto sin fines de lucro, motivo por el cual no puede ser evaluado con los métodos convencionales del análisis financiero, los cálculos del valor actual neto y la tasa interna de retorno no son los parámetros adecuados para este tipo de proyecto, sin embargo se podrá evaluar por medio del análisis costo beneficio.

#### **5.3.1 Análisis Beneficio/Costo.**

El beneficio en relación al costo puede ser muy subjetivo, ya que si tomamos en cuenta la independencia que tendrá el usuario de nuestro sistema estructural para elegir las distintas características que tendrá su vehículo, podremos disminuir algunos costos, que al final influirán en el beneficio que el obtenga de su inversión.

El beneficiario directo del proyecto es una persona con capacidades especiales, que recibe como principal beneficio la oportunidad contar con un medio de transporte seguro y económico, para realizar sus diversas actividades como por ejemplo desplazarse a su centro educativo, a su trabajo o al lugar que necesite, aportando de esta manera para su integración económica y social. De esta manera este proyecto podrá devengar todo el tiempo y dinero invertido en su consolidación.

#### **5.4 Análisis de Impacto Social-Económico.**

El análisis de impacto social- económico de este proyecto es favorablemente ya que fue realizado con el objetivo principal de beneficiar a personas con capacidades especiales y de esta manera ser un aporte para construir una sociedad más incluyente y justa.

El usuario de nuestro proyecto podrá desarrollarse de mejor manera ya que estaremos acortando la desigualdad existente al momento de transportarse de manera segura, sin tener que mendigar por un servicio que debe estar al alcance de cada ciudadano, razón por la cual se puede afirmar que el proyecto tiene un impacto positivo dentro de una sociedad que cada día intenta mejorar.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones.

- A través del desarrollo de la presente investigación se estableció que es posible construir un sistema estructural, seguro, eficiente y económico, optimizando recursos sin descuidar la calidad del producto final.
- El sistema estructural fue diseñado y construido, de tal manera que todos los mandos y elementos de seguridad estén al alcance del usuario, tomando la información suministrada por los organismos y asociaciones especializadas para el manejo de personas con capacidades especiales.
- Ante la inexistencia de una norma técnica que regule el diseño y la construcción de vehículos destinados a personas con capacidades especiales, este proyecto de investigación tomo como referencia normas técnicas existentes que puedan orientar al objetivo del proyecto, las cuales se detallan a continuación: NTE INEN 2477:2009 “VEHÍCULOS AUTOMOTORES. VEHÍCULOS DE TRES RUEDAS PARA TRANSPORTE DE PASAJEROS Y PARA TRANSPORTE DE CARGA. REQUISITOS.” Y como complemento para el diseño y la construcción se tomó en cuenta además la Norma técnica NTE INEN 1323:2009 “VEHÍCULOS AUTOMOTORES. CARROCERÍAS DE BUSES. REQUISITOS.”; Cumpliendo satisfactoriamente cada una de las normas y sus requerimientos.
- La simulación en software CAD-CAE del prototipo de sistema estructural, permite determinar las zonas con mayor vulnerabilidad, centrandose en ellas

nuestra atención durante la construcción, para una correcta aplicación de cargas y asignación de restricciones, logrando con esto mayor fiabilidad.

- Durante la construcción, para evitar tensiones internas en la estructura, además de disminuir la zona afectada térmicamente, se realizó una soldadura intermitente.
- Al construir el prototipo de sistema estructural diseñado, se observó posibilidades de optimizar recursos en la cantidad de material utilizado, logrando con esto disminuir el peso de la estructura.
- Durante las pruebas realizadas se comprobó el funcionamiento de la tricimoto con 70 kg, 90 kg y 160 kg sin observar mayor diferencia en el comportamiento del mismo; sin embargo para el diseño del sistema estructural se tomó como referencia una carga máxima teórica de 84 kg, que correspondería al peso del ocupante.
- Se realizó varias pruebas de ruta, en donde se pudo evidenciar una excelente acogida de parte de los transeúntes y conductores, además de poder comprobar una excelente estabilidad y desempeño.
- Los materiales utilizados para la construcción del prototipo de sistema estructural son de fácil acceso, asimismo la manufactura utilizada es sencilla sin ser necesario el uso de grandes y sofisticadas máquinas y herramientas.
- En la actualidad el costo de un vehículo adaptado para una persona con capacidades especiales modelo básico oscila entre los 20000 y 50000 dólares americanos, dentro del cual estaría categorizado nuestro vehículo. Los 5803.81 dólares americanos que se utilizaron para la construcción de

nuestro sistema estructural, muestra que es posible obtener un vehículo seguro y eficiente a menor costo.

## **6.2. Recomendaciones.**

- Es necesario utilizar todos los elementos de seguridad pasiva, se recomienda el uso constante del casco homologado y de los cinturones de seguridad colocados en el vehículo.
- Se recomienda realizar mantenimientos preventivos de conjunto motriz cada 2000 km según las recomendaciones de los manuales de mantenimiento del vehículo.
- Los sistemas complementarios del sistema estructural deben ser revisados periódicamente, es recomendable poner énfasis en el sistema de frenos y suspensión los cuales deben ser revisados completamente cada 3 meses.
- La velocidad idónea para disfrutar de una conducción segura es 30 km/h, en caso de ser necesario mayor velocidad tomar en cuenta la eficiencia y la distribución del frenado.
- La presión de los neumáticos debe ser idónea, es recomendable mantener los neumáticos con la presión adecuada siendo 27 psi para el neumático delantero y 32 psi para los neumáticos posteriores.

## BIBLIOGRAFÍA

### Trabajos citados

- Abatta, L. &. (2013). Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6885>
- AISI. (1996). *Spefification for Design of Cold-Formed steel Structural Members*.
- Aldaz, L. (2015). *Validacion estructural de carroceria*. Quito.
- ARATEC. (2015). *Tipos de uniones de tuberia*. Obtenido de Tipos de uniones de tuberia.
- Asta, E. (2014). *Reglamento Argentino para soldadura de estructuras*. Obtenido de Reglamento Argentino para soldadura de estructuras: [http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/soldadura/2\\_CIRSOC304capitulos1y2.pdf](http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/soldadura/2_CIRSOC304capitulos1y2.pdf)
- CONADIS. (14 de Septiembre de 2012). Obtenido de <http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014>
- CONADIS. (13 de Mayo de 2014). Obtenido de <http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadistica/index.html>
- CONADIS. (7 de Mayo de 2015). Obtenido de <http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/biblioteca>
- DOWNBOOK. (2014). *Defectos tipicos en el doblado de tubos*. Obtenido de Defectos tipicos en el doblado de tubos: <http://www.downbook.com.au> + defectos
- ESTRUCPLAN. (2014). *Estrucplan On line*. Obtenido de Estrucplan On line: <https://www.estrucplan.com.ar/Articulos/imprimirss.asp?IDArticulo=1547>
- Gonzales, M. (2010). *Tratamiento fisioterapeutico en paraplejicos*. Cuenca: Publicaciones Cuenca.

- GUERRERO. (2008). *Introduccion al conformado mecanico*. Obtenido de Introduccion al conformado mecanico: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/266/1/15T00399.pdf>
- Harley, D. (2015). *Harley-Davidson Motor Company, Inc.* Obtenido de Harley-Davidson Motor Company, Inc: [www.motorcycle-usa.com/harley-davidson-motorcycles](http://www.motorcycle-usa.com/harley-davidson-motorcycles)
- Honda. (2012). *Honda Motor Company Ltd.* Obtenido de Honda Motor Company Ltd.: [www.nytimes.com/topic/company/honda-motor-co-ltd](http://www.nytimes.com/topic/company/honda-motor-co-ltd)
- INDURA. (2014). Obtenido de <http://www.indura.cl/descarga/ManualdesoldaduraINDURA/path/content/storage>
- INEN 1323, N. (2009). Obtenido de <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/index.php>
- INEN. (2012). Obtenido de <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/index.php/buscar>
- INEN, I. E. (2009). *NTE INEN 1323-2009 VEHÍCULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES. REQUISITOS*. QUITO: INEN.
- INEN, I. E. (2012). *NTE INEN 2477:2012 “VEHÍCULOS AUTOMOTORES. VEHÍCULOS DE TRES RUEDAS PARA TRANSPORTE DE PASAJEROS Y PARA TRANSPORTE DE CARGA. REQUISITOS*. QUITO: INEN .
- INMAN, D. J. (2007). Vibraciones. En INMAN, *Engineering Vibration*. Prentice Hall.
- IPAC. (2014). *Catalogo online IPAC*. Obtenido de Catalogo online IPAC: <http://www.ipac-acero.com/producto-detalle.php?id=8>
- Kawasaki, H. (2002). *Kawasaki Heavy Industries Ltd.* Obtenido de <https://www.kawasaki.com>
- Lincoln, E. (2014). *Equipos de Soldadura*. Obtenido de Equipos de Soldadura: [http://www.lincolnelectric.com/assets/EU/ES/EQ\\_CAT\\_ES\\_fin\\_web.pdf](http://www.lincolnelectric.com/assets/EU/ES/EQ_CAT_ES_fin_web.pdf)

- Mc Cormac, C. J. (2012). *Diseño de Estructuras de Acero*. México: Alfa omega Grupo Editor .
- NOVACERO. (2014). *Catalogo de productos NOVACERO*. Obtenido de <http://www.novacero.com/productos-y-servicios/productos.html>
- Pachar, G. J. (11 de Junio de 2012). *Universidad Politecnica Salesiana Cuenca*. Obtenido de Universidad Politecnica Salesiana Cuenca: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3211>
- UFA ESPE, U. D. (7 de Junio de 2015). *Universidad de las Fuerzas Armadas*. Obtenido de Universidad de las Fuerzas Armadas: <http://www.espe.edu.ec/>
- UPS-CT001907. (2010). Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1189/16/UPS-CT001907.pdf>
- VERSWYVEL, S. (2011).
- Xenon2. (2011). *Catalogo silla de ruedas* . Obtenido de Catalogo silla de ruedas : <http://xenon2.sunrisemedical.eu/>