



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS PARA UN  
VEHÍCULO PROTOTIPO MINI TODOTERRENO ELÉCTRICO”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:**

OMAR GABRIEL ORTIZ LLANGA

EDISON FERNANDO CHACHA LARA

Riobamba – Ecuador

2021



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA**

### **CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

#### **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS PARA UN VEHÍCULO PROTOTIPO MINI TODOTERRENO ELÉCTRICO”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:** OMAR GABRIEL ORTIZ LLANGA

EDISON FERNANDO CHACHA LARA

**DIRECTOR:** Ing. JUAN CARLOS ROCHA HOYOS Mgs.

Riobamba – Ecuador

2021

**© 2021, Omar Gabriel Ortiz Llanga & Edison Fernando Chacha Lara**

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

Nosotros, **OMAR GABRIEL ORTIZ LLANGA** y **EDISON FERNANDO CHACHA LARA**, declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 25 de noviembre de 2021



.....  
**Omar Gabriel Ortiz Llanga**  
**060406220-8**



.....  
**Edison Fernando Chacha Lara**  
**060415089-6**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECANICA**  
**CARRERA INGENIERIA AUTOMOTRIZ**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS PARA UN VEHÍCULO PROTOTIPO MINI TODOTERRENO ELÉCTRICO**”, realizado por los señores: **OMAR GABRIEL ORTIZ LLANGA, EDISON FERNANDO CHACHA LARA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021-11-25
Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	_____	2021-11-25
Ing. Paul Alejandro Montufar Paz <b>MIEMBRO DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	_____	2021-11-25

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación dedico a Dios por ser mi guía y fortaleza espiritual, a las personas que con su esfuerzo y sacrificio lucharon por guiarme en un duro camino hacia el cumplimiento de mis metas, por su apoyo incondicional en momentos difíciles, dedico a mis padres Héctor Ortiz y Guadalupe Llanga, por sus valores, enseñanzas, dedicación, a mi hermana Madison, por ser mi inspiración a superarme, A mis abuelos por sus enseñanzas y anécdotas, en especial a Julia Bertha Morales por trasmitirme su carácter, perseverancia y motivación a convertirme en un profesional, a Fernanda Suica por ser un apoyo incondicional y ayudarme a superar los obstáculos, a toda mi familia y amigos que con sus palabras de aliento y motivación, me permitieron seguir a delante hasta cumplir mis metas y sueños. Por su apoyo incondicional mil gracias querida familia.

*Omar*

Agradecer a Dios por ayudarme a concluir mi carrera, a mis padres María Lara y Ricardo Chacha, que con su inquebrantable amor me ayudaron a cumplir este anhelado sueño, fueron ejemplo de superación y perseverancia que sin lugar a duda los tomé como ejemplo fueron fuente de inspiración y motivo para estudiar, este gran logro lo he conseguido gracias a ustedes, espero haberlos hecho sentir orgullosos por verme alcanzar esta meta. Para mi hermano Claudio Chacha, su cariño, sus consejos y su personalidad fueron entes importantes para culminar esta etapa en mis estudios, todo lo que hiciste siempre fue visto como ejemplo, te agradezco por el apoyo incondicional que siempre me brindaste a pesar de las adversidades. Agradezco infinitamente por su apoyo, amada familia.

*Edison*

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, queremos agradecer a Dios por permitirnos culminar una etapa en nuestro crecimiento profesional a fin de alcanzar las metas propuestas. A nuestros padres que con su sacrificio y valores nos inculcaron valores y herramientas para afrontar los obstáculos que se presente en nuestra vida, a nuestros hermanos y familiares por su apoyo incondicional a lo largo de nuestra carrera profesional. Nuestro más sincero agradecimiento a la prestigiosa Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, y a sus dependencias por darnos la oportunidad de obtener una profesión digna y aportar a la sociedad. A los Ing., Juan Carlos Rocha Hoyos, Director de trabajo de titulación e Ing., Paul Alejandro Montufar Paz, Asesor de trabajo de titulación, que con su motivación, asesoría y conocimientos guiaron el óptimo desarrollo de cada proceso que conlleva el proyecto técnico.

A nuestros docentes por brindarnos los conocimientos de formación académica, a nuestros compañeros que, a lo largo de nuestra vida universitaria, de una u otra manera contribuyeron con valores, experiencias, virtudes con el afán de formarnos como profesionales éticos, morales que aporten al crecimiento de la sociedad.

*Omar & Edison*

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xix
RESUMEN .....	xx
SUMMARY .....	xxi
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I.....	2
1. MARCO REFERENCIAL.....	2
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Planteamiento del problema:.....	2
1.3. Justificación: .....	3
1.4. Objetivos .....	4
1.4.1. <i>Objetivo general:</i> .....	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos:</i> .....	4
CAPITULO II: .....	6
2. MARCO TEORICO.....	6
2.1. Estado del arte .....	6
2.1.1. <i>Aplicación de métodos multicriterio</i> .....	6
2.1.2. <i>Diseño mecánico</i> .....	7
2.2. Bases teóricas .....	8
2.2.1. <i>Generalidades del chasis</i> .....	8
2.2.2. <i>Resistencia del material</i> .....	11
2.2.2.1. <i>Deformación</i> .....	11
2.2.2.2. <i>Factor de seguridad</i> .....	12
2.2.2.3. <i>Factor de Von Mises</i> .....	12
2.2.3. <i>Esfuerzos del elemento estructural</i> .....	13
2.2.3.1. <i>Esfuerzo Axial</i> .....	13
2.2.3.2. <i>Esfuerzo cortante</i> .....	13
2.2.3.3. <i>Esfuerzo de compresión</i> .....	14

2.2.3.4.	<i>Esfuerzo de tracción</i> .....	14
2.2.3.5.	<i>Flexión</i> .....	15
2.2.3.6.	<i>Torsión</i> .....	15
2.2.4.	<b>Métodos multicriterio</b> .....	16
2.2.4.1.	<i>Método Copras</i> .....	16
2.2.4.2.	<i>Método Vikor</i> .....	16
2.2.4.3.	<i>Método Topsis</i> .....	16
2.2.5.	<b>Chasis</b> .....	17
2.2.6.	<b>Bastidor</b> .....	18
2.2.7.	<b>Cargas de diseño</b> .....	18
2.2.7.1.	<i>Carga muerta (M)</i> .....	18
2.2.7.2.	<i>Carga viva (V)</i> .....	19
2.2.7.3.	<i>Carga de impacto</i> .....	19
2.2.8.	<b>Aceros estructurales</b> .....	19
2.2.8.1.	<i>Tipos de aceros estructurales</i> .....	19
2.2.8.2.	<i>Ventajas del acero estructural</i> .....	21
2.2.9.	<b>Técnicas de diseño e ingeniería asistida por computadora</b> .....	21
2.2.9.1.	<i>CAD (Computational Aided Design)</i> .....	21
2.2.9.2.	<i>CAE (Computational Aided Engineering)</i> .....	22
2.2.9.3.	<i>Software empelado</i> .....	23
2.2.10.	<b>Generalidad de herramientas de construcción</b> .....	23
2.2.11.	<b>Soldabilidad de los materiales</b> .....	25
2.3.	<b>Marco Legal</b> .....	27
2.3.1.	<b>Norma Técnica ASTM E8</b> .....	27
2.3.2.	<b>Reglamentación de diseño y construcción Baja SAE</b> .....	28
2.3.2.1.	<i>Regulaciones administrativas</i> .....	28
2.3.2.2.	<i>Requisitos técnicos</i> .....	29
<b>CAPITULO III</b> .....		31
3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	31
3.1.	<b>Diagrama de etapas del proyecto</b> .....	31
3.2.	<b>Metodología de selección del material</b> .....	34
3.2.1.	<b>Caracterización de materiales estructurales</b> .....	35
3.2.1.1.	<i>Ensayo de tracción de materiales</i> .....	35
3.2.1.2.	<i>Propiedades de los materiales</i> .....	36

3.2.2.	<i>Procedimiento de aplicación de métodos multicriterio</i>	37
3.2.3.	<i>Restricciones del material</i>	38
3.3.	<b>Metodología de diseño y simulación</b>	39
3.3.1.	<i>Identificación de la necesidad</i>	40
3.3.2.	<i>Investigación preliminar</i>	40
3.3.3.	<i>Planteamiento de objetivos</i>	41
3.3.4.	<i>Especificaciones de desempeño</i>	41
3.3.5.	<i>Especificaciones de diseño y evaluación</i>	41
3.3.5.1.	<i>Distribución de masas principales en el chasis</i>	42
3.3.5.2.	<i>Criterios de espacio y ergonomía</i>	46
3.3.5.3.	<i>Geometría y disposición de la suspensión</i>	47
3.3.5.4.	<i>Requisitos generales de diseño</i>	48
3.3.5.5.	<i>Desarrollo y variaciones del diseño de chasis</i>	55
3.3.6.	<i>Especificaciones de simulación y análisis del diseño.</i>	56
3.3.6.1.	<i>Método de elementos finitos (MEF)</i>	56
3.3.6.2.	<i>Elementos tipo viga</i>	57
3.3.6.3.	<i>Análisis establecidos por el reglamento</i>	57
3.4.	<b>Metodología y planificación de construcción</b>	57
3.4.1.	<i>Medición y distribución del material</i>	58
3.4.2.	<i>Corte del material</i>	58
3.4.3.	<i>Operaciones de doblado de tubos</i>	59
3.4.4.	<i>Preparación de tubos (Boca de pescado)</i>	60
3.4.5.	<i>Soldadura</i>	61
3.4.5.1.	<i>Suelda MIG</i>	62
3.4.5.2.	<i>Criterios de selección del electrodo.</i>	62
3.4.5.3.	<i>Posicionamiento y orden de soldadura</i>	63
3.4.5.4.	<i>Punteo de la soldadura</i>	64
3.4.5.5.	<i>Inspección de soldaduras</i>	65
3.4.6.	<i>Secuencia de ensamblaje de la estructura</i>	66
3.5.	<b>Planificación o cronograma de actividades</b>	68
3.5.1.	<i>Cronograma de diseño y manufactura</i>	69
3.6.	<b>Recursos y materiales</b>	69
3.6.1.	<i>Materiales</i>	69
3.6.1.1.	<i>Acero estructural ASTM A36</i>	70
3.6.1.2.	<i>Alambre de soldadura 70S-6</i>	71
3.6.2.	<i>Equipos y herramientas</i>	72

3.6.2.1.	<i>Suelda MIG</i> .....	73
3.6.3.	<b>Recursos humanos</b> .....	74
3.6.4.	<b>Recursos económicos</b> .....	75
3.6.4.1.	<i>Costos directos</i> .....	75
3.6.4.2.	<i>Costos indirectos</i> .....	76
3.6.4.3.	<i>Costo total del desarrollo del proyecto</i> .....	77
3.7.	<b>Desarrollo del proyecto</b> .....	77
3.7.1.	<b>Aplicación de métodos multicriterio</b> .....	77
3.7.1.1.	<i>Método COPRAS</i> .....	77
3.7.1.2.	<i>Método TOPSIS</i> .....	79
3.7.1.3.	<i>Método VIKOR</i> .....	80
3.7.2.	<b>Proceso de modelamiento y diseño del chasis</b> .....	81
3.7.2.1.	<i>Croquizado del chasis</i> .....	82
3.7.2.2.	<i>Aplicación del miembro estructural</i> .....	89
3.7.2.3.	<i>Modificaciones de diseño del chasis</i> .....	90
3.7.3.	<b>Análisis y simulación</b> .....	98
3.7.3.1.	<i>Verificación y corrección de mallado</i> .....	98
3.7.3.2.	<i>Análisis de velocidad y obtención de fuerza de impacto</i> .....	99
3.7.4.	<b>Proceso de construcción</b> .....	101
3.7.4.1.	<i>Uniones soldadas</i> .....	106
3.7.4.2.	<i>Proceso de pintura</i> .....	109
3.7.5.	<b>Inspección de soldadura con líquidos penetrantes</b> .....	111
3.7.5.1.	<i>Preparación de la superficie de soldadura</i> .....	111
3.7.5.2.	<i>Aplicación del líquido penetrante</i> .....	113
3.7.5.3.	<i>Remoción del líquido penetrante</i> .....	113
3.7.5.4.	<i>Aplicación del líquido revelador</i> .....	114
3.7.5.5.	<i>Reacción del líquido revelador en el cordón de soldadura</i> .....	115
<b>CAPITULO IV</b> .....		116
4.	<b>RESULTADOS</b> .....	116
4.1.	<b>Obtención de resultados</b> .....	116
4.1.1.	<b>Resultados de aplicación de métodos multicriterio</b> .....	116
4.1.1.1.	<i>Método COPRAS</i> .....	116
4.1.1.2.	<i>Método TOPSIS</i> .....	117
4.1.1.3.	<i>Método VIKOR</i> .....	118

4.1.2.	<i>Diseño final de cada variante de chasis</i> .....	119
4.1.3.	<i>Resultado de simulación</i> .....	120
4.1.3.1.	<i>Simulación del primer diseño estándar</i> .....	120
4.1.3.2.	<i>Simulación del segundo diseño</i> .....	122
4.1.3.3.	<i>Simulación del tercer diseño</i> .....	125
4.1.3.4.	<i>Simulación del cuarto diseño</i> .....	128
4.1.3.5.	<i>Simulación del quinto diseño</i> .....	131
4.1.3.6.	<i>Simulación del sexto diseño</i> .....	134
4.1.3.7.	<i>Simulación del séptimo diseño</i> .....	137
4.2.	<b>Análisis y discusión de resultados</b> .....	141
4.2.1.	<i>Análisis de resultados métodos de selección multicriterio</i> .....	141
4.2.2.	<i>Diseño y modelamiento de las alternativas de chasis</i> .....	146
4.2.3.	<i>Análisis y comparación de resultados de la simulación estructural</i> .....	148
4.2.3.1.	<i>Simulación estructural: Deformación de los diseños de chasis aplicado una fuerza de impacto de 20000 N</i> .....	148
4.2.3.2.	<i>Simulación estructural: Criterio de Von Mises de los diseños de chasis aplicado una fuerza de impacto de 20000 N</i> .....	149
4.2.3.3.	<i>Simulación estructural: Factor de Seguridad de los diseños de chasis aplicado una fuerza de impacto de 20000 N</i> .....	151
4.2.4.	<b>Construcción y acabos finales del chasis</b> .....	153
4.2.4.1.	<i>Fabricación de miembros estructurales</i> .....	154
4.2.4.2.	<i>Resultados de inspección de soldadura</i> .....	155
4.2.4.3.	<i>Resultado final del chasis</i> .....	158
<b>CONCLUSIONES</b> .....		160
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		162
<b>GLOSARIO</b>		
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3:</b>	Metodologías aplicadas para el cumplimiento de objetivos. ....	31
<b>Tabla 2-3:</b>	Resultados de caracterización de materiales .....	36
<b>Tabla 3-3:</b>	Propiedades de los materiales .....	37
<b>Tabla 4-3:</b>	Masas principales del vehículo.....	42
<b>Tabla 5-3:</b>	Dimensiones del percentil masculino y femenino .....	46
<b>Tabla 6-3:</b>	Planificación y cronograma del desarrollo del proyecto .....	68
<b>Tabla 7-3:</b>	Lista de materiales de construcción .....	70
<b>Tabla 8-3:</b>	Propiedades del electrodo 70S-6.....	71
<b>Tabla 9-3:</b>	Equipos y herramientas para el desarrollo del proyecto .....	72
<b>Tabla 10-3:</b>	Características técnicas de equipo de suelda MIG .....	73
<b>Tabla 11-3:</b>	Especificaciones de los recursos humanos empleados .....	74
<b>Tabla 12-3:</b>	Costos de los materiales.....	75
<b>Tabla 13-3:</b>	Costos de los equipos y herramientas.....	75
<b>Tabla 14-3:</b>	Costos empleados en mano de obra.....	76
<b>Tabla 15-3:</b>	Costos empleados para el transporte de materiales .....	76
<b>Tabla 16-3:</b>	Costos empleados en criterios de software.....	76
<b>Tabla 17-3:</b>	Análisis de costos directos e indirectos .....	77
<b>Tabla 18-3:</b>	Proceso de croquizado del chasis .....	82
<b>Tabla 19-3:</b>	Representación de variantes en las mediciones de los diseños.....	91
<b>Tabla 1-4:</b>	Resultados Método COPRAS .....	116
<b>Tabla 2-4:</b>	Matriz positiva Método TOPSIS.....	117
<b>Tabla 3-4:</b>	Matriz negativa Método TOPSIS.....	117
<b>Tabla 4-4:</b>	Resultados Método TOPSIS .....	118
<b>Tabla 5-4:</b>	Resultados Método VIKOR.....	118
<b>Tabla 6-4:</b>	Valores de deformación diseño 1 .....	120
<b>Tabla 7-4:</b>	Valores de criterio de von mises diseño 1 .....	121
<b>Tabla 8-4:</b>	Valores del factor de seguridad diseño 1.....	122
<b>Tabla 9-4:</b>	Valores de deformación diseño 2.....	122
<b>Tabla 10-4:</b>	Valores de criterio de von mises diseño 2 .....	123
<b>Tabla 11-4:</b>	Valores de factor de seguridad diseño 2.....	124
<b>Tabla 12-4:</b>	Valores de deformación diseño 3 .....	125
<b>Tabla 13-4:</b>	Valores de criterio de von mises diseño 3 .....	126
<b>Tabla 14-4:</b>	Valores de factor de seguridad diseño 3.....	127
<b>Tabla 15-4:</b>	Valores de deformación diseño 4.....	128

<b>Tabla 16-4:</b>	Valores de criterio de von mises diseño 4 .....	129
<b>Tabla 17-4:</b>	Valores de factor de seguridad diseño 4.....	130
<b>Tabla 18-4:</b>	Valores de deformación diseño 5 .....	131
<b>Tabla 19-4:</b>	Valores de criterio de von mises diseño 5 .....	132
<b>Tabla 20-4:</b>	Valores de factor de seguridad diseño 5.....	133
<b>Tabla 21-4:</b>	Valores de deformación diseño 6 .....	134
<b>Tabla 22-4:</b>	Valores de criterio de von mises diseño 6 .....	135
<b>Tabla 23-4:</b>	Valores de factor de seguridad diseño 6.....	136
<b>Tabla 24-4:</b>	Valores de deformación diseño 7 .....	137
<b>Tabla 25-4:</b>	Valores de criterio de von mises diseño 7 .....	138
<b>Tabla 26-4:</b>	Valores de factor de seguridad diseño 7.....	139
<b>Tabla 27-4:</b>	Resultados generales de simulación y análisis estructural.....	140
<b>Tabla 28-4:</b>	Rango de limite elástico de los aceros.....	142
<b>Tabla 29-4:</b>	Resultados de selección de métodos multicriterio.....	143
<b>Tabla 30-4:</b>	Comparación de resultados diseño 1 con resultados permitidos.....	153

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Modelos actuales de prototipo de vehículo mini todoterreno .....	6
<b>Figura 2-2:</b>	Chasis tubular para vehículos .....	8
<b>Figura 3-2:</b>	Modelo del BAJA SAE. ....	9
<b>Figura 4-2:</b>	Reparto correcto de las fuerzas para el balanceo .....	9
<b>Figura 5-2:</b>	Proceso de deformación de los cuerpos .....	11
<b>Figura 6-2:</b>	Distribución de los vectores del esfuerzo cortante.....	14
<b>Figura 7-2:</b>	Representación de flexión de una viga .....	15
<b>Figura 8-2:</b>	Marco principal sometido a torsión .....	16
<b>Figura 9-2:</b>	Chasis de un mini todoterreno .....	17
<b>Figura 10-2:</b>	Tipos de bastidores.....	18
<b>Figura 11-2:</b>	Dominio y condiciones de contorno (MEF) .....	22
<b>Figura 12-2:</b>	Esquema básico de un equipo de soldadura MIG .....	26
<b>Figura 13-2:</b>	Efectos producidos de una soldadura MIG.....	26
<b>Figura 14-2:</b>	Proceso de fusión en la soldadura MIG .....	27
<b>Figura 1-3:</b>	Angulo de asiento.....	45
<b>Figura 2-3:</b>	Medidas antropométricas del percentil 95 .....	47
<b>Figura 3-3:</b>	Geometría y disposición de la suspensión .....	48
<b>Figura 4-3:</b>	Jaula antivuelco, LC.....	49
<b>Figura 5-3:</b>	Jaula antivuelco, RRH.....	50
<b>Figura 6-3:</b>	Refuerzo diagonal lateral.....	50
<b>Figura 7-3:</b>	Soportes aéreos, RHO .....	51
<b>Figura 8-3:</b>	Largueros del bastidor inferior, LFS.....	52
<b>Figura 9-3:</b>	Miembros de impacto lateral, SIM .....	52
<b>Figura 10-3:</b>	Miembro inferior del asiento (USM).....	53
<b>Figura 11-3:</b>	Elementos delanteros de arriostramiento, FBM.....	54
<b>Figura 12-3:</b>	Refuerzo de proa/popa (FAB) .....	55
<b>Figura 13-3:</b>	Proceso de doblado por compresión .....	59
<b>Figura 14-3:</b>	Proceso de doblado por arrastre.....	60
<b>Figura 15-3:</b>	Radio mínimo de doblado sugerido, doblado por arrastre .....	60
<b>Figura 16-3:</b>	Esquema de plantilla para corte de tubo boca de pescado .....	61
<b>Figura 17-3:</b>	Cordón de soldadura.....	61
<b>Figura 18-3:</b>	Soldadura circular a 360° .....	63
<b>Figura 19-3:</b>	Soldadura vertical a 180° .....	63
<b>Figura 20-3:</b>	Soldadura de tipo vertical ascendente.....	64

<b>Figura 21-3:</b>	Soldadura horizontal.....	64
<b>Figura 22-3:</b>	Fundamento del ensayo por líquidos penetrantes. ....	66
<b>Figura 23-3:</b>	Cronograma del proceso de manufactura .....	69
<b>Figura 24-3:</b>	Alambre de soldadura 70S-6 .....	71
<b>Figura 25-3:</b>	Equipo de suelda MIG Indura Amigo 263.....	73
<b>Figura 26-3:</b>	Creación del perfil estructural .....	89
<b>Figura 27-3:</b>	Aplicación del perfil estructural al croquizado del chasis.....	90
<b>Figura 28-3:</b>	Modelo final del diseño del chasis.....	90
<b>Figura 29-3:</b>	Vista general de las variantes de diseños del chasis .....	91
<b>Figura 30-3:</b>	Croquizado de la variación del diseño 2 .....	92
<b>Figura 31-3:</b>	Vistas y perspectiva del diseño 2.....	92
<b>Figura 32-3:</b>	Croquizado de la variación del diseño 3 .....	93
<b>Figura 33-3:</b>	Vistas y perspectiva del diseño 3.....	93
<b>Figura 34-3:</b>	Croquizado de la variación del diseño 4 .....	<b>94</b>
<b>Figura 35-3:</b>	Vistas y perspectiva del diseño 4.....	94
<b>Figura 36-3:</b>	Croquizado de la variación del diseño 5 .....	95
<b>Figura 37-3:</b>	Vistas y perspectiva del diseño 5.....	95
<b>Figura 38-3:</b>	Croquizado de la variación del diseño 6 .....	96
<b>Figura 39-3:</b>	Vistas y perspectiva del diseño 6.....	96
<b>Figura 40-3:</b>	Croquizado de la variación del diseño 7 .....	97
<b>Figura 41-3:</b>	Vistas y perspectiva del diseño 7.....	97
<b>Figura 42-3:</b>	Diseño Mallado para simulación .....	98
<b>Figura 43-3:</b>	Diseño aplicado el valor para simulación de impacto.....	100
<b>Figura 44-3:</b>	Local de adquisición de productos de uso industrial .....	101
<b>Figura 45-3:</b>	Distribución de los aceros estructurales.....	101
<b>Figura 46-3:</b>	Tubos cortados a distintas medidas .....	102
<b>Figura 47-3:</b>	Proceso de doblado de tubos .....	102
<b>Figura 48-3:</b>	Unión de miembros estructurales .....	103
<b>Figura 49-3:</b>	Fijación de los parantes principales .....	103
<b>Figura 50-3:</b>	Instalación del tubo frontal.....	104
<b>Figura 51-3:</b>	Instalación de los tubos de la parte superior .....	104
<b>Figura 52-3:</b>	Instalación de los tubos de la base del chasis.....	105
<b>Figura 53-3:</b>	Montaje de tubos de los laterales del chasis .....	105
<b>Figura 54-3:</b>	Ubicación de los soportes laterales del chasis .....	105
<b>Figura 55-3:</b>	Parte frontal del chasis (Nariz) .....	106
<b>Figura 56-3:</b>	Colocación del tubo transversal.....	106

<b>Figura 57-3:</b>	Instalación de equipo de soldadura MIG .....	107
<b>Figura 58-3:</b>	Implementos de seguridad.....	107
<b>Figura 59-3:</b>	Soldadura de la estructura del chasis. ....	108
<b>Figura 60-3:</b>	Uniones soldadas de miembros estructurales.....	108
<b>Figura 61-3:</b>	Cordón de soldadura, unión entre los tubos de la base del chasis .....	108
<b>Figura 62-3:</b>	Cordón de soldadura, unión entre los tubos de la cabina. ....	109
<b>Figura 63-3:</b>	Cordón de soldadura.....	109
<b>Figura 64-3:</b>	Ubicación del chasis en un lugar abierto .....	109
<b>Figura 65-3:</b>	Proceso de pintura del chasis.....	110
<b>Figura 66-3:</b>	Acabado final del chasis.....	110
<b>Figura 67-3:</b>	Kit de líquidos penetrantes .....	111
<b>Figura 68-3:</b>	Preparación de la superficie de soldadura.....	112
<b>Figura 69-3:</b>	Aplicaciones del líquido removedor.....	112
<b>Figura 70-3:</b>	Aplicación del líquido penetrante.....	113
<b>Figura 71-3:</b>	Remoción del líquido penetrante.....	114
<b>Figura 72-3:</b>	Aplicación del líquido revelador .....	114
<b>Figura 73-3:</b>	Reacción química del líquido revelador .....	115
<b>Figura 1-4:</b>	Vistas de los diseños de chasis .....	119
<b>Figura 2-4:</b>	Deformación por impacto frontal - chasis estándar .....	121
<b>Figura 3-4:</b>	Criterio de von mises a impacto frontal - Chasis estándar .....	121
<b>Figura 4-4:</b>	Factor de seguridad a impacto frontal - Chasis estándar.....	122
<b>Figura 5-4:</b>	Deformación por impacto frontal - chasis 2.....	123
<b>Figura 6-4:</b>	Criterio de von mises a impacto frontal - Chasis 2 .....	124
<b>Figura 7-4:</b>	Factor de seguridad a impacto frontal - Chasis 2.....	125
<b>Figura 8-4:</b>	Deformación por impacto frontal - chasis 3.....	126
<b>Figura 9-4:</b>	Criterio de von mises a impacto frontal - Chasis 3 .....	127
<b>Figura 10-4:</b>	Factor de seguridad a impacto frontal - Chasis 3 .....	128
<b>Figura 11-4:</b>	Deformación por impacto frontal - chasis 4.....	129
<b>Figura 12-4:</b>	Criterio de von mises a impacto frontal - Chasis 4 .....	130
<b>Figura 13-4:</b>	Factor de seguridad a impacto frontal - Chasis 4.....	131
<b>Figura 14-4:</b>	Deformación por impacto frontal - chasis 5.....	132
<b>Figura 15-4:</b>	Criterio de von mises a impacto frontal - Chasis 5 .....	133
<b>Figura 16-4:</b>	Factor de seguridad a impacto frontal - Chasis 5 .....	134
<b>Figura 17-4:</b>	Deformación por impacto frontal - chasis 6.....	135
<b>Figura 18-4:</b>	Criterio de von mises a impacto frontal - Chasis 6 .....	136
<b>Figura 19-4:</b>	Factor de seguridad a impacto frontal - Chasis 6.....	137

<b>Figura 20-4:</b>	Deformación por impacto frontal - chasis 7.....	138
<b>Figura 21-4:</b>	Criterio de von mises a impacto frontal - Chasis 7 .....	139
<b>Figura 22-4:</b>	Factor de seguridad a impacto frontal - Chasis 7 .....	140
<b>Figura 23-4:</b>	Diseños finales de las variantes de chasis .....	146
<b>Figura 24-4:</b>	Diseño CAD final del chasis tubular .....	147
<b>Figura 25-4:</b>	Cortes y curvaturas de los miembros estructurales .....	154
<b>Figura 26-4:</b>	Cordón de soldadura final .....	155
<b>Figura 27-4:</b>	Uniones soldadas sujetas a inspección de líquidos penetrantes .....	156
<b>Figura 28-4:</b>	Resultados de la inspección de líquidos penetrantes.....	156
<b>Figura 29-4:</b>	Interpretación del revelado .....	157
<b>Figura 30-4:</b>	Modelo de diseño del chasis tubular.....	158
<b>Figura 31-4:</b>	Resultado final del chasis tubular .....	159

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b>	Algoritmo estándar del proceso de proceso de manufactura de un chasis .....	10
<b>Gráfico 2-2:</b>	Diagrama esfuerzo deformación de materiales dúctiles .....	12
<b>Gráfico 3-2:</b>	Curvas de esfuerzo-deformación del acero ASTM A36.....	19
<b>Gráfico 1-3:</b>	Proceso Metodológico .....	34
<b>Gráfico 2-3:</b>	Comparación metodológica de selección .....	35
<b>Gráfico 3-3:</b>	Curvas del ensayo de tracción de materiales .....	36
<b>Gráfico 4-3:</b>	Modelo para la toma de decisión .....	38
<b>Gráfico 5-3:</b>	Algoritmo de selección de material.....	39
<b>Gráfico 6-3:</b>	Metodología de diseño.....	40
<b>Gráfico 7-3:</b>	Proceso general propuesto de modelado del chasis .....	42
<b>Gráfico 8-3:</b>	Diagrama de cuerpo libre, fuerzas sobre el chasis, vista lateral izquierda.....	43
<b>Gráfico 9-3:</b>	Diagrama de cuerpo libre, fuerzas sobre el chasis, vista posterior. ....	44
<b>Gráfico 10-3:</b>	Secuencia para aplicación del método de elementos finitos MEF.....	56
<b>Gráfico 11-3:</b>	Planificación para el proceso de construcción.....	58
<b>Gráfico 12-3:</b>	Secuencia de ensamblaje de miembros estructurales .....	67
<b>Gráfico 13-3:</b>	Características del acero ASTM A36.....	70
<b>Gráfico 1-4:</b>	Resultados de métodos multicriterio con distintos aceros estructurales .....	144
<b>Gráfico 2-4:</b>	Comparación valores máximos de deformación .....	149
<b>Gráfico 3-4:</b>	Comparación valores máximos del factor de von mises.....	150
<b>Gráfico 4-4:</b>	Comparación valores mínimos aceptable del factor de seguridad .....	151

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-2:</b>	Factor de seguridad .....	12
<b>Ecuación 2-2:</b>	Factor de Von Mises .....	13
<b>Ecuación 3-2:</b>	Esfuerzo Axial.....	13
<b>Ecuación 4-2:</b>	Esfuerzo cortante en ZX.....	13
<b>Ecuación 5-2:</b>	Esfuerzo cortante en ZY .....	13
<b>Ecuación 1-3:</b>	Matriz de decisión normalizada COPRAS .....	78
<b>Ecuación 2-3:</b>	Ponderación metodo COPRAS.....	78
<b>Ecuación 3-3:</b>	Peso de los criterios COPRAS .....	78
<b>Ecuación 4-3:</b>	Matriz peso normalizado D .....	78
<b>Ecuación 5-3:</b>	Suma de atributos de la matriz de desición.....	79
<b>Ecuación 6-3:</b>	Suma de valores de $y+i$ .....	79
<b>Ecuación 7-3:</b>	Valor para criterios no beneficiosos .....	79
<b>Ecuación 8-3:</b>	Soluciones optimas.....	79
<b>Ecuación 9-3:</b>	Matriz de decisión normalizada TOPSIS.....	79
<b>Ecuación 10-3:</b>	Sincronización del peso.....	80
<b>Ecuación 11-3:</b>	Soluciones positivas TOPSIS .....	80
<b>Ecuación 12-3:</b>	Soluciones negativas TOPSIS .....	80
<b>Ecuación 13-3:</b>	Distancia euclidiana positiva.....	80
<b>Ecuación 14-3:</b>	Distancia euclidiana negativa .....	80
<b>Ecuación 15-3:</b>	Proximidad relativa .....	80
<b>Ecuación 16-3:</b>	Soluciones positivas VIKOR.....	81
<b>Ecuación 17-3:</b>	Soluciones negativas VIKOR.....	81
<b>Ecuación 18-3:</b>	Valores para $S_j$ .....	81
<b>Ecuación 19-3:</b>	Valores para $R_j$ .....	81
<b>Ecuación 20-3:</b>	Valores para $Q_j$ .....	81
<b>Ecuación 21-3:</b>	Fuerza total de impacto .....	90

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** PLANOS DE CONSTRUCCIÓN DEL DISEÑO 1

**ANEXO B:** INFORME DE RESULTADOS DE SIMULACIÓN DEL DISEÑO  
SELECCIONADO

## RESUMEN

El presente proyecto técnico tuvo como objetivo el diseño y construcción del chasis para un vehículo prototipo mini todoterreno eléctrico, con la optimización estructural, partiendo de la aplicación de métodos multicriterio para la selección del material de construcción COPRAS, TOPSIS y VIKOR, generando el diseño y modelamiento mediante el software CAD para cada posible variante, bajo la reglamentación del baja SAE 2019, obteniendo un diseño que cumpla con la especificación de desempeño y calidad, considerando los criterios de: deformación, factor de Von Mises y factor de seguridad, mediante la simulación CAE de cada diseño, utilizando un software de simulación ANSYS, para su posterior construcción siguiendo técnicas y procesos correspondientes a la manufactura de estructuras tubulares. Al aplicar cada procedimiento mediante un análisis comparativo se obtuvo como resultado una propuesta de diseño geoméricamente óptima con la implementación del acero estructural ASTM A36 presentando una ponderación alta en cuanto a propiedades mecánicas, al considerar un análisis estadístico se obtuvo valores considerables pertenecientes al diseño escogido con una deformación máxima de 0.64822 mm soportando un esfuerzo de 63.71 MPa, lo que conlleva a obtener un factor de seguridad de 3.924, determinando que el diseño es aceptable y cumple con los parámetros de reglamentación, teniendo un chasis estructural sujeto a soportar cargas de funcionamiento y diversos factores externos que se presenten en su utilización. Por ende, para futuras investigaciones es recomendable aplicar técnicas enfocadas en el diseño y manufactura de este tipo de estructuras, guiadas en procesos tanto de diseño como simulación, de tal manera que se genere precisión en el dimensionamiento de miembros estructurales, optimizando el producto final cumpliendo con los estándares requeridos bajo la correspondiente reglamentación.

**Palabras clave:** <CHASIS TUBULAR> <MÉTODOS MULTICRITERIOS> <ACERO ESTRUCTURAL> <MANUFACTURA> <DISEÑO MECANICO>.



2022-01-20

## ABSTRACT

The objective of this technical project was the design and construction of the chassis for an electric mini off-road prototype vehicle, with structural optimization, based on the application of multi-criteria methods for the selection of COPRAS, TOPSIS and VIKOR construction material, generating the design and modeling using CAD software for each possible variant, under the regulations of the baja SAE 2019, obtaining a design that meets the performance and quality specification, considering the criteria of: deformation, Von Mises factor and safety factor, through simulation CAE of each design, using ANSYS simulation software, for its subsequent construction following techniques and processes corresponding to the manufacture of tubular structures. When applying each procedure through a comparative analysis, a geometrically optimal design proposal was obtained as a result with the implementation of structural steel ASTM A36, presenting a high weighting in terms of mechanical properties, when considering a statistical analysis, considerable values were obtained belonging to the design chosen with a maximum deformation of 0.64822 mm supporting an effort of 63.71 MPa, which leads to obtaining a safety factor of 3.924, determining that the design is acceptable and complies with the regulatory parameters, having a structural chassis subject to supporting operating loads and various external factors that arise in its use. Therefore, for future research it is advisable to apply techniques focused on the design and manufacture of this type of structure, guided in both design and simulation processes, in such a way that precision is generated in the sizing of structural members, optimizing the final product in compliance with the standards required under the corresponding regulations.

**Keywords:** <TUBULAR CHASSIS> <MULTI CRITERIA> <STRUTURAL STEEL>  
<MANUFACTURING> <MECHANICAL DESIGN>.

LUIS  
FRANCISCO  
MANTILLA  
CABRERA

Firmado  
digitalmente por  
LUIS FRANCISCO  
MANTILLA  
CABRERA  
Fecha: 2022.01.23  
21:43:23 -05'00'

## **INTRODUCCIÓN.**

El diseño y construcción de un chasis es de gran relevancia para la concepción de un prototipo de vehículo todoterreno eléctrico esto se ve favorecido por la importancia y avances industriales en el sector automotriz dando paso a grandes construcciones de todo tipo, en especial al soporte de diferentes prototipos de vehículos, debido a esto, dentro de nuestro medio, actualmente existen una gran variedad de estructuras tubulares que componen vehículos que van desde competencia en diferentes categorías, uso urbano, todoterreno entre otros, los cuales presentan características de gran rendimiento así como de seguridad y estética, en el marco del proyecto planteado enfocado al análisis del diseño y su respectiva construcción del chasis tubular se define como un plan o proceso sistemático que permite orientar desde el punto de vista técnico poniendo a prueba conocimientos tanto teóricos como prácticos, aplicando diferentes técnicas desde la exploración teórica, recolección de datos técnicos hasta cubrir con las últimas especificaciones técnicas de diseño como construcción, de esta manera establecer las características generales de diseño de un chasis tubular para un mini todoterreno y todos los elementos que lo constituyen así como las técnicas y conceptos que permiten llegar al resultado final.

Para tener una percepción clara del proceso para la construcción del chasis se aborda la fundamentación teórica con aspectos relevantes tanto técnicos como teóricos, basado en las normas y parámetros de construcción establecidos por el comité de reglas de baja SAE 2019 la cual determina diversas condiciones tanto de seguridad, confiabilidad y confort, de manera distribuida para para que el chasis se encuentre seccionado para cada sistema tanto eléctrico como mecánico (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019), por lo que para cumplir con las condiciones establecidas se debe seleccionar el material óptimo el cual se realizara mediante la implementación de métodos multicriterio: copras, topsis y vikor los cuales están aplicados a materiales tubulares existente en el mercado nacional el cual mediante el análisis de sus propiedades físicas y mecánicas se lograra escoger el material para su construcción, el cual mediante la utilización de software de diseño tanto SolidWorks para el modelamiento y constitución de cada parte del chasis así como la implementación de ANSYS que permite la simulación estructural obteniendo los puntos críticos y fuertes de la estructura para su posterior corrección y perfeccionamiento, al realizar el análisis mediante el diseño y simulación de la estructura se obtendrá los aspectos finales para la obtención de los respectivos planos de diseño que serán el punto de partida para la construcción física del chasis.

Al realizar el proyecto se ira cumpliendo de forma práctica y teórica con los objetivos planteados los cuales al finalizar el desarrollo del proyecto se obtendrá el diseño y construcción del chasis para el vehículo prototipo todoterreno eléctrico el cual cumple con las normas técnicas establecidas y en los tiempos establecidos permitiendo ser un punto de partida para futuras investigaciones con el fin de optimizar y complementar el prototipo, convirtiéndose en un

proyecto innovador con el objetivo de ser implementado el proceso a gran escala con miras a reactivar la matriz productiva del país en el ámbito de diseño y construcción, con la meta de posicionar al país en tendencias de innovación de diseño de vehículos personales como una alternativa eficiente de movilidad, reduciendo problemas de tráfico y liberando espacios de estacionamiento debido a sus características de diseño angostos y pequeños siendo una de sus principales ventajas el ahorro considerable de combustibles y la reducción de su tamaño a la mitad en relación a un vehículo convencionales

## **CAPITULO I**

### **1. MARCO REFERENCIAL**

#### **1.1 Antecedentes:**

En el año 2019 se importaron 132 208 vehículos con un costo de 2 079 millones de dólares, de igual manera para dar un ejemplo de las autopartes importados, fueron 2 153 mil unidades, (AEADES, 2020), esto hace que se dé mayor importancia al ámbito de la fabricación y el diseño de los elementos automotrices en la industria ecuatoriana, ayudando a reducir la importación y el costo de estos elementos.

En lo referente a las partes y piezas automotrices que fueron importadas a nuestro país en el periodo de enero 2020 – agosto 2020 existe un total de un total de 38 229 unidades, en comparación con los vehículos exportados en este mismo periodo, fue una cantidad de 637 elementos, (AEADES, 2020), siendo un porcentaje sumamente bajo de exportación, lo cual conlleva a tener un desbalance en los ingresos de las empresas que se dedican a estas labores.

Sin embargo, existe información en la cual, El Consejo Sectorial Económico y Productivo concluyó este 21 de noviembre la reducción gradual del arancel para CKD (kits para ensamblaje) hasta 2023, para las ensambladoras operativas en el país. La reducción será en función del incremento de Material Originario Ecuatoriano (MOE) incorporado, según un comunicado del Ministerio de Comercio Exterior. Además, para los nuevos proyectos de inversión de ensamblaje de vehículos se fijó 0% de aranceles, datos con los que el sector automotriz sería beneficiado de gran manera. (EL TELEGRAFO, 2018)

#### **1.2 Planteamiento del problema:**

Debido al alto índice de importaciones de vehículos y autopartes al país, los cuales llegan a tener un costo de 2 790 millones de dólares en el año 2019 y al costo adicional que este conlleva al

pagar los impuestos en la Aduana, (AEADES, 2020), se ha planteado la fabricación de este tipo de elementos en el interior del país.

Se ha propuesto el diseño y construcción del chasis de un mini todoterreno eléctrico, el diseño y las piezas para el chasis serán elaboradas dentro del país, ayudando así a la reactivación de la matriz productiva y produciendo mayores fuentes de empleo en el sector automotriz, sin olvidar que este procedimiento reducirá en gran medida los costos de elaboración de este tipo de vehículos.

Lo que conlleva a la realización del proyecto también es por la nueva tasa de servicio de control aduanero, que grava a las importaciones de piezas, implementos y repuestos de vehículos, genera preocupación entre transportistas y propietarios de automóviles. La nueva tasa repercutirá sobre todo en el precio de los insumos del transporte que se tienen que renovar frecuentemente. La explicación la dio ayer, 16 de noviembre de 2017, Abel Gómez, presidente de la Federación Nacional de Cooperativas de Transporte Público Interprovincial de Pasajeros (FENACOTIP, 2017). La matriz productiva es otro punto en el cual este proyecto está enfocado sabiendo que el modelo actual ha caracterizado la economía del Ecuador al convertirlo en un país proveedor de materia prima en el mercado internacional y a su vez un ente importador de bienes y servicios, pero los significantes cambios en precios internacionales han desequilibrado la balanza comercial en el país. (Observatorio de la economía latinoamericana, 2015). El gobierno al inicio de sus actividades propone cambios en la actual matriz productiva lo cual consistirá en cambiar el patrón de especialización de producción de la economía en la que permita al Ecuador generar un valor agregado a su producción bajo el marco de construcción de una sociedad del conocimiento mediante la aplicación de estrategias para lograr industrializar al país. (Observatorio de la economía latinoamericana, 2015)

### **1.3 Justificación:**

Debido a que en el Ecuador se ha ido incrementando los avances industriales y tecnológicos se ha visto en la necesidad de innovar de forma constante y actualizándose en relación a las normas de seguridad vehicular, y la necesidad de modificar el diseño habitual de vehículos de transporte convencional en una forma innovadora y eficiente, por lo cual las diferentes industrias fabricantes y ensambladoras del Ecuador especializadas en autopartes, se han visto en la necesidad de realizar grandes inversiones para la implementación cumplimiento obligatorio de la normas técnicas, por lo que en la actualidad se ha notado resultados positivos, debido a esto cualquier tipo de vehículo que sea diseñado y ensamblado en el país, posee altos estándares de seguridad, que se posicionan a la par con la evolución de los países de la región, con la meta de posicionar al país en tendencias de innovación de diseño de vehículos personales como una alternativa eficiente de movilidad, reduciendo problemas de tráfico y liberando espacios de estacionamiento debido a sus

características de diseño angostos y pequeños siendo una de sus principales ventajas el ahorro considerable de combustibles y la reducción de su tamaño a la mitad en relación a un vehículo convencionales, de acuerdo a lo planteado en la investigación de (Maldonado Páez, Llanes Cedeño, Guerrón López, & Rocha Hoyos, 2020).

De acuerdo a lo planteado el presente proyecto parte de la necesidad de incrementar la matriz productiva del Ecuador incentivando a la innovación y construcción de vehículos personales, convirtiéndose en un eje fundamental del plan nacional de desarrollo Toda una vida 2017 - 2021, implantado por el gobierno actual, como lo señala el objetivo 5, de “impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Semplades, 2017), en una de sus políticas las cuales tomamos como hincapié para el desarrollo del proyecto, menciona “promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, para impulsar el cambio de la matriz productiva mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Semplades, 2017).

Por otro lado, con el diseño y construcción del chasis tubular para un mini todoterreno se pretende profundizar en los conocimientos automotrices adquiridos a lo largo de nuestra carrera, mediante la indagación de diferentes variables las cuales intervienen en el procedimiento de fabricación para su óptimo desempeño, de la misma manera se profundizará en la fundamentación del conocimiento, ya que el estudio de una ingeniería se debe relacionar con la obtención de experiencias prácticas (Fierro J & Ordóñez S, 2018), el cual se plasma en un trabajo de integración curricular planteado como un proyecto técnico.

## **1.4 Objetivos**

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

Diseñar y construir el habitáculo de un vehículo mini todoterreno eléctrico para la optimización de su estructura

### **1.4.2 *Objetivos específicos:***

- Definir los principales aspectos técnicos y teóricos mediante revisión bibliográfica, para conocer los elementos y componentes a utilizar en el desarrollo del proyecto.
- Seleccionar el material tubular adecuado mediante la aplicación de métodos multicriterio; copras, topsis y vikor, para la óptima construcción del chasis.
- Realizar el diseño conceptual y básico del chasis con la utilización de softwares de diseño SolidWorks y simulación ANSYS, cumpliendo los criterios establecidos por comité de reglas de baja SAE 2019, para la obtención de los planos de construcción.

- Construir el chasis a partir del diseño establecido, con la utilización de herramientas y materiales disponibles en el mercado nacional, para obtener un producto final cumpliendo con los estándares establecidos.
- Analizar los resultados obtenidos por medio de la simulación y construcción para lograr definir los aspectos finales del chasis.

## CAPITULO II:

### 2. MARCO TEORICO.

#### 2.1 Estado del arte

El chasis el cual es una estructura que cumple el objetivo de conectar rígidamente los componentes de la suspensión delantera, así como la posterior, ofreciendo al mismo tiempo diferentes puntos de conexión para los múltiples sistemas que conforman el vehículo y especialmente la característica de precautelar la integridad del conductor ante posibles colisiones. El respectivo diseño de la estructura autoportante cumple los requerimientos generales de acuerdo con el reglamento de baja SAE de la edición 2019 el mismo que esta cuenta con una distribución de elementos y requerimientos mínimos de materiales (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019).



**Figura 1-2:** modelos actuales de prototipo de vehículo mini todoterreno

**Fuente:** (Alvarez Salazar, 2018)

#### 2.1.1 Aplicación de métodos multicriterio

Como punto de referencia se considera la delimitación del material de construcción debido a la diversidad de materiales existentes dentro del mercado ecuatoriano ya que la industria manufacturera nacional cuenta con una reducida cantidad de materiales para el proceso de construcción de este tipo de chasis, así como para el diseño, fabricación y montaje de estructuras guiándose en el reglamento técnico ecuatoriano del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2009), tomando en cuenta estas restricciones se procede a la búsqueda de las alternativas más comunes en cuanto a material tubular, para esto se considera investigaciones previas donde predomina la aplicación de los métodos multicriterio los cuales fueron analizados y planteados

como procedimientos de selección de materiales, dentro de esta investigación se enfatiza en el estudio el análisis de los materiales para el habitáculo de seguridad para un vehículo liviano mediante la utilización de los métodos de la técnica para el orden de preferencia por similitud a solución real (COPRASS), la técnica para el orden de preferencia por similitud a una solución real (TOPSIS) y la optimización multidisciplinaria y solución de compromiso (VIKOR), desarrollados detalladamente en la investigación de (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020), la cual se plantea como base fundamental para el desarrollo del proyecto en donde se indica que material posee características adecuadas para el reemplazo del material original al aplicar estos métodos a materiales con características similares.

### **2.1.2 *Diseño mecánico***

El diseño mecánico es considerado una parte fundamental de la ingeniería y construcción la cual mediante la evolución tecnológica e industrial ha ido desarrollándose de manera favorable mediante el adecuado manejo de software considerado el diseño asistido por computadora, por lo que mediante apartados investigativos se ha realizado un análisis sobre el proceso para el diseño y construcción de este tipo de estructuras tubulares, centrándose de manera directa en labores de modelos computacionales así mismo con su relación en el proceso de construcción para lo cual se considera la utilización de perfiles tubulares cortados así como de acuerdo a las características de diseño se emplea la utilización de tubos doblados unidos mediante suelda todos estos parámetros son tomados en cuenta en el diseño computacional debido a que cuentan con herramientas que incluyen módulos para modelar piezas soladas por lo que la investigación analizada se centra en recomendaciones y ventajas para el correcto desarrollo tanto del diseño computacional así como el proceso para la construcción considerando las características de corte y soldadura que lleven a un producto final que cuente con los parámetros indicados (Cuellar Yáñez, López Parra, & Torres, 2018).

Todas las especificaciones y características planteadas en el presente trabajo indican detalles básicos y generales para el diseño del chasis tubular el cual será la base para el prototipo del mini todoterreno, siendo de gran importancia para concepción de modelos nuevos de este tipo de vehículos, tomando como base investigaciones previas que tiene relación directa con el tema expuesto donde se consideran técnicas, métodos, normativas, regulaciones que permitirán el óptimo desarrollo de la investigación sustentando de manera formal y técnica el objetivo al cual se pretende llegar (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019).

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Generalidades del chasis

Este tipo de chasis tubular son considerados especiales debido a que su construcción y diseño se toman en cuenta para vehículos de carreras, los vehículos deportivos de gama alta utilizan este tipo de chasis tubular en marcas reconocidas a nivel mundial como Ferrari, Lamborghini, Jaguar entre otras

El chasis tubular emplea en su estructura tubos huecos unidos mediante soldadura, distribuidos de manera que soporten diferentes masas suspendidas del vehículo y protegiendo al conductor en casos de colisiones.



**Figura 2-2:** Chasis tubular para vehículos

Fuente: (Salcedo & Alan, 2008)

El chasis tubular planteado como tema de proyecto son aplicados en competencias a nivel estudiantil dentro de la formula SAE, considerados de tipo monoplace donde las características a considerar en el proceso de construcción son el peso el cual debe ser mínimo de esa manera se aprovechara la potencia emitida por el motor, rigidez es un punto clave para la conducción del vehículo, aportando seguridad al conductor permitiendo que el sistema de dirección funcione adecuadamente y la altura de su centro de gravedad con el fin de dar estabilidad al vehículo ante aceleraciones laterales asegurando el óptimo desempeño al momento de la conducción disminuyendo la posibilidad de vuelco o colisiones, considerando las reglas emitidas por el comité pertinente.



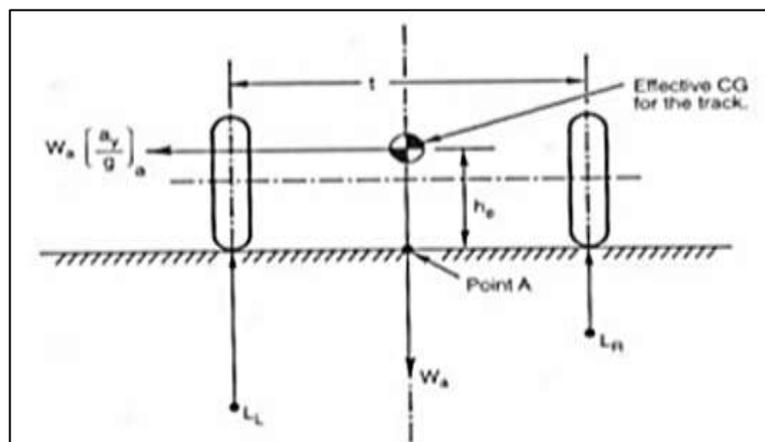
**Figura 3-2:** Modelo del BAJA SAE.

Fuente: (Cepeda Delgado, 2019)

### Peso y su distribución

En el diseño de un chasis, en cuanto al peso y su distribución se deberán tener en cuenta los siguientes puntos:

- Cuanto menos peso tenga el chasis, respetando la rigidez, mejor se aprovechará la potencia del motor.
- Respecto a los estudios hechos para la suspensión conviene que el centro de gravedad esté lo más bajo posible para disminuir el balanceo; cómo se puede notar en el siguiente esquema (Salcedo & Alan, 2008).

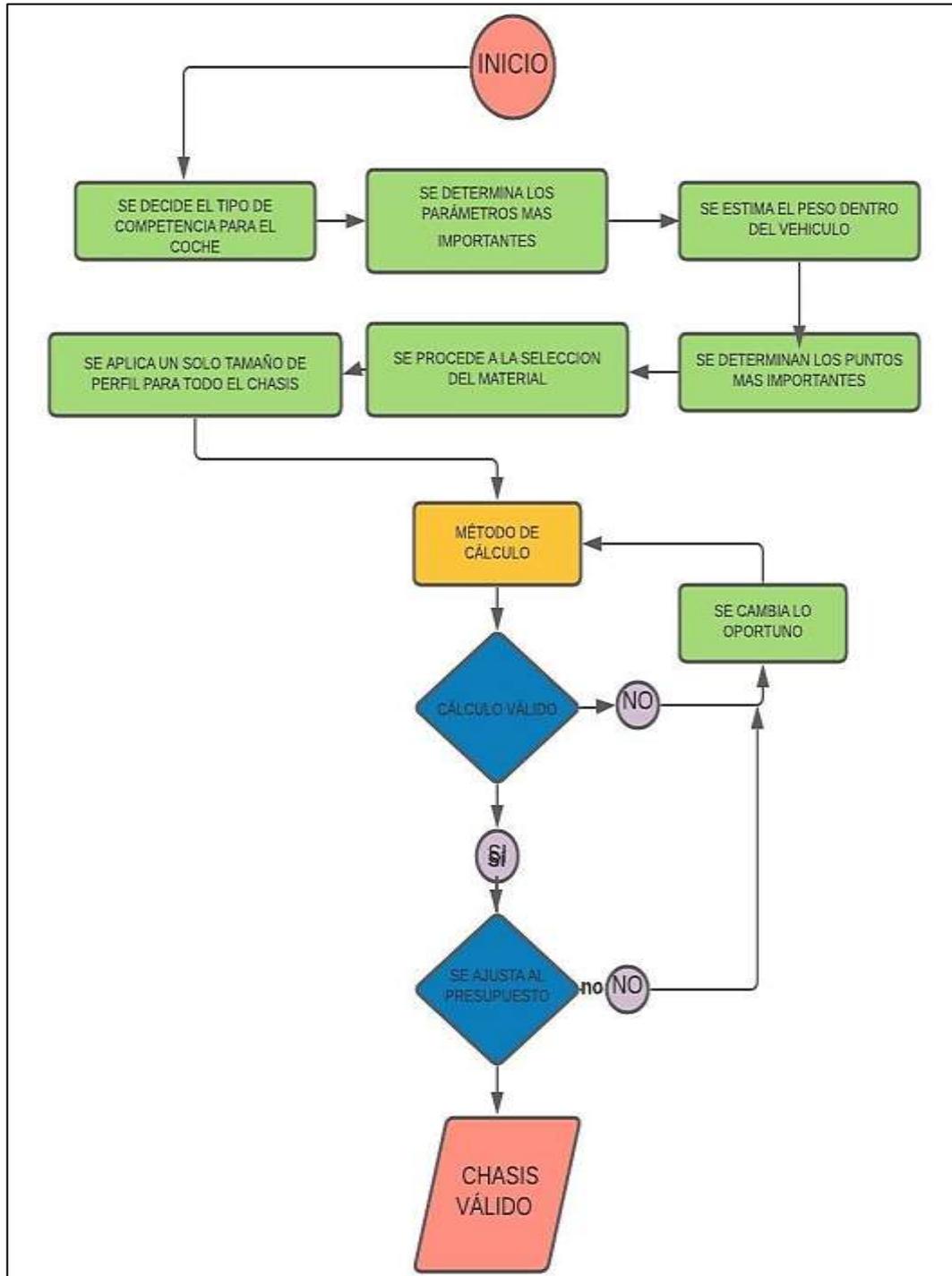


**Figura 4-2:** Reparto correcto de las fuerzas para el balanceo

Fuente: (Salcedo & Alan, 2008)

## Algoritmo para el diseño de un chasis tubular

Para una correcta construcción de cualquier tipo de chasis es importante seguir un orden esquemático el cual permita desarrollar de mejor manera el proceso de manufactura, cumpliendo con los estándares de calidad con el objetivo de conseguir un producto final con características de funcionalidad óptimas para lo cual se puede partir del siguiente diagrama de flujo.



**Gráfico 1-2:** Algoritmo estándar del proceso de proceso de manufactura de un chasis

Fuente: (Groover, 2015)

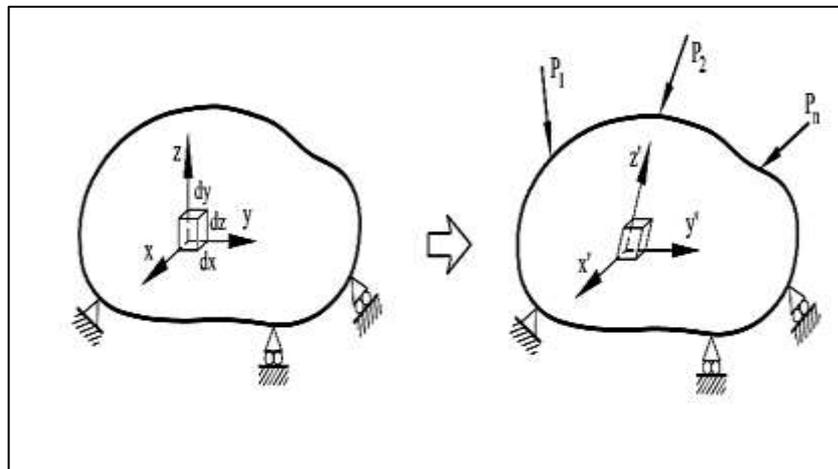
### 2.2.2 Resistencia del material

Es la que se encarga del estudio de las causas internas y deformaciones que se producen en un cuerpo el cual está sometido a ciertas cargas externas, esto podría provocar la falla.

Para la construcción del chasis se procede a seleccionar de entre varios materiales el que mejor características posea, entre las características más relevantes está la resistencia cuyo valor debe ser el necesario para soportar los pesos y las cargas que actuarán sobre el vehículo

#### 2.2.2.1 Deformación

Consideremos un cuerpo cualquiera sometido a la acción de fuerzas aplicadas y con sus vínculos suficientes para impedirle movimientos del sólido rígido. Dado que no existe material alguno que sea infinitamente rígido, la acción de las fuerzas se traduce a que el cuerpo se deforma. Supondremos en lo que sigue que el cuerpo se comporta de forma suficientemente rígida como para que los movimientos que se producen en el proceso de deformación sean pequeños comparados con las dimensiones del cuerpo (principio de rigidez). (Cervera Ruiz & Blanco Diaz, 2015)

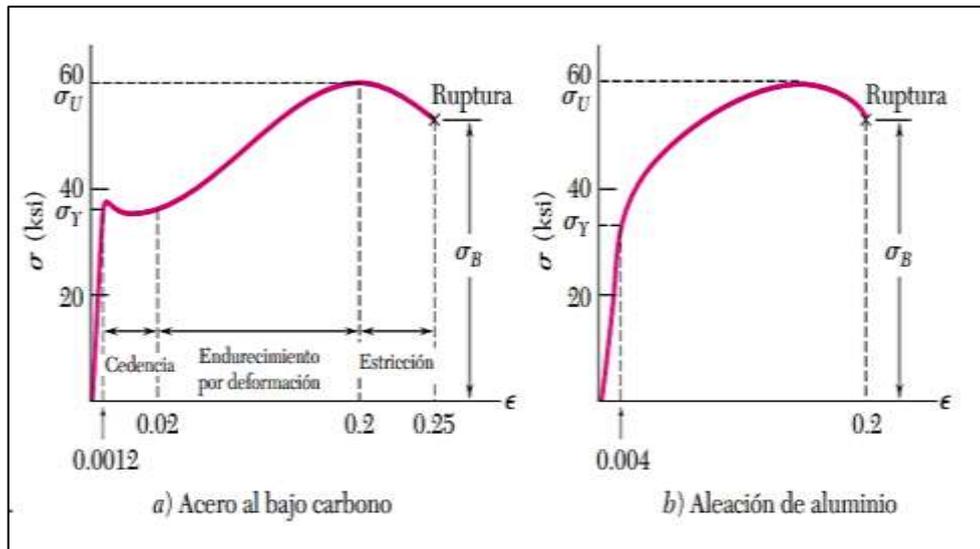


**Figura 5-2:** Proceso de deformación de los cuerpos

Fuente: (Cervera Ruiz & Blanco Diaz, 2015)

### Diagrama esfuerzo – deformación

Representa la relación entre el esfuerzo y la deformación en un material dado es una característica importante del material. Para obtener el diagrama de esfuerzo-deformación de un material, comúnmente se lleva a cabo un ensayo o prueba de tensión sobre una probeta del material.



**Gráfico 2-2:** Diagrama esfuerzo deformación de materiales dúctiles

Fuente: (Johnston & Ferdinand, 2016)

### 2.2.2.2 Factor de seguridad

En el campo de la ingeniería se aplica el factor de seguridad para asegurar una estructura contra ciertos aspectos que son desconocidas y por tal motivo provocarían fallas en las mismas. El factor de seguridad está definido como la razón entre el esfuerzo normal permisible y el esfuerzo normal de diseño

$$n_s = \frac{\delta_{per}}{\delta d} \quad (1)$$

Donde:

$\delta d$  = esfuerzo de diseño

$n_s$  = factor de seguridad

$\delta_{per}$  = esfuerzo normal permisible

Para saber si el diseño va a soportar y que no produzca fallas, se toma en cuenta el valor de  $n_s$ , sabiendo que si  $n_s > 1$  el diseño es el adecuado. Por lo tanto se tiene que, mientras mayor sea el valor de  $n_s$ , mayor seguridad tendrá el diseño

### 2.2.2.3 Factor de Von Mises

También denominado como el criterio de la máxima distorsión es utilizado en la resistencia estática que se le proporciona a los materiales con propiedades dúctiles, teniendo en cuenta que

el material no fluirá en el punto analizado cuando la energía de distorsión en el punto no sobrepase la energía de distorsión en el momento de la fluencia en el ensayo de tracción.

El criterio de Von Mises está determinado por la siguiente ecuación:

$$\sqrt{\frac{(\delta_1 - \delta_2)^2 + (\delta_1 - \delta_3)^2 + (\delta_2 - \delta_3)^2}{2}} < S_y \quad (2)$$

Donde

$S_y$  = límite de fluencia a la tracción, siendo siempre mayor que cero.

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$  son tensiones

### 2.2.3 Esfuerzos del elemento estructural

Dependiendo de la dirección y sentido relativos entre las fuerzas actuantes y la posición del cuerpo sobre el cual actúan, se consideran las siguientes formas de trabajo:

#### 2.2.3.1 Esfuerzo Axial

Es aquel esfuerzo perpendicular al plano en el cual está aplicada la fuerza de tracción o compresión, este esfuerzo est repartido de manera homogénea en toda la superficie, a este tipo de esfuerzos también se les denomina esfuerzo normal.

$$\delta = \frac{F}{A} \quad (3)$$

$\delta$  = Esfuerzo

$F$  = fuerza

$A$  = rea

#### 2.2.3.2 Esfuerzo cortante

Este tipo de esfuerzo es un esfuerzo interno o resultante de aquellas tensiones que son paralelas a la sección transversal de un prisma, entre los cuales pueden ser una viga o un pilar. Este tipo de esfuerzos tiene componentes tanto en X como en Y.

$$\tau_{ZX} = \lim_{A \rightarrow 0} \frac{F_x}{A} \quad (4)$$

$$\tau_{ZY} = \lim_{A \rightarrow 0} \frac{F_y}{A} \quad (5)$$

Donde:

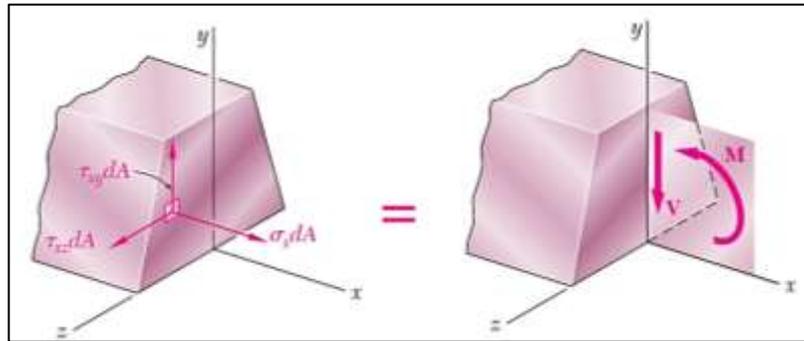
$T_{zx}$ = esfuerzo cortante en el plano zx

$T_{zy}$ = esfuerzo cortante en el plano zy

$F_x$ = fuerza en x

$F_y$ = fuerza en y

$A$ = área



**Figura 6-2:** Distribución de los vectores del esfuerzo cortante

Fuente: (Johnston & Ferdinand, 2016)

### 2.2.3.3 Esfuerzo de compresión

El esfuerzo de compresión en un cuerpo se aplica cuando dos fuerzas con direcciones iguales, pero con sentido diferentes, causan un abombamiento en la parte media del cuerpo provocando una reducción en su longitud inicial, estas fuerzas tienden a aplastar al cuerpo y por consecuencia, lo comprime.

Cuando a un cuerpo de grandes dimensiones se le aplica un esfuerzo de compresión, se produce el denominado “arqueo” por lo que el pandeo es más notorio. El pandeo es provocado cuando hay una inestabilidad elástica por lo que puede darse desplazamientos muy notorios en relación con la dirección principal de compresión.

### 2.2.3.4 Esfuerzo de tracción

Decimos que un elemento está sometido a un esfuerzo de tracción cuando sobre él actúan fuerzas que tienden a estirarlo. Los tensores son elementos resistentes que aguantan muy bien este tipo de esfuerzos.

- La tracción es lo contrario a la compresión: intentar “estirar”, alargar un elemento.
- La fuerza aplicada intenta estirar el material a lo largo de su línea de acción.

Es lo inverso de la compresión, ya que los planos paralelos, que suponemos que componen el material, intentan o tienden a separarse. (Es propio de los materiales metálicos).

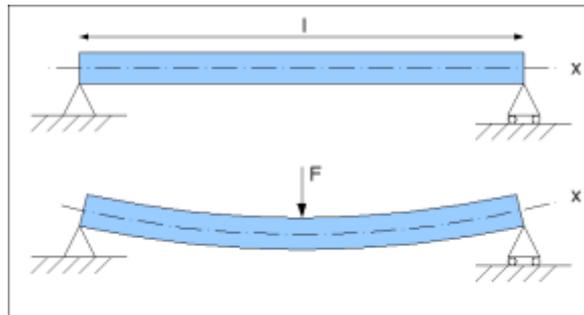
La estructura está sometida a un esfuerzo de tracción, es decir, como si tiráramos hacia fuera.

Cuando se trata de cuerpos sólidos, las deformaciones pueden ser permanentes: en este caso, el cuerpo ha superado su punto de fluencia y se comporta de forma plástica, de modo que tras cesar el esfuerzo de tracción se mantiene el alargamiento; si las deformaciones no son permanentes se dice que el cuerpo es elástico, de manera que, cuando desaparece el esfuerzo de tracción, aquél recupera su primitiva longitud.

#### 2.2.3.5 Flexión

Un elemento estará sometido a flexión cuando actúen sobre él cargas que tiendan a doblarlo. En un esfuerzo de flexión se dan los esfuerzos de tracción y compresión a la vez, pues cuando el cuerpo se hunde, una parte sube hacia fuera (tracción), mientras que otra se hunde hacia dentro (compresión).

Aunque no se puede apreciar a simple vista, la plataforma de un puente se comba cuando debe soportar el peso de un vehículo. La flexión de un puente es muy pequeña, ya que están diseñados para que sean rígidos. Un caso similar de esfuerzo de flexión es el de la balda de una estantería o una viga en un edificio.

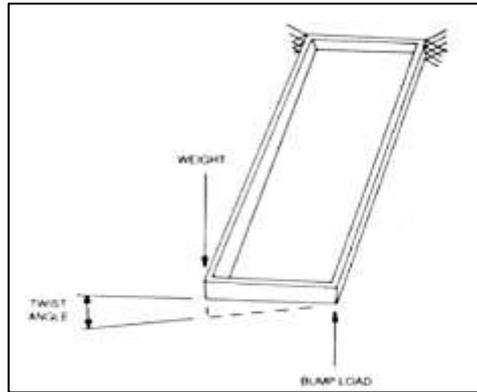


**Figura 7-2:** Representación de flexión de una viga

Fuente: (Johnston & Ferdinand, 2016)

#### 2.2.3.6 Torsión

Se refiere a cuánto se deforma un chasis debido a una carga asimétrica que, por ejemplo, se da cuando una de las ruedas delanteras pasa por un bache mientras que las demás no lo hacen. Esta es la característica que se debe cuidar para poder validar un chasis en cuanto a rigidez. Según la competencia a la que esté dirigida el coche diseñado, le corresponderá una rigidez torsional u otra. (Salcedo & Alan, 2008).



**Figura 8-2:** Marco principal sometido a torsión

**Fuente:** (Salcedo & Alan, 2008)

#### 2.2.4 Métodos multicriterio

Conjunto de métodos que servían como herramienta para el proceso de toma de decisiones, sin embargo, el desarrollo de estos métodos ha sido exponencial, de forma que es necesario algún tipo de clasificación para entender mejor el funcionamiento de cada técnica

##### 2.2.4.1 Método Copras

El método COPRAS selecciona las mejores alternativas de decisión considerando las soluciones ideales y las peores-ideales, en una clasificación y evaluación paso a paso de las alternativas en términos de su importancia y grado de utilidad (Grajales Quintero, Serrano Moya, & Hahn Vonh, 2017).

##### 2.2.4.2 Método Vikor

El concepto básico de VIKOR consiste en definir primero las soluciones ideales positivas y negativas. La solución ideal positiva indica la alternativa con el valor más alto (puntuación de 100) mientras que la solución ideal negativa indica la alternativa con el valor más bajo (puntuación de 0) (Grajales Quintero, Serrano Moya, & Hahn Vonh, 2017).

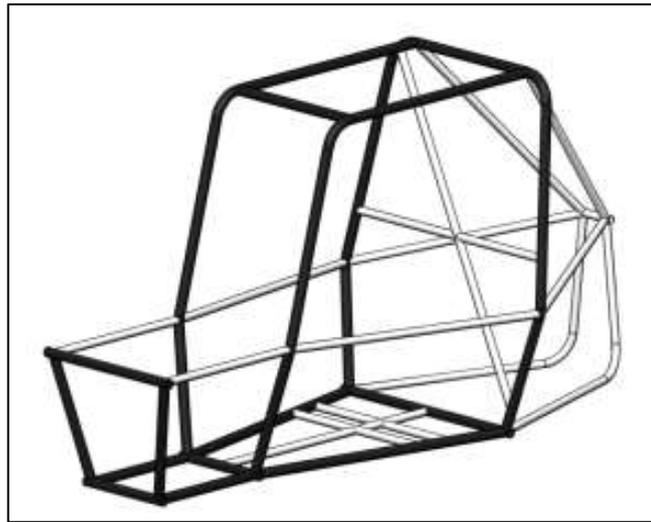
##### 2.2.4.3 Método Topsis

Es un método de decisión multicriterio de selección de alternativas que fue propuesto por Saaty en 1980 (Saaty, 1980) y está basado en la idea de que un problema de toma de decisión con criterios múltiples se puede resolver mediante la jerarquización del problema planteado. El método TOPSIS se debe a Hwang y Yoon (1981) y afronta el problema de establecer un orden en

las alternativas utilizando la idea de distancia a la alternativa ideal y a la alternativa anti-ideal (Grajales Quintero, Serrano Moya, & Hahn Vonh, 2017).

### 2.2.5 Chasis

El chasis es como el esqueleto del auto, ya que es la estructura interna que aporta sostén, rigidez y forma a un vehículo. Es el encargado de conectarte las cuatro ruedas y el sistema de dirección. Recibe todas las cargas, esfuerzos del auto, carga la masa total del vehículo y ubica todos los componentes en una posición ventajosa ( Valenzuela Nájera, y otros, 2013).



**Figura 9-2:** Chasis de un mini todoterreno

**Fuente:** (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019)

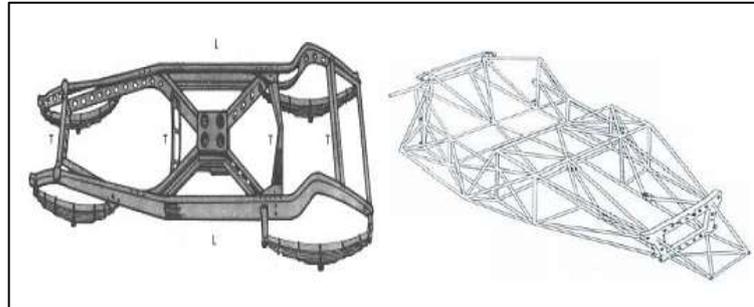
Además de sus funciones mecánicas y en diseño, el chasis cumple con tareas importantes de seguridad para las personas a bordo del vehículo. El chasis debe absorber de la mejor manera los impactos y evitar la deformación. Así, cuando más rígido y resistente resulte, será más seguro para los pasajeros en caso de accidentes ( Valenzuela Nájera, y otros, 2013).

Para diseñar un chasis se toman en cuenta diferentes aspectos, como los siguientes:

- Peso
- Rigidez torsional (capacidad de soportar distintos momentos de fuerza)
- Resistencia
- Resiliencia (resistencia al impacto)
- Sencillez

### 2.2.6 Bastidor

Se denomina bastidor a aquella estructura rígida en la cual se fijan de diversas formas, ya sea la carrocería como los diversos componentes y grupos mecánicos que conforman el automóvil, estos elementos pueden ser: motor, componentes del sistema de transmisión, suspensión, entre otros.



**Figura 10-2:** Tipos de bastidores

Este elemento aparte de soportar el peso de todos los componentes nombrados anteriormente también debe ser capaz de soportar las denominadas sobrecargas que se producen al utilizar el vehículo, entre ellas se encuentra el peso propio de la carga transportada y de los ocupantes del automóvil, el mismo movimiento del vehículo, la dinámica y las cargas inerciales producidas por el comportamiento de los diversos componentes.

El bastidor en su forma más habitual y funcional puede ser construido en conjunto con dos componentes longitudinales situados de manera simétrica a ambos lados del eje longitudinal del automóvil a los cuales se los denomina largueros.

### 2.2.7 Cargas de diseño

En lo que se refiere al diseño estructural el respectivo diseñador debe considerar de manera importante cualquier tipo de carga a la cual puede estar sometida una estructura durante su vida útil, por lo que es de suma importancia tener la noción técnica de los tipos de cargas en relación a la estructura y diseño del chasis tubular, definiciones adoptadas según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323 (INEN, 2009).

#### 2.2.7.1 Carga muerta ( $M$ )

En este tipo de carga se considera el peso total del chasis tubular en condiciones de operación, donde se involucra los componentes tanto estructurales, así como los no estructurales en otras palabras se considera toda la carrocería con sus accesorios totalmente concluida, este tipo de

cargas son de magnitudes constantes permaneciendo fijas en un mismo sitio lo que abarca el peso de la estructura y otras cargas unidas permanentemente a ellas.

#### 2.2.7.2 Carga viva (V)

Involucra a la carga por ocupación, considerándola de forma distribuida uniformemente en los elementos estructurales del chasis, este tipo de cargas pueden cambiar de lugar y magnitud.

#### 2.2.7.3 Carga de impacto

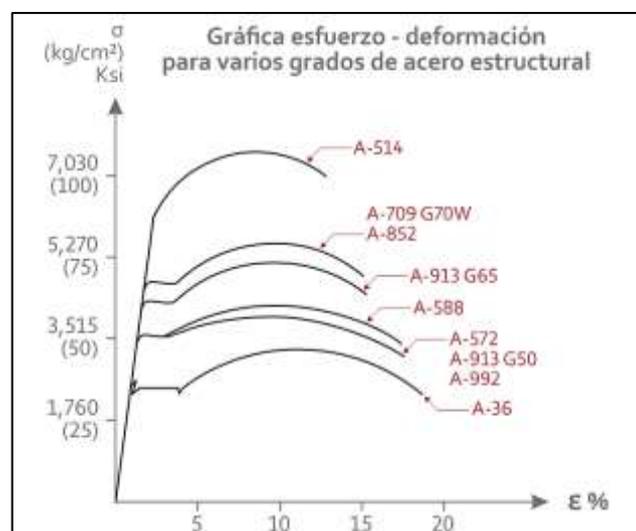
Dentro de estas cargas se considera la fuerza generada en una situación desfavorable que puede tener el ocupante en una colisión, por lo que al ser una fuerza de impacto considerable el diseñador de la estructura tubular debe tomar en cuenta los aspectos técnicos que involucra este tipo de cargas,

### 2.2.8 Aceros estructurales

#### 2.2.8.1 Tipos de aceros estructurales

#### Acero galvanizado ASTM 36

Este tipo de materiales es uno de los aceros estructurales de carbono que más aplicación tiene, su cantidad de carbono existente en el acero estructural ASTM 36 es 0.29 % como máximo, por lo cual se considera un acero suave.



**Gráfico 3-2:** Curvas de esfuerzo-deformación del acero ASTM A36

Fuente: (Guzhñay Miranda, 2012)

Este acero de manera general se le compara con AISI 1018, ya que su composición química es muy similar, el acero ASTM 36 se procede a laminar en caliente mientras que el AISI 1018 es laminado en frío

### **Acero 1000**

Este material es un acero inoxidable, empleado en construcciones tubulares debido a las propiedades que presenta, presentan facilidad de suelda y están diseñados principalmente para la manufactura de sistemas de escape, también siendo utilizados en diferentes áreas.

### **2.5% Mn+97.5%Al**

Este material es descrito como una aleación de aluminio-magnesio el cual presenta baja densidad, este material es endurecible en frío, poseen propiedades a la resistencia de medias a altas, cuentan con características óptimas de soldadura y presentan una adecuado y alta resistencia a la corrosión, es un material utilizado en diferentes áreas y principalmente en la fabricación de carrocerías de vehículos.

### **Acero 1045**

El acero 1045 es un acero con carbono medio de elevada calidad y sumamente resistente, su utilización debe ser en condiciones normalizadas debido a su pésima templabilidad, para proporcionar un mayor rendimiento mecánico se debe realizar un tratamiento de temple y revenido.

1: acero corriente u ordinario;

0: no aleado;

45: 0.45 % en C.

### **Acero 1020**

es un acero de bajo contenido de carbono, su mecanizado es fácil y tiene una buena soldabilidad, debido a su contenido de carbono se utilizan para la elaboración de elementos estructurales o de maquinaria de mediana resistencia. Se utilizan principalmente para elaboración de estructuras y maquinarias que no se encuentren sometidas a grandes esfuerzos, como los ejes, tornilleros, etc.

1: para indicar que se trata de un acero corriente u ordinario;

0: no aleado;

20: para indicar un contenido máx. de carbono (C) del 0.20%.

### 2.2.8.2 *Ventajas del acero estructural*

**Alta resistencia.** - debido a la elevada resistencia que brinda el acero en cada unidad de peso, hace que el peso de la estructura sea sumamente bajo.

**Uniformidad.** - las propiedades brindadas por el acero hacen que la estructura no cambie de forma con el pasar del tiempo.

**Elasticidad.** - el acero se acerca más en su comportamiento a las hipótesis de diseño que la mayoría de los materiales, gracias a que sigue la ley de Hooke hasta esfuerzos bastante altos. Los momentos de inercia de una estructura de acero pueden calcularse exactamente.

**Durabilidad.** - si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado durarán indefinidamente. Investigaciones realizadas en los aceros modernos, indican que bajo ciertas condiciones no se requiere ningún mantenimiento a base de pintura.

**Ductilidad.** - la ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. Cuando se prueba a tensión un acero con bajo contenido de carbono, ocurre una reducción considerable de la sección transversal y un gran alargamiento en el punto de falla, antes de que se presente la fractura. En miembros estructurales sometidos a cargas normales se desarrollan altas concentraciones de esfuerzos en varios puntos.

**Tenacidad.** - Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. Un miembro de acero cargado hasta que se presentan grandes deformaciones será aún capaz de resistir grandes fuerzas.

### 2.2.9 *Técnicas de diseño e ingeniería asistida por computadora*

#### 2.2.9.1 *CAD (Computational Aided Design)*

Esta tecnología es considerada como el Diseño Asistido por Computadora, generando la creación, modelamiento y visualización mediante la computadora de diferentes elementos que poseen geometría compleja, sin considerar un análisis con prototipos físicos.

#### Beneficios del CAD

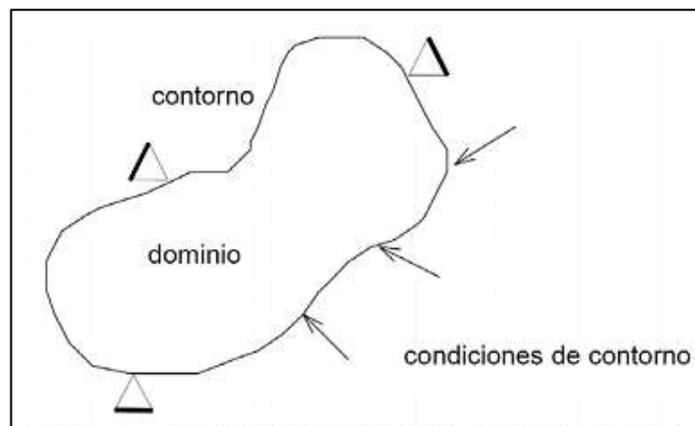
- Analizar visualmente la apariencia detallada de los elementos finales sin proceder a la construcción.
- Reducir de manera favorable el tiempo de conceptualización de cada elemento.

- Identificar de forma específica posibles problemas de acoplamiento y espaciamento.
- Llevar un control adecuado de la información a lo largo del desarrollo de un proyecto.

### 2.2.9.2 CAE (Computational Aided Engineering)

Este método considerado de los elementos finitos (MEF), es de gran importancia al momento de resolver problemas netamente ingenieriles y físicos, ya que permite solucionar casos que, para los métodos matemáticos tradicionales, se vuelve muy complicado, obligando a realizar varios ensayos y pruebas a prototipos de elaboración física, produciendo costos económicos elevados y aumentando considerablemente el tiempo de optimización de un producto final.

El procedimiento en se basa los elementos finitos consisten en la división de un conjunto continuo de pequeños elementos interconectados entre sí, mediante una serie de nodos, obteniendo de esta forma un sistema continuo con infinitos grados de libertad, regido por uno o más sistemas de ecuaciones diferenciales, pasarlo a un sistema que presenta un numero finito de grados de libertas, en donde su comportamiento se modela mediante un sistema de ecuaciones sea lineal o no (Mota González, 2015).



**Figura 11-2:** Dominio y condiciones de contorno (MEF)

Fuente: (Mota González, 2015)

Considerando la figura 12-2, al analizar cualquier tipo de sistema se puede distinguir los siguientes criterios:

- Dominio: es el espacio geométrico del cual se generará el análisis del sistema.
- Condiciones de contorno: son variables que se conoce y que establece el cambio del sistema: cargas, deformaciones, desplazamientos, temperatura, focos de calor, esfuerzos, etc.

- Incógnitas: representan las variables que posee el sistema las cuales se desea conocer, después de que han actuado las condiciones de contorno como: tensiones, temperatura, deformaciones, etc.

### 2.2.9.3 *Software empelado*

**SolidWorks 2020:** la utilización de este software permite modelar el chasis tubular siguiendo los parámetros de diseño mediante la utilización de la versión para estudiantes de SolidWorks en su versión del 2020, este programa fue lanzado al mercado por primera vez en el 1999, permitiendo en sus inicios involucrarse directamente en el mundo del CAD de manera sencilla y de fácil comprensión, con el pasar del tiempo el programa fue evolucionando y convirtiéndose en una herramienta digital de uso tanto personal como empresarial, entre las múltiples características de diseño y modelación cuenta con opciones de simulación en diversas áreas como eléctricas, fluidos, mecánicas entre otras (SolidWorks Corporation, 2015).

**ANSYS Workbench:** corresponde a uno de los programa de simulación más empleados en el ámbito de la ingeniería e industria a nivel mundial, creado en los años 70 por profesionales especializados en cálculos de elementos finitos y dinámica de fluidos, fue considera el primer software en el cálculo de un mecanismo correspondiente con un estimado de un millón de grados de libertad, por lo que ANSYS es de suma importancia para el desarrollo del proyecto debido las diferentes condiciones de simulación estructural a la cual va estar sometido el diseño del chasis.

Al analizar los dos software de diseño seleccionados para el desarrollo del proyecto se considera que SolidWorks siendo un programa de diseño CAD presenta mejores prestación para el diseño y modelamiento de la estructura tubular, debido a que presenta una facilidad de utilización, una amplia capacidad de las herramientas que cuenta la interfaz y la rapidez con la que se efectúa cada operación de modelamiento, por otro lado la aplicación de ANSYS se empleara para la simulación del elemento estructural debido a que permite dicha simulación en cualquier tipo de situación que se presenta en el mundo real por medio de la verificación respectiva del modelo diseñado.

### 2.2.10 *Generalidad de herramientas de construcción*

- **Dobladora de tubos.**

Existen varios modelos y formas en el mercado, sin embargo, para este caso se utiliza una dobladora manual a la cual se le aplica una fuerza dando el ángulo requerido en el tubo, el tubo se moldea mediante compresión, se be tomar en cuenta que estas máquinas entre sus principales

características está la de doblar tubos de diferentes medidas, en este caso se procedió al doblaje de un tubo de una pulgada de diámetro.

#### – **Compresor**

Este componente es utilizado para pintar el chasis, entre sus componentes están;

Pistola de pintura

Manguera

Tanque

Válvula reguladora de presión

Este tipo de máquinas poseen un apagado automático, es decir, una vez que el tanque haya culminado su etapa de carga máxima, cierto dispositivo es el encargado de cerrar el ingreso del aire, en su defecto si este dispositivo no funcionara existirían serios inconvenientes, pudiendo llegar a explotar el compresor por una sobrecarga.

#### – **Moladora**

Maquina utilizada para el corte de los tubos, para su funcionamiento se debe incorporar un disco ya se de corte o de desbaste, esto dependerá de su aplicación, se debe tener cuidado al manipular esta herramienta ya que es de alta peligrosidad por la alta velocidad que puede llegar a alcanzar, se debe tener presente que el tamaño del disco a colocar en la maquina dependerá del tamaño de esta.

#### – **Cuchilla**

Elemento también conocido en el ámbito industrial como rayador, este elemento es utilizado para señalar medidas en los materiales de metal, este elemento deja pequeñas huellas de su aplicación siendo difíciles de borrar y muy fáciles de visualizar, en la mayoría de casos se le fabrica de los restos de la hoja de sierra, dándole forma puntiaguda y filos.

#### – **Escuadras**

Elemento utilizado para realizar segmentos rectos, utilizado también para realizar señales a 45 grados que posteriormente serán cortados, este tipo de herramienta es de mucha utilidad en el ámbito de construcción con componentes metálicos

– **Cepillo de acero**

Este elemento es utilizado para desprender material de hierro sobrante, en este caso se utiliza para retirar la escoria que se genera en la suelda, es de gran importancia retirar este material para visualizar si la suelda es la deseada, es por ello que el cepillo de acero es de gran importancia

– **Entenalla**

Maquina utilizada para la sujeción de los materiales, normalmente se ubica en material entre sus mordazas y se procede a realizar el trabajo, en este caso se utiliza para ubicar el tubo y realizar la denominada boza de pescado, la entenalla hace que este procedimiento se facilite.

### **2.2.11 Soldabilidad de los materiales**

La soldabilidad es la mayor o menor facilidad con la que un metal permite que se obtengan soldaduras homogéneas y de gran calidad, que respondan a las necesidades para las que fueron diseñadas en un proceso de manufactura metálica o de infraestructura.

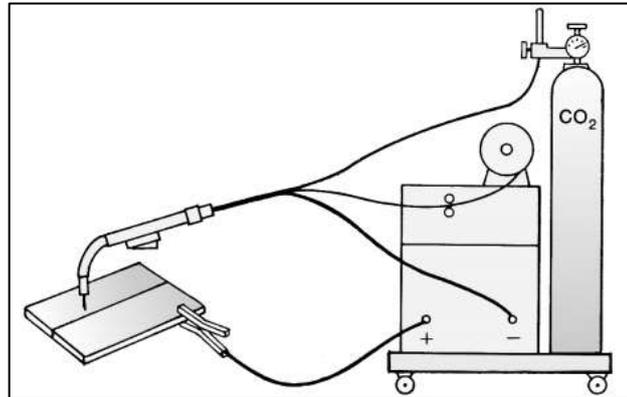
Desde la perspectiva metalúrgica, durante el proceso de soldadura en estado líquido, una región muy pequeña del material a ser soldado alcanza el estado líquido, para luego volver a solidificar. El aporte térmico suministrado se utiliza para fundir el metal de aporte (si es que se utiliza), así como fundir parcialmente el metal base, por lo que el resto se transfiere a través del metal de soldadura, modificando la microestructura (y propiedades mecánicas) inicialmente presentes. (FERREPRO, 2017)

Los aceros más comunes son soldables, pero en ciertos tipos de acero, para lograr un resultado óptimo, se deben implementar procedimientos especiales para alcanzar soldaduras con altos estándares de calidad. El conocimiento amplio del material a soldar y su función estructural o funcional -conocimiento que incide en la decisión del proceso y sus parámetros-, determinarán también los posibles problemas que pueden surgir al aplicar un proceso específico. Por ejemplo, los aceros de baja aleación, endurecidos y templados, pueden perder sus propiedades mecánicas (resistencia y dureza) durante el proceso de soldadura (Jaramillo, 2019).

Una alta conductividad térmica provocará un rápido ingreso de calor y también un enfriamiento más acelerado, por lo que la adición insuficiente de calor causará falta de fusión y, en segmentos gruesos, una penetración incompleta; mientras que el ingreso de calor excesivo puede provocar un quemado y agujereado del material. Por esta razón se debe tener con suficiente antelación la información completa sobre el material y la condición del trabajo (FERREPRO, 2017)

### 2.2.11.1 Suelda MIG

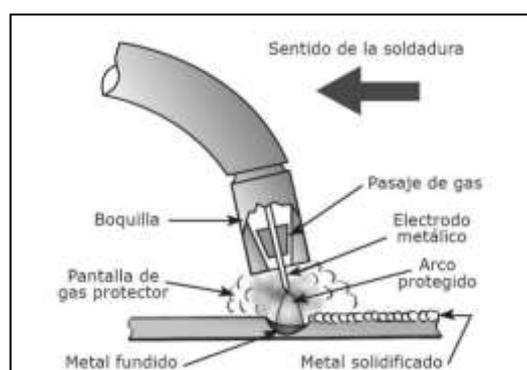
Mediante la soldadura MIG/MAG se establece un arco eléctrico entre el electrodo, que tiene forma de hilo continuo, y la pieza a soldar. En esta ocasión la protección tanto del arco como del baño de soldadura se lleva a cabo mediante un gas, que puede ser activo (MAG) o inerte (MIG).



**Figura 12-2:** Esquema básico de un equipo de soldadura MIG

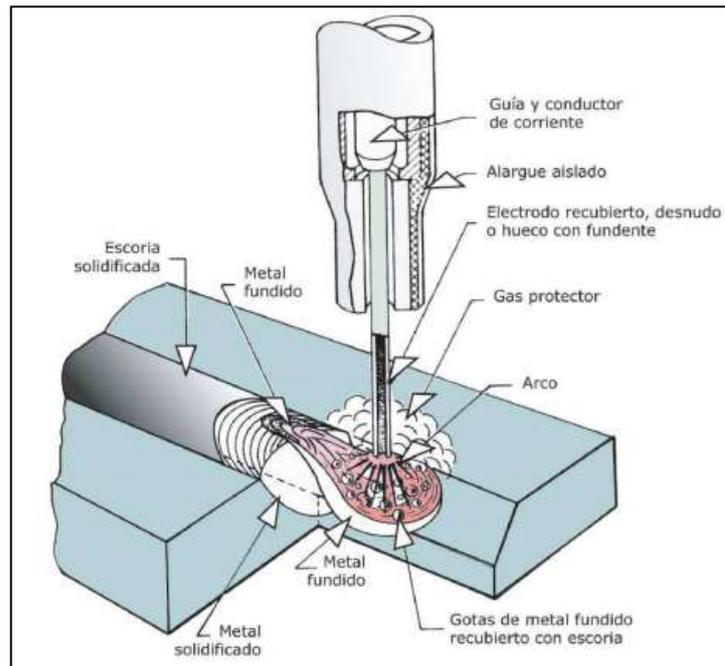
Fuente: (Jaramillo, 2019)

Este tipo soldadora es utilizada para la construcción de estos vehículos ya que la soldadura MIG-MAG tiene ventajas respecto al procedimiento de electrodo revestido. Entre ellas cabe destacar la mayor productividad que se obtiene, debido a que se eliminan los tiempos muertos empleados en reponer los electrodos consumidos. Se estima que para el procedimiento usando electrodo revestido, el hecho de desechar la última parte del electrodo antes de reponerlo por otro, más el consiguiente proceso de cebado del arco, hace que sólo el 65% del material es depositado en el baño, el resto son pérdidas. Sin embargo, el empleo de hilos continuos en forma de bobinas, tanto del tipo sólidos como tubulares, como material de aportación para el procedimiento MIG-MAG aumenta el porcentaje de eficiencia hasta el 80-90%. Además, al disminuir el número de paradas se reduce las veces del corte y posterior cebado del arco, por lo que se generan menos discontinuidades en el cordón como son los famosos "cráteres". (Jaramillo, 2019)



**Figura 13-2:** Efectos producidos de una soldadura MIG

Fuente: (Jaramillo, 2019)



**Figura 14-2: Proceso de fusión en la soldadura MIG**

**Fuente:** (Jaramillo, 2019)

En este procedimiento se establece el arco eléctrico entre el electrodo consumible protegido y la pieza a soldar. La protección del proceso recae sobre un gas, que puede ser inerte, o sea que no participa en la reacción de la soldadura, dando lugar al llamado procedimiento de soldadura MIG (Metal Inert Gas); o por el contrario el gas utilizado es activo, que participa de forma activa en la soldadura, dando lugar al llamado procedimiento MAG (Metal Active Gas). (Jaramillo, 2019).

## **2.3 Marco Legal**

Para el desarrollo del proyecto se aplica normativas que se involucran en los procedimientos técnicos por lo cual se considera la normativa ASTM E8 en la obtención de las propiedades de los materiales y tomando en cuenta que en el país no existe una normativa la cual regule el diseño y construcción de este tipo de prototipos, se aplica las normas y reglamentación de construcción planteadas por el comité de reglas de baja SAE emitidas en el 2019 estableciendo las condiciones de diseño, de la misma forma aplicando parámetros de seguridad, confiabilidad y confort para el ocupante.

### **2.3.1 Norma Técnica ASTM E8**

Al tener como alcance del proyecto la construcción de un chasis es importante la aplicación de esta normativa publica con la designación E8 o E8M. la cual se rige bajo métodos de ensayo que

aplican pruebas de tensión de materiales metálicos de cualquier forma a temperatura ambiente, logrando obtener información acerca de la resistencia y la ductilidad, mismas que son sometidas a tensiones de tracción uniaxial, con el objetivo de determinar las propiedades mecánicas de los materiales en estudio como el límite elástico, elongación, límite de elasticidad, resistencia a la tracción y la reducción de área (ASTM INTERNATIONAL, 2020), mediante la aplicación de la norma en los ensayos e tracción se logra determinar la información que permitirán las comparaciones de los materiales para su posterior aplicación en la selección del material de construcción del chasis.

### **2.3.2 Reglamentación de diseño y construcción Baja SAE**

Para el 2019 el comité que emitió estas normativas se enfocaron en realizar cambios que mejoren la claridad de los elementos esenciales respecto a la inspección técnica así como en las experiencias y datos, realizados en el año 2018, estas regulaciones se enfocaron en mejorar la estructura del chasis así como elementos adicionales de seguridad y confortabilidad con el fin de cumplir las diversas inspecciones técnicas, sin embargo los cambios realizados no afectan las metas a las que se enfoca el comité de reglas de baja SAE el cual tiene como objetivo principal el diseñar, construir y justificar el diseño del prototipo mini todoterreno, para lo cual dentro del reglamento de normativas se citan diversos artículos con el diseño general del vehículo prototipo, las cuales se enfocan y de detallan los parámetros relacionados con la concepción del chasis:

#### *2.3.2.1 Regulaciones administrativas*

##### Artículo 1: Resumen de baja SAE

Según registros la serie de competiciones de Baja SAE data del año de 1976 originado en la universidad de carolina del sur, el cual con el pasar de los años se ha ido perfeccionando, el objetivo principal del programa se centra en el diseño de ingeniería enfocado hacia estudiantes de ingeniería así como de pregrado y posgrado, poniendo en práctica en el mundo real la simulación de proyectos de ingeniería aplicados al ámbito del diseño y construcción, resolviendo los desafíos que se presenten, cada estudiante o equipo deben presentar características y fortalezas en cuanto a diseñar, construir, promover y competir, cumpliendo las normativas planteadas (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019).

Dentro del objetivo se debe enfatizar en diseñar y construir un prototipo de vehículo mini todoterreno que cumpla con el parámetros de un solo asiento el cual permita al conductor mantenerse dentro de la estructura tubular, el cual presente una producción ergonómica y económica, pensado en un mercado para usuarios recreativos, estimado a un total aproximado de 4000 unidades al año (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019), este tipo de prototipos debe lograr

alcanzar dentro del mercado un rendimiento óptimo en características de velocidad, conducción y condiciones adecuadas todoterreno.

### Artículo 3: Reglas y autoridad del organizador

Las reglas de diseño y construcción se rigen bajo la responsabilidad del comité de reglas de baja SEA las mismas que son emitidas bajo la autoridad de la SAE internacional, conformados por inspectores técnicos tanto nacionales como internacionales y personal que conforma la SAE internacional (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019). Para la validez se debe considerar la revisión actual de las reglas de baja SAE las cuales se publican en el sitio web de Baja SAE.net, con fecha del año de competición dejando anuladas las versiones anteriores (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019).

#### 2.3.2.2 *Requisitos técnicos*

De acuerdo con las diferentes regulaciones dentro de los requisitos técnicos del baja SAE 2019, se expone diversos artículos los cuales van enfocados a la constitución del diseño completo del mini todoterreno eléctrico, de acuerdo con la investigación planteada se toma en consideración los artículos que tienen relevancia en el proceso de diseño y construcción del chasis.

### Artículo 1: requisitos generales de diseño.

En relación con el diseño y construcción la estructura del chasis debe soportar a una persona de 190 cm de altura con un peso estimado de 113 kg, el chasis debe tener un diseño ergonómico permitiendo al conductor tener una posición de conducción cómoda, y toda la estructura debe estar dispuesta para el montaje de todos los elementos que constituyan el vehículo prototipo, aplicando buenas prácticas de ingeniería y construcción (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019).

### Artículo 3: Jaula antivuelco

Dentro de este artículo se plantea el objetivo de la jaula antivuelco (chasis), el cual debe mantener el espacio mínimo alrededor del piloto, la cual debe estar diseñada y construida con el fin de soportar diferentes situaciones de colisión o vuelco en su funcionamiento normal, para la construcción del chasis se debe utilizar un acero tubular, el mismo que será unido mediante soldaduras evitando arrugas o deformaciones en sus dobleces que serían perjudiciales en la sección transversal.

## Artículo 8: Cabina

Dentro del chasis la cabina debe estar diseñada para precautelar la integridad física del conductor, permitiendo la fácil salida por ambos lados en casos de emergencia dentro de 5 segundos (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019).

## CAPITULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Diagrama de etapas del proyecto

Para el desarrollo del proyecto que tienen como principal objetivo el diseño y construcción de un chasis se utilizara técnicas y herramientas tanto físicas como digitales, las cuales permiten profundizar sobre el estudio y desarrollo de la propuesta planteada con el enfoque de cambiar el diseño de vehículos convencionales por una nueva perspectiva hacia los vehículos de uso personal (Maldonado Páez, Llanes Cedeño, Guerrón López, & Rocha Hoyos, 2020). Dentro de la metodología a utilizar se determinará parámetros técnicos para la obtención del material adecuado de construcción por lo cual se recurre a un análisis de las propiedades de los materiales más comunes disponibles en el mercado ecuatoriano (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020), así como metodologías propias que satisfagan los parámetros de diseño y construcción, siguiendo la metodología científica de manera general y determinando metodologías propias que satisfagan el cumplimiento de los objetivos planteados, descritos en la tabla 1-3.

**Tabla 1-3:** Metodologías aplicadas para el cumplimiento de objetivos.

<b>Objetivos</b>	<b>Preguntas de investigación</b>	<b>Metodologías de investigación</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
<b>OE1:</b> Definir los principales aspectos técnicos y teóricos mediante revisión bibliográfica, para conocer los elementos y componentes a utilizar en el desarrollo del proyecto.	<b>OE1. P1:</b> ¿Qué es un chasis tubular? <b>OE1. P2:</b> ¿Cuáles son las consideraciones para la elaboración de un chasis?	Inductivo	Revisión bibliográfica.	-Artículos científicos. -Libros técnicos. -Manuales y reglamentos de diseño y construcción.
<b>OE2:</b> Seleccionar el material tubular	<b>OE2. P1:</b> ¿Cómo se	Deductivo	Ensayos de tracción.	-Cálculos algebraicos.

<p>adecuado mediante la aplicación de métodos multicriterio; copras, topsis y vikor, para la óptima construcción del chasis.</p>	<p>obtiene las características de los materiales seleccionados? <b>OE2. P2:</b> ¿Como se aplica cada método multicriterio en la selección del material de construcción?</p>		<p>Aplicación métodos multicriterio.</p>	<p>- Exel</p>
<p><b>OE3:</b> Realizar el diseño conceptual y la simulación del chasis con la utilización de dos softwares de diseño SolidWorks y ANSYS respectivamente, cumpliendo los criterios establecidos por comité de reglas de baja SAE 2019, para la obtención de los planos de construcción</p>	<p><b>OE3. P1:</b> ¿Cuáles son los parámetros de diseño y las dimensiones establecidas para posibles variantes en su diseño? <b>OE3. P2:</b> ¿Qué criterios se aplicará para la obtención de resultados mediante la simulación de las variantes de diseño de chasis?</p>	<p>Inductivo/Deductivo</p>	<p>Modelamiento 3D Simulación de impacto frontal.</p>	<p>- SolidWorks - ANSYS</p>
<p><b>OE4:</b> Construir el chasis a partir del diseño</p>	<p><b>OE4. P1:</b> ¿Cuál será el procedimiento</p>	<p>Sintético</p>		<p>- Amoladora. - Dobladora de tubos.</p>

establecido, con la utilización de herramientas y materiales disponibles en el mercado nacional, para obtener un producto final cumpliendo con los estándares establecidos.	para la manufactura del diseño de chasis seleccionado? <b>OE4. P2:</b> ¿Qué criterios de construcción y soldabilidad serán aplicados en la obtención del producto final?			- Suelda eléctrica.
<b>OE5:</b> Analizar los resultados obtenidos por medio de la simulación y construcción para lograr definir los aspectos finales del chasis.	<b>OE5. P1:</b> ¿Se logra seleccionar el diseño optimo, al someterse a una simulación de impacto frontal? <b>OE5. P2:</b> ¿Qué factibilidad existe de producir a gran escala la manufactura de este tipo de chasis?	Analítico	Análisis y obtención de resultados.	

**Fuente:** (Navarro Chávez & César, 2015)

**Realizado por:** Ortiz Omar, Chacha Edison, 2021

Tomando en consideración lo expuesto anteriormente, de la aplicación de la metodología científica para conseguir y justificar cada objetivo específico es prescindible detallar cada etapa con su respectivo proceso metodológico para el desarrollo proyecto, mediante la implementación de graficas secuenciales que represente el procedimiento que se aplicara para la obtención de cada etapa, las cuales regulan y permita llevar un control de las actividades propuestas, por lo cual se

procede de acuerdo al siguiente diagrama para el desarrollo del presente estudio, dicho diagrama se rige mediante fases.



**Gráfico 1-3:** Proceso Metodológico

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

### 3.2 Metodología de selección del material

Para el desarrollo del proyecto es de importancia seguir una metodología deductiva que permitirá conseguir el objetivo planteado para la selección del material tanto para el análisis como para la construcción del chasis. En lo que se refiere a la selección del material es considerada una etapa primordial para el diseño y desarrollo del proyecto, mediante la aplicación de métodos multicriterio, estableciendo de esta manera una metodología de selección confiable que permite converger a una solución única y viable, (Salazar Loor, Martínez Gómez, Rocha Hoyos, & Llanes Cedeño, 2019).

Siguiendo la metodología, se presenta varios objetivos o criterios que a la par deben incorporarse al desarrollo de la investigación, dichos objetivos deben regirse a una metodología, que se relaciona a la propuesta para la selección entre un conjunto de alternativas viables, la optimización entre diferentes alternativas, así como los procedimientos de análisis y evaluación, que se deben considerar frente a situaciones desfavorables que contiene criterios intangibles a ser evaluados.

Dentro de lo planteado se debe determinar las características y propiedades propias de los materiales que van a entrar en el procedimiento de selección de alternativas, determinándose mediante técnicas y normativas para la obtención de datos numéricos, que servirán para la aplicación de estas herramientas de selección, mediante el seguimiento esquemático, para lo cual se determina el siguiente gráfico.



**Gráfico 2-3:** Comparación metodológica de selección

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

### 3.2.1 Caracterización de materiales estructurales

#### 3.2.1.1 Ensayo de tracción de materiales

Debido a esto se tomará como objeto de estudio 5 materiales enfocados a la construcción de habitáculos tubulares en el país, los cuales por medio de investigaciones y estudios previos se obtuvo sus propiedades mediante ensayos de tracción que consiste en someter a diferentes probetas normalizadas a fuerzas de tracción axial hasta que se genere la rotura, el cual permite analizar su comportamiento de acuerdo con sus propiedades (Logreira Moreno, y otros, 2019).

Estas probetas metálicas en estudio fueron sometidas a estos ensayos bajo la norma técnica ASTM E8, dichas pruebas fueron ejecutadas por (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020), en el “Centro de Fomento Productivo Carrocero Metal Mecánico”, donde como resultados se obtiene las características de resistencia del material bajo una fuerza aplicada, estos ensayos también determinan característica como: módulo de elasticidad o módulo de Young, el coeficiente de poisson, límite de fluencia, límite de proporcionalidad, limite elástico, carga de rotura, área de

estricción y alargamiento de rotura (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020), al aplicar este procedimiento se obtuvo los siguientes resultado.

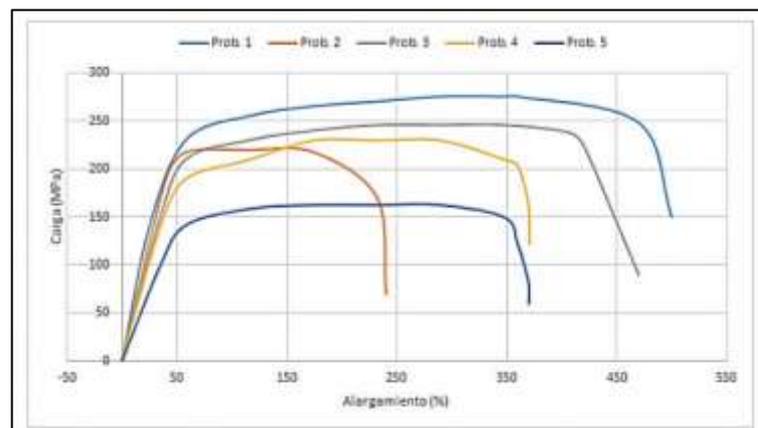
**Tabla 2-3:** Resultados de caracterización de materiales

Probeta	Resistencia a la rotura (MPa)	Límite de fluencia (MPa)
1	197.25	195.09
2	139.06	139.73
3	219.33	202.06
4	238.94	230.15
5	201.09	205.16
<b>Promedio</b>	247.234	194.438

Fuente: (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020, pág. 110)

Realizado por: Ortiz Omar, Chacha Edison, 2020

Al determinar los resultados de la caracterización de material, realizados a cada una de las 5 probeta analizadas, donde por medio del esfuerzo de deformación, se logró ejecutar el respectivo ensayo de tracción, generando un modelo que representa la curva d esfuerzo en función de la deformación representan a continuación.



**Gráfico 3-3:** Curvas del ensayo de tracción de materiales

Fuente: (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020)

### 3.2.1.2 Propiedades de los materiales

Al plantear los 5 diferentes tipos de material estructural que son alternativas para la construcción de un chasis tubular, es necesario considerar las propiedades de cada material en estudio, por lo cual para aplicar estos métodos y seleccionar la mejor opción en cuanto al material, se toma como objeto de estudio 7 propiedades más importantes de los materiales consideradas dentro del

mercado ecuatoriano, los valores estimados en la tabla 2.3 correspondientes a cada propiedad, son tomados de estudios previos al exponer a diferentes probetas a estudios de tracción, dando como resultados los valores permisibles de estas propiedades, mismos datos que serán la base para la aplicación matemáticas de los métodos (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020).

**Tabla 3-3:** Propiedades de los materiales

Material	Acero ASTM A36	Acero 1000	2,5% Mn+97,5% Al	Acero 1045	Acero 1020
Esfuerzo de Von Misses (MPa)	435.86	275	50	600	550
K1	400	250	40	550	500
Deformación Plástica %	0.35	0.34	0.02	0.85	0.35
K2	0.3	0.3	0.02	0.8	0.3
Desplazamiento en Z (Mm)	477.74	520.25	871.70	504.82	575.98
K3	400	450	800	450	520
Densidad G/Cc	7.8	7.8	2.705	7.85	7.87
K4	7.7	7.7	4.4	7,8	7.8
Radio de Poison	0.29	0.29	0.1	0.29	0.29
K5	0.29	0.29	0.1	0.9	0.29
Módulo de Young (GPa)	200	200	90	200	200
K6	199	199	89	199	199
Tensión de rotura (MPa)	322	270	60	675	420
K7	300	250	50	600	350

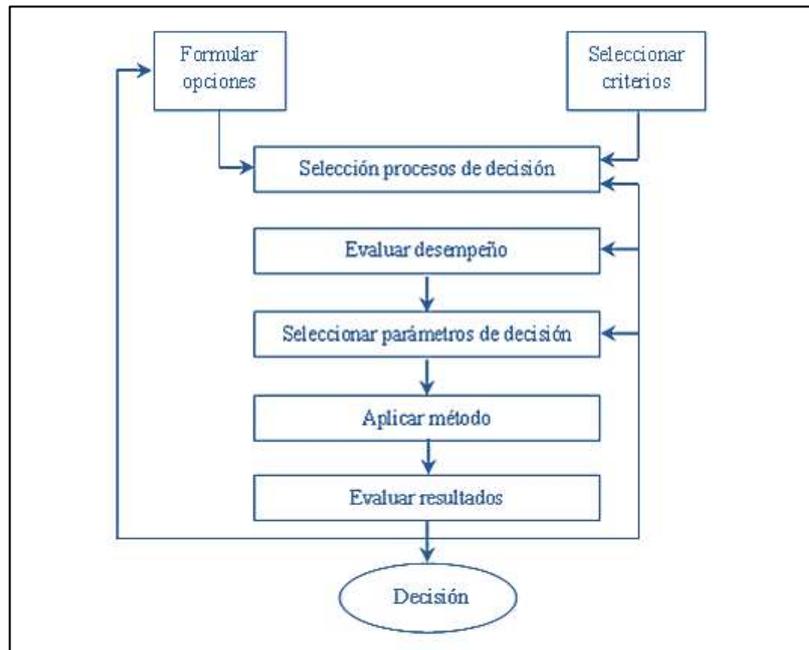
**Fuente:** (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020, pág. 110)

**Realizado por:** Ortiz Omar, Chacha Edison, 2021

### 3.2.2 Procedimiento de aplicación de métodos multicriterio

La aplicación de los métodos multicriterio facilita la selección óptima del material al ser esto una herramienta favorable para determinar el impacto que tiene diversas acciones a desarrollarse entre varios niveles de toma de decisiones en las correspondientes evaluaciones científicas. Al considerar la aplicación de varios criterios dentro de un mismo proyecto, resultado ventajoso ya que permite la utilización de más de una técnica, en la recolección de datos facilitando de esta forma la reducción de riesgos es notoria, en relación con lo planteado por (Grajales Quintero, Serrano Moya, & Hahn Vonh, 2017).

Planteado la metodología a utilizar para esta etapa, es importante seguir un procedimiento esquemático el cual nos va a permitir desarrollar el procedimiento de toma de decisión de manera eficaz y evitando el margen de error, este se plantea en la siguiente grafica.



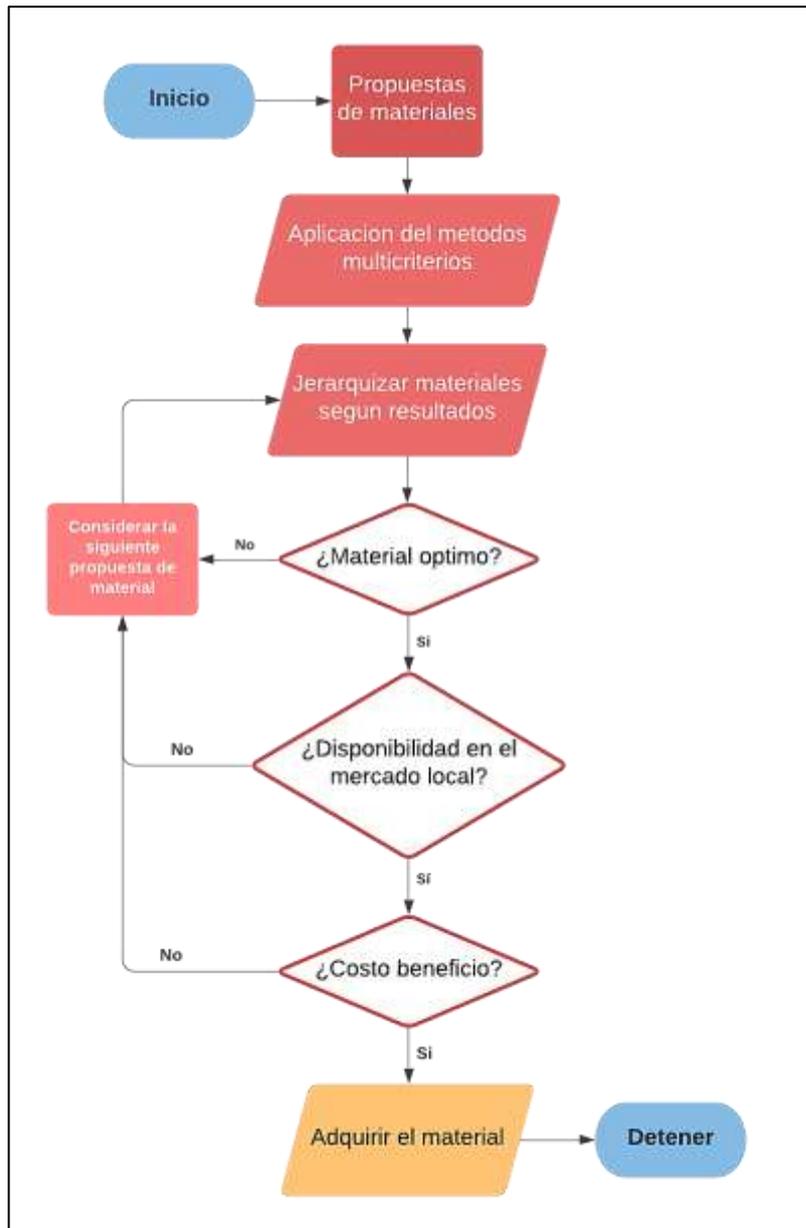
**Gráfico 4-3:** Modelo para la toma de decisión

**Fuente:** (Grajales Quintero, Serrano Moya, & Hahn Vonh, 2017)

Para determinar el posicionamiento del material óptimo para la construcción del chasis, se analiza 7 propiedades más relevantes de los materiales comunes del mercado local, para la cual se aplica métodos multicriterio, que nos permitirán seleccionar la alternativa potencial (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020), dentro de estos métodos tenemos los siguientes:

### **3.2.3 Restricciones del material**

Una vez aplicado los métodos multicriterio a cada propuesta de material y jerarquizándolos en relación a sus resultados, se procederá con una selección de acuerdo con la disponibilidad en el mercado nacional, así como su criterio de costo beneficio, y tomando en consideración que estos materiales tubulares cuenten con características técnicas que cumplan con las dimensiones especificadas en el respectivo reglamento, para lo cual teniendo los valores numéricos que posicionan al material óptimo hasta el más perjudicial, se aplica un diagrama de flujo el cual permitirá considerar otros aspectos que cumplan con las condiciones iniciales de construcción.



**Gráfico 5-3:** Algoritmo de selección de material

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Al aplicar el diagrama de flujo a cada material, en relación con el posicionamiento que se obtuvo mediante la aplicación de los métodos multicriterio, permite seleccionar la alternativa óptima la cual cumpla con todos los criterios establecidos, para su posterior adquisición y aplicación en la construcción del chasis.

### 3.3 Metodología de diseño y simulación

Al tener seleccionado el material óptimo se procede al diseño y construcción, mediante la utilización de software de diseño y modelación SolidWorks y ANSYS, para su posterior análisis

y comparación, realizamos el diseño básico guiado en los parámetros y reglas establecidos en la documentación del comité de reglas de baja SAE 2019, centrados en la construcción del chasis (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019), por consiguiente mediante herramientas manuales, máquinas de suelda y doblado se concibe la construcción del chasis el cual abarque las normas tanto técnicas como de seguridad, teniendo en cuenta que para proceder al proceso de unión del material tubular se debe considerar los aspectos técnicos del tipo de suelda a siendo en este caso el tipo de suelda MIG, con el fin de lograr tener acabados óptimos y una estructura del chasis sólida y estable, capaz de soportar cualquier tipo de prueba de campo (Rowe & Jeffus, 2008), (Alvarez Salazar, 2018). Los procedimientos en cuanto al diseño son planteados de forma técnica por medio de la aplicación de una correcta metodología que facilita la obtención adecuada de los objetivos en relación con el diseño de elementos y sistemas. La metodología de diseño planteada para el desarrollo del proyecto, parte de lo establecido en el libro “Diseño de Maquinaria” por (Norton, 2016) , en donde en el siguiente diagrama plantea un proceso esquemático para el diseño de cualquier elemento que se enfoque a la solución de un problema planteado



**Gráfico 6-3:** Metodología de diseño

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

### 3.3.1 *Identificación de la necesidad*

Con el objetivo del desarrollo del prototipo de mini todo terreno basado en el diseño de baja SAE, se plantea la necesidad de diseñar y construir un chasis el cual ofrezca la distribución de espacio para todos los componentes posteriores que conformen la totalidad del prototipo de vehículo, cumpliendo con todos los parámetros que se rigen bajo el reglamento planteado.

### 3.3.2 *Investigación preliminar*

La información recopilada que abarca el proceso sistemático tanto de diseño como construcción del chasis se analiza en el apartado anterior “marco teórico”, en donde se analiza los parámetros

que plantea la reglamentación correspondiente, las generalidades del chasis, requerimiento de diseño, cargas aplicadas, regulaciones tanto administrativas como técnicas, así como los criterios para la selección adecuado del material que involucra la construcción del prototipo de vehículo mini todo terreno eléctrico.

### **3.3.3 Planteamiento de objetivos**

Diseñar y construir un chasis tubular para un prototipo de vehículo mediante la aplicación de software de CAD/CAE, aplicando métodos multicriterio para la selección del material de construcción. La estructura desarrollada deberá soportar diferentes cargas en su funcionamiento, de la misma forma soportar simulaciones de impacto frontal mediante programas digitales que permitan elegir la variación del diseño que presente mejores características, generando seguridad al piloto y a los elementos que conformen este prototipo, considerando que los procesos de diseño y manufactura deben regirse bajo la reglamentación expuesta.

### **3.3.4 Especificaciones de desempeño**

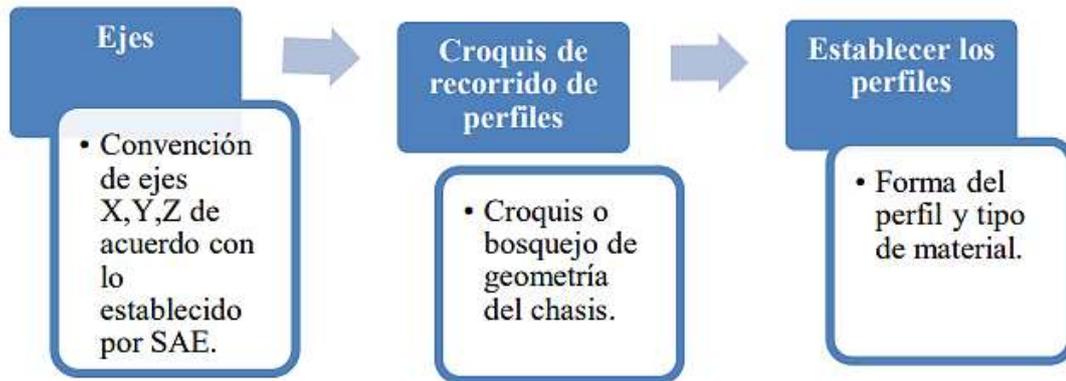
En este apartado que involucra la concepción del modelado del chasis, se especificará los parámetros de diseño y las diversas situaciones a las que el chasis será expuesto. Las consideraciones que involucran el diseño parten de las exigencias planteadas por los diversos componentes que involucran este tipo de prototipo de vehículo, las funciones que cumple la estructura tubular y las condiciones de diseño que emite (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019), se detalla a continuación:

- La jaula antivuelco y miembros estructurales del marco totalmente soldadas
- Permite el respectivo espacio para la ubicación del motor, baterías, controlador de motor, tren de fuerza motriz, sistema de refrigeración, sistema de dirección, sistema de frenos, incluida su caja de pedales.
- Todos los elementos electrónicos tienen su ubicación dentro de la estructura.
- Centro de gravedad de altura baja.
- Posición de conducción normal.
- Cumplir con el reglamento de baja SAE 2019

### **3.3.5 Especificaciones de diseño y evaluación**

Tomando como base lo planteado anteriormente se prosigue tomar en consideración diferentes criterios de modelado que permitirá al diseñador a desarrollar diseños confiables con el objetivo

de extraer la información más importante, para lograr potenciar y optimizar el diseño en sus diferentes variantes



**Gráfico 7-3:** Proceso general propuesto de modelado del chasis

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Al plantear el proceso global para la obtención del diseño de la estructura tubular, se determina los parámetros tanto técnicos como de diseño para la obtención del producto final, siguiendo las esquemáticas planteadas anteriormente.

### 3.3.5.1 Distribución de masas principales en el chasis

En relación con la distribución de masas principales que abarcara el chasis, las cuales intervienen de forma directa en el comportamiento dinámico del prototipo de vehículo. En un vehículo de tipo monoplaza, como masa principal se considera al piloto; en donde la masa del piloto a comparación de las masas de los diferentes componentes de mayor volumen (controladores, motor, batería), son iguales en peso, debido a esto la posición de conducción es perjudicada directamente con la distribución de las masas. El objetivo de analizar las masas principales es precisar de forma conjunta la óptima ubicación con el espacio que requiere cada componente, en la tabla 4-3, se especifica las respectivas masas consideradas como primordiales.

**Tabla 4-3:** Masas principales del vehículo

Componente	Masa (kg)
Chasis	90.579
Piloto	65
Batería	12.5
Controladores	7.2
Motor	20.5

Tren de fuerza motriz	20
Dirección	15
Caja de pedales	6
Accesorios de seguridad	3.3
Peso total	240

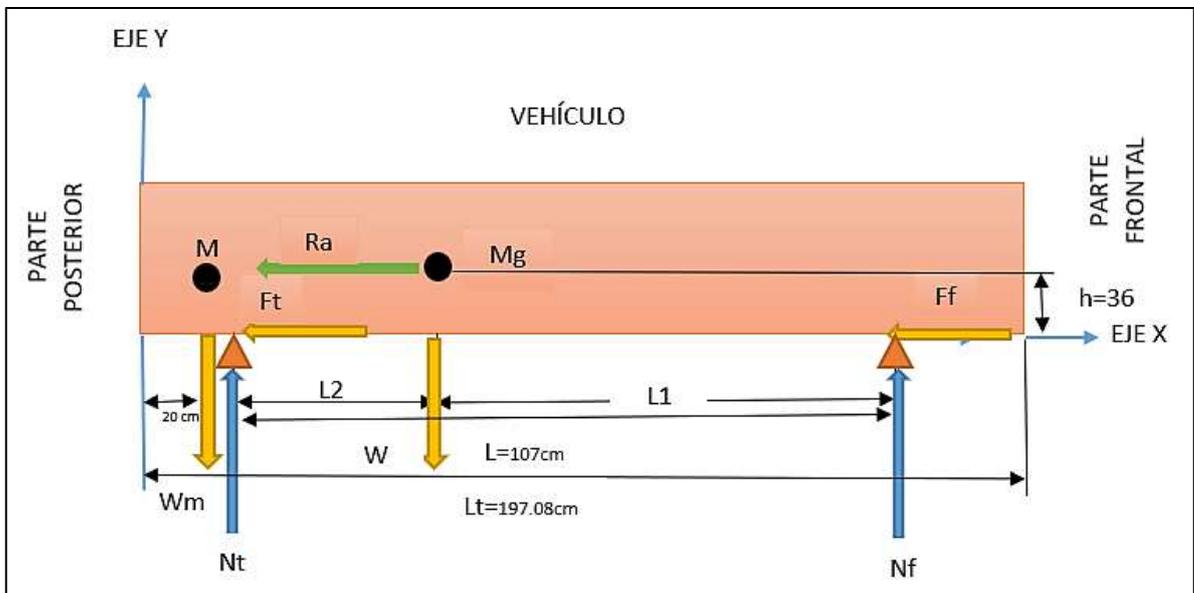
Fuente: (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019)

Realizado por: Ortiz, Omar; Chacha, Edison, 2021

### Distribución de fuerzas de las masas de los componentes del chasis

– Vista lateral izquierda

Al realizar la distribución del peso en cada eje se procede a tomar al chasis como un objeto rígido, el cual se encuentra en un plano horizontal y sin realizar movimientos laterales, para ello a continuación se muestra el diagrama de cuerpo libre con las fuerzas que actúan sobre él.



**Gráfico 8-3:** Diagrama de cuerpo libre, fuerzas sobre el chasis, vista lateral izquierda

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Donde:

$W_m$  = Peso del motor 20.5 kg

$W$  = Peso del conductor + peso del chasis (65+90) kg

$M_g$  = centro de gravedad o centro de masa

$F_t$  = fuerza de fricción del neumático posterior

$F_f$  = fuerza de fricción del neumático delantero

$R_a$  = resistencia aerodinámica al avance

$N_t$  = fuerza normal en el eje posterior

$N_f$  = fuerza normal en el eje delantero

$L_t$  = longitud total del chasis

$L$  = longitud entre ejes

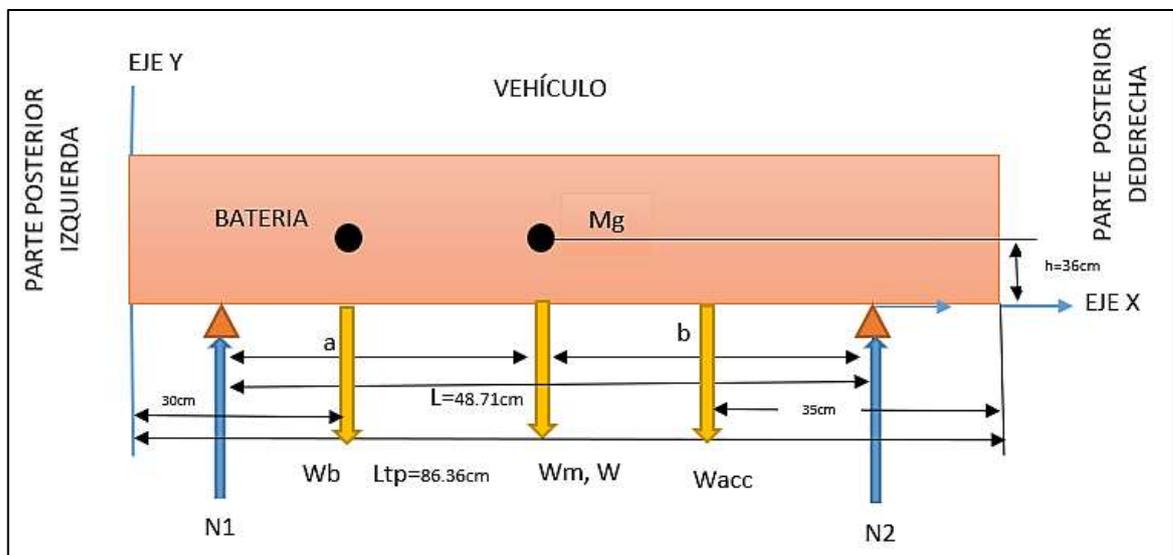
$h$  = altura del centro de gravedad

$L_1$  = distancia del centro de gravedad respecto al eje delantero

$L_2$  = distancia del centro de gravedad respecto al eje posterior

– Vista posterior

Al tener una distribución general de los pesos que afectan al chasis, se analiza los elementos que lo componen mediante el análisis del diagrama de cuerpo libre, representado por la estructura sobre un plano horizontal, evitando movimientos, como resultado se obtiene el siguiente diagrama.



**Gráfico 9-3:** Diagrama de cuerpo libre, fuerzas sobre el chasis, vista posterior.

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Donde:

$W_m$  = Peso del motor 20.5 kg

$W$  = Peso del conductor + peso del chasis (65+90) kg

$W_{acc}$  = Peso de los accesorios

$W_b$  = Peso de la batería

$M_g$  = centro de gravedad o centro de masa

$N_1$  = fuerza normal en el neumático izquierdo

$N_2$  = fuerza normal en el neumático derecho

*L<sub>tp</sub> = longitud total del karting, vista posterior*

*L = longitud entre neumáticos*

*h = altura del centro de gravedad*

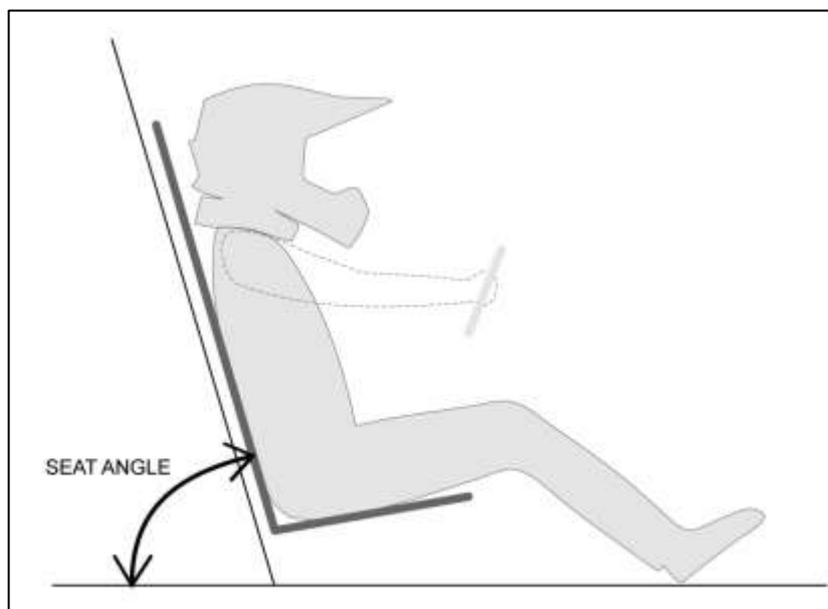
*a = distancia del centro de gravedad respecto al neumático izquierdo*

*b = distancia del centro de gravedad respecto al neumático derecho*

Tomando en cuenta los pesos de los elementos principales que va a estar ubicados dentro del chasis y en relación con la distribución de estos se debe considerar los siguientes puntos:

- Si el peso del chasis es menor, respetando el criterio de rigidez, la potencia del motor ser aprovechada de mejor manera.
- Respecto a los criterios y análisis del sistema de suspensión según el reglamento, es importante que el centro de gravedad este situado lo más bajo posible con el fin de disminuir considerablemente el balanceo.
- Debido a estudios realizados referente a la aerodinámica, es considerable que el centro de gravedad este ubicado por delante del centro de las presiones laterales, evitando de esta manera posibles inestabilidades al momento de la conducción debido a cambios fortuitos del viento lateral en diferentes circunstancias de conducción. Se tiene como dato que el centro de presiones lateral se encuentre ubicado más hacia la parte de atrás, siempre y cuando la superficie lateral sea superior en la parte posterior que en la delantera.

La inclinación para el respaldar del piloto se determinar en un ángulo mayor a los 65° con el fin de reducir el centro de gravedad y de esta forma se mantiene la correcta distribución de las masas planteadas anteriormente.



**Figura 1-3:** Angulo de asiento

**Fuente:** (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019)

De acuerdo con lo especificado anteriormente se considera que la posición de conducción repercute de forma directa en el espacio que posee la cabina, su altura y la respectiva ubicación de la jaula antivuelco.

### 3.3.5.2 Criterios de espacio y ergonomía

El espacio que debe tener el diseño del chasis se deberá considerar los siguientes parámetros:

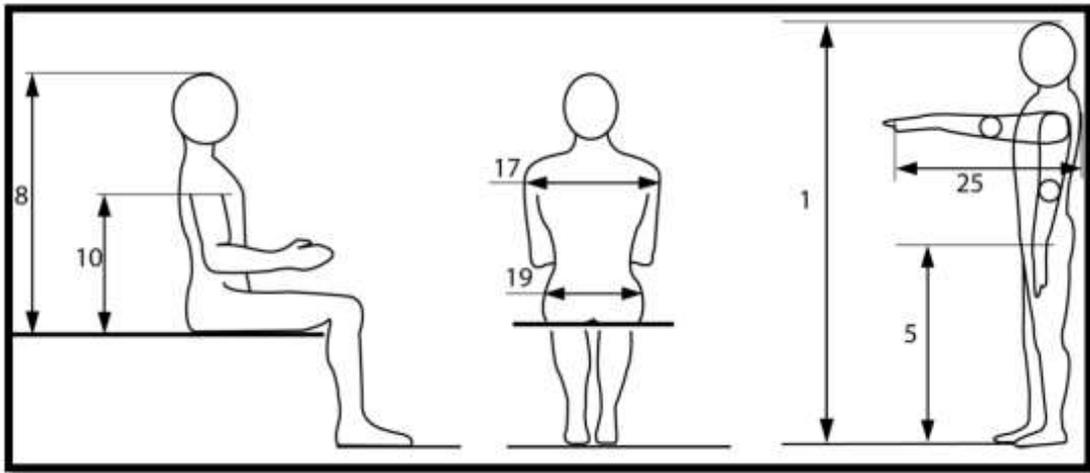
- Al realizar el diseño de la estructura tubular se debe tener en cuenta que, en los alrededores del motor, si este cuenta con cadena de transmisión, la estructura debe tener suficiente espacio para ubicar diferentes medidas aceptables de piñones.
- La estructura debe poseer gran facilidad para el acceso a realizar diferentes trabajos de mantenimiento de todos los elementos de propulsión.
- Para el espacio de conducción que tendrá el piloto, deberá ser cómodo esto se especifica de acuerdo con los parámetros que debe cumplir la cabina, planteados y analizados bajo las condiciones de diseño, donde determina las dimensiones físicas del piloto tanto para el torso como para sus extremidades regidas bajo la reglamentación del baja SAE en su versión del 2019 emitida por (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019). cómo se detalla en la tabla 5-3 y en la figura 18-3.

**Tabla 5-3:** Dimensiones del percentil masculino y femenino

Numero de dimensión	Descripción	Dimensiones	
		95 percentil masculino	5 percentil femenino
1	Altura de pie	190 cm	151.5 cm
5	Altura de cadera	100 cm	74 cm
8	Altura sentada	97 cm	79.5 cm
10	Altura de hombros sentado	64.5 cm	50.5 cm
17	Ancho de hombros	50.5 cm	37.5 cm
19	Ancho de caderas	40.5 cm	31 cm
25	Longitud total del brazo	71.5 cm	55.5 cm
30	Longitud del pie	28.5 cm	22 cm
31	Ancho del pie	11 cm	8.5 cm

**Fuente:** (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019)

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021



**Figura 2-3:** Medidas antropométricas del percentil 95

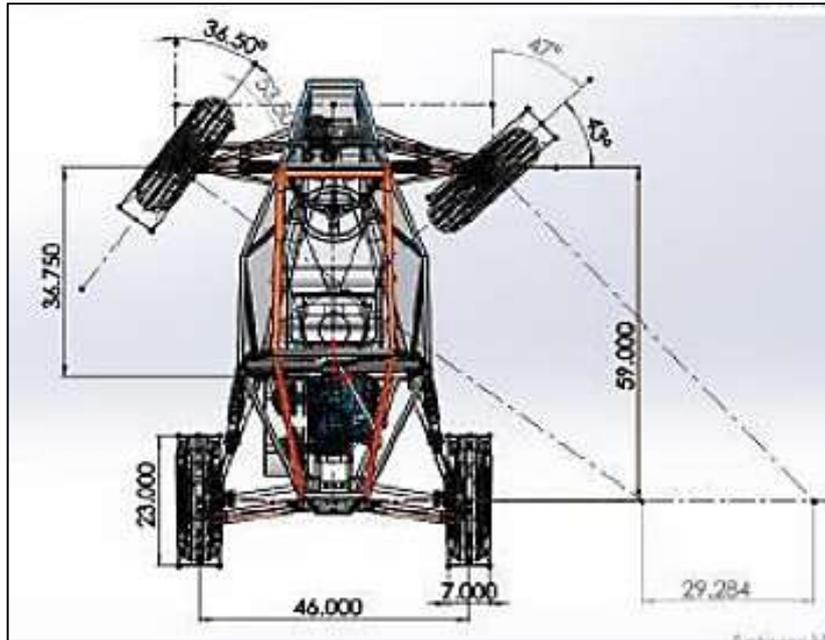
Fuente: (Alvarez Salazar, 2018)

En la figura anterior se especifica la posición de las extremidades considerando las dimensiones antropométricas del percentil 95, ofreciendo con esta posición de conducción e confort y la comodidad, considerando diferentes alturas de los posibles pilotos, establecidas estas medidas la distribución de la cabina se determina de la siguiente manera:

- La longitud y la disposición del ángulo de los pies, junto a las medidas que corresponde a los pedales, determinaran de forma directa la altura que tendrá la parte frontal del chasis.
- La longitud donde va a estar situado el asiento está determinada por el ángulo de las piernas y las medidas generales del cuerpo.
- Para determinar la altura del arco frontal, se debe considerar la línea de visión.
- La disposición de la cabina debe estar considerada para una rápida evacuación del piloto en caso de repentinos accidentes.

### 3.3.5.3 Geometría y disposición de la suspensión

Para el diseño del chasis, se debe considerar el proceso juntamente con el sistema de suspensión, de esta forma se logra transmitir todas las cargas hacia el chasis de manera puntual en los nodos que conforma la estructura tubular, teniendo en cuenta que el reglamento del baja SAE no plantea una restricción al sistema de suspensión.



**Figura 3-3:** Geometría y disposición de la suspensión

Fuente: (Alvarez Salazar, 2018)

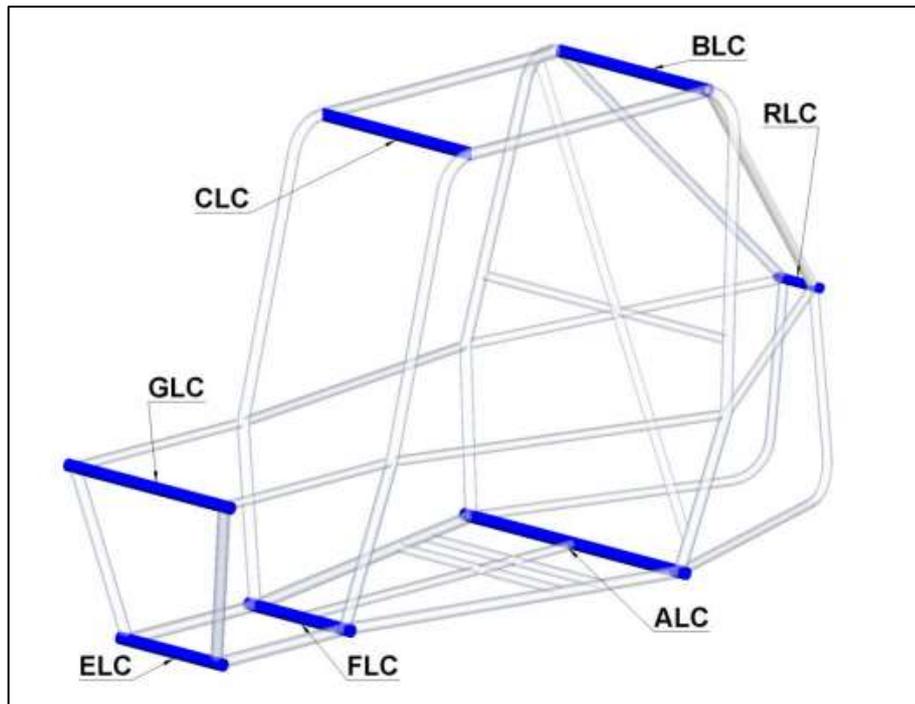
La disposición, así como la geometría de la suspensión participan en el diseño del chasis. Especificando las dimensiones de la estructura tanto de la parte delantera como posterior, incluyendo también en configuración de la triangulación de la estructura para determinar los diferentes puntos para la unión de estos sistemas.

#### 3.3.5.4 *Requisitos generales de diseño*

Se debe tener en cuenta que para el diseño de este tipo de vehículos que se rige bajo el reglamento de baja SAE, el diseño del chasis debe tener como dimensiones máximas de 162 cm de ancho y 274 cm de largo.

#### Travesaño lateral (LC)

Los travesaños laterales que conforman la estructura del chasis deben cumplir con medidas superiores a 203.5 mm (8plg) de largo, estos travesaños no deben poseer ningún tipo de curvas, con la excepción de que pueden formar parte de un sistema doblando mayor, cumpliendo siempre con la mínima longitud que existe entre las tangentes de doblado. Los travesaños CLC y BLC considerados la parte superior de la jaula antivuelco, los travesaños FLC y ALC forman la base donde va estar dispuesta el asiento del piloto, el GLC y ELC forman la nariz del chasis, dejando al travesaño RLC como la parte posterior de la estructura.



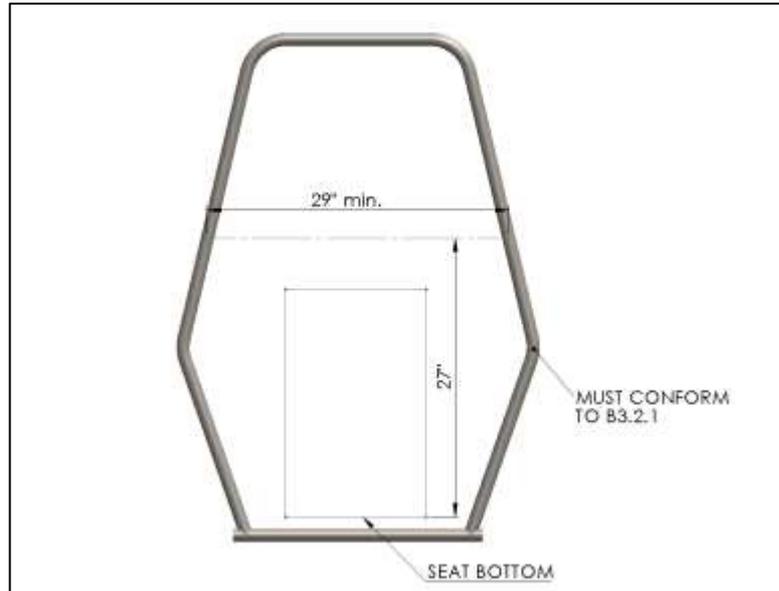
**Figura 4-3:** Jaula antivuelco, LC

**Fuente:** (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019)

#### Roll Hoop (RRH)

Esta parte de la estructura de característica plana ubicada en la parte posterior al espaldar del conductor, definiendo la mitad delantera proa y la mitad posterior conocida como popa, que conforman la jaula antivuelco, de acuerdo al reglamento (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019), el RRH se rige bajo una disposición vertical, considerando una inclinación opcional de hasta 20°, como dimensión estándar desde la base hasta el punto determinado es de 686mm (27 plg), como ancho una dimensión mínima de 736mm (29 plg).

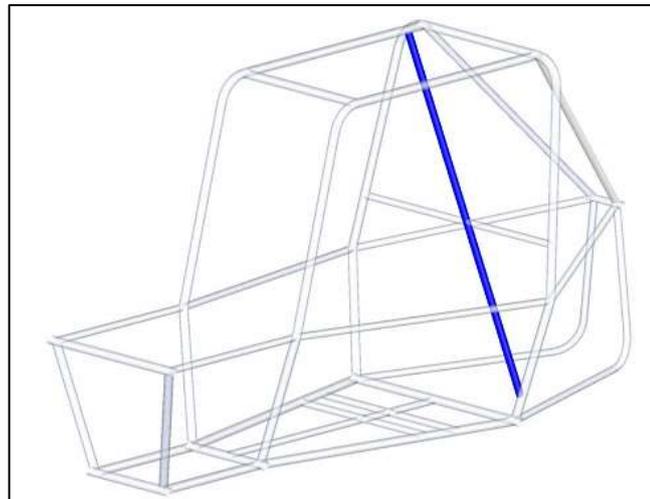
Estos miembros estructurales deben ser rectos o doblados y son elementos donde intersecan los respectivos planos horizontales tanto superior como inferior, determinando que no serán múltiples segmentaciones de tubo unidos mediante suelda sino tubos continuos, siendo unión de los miembros estructurales ALC y BLC en la zona inferior y superior respectivamente, teniendo en cuenta que estos elementos de la estructura deben ser coplanarios, según el reglamento (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019).



**Figura 5-3:** Jaula antivuelco, RRH

**Fuente:** (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019)

Este miembro estructural se debe situar diagonalmente, extendiéndose desde un punto al opuesto que corresponda al RRH, las intersecciones de este elemento LDB tanto superior como inferior, así como los miembros verticales RRH, deben estar a una dimensión no mayor a los 127 mm (5plg) de los puntos determinados A y B, determinando un ángulo mayor o igual a 20° de inclinación entre LDB y RRH, en relación con el reglamento (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019).



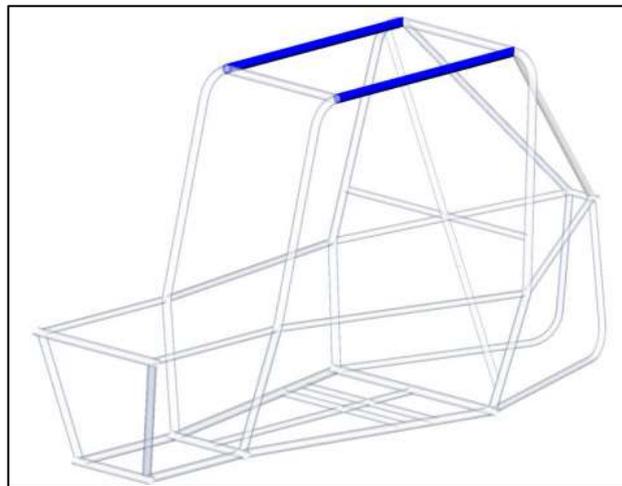
**Figura 6-3:** Refuerzo diagonal lateral

**Fuente:** (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019)

### Soportes aéreos (RHO)

Estos miembros estructurales RHO se cruzan con la estructura RRH, definiendo de esta manera los puntos BR y BL, los cuales están unidos por BLC, de la misma manera los extremos delanteros de RHO que se encuentran intersecados con CLC, determinan los puntos CR y CL, teniendo en cuenta según el reglamento (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019), los miembros estructurales CLC, RHO y BLC deben ser elementos coplanares y encontrarse doblados en los extremos de la parte posterior (popa).

La dimensión de los puntos CL y CR deben considerarse como mínimo de 305 mm (12 plg), ubicado delante de un punto de la intersección de RHO con una línea vertical del extremo de la parte posterior del asiento.

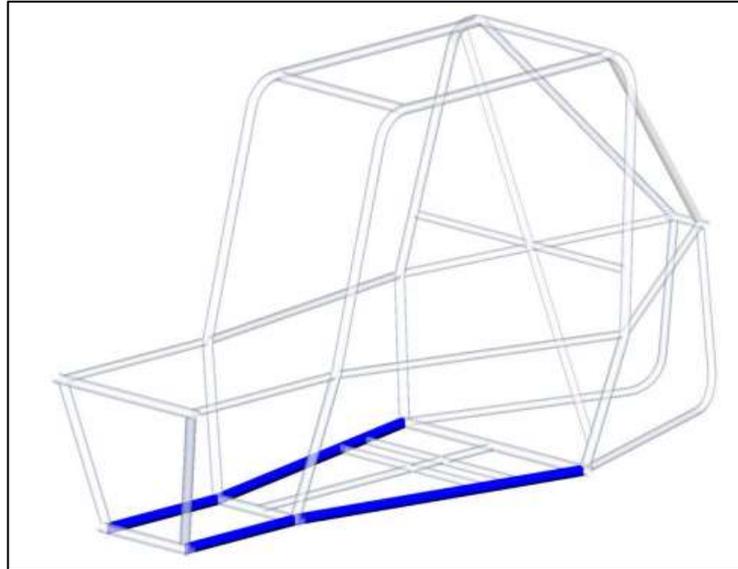


**Figura 7-3:** Soportes aéreos, RHO

**Fuente:** (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019)

### Largueros del bastidor inferior (LFS)

La estructura cuenta con dos miembros laterales inferiores definiendo los bordes tanto izquierdo como derecho de la jaula antivuelco, unidos por RRH extendiéndose a lo largo de la estructura, se tiene en cuenta que los extremos delanteros del LFS se encuentran unidos por FLC, esta intersección determinan los puntos FR y FL, que forman la nariz de la estructura, extendiéndose el LFS hacia adelante hasta llegar al punto E, los cuales se unen por los travesaños FLC y ELC, determinados anteriormente y explicados en (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019).

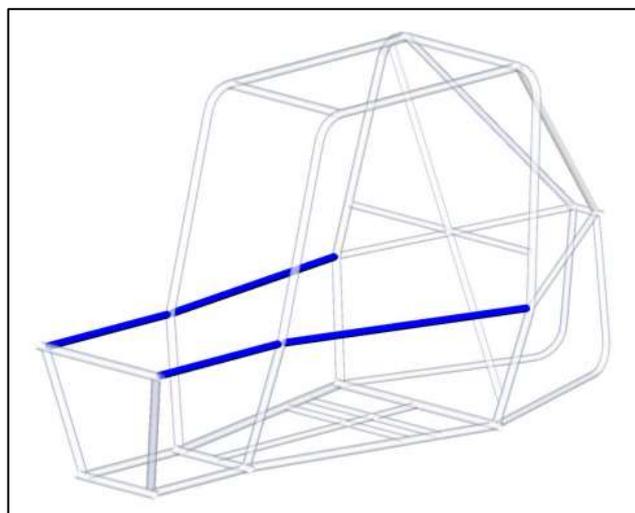


**Figura 8-3:** Largueros del bastidor inferior, LFS

**Fuente:** (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019)

#### Miembros de impacto lateral (SIM)

Conformados por dos miembros laterales definiendo un plano medio horizontal conformando la jaula antivuelco, se unen al RRH, generando el punto S, el cual se extiende hacia la parte delantera, por otro lado, la parte delantera de los SIM están unidos por el travesaño lateral DLC, definiendo así los puntos DL y DR. Estos miembros estructurales deben tener la dimensión estándar entre 203 mm (8 plg) y 356 mm (14 plg), siendo también parte que conforman la nariz de la estructura. Se toma en cuenta que el travesaño DLC puede ser opcional en el diseño generando una protección adicional de acuerdo con el reglamento (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019).



**Figura 9-3:** Miembros de impacto lateral, SIM

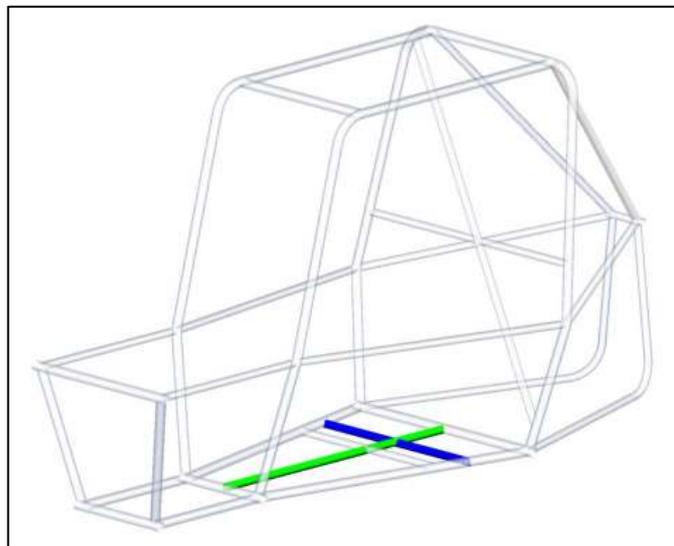
**Fuente:** (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019)

### Miembro inferior del asiento (USM)

El miembro estructural USM cumple con el objetivo de evitar que el piloto pase por la zona del LFS en situaciones de averías del asiento, siendo base para la ubicación del asiento y cinturones de seguridad según el reglamento (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019). El USM se compone de dos miembros:

- USM longitudinal, en donde los miembros FLC y ALC se disponen de forma longitudinal por el asiento en su parte inferior, situándose desde la parte posterior a la parte frontal de la jaula antivuelco
- USM lateral, en este caso los miembros LFS se encuentran unidos a los miembros inferiores, pasando por debajo del asiento del piloto.

se puede considerar un miembro USM adicional, uniendo al elemento LFS entre los puntos A y F, situándose de la misma forma debajo del asiento del piloto.

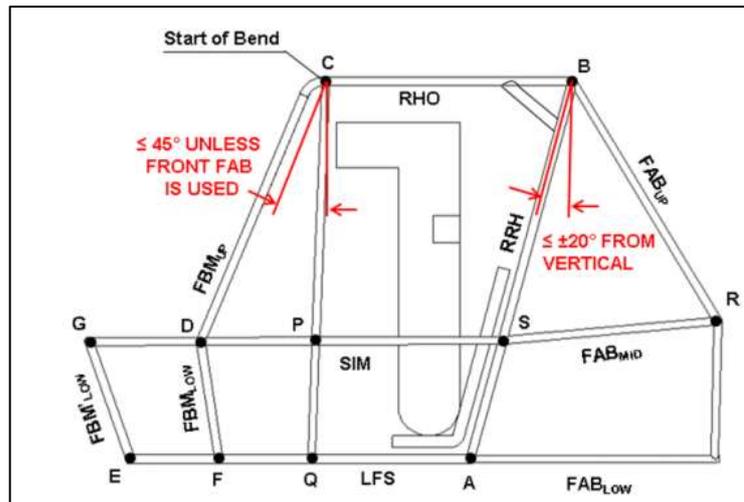


**Figura 10-3:** Miembro inferior del asiento (USM)

Fuente: (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019)

### Elementos delanteros de arriostamiento (FBM)

Estos miembros estructurales ubicados en la parte delantera deben estar unidos a los miembros RHO, SIM y LFS, situados en los puntos C, D y F, sin embargo, los elementos de arriostamiento superior (FBMUP), debe ser el punto de unión de C con D tanto en RHO como en la SIM respectivamente. Se debe considerar los miembros estructurales delanteros inferiores (FBMLOW) la unión del punto D con F, teniendo en cuenta que deben ser tubos estructurales continuos. Dentro de estos elementos debe existir un ángulo entre FBMUP y el elemento vertical el cual será menor o igual a  $45^\circ$ , de acuerdo como se especifica en la siguiente figura.



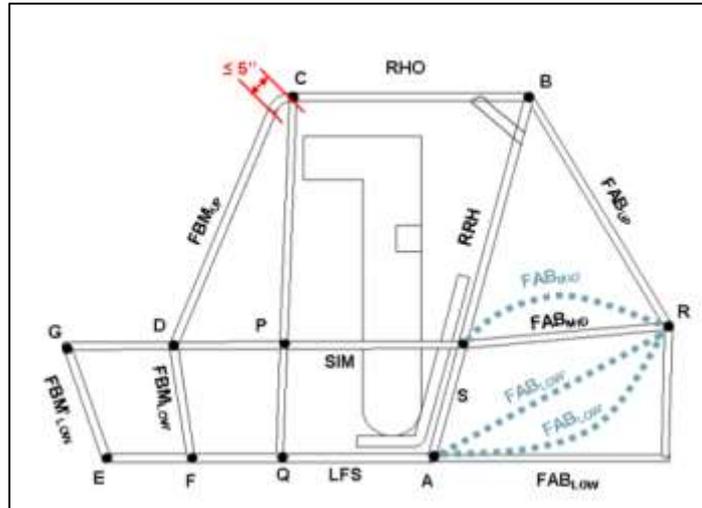
**Figura 11-3:** Elementos delanteros de arriostramiento, FBM

Fuente: (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019)

### Refuerzo de proa/popa (FAB)

Se debe tomar en cuenta que el elemento RRH posee restricción evitando que gire y por ende se doble en la parte lateral por medio de un sistema vigorizante, estos miembros deben contar con una longitud no mayor a los 1016 mm (40plg), dentro de estos refuerzos se considera los siguientes determinados por (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019):

- Refuerzos delanteros: estos sistemas en la parte frontal deben ser la conexión de los miembros estructurales FBMUP con los SIM, las intersecciones con los FBMUP se encuentran dentro del rango de 127mm (5 plg), los cuales son medidos en línea recta y las intersecciones con los miembros SIM determinan el punto P, los cuales deben estar soportados de forma vertical por elementos adicionales que unen los SIM a los LFS, definiendo el punto Q, como se visualiza en la figura 27-3.
- Refuerzo posterior: los sistemas FAB posteriores deben formar un triángulo estructural en ambos lados del chasis, estos deben estar ubicados detrás del RRH incluido su lado vertical y ser miembros continuos, desde el punto R debe estar conectado mediante un elemento estructural a cualquier punto de S o A. La sujeción del FAB posterior debe encontrarse a 51mm (2 plg) aproximadamente de los puntos B, S y A en cada lado de la estructura, el vértice que forma el triángulo posterior determina el punto R el cual se debe unir mediante un travesaño (LC) con una longitud mínima de 203.5mm (8plg), como se determina en la figura 27-3.



**Figura 12-3:** Refuerzo de proa/popa (FAB)

Fuente: (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019)

### 3.3.5.5 Desarrollo y variaciones del diseño de chasis

Al realizar el diseño estándar de la estructura tubular se consideró varios aspectos determinados por (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019), entre los cuales se encuentran el ancho de vía y el respectivo espacio entre ejes, estableciendo la ubicación que posee el centro de gravedad, por medio de la distribución correcta de masas, así como los puntos referentes al anclaje del sistemas de suspensión y determinando de forma específica la correcta posición y ubicación destinada para la conducción, de la misma forma la altura con la que deben contar los arcos antivuelco.

Tomando como punto de referencia la jaula antivuelco se procede a realizar las diferentes variaciones del diseño estándar, con el objetivo de determinar el diseño con mejores prestaciones y características mediante análisis de simulación, para esto se toma en consideración el rango de dimensiones establecidas por la reglamentación considerada, generando de esta forma 7 diseños conceptuales del chasis, cada uno cumpliendo con los parámetros tanto de diseño como de dimensionamiento, para la optimización de la estructura final se consideró diversos aspectos de diseño, entre los cuales podemos mencionar los siguientes:

- Facilidad para su construcción.
- La óptima distribución de esfuerzos.
- Estándares de calidad.
- Una geometría simple que cuente con elementos estructurales continuos tanto en la parte delantera como posterior.
- Estabilidad de la estructura durante la construcción.
- Reducción de peso total del chasis.

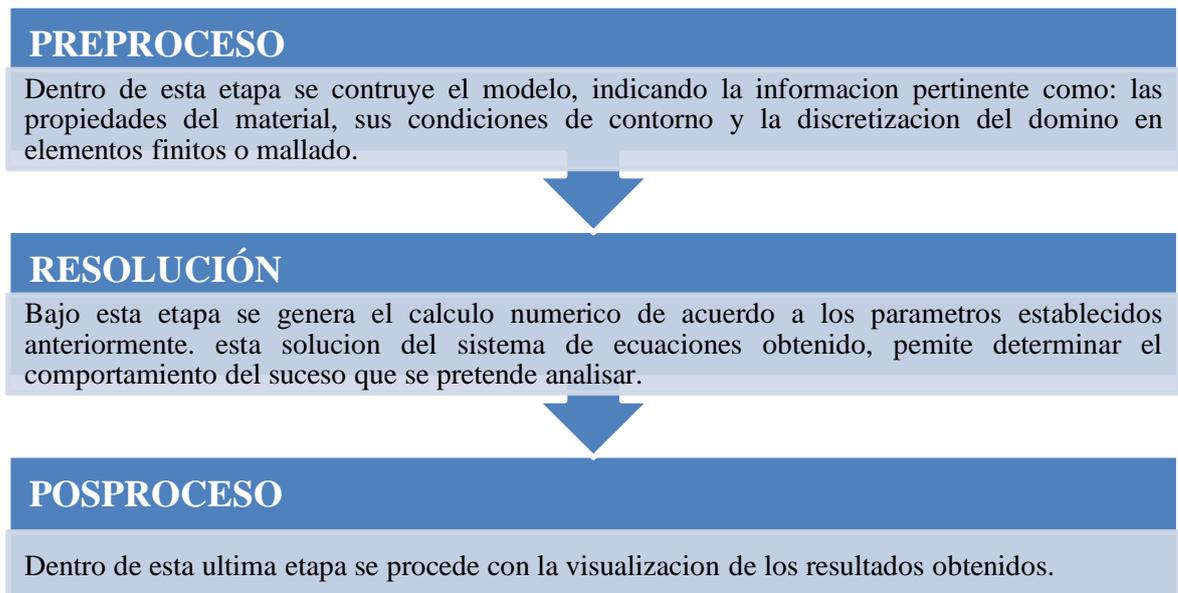
- Ergonomía para la posición de conducción.

### 3.3.6 Especificaciones de simulación y análisis del diseño.

Teniendo en consideración que para el proceso de análisis y simulación de cada diseño planteado se parte de una metodología científica deductiva para la obtención de los resultados en relación con los criterios planteados, mediante la aplicación de elementos finitos, utilizando herramientas digitales establecidas, siendo seleccionada el software ANSYS, para el desarrollo y análisis de los respectivos diseños.

#### 3.3.6.1 Método de elementos finitos (MEF)

Este análisis estructural generado mediante la aplicación de elementos finitos, el cual es de suma importancia para el desarrollo del proyecto, ya que, al obtener los diseños de los chasis preliminares, se requiere someter a cada una de las simulaciones, con el fin de determinar su comportamiento en situaciones reales, considerando los criterios de análisis especificados bajo el reglamento. Para la obtención de los resultados por medio del método de elementos finitos, se procederá bajo las siguientes etapas:



**Gráfico 10-3:** Secuencia para aplicación del método de elementos finitos MEF

**Fuente:** (Mota González, 2015)

### 3.3.6.2 *Elementos tipo viga*

Para el proceso de simulación de cada modelo de chasis, se procede a realizar un análisis estático el cual por medio del software ANSYS, cada miembro estructural se lo considere como una viga, por lo que cada elemento tipo viga se detalla como una línea recta la cual une dos juntas en sus extremos, teniendo en consideración que es modelado un miembro estructural curvado con una cantidad específica de vigas rectas, dentro de lo planteado se considera los siguientes criterios extraídos de (Mota González, 2015).

- Se determina que la sección transversal de la viga es constante de forma longitudinal a todo lo largo.
- Los elementos de viga pueden soportar cargas como axiales, flexionantes, cortantes y de torsión.
- La relación que existe entre las fuerzas y el desplazamiento, con calculadas tomando en consideración la geometría de la viga, así como las diferentes propiedades del material.

### 3.3.6.3 *Análisis establecidos por el reglamento*

Cuando el procedimiento de modelado de cada diseño finaliza es suma importancia verificar que la estructura sea adecuada para su posterior construcción, debido a esto es primordial realizar un análisis previo el cual permita aprobar el diseño, este estudio será ejecutado por el software ANSYS.

De acuerdo con el reglamento técnico de diseño y construcción emitido por (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019), plantea que, para la verificación de la estructura, se debe proceder a realización del análisis, tomando en consideración los siguientes criterios de simulación:

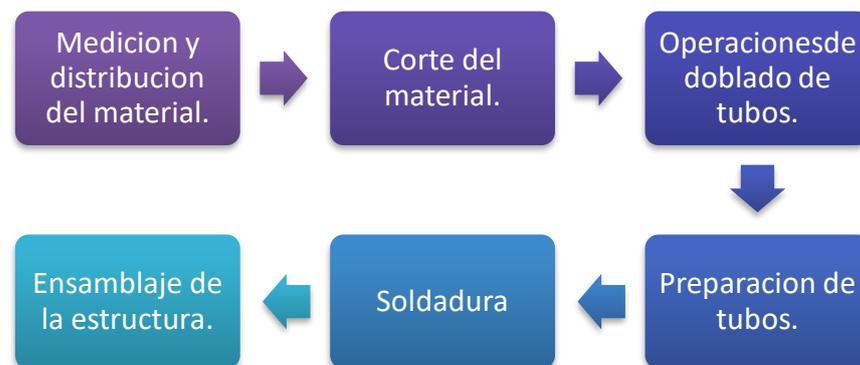
- Factor de seguridad
- Criterio de Von Mises
- Deformación por impacto frontal

Al ser considerados estos criterios en el análisis y simulación, permitirá generar resultados de cada diseño simulado, con lo cual permitirá obtener la estructura óptimo con los valores numéricos de mayor porcentaje, permitiendo tener el punto de partida para la respectiva construcción y obtención de la propuesta final de chasis tubular.

## **3.4 Metodología y planificación de construcción**

Mediante la obtención de los resultados de los diseños expuestos bajo la simulación se determina el diseño óptimo con mejores prestaciones y características el cual se toma como punto de partida

para la manufactura física del chasis, por ende es importante establecer el correcto procedimiento para la construcción de cada miembro estructural y llegar a concebir el chasis tubular de forma completa, aplicando una metodología científica sintética que permite llevar un procedimiento sistemático para cumplir el objetivo de construcción. Esta propuesta se logra materializar a partir del diseño conceptual obtenido mediante el modelamiento en un software CAD, facilitando la fabricación de la estructura. De acuerdo con la metodología seleccionada para el procedimiento de construcción se determina un esquema representado en el siguiente esquema, bajo dicho esquema se registrará la construcción física del chasis tubular.



**Gráfico 11-3:** Planificación para el proceso de construcción

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

### 3.4.1 *Medición y distribución del material*

Para la obtención de cada miembro estructural se debe seguir los parámetros establecidos en la “metodología de diseño” donde se especifica tanto los cortes y uniones que posee cada elemento estructural de acuerdo a (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019), de la misma forma se toma las medidas exactas obtenidos por medio de los planos del diseño global generados por el software CAD de diseño, considerando adicionalmente una sobremedida, ya que por corte y cavados finales existirá un desprendimiento de material.

Para la toma y distribución de medidas se utilizará diferentes herramientas de medición tomando en consideración flexómetros, calibrador pie de rey universal, escuadras etc. Con la ayuda de un rayador para el respectivo marcado de medidas en los miembros tubular.

### 3.4.2 *Corte del material*

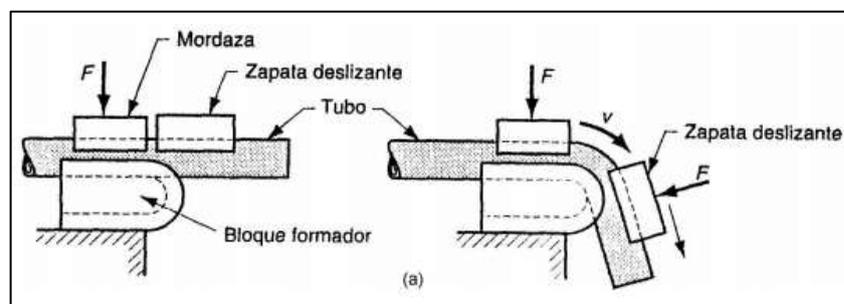
Para cumplir con el objetivo de construcción del chasis, que cumpla con los estándares establecidos se realiza los diferentes preparativos de material empezando por los respectivos cortes mediante aserrado o por disco, según la disposición del elemento estructural.

Para le mecanizado del material se considera las intersecciones a las que están sujetas los tubos y las características geométricas a las cuales se pretende conseguir en la estructura del chasis, por ende, se tiene presente las diferentes complejidades y formas que posee la estructura para de esta manera realizar los cortes adecuados.

### 3.4.3 Operaciones de doblado de tubos

Dentro de la construcción de cada miembro estructural se considera el doblado de los tubos, para lo cual se debe seleccionar el tipo de operación de doblado, por lo que requieren curvaturas específicas las cuales no deben presentar aplastamiento en los tubos, para esto los métodos más habituales de doblado según (Groover, 2015), son los siguientes:

- Doblado por compresión: el elemento de trabajo es sujetado y se dobla al contorno de un dado estacionario por medio de la utilización de un rodillo seguidor, en este método la fuerza de compresión es mayor a la elongación del elemento estructural como se representa en la figura, (Groover, 2015).

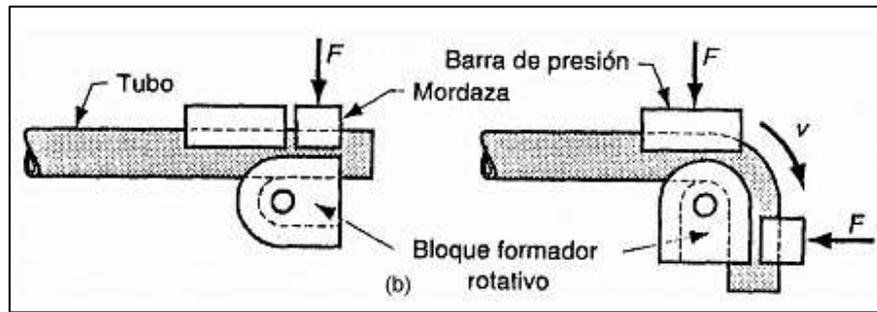


**Figura 13-3:** Proceso de doblado por compresión

Fuente: (Groover, 2015)

Este método es el más habitual ya que su procedimiento por lo general es realizado a mano, en tubos estructurales o cualquier perfil que posea espesores de pared de dimensiones mayores y radios de doblado dimensionalmente mayores, teniendo en cuenta que los tubos que poseen una pared delgada no es recomendable la utilización de este método.

- Doblado por arrastre: la aplicación de este método consiste en sujetar el elemento de trabajo contra un dado que cuenta con la forma exacta del doble que se requiere, girando el dado progresivamente y estirando el elemento de trabajo por la matriz de presión, por lo general sobre un mandril, (Groover, 2015), como se muestra en la figura.



**Figura 14-3:** Proceso de doblado por arrastre

Fuente: (Groover, 2015)

Este método por lo general es recomendado para tubos que cuenten con pared delgada, cuando se requiere dobleces de radios pequeños ya que permite un control más específico sobre el elemento de trabajo. El método de doblado por arrastre se utiliza cuando los requerimientos dimensionales son específicos y detalla, convirtiéndose en el procedimiento de doblado más utilizado a diferencia del doblado por compresión, según lo planteado en (Groover, 2015), especifica en la siguiente tabla, valores estándar para los diferentes radios de doblaje en relación con el diámetro de tubo.

Diámetro exterior en mm	Espeso de pared mm	Radio mínimo a la línea del centro aproximado (múltiplos del diámetro exterior del tubo)			
		Sin mandril	Mandril redondeado	Mandril plano	Zapata y mandril redondeado
13-24	0.9	6½	2½	3	1½
	1.25	5½	2	2½	1¼
	1.65	4	1½	1.5	1
25-39	0.9	9	3	4½	2
	1.25	7½	2.5	3	1¼
	1.65	6	2	2½	1½
40-54	1.25	8½	3½	4½	2¼
	1.65	7	3	3½	1¼
	2.10	6	2½	3	1½
55-79	1.65	9	3½	4	2½
	2.10	8	3	3½	2¼
	2.80	7	2½	3	2
80-100	2.10	9	3½	4½	3
	2.80	8½	3	4	2½

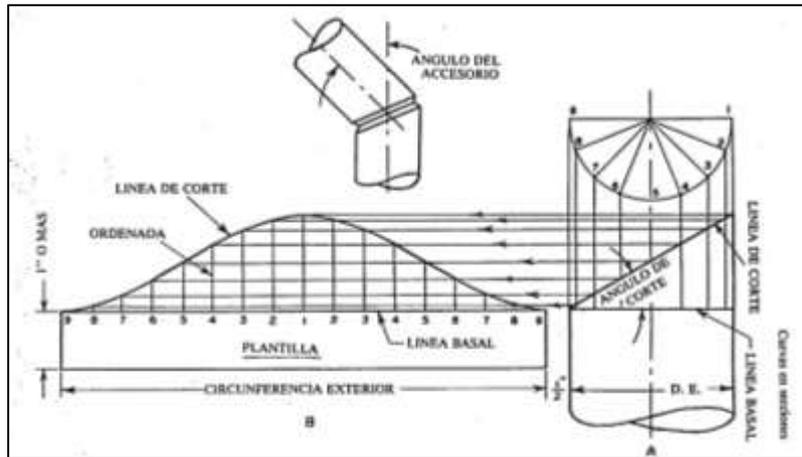
**Figura 15-3:** Radio mínimo de doblado sugerido, doblado por arrastre

Fuente: (Groover, 2015)

### 3.4.4 Preparación de tubos (Boca de pescado)

Para los acabados de cada miembro estructural se utilizará plantillas que permitan realizar los cortes de bocas de pescado a cada elemento, para su posterior unión con las respectivas partes. Se tiene en cuenta que dichas plantillas se consideran patrones utilizados para la fabricación de elementos soldables a partir de un tubo, estas plantillas por lo general se diseñan en papel de

dibujo, dependiendo el material que se utilice se recomienda la utilización de plantillas de lámina metálica siguiendo los lineamientos expuestos por (Arriaga Horna, 2015).



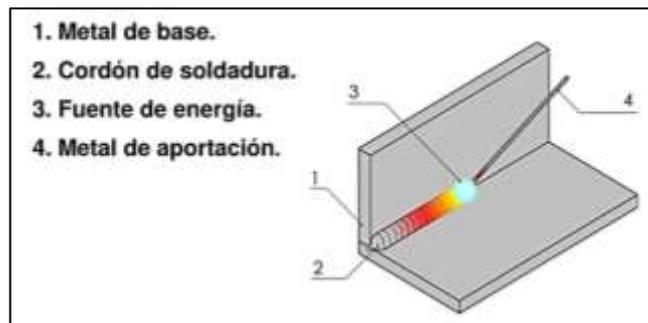
**Figura 16-3:** Esquema de plantilla para corte de tubo boca de pescado

Fuente: (Arriaga Horna, 2015)

Al aplicar este método se pueden obtener plantillas en secciones que permitan diseñar las bocas de pescado en cada tubo considerando diferentes tamaños de tubo o cualquier pieza que requiera este tipo de cortes, determinando que el número de las divisiones del semicírculo y de su línea basal en la respectiva plantilla como se refleja en la figura anteriormente expuesta, dependerá del tamaño del tubo a utilizar, teniendo en cuenta que los tubos de mayor dimensión necesitarán mayor número de divisiones siendo de esta forma más exacta la plantilla.

### 3.4.5 Soldadura

En cuanto a la soldadura es considerado un procedimiento que se utiliza en la fabricación, el cual consiste en la unión de dos materiales habitualmente metales o termoplásticos, logrado por medio de la fusión, en donde las piezas de trabajo se funden y permitiendo agregar el material de relleno fundido, el cual al momento de enfriarse se transforma en un punto de unión fija, como se indica en la figura.



**Figura 17-3:** Cordón de soldadura

Fuente: (Jaramillo, 2019)

#### 3.4.5.1 *Suelda MIG*

Para la unión de elementos de la estructura se emplea el procedimiento de soldadura MIG el cual se realiza mediante arco eléctrico que se aplica entre un alambre metálico continuo (electrodo) y la zona o elemento de trabajo, en este proceso la protección de arco se logra por medio de un gas administrado externamente (Jaramillo, 2019).

Dentro del sistema de soldadura MIG, se puede identificar diversas características favorables en el trabajo con aceros estructurales las cuales en relación con (Jaramillo, 2019), se puede determinar en los siguientes:

- La visibilidad del arco para el operador siempre se encuentra presente.
- Tanto la pistola, así como los cables de soldabilidad presentan un peso ligero, permitiendo fácil manipulación.
- Este sistema brinda características versátiles a diferencia de otros sistemas.
- Una deposición rápida.
- Presenta un rendimiento elevado.
- Posibles procesos de automatización.

Dentro de la implementación de este procedimiento para el proceso de soldabilidad cabe destacar las respectivas características con las que cuenta el equipo de soldadura por arco metálico y gas que se extrajo de (INDURA GrupoAIR PRODUCTS, 2018), por lo que se considera la utilización del equipo de suelda MIG, marca Indura, modelo Amigo 263, el cual cumple con las especificaciones requeridas tanto para la construcción como para la implementación del material de aporte (electrodo).

#### 3.4.5.2 *Criterios de selección del electrodo.*

Para la selección correcta del material de aportación (electrodo), se debe tomar en consideración que el electrodo cuente con características mayores o iguales a las del material tubular, tomando en cuenta el tubo de acero estructural seleccionado.

Tomando en cuenta estas consideraciones se procede a la selección del material de aportación el cual es un alambre 70S-6, el cual se especifica como un alambre de acero sólido al carbono, este brinda propiedades óptimas de soldabilidad, quedando el depósito casi libre de algún tipo de escoria, con un alto nivel de poder desoxidante, utilizado principalmente con CO<sub>2</sub>, de acuerdo a (INDURA GrupoAIR PRODUCTS, 2018), dentro de las aplicaciones más habituales de este material tenemos:

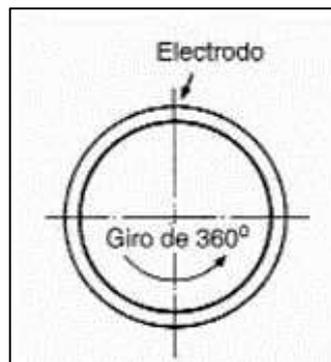
- Soldabilidad en cañerías.
- Procesos de fabricación y manufactura de carrocerías.

- fabricación de estructuras.
- Recuperación de ejes.

### 3.4.5.3 Posicionamiento y orden de soldadura

Una vez asignado el equipo y material se soldadura es recomendable seguir una secuencia con el fin de lograr que la estructura cuente con una soldadura optima, para lo cual se determina el siguiente procedimiento de soldado:

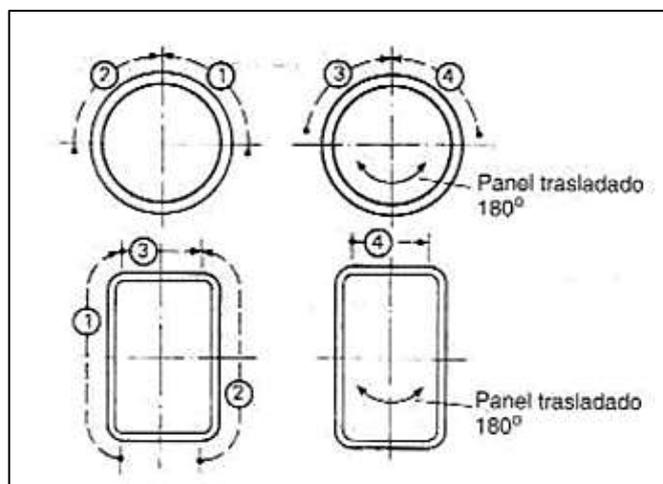
1. Cuando se trabaja en una sección tubular, se recomienda que la soldadura se la realice hacia abajo, girando a la sección progresivamente 360°.



**Figura 18-3:** Soldadura circular a 360°

Fuente: (Andrade Álvarez & Jaramillo Madrid, 2009)

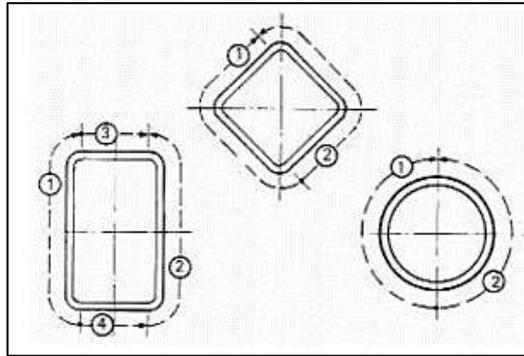
2. Cuando se refiere a una soldadura vertical de 180°, el procedimiento de suelda se lo realiza en la parte superior, posteriormente la sección es girada 180°, hasta que sea completada toda la sección.



**Figura 19-3:** Soldadura vertical a 180°

Fuente: (Andrade Álvarez & Jaramillo Madrid, 2009)

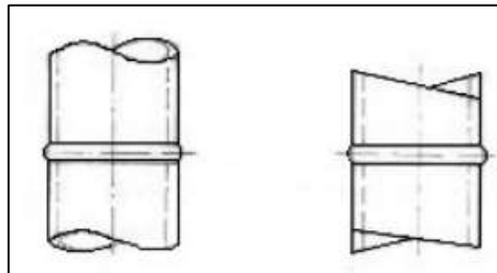
3. Cuando no se permite girar los tubos, se aplica la soldadura vertical de tipo ascendente siguiendo la secuencia que se indica en la imagen.



**Figura 20-3:** Soldadura de tipo vertical ascendente

Fuente: (Andrade Álvarez & Jaramillo Madrid, 2009)

4. Es aplicado este procedimiento cuando el elemento estructural se encuentra en una posición vertical y carece de movilidad se suelda horizontalmente, y de la misma forma si el elemento se encuentra horizontal la soldadura se aplica verticalmente.



**Figura 21-3:** Soldadura horizontal

Fuente: (Andrade Álvarez & Jaramillo Madrid, 2009)

#### 3.4.5.4 *Punteo de la soldadura*

El criterio se enfoca en un procedimiento de suelda corta realizada para la unión previa de los miembros estructurales, generando una unión temporal preliminar a la soldadura final para el montaje de la estructura. Se debe considerar que el espesor que debe poseer la garganta del punteo se soldadura debe estar en referencia con la posición de la raíz, garantizando de esta manera la unión optima, presentando limpieza en la raíz de soldadura, para obtener una adecuada fusión en el cordón de la raíz los respectivos extremos de los puntos de la soldadura se deben encontrar perfectamente realizados.

Este proceso de punteo preliminar se debe ejecutar con demasiado cuidado debido a que los puntos de soldadura se transforman en parte de la soldadura final, debido a esto los técnicos

soldadores deben contar con una calificación especial en la realización de este tipo de punteo en soldadura.

#### 3.4.5.5 *Inspección de soldaduras*

Dentro de las diferentes uniones soldadas que presenta una estructura tubular de acero se puede verificar mediante diferentes técnicas, tanto con ensayos destructivos como no destructivos, por lo que teniendo en cuenta el factor económico el alcance de las inspecciones a estas uniones soldadas, sería mínimo.

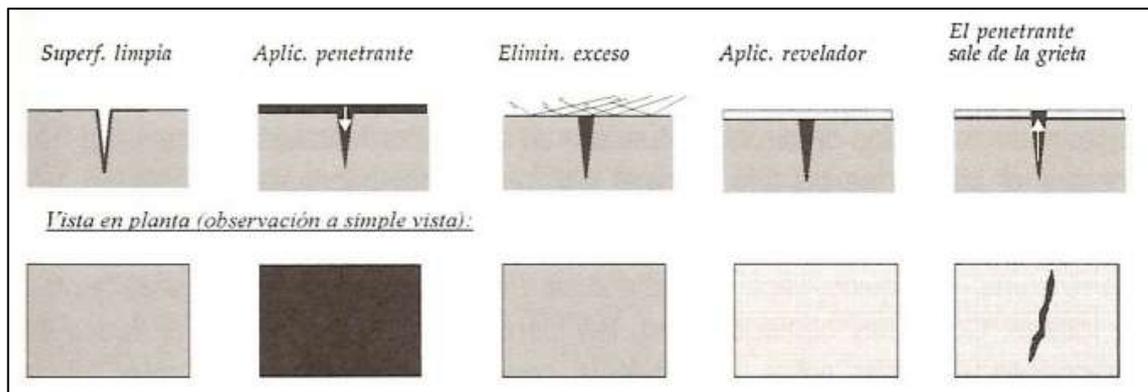
Los ensayos no destructivos parten de una inspección visual a la costura de cada unión soldada, antes durante y después de culminar la soldadura, por lo que se recomienda verificar el ángulo de inclinación entre los miembros estructurales, la uniformidad de los bordes a soldar, su distancia de alineación de cada caray la eliminación de escoria.

El ensayo con líquidos penetrantes permite comprobar fallos en el cordón de soldadura, determinando el estado de esta, lo que permitirá realizar las respectivas correcciones de suelda con el objetivo de conseguir un acabado óptimo, y comprobar las siguientes consideraciones:

- Rupturas
- Porosidad
- Inclusiones de solidos
- Laminaciones
- Resocavados
- Relaminacion
- Falta de fusión

Este tipo de ensayos no destructivos con líquidos penetrantes conservan la integridad de la unión soldada, dando paso a la evaluación de la suelda sin que sufran ninguna alteración en la estructura. Este tipo de ensayos permite detectar defectos en la superficie, este método consiste en la utilización de tres tipos de líquidos en diferentes fases, como primer liquido aplicable es un removedor, después del tiempo especificado se aplica el líquido penetrante para finalmente mediante un rociador se aplica el líquido revelador.

El desarrollo de este procedimiento se enfoca en la aplicación del líquido sobre la zona de soldadura previamente limpiada, penetrando en las discontinuidades que se presentan en el área de soldadura a causa del efecto capilar, que al momento de limpiar el excedente de líquido se revela solamente las áreas pintadas que representa la discontinuidad del material de soldadura, que con la ayuda de líquido revelador estas áreas defectuosas queda a la visibilidad del técnico soldador, para su posterior corrección.



**Figura 22-3:** Fundamento del ensayo por líquidos penetrantes.

Fuente: (Groover, 2015)

En la figura 46-3, se puede tener la concepción del esquema que se produce al aplicar estos líquidos, por lo que el campo de aplicación normalmente se enfoca en la inspección de metales no ferromagnéticos, por lo que su procedimiento resulta favorable, generando un grado de complejidad bajo, y evitando la utilización de equipos complejos o costosos.

### 3.4.6 *Secuencia de ensamblaje de la estructura*

En relación a la metodología seleccionada para la construcción del chasis, el ensamblaje consiste en posicionar cada miembro estructural después de haber pasado por el procedimiento tanto de medición como de construcción, de forma sistemática que cumplan con el acople de las bocas de pescado en cada punto de unión de la estructura, siguiendo el plano del diseño y las recomendaciones de posicionamiento, y progresivamente ir acoplado mediante la aplicación de solda, los miembros estructurales que conforman la estructura principal como los refuerzos delantero y posterior, los elementos que conforman la jaula antivuelco, elementos delanteros de arriostamiento, miembros de impacto lateral y sus respectivos travesaños laterales así como cada soporte aéreo, cumpliendo con el procedimiento especificado logrando el objetivo de obtener la estructura final, para lograr la objetivo planteado del ensamblaje del chasis se rige bajo el siguiente diagrama que representa la secuencia de ensamblaje de cada miembro estructural.



**Gráfico 12-3:** Secuencia de ensamblaje de miembros estructurales

**Fuente:** (Ñeco Caberta & Silva Aceves, 2019).

Siguiendo la secuencia de ensamblaje planteada, se debe seleccionar el método adecuado para el montaje, las cuales facilitaran los procesos de soldadura y acoplamiento de cada miembro estructural, por lo que se toma en cuenta diferentes sistemas de montaje, entre los cuales se puede especificar los siguientes:

- método de montaje mediante un armazón con apoyos, dichos apoyos sujetan las respectivas barras de la celosía, ubicándolas en las posiciones correctas, una respecto a la otra.
- La aplicación de la losa para el marcado permite marcar de manera sencilla en el piso de hormigón del taller, este método es utilizado cuando el procedimiento no justifica la construcción de armazones para el montaje.
- El entramado con rotación, este método permite sujetar adecuadamente los miembros estructurales en las posiciones establecidas, para su correspondiente soldadura y permitiendo la rotación de forma conjunta del elemento alrededor de la respectiva línea de giro.

La selección del método de montaje es seleccionada en relación con la cantidad de unidades a construir, así como el grado de precisión en la manufactura de la estructura dependiendo el nivel del proyecto.

### 3.5 Planificación o cronograma de actividades

**Tabla 6-3:** Planificación y cronograma del desarrollo del proyecto

Actividades	Tiempo estimado (en semanas)	Responsable	Fecha de inicio	Fecha de fin
Revisión bibliográfica de aspectos técnicos y teóricos del tema planteado.	SEMANA 1	Estudiantes	09/11/20	13/11/20
Analizar y plantear la metodología a utilizar.	SEMANA 2	Estudiantes	16/11/20	20/11/20
Estudio de campo de los materiales existentes en el mercado ecuatoriano para la selección del material.	SEMANA 3	Estudiantes	23/11/20	27/11/20
Aplicación de la metodología (método multicriterio) para el cálculo y selección del material adecuado.	SEMANA 4	Estudiantes.	30/11/20	04/12/20
Ampliación de la revisión bibliográfica para consideraciones técnicas.	SEMANA 5	Estudiantes.	07/12/20	11/12/20
Diseño y modelación del chasis por medio de SolidWorks.	SEMANA 6	Estudiantes.	14/12/20	18/12/20
Diseño y modelación del chasis por medio de SolidWorks.	SEMANA 7	Estudiantes.	21/12/20	25/12/20
Diseño y simulación del chasis por medio del software ANSYS.	SEMANA 8	Estudiantes.	28/12/20	01/01/21
Revisión de los avances del proyecto juntamente con el tutor y asesor.	SEMANA 9	Tutor/Asesor.	04/01/21	08/01/21
Adquisición de materiales para la construcción.	SEMANA 10	Estudiantes.	11/01/21	15/01/21
Construcción del chasis	SEMANA 11	Estudiantes.	18/01/21	22/01/21
Acabados finales del chasis	SEMANA 12	Estudiantes.	25/01/21	29/01/21
Desarrollo de la documentación del proyecto.	SEMANA 13	Estudiantes	01/02/21	05/02/21
Revisión de los avances del proyecto	SEMANA 14	Tutor/Asesor	08/02/21	12/02/21
Finalización y corrección de ortografía del documento final del proyecto.	SEMANA 15	Estudiantes,	15/02/21	19/02/21
Revisión del trabajo final de titulación y preparación de la defensa.	SEMANA 16	Estudiantes/tutor y asesor.	22/02/21	26/02/21

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

### 3.5.1 Cronograma de diseño y manufactura

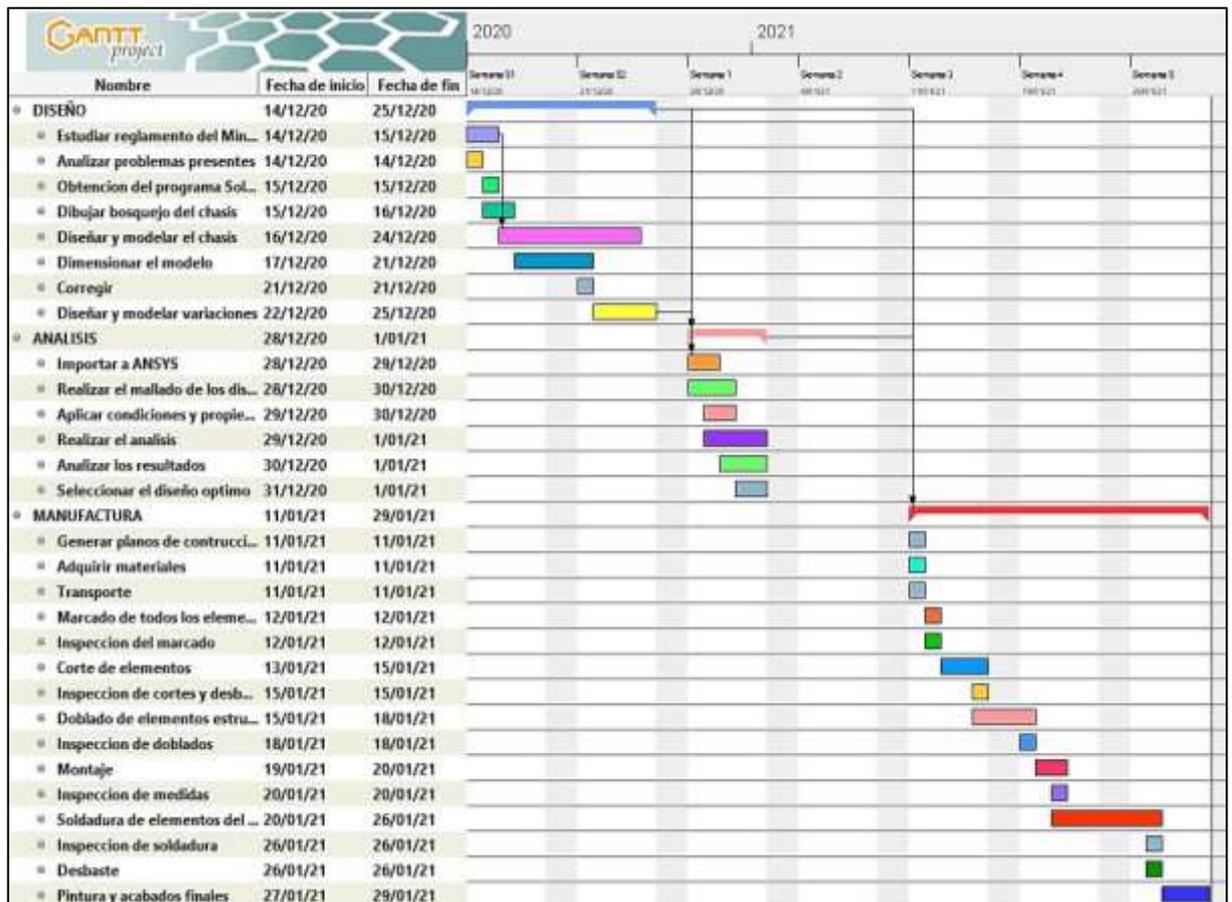


Figura 23-3: Cronograma del proceso de manufactura

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

### 3.6 Recursos y materiales

Al analizar las especificaciones de construcción y aplicando las respectivas metodologías se determinó los recursos, así como los materiales a utilizar en el proceso de construcción, con el fin de lograr los objetivos especificados, estos materiales se indican en la siguiente tabla.

#### 3.6.1 Materiales

Con el fin de cumplir los objetivos establecidos se requiere de la adquisición y utilización de los siguientes recursos materiales

**Tabla 7-3:** Lista de materiales de construcción

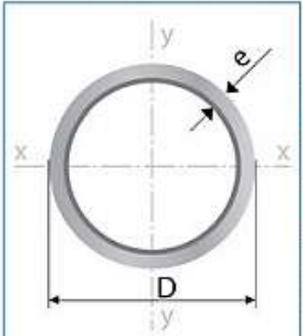
MATERIALES	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Tubo de acero estructural ASTM A36	8
Alambre de soldadura 70S-6	2
Disco de corte y desbaste	2
Pintura antioxidante	2
Hojas de lija	4

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Dentro de los materiales especificados, es necesario describir las características que presentan los materiales de mayor importancia, los cuales se relacionan de forma directa a la construcción del chasis, entre estos se determina el tubo de acero, así como el material de aportación en el proceso de soldadura, cuyas características permiten la mejor manipulación de estos materiales.

### 3.6.1.1 Acero estructural ASTM A36

Al obtener los resultados de la aplicación del método multicriterio, en el cual posicionan al acero ASTM A36 en la tercera ubicación de calidad, sin embargo al determinar la restricción de material, aplicando el “Algoritmo de selección de material”, se pudo observar que las dos primeras posiciones no cumplen con dicho algoritmo, presentando factores externos de obtención, como la disponibilidad en el mercado ecuatoriano y sus costos de obtención, por lo que restringe de forma directa la utilización de estos aceros, dejando como opción la utilización del material ubicado en la tercera posición el cual corresponde al acero ASTM A36, el cual satisface las necesidades tanto de optimización como de cumplimiento satisfactorio al algoritmo mencionado. y se rige bajo las normativas de fabricación NTE INEN 2415 y ASTM A 500 y presenta las siguientes características.



Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas		
D	e			Flexión		
D	e	A	P	I	W	i
pulg.	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
1	25,40	1,06	0,83	0,76	0,60	0,85
		1,13	0,88	0,81	0,64	0,85
		1,33	1,05	0,93	0,74	0,84
		1,47	1,15	1,01	0,80	0,83

**Gráfico 13-3:** Características del acero ASTM A36

Fuente: (DIPAC, 2020)

El acero ASTM A 36 al ser considerados para trabajos dentro del área automotriz, para procesos de manufactura de autopartes, carrocería, guardachoques, remolques, tubos de escape, entre otros es seleccionado para la construcción del prototipo de chasis, este acero presenta varios beneficios entre los cuales tenemos:

- Duración: al utilizar este acero en la construcción del chasis, asegura una larga vida útil, superando en gran porcentaje a los diferentes tipos de acero de construcción convencionales.
- Economía: al ser considerado un material de uso industrial, su uso se optimiza generando un ahorro considerable, debido a la facilidad y rapidez de su armado, disminuyendo tiempo y personal.
- Ecológico: con la utilización de este acero para procesos de manufactura, se reduce en gran parte la utilización de madera y por ende su desecho, generando una conservación al medio ambiente.

### 3.6.1.2 Alambre de soldadura 70S-6

En relación con el material de aporte para la soldadura MIG, se especifica las propiedades en la siguiente tabla:



**Figura 24-3:** Alambre de soldadura 70S-6

Fuente: (INDURA GrupoAIR PRODUCTS, 2018)

**Tabla 8-3:** Propiedades del electrodo 70S-6

<b>Composición química del alambre</b>			
C 0.08% - Mn 1.44% - Si 0.86% - P 0.012% - S 0.014% - Cr 0.02% - Ni 0.04% - Mo 0.003% - V 0.005% - Cu 0.20%			
<b>Características típicas del alambre según norma AWS: A5.18/A5.18-05</b>			
Resultado de pruebas de tracción con probetas de material de aporte.	Requerimientos	Energía absorbida Ch-v	Requerimientos

Resistencia a la tracción: 530 MPa Límite de fluencia: 415 MPa Alargamiento en 50mm: 31%	480 MPa 400 MPa 22%	103J a - 30°C	27J a -30°C	
<b>Amperajes recomendados</b>				
Diámetro (mm)	Voltaje (V)	Amperaje (A)		Flujo CO2 (Lts/min)
		Min.	Max.	
0.8	14 – 26	60	160	7 – 12
0.9	15 – 27	90	230	8 – 12
1.2	17 - 30	130	340	12 - 14

Fuente: (INDURA GrupoAIR PRODUCTS, 2018)

Realizado por: Ortiz, Omar; Chacha, Edison, 2021

### 3.6.2 Equipos y herramientas

Al obtener los materiales y consumibles necesarios, se determina los equipos y herramientas que serán de suma importancia en el proceso de construcción, entre los cuales podemos determinar herramienta, equipos, software, entre los que se utilizara se tiene los siguientes:

**Tabla 9-3:** Equipos y herramientas para el desarrollo del proyecto

<b>HERRAMIENTAS</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>
Sierra de mano	1
Martillo de fuerza	1
Alicate	2
Escuadras	2
Flexómetro	1
<b>EQUIPOS</b>	
Laptop	1
Compresor	1
Dobladora de tubos	1
Moladora	1
Suelda MIG	1
<b>SOFTWARE</b>	
SolidWorks	1
ANSYS	1
Gantt Project	1

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Dentro de los equipos a utilizar, se especifica el equipo de soldadura el cual influye de manera directa en la construcción del chasis, permitiendo unir los elementos estructurales para cumplir el objetivo de construcción del chasis, al ser considera un equipo fundamental es importante conocer las características del equipo seleccionado,

### 3.6.2.1 *Suelda MIG*

El equipo de soldadura tipo MIG, a utilizar corresponde a la marca INDURA, con su modelo Amigo 263, dicho equipo presenta características óptimas para el proceso de construcción, dichas características se especifican en la siguiente tabla.

**Tabla 10-3:** Características técnicas de equipo de suelda MIG

Marca/Modelo	INDURA – Amigo 263	Unidades
Conexión a la red	220/400v – 3 fases	Volts.
Frecuencia	50/60	Hz
Rango de amperaje	30 - 280	Amps.
Tipo de corriente	Continua	
Ciclo de trabajo MIG	40 – 260 A	%
Fusible	25/20	Amps.
Dimensionamiento	365 x 560 x 630	mm
Peso aproximado	75	kg

Fuente: (INDURA GrupoAIR PRODUCTS, 2018)

Realizado por: Ortiz, Omar; Chacha, Edison, 2021



**Figura 25-3:** Equipo de suelda MIG Indura Amigo 263

Fuente: (INDURA GrupoAIR PRODUCTS, 2018)

Este tipo de equipo de soldadura en relación con las características expuestas brinda aportaciones favorables en el trabajo con diferentes aceros tubulares, ya que dentro del procedimiento que corresponde a la soldadura MIG, protege el metal líquido de la posible contaminación atmosférica que se presenta en el trabajo, permitiendo estabilizar el arco, debido a que este modelo de equipo es usado en el uso semi-industrial.

### 3.6.3 Recursos humanos

Al ser un proyecto de características técnicas se determina un respectivo grupo de trabajo el cual representa el talento humano que tiene objetivo de aportar conocimientos, recursos y experiencias que permitan el desarrollo óptimo del proyecto, así como la validación de cada criterio de investigación. Dicho equipo de trabajo es conformado por:

**Tabla 11-3:** Especificaciones de los recursos humanos empleados

Recurso humano	Cantidad	Especificaciones
Director o tutor de proyecto	1	Proporcionar información, directrices básicas y orientación a los estudiantes, ante cualquier duda en relación con el desarrollo del trabajo de Integración Curricular. Realizar seguimiento y monitoreo de todo el proceso de elaboración del trabajo de Integración Curricular.
Miembro o asesor	1	Proporcionar información y orientación ante cualquier duda en relación con el desarrollo del trabajo de Integración Curricular
Docente de acompañamiento	1	Contribuir con el desarrollo del proceso de ejecución de cada tipo de titulación en función a la formación académica de la carrera y definir los resultados esperados. Asesorará en el Proyecto del Trabajo de Integración Curricular.
Técnico especializado en soldadura	1	Brindará orientación en temas de soldadura especificaciones técnicas y procedimiento para lograr un proceso de soldadura adecuado, supervisando el avance hasta culminar la construcción de chasis.
Técnico asesor computacional	1	Proporcionar las herramientas digitales, para el procedimiento tanto de diseño como simulación, guiando paulatinamente en directrices para ser aplicados en el desarrollo del proyecto.
Investigadores	2	Desarrollar de forma óptima el proyecto de titulación, siguiendo los parámetros establecidos por el tutor y asesor, logrando un proyecto técnico cumpliendo con los estándares emitidos por la comisión de titulación.

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

### 3.6.4 Recursos económicos

Cabe recalcar que todos los gastos para el desarrollo del proyecto fueron financiados por nuestros propios medios.

Para la realización del proyecto se determinaron dos etapas principales, tanto el diseño/simulación, así como la etapa de construcción que cumplen rigurosamente las especificaciones y parámetros establecidos, para lo cual se establece dos tipos de costos directos e indirectos.

#### 3.6.4.1 Costos directos

Estos costos son aquellos que influyen de manera directa en el desarrollo del proyecto, por lo que son considerados los gastos de materiales, equipos, herramientas y mano de obra, detallados y especificados en las siguientes tablas.

##### – Materiales

**Tabla 12-3:** Costos de los materiales

Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Alambre de soldadura	\$15.00	2	\$30.00
Discos de corte y desbaste	\$3.0	3	\$9.00
Pintura antioxidante (Lt)	\$10.00	2	\$20.00
Tubo ASTM A36	\$10.25	8	\$82.00
Hojas de lija	\$0.50	5	\$2.50
Kit de líquidos penetrantes	\$75.00	1	\$75.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$218.50</b>

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

##### – Equipos y herramientas

**Tabla 13-3:** Costos de los equipos y herramientas

Descripción	Precio por hora	Horas/Equipo	Precio Total
Compresor	\$2.00	10	\$2.022
Dobladora de tubos	\$5.00	4	\$20.00
Herramienta menor	\$0.10	70	\$7.00
Moladora	\$0.50	12	\$6.00

Suelda MIG	\$50	20	\$30.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$83.00</b>

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

– **Mano de obra**

**Tabla 14-3:** Costos empleados en mano de obra

Descripción	Precio por hora	Horas trabajadas	Precio Total
Técnico en soldadura	\$5.00	10	\$50.00
Técnico computacional	\$6.00	5	\$30.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$80.00</b>

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

3.6.4.2 *Costos indirectos*

Dichos costos se refieren a los gastos que no intervienen de manera directa en el desarrollo del proyecto, sin embargo, son considerados fundamentales, donde se pueden determinar los gastos imprevistos, detallados en las siguientes tablas.

– Transporte de materiales

**Tabla 15-3:** Costos empleados para el transporte de materiales

Descripción	Precio de transporte	Cantidad	Precio Total
Alambre de soldadura	\$0.50	1	\$0.50
Discos de corte y desbaste	\$0.50	1	\$0.50
Pintura antioxidante	\$0.50	1	\$0.50
Tubo ASTM A36	\$4.00	1	\$4.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$5.50</b>

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

– Instalación e optimización de software

**Tabla 16-3:** Costos empleados en criterios de software

Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Formatear computadora	\$8.00	1	\$8.00
Instalación de SolidWorks	\$5.00	2	\$10.00

Instalación de ANSYS	\$5.00	1	\$5.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$23.00</b>

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

### 3.6.4.3 Costo total del desarrollo del proyecto

Para determinar los costos totales del desarrollo del proyecto se considera tanto los costos directos, así como los costos indirectos, lo que representa el presupuesto total invertido, los cuales se especifican a continuación:

**Tabla 17-3:** Análisis de costos directos e indirectos

<b>COSTOS TOTALES</b>	
<b>COSTOS DIRECTOS</b>	
Materiales	\$218.50
Equipos y herramientas	\$83.00
Mano de obra	\$80.00
<b>Total de costos directos</b>	<b>\$381.50</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	
Transporte de materiales	\$5.50
Instalación y optimización de Software	\$23.00
<b>Total de costos indirectos</b>	<b>\$28.50</b>
<b>TOTAL DE COSTOS</b>	<b>\$410.00</b>

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Se concluye que el costo total para el correcto desarrollo y construcción del chasis tubular para un vehículo prototipo mini todoterreno, llega a un monto de 410 \$.

## 3.7 Desarrollo del proyecto

### 3.7.1 Aplicación de métodos multicriterio

#### 3.7.1.1 Método COPRAS

La aplicación de método, considera y analiza las alternativas por medio de la sumatoria del valor normalizado que corresponde a cada criterio por su peso respectivo, este método puede ser aplicado a criterios que se pretenda maximizar o minimizar, teniendo en consideración esto se

detalla el procedimiento utilizado para cumplir con el objetivo, partiendo de la construcción de la matriz , la cual anticipa las alternativas que involucran la selección de criterios (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020).

1. Para obtener la matriz de decisión normalizada se parte de la utilización de la ecuación

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (6)$$

- Donde  $r_{ij}$  representan los valores de la matriz normalizada

En relación con el cálculo para la matriz de peso normalizada, es aplicado por medio de ponderaciones de la forma  $V_{ij}$ , respecto a las ecuaciones 7 y 8 (Salazar Loor, Martinez Gómez, Rocha Hoyos, & Llanes Cedeño, 2019).

$$V_{ij} = r_{ij}xw_j \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (7)$$

$$r_{ij} = \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (8)$$

- Donde  $w_j$  representa el peso de los  $j^{esimos}$  criterios.

2. Posteriormente se determina la matriz de peso normalizado D, esto se refiere a la suma de todos los valores normalizados correspondientes al peso de forma adimensional, considerando que en cada criterio comúnmente es igual al peso como cada criterio (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, Análisis del material del habitáculo de seguridad de un vehículo liviano por método multicriterio, 2020), como en la ecuación 9.

$$D = [y_{ij}]r_{ij} * w_j \quad (9)$$

- Donde  $r_{ij}$  corresponde “al valor normalizado de la  $i^{esimos}$  alternativas sobre el  $j^{esimos}$  criterio y  $w_j$  representa el  $j^{esimos}$  criterio” de acuerdo con (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, Análisis del material del habitáculo de seguridad de un vehículo liviano por método multicriterio, 2020).

3. Se procede a la realización de una sumatoria de los atributos que posee la matriz de decisión, determinando los criterios beneficiosos y no beneficiosos, por medio de la aplicación de las ecuaciones 10 y 11.

$$S_{+i} = \sum_{i=1}^m y + ij \quad (10)$$

- Donde  $y + ij$ , representan “un valor para un criterio beneficioso y  $S_{+i}$  determina la suma de los valores de  $y + i$ ” (Salazar Loor, Martínez Gómez, Rocha Hoyos, & Llanes Cedeño, 2019).

$$S_{-i} = \sum_{i=1}^m y - ij \quad (11)$$

- $y - ij$ , determina “el valor para un criterio no beneficioso y  $S_{-i}$ , representa la suma de los valores  $y - i$ ” (Salazar Loor, Martínez Gómez, Rocha Hoyos, & Llanes Cedeño, 2019).

4. Se obtiene la respectiva prioridad relativa de cada alternativa utilizando la ecuación 12.

$$Q_i = S_{+i} + \frac{\sum_{j=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \sum_{j=1}^m \frac{1}{S_{-i}}} \quad (12)$$

- Donde  $Q_i$  representa “un valor para un criterio no beneficioso, considerando que mientras mayor es este valor, mayor es la prioridad de la alternativa”, (Salazar Loor, Martínez Gómez, Rocha Hoyos, & Llanes Cedeño, 2019).

5. Como parte final se determina el nivel de rendimiento, empleando la ecuación 13.

$$U_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} * 100 \quad (13)$$

- En donde  $U_i$  “representa el conjunto de soluciones optimas, ordenadas de mayor a menor” (Salazar Loor, Martínez Gómez, Rocha Hoyos, & Llanes Cedeño, 2019).

### 3.7.1.2 Método TOPSIS

De acuerdo con (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020), este método se enfoca en encontrar soluciones que se encuentren más cerca a la solución ideal positiva (SIP) y considerablemente más lejos de la solución ideal negativa (NIP), cumpliendo los siguientes pasos:

1. Se procede a la creación de la matriz de decisión  $n_{ij}$  mediante la aplicación de la ecuación 14.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (14)$$

2. Como siguiente paso se realiza la sincronización del peso  $w_j$  y se procede a la normalización de la matriz  $n_{ij}$  en relación con la ecuación 15.

$$v_{ij} = n_i * w_j \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (15)$$

3. Al aplicar las ecuaciones planteadas anteriormente, es importante obtener soluciones tanto positivas ( $V^+$ ) como negativas ( $V^-$ ), por medio de una matriz normalizada, utilizando las ecuaciones 16 y 17.

$$(V_1^+, V_2^+, \dots, V_n^+) = \{(j \in K), (j \in K')\} \{i = 1, 2, \dots, m\} \quad (16)$$

$$(V_1^-, V_2^-, \dots, V_n^-) = \{(j \in K), (j \in K')\} \{i = 1, 2, \dots, m\} \{i = 1, 2, \dots, m\} \quad (17)$$

- En donde  $K$  y  $K'$  son considerados “el conjunto de los índices de criterios de prestaciones y el índice para un conjunto de criterios en relación con el peso” (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020).

4. Para obtener la distancia ideal para obtener la solución es importante cuantificar, por lo que, para el cálculo de las dos distancias euclidianas para cada alternativa, se calcula utilizando las ecuaciones 18 y 19, de la misma manera se determina la proximidad relativa mediante la ecuación 20.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (18)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (19)$$

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^- - S_i^+} \quad i = 1, 2, \dots, m; 0 \leq C_i \leq 1 \quad (20)$$

### 3.7.1.3 Método VIKOR

De acuerdo con lo planteado por (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020), este método determina la solución que se encuentre más cerca de una solución ideal positiva  $S_i^+$  y de

la misma manera lo mas lejos posible de una solución ideal negativa (SI), para lo cual se procede con los siguientes pasos:

1. Se requiere determinar la matriz de decisión normalizada, calculada de forma similar al método multicriterio TOPSIS.
2. Tomando en consideración el cálculo en el método TOPSIS, aplicando el mismo procedimiento obtenemos la matriz estandarizada de pesos,
3. Se procede al cálculo de las soluciones positivas ( $f_i^+$ ) y negativas ( $f_i^-$ ), de cada criterio, similar al método TOPSIS, variando en forma y consideración, las cuales se obtiene mediante la aplicación de las ecuaciones 21 y 22.

$$A^+ = \{(max_i f_{ij} | j \in J), (min_i f_{ij} | j \in J')\} = \{f_1^+, f_2^+, \dots, f_n^+\} \quad (21)$$

$$A^- = \{(max_i f_{ij} | j \in J), (min_i f_{ij} | j \in J')\} = \{f_1^-, f_2^-, \dots, f_n^-\} \quad (22)$$

4. Se calcula los valores  $S_j, R_j, Q_j$  para cada una de las alternativas, mediante la aplicación de las ecuaciones, 23 24 y 25, respectivamente.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i \frac{f_i^+ - f_{ij}}{f_i^+ - f_{ij}^-} \quad (23)$$

$$R_j = max_i \left[ w_i \frac{f_i^+ - f_{ij}}{f_i^+ - f_{ij}^-} \right] \quad (24)$$

$$Q_j = v \frac{S_j - S^*}{S^- - S^*} + (1 - v) \frac{R_j - R^+}{R^- - R^+} \quad (25)$$

5. Como último paso planteamos ordenadamente las alternativas, de acuerdo con los valores obtenidos de S, R, y Q, de forma decreciente.

### 3.7.2 Proceso de modelamiento y diseño del chasis

Considerando que el chasis se transforma en la base estructural del vehículo mini todoterreno, en donde se ubican todos los componentes que conforman este prototipo, siendo el responsable de la respectiva unión de las cuatro ruedas, debe conformar una estructura rígida, capaz de soportar todos los esfuerzos a los cuales este chasis va a estar sometido.

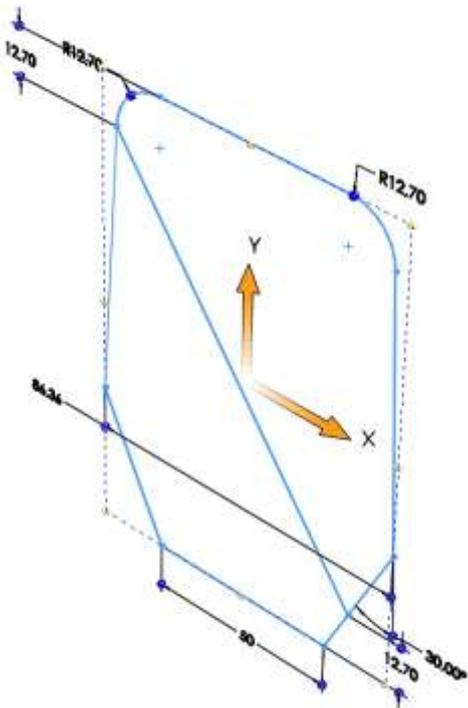
Para el modelamiento del chasis se debe considerar el peso, rigidez, así como la distribución de masas especificados anteriormente, para este procedimiento se toma en cuenta las condiciones y restricciones que presenta el reglamento de baja SAE en su versión 2019, por lo cual mediante la

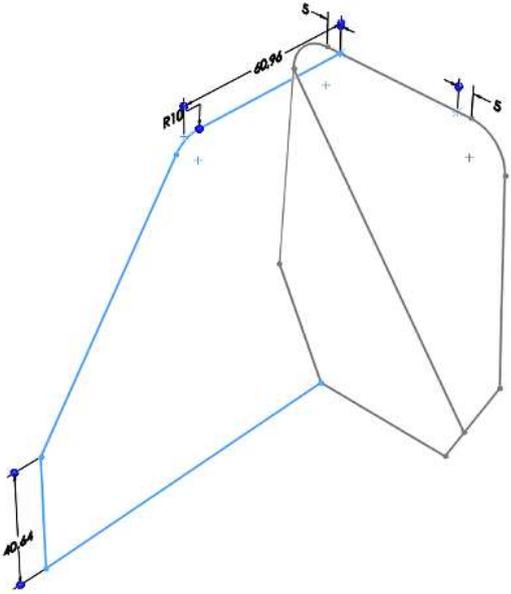
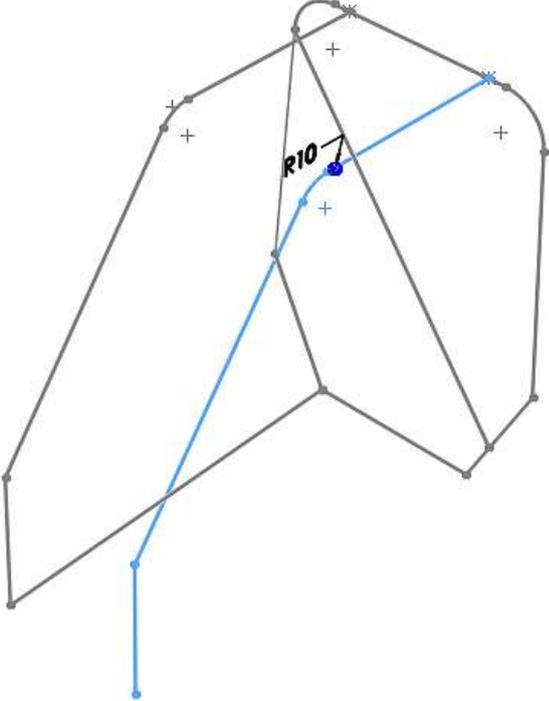
ayuda del software CAD SolidWorks, se comenzara con el diseño a partir de bocetos, considerando las medidas estándares que especifica la reglamentación, cuyo procedimiento inicia con el croquizado.

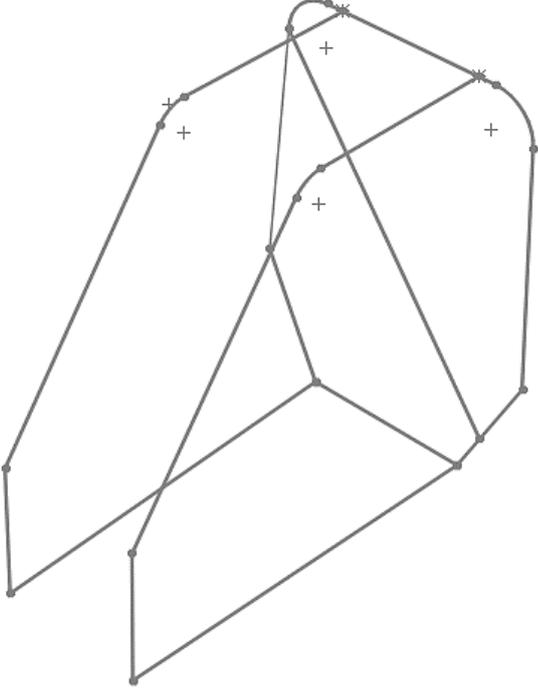
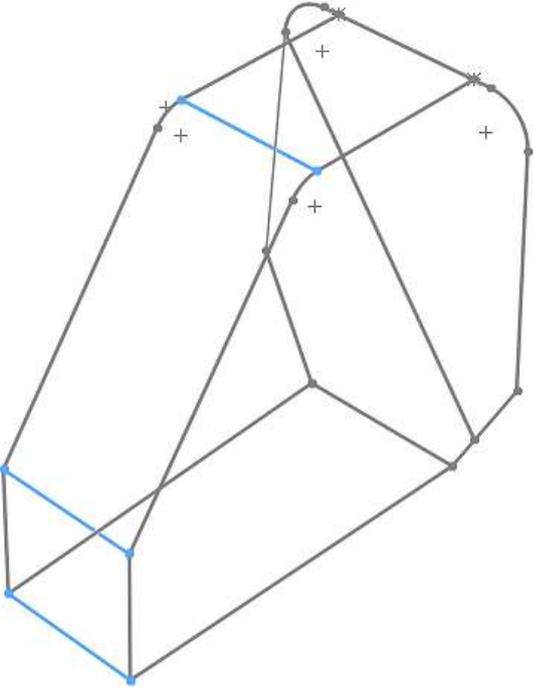
### 3.7.2.1 Croquizado del chasis

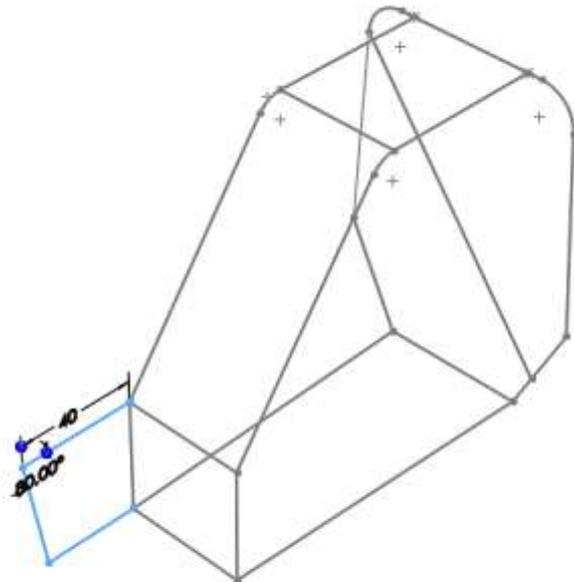
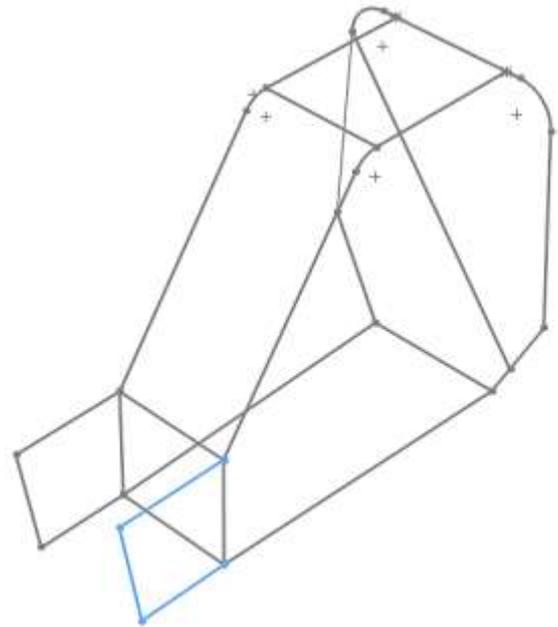
Se empieza con el procedimiento de diseño, en donde se procede a realizar bocetos en 2D, que constituyen los principales elementos estructurales, una vez realizados dichos bocetos con la respectiva separación entre planos, se genera la unión de cada croquizado mediante un boceto en 3D, este procedimiento se aplicara para las modificaciones de las variantes de diseño del chasis, siguiendo los pases detallados a continuación.

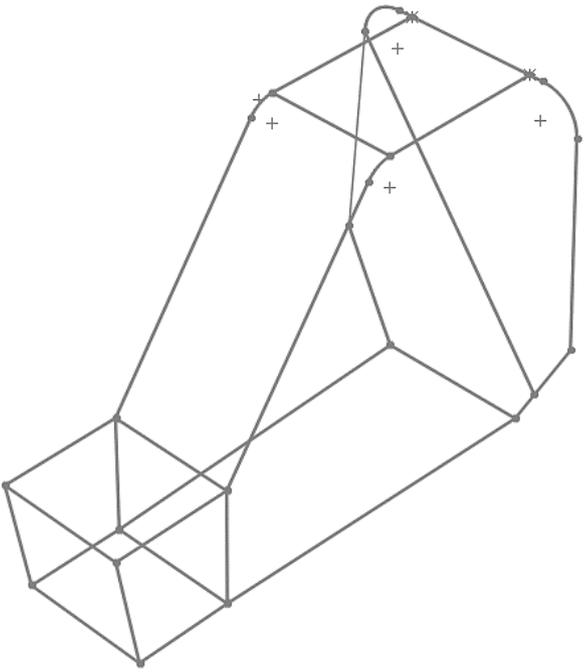
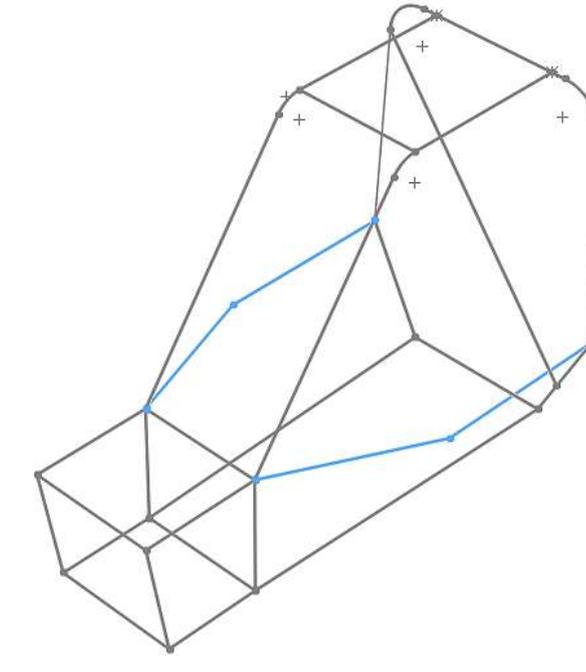
**Tabla 18-3:** Proceso de croquizado del chasis

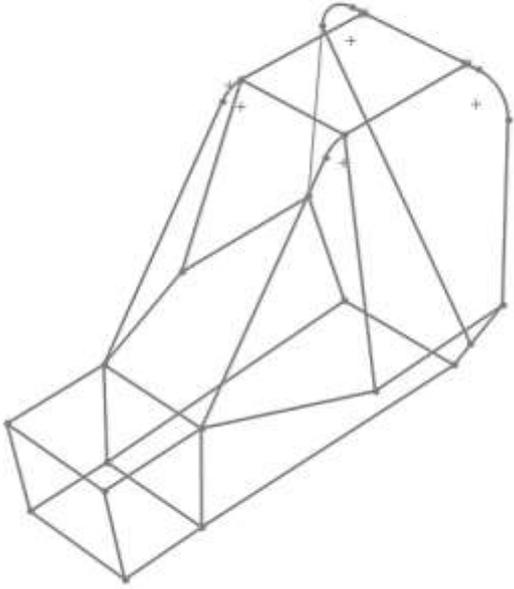
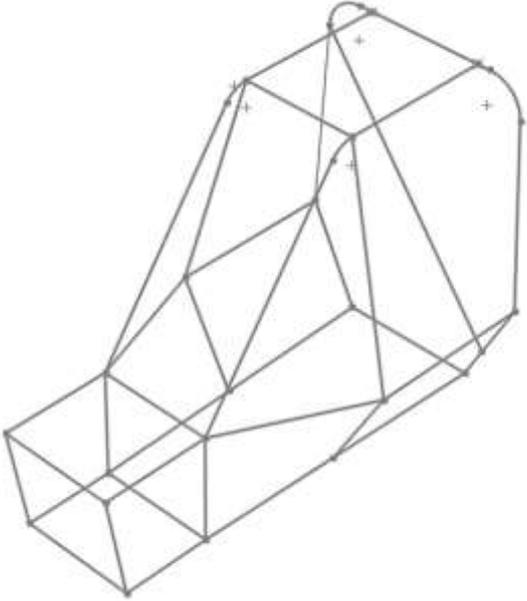
Nº	Descripción de la operación	Diseño del croquizado
1	Croquizado del roll Hoop, con las medidas establecidas por el reglamento, seccionado cada miembro estructural por planos.	 <p>The diagram shows a 3D perspective view of a roll hoop cross-section. The structure is a closed loop with several curved segments. Key dimensions are labeled: a top-left radius of R12.70, a top-right radius of R12.70, a vertical distance of 12.70 from the top-left corner to the start of the first curve, a horizontal distance of 30 from the bottom-left corner to the start of the second curve, and a vertical distance of 12.70 from the bottom-right corner to the start of the third curve. A 30.00° angle is indicated at the bottom-right corner. A coordinate system is shown with a vertical Y-axis and a horizontal X-axis.</p>

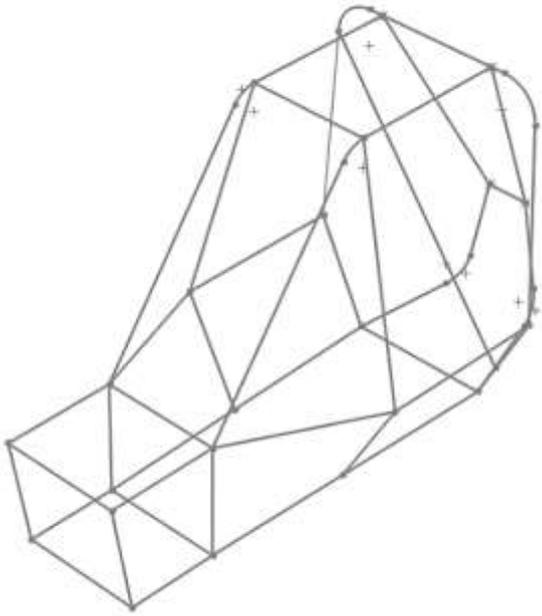
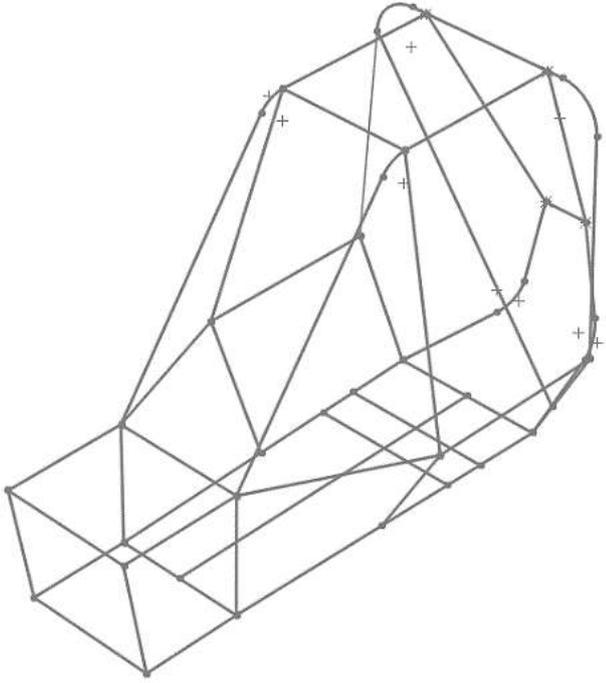
2	<p>Croquizado y dimensionamiento de los miembros estructurales soportes aéreos y los largueros del bastidor inferior.</p>	 <p>The diagram shows a truss structure with several members highlighted in blue. A dimension of 60.96 is indicated for a horizontal member at the top. Another dimension of 40.64 is shown for a vertical member on the left. The structure includes a central vertical member and various diagonal and horizontal members. There are also labels 'R10' and 'S' with arrows pointing to specific joints or members.</p>
3	<p>Croquizado y dimensionamiento de los miembros estructurales soportes aéreos y los largueros del bastidor inferior.</p>	 <p>The diagram shows a truss structure with several members highlighted in blue. A dimension of R10 is indicated for a diagonal member. The structure includes a central vertical member and various diagonal and horizontal members. There are also labels 'R10' and 'S' with arrows pointing to specific joints or members.</p>

<p>4</p>	<p>Croquis de la unión del roll hoop con los soportes aéreos y largueros del bastidor inferior</p>	
<p>5</p>	<p>Croquizado de los travesaños laterales</p>	

6	Desarrollo de la trompa con los miembros estructurales de impacto frontal	
7	Desarrollo de la trompa con los miembros estructurales de impacto frontal	

8	Unión de los miembros estructurales de impacto frontal	 <p>The diagram shows a 3D wireframe model of a structural frame. The frame consists of a rectangular base and a vertical structure on top. The top structure has a complex, multi-faceted shape. Several joints are marked with a '+' sign, indicating points of interest or connection. The overall structure appears to be a combination of a rectangular prism and a more complex, possibly curved, top section.</p>
9	Croquizado de los miembros de impacto lateral	 <p>This diagram is identical to the one in row 8, showing the same 3D wireframe model. However, a blue path is highlighted on the structure, starting from the bottom left and moving upwards and across the top section. This path likely represents the trajectory of a lateral impact or a specific structural member being analyzed.</p>

10	Unión de los miembros de impacto lateral con los miembros de impacto frontal y el roll hoop	
11	Croquizado de los miembros de impacto lateral y unión a la estructura general.	

12	Croquizado de la parte posterior de la estructura mediante travesaños laterales	 <p>Este diagrama muestra un modelo de estructura de chasis en un estado de croquizado. Se observan líneas que representan los miembros de la estructura, con algunos puntos de conexión marcados con un signo '+'. El diseño muestra una configuración de travesaños laterales que refuerza la parte posterior del chasis.</p>
13	Croquizado y unión del miembro inferior del asiento.	 <p>Este diagrama muestra el mismo modelo de estructura de chasis, pero con un miembro inferior del asiento que ha sido croquizado y unido a la estructura principal. Los puntos de unión están marcados con signos '+', indicando la integración del nuevo miembro en el sistema de estructura.</p>

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

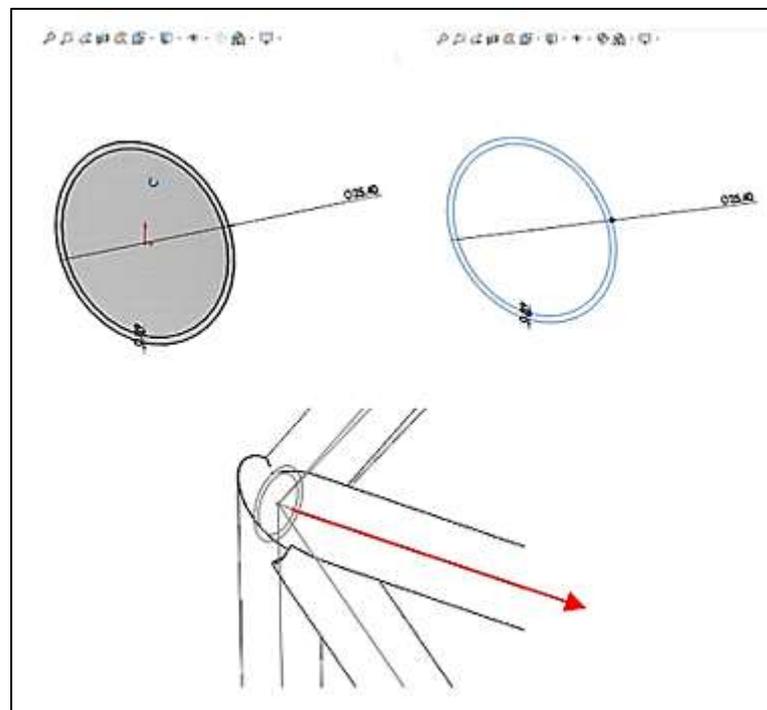
Al seguir el procedimiento determinado en la tabla 18-3, se obtiene un diseño croquizado de la propuesta de chasis, el cual mediante la aplicación del perfil tubular seleccionado se puede obtener una representación digital del diseño.

### 3.7.2.2 Aplicación del miembro estructural

Al obtener el croquizado completo del chasis en 3D, se procede a la aplicación del miembro estructural redondo o tubo, a toda la estructura.

El acero ASTM A36, es utilizado como el material del chasis, de acuerdo con cálculos y estimaciones previas, ya que cumple con las condiciones tanto de reglamentación como de optimización, y teniendo en cuenta que este material se encuentra a disposición en el mercado ecuatoriano. Al tener determinado las especificaciones del material y el tipo de perfil a utilizar, se sigue un procedimiento sistemático, con el fin de obtener el modelo final de diseño, al cual se debe aplicar un perfil estructural creado dentro de las librerías de SolidWorks y aplicar al croquizado final para lo cual se determina el siguiente procedimiento:

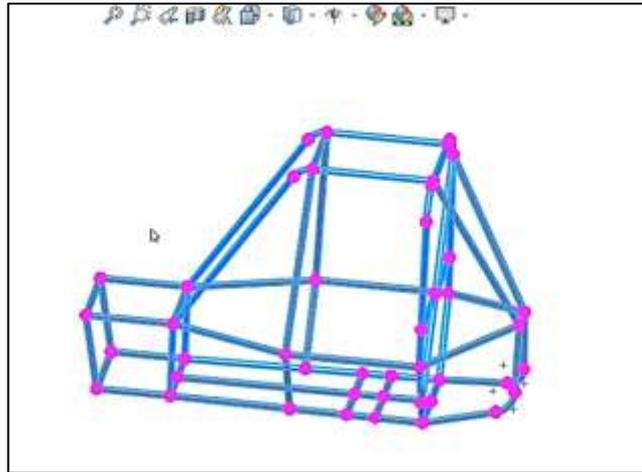
1. Dentro de la interfaz de SolidWorks, abrir un nuevo archivo, en el cual procedemos a la creación del perfil estructural requerido, croquizando y determinando las medidas de 25.4 mm x 0.89mm, dimensiones dadas por el reglamento.



**Figura 26-3:** Creación del perfil estructural

**Realizado por:** Ortiz O; Chacha E, 2021.

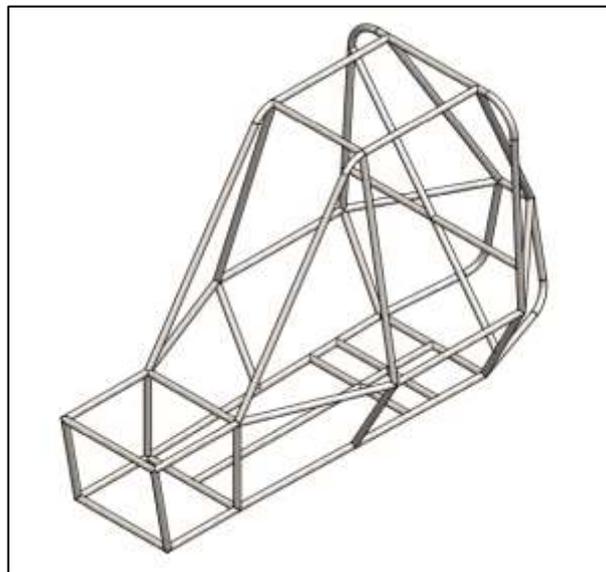
2. Una vez creado el perfil, se procede a seleccionar el apartado de piezas soldadas y la opción miembros estructurales en la interfaz de SolidWorks, se aplica el perfil estructural a cada grupo de elementos que conformar el croquizado 3D del chasis.



**Figura 27-3:** Aplicación del perfil estructural al croquizado del chasis

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

3. Una vez aplicado el perfil a toda la estructura, se obtiene el diseño final del chasis, para su posterior proceso de simulación. Mediante la exportación al software ANSYS.



**Figura 28-3:** Modelo final del diseño del chasis

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Este procedimiento se debe cumplir para realizar las variaciones a cada alternativa diferente, cumpliendo con los parámetros y dimensiones establecidas en los rangos de aceptación.

### 3.7.2.3 *Modificaciones de diseño del chasis*

Para la optimización del diseño del chasis es importante considerar ciertos aspectos para cada una de las modificaciones, entre estas tenemos la facilidad de construcción, disposición de cada

elemento estructural, donde se determina la jaula antivuelco y los elementos de impacto frontal para las modificaciones, teniendo en cuenta los rangos de dimensiones establecidas por la reglamentación del baja SAE, los cuales permiten la estabilidad de la estructura. La disposición del chasis debe estar bajo los rangos de ergonomía, por lo cual los principales cambios entre los diseños se representa en la siguiente tabla:

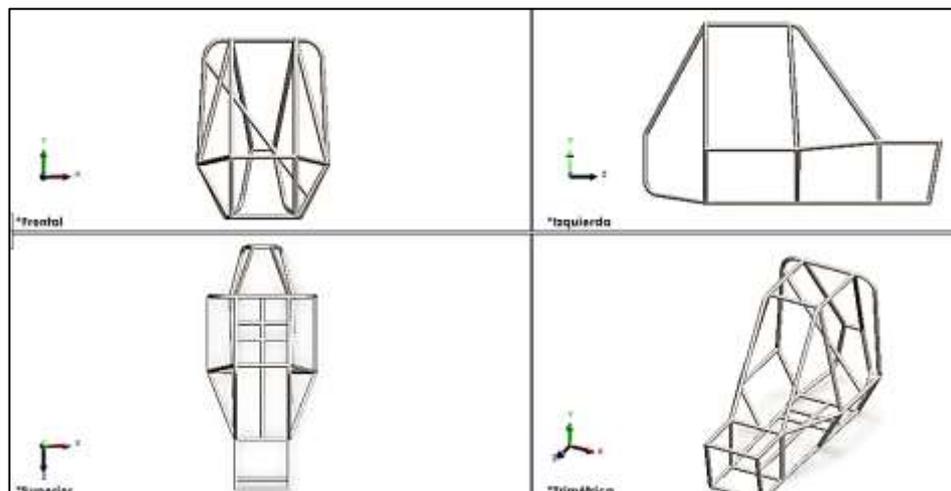
**Tabla 19-3:** Representación de variantes en las mediciones de los diseños

	Diseño estándar	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 4	Diseño 5	Diseño 6	Diseño 7
Longitud de nariz	40 cm	25 cm	30 cm	-	-	-	-
Altura de la nariz	40.64 cm	-	-	36 cm	44 cm	-	-
Longitud de jaula antivuelco	60.96 cm	-	-	-	-	62 cm	55 cm

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

– *Primer diseño CAD del chasis*

La primera propuesta del diseño de chasis, se considera un diseño estándar debido a que el dimensionamiento se lo realizó bajo los lineamientos específicos de la reglamentación del baja SAE, que tienen como objetivo un diseño compacto y ergonómico.

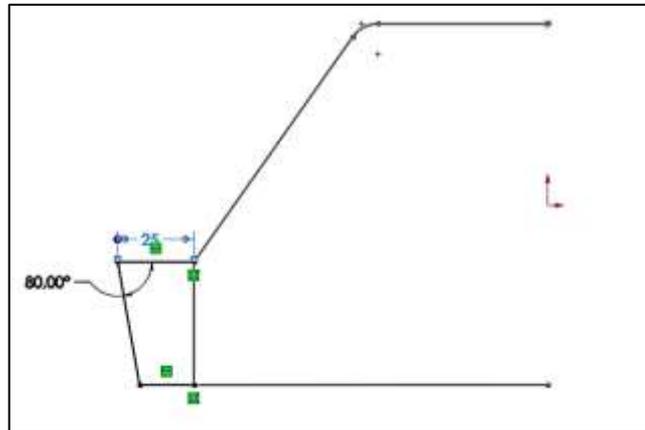


**Figura 29-3:** Vista general de las variantes de diseños del chasis

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

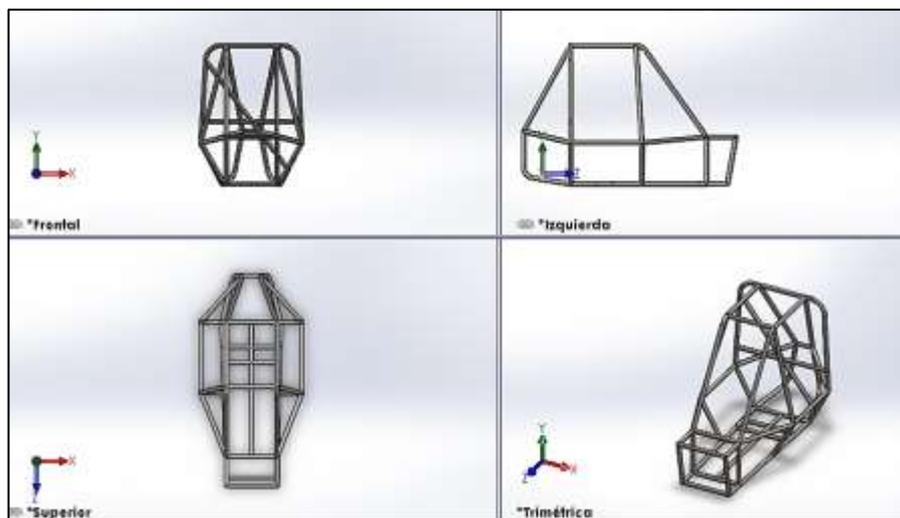
– Segundo diseño CAD del chasis

Esta propuesta fue diseñada con la modificación afectando a los miembros de impacto frontal, cumpliendo con el rango de medidas que especifica el reglamento, sin tomar en consideración aspectos de seguridad, teniendo un modelo con características de vulnerabilidad a impactos frontales, determinando una longitud de 25 cm a los miembros estructurales frontales superiores.



**Figura 30-3:** Croquisado de la variación del diseño 2

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021



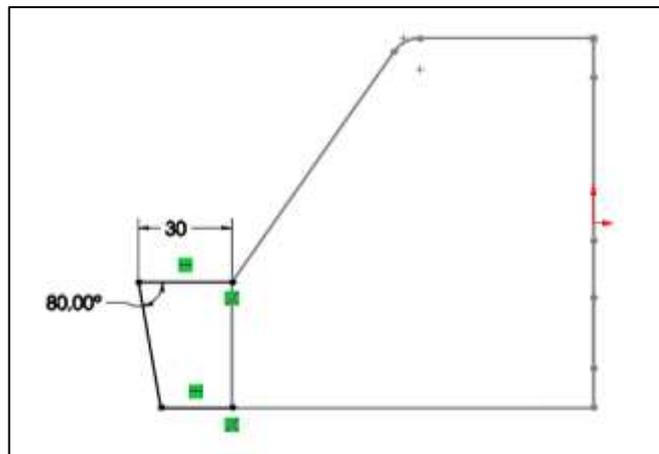
**Figura 31-3:** Vistas y perspectiva del diseño 2

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

– Tercer diseño CAD del chasis

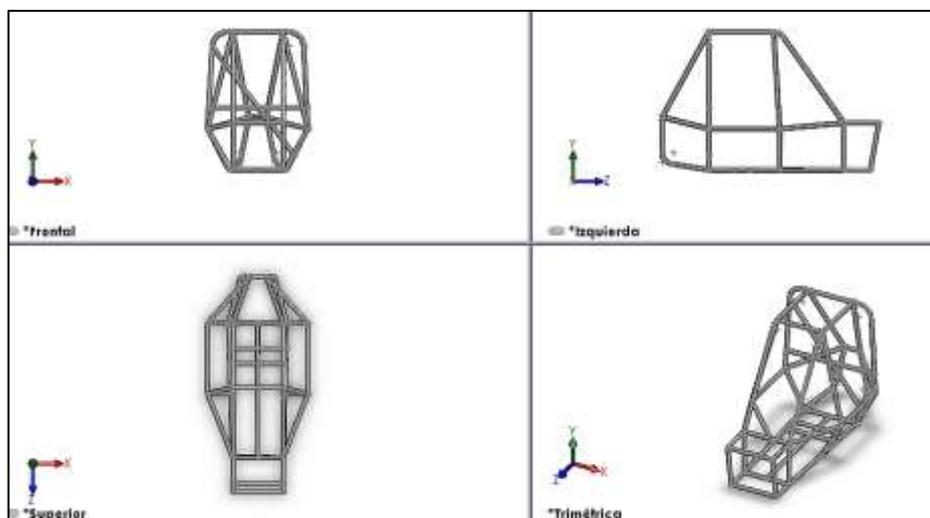
La tercera propuesta de diseño se determinó de la misma manera bajo el rango de medidas establecidas por el reglamento, tomando en consideración el mismo elemento estructural del

segundo diseño, pero aumentando su longitud a 30 cm, sin alterar la estructura general, presentando cierto grado de vulnerabilidad a impactos frontales.



**Figura 32-3:** Croquizado de la variación del diseño 3

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

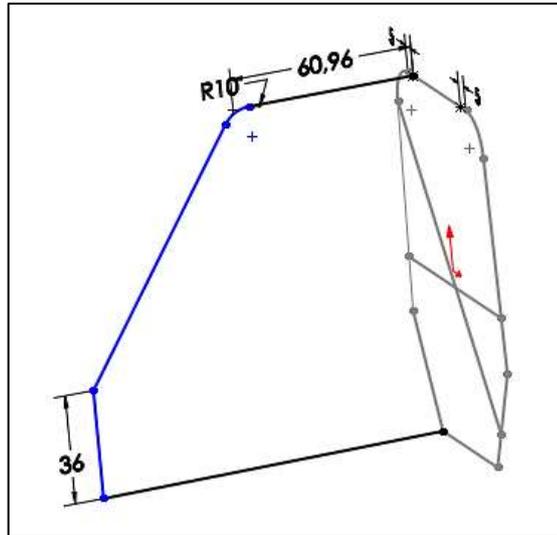


**Figura 33-3:** Vistas y perspectiva del diseño 3

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

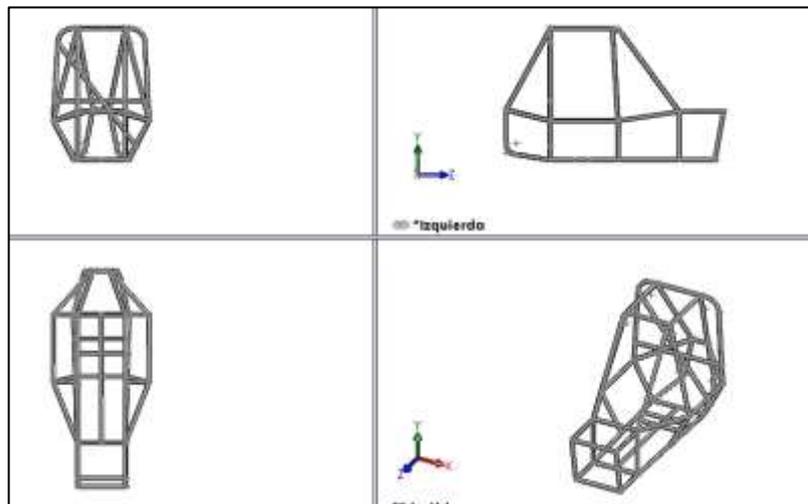
– *Cuarto diseño CAD del chasis*

La principal variación de esta propuesta modifica los elementos estructurales frontales, conservando las dimensiones de longitud del diseño estándar y modificando la altura de la nariz del chasis, a una altura de 36 cm, dicha medida se encuentra bajo el rango establecido por la reglamentación, alterando la ergonomía frontal del chasis.



**Figura 34-3:** Croquizado de la variación del diseño 4

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

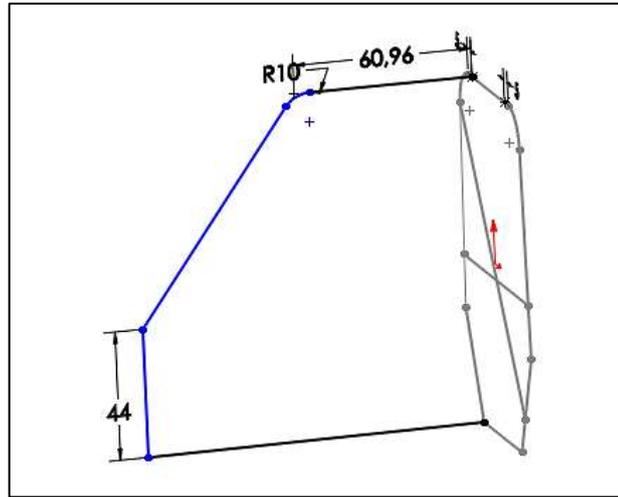


**Figura 35-3:** Vistas y perspectiva del diseño 4

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

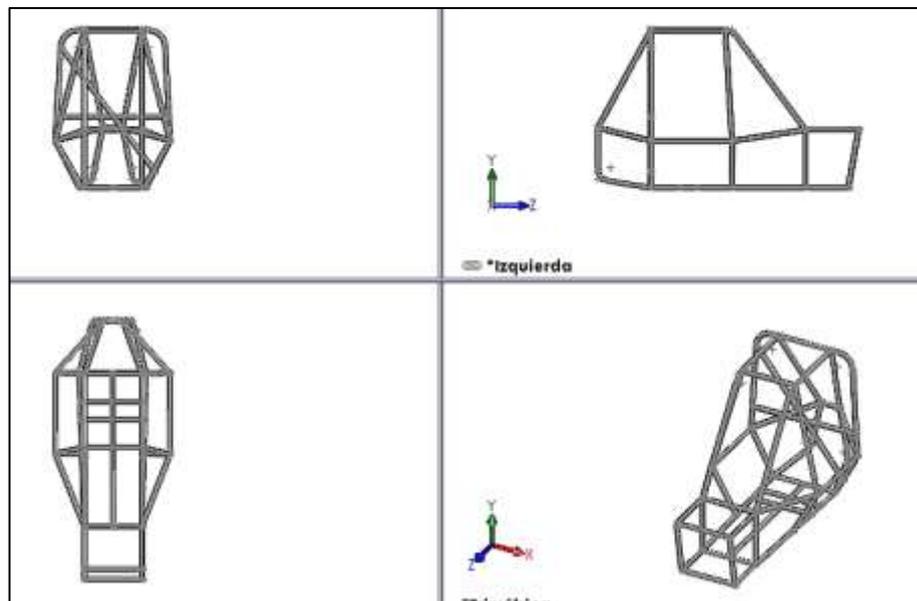
– *Quinto diseño CAD del chasis*

Dentro de esta propuesta se consideró la nariz del chasis para su modificación, alterando la altura de los miembros estructurales frontales a una altura de 44 cm, que cumple con el rango de medidas establecidas, con esta modificación el chasis presenta mejores características aerodinámicas, sin alterar la estructura general del diseño estándar.



**Figura 36-3:** Croquizado de la variación del diseño 5

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

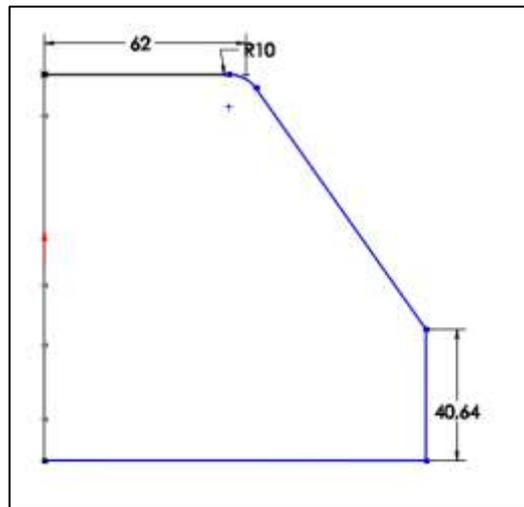


**Figura 37-3:** Vistas y perspectiva del diseño 5

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

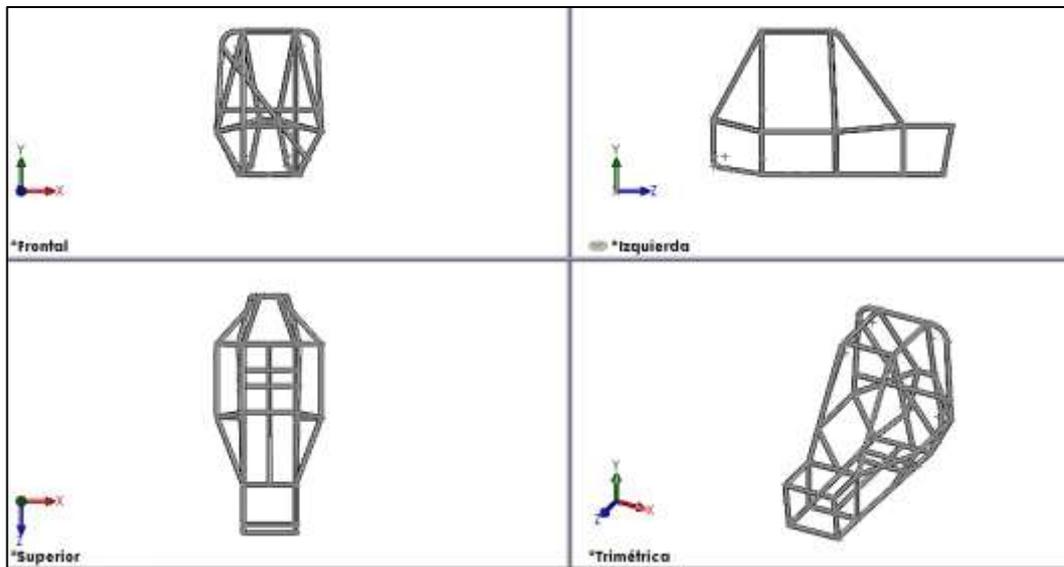
– *Sexto diseño CAD del chasis*

La variación principal que se realizó en la sexta propuesta afecta directamente a la jaula antivuelco, modificando las dimensiones de los miembros estructurales superiores, a una longitud de 62, esta modificación optimiza la movilidad del piloto dentro del habitáculo, brindando un porcentaje alto de confortabilidad para el montaje y desmontaje del piloto, sin embargo, esta modificación afecta directamente al peso del chasis aumentando en masa a la estructura.



**Figura 38-3:** Croquizado de la variación del diseño 6

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

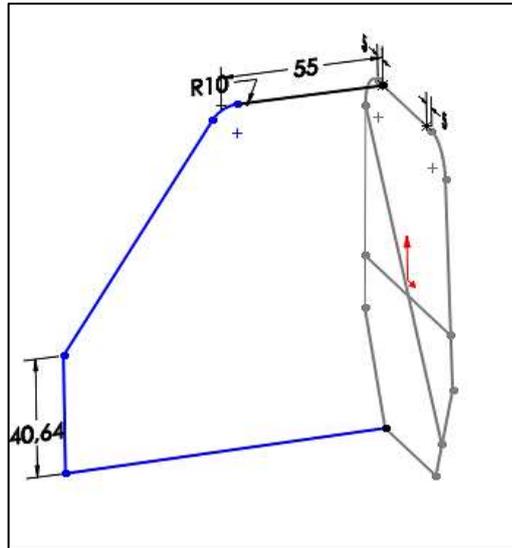


**Figura 39-3:** Vistas y perspectiva del diseño 6

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

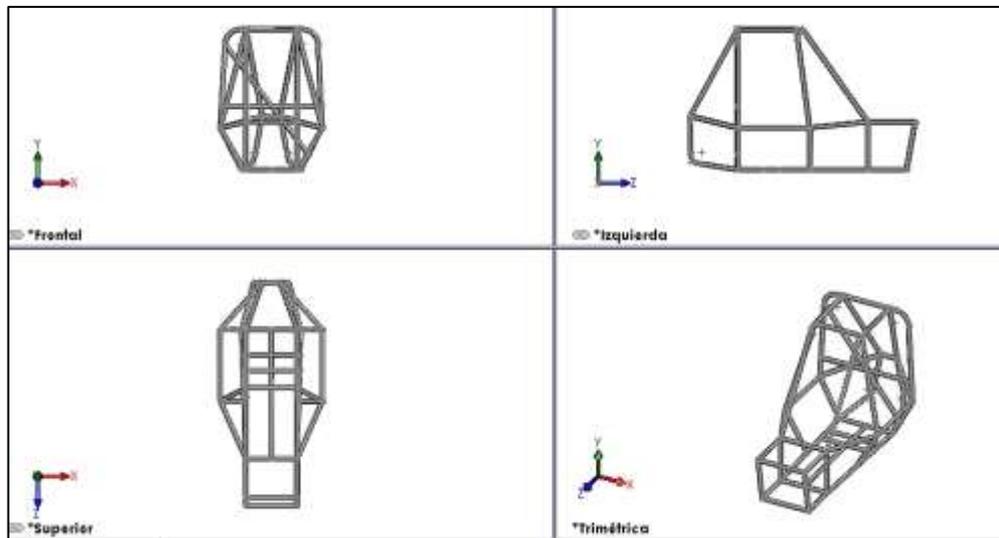
– *Séptimo diseño CAD del chasis*

Al producirse una alteración a las medidas estándares que establece el reglamento, se modifica la longitud de los elementos estructurales superiores de la jaula antivuelco, modificándolos a una longitud de 55 cm, medida que se encuentra por debajo de la media, esta modificación afecta a la movilidad del piloto alterando el espacio del habitáculo y restringiendo el movimiento del piloto.



**Figura 40-3:** Croquizado de la variación del diseño 7

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021



**Figura 41-3:** Vistas y perspectiva del diseño 7

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Al realizar cada variación de diseño de chasis se concluye que cada variante cumple con las normas establecidas por la reglamentación del baja SAE versión 2019, por lo que al tener 7 diseño del chasis es necesario aplicar a cada variante los respectivos criterios de simulación. Lo cual permitirá seleccionar la alternativa adecuada, en cuanto a optimización, ergonomía y confortabilidad.

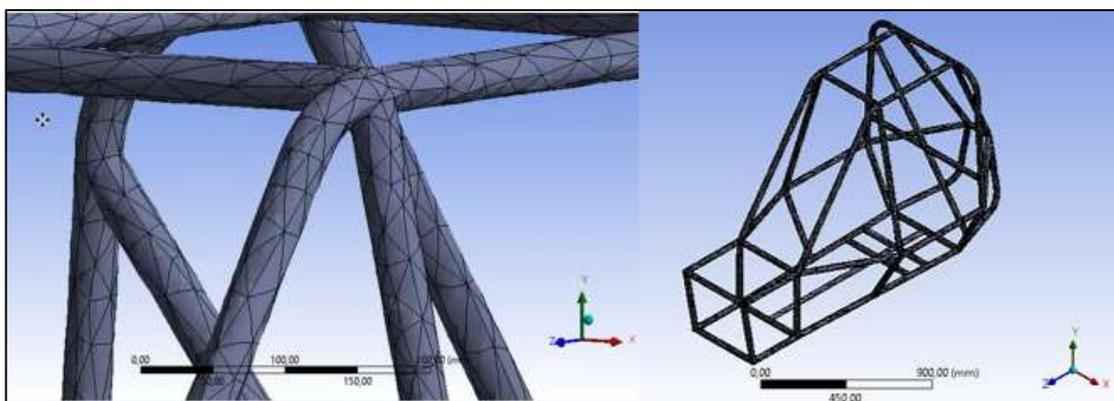
### 3.7.3 *Análisis y simulación*

Este procedimiento permite realizar una comprobación de forma práctica mediante software de simulación, todo lo que es diseñado de forma teórica verificar su validación en condiciones reales, en la antigüedad estos procedimientos se los realizaba mediante ensayos de destrucción, lo que conlleva un gasto alto de dinero y dejando obsoleto el objeto en análisis. Debido a esto en la actualidad por medio del cálculo computacional, las simulaciones mediante software de diseño se han implementado con gran demanda debido a que son una forma de comprobación con una rentabilidad alta.

Para el desarrollo de las simulaciones a cada propuesta de diseño de chasis, se implementará la utilización de software ANSYS, que cumple un análisis de elementos finitos, el cual a cada diseño modelado mediante SolidWorks se realizar un procedimiento de exportación al software de simulación, y se procederá al análisis de cada variante de modelo de chasis con el fin de obtener la variante óptima para su posterior construcción.

#### 3.7.3.1 *Verificación y corrección de mallado*

Una vez exportado los diseños al software de simulación mediante la herramienta digital SpaceClaim, que pertenece a la interfaz de ANSYS, corregimos errores de mallado que representa dificultades al momento de la simulación, obteniendo de esta manera un objeto solido con una estructura de mallado ideal.



**Figura 42-3:** Diseño Mallado para simulación

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Mediante exportación del software CAD al software CAE, se verifica y corrige el mallado de cada diseño de esta forma se obtiene una conectividad regular de la estructura, expresada de forma matricial sea de dos o tres dimensiones, de esta manera se restringe las opciones de los elementos a hexaedros en 3D, por lo que la regularidad que presenta cada diseño permite la conservación

del espacio, ya que las condiciones de vecino son determinadas por la disposición de almacenamiento.

### 3.7.3.2 *Análisis de velocidad y obtención de fuerza de impacto*

Al considerar los parámetros dispuestos por la reglamentación, donde la velocidad establecida para pruebas de impacto es de 45 km/h, dicha velocidad está sujeta a cálculos pertinentes con el fin de obtener una fuerza de impacto que permitan analizar diferentes criterios de simulación ante un choque o impacto frontal. De acuerdo con lo planteado por (Goicolea, 2018), mientras se genera un impacto, la energía generada por el objeto es convertida en trabajo, por lo que la fuerza es considerada un factor determinante para diversas pruebas a la cual está sometida el vehículo, con el fin de determinar dicha fuerza de impacto, se igualan las ecuaciones tanto de trabajo como de energía, determinado la ecuación para la obtención de dicha fuerza.

Al tener el valor de la velocidad de impacto permitida por la reglamentación de 45 km/h (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019), se procede a un análisis de impacto de un objeto en movimiento horizontal, para lo cual se aplica la ecuación 26, donde se tiene como variables el peso total del vehículo de la sumatoria de pesos del chasis junto a sus accesorios determinado mediante la distribución de masas principales que soportaría el chasis detallado en la tabla 4-3, donde el peso total es de 240 kg, el mismo que viaja a una velocidad de 45 km/h, produciendo un impacto frontal en una prueba de seguridad. Donde la distancia de parada se establece como la zona de deformación del vehículo la distancia donde se acorta el vehículo con el impacto dando un valor de 0.9593 m desde la zona de los miembros de impacto frontal hasta la zona antivuelco. Al tener claro estos parámetros se iguala la energía cinética con el trabajo para poder despejar la fuerza y obtener la ecuación 26, donde al ser reemplazo los valores establecidos transformados aun solo sistema de unidades se obtendrá la fuerza total de impacto para su posterior aplicación en pruebas de simulación.

$$V = 45 \text{ Km/h} = 12.5 \text{ m/s}$$

$$m = 240 \text{ kg}$$

$$d = 0.9593 \text{ m}$$

$$F = \frac{(0.5)(m)(v)^2}{d} \quad (26)$$

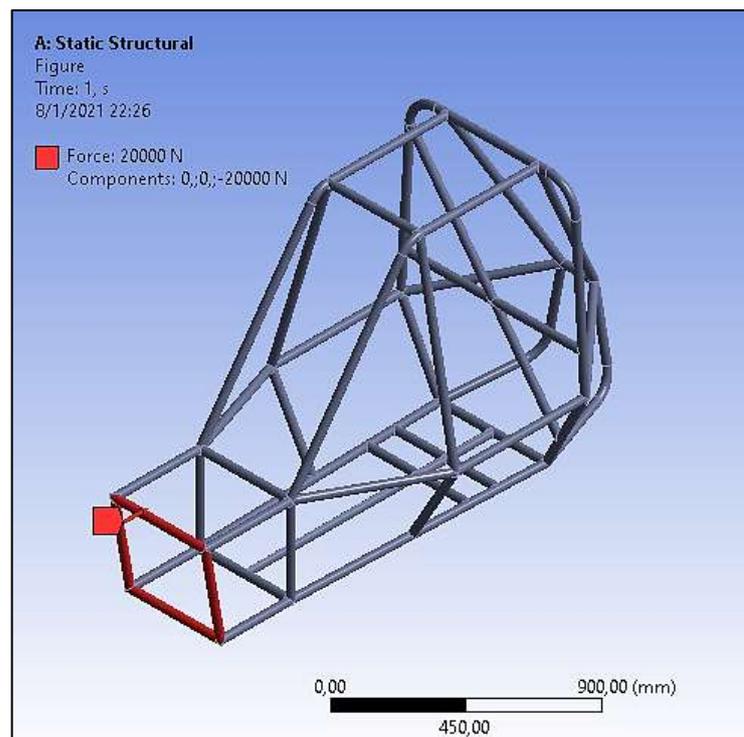
Donde:

- F= Fuerza de impacto
- 0.5=Constante
- M= Masa en kilogramos total del vehículo
- V= velocidad de impacto
- d= distancia de parada

$$F = \frac{(0.5)(240 \text{ kg})(12.5 \text{ m/s})^2}{0.9593 \text{ m}}$$

$$F = 19545.5019 = 20000 \text{ N}$$

Al obtener la fuerza total de impacto con un valor de 19545.5019 N, se procede a redondeado con fines de análisis obteniendo un valor final de 20000 N valor establecido para los diferentes criterios de simulación, en donde se determinan deformación, factor de von mises y factor de seguridad, lo cual permite obtener resultados en condiciones reales mediante un análisis de colisión, esta fuerza será aplicada a cada diseño obtenido, determinando resultados exactos para su posterior análisis y selección del prototipo de chasis que represente resultados altos en circunstancias de colisión en tiempo real.



**Figura 43-3:** Diseño aplicado el valor para simulación de impacto

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Los datos finales obtenidos mediante la simulación serán representados y analizados en el cuarto capítulo correspondiente a la sección de resultados finales, considerando los criterios de deformación, factor de von Mises y factor de seguridad.

### 3.7.4 Proceso de construcción

Para la elaboración del chasis se debe seguir una secuencia ordenada de pasos, esto con el objetivo de lograr el óptimo resultado en el menor tiempo.

1. Compra del material necesario para la elaboración, en este caso se procede a la compra de tubos redondos de 1 pulgada de diámetro y 1.1 mm de espesor, 2 discos de corte y un disco de pulir, una caja de electrodos y un litro de pintura fondo. La adquisición de estos productos se realizó en el COMERCIAL VERA ubicada en la ciudad de Riobamba, frente a la ESPOCH.



**Figura 44-3:** Local de adquisición de productos de uso industrial

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

2. Se procede a elegir el material necesario, en este caso son los tubos los cuales se encuentran distribuidos en los separadores.



**Figura 45-3:** Distribución de los aceros estructurales

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

3. Traslado del material en un medio de transporte del perteneciente al local comercial,
4. Una vez que se baja el material en el lugar de trabajo se procede a la toma de medidas de los tubos para los doblajes respectivos utilizando un flexómetro y un rayador. Con una moladora se cortan los tubos con las medidas tomadas desde el plano dando una tolerancia de 5 cm a cada tubo para que cuando se proceda a doblar, las medidas no fallen.



**Figura 46-3:** Tubos cortados a distintas medidas

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

5. Los tubos son trasladados a otro sector en el cual se encuentra la dobladora para tubos, para realizar los doblajes, se procede a ubicar la medida exacta, luego desde este punto se ubica una señal a 5 cm a cualquiera de los 2 lados, esto se lo hace con el fin de que la medida tomada no aumente o disminuya al realizar el doblaje



**Figura 47-3:** Proceso de doblado de tubos

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

6. Con los tubos doblados a cierto ángulo, se inicia el armado del chasis, para que el trabajo se facilite se procede a graficar en el piso la forma exacta que debe tomar el tubo y con pequeños aprietes se le va dando la forma



**Figura 48-3:** Unión de miembros estructurales

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

#### *Moldeo de los tubos*

7. Se procede a ubicar los parantes principales, esto se logra ubicando unos ángulos transversales, los cuales sirven como soportes para mantener la estructura fija, posteriormente se los retira.



**Figura 49-3:** Fijación de los parantes principales

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

8. Como siguiente paso se tiene la ubicación del tubo frontal del chasis, esto se lo corta con un ángulo de 45 grados, tanto al transversal como al longitudinal, se lo hace de esta manera para que tengan un mejor acople y mayor resistencia



**Figura 50-3:** Instalación del tubo frontal

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

9. En la parte posterior del chasis se realiza tres procedimientos para que tome la forma y el ángulo que nos da en el plano, lo que primero se realiza es la unión de los dos parantes verticales por medio de un tubo transversal, luego se procede al doblaje hacia los lados y por último se realiza el doblaje hacia la parte frontal.
10. Luego de haber dado la forma a la parte posterior, se procede a ubicar los tubos de la parte superior, se recuerda que todas las uniones de los tubos son realizadas con la denominada boca de pescado, esto se lo hace para tener un acople correcto entre tubos. Al realizar este proceso se nota que la cabina y la nariz del chasis ya van tomando forma.



**Figura 51-3:** Instalación de los tubos de la parte superior

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

11. El siguiente paso es colocar los tubos que van adjuntos a la base inferior del chasis.



**Figura 52-3:** Instalación de los tubos de la base del chasis

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

12. Se procede a colocar los tubos en la parte media del chasis, los dos tubos tienen la misma medida y van ubicados a la misma altura



**Figura 53-3:** Montaje de tubos de los laterales del chasis

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

13. En este paso se ubican los soportes verticales del chasis, tomando en cuenta que es un soporte para cada lado.



**Figura 54-3:** Ubicación de los soportes laterales del chasis

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

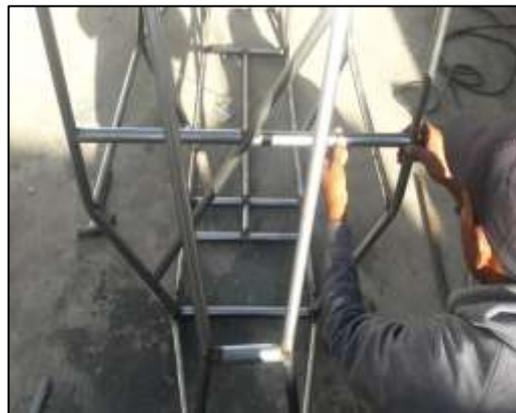
14. Para completar la trompa del chasis se realiza el cuadro con corte a 45 grados y con boca de pescado en cada uno de sus lados, luego se le ubica en el chasis y se lo procede a puntear.



**Figura 55-3:** Parte frontal del chasis (Nariz)

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

15. Para completar la estructura del chasis se procede a colocar un tubo inclinado y uno horizontal en la parte posterior del chasis.



**Figura 56-3:** Colocación del tubo transversal

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Para unir los tubos y conformar la estructura del chasis, se procede a realizar puntos de suelda, esto con el objetivo de mantener fija la estructura, posteriormente se procede a la soldar por completo todas las uniones.

#### 3.7.4.1 *Uniones soldadas*

16. Para realizar la soldadura total del chasis se procede a la instalación de la máquina de soldar MIG, la instalación consiste en ubicar el cable positivo y el negativo en la máquina,

seleccionar el amperaje adecuado, en este caso se usa un amperaje igual a 90A y colocar el alambre para soldar.



**Figura 57-3:** Instalación de equipo de soldadura MIG

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

17. Una vez que la máquina ya está instalada, lo siguiente es colocarse los elementos de seguridad, en este caso viene a ser la máscara de soldar, el mandil y los guantes.



**Figura 58-3:** Implementos de seguridad

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

18. Posteriormente se ubica el cable de la tierra en el chasis, y se procede a la soldadura de toda la estructura del chasis, utilizando diversas posiciones y en casos ubicando el chasis a nuestra conveniencia para poder soldar.



**Figura 59-3:** Soldadura de la estructura del chasis.

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

19. Luego de soldar todas las uniones del chasis, se procede a retirar la escoria, ya que esto es el material sobrante que necesariamente debe ser retirada, con ello se puede observar claramente como queda el cordón de soldadura.



**Figura 60-3:** Uniones soldadas de miembros estructurales

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021



**Figura 61-3:** Cordón de soldadura, unión entre los tubos de la base del chasis

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021



**Figura 62-3:** Cordón de soldadura, unión entre los tubos de la cabina.

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021



**Figura 63-3:** Cordón de soldadura

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

#### 3.7.4.2 *Proceso de pintura*

20. Con la estructura del chasis ya soldada en su totalidad, lo siguiente es pintarlo, para esto se limpia y se retira la escoria de soldadura con un cepillo de acero, luego se lo ubica en un lugar abierto para facilitar la disipación de la pintura.



**Figura 64-3:** Ubicación del chasis en un lugar abierto

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

21. Luego de ubicarlo en cierto lugar, se procede a colocar la pintura anteriormente preparada con tinner en la pistola y se regula la presión del aire del compresor, y se procede a pintar todo el chasis con pintura sintética color negro, este tipo de pintura es resistente antioxidante y larga durabilidad.



**Figura 65-3:** Proceso de pintura del chasis

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

22. Luego a ver realizado todo el procedimiento anterior se obtiene el chasis requerido



**Figura 66-3:** Acabado final del chasis

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Al seguir este proceso se logra la obtención de un producto final el cual es el chasis para el vehículo prototipo de mini todoterreno eléctrico, el cual cumple con las especificaciones de calidad y optimización para su posterior desarrollo.

### 3.7.5 Inspección de soldadura con líquidos penetrantes

La inspección de las uniones soldadas mediante la aplicación de los líquidos penetrantes se considera un ensayo no destructivo el cual permite detectar y visualizar imperfección y discontinuidad en el cordón de soldadura, evitando de esta forma posibles casos de ruptura en la uniones soldadas de la estructura sometida a esfuerzos, resaltándolas mediante la distinción de un color, por lo que para el desarrollo de este ensayo se procede a la utilización del kit de líquidos penetrantes correspondientes a la marca CANTESCO, dicho kit consta de tres aerosoles cada uno con una función específica, que corresponden al liquido removedor, liquido penetrante y liquido revelador como se visualiza en la figura 92-3, los cuales van a permitir cumplir a cabalidad la inspección de soldadura con el fin de corregir imperfecciones, obteniendo un acabado de calidad.



**Figura 67-3:** Kit de líquidos penetrantes

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Al empezar con la aplicación de los líquidos penetrantes, se considera las uniones de soldadura que representan mayor relevancia dentro de la estructura, por lo que, al analizar los resultados de la simulación de impacto frontal, se podrá determinar las uniones soldadas que generan mayor riesgo de ruptura, por lo que en dichas uniones se procederá con el ensayo no destructivo, para su posterior rectificación y acabado.

#### 3.7.5.1 Preparación de la superficie de soldadura

La superficie de inspección debe encontrarse seca y libre de excesos, escoria, salpicaduras, grasa, aceite, pintura, oxido o cualquier otro material ajeno a la zona de trabajo, mediante la utilización de material de limpieza como lijas, pulidora o escobillas de remoción. Una vez realizado este

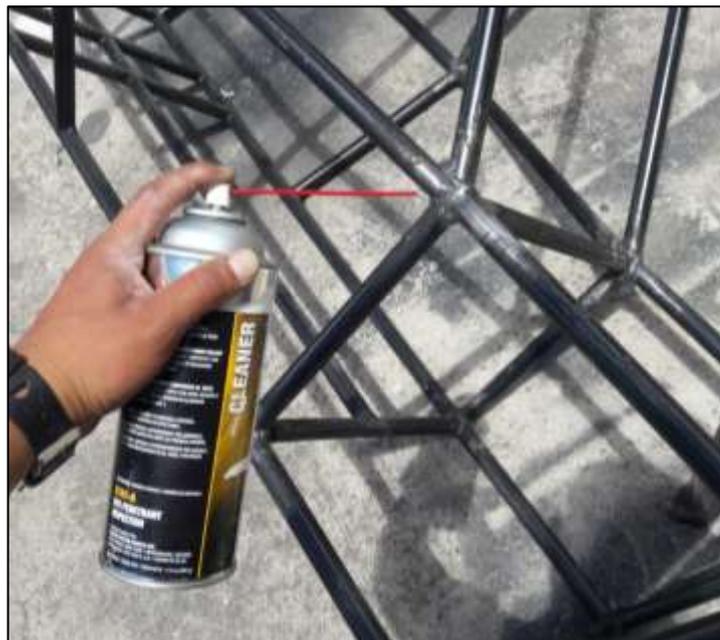
procedimiento se procede con la aplicación del líquido removedor (cleaner), perteneciente al kit de líquidos penetrantes, de esta forma se obtiene una área limpia y libre de impurezas.



**Figura 68-3:** Preparación de la superficie de soldadura

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Antes de aplicar el líquido removedor se debe considerar que el área de limpieza debe rodear 1 pulgada como rango mínimo alrededor del cordón de soldadura a inspeccionar. Es importante comprobar que después de aplicar el removedor el área se encuentre completamente seca antes de rociar el líquido penetrante.



**Figura 69-3:** Aplicaciones del líquido removedor

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

### 3.7.5.2 *Aplicación del líquido penetrante*

Al tener la superficie de inspección completamente limpia y seca, se procede a la aplicación del líquido penetrante directamente sobre el área que corresponde al cordón de soldadura cubriéndola por completo como se visualiza en la figura 95-3.



**Figura 70-3:** Aplicación del líquido penetrante

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

El tiempo que debe permanecer el líquido penetrante sobre el área de inspección se determina en relación a las condiciones de prueba, considerando el factor ambiente y el material tubular, sin embargo, mediante a especificaciones técnicas del fabricante, se dejara que actúe sobre el material en un rango de 10 a 15 minutos, en el cual el líquido cubre las pequeñas imperfecciones que presenta el cordón de soldadura.

### 3.7.5.3 *Remoción del líquido penetrante*

Una vez cumplido el tiempo establecido para la penetración del líquido en el cordón de soldadura, el exceso se debe ser removido en la mayor cantidad posible, con la utilización de un trapo limpio y seco, esta operación será repetida constantemente hasta que el líquido sobrante se remueva completamente de la superficie de inspección.



**Figura 71-3:** Remoción del líquido penetrante

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

#### 3.7.5.4 *Aplicación del líquido revelador*

Antes de proceder con la aplicación del líquido revelador, la lata que lo contiene debe ser agitado varias veces con el fin de generar la correcta dispersión de las partículas.

Al aplicar el líquido revelador sobre el área de inspección se recomienda verificar la calidad del spray rociando en otras superficies de esta manera se logra ir regulando la cantidad correcta de líquido, considerando las especificaciones técnicas, donde el rocío del líquido revelador será de forma perpendicular a no menos de 12 pulgadas (30 cm),



**Figura 72-3:** Aplicación del líquido revelador

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

La cantidad de revelador aplicado en la superficie de inspección debe ser la necesaria, cubriendo completamente mediante una capa fina determinando un correcto contraste.

### 3.7.5.5 *Reacción del líquido revelador en el cordón de soldadura*

Al ponerse en contacto el líquido revelador con el cordón de soldadura y esperando el tiempo respectivo de 10 minutos aproximadamente, se produce una reacción química, que permite al líquido penetrante resaltar sobre las porosidades y defectos que presenta la soldadura en la unión de miembros estructurales que se someten a la inspección, de esta forma se logra determinar la discontinuidad de la soldadura para su posterior rectificación dependiendo la magnitud de defectos.



**Figura 73-3:** Reacción química del líquido revelador

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1 Obtención de resultados

##### 4.1.1 Resultados de aplicación de métodos multicriterio

Al aplicar los cálculos matemáticos correspondientes a cada método multicriterio, los mismos que generaron resultados individuales de cada propuesta de acero estructural, teniendo consideraciones estimadas que permitan analizar y seleccionar el material en orden jerárquico de calidad el cual cumpla con condiciones externas para su uso, ya que cada método multicriterio emitió valores de cada tipo de acero evaluado, se representa los resultados a continuación:

##### 4.1.1.1 Método COPRAS

Al desarrollar el procedimiento matemático a cada alternativa de material de construcción, considerando la ecuación 6 que permite obtener la matriz de decisión normalizada, ponderando cada valor por medio de la ecuación 7 y 8, para obtener los valores correspondiente al peso de cada material, para general los valores de rendimiento de cada acero, de esta forma se logró determinar los resultados en un rango descendente, valorado en una calificación de 6 al material con mejores características, representado en la tabla 20-4.

**Tabla 1-4:** Resultados Método COPRAS

Material	Pi	Ri	Qi	Puntuación final	Rango
Acero ASTM A36	0,1963	0,0004	0,1967	98,2696	3
Acero 1000	0,1874	0,0005	0,1879	93,8743	2
2.5% Mn+97.5% Al	0,1594	0,0005	0,1599	79,8757	1
Acero 1045	0,2321	0,0006	0,2327	116,2756	5
Acero 1020	0,1996	0,0006	0,2237	111,7622	4

Fuente: (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020)

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

De esta forma se generan valores mediante este método, posicionando las tres primeras ubicaciones al acero 1045, acero 1020 y el acero ASTM A36, respectivamente, siendo estos aceros alternativos de selección como material de construcción, mediante los resultados maximizados que otorgo la aplicación de este método se selección multicriterio.

#### 4.1.1.2 Método TOPSIS

Al considerar el modelo matemático que genera el método TOPSIS, donde busca determinar las soluciones que se encuentren lo más cerca a la solución ideal positiva y valores lejos de la solución negativa, partiendo de la obtención de una matriz de decisión con valores de cada material, por medio de la ecuación 14.

Al aplicar las ecuaciones 16 y 17, se obtiene dos matrices con resultados tanto positivos expuesto en la tabla 21-4, como negativos representados en la tabla 22-4, determinando los índices para un conjunto de criterios relacionados a los pesos caracterizados por las propiedades de cada material.

**Tabla 2-4:** Matriz positiva Método TOPSIS

MATRIZ POSITIVA				
012758128	0.04520412	0.14488235	0.13856208	004331492
0.12758128	0.04520412	0.14488235	0.13856208	0.04331492
0.12758128	0.04520412	0.14488235	0.13856208	0.04331492
0.12758128	0.04520412	0.14488235	0.13856208	0.04331492
0.12758128	0.04520412	0.14488235	0.13856208	0.04331492

**Fuente:** (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020)

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

**Tabla 3-4:** Matriz negativa Método TOPSIS

MATRIZ NEGATIVA				
0.05741157	0.00376701	0.01287843	0.00374945	0.01493618
0.05741157	0.00376701	0.01287843	0.00374945	0.01493618
0.05741157	0.00376701	0.01287843	0.00374945	0.01493618
0.05741157	0.00376701	0.01287843	0.00374945	0.01493618
0.05741157	0.00376701	0.01287843	0.00374945	0.01493618

**Fuente:** (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020)

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Al generar las matrices de valores positivos y negativos, se aplica la ecuación 18,19 y 20 determinando así las distancias euclidianas y la proximidad relativa respectivamente de cada acero, los resultados obtenidos mediante este método se representan en la tabla 23-4.

**Tabla 4-4:** Resultados Método TOPSIS

Material	Si +	Si -	Ci	Rango
Acero ASTM A36	0.02523221	0.11270203	0.8170707	3
Acero 1000	0.03940625	0.10418871	0.7255736	2
2.5% Mn+97.5% Al	0.11789607	0.02638399	0.1828664	1
Acero 1045	0.00068722	0.20747453	0.9966986	5
Acero 1020	0.01392978	0.12678539	0.9010072	4

Fuente: (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020)

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Al tomar en consideración los valores en una ponderación descendente, siendo el rango 6 el resultado óptimo, y así progresivamente, se mantiene la tendencia del método COPRAS, posicionando a los aceros 1045, 1020 y ASTM A36 como los aceros con propiedades favorables para aplicarlos en procesos de construcción de estructuras tubulares, y dejando a la aleación como material descartado para este tipo de estructuras.

#### 4.1.1.3 Método VIKOR

El método VIKOR se enfoca obtener una solución ideal positiva y al mismo tiempo genera resultados lejanos a una posible solución negativa, considerando que la forma de obtención de resultados sigue el proceso llevado a cabo por el método TOPSIS, obteniendo soluciones positivas y negativas aplicando las ecuaciones 21 y 22, de esta forma se genera resultados de cada acero representados en la tabla 24-4.

**Tabla 5-4:** Resultados Método VIKOR

Material	Magnitud máxima	Solución ideal positiva		Magnitud mínima	Ponderación	Resultado
Acero ASTM A36	F1 Max	0.136083	F1 Min	0	P3	0.1627342
Acero 1000	F2 Max	0.136083	F2 Min	0	P2	0.2104602
2.5% Mn+97.5% Al	F3 Max	0.291	F3 Min	0	P1	1
Acero 1045	F4 Max	0.138108	F4 Min	0	P5	0.0065359
Acero 1020	F5 Max	0.13891	F5 Min	0	P4	0.1561704

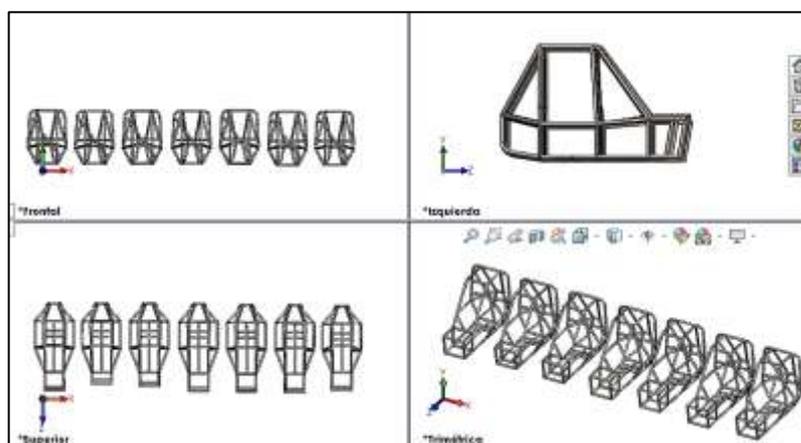
Fuente: (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020)

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Al seguir un ponderación descendente, se determina que el método arrojo resultados que siguen la tendencia de los métodos anteriores, considerando que los resultados menores a 1, son seleccionados como materiales que cumplen las condiciones de calidad, teniendo de esta manera al acero 1045 con un valor de 0.0065359, seguido del acero 102 con un valor de 0.1561704 y finalmente al acero ASTM A36, con un valor de 0.1627342, posicionándose como los tres materiales a seleccionar, cubriendo las necesidades de construcción. De esta forma se observa que, en el análisis aplicativo de los tres métodos, determina que el acero con características elevadas de prestaciones y calidad fue el acero 1045, posteriormente el acero 1020 y el acero ASTM A 36 respectivamente, posicionándose en las tres primeras ubicaciones de calidad, cabe destacar que las variables analizadas corresponden a las características técnicas que posee cada material.

#### 4.1.2 *Diseño final de cada variante de chasis*

Se sigue el procedimiento para el modelado y diseño del chasis especificado en los apartados 3.7.2.1 y 3.7.2.2, que corresponden al croquizado del diseño y la aplicación del miembro estructural para obtener un modelo final del chasis, estos procedimientos se siguen para obtener cada variante de chasis, los cuales deben cumplir con especificaciones técnicas, de la misma forma debe encontrarse dentro del rango de medidas establecidas por el reglamento pertinente. Como resultado de estos procedimientos se obtuvo 7 modelos de prototipos de chasis, considerando el primer diseño como base para las modificaciones posteriores, generando un modelo estándar y 6 variantes expuestas a continuación, con modificaciones específicas sin alterar considerablemente la estructura general del chasis propuesto.



**Figura 1-4:** Vistas de los diseños de chasis

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Los diseños expuestos anteriormente permiten una perspectiva digital y clara del posible chasis a construir, cada uno debe someterse a un proceso de inspección en busca de posibles defectos estructurales con defecto, permitiendo de esta manera mediante el software de diseño, corregir y rectificar posibles fallas para su posterior exportación a un software de simulación.

#### 4.1.3 Resultado de simulación

Al aplicar la fuerza de impacto generada mediante una velocidad de impacto de 45 km/h, a cada estructura se visualiza una distribución de deformación frontal representada por una escala de colores determinando el rango de máximo y mínima deformación que puede existir en una situación de colisión, generando datos de criterios de factor de von mises y factor de seguridad, mediante la aplicación de fuerzas de acuerdo con el eje coordenado.

$F_x=20000$  N;  $F_y= 0$  N;  $F_z= 0$  N.

##### 4.1.3.1 Simulación del primer diseño estándar

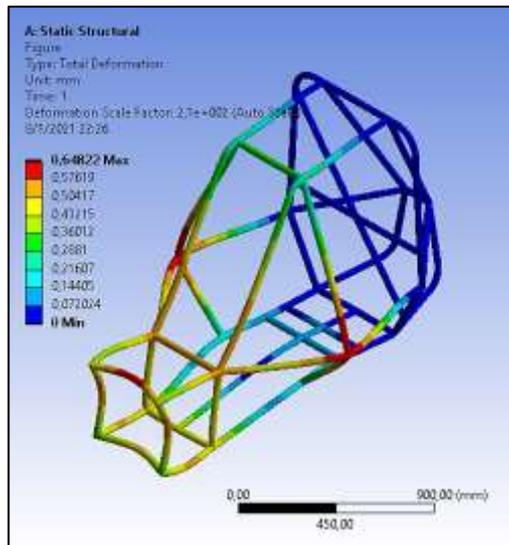
– Deformación

**Tabla 6-4:** Valores de deformación diseño 1

Velocidad [km/h]	Min [mm]	Max [mm]	Promedio [mm]
45	0.072024	0.64822	0.23049

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Los valores generados mediante la simulación para el primer diseño (diseño estándar), al sufrir un impacto frontal con una fuerza de 20000 N a una velocidad constante de 45 km/h, como se indica en la figura 91-3, produciéndose una deformación mínima de 0.072024 mm, siendo las zonas de un riesgo nulo, mientras que su valor máximo alcanza un desplazamiento de la estructura de 0.64822 mm, esta deformación se encuentra dentro de los límites establecidos por lo que no presenta un riesgo de posible rotura para los miembros estructurales.



**Figura 2-4:** Deformación por impacto frontal - chasis estándar

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

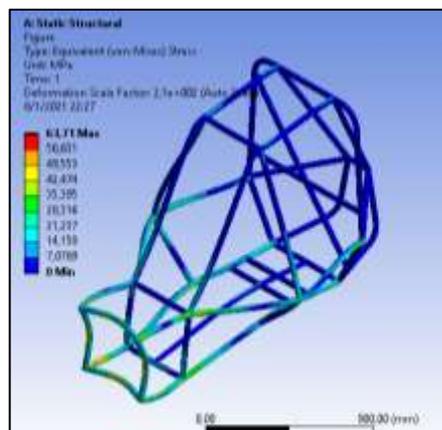
– Criterio de Von Mises

**Tabla 7-4:** Valores de criterio de von mises diseño 1

Velocidad [km/h]	Mínimo [MPa]	Máximo [MPa]	Promedio [MPa]
45	7.0789	63.71	7.1021

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Al producirse un desplazamiento máximo mediante el impacto a una velocidad constante, de este diseño, su estructura tiende a volver a su estado original después de deformarse 0.64822 mm con un esfuerzo máximo de 63.71 MPa, lo que significa que las propiedades plásticas que posee el material que al ser utilizado en el diseño, presentan un rango mínimo de daño a la estructura después de soportar la fuerza de impacto, por lo que al presentar un mínima deformación con un esfuerzo aceptable, se puede considerar un diseño adecuado, considerando el material utilizado.



**Figura 3-4:** Criterio de von mises a impacto frontal - Chasis estándar

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

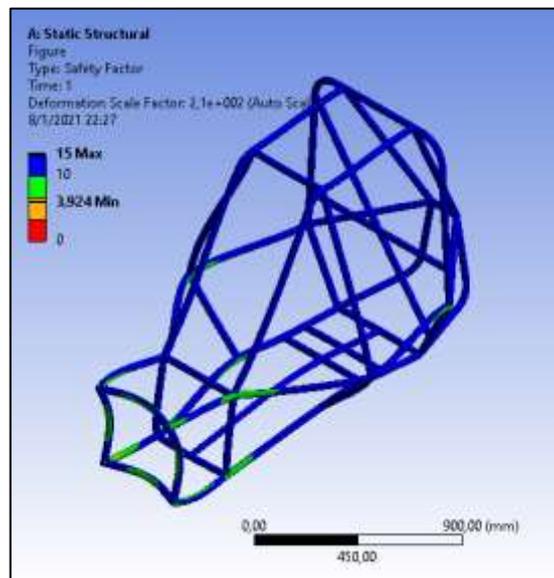
– **Factor de seguridad**

**Tabla 8-4:** Valores del factor de seguridad diseño 1

Velocidad [km/h]	Mínimo	Máximo	Promedio
45	3.924	15	14.376

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Al considerar que el factor de seguridad mínimo que debe poseer cualquier estructura debe superar un valor mayor a uno, para considerar que la estructura es aceptable presentando una resistencia optima, el primer diseño analizado genera un factor considerablemente favorable de 3.924, lo que significa que la estructura es capaz de soportar altas fuerzas de impacto, favoreciendo a la integridad del conductor, determinando que el material seleccionado cuenta con un alto esfuerzo de cedencia, que mediante la disposición de los miembros estructurales, favorece a la estructura general del chasis, siendo la propuesta que representa mayor resistencia a posibles impactos frontales.



**Figura 4-4:** Factor de seguridad a impacto frontal - Chasis estándar

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

4.1.3.2 *Simulación del segundo diseño*

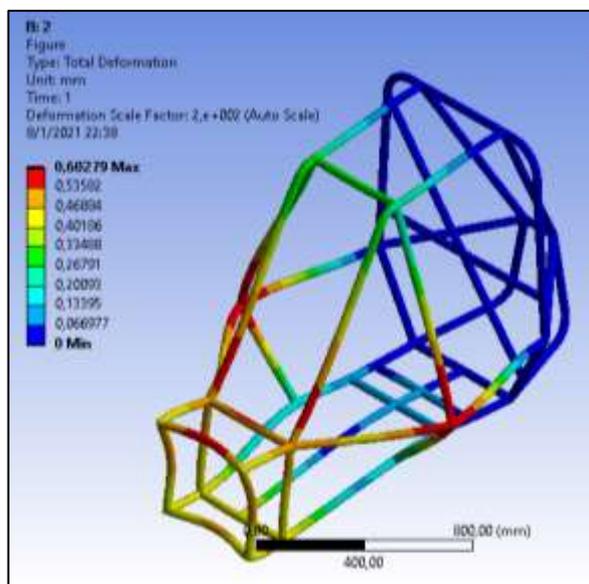
– **Deformación**

**Tabla 9-4:** Valores de deformación diseño 2

Velocidad [km/h]	Mínimo [mm]	Máximo [mm]	Promedio [mm]
45	0.066977	0.60279	0.2144

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

La deformación ocasionada por el impacto frontal a una velocidad constante de 45 km/h generando una fuerza de impacto de 20000 N, genera en el diseño una deformación máxima de 0.60279 mm, según la trayectoria y posición determinada, sin embargo debido a la disposición de los miembros estructurales frontales que se ve reducida, la fuerza es transmitida a los nodos que conforman la jaula antivuelco, presentando un alto porcentaje de posibles fallas en la zona media del chasis como se indica en la figura 94-3, por lo que genera daños perjudiciales a la integridad del conductor



**Figura 5-4:** Deformación por impacto frontal - chasis 2

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

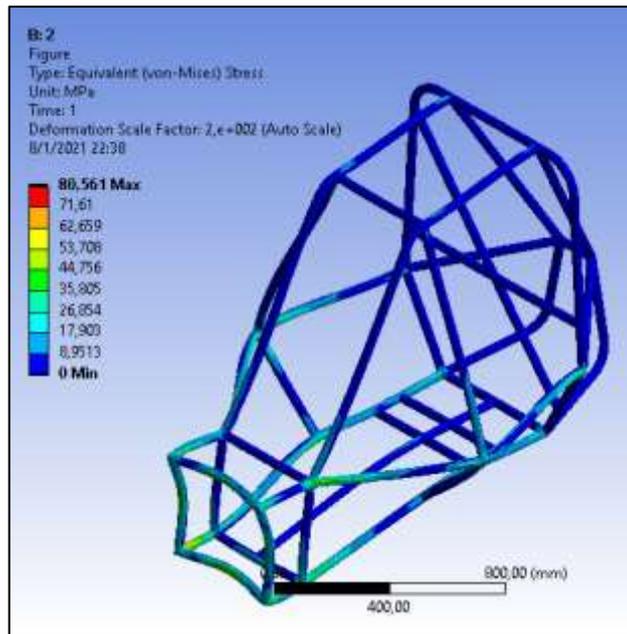
– Criterio de Von Mises

**Tabla 10-4:** Valores de criterio de von mises diseño 2

Velocidad [km/h]	Mínimo [MPa]	Máximo [MPa]	Promedio [MPa]
45	8.9513	80.561	6.6813

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Siendo el diseño que presento la mayor modificación a los miembros de impacto frontal, la deformación producida en este diseño es 0.60279 mm, siendo la menor deformación a comparación de las otras variaciones de chasis, sin embargo al soporta un esfuerzo máximo de 80.561 MPa, presenta mayor alcance de posibles fallas antes de llegar al límite elástico, lo que significa que al sufrir el impacto la fuerza es transmitida de forma directa a los nodos que conforma la jaula antivuelco, generando posibles fracturas den material tubular, debido condiciones geométricas propias de las variaciones del diseño cuya comprensibilidad disminuye.



**Figura 6-4:** Criterio de von mises a impacto frontal - Chasis 2

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

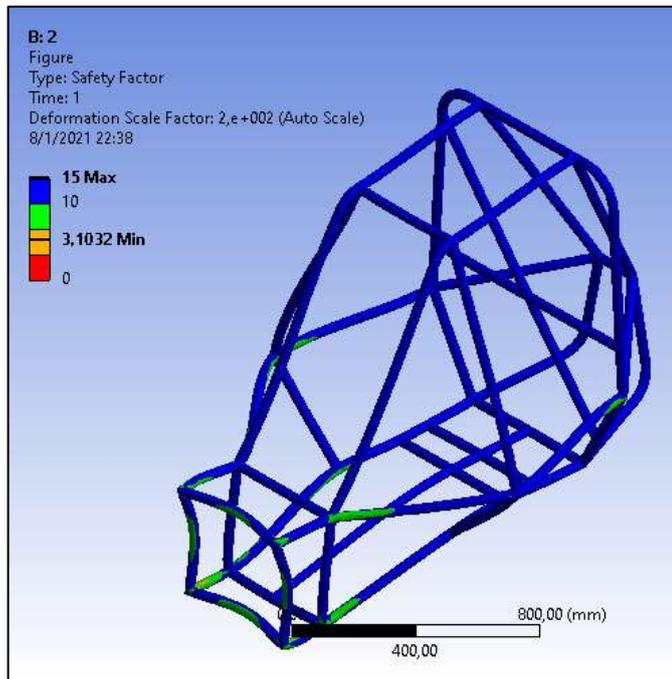
– **Factor de seguridad**

**Tabla 11-4:** Valores de factor de seguridad diseño 2

Velocidad [km/h]	Mínimo	Máximo	Promedio
45	3.1032	15	14.462

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Al analizar el rango de resultados presentes en la figura 96-3 y especificados en la tabla 31-4, se determina como factor mínimo 3.1032, dicho valor tiende a acercarse al valor limite determinando como 1, lo que significa que considerando los valores obtenido tanto en deformación, como en factor de von mises, este diseño es perjudicial para una posible proceso de manufactura siendo descartado definitivamente, ya que su efectividad se ve reducida a un 40% de resistencia a posibles fracturas de los miembros tubulares, a pesar de que cuenta con un material de características mecánicas favorables, el diseño genera resultados negativos.



**Figura 7-4:** Factor de seguridad a impacto frontal - Chasis 2

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

#### 4.1.3.3 Simulación del tercer diseño

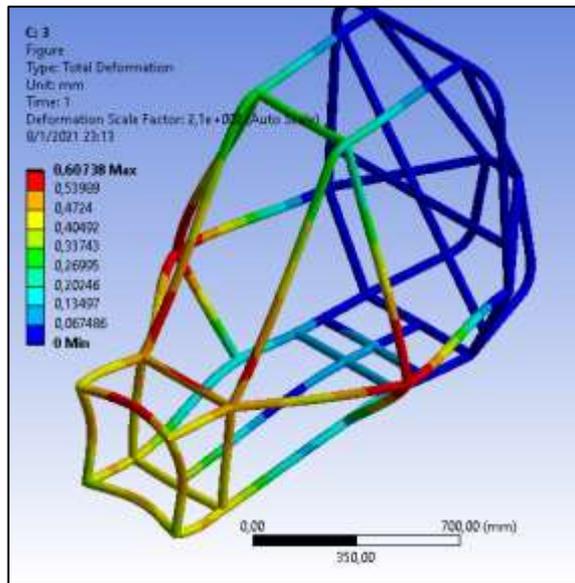
##### – Deformación

**Tabla 12-4:** Valores de deformación diseño 3

Velocidad [km/h]	Mínimo [mm]	Máximo [mm]	Promedio [mm]
45	0.067486	0.60738	0.21558

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

En la figura 97-3, se puede identificar los nodos que sufren una afectación considerable de deformación producida al sufrir un impacto a una velocidad de 45 km/h, con un valor máximos de 0.60738 mm, en la unión de los miembros estructurales frontales con los miembros que conforman la jaula antivuelco, que en relación a los resultados el rango que se desplaza la estructura es aceptable ante posibles fallas de rotura de la estructura, por lo que la variación de los nodos es mínima, según los valores resultantes.



**Figura 8-4:** Deformación por impacto frontal - chasis 3

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

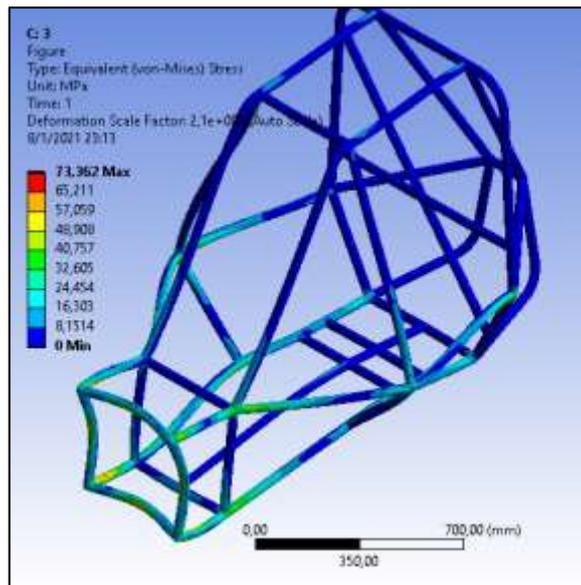
– Criterio de Von Mises

**Tabla 13-4:** Valores de criterio de von mises diseño 3

Velocidad [km/h]	Mínimo [MPa]	Máximo [MPa]	Promedio [MPa]
45	8.1514	73.362	6.779

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Siendo un diseño con características geométricas desfavorables a los miembros estructurales de impacto frontal presentando una deformación mínima, la cual soportando un esfuerzo de máximo de 73.362 MPa, antes de la rotura, de acuerdo a sus valores y a la disposición de su diseño, se considera un porcentaje medio de posibles fallas las cuales se presentan a lo largo de la estructura, con lo cual al alcanzar su límite elástico, la estructura tiende a regresar a su estado original en un rango de posibilidades reducidas debido a que la zona de deformación se encuentra cercada al centro de gravedad.



**Figura 9-4:** Criterio de von mises a impacto frontal - Chasis 3

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

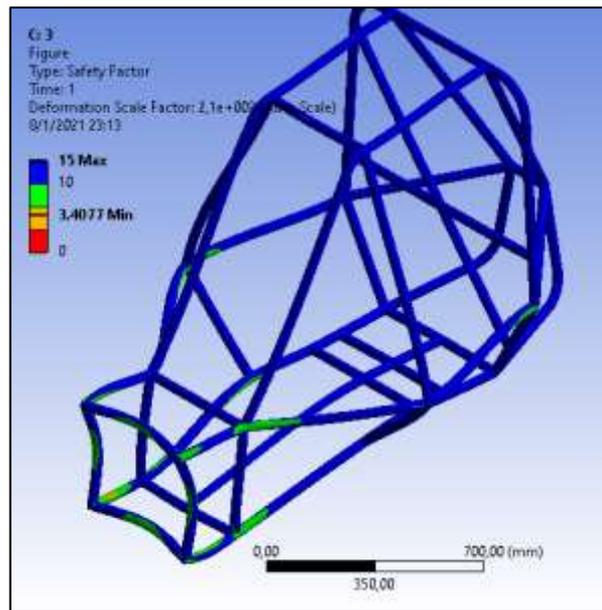
– Factor de seguridad

**Tabla 14-4:** Valores de factor de seguridad diseño 3

Velocidad [km/h]	Mínimo	Máximo	Promedio
45	3.4077	15	14.426

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

El factor de seguridad resultante del proceso de simulación para este diseño se determina en un rango considerable de 15 como valor máximo y un factor mínimo determinante de 3.4077, el cual se encuentra superior a 1 que es el límite aceptable, por lo que es considerado uno de los diseño óptimos cuyos valores de deformación y esfuerzo máximo alcanzan un valor promedio y se sitúan en los diseño a considerar para un proceso de manufactura, brindando factibilidad y optimización ante posibles impactos de diferente índole.



**Figura 10-4:** Factor de seguridad a impacto frontal - Chasis 3

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

#### 4.1.3.4 Simulación del cuarto diseño

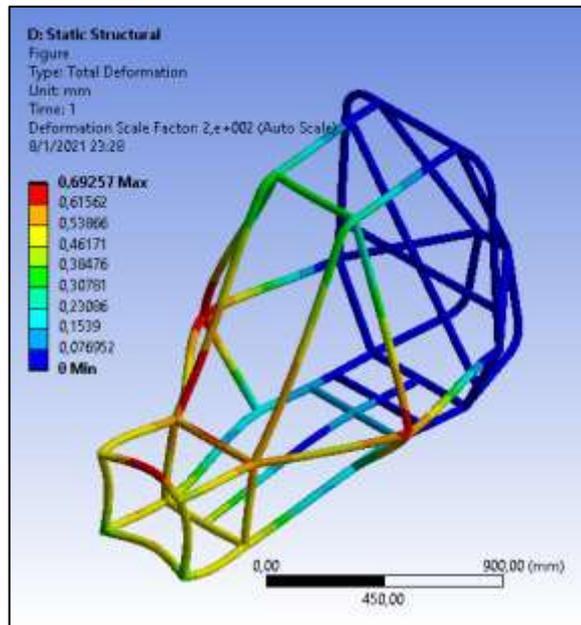
##### – Deformación

**Tabla 15-4:** Valores de deformación diseño 4

Velocidad [km/h]	Mínimo [mm]	Máximo [mm]	Promedio [mm]
45	0.076952	0.69257	0.24048

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

El análisis estructural de este diseño a una fuerza de 20000 N mediante una colisión frontal por una velocidad de 45 km/h, muestran como deformación máxima resultante 0.69257 mm en las zonas críticas y deformación mínimo un valor de 0.076952 mm en las zonas donde la estructura no se ve afectada, este diseño es considerado el que posee un porcentaje de deformación alto en comparación a los otros diseños, sin embargo debido al esfuerzo máximo que puede soportar la estructura, no se produce roturas, simplemente existe variación a la integridad general de la estructura, enfatizando en la zona de los miembros estructurales frontales.



**Figura 11-4:** Deformación por impacto frontal - chasis 4

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

– Criterio de Von Mises

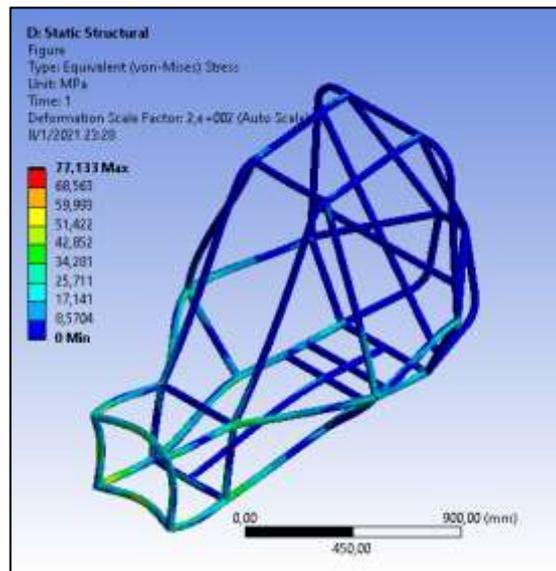
**Tabla 16-4:** Valores de criterio de von mises diseño 4

Velocidad [km/h]	Mínimo [MPa]	Máximo [MPa]	Promedio [MPa]
45	8.5704	77.133	6.9511

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Al ser el diseño que presente un deformación mayor, con un esfuerzo máximo de 77.133 MPa, valor que se encuentre en el rango medio en relación a valores resultantes de las otras variaciones, por lo que al sufrir el impacto el esfuerzo máximo soportado por el chasis permite que las propiedades plásticas que presenta el material, genere un retroceso de los miembros estructurales de la jaula antivuelco, produciendo la máxima deformación en la zona que abarca los miembros

de impacto frontal, dejando al chasis con severos daños frontales sin presentar roturas que inhabiliten el chasis.



**Figura 12-4:** Criterio de von mises a impacto frontal - Chasis 4

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

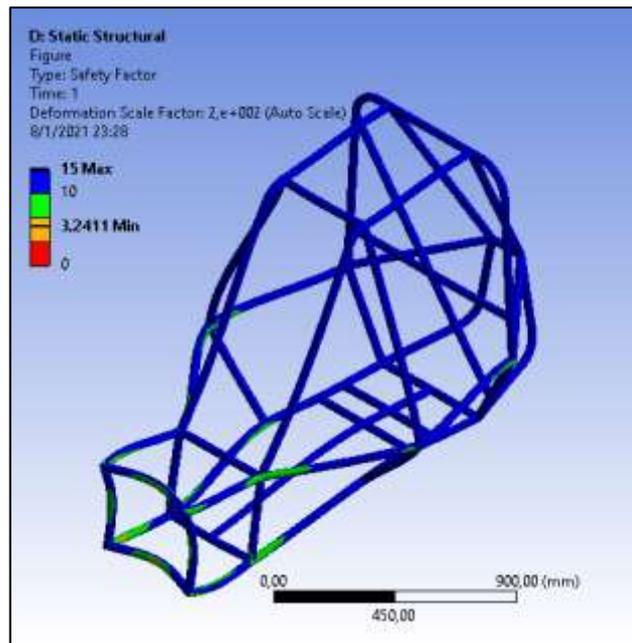
– Factor de seguridad

**Tabla 17-4:** Valores de factor de seguridad diseño 4

Velocidad [km/h]	Mínimo	Máximo	Promedio
45	3.2411	15	14.384

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

El diseño analizado presenta valores aceptables dentro de los límites determinados, generando un factor de seguridad de seguridad mínimo de 3.2411, superando al valor mínimo, siendo un diseño que su variación se enfoca en los miembros estructurales, al soportar un impacto cuenta con una probabilidad del 80% de soportar posibles roturas, y solo generando deformación a la estructura general del chasis.



**Figura 13-4:** Factor de seguridad a impacto frontal - Chasis 4

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

#### 4.1.3.5 Simulación del quinto diseño

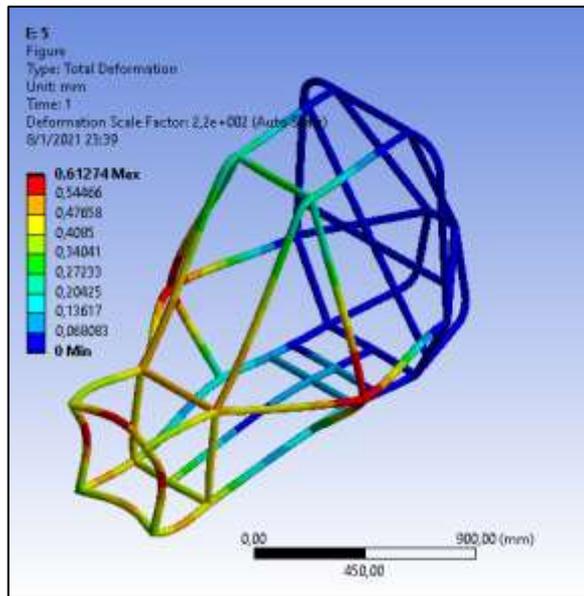
– Deformación

**Tabla 18-4:** Valores de deformación diseño 5

Velocidad [km/h]	Mínimo [mm]	Máximo [mm]	Promedio [mm]
45	0.068083	0.61274	0.21662

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Los valores obtenidos mediante la simulación, al proporcionar un impacto frontal con una fuerza de 20000 N generada por una velocidad de 45 km/h, como se indica en la figura 103-3, se produce una deformación mínima de 0.068038 mm, siendo las zonas sin riesgo, mientras que su valor máximo alcanza un desplazamiento de la estructura de 0.61247 mm, esta deformación se encuentra dentro de los límites establecidos por lo tanto no presenta riesgo de rotura.



**Figura 14-4:** Deformación por impacto frontal - chasis 5

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

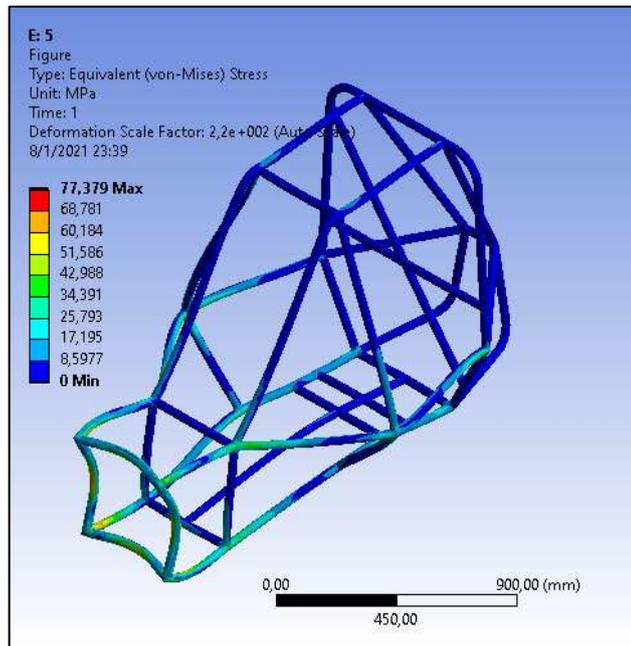
– Criterio de Von Mises

**Tabla 19-4:** Valores de criterio de von mises diseño 5

Velocidad [km/h]	Mínimo [MPa]	Máximo [MPa]	Promedio [MPa]
45	8.5977	77.379	73.131

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Para comprender los datos obtenidos, nos dice que, al proporcionarse una velocidad de 45 km/h dictada en el reglamento de Baja SAE, se genera un impacto frontal con una fuerza de 20000 N, se produce un esfuerzo máximo de 77.379 MPa, donde el esfuerzo máximo permisible antes de la rotura es de 400 MPa, se ha producido también una deformación máxima de 0.61247 mm, dando a entender que después del impacto el chasis recuperará su estado original, esto se logra gracias a las propiedades y características que posee el material



**Figura 15-4:** Criterio de von mises a impacto frontal - Chasis 5

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

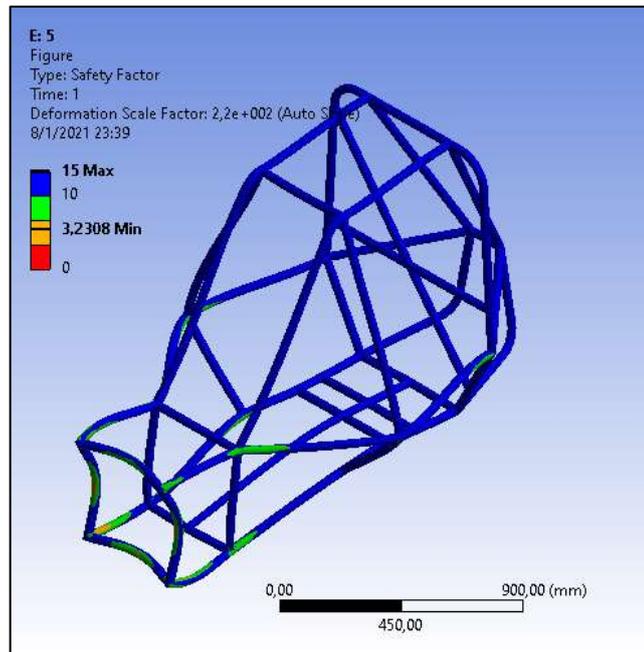
– Factor de seguridad

**Tabla 20-4:** Valores de factor de seguridad diseño 5

Velocidad [km/h]	Mínimo	Máximo	Promedio
45	3.2308	15	14.353

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Al producirse el impacto con una fuerza de 20000 N la cual se obtiene mediante la aplicación de una velocidad de 45 km/h, el chasis tiende a soportar sin problema los posibles casos de rotura, debido a que en el análisis de simulación mostrada en la figura 105-3, el factor de seguridad mínimo es de 3,2308, sabiendo que para que sea segura la estructura, el valor siempre debe ser mayor o igual a 1.



**Figura 16-4:** Factor de seguridad a impacto frontal - Chasis 5

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

#### 4.1.3.6 Simulación del sexto diseño

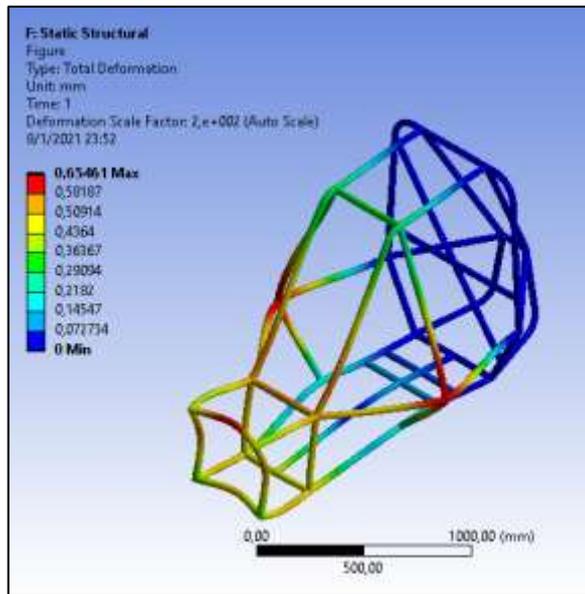
– Deformación

**Tabla 21-4:** Valores de deformación diseño 6

Velocidad [km/h]	Mínimo [mm]	Máximo [mm]	Promedio [mm]
45	0.072734	0.65461	0.23642

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Al realizar la simulación no arrojan valores mostrados en la figura 106-3, los cuales al ser analizados se interpretan de la siguiente manera, con una fuerza de impacto de 20000 N proporcionada mediante la aplicación de una velocidad de 45 km/h, velocidad que el reglamento de la Baja SAE determina, se tiene una deformación mínima de 0.072734 mm y una máxima de 0.65461 mm, por lo cual no hay riesgo de rotura en el material de construcción, ya que estos valores están dentro del rango permitido.



**Figura 17-4:** Deformación por impacto frontal - chasis 6

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

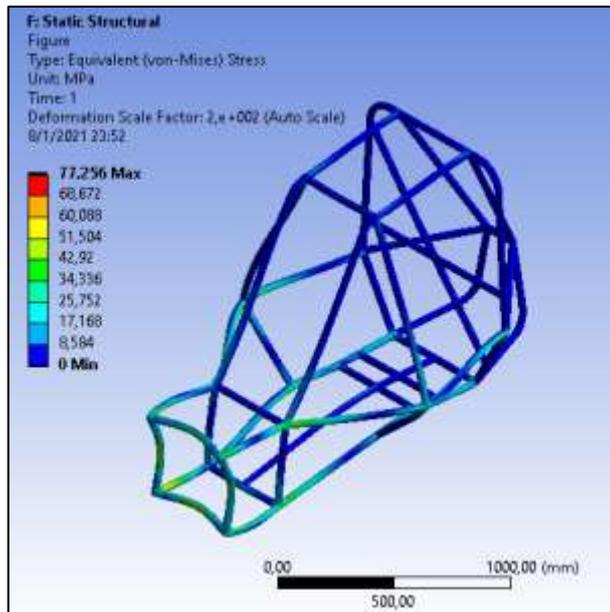
– Criterio de Von Mises

**Tabla 22-4:** Valores de criterio de von mises diseño 6

Velocidad [km/h]	Mínimo [MPa]	Máximo [MPa]	Promedio [MPa]
45	8.584	77.256	7.3229

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Cuando una velocidad de 45 km/h es proporcionada, se genera una fuerza frontal de 20000 N que impacta el chasis, mediante la simulación se obtienen valores de esfuerzos máximos y mínimos mostrados en la figura 107-3, con un valor máximo de 77.256 MPa y una deformación máxima igual a 0.65461 mm en donde la estructura tiende a tomar su forma original después de la colisión, debido a que el esfuerzo generado no supera los 400 MPa que representa el límite expuesto por el tipo de material.



**Figura 18-4:** Criterio de von mises a impacto frontal - Chasis 6

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

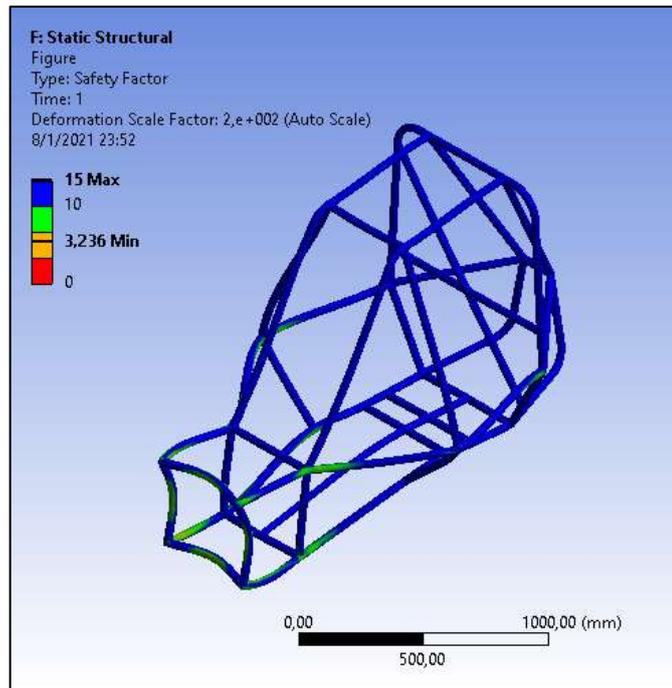
– Factor de seguridad

**Tabla 23-4:** Valores de factor de seguridad diseño 6

Velocidad [km/h]	Mínimo	Máximo	Promedio
45	3.236	15	14.328

Realizado por: Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

El reglamento de la Baja SAE determina que se aplique una velocidad de 45 km/h, lo cual genera una fuerza de impacto de 20 000 N, mediante la simulación realizada se obtienen los valores del factor de seguridad mostrados en la figura 108-3, en donde el factor de seguridad mínimo es de 3.236 MPa y el máximo es de 14.328 MPa, por lo cual se puede interpretar que la estructura no tiene inconvenientes ni presentará problemas de rotura, conociendo que el factor de seguridad siempre debe ser igual o mayor a 1



**Figura 19-4:** Factor de seguridad a impacto frontal - Chasis 6

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

#### 4.1.3.7 Simulación del séptimo diseño

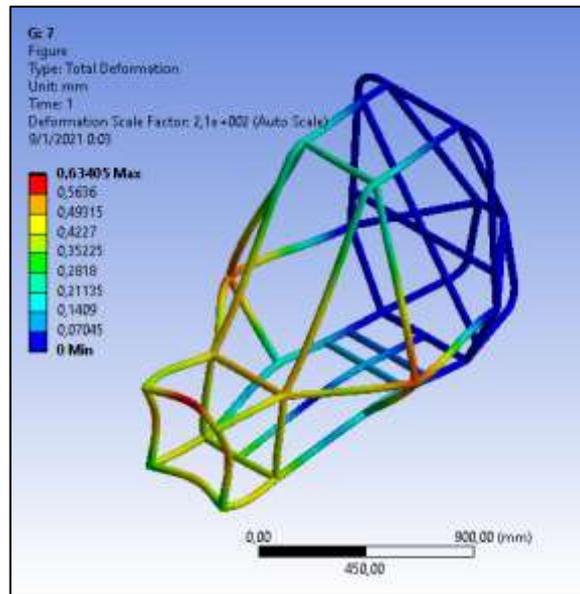
– Deformación

**Tabla 24-4:** Valores de deformación diseño 7

Velocidad [km/h]	Mínimo [mm]	Máximo [mm]	Promedio [mm]
45	0.07045	0.63405	0.20625

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Con la simulación realizada, se tienen valores mostrados en la figura 109-3, mediante una fuerza frontal de 20000 N proporcionada a base de la aplicación de una velocidad igual a 45 km/h, se genera una deformación máxima de 0.63405 mm y una mínima igual a 0.07045 mm, con estos valores se interpretan que la estructura del chasis no presenta problemas de rotura ya que su valor máximo está dentro de los límites permitidos.



**Figura 20-4:** Deformación por impacto frontal - chasis 7

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

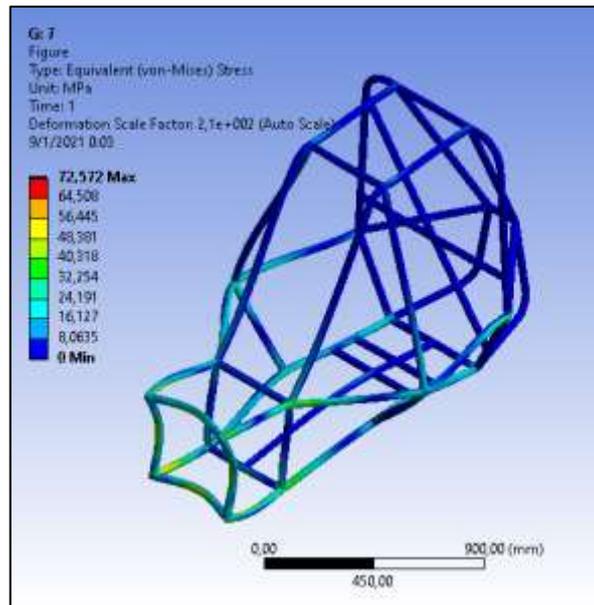
– Criterio de Von Mises

**Tabla 25-4:** Valores de criterio de von mises diseño 7

Velocidad [km/h]	Mínimo [MPa]	Máximo [MPa]	Promedio [MPa]
45	8.0635	72.572	7.0164

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Al realizar la simulación se obtienen los resultados mostrados en la figura 110-3, se aplica una velocidad de 45 km/h la cual genera una fuerza frontal de 20000 N, con ello se producen esfuerzos mínimos y máximos, 8.0635 MPa y 72.572 MPa respectivamente, por lo que al no superar los 400 MPa, se determina que la estructura tiende a tomar su estado original después del impacto, siendo determinante el tipo de material seleccionado, el cual cumple con las condiciones de soportabilidad ante factores que afectan su estructura.



**Figura 21-4:** Criterio de von mises a impacto frontal - Chasis 7

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

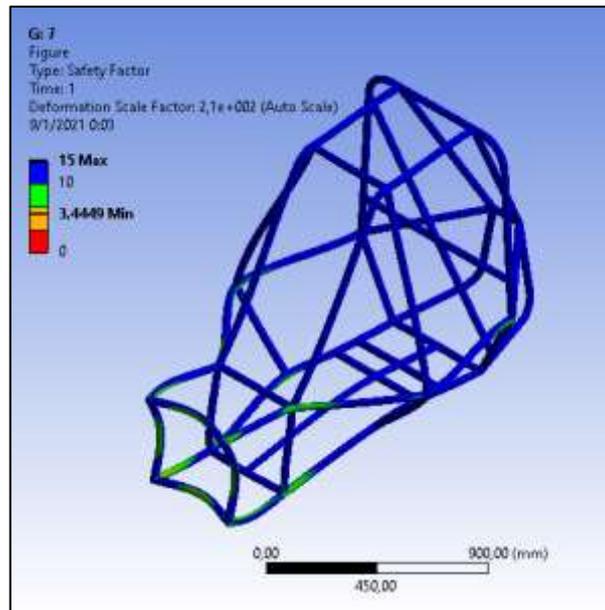
– Factor de seguridad

**Tabla 26-4:** Valores de factor de seguridad diseño 7

Velocidad [km/h]	Mínimo	Máximo	Promedio
45	3.4449	15	14.374

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Los resultados del factor de seguridad mostrados en la figura 111.3, muestra un factor de seguridad mínimo de 3.4449 y un máximo de 15, es decir, la estructura está diseñada con el material idóneo y con características que generan gran aporte mecánico, por lo cual no presenta riesgos de rotura, y es considerado uno de los diseños óptimos para ser considerado a un posible proceso de manufactura, debido a las disposiciones de su diseño y valores resultantes positivos.



**Figura 22-4:** Factor de seguridad a impacto frontal - Chasis 7

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Al general la respectiva simulación se obtuvo los respectivos resultados considerando los criterios establecidos para estructuras tubulares, por lo cual a continuación en la tabla se representa de forma general los resultados obtenidos de cada diseño.

**Tabla 27-4:** Resultados generales de simulación y análisis estructural

Diseño	Deformación (mm)	Factor de Von mises (Mpa)	Factor de seguridad	
			Min.	Max.
Diseño 1	0.64822	63.71	3.924	15
Diseño 2	0.60279	80.561	3.1032	15
Diseño 3	0.60738	73.362	3.4077	15
Diseño 4	0.69257	77.133	3.2411	15
Diseño 5	0.61274	77.379	3.2308	15
Diseño 6	0.65461	77.256	3.236	15
Diseño 7	0.63405	72.572	3.4449	15

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Los valores resultantes de cada diseño expuesto en la tabla 46-4, repercuten directamente al material escogido mediante criterios de selección, debido a que el acero estructural posee características mecánicas favorables y considerando factores geométricos de los miembros estructurales permitiendo reducir la carga computacional, sin alterar los resultados, con la recolección de valores de cada diseño obtenidos mediante un proceso de simulación con ANSYS, permite tener una concepción clara de la funcionalidad del chasis ante posibles colisiones, y son

tomados como base para un análisis comparativo, con el fin de determinar el diseño óptimo para su posterior construcción e implementación.

## **4.2 Análisis y discusión de resultados**

A partir de los datos y resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto, siguiendo los antecedentes de investigaciones, en relación al tema propuesto, con el fin de cumplir con los objetivos establecidos, se determina que cada sección descrita en el proyecto cumple parámetros específicos y delimitados por antecesores, que siguen las líneas de investigación relacionadas con procesos de manufactura para este tipo de estructuras tubulares, por lo que al realizar un análisis comparativo entre los resultados de investigaciones previas, que sirvieron de base para la sustentación de los resultados de este proyecto, con los obtenidos al cumplir este proyecto, debido a esto se generaron varios puntos de análisis.

### **4.2.1 Análisis de resultados métodos de selección multicriterio**

Antes de proceder al análisis de los respectivos resultados obtenidos mediante la aplicación de los métodos multicriterio para la selección del material de construcción, es necesario demostrar la factibilidad con la que cuenta la aplicación los diferentes cálculos matemáticos correspondientes a estos métodos los cuales se basan en el cumplimiento de un modelo matemático, para este fin se tomó como base el estudio de (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020), referente a la aplicación de los métodos multicriterio como una alternativa óptima para solucionar problemas de selección de materiales de construcción, adaptándose a diversas ramas de la ingeniería en general y en la industria automotriz, comparando los resultados experimentales y los resultados obtenidos de cada acero estructural en estudio, en busca del material con mejores prestaciones de utilidad. Teniendo en cuenta los resultados generados se considera los aceros ubicados en las tres primeras posiciones, los cuales, al ser analizados mediante criterios de disponibilidad en el mercado local y costos, se optará por considerar la alternativa que tiende al 100% con las características mencionadas.

Al tener clara la importancia de los materiales en los diferentes procesos de diseño dentro de la ingeniería automotriz para la construcción de un producto en particular, existe diferentes propiedades disponibles para que cada diseñador satisfaga las condiciones de diseño, en relación a lo desarrollado se determina que según el método COPRAS, se analiza que como material idóneo para la construcción del chasis se consideraría el Acero 1045, debido a las diversas características mecánicas con las que cuenta.

Según (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020), el SIP que posee cada criterio sería el máximo si se pretende maximizar el criterio y el mínimo si el objetivo fuera minimizarlo, por otro lado, el NIP será el mínimo para maximizar el criterio y el máximo cuando se requiere minimizarlo. La tabla 48-4 indica los resultados en un rango de mayor a menor, de los diferentes materiales estandarizados con mejores características, utilizados para el desarrollo del presente proyecto. Para el método VIKOR se considera que un resultado es válido cuando cumple las condiciones de la tabla 47-4, donde determina el límite elástico de los diferentes tipos de acero, confirmado lo obtenido mediante los cálculos realizados, por lo que el método VIKOR como resultados de obtiene el acero 1045 y el acero ASTM A 36, como la mejor opción para el chasis tubular, por otro lado se considera que la aleación Aluminio Magnesio, no cumplirá las expectativas requeridas, ya que al ser un material ligero, no resistirá las diferentes condiciones de impacto a las cuales va estar sujeta la estructura.

Se tiene en cuenta lo expuesto por (Chen, Yang, & Wang, 2015), donde plantea que los materiales utilizados en la construcción de las carrocerías, el 75% del peso total corresponde al acero, completándolos con el aluminio, plásticos y diferentes materiales, por lo que en la tabla 47-4, se muestra los rangos de límite elástico de los diferentes aceros en estudio para la fabricación del chasis, los cuales sirven para el análisis y comparación de los resultados obtenidos.

**Tabla 28-4:** Rango de límite elástico de los aceros

Grupo	Límite elástico (MPa)	Proceso de Manufactura
Aceros convencionales	<200	
Aceros de alta resistencia	160-300	Reforzados en hornos
	>340	Afino de grano
	>220	Solución sólida
Aceros de muy alta resistencia	500-600	Fases duras
	600-800	Fases duras
	800-1000	Fases duras
Aceros de ultra alta resistencia	1000-1250	Fases duras
	>1250	Fases duras

**Fuente:** (Chen, Yang, & Wang, 2015)

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Se considera el límite elástico que presenta cada material, según (Benedyk, 2010), manifiesta que el aluminio es la primera aleación ligera para construcción en comparación con los aceros, por lo que su utilización en la manufactura del sector automotriz, aumenta latentemente, por sus prestaciones y económica, junto a la aleación de titanio y magnesio, sin embargo en relación a los resultados obtenidos presentan una relación 2:1, con relación a los aceros por lo que al considerar

el rango de valores de límite elástico que soportaría cada acero, se determinó que para la construcción de refuerzos principales del 100% del vehículo, es factible la utilización de los aceros estructurales debido a su alta resistencia para los diferentes procesos de manufactura, siendo en fases duras donde el acero aporta gran resistencia ante posibles impactos que pretendan la deformación de la estructura.

En la tabla 48-4 se indica la comparación de los materiales analizado mediante los tres métodos, visualizando que los resultados de cada estudio determinan que el material óptimo es el acero 1045, seguido del acero 1020 y acero ASTM A 36, teniendo en cuenta que las variables consideradas son las características técnicas propias de cada acero.

En cuanto al rango de resultados para el método COPRAS, TOPSIS, y VIKOR, se representa de forma descendente, determinando el rango 6 como la mejor opción dominante.

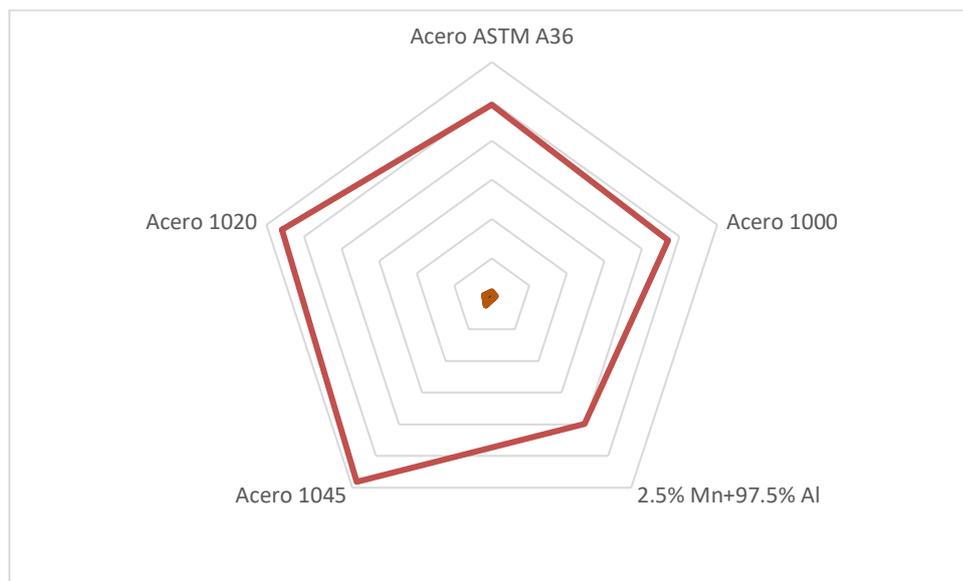
**Tabla 29-4:** Resultados de selección de métodos multicriterio

Material	Resultados - Método COPRAS		Resultados - método TOPSIS		Resultados - método VIKOR	
	Puntaje	Rango	Puntaje	Rango	Puntaje	Rango
Acero ASTM A36	98.2696	3	0.81707	3	0.16273	3
Acero 1000 2.5% Mn+97.5% Al	93.8743	2	0.72557	2	0.21046	2
Acero 1045	79.8757	1	0.18286	1	1	1
Acero 1020	116.2756	5	0.99669	5	0.00653	5
	111.7622	4	0.90100	4	0.15617	4

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

Al considerar los resultados representados en la tabla 48-4, teniendo en cuenta que según la investigación seleccionada como material óptima para la construcción del chasis es al acero 1045 que presenta características mecánica de alta resistencia para la fabricación de diferentes componentes automotrices, sin embargo mediante aspectos de selección aplicados en el desarrollo del proyecto como costos, disponibilidad en el mercado, se seleccionó como material de construcción el acero ASTM A36 siendo la tercera opción de los resultados obtenido, el cual presenta características similares al acero 1045, sin embargo la selección de este acero según (Guzhñay Miranda, 2012), presenta propiedades mecánicas que favorecen a estructuras tubulares, guiándose en la norma ASTM E8, en donde mediante ensayos de tensión, se determinó que el esfuerzo máximo que presente este acero hasta llegar a su fractura es de 50 a 80 Kpsi, por lo que el acero ASTM A 36 a diferencia de las otras alternativas, cuenta con mejores características para

la construcción de este tipo de estructuras de vehículos. Por lo que el material seleccionado según (Llanes Cedeño, Chamba, Cárdenas Yáñez, Vega, & Rocha Hoyos, 2020) como sustituto para el habitáculo de seguridad de un vehículo liviano es el acero 1045, el cual está enfocada a la construcción de estructuras rígidas propias de vehículos utilitarios, sin embargo el estudio realizado tomando en cuenta que el diseño a construir se enfoca en una estructura tubular sujeta a pruebas de impacto por lo que la alternativa del acero seleccionado es el acero ASTM A 36 enfocándose en el cumplimiento de las expectativas de vehículos prototipos sea para competiciones o para vehículos de movilidad personal que cuenta con estructuras tubulares.



**Gráfico 1-4:** Resultados de métodos multicriterio con distintos aceros estructurales

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Al generar los resultados interviene como principal atributo la elongación, ya que es el de mayor relevancia, seguido del esfuerzo a la fluencia, precio, el esfuerzo ultimo de cada acero y módulo de elasticidad. Como criterio de observación al realizar la comparación de los valores resultantes de los criterios, en especial de los valores que representa una distancia considerablemente alta entre cada alternativa, se les otorga un alto nivel de importancia, esto se genera debido al dinamismo y fluctuación con el que cuenta cada criterio, por lo que no sería favorable evaluar una condición muy idéntica a otra, cuando se produce mayor imprecisión en las alternativas restantes. Esto explicaría de forma concisa la tendencia que se producirá en los valores resultantes finales a converger hacia la alternativa de aceros estructurales consideradas. Por lo que mediante la comparación del grafico 6-4, se nota que la tendencia favorable hacia el acero 1045 es notable sin embargo notamos que la tendencia favorece de igual manera al acero 1020 y al ASTM A36, por lo que al ser establecido que el material de construcción de este tipo de estructuras debe ser por medio un acero al carbono estirado en frío, su porcentaje de carbono debe ser considerable

teniendo al acero 1045 con un contenido de carbono entre 0.43% -50%, el acero 1020 entre 0.18% -0.23% de carbono, mientras que el acero ASTM A 36, es considerado uno de los aceros estructurales de carbono de mayor utilización un un contenido de carbono de 0.29% como máximo.

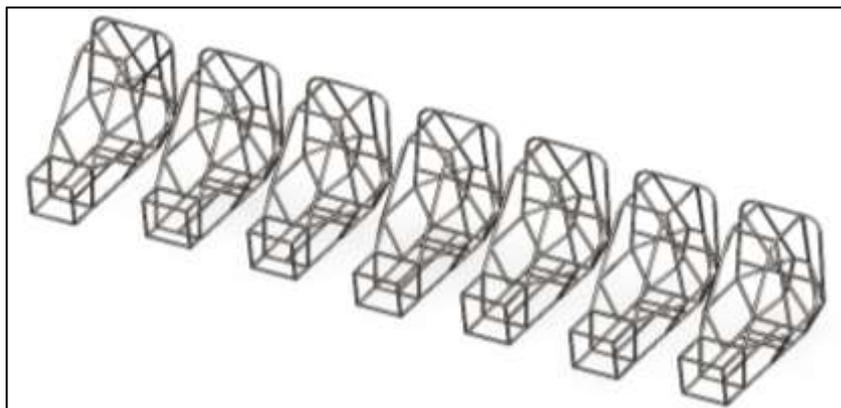
De acuerdo con (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019), determina al acero ASTM A36 como uno de los aceros recomendados para la construcción del chasis, al ser considerado un acero suave, y de fácil manipulación, presentando una buena soldabilidad, ya que su laminado en caliente le otorga alta resistencia, presentando un punto de fusión entre los 1425 – 1538 °C, con una densidad de 7.85 g/cm<sup>3</sup>, condiciones que favorecen al trabajo mediante soldadura MIG. Sin embargo el acero 1045 a pesar de presentar características optimas la facilidad de trabajo sobre este acero se ve reducida ya que al presentar un porcentaje elevado de carbono se convierte en un acero duro, aumentando en un 23% el porcentaje normalizado de elongación a diferencia de lo otros aceros, por lo que procesos de doblado dificulta su trabajo, considerando que el material de construcción de estas estructuras requieren un porcentaje de carbono aceptable, la aleación de aluminio-magnesio, no cuenta con este requisito por lo que es descartado como material de construcción y ubicándose en la última posición del análisis multicriterio.

Al obtener un criterio analítico de los resultados y conociendo los aceros que ocuparon las 3 primeras posiciones cumplen en cierto grado las recomendación del reglamento pertinente y teniendo en cuenta el porcentaje de carbono, se determina que estos aceros son óptimos para el proceso de simulación y construcción, sin embargo, factores externos intervienen en la selección del material entre estos tres materiales, por lo cual se aplica el diagrama de flujo de restricción de material plateado en la figura 14-3, el mismo que permite la selección final del material considerando aspectos de costos y disponibilidad en el mercado y al ser aplicado este diagrama de flujo se obtiene como resultado el acero ASTM A 36, el cual cumple con características de calidad optimas, siendo un material considerado para la construcción de este tipo de estructura, aprobando con parámetros tanto de costos como disponibilidad en el mercado ecuatoriano. Siendo este el que presenta mejores características mecánicas y resistencia a posibles roturas a comparación de otros aceros estructurales de acuerdo con la gráfica siguiente, por lo que este acero seleccionado presenta la particularidad de que cumpla la relación de a mayor esfuerzo aplicado, su deformación no se altera drásticamente, determinando un porcentaje mínimo en relación con diferentes aceros, por lo que cualquier estructura tubular construida con este acero, soportara cualquier tipo de colisión antes de su rotura, siendo la mejor opción para ser material de construcción de este tipo de chasis.

#### 4.2.2 *Diseño y modelamiento de las alternativas de chasis*

El proceso de diseño se efectúa bajo parámetros establecidos por la reglamentación emitida por (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019), donde determina específicamente las condiciones y rangos de media para el correcto diseño y sus posibles variaciones, considerando esto los 7 diseños concebidos en la figura 113-4, siguen lo establecidos variando en un porcentaje mínimo sus dimensiones teniendo en cuenta siempre la ergonomía y confortabilidad para el piloto y la correcta distribución para los diferentes elementos que conformen el prototipo de vehículo minitodoterreno.

Según (Cuellar Yañez, López Parra, & Torres, 2018), analiza el proceso de diseño y fabricación de un chasis tubular para esta categoría de vehículos, enfocándose al diseño asistido por computadora, donde establece que se debe centrar en las condiciones de modelado computacional y su respectiva relación con la construcción, mediante perfiles tubulares cortos, y doblados dependiendo la ubicación del miembro estructural, con la utilización de módulos de diseño de piezas soldadas incorporados en el software, por lo que al realizar el proceso de diseño de cada chasis se sigue esta esquemática aplicando técnicas CAD/CAM explicadas por (Norton, 2016), donde se toma como software de diseño a SolidWorks, por su amplio contenido de librerías de diseño que facilitan el trabajo a la hora de concebir el modelo de cualquier tipo de estructura, teniendo claro los conceptos fundamentales en una guía rápida de (SolidWorks Corporation, 2015). Por lo que se realiza a cada diseño con acabados óptimos, considerando que dentro de la ingeniería es indispensable herramientas digitales que potencialicen cada proceso, convirtiéndose en el diseño asistido por computadora un claro ejemplo de esto, usando para plasmar la idea conceptual del un chasis de tipo SAE, visualizando el modelo que latente que se conseguira en el futuro, con datos y criterios erróneos que permiten corregir antes de su construcción.

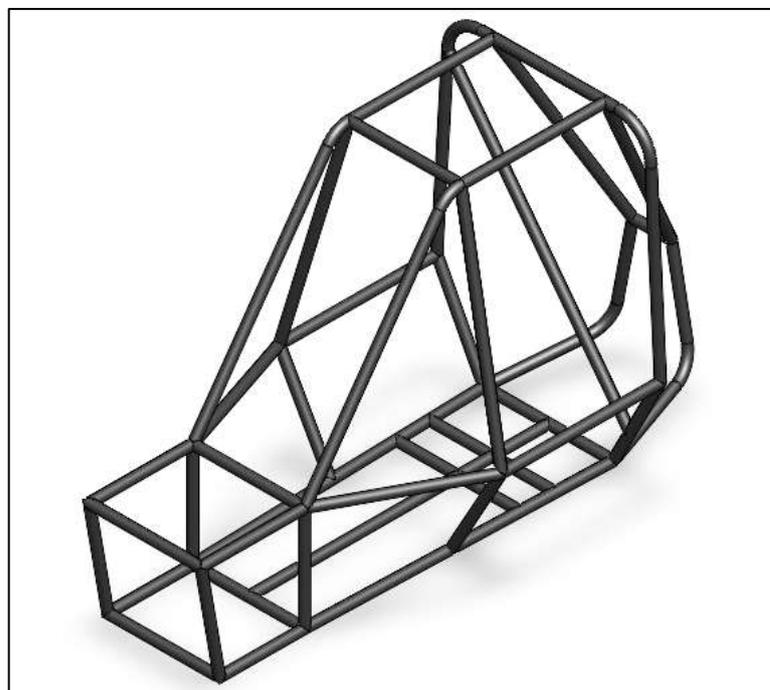


**Figura 23-4:** Diseños finales de las variantes de chasis

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Cada diseño fue optimizado siguiendo los aspectos de facilidad de construcción, peso y la distribución óptima de los pesos que afectan a la estructura. El diseño 1, fue modelado como base para las demás variaciones con una geometría simple, mediante la unión de miembros estructurales continuos tanto en la parte frontal como en la posterior, permitiendo estabilizar el chasis durante el proceso de manufactura. La triangulación con la que cuenta el chasis puede simplificarse en vista de obtener la perfección del diseño, reduciendo su peso total. Mediante los resultados de la simulación se logra determinar cuando existe gran cantidad de miembros estructurales de longitudes reducida, ocasionan una triangulación compleja, produciendo mayores concentraciones de esfuerzos lo que afectaría la resistencia de los nodos principales de la estructura.

En la figura 114-4 se puede observar la alternativa final del diseño del chasis, donde cuenta con una estructura en la parte frontal, geoméricamente común en vehículo de tipo baja SAE. Los miembros de la estructura de impacto lateral fueron diseñados y triangulados de acuerdo con las reglas del baja SAE, evitando así el uso de más elementos estructurales para esta zona.



**Figura 24-4:** Diseño CAD final del chasis tubular

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

La estructura posterior cuenta con una geometría estructural reforzada ya que la propuesta de chasis pretende ser puesta en marcha mediante la utilización de un motor eléctrico, que no va a intervenir en la resistencia mecánica del chasis, lo cual si se considera cuando se trata de un motor de combustión interna, el cual utiliza una carcasa de aluminio, convirtiéndose en un miembro

estructural del chasis. Como acotación se puntualiza que el reglamento del baja SAE determina triangulaciones básicas para las zonas estructurales delantera y posterior

#### **4.2.3 *Análisis y comparación de resultados de la simulación estructural***

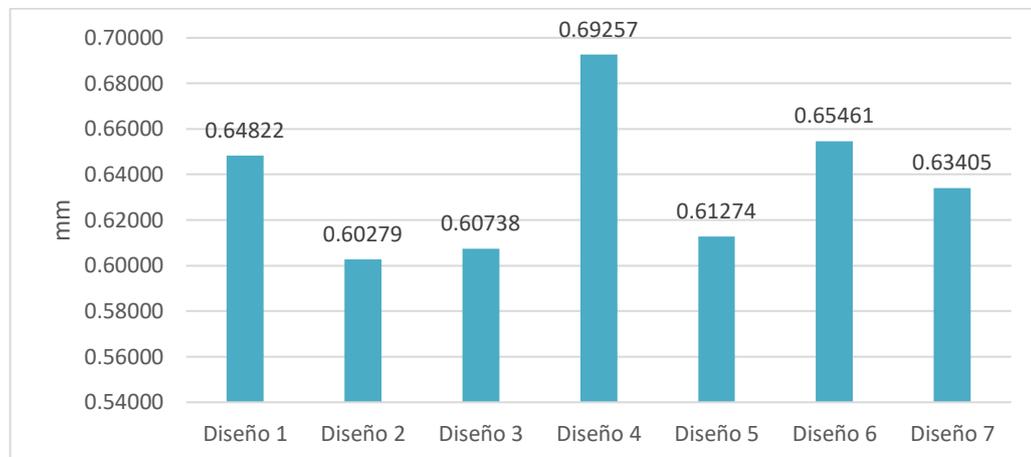
Como primer paso para el desarrollo del análisis de los resultados obtenidos del chasis al sufrir un impacto frontal, inicia en la demostración de la precisión del software ANSYS, para la aplicación en un proceso de simulación en donde al considerar el análisis de impacto de un objeto en movimiento horizontal tomando en cuenta el estudio de (Goicolea, 2018), referente a pruebas de impacto de estructuras, cuyo objetivo se centra en demostrar de forma digital diferentes condiciones a las cuales va estar sometido el chasis obteniendo resultados que servirán para el análisis de la alternativa de diseño adecuado.

Para (Mota González, 2015), la aplicación del método de elementos finitos (MEF) para el análisis computacional con el fin de determinar el comportamiento de un chasis al estar sujeto a diferentes condiciones de uso, donde toma como condición de análisis un fuerza frontal de impacto mediante el análisis de impacto de un objeto en movimiento horizontal, en donde como principal variable se considera la velocidad a la cual va a moverse el elemento, generando como resultados una deformación, esfuerzo al cual está sujeto la estructura y un factor de seguridad el cual será determinante a la hora de seleccionar un diseño de chasis. Por lo que se procedió a realizar una simulación computacional similar, aplicando una velocidad de 45 km/h, obteniendo una fuerza de impacto de 20000 N, esta fuerza se timara como referencia o el criterio máximo para sustentar la estructura geométrica analizada en relación con las 7 variaciones de diseño planteados, obteniendo los valores máximos obtenidos del análisis, de la deformación, von mises y factor de seguridad con el fin de determinar el diseño óptimo para su construcción.

##### **4.2.3.1 *Simulación estructural: Deformación de los diseños de chasis aplicado una fuerza de impacto de 20000 N***

En lo que se refiere al análisis de la deformación estructural, no se cuenta con un criterio preciso acerca de los límites de la deformación del chasis, sin embargo es de suma importancia para la selección del diseño que presente mayor resistencia, ya que al homologar un vehículo es necesario reducir el daño que se ocasionara en un impacto frontal, lo que eleva la categorización si el daño es mínimo, debido a esto se asume que cada variante de chasis fue diseñado con el objetivo de cumplir ya sea en la reducción de daños por colisión frontal con una estructura sólida o cualquier otro vehículo, aprobando la normativa a la cual se rige la construcción del chasis.

Al obtener los valores de deformación representados en la tabla 47-4, los cuales demuestran la variación en la simulación que posee cada diseño mediante la utilización del acero ASTM A36, determinando una diferencia que se encuentra entre el 3% y 8%, teniendo en cuenta que el análisis computacional no permite en su totalidad predecir con exactitud la deformación final del chasis una vez producido el impacto, pero si permite visualizar y conocer la deformación lineal que producirá en el chasis con un grado elevado de aproximación.



**Gráfico 2-4:** Comparación valores máximos de deformación

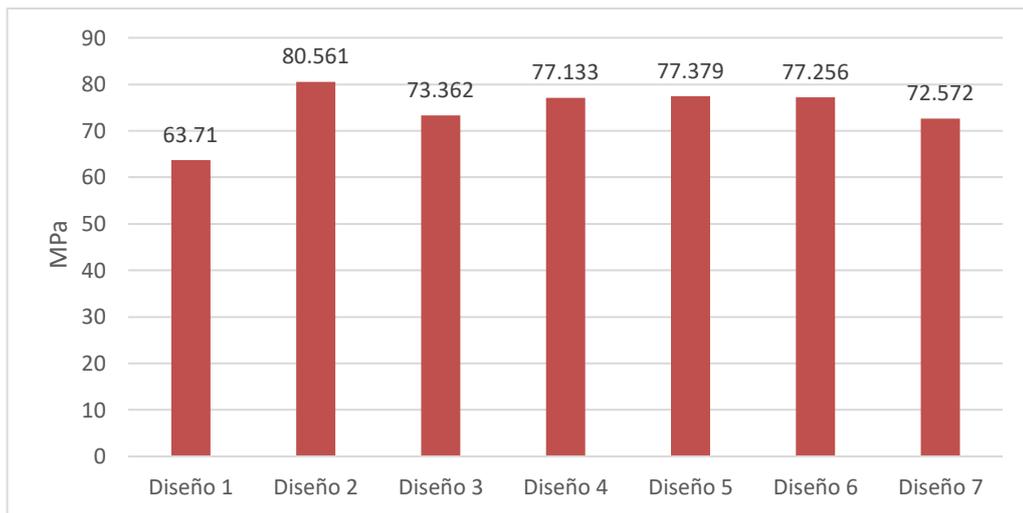
Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

De acuerdo al gráfico 7-4, se puede apreciar que las estructuras de cada diseño presentan una variación relativa donde los valores máximos rondan dentro de los 0.60 a 0.70 mm de deformación, siendo la unión entre la jaula antivuelco con los miembros frontales la zona afectada, por lo que están dentro del rango permitido por el reglamento, el diseño que presenta mayor deformación es el diseño 4, con 0.69257 mm, lo cual se debe a su geometría de diseño viéndose afectado la parte frontal del chasis a una altura de 360 mm (36cm), lo que representa una mayor área de contacto, por lo que se considera que el resto de diseño bajo ese rango son aceptables, siendo el diseño 2 la mejor opción ya que cuenta con una deformación de 0.60279 mm, como criterio de selección del material se descarta el diseño que presenta mayor deformación, por lo tanto en relación al análisis estructural, los diseños con los valores de deformación que se encuentren debajo de este valor, son los que presentan mejores condiciones para ser manufacturados, y son alternativas de posible selección.

#### 4.2.3.2 Simulación estructural: Criterio de Von Mises de los diseños de chasis aplicado una fuerza de impacto de 20000 N

Según (Alvarez Salazar, 2018), al considerar que el criterio de von mises permite conocer el esfuerzo resultante del chasis sometido a las diferentes cargas, plantea que el estudio y análisis

demuestra una correlación de forma directa entre la velocidad de impacto y los máximos esfuerzos equivalentes, determinando que las concentraciones de esfuerzos se visualizan de forma directa en los arcos antivuelco y en la estructura que conforma los miembros de impacto frontal, demostrando que la distribución de cargas es óptima de forma longitudinal de la estructura tubular, por lo que el esfuerzo equivalente de von mises deberá ser menor al límite elástico que soportaría el material seleccionado, lo que repercutirá en el factor de seguridad. En el grafico 8-4, se puede notar una comparativa entre los esfuerzos de von mises obtenidos de cada diseño en relación con la fuerza de impacto que se obtuvo a una velocidad determinada en 45 km/h, teniendo un rango de 60 a 80 MPa aproximadamente de esfuerzos equivalentes,



**Gráfico 3-4:** Comparación valores máximos del factor de von mises

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Para obtener una concepción clara de los datos obtenidos, gráficamente se compara los resultados en el grafico 8-4, y al tomar en cuenta los valores resultantes del grafico 7-4, que corresponden a la deformación total que se presentó durante la colisión, se observa que el diseño 1 tras los 0.64822 mm de desplazamiento vuelve a su estado original con un esfuerzo de 63.71 MPa, este valor se encuentra por debajo del límite de fluencia del material empleado, esto quiere decir que este diseño posee un porcentaje menor a esfuerzos de rotura.

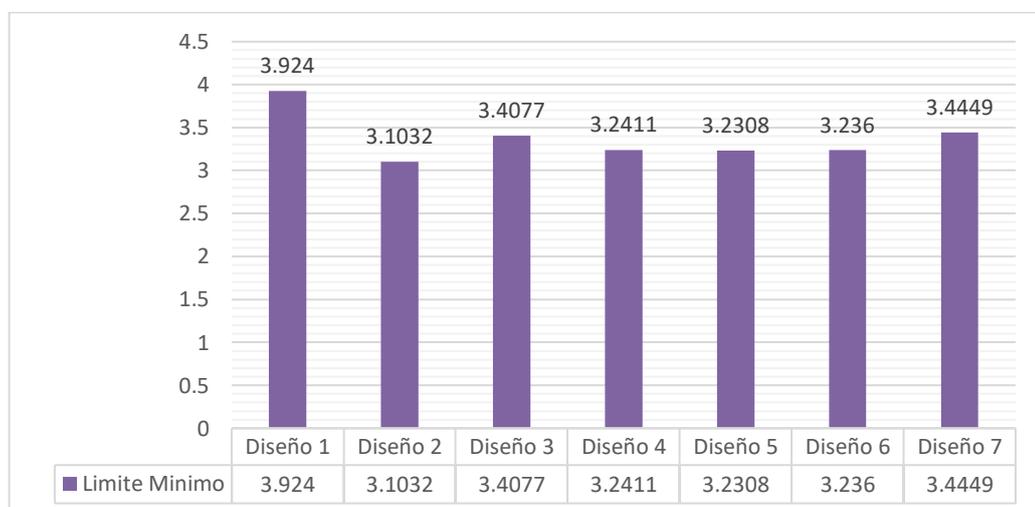
Lo contrario sucede con el diseño 2 el cual presenta un mayor esfuerzo equivalente de von mises el cual al sufrir el impacto frontal y producirse una deformación de 0.60279 mm hacia el eje horizontal, regresa a su estado original con un esfuerzo de 80.561 MPa, al encontrarse cada diseño dentro del esfuerzo equivalente al cual soportaría el material seleccionado, produciéndose deformaciones extremas mas no posibles fracturas del material tubular, esto se indica que las propiedades plásticas del acero ASTM A 36 que combinadas con la geometría del diseño, otorgan un daño casi aceptable ante posibles situación de colisión, precautelando la integridad tanto de la

estructura general como la seguridad del conductor, quedando como clara evidencia que al presentar un bajo valor de esfuerzo equivalente de Von Mises, y teniendo un diseño considerablemente geométrico cuyo objetivo es incrementar la comprensibilidad del material, con la mira en reducir su daño, se considera ideal dentro de las condiciones de diseño y construcción.

#### 4.2.3.3 Simulación estructural: Factor de Seguridad de los diseños de chasis aplicado una fuerza de impacto de 20000 N

De acuerdo con el análisis de (Cepeda Delgado, 2019), donde el factor de seguridad sobre la estructura del chasis indica que el área donde se manifiesta la concentración de esfuerzos hace optima o muy vulnerable la alternativa de estructura en estudio. Considerando que los esfuerzos máximos no tienden a sobrepasar el límite de cedencia que posee el material, es primordial seleccionar un diseño geoméricamente aceptable, ya que esto dará paso a obtener un óptimo factor de seguridad y por ende una mayor rigidez de la estructura tubular, brindando al chasis mayor seguridad y confiabilidad al momento de sufrir un impacto frontal, en relación al gráfico 9-4, se observa que el factor de seguridad mínimo se ve incrementado al ser los valores mayor a 1 aceptables, esto se debe al diseño y posicionamiento de forma correcta de los elementos estructurales en la parte frontal del chasis, lo que permite que la estructura incremente su seguridad al ser construida, teniendo un valor de 15 como referencia máxima de factor de seguridad.

El factor de seguridad de cada diseño determinado en el gráfico 9-4 mediante la simulación representa que todas las pruebas establecidas por el reglamento de baja SAE son óptimas, por lo cual el chasis seleccionado para su construcción no sufrirá deformaciones de tipo permanente, ni presentará colapso o destrucción de la estructura.



**Gráfico 4-4:** Comparación valores mínimos aceptable del factor de seguridad

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Según la comparativa expuesta en el gráfico 9-4, se plantea que el factor de seguridad es el criterio de mayor consideración al seleccionar un diseño, determinando que el valor máximo es constante en todos los diseños, sin embargo para un análisis de este criterio se toma en cuenta los valores mínimos resultantes, por lo que si el valor es menor que 1 la estructura no es aceptable y se descarta el diseño, por otro lado el diseño que presente un valor mayor a 1, sería el que presente una estructura óptima y con mejores características de resistencia a factores externos, por lo que se determina que el modelo seleccionado es el diseño 1, ya que su factor de seguridad es de 3.924, deformándose hasta alcanzar un desplazamiento de 0.64822 mm y regresando a su estado original con un esfuerzo equivalente de 63.71 MPa, lo que representa que este diseño cumple con todos los parámetros de construcción, y es capaz de soportar cualquier tipo de esfuerzo presente.

Por otro lado, los diseños que tengan como factor de seguridad un valor bajo 3.924, se descartan inmediatamente a pesar de ser valores aceptables esto se debe a la geometría que posee cada diseño, por lo que el diseño 1 cuenta con mejores condiciones de seguridad, dentro de los diseños descartados podemos visualizar que la alternativa 2, es la estructura que tiende a una falla inminente con un factor de seguridad mínimo 3.1032, lo que ocasiona una deformación máxima de 0.60279 mm, y esfuerzo de 80.561 MPa, lo cual al ser comparado con los resultados de la alternativa seleccionada para construcción, varían considerablemente.

Al conocer los resultados tanto del diseño como la simulación de cada estructura se determinó que el diseño óptimo y seleccionado para su posterior construcción es el diseño 1, considerado el diseño estándar, ya que su factor de seguridad representa un valor adecuado y óptimo a diferencia del resto, y la deformación que presenta se encuentra en los rangos óptimos, así mismo el valor del factor de von mises es el más bajo por lo cual el diseño soportaría esfuerzos y evitaría posibles roturas de los miembros estructurales, por lo cual se considera que esta estructura cumple con el control de calidad y soportaría diferentes aspectos externos, brindando mayor seguridad al piloto en caso de posibles colisiones, siendo este diseño el cual bajo los 3 criterios de simulación, genera resultados adecuados.

Con los valores de la deformación máxima, resultantes de la simulación, se genera una comparativa con la máxima deformación plateada por el reglamento del baja SAE, el cual se encuentra dentro de los límites autorizados por dicho reglamento, que no existe inconveniente para su construcción, por otro lado los resultados del diseño 1 del factor de von mises se genera una comparativa con límite mínimo que soporta el acero ASTM A36, antes de su rotura por lo que los valores obtenidos determinan que el diseño 1 del chasis y el material seleccionado son aptos para su elaboración, dejando como último criterio el factor de seguridad que representa como diseño de mayor seguridad ante impactos externos al chasis seleccionado, dicha comparativa se expresa en la tabla 49-4.

**Tabla 30-4:** Comparación de resultados diseño 1 con resultados permitidos

<b>Criterios</b>	<b>Valores</b>
<b>Deformación</b>	
Deformación máxima permitida	25 mm
Deformación obtenida en la simulación	0.64822 mm
<b>Factor de von mises</b>	
Límite mínimo de rotura acero ASTM A36	400 MPa
Límite máximo obtenido en la simulación	63.71 MPa
<b>Factor de seguridad</b>	
factor de seguridad permitido	Mayor a 1
Factor de seguridad obtenido en la simulación	3.924

**Fuente:** (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019)

**Realizado por:** Ortiz Omar; Chacha Edison, 2021

En relación a los resultados que siguen la tendencia comparativa con los valores límites de la tabla 49-4, establecidos por proyectos antecesores, sus variaciones dependen de la disposición de estructura ya que cuenta con una mayor dimensión y mayor número de miembros estructurales lo que dificulta un análisis preciso a diferencia de la estructura que se determinó donde el modelo es compacto y utilitario, presentando valores favorables de deformación, factor de von mises y factor de seguridad, mientras que el análisis efectuado por (Cepeda Delgado, 2019), presenta un 75% de miembros estructurales de un solo tipo obteniendo una deformación máxima de 0.407 mm, mientras que el proyecto realiza se realiza la simulación del 100% de miembros del chasis teniendo una concepción general al momento de una colisión, con una deformación máxima de 0,64822 mm, considerando que el análisis se lo realizo a la estructura con material de un solo tipo y medida, datos y resultados correspondientes al diseño 1, el cual fue considerado el más óptimo de los 7 diseño mediante la simulación realizada.

#### **4.2.4 Construcción y acabos finales del chasis**

Una vez determinando el diseño optimo, se obtiene las dimensiones del diseño 1, y al seguir el proceso de construcción tomando en cuenta los criterios de corte, doblado, soldadura y ensamblaje de los miembros estructural, se logra plasmar el diseño del chasis digital en un chasis físico el cual sirva de base para su posterior construcción y acoplamiento de los diferentes mecanismo con el fin de obtener un vehículo mini todoterreno eléctrico, cuyo chasis cumple con las condiciones establecidas y generando resultados favorables a todas las pruebas y factor expuestos con el fin de obtener un producto final, con estándares de calidad altos.

Considerando lo desarrollado por (Cepeda Delgado, 2019), que sigue un procedimiento esquemático para la manufactura del chasis, el cual se perfecciono mediante las técnicas de construcción de (Groover, 2015), obteniendo en cada paso acabados óptimos tanto de corte, como soldadura para obtener como resultado final un chasis que cumpla las condiciones de calidad y desempeño, siguiendo los parámetros de soldadura, obteniendo un chasis con los requerimientos y expectativas determinadas al analizar el reglamento emitido (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019), siguiendo los planos de construcción del diseño 1, el cual fue seleccionado como modelo de chasis óptimo.

#### 4.2.4.1 *Fabricación de miembros estructurales*

La utilización de plantillas dentro de la fabricación de los miembros estructurales representa resultados favorables, ya que las plantillas permiten de mejor manera dar forma a los cortes de boca de pescado, determinando una longitud exacta de cada todos los elementos estructurales, previamente detallada en el CAD. Considerando que las curvaturas se las realizo mediante una flexión rotativa, como se indica en la figura 115-4, lo que genere resultados favorables en la construcción, evitando de esta manera posibles aplastamientos y deformación en el material



**Figura 25-4:** cortes y curvaturas de los miembros estructurales

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

#### 4.2.4.2 Resultados de inspección de soldadura

##### – Inspección visual

Al generar las uniones soldadas mediante la aplicación de soldadura tipo MIG, se generaron resultados convenientes para la construcción del chasis, ya que se utilizó como material de aporte el 70S-6, siendo en un alto porcentaje compatible con el acero ASTM A36. Ya que según (Ñeco Caberta & Silva Aceves, 2019), este material de aporte al utilizar un aproximado del 20% de dióxido de carbono y un 80% de argón, en el proceso de soldadura, permite que el electrodo se materialice presentando una resistencia mayor a la que posee el material base.

Los resultados obtenidos al realizar la inspección de las uniones soldadas se notó ciertas porosidades en algunos cordones de soldadura, dichas imperfecciones se produjeron en las uniones de cada miembro estructural, que al ser detectadas se realizó las correcciones respectivas, evitando de esta manera posibles fisuras a largo plazo, una vez corregido los errores se realiza una nueva inspección donde no se encontraron ningún tipo de grietas o fallas de soldadura, teniendo como resultado final uniones de soldadura con acabados superficiales libres de escoria con un cordón de soldadura óptimo, como se aprecia en la figura 116-4.



**Figura 26-4:** Cordón de soldadura final

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

##### – Inspección por líquidos penetrantes

Al ser determinado el diseño de chasis óptimo mediante la simulación de impacto frontal, se establece mediante la figura 100-3 que corresponde a la posible deformación del chasis, por lo que se considera los puntos críticos que resultarían afectados en una colisión, de esta forma se realiza la inspección no destructiva del cordón de soldadura de las 6 uniones críticas que posee la

estructura tubular plantados en la figura 125-4, de esta forma se conocerá la calidad de soldadura realizada y su posible rectificación según el nivel de imperfecciones



**Figura 27-4:** Uniones soldadas sujetas a inspección de líquidos penetrantes

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

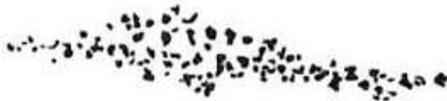
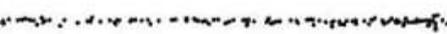
El resultado de la inspección de soldadura al aplicar los líquidos penetrantes determinó la existencia de porosidades en ciertas uniones de soldadura, dichas imperfecciones presentadas se ubican en el cordón de soldadura por lo que se procede a realizar la rectificación con el fin de evitar fisuras considerables en un periodo prolongado de tiempo.



**Figura 28-4:** Resultados de la inspección de líquidos penetrantes

Realizado por: Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Al realizar la inspección visual de la aplicación del ensayo no destructivo con los líquidos penetrantes en los respectivos cordones de soldadura, por lo que se toma en consideración la interpretación del revelado determinado en la figura 127-4, para la interpretación de las diferentes imperfecciones generadas mediante este ensayo, por lo que al ver una concentración de puntos rojos de tiene picaduras y porosidades, sujetas a las respectivas correcciones.

SI VES:	INDICACION	SE TIENE:
		
UNA CONCENTRACION DE PUNTOS ROJOS		PICADURAS Y POROSIDADES
		
UNA LINEA CONTINUA QUE APARACE RAPIDAMENTE		FISURA O APERTURA GRANDE
		
UNA LINEA PUNTEADA QUE DEMORA EN APARECER		FISURA O CIERRE EN FRIJO
		
UNA LINEA IRREGULAR FORMADA POR UNA SERIE DE PUNTOS.		FISURA POR FATIGA, SUELDA PARCIAL O TRASLAPE

**Figura 29-4:** Interpretación del revelado

**Fuente:** (Groover, 2015)

Sin embargo, al analizar la interpretación se logra determinar que antes de proceder con la aplicación de los líquidos, mediante la inspección visual no se apreciaron porosidades o grietas considerables que afecten a la unión de los miembros estructurales, al aplicar el líquido revelador se visualiza pequeñas grietas en el cordón de soldadura como se puede notar en la figura 126-4, por lo que se tiene zona definida para corregir la soldadura.

Analizando los casos de imperfecciones en cada unión de soldadura que presentan mayor riesgo de posibles fracturas, se llegó a la conclusión que las porosidades existentes en los miembros estructurales no producen grandes alteraciones a la estructura general del chasis, por lo que estas imperfecciones se encuentran en una cantidad baja. Sin embargo, con el objetivo de tener acabados óptimos se corrige las fallas reveladas por el procedimiento de líquidos penetrantes.

#### 4.2.4.3 Resultado final del chasis

En relación a (The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019), donde estimula las condiciones de diseño para la construcción del chasis, es bastante evidente que la geometría repercute directamente al comportamiento y desempeño de la estructura tubular para condiciones mecánicas específicas, por lo que al evaluar la normativa que regula el diseño, se genera una expectativa de diseño final como se visualiza en la figura 128-4, a la cual se pretende alcanzar, cumpliendo con las especificaciones del reglamento baja SAE.



**Figura 30-4:** Modelo de diseño del chasis tubular

(The 2019 Baja SAE Rules Committee, 2019)

Al tener la convicción del modelo expuesto se concluye con un resultado final positivamente aceptable, considerando las medidas generadas mediante la obtención de planos (ANEXO A), se tiene el punto de partida para la correcta distribución de los miembros estructurales para la construcción, por lo que al llevar un adecuado control de procesos se obtiene un proceso de manufactura óptimo, teniendo como resultado un chasis tubular de forma física, como se muestra en la siguiente imagen.



**Figura 31-4:** Resultado final del chasis tubular

**Realizado por:** Ortiz, O.; Chacha, E. 2021

Se considera el resultado final del chasis de la figura 129-4 y tomando en cuenta los resultados obtenidos mediante las técnicas de investigación establecidas en el desarrollo del proyecto como, la selección de materiales conocidos como métodos multicriterio, que en la actualidad la gran parte de fabricantes de partes y piezas automotrices consideran diversos aspectos mecánicos, manufactureros así como su entorno permitan reducir las desventajas que se puedan presentar en la productividad de productos, por lo cual la utilización de herramientas multicriterio en desarrollo de estructuras, repercute positivamente en la intención de resultados, de la misma forma la implementación de técnicas CAD/CAM para el modelamiento y la aplicación de métodos de elementos finitos (MEF), para conseguir resultados exactos mediante la simulación de cada diseño de chasis, para su posterior construcción, siguiendo los procesos establecidos para manufactura de estructuras tubulares. Por lo que estas consideraciones apoyan al cumplimiento de objetivos planteados y se respalda la problemática establecida, aportando relevancia a temas que abarque el diseño y construcción de estructuras para vehículos, permitiendo que este proyecto sirva de base para futuras investigaciones y proyectos relacionados que contribuyan al crecimiento exponencial de propuestas que incentiven el desarrollo óptimo de la matriz productiva del país.

## CONCLUSIONES

Al realizar una revisión bibliográfica general de la propuesta en estudio mediante artículos científicos, libros, proyectos de titulación referentes al tema, se determina los diferentes aspectos tanto teóricos como técnicos, que permitieron un adecuado desarrollo del proyecto, teniendo la concepción clara de una estructura tubular (chasis), así como las fuerzas y cargas que actúan sobre este, así como las diferentes consideraciones tanto para el diseño, simulación y proceso de manufactura.

La selección del material mediante la aplicación de los métodos multicriterio COPRAS, TOPSIS y VIKOR, representa una sistemática aplicable, útil y exacta, al momento de solucionar problemas en la selección entre diversas alternativas de materiales complejos, implicando parámetros cualitativos y cuantitativos. Por otra parte en los tres métodos aplicados se obtuvo una óptima valoración de los materiales considerados para construcción de estructuras tubulares por lo que se determinó como material óptimo el acero 1045 con un contenido de carbono entre 0.43%-50%, seguidos por el acero 1020 con 0.18%-0.23% de carbono, y como tercer material óptimo el acero ASTM A 36 con un porcentaje máximo de 0.29% de carbono, sin embargo al considerar la disponibilidad en el mercado, costos y al ser el material recomendado por la reglamentación se escoge el acero ASTM A 36 el cual favorece a la estructura con características mecánicas alta, y de esta forma se observa una perspectiva clara del mejor y el peor material, y que sus datos coincida en los resultados de cada método aplicado, teniendo de esta manera la perspectiva clara de las características del material en relación con los otros.

Para los criterios de diseño y modelado en el desarrollo del proyecto es indispensable la utilización de herramientas digitales que permitan potenciar el desarrollo, por lo que el diseño asistido por computadora mediante SolidWorks permitió obtener resultados positivos. El chasis para el prototipo de vehículo mini todoterreno debe cumplir con todos los requisitos planteados por el comité de reglas de baja SAE 2019, el diseño de chasis seleccionado absorbe en lo posible la energía de impacto sin destruir la estructura debido al material utilizado el cual presenta soporta esfuerzos equivalente de aproximadamente 400 MPa, por lo que se creó mediante el software se creó un perfil estructural con un dimensionamiento de 25.4mm x 0.89 mm, generando un barrido por todo el croquisado hasta obtener el modelo en 3D, de la misma manera se determina la ubicación del centro de gravedad, la posición tentativa de conducción y las restricciones del sistema, de esta forma se dimensiona correctamente los diferentes miembros estructurales del chasis, estableciendo patrones de triangulación para un diseño geoméricamente estable.

Las simulaciones generadas a cada diseño mediante la aplicación de la herramienta computacional ANSYS, permitió entender de forma intuitiva y clara el comportamiento del chasis con el material seleccionado, disminuyendo altamente las posibilidades de que se generen errores en los diseños permitiendo optimizar el tiempo y los costos. Por lo consiguiente al realizar un análisis de deformación el desplazamiento realizado ronda entre los 0.60 mm a 0.70 mm, por lo que el diseño 1, el cual se consideró para la construcción presento ante un impacto frontal con una fuerza de 20000 N, una deformación máxima de 0.64822 mm desplazándose sobre el eje horizontal, y regresando a su estado original con un esfuerzo equivalente de von mises de 63.71 MPa, debido a estos factores el chasis cuenta con un óptimo factor de seguridad de 3.924, valor superior al límite mínimo permitido. El desarrollo del proyecto permitió considerar que las propiedades mecánicas de los materiales encontrados en el mercado nacional y el material seleccionado para el desarrollo del chasis no son exactos es importante analizar e interpretar correctamente el factor de seguridad de cada diseño de chasis, evitando posibles riesgos de falla al momento que la estructura se encuentre en funcionamiento, y la deformación del diseño seleccionado no sobrepasa el límite que emite el reglamento de 25 mm por otro lado los resultados obtenidos en todas las simulaciones no sobrepasa el límite elástico del acero ASTM A36, evitando posibles deformaciones permanentes a la estructura.

La investigación realizada determina que, para la construcción del chasis de un mini todoterreno eléctrico, se debe utilizar un tubo A36 tubular circular de 1 pulgada de diámetro y 1.1 milímetros de espesor para que la estructura sea resistente y con bajo índice de deformación. Por otro lado, los doblajes de los tubos en ciertos sectores del chasis deben ser tomados con gran importancia, es decir no sustituir doblajes por cortes, debido a que son curvas que ayudan a reducir la fuerza de impacto y la deformación. Con este trabajo se ha demostrado también que el acople de los tubos deber un rango de tolerancia mínima de  $\pm 0.5mm$  para evitar aberturas, para esto se utiliza la técnica denominada “boca de pescado” procedimiento con el cual al realizar el cordón de soldadura no exista exceso de material de electrodo en los tubos que van a ser fundidos. Además, es indispensable que la configuración del amperaje la suelda MIG esté determinada en un valor de 55 A, este nivel de amperaje ayuda a que en la unión de los tubos de 1.1 milímetros de espesor mediante la suelda MIG, no se produzca perforaciones o cordones de soldadura con baja resistencia siendo verificado mediante el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes.

## **RECOMENDACIONES**

La metodología multicriterio empleada para la selección de alternativas y validación del material de construcción sirva de base para investigaciones en cuanto a ensayos digitales para simulaciones de impactos frontales, laterales, permitiendo tener una concepción clara de parámetros cuantitativos y cualitativos aplicados a materias primas locales dentro del mercado automotriz.

Para el diseño y construcción óptimos de estructuras tubular como el chasis de prototipos de vehículos se considera diferentes aspectos importantes tanto mecánicos, desempeño, eficiencia y factores económicos, que permitirán el correcto desarrollo del proyecto, teniendo en consideración en futuras investigación un análisis comparativo entre uniones soldadas mediante suelda MIG y suelda por arco eléctrico, lo cual permitirá tener una concepción clara del método de soldadura adecuado.

Es recomendable que la ejecución del modelado y diseño del chasis sea por medio de programas de CAD/CAM, enfocados al diseño mecánico, de tal manera que se genera precisión en las dimensiones para un adecuado análisis y tener el dimensionamiento definido evitando gasto desperdicio de material en su construcción, respetando la reglamentación del baja SAE 2019, garantizando el correcto funcionamiento del chasis,

Al no existir una metodología específica para el diseño y manufactura de este tipo de chasis es recomendable la creatividad y el ingeniero aplicando técnicas y conocimiento obtenidos a lo largo de nuestra instrucción profesional con el fin de tomar las decisiones adecuadas para un desarrollo del proyecto optimo con el fin de obtener los mejores resultados.

Para la realización de este tipo de proyectos es necesario contar con un espacio físico, herramientas y maquinas que permiten la facilidad al momento de la construcción.

## GLOSARIO

**ASTM:** American Society for Testing and Materials.

**CAD:** Computer Aided Design (Diseño asistido por ordenador).

**CAE:** Computer Aided Engineering (Ingeniería asistida por ordenador).

**Colisión:** Es un choque que se produce entre dos o más cuerpos sabiendo que por lo menos uno de ellos debe encontrarse en movimiento

**Confort:** En el ámbito automotriz es muy utilizada esta expresión, puesto que se trata de todo aquel elemento encargado de generar comodidad a los ocupantes.

**Diseño:** Es la elaboración de planos que son indispensables para la creación de máquinas, estructuras, sistemas para el desarrollo de diversas funciones.

**Distorsión:** Efectos que un objeto llega a tener luego de haber estado sometido a ciertas cargas como son; estirar, retorcer, curvar o alterar de manera significativa un objeto.

**Ensamblaje:** Es el proceso en el cual se unen o se acoplan un número determinado de piezas, encajando de manera perfecta una pieza en la otra.

**Estructura:** Unión de ciertos perfiles con el fin de construir una parte resistente

**Fluencia:** Es cuando una probeta se deforma de manera permanente total, sin embargo, la parte que se recupera o vuelve a su forma original es la parte elástica.

**Fusión:** Es el proceso que se aplica en el cambio de estado de la materia, pasando de sólido a líquido, este proceso claramente se ve utilizado en la soldadura

**INEN:** Instituto Ecuatoriano de Normalización.

**Inercia:** Es una propiedad que todo cuerpo tiene, es decir, propiedad en la cual un cuerpo no puede modificarse por sí mismo en el movimiento en el que se encuentre

**Mecanizado:** Es la aplicación de diversos procesos como corte o rectificado a elementos.

**MEF:** Método de Elementos Finitos

**Métodos:** Es el conjunto de estrategias utilizadas para cumplir un objetivo, los métodos siempre están ligados a un medio instrumental con lo cual se producen trabajos que se realizan a diario.

**Prototipo:** Es la creación de un primer sistema o modelo, utilizado como guía para la elaboración del producto final, permitiendo configurar el diseño en caso de ser necesario.

**SAE:** Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotrices).

**Simulación:** Es la utilización de programas computarizados, en los cuales se puede comprobar el funcionamiento de cierto sistema.

**Tubular:** Es un componente de metal hueco, caracterizado por tener los dos extremos abiertos y se pueden encontrar de distintas figuras, ya sean cuadrados, redondos o rectangulares.

## BIBLIOGRAFÍA

**AEADES.** "Sector Automotriz en Cifras". *Perfil del Sector Automotor en Ecuador* [en línea]. 2020, (40), pp. 3–6. Disponible en: <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2020/01/boletin-40-espanol-resumido.pdf>

**ALVAREZ SALAZAR, VICENTE RICARDO.** Diseño y construcción de un chasis tubular de un vehículo de competencia formula sae eléctrico [En línea] (Trabajo de titulación), Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. 2018. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15149/1/UPS-CT007481.pdf>

**ANDRADE ÁLVAREZ, ALEX FABIAN., & JARAMILLO MADRID, GUIDO ANTONIO.** Diseño y construcción del chasis para un vehículo tipo buggy de la fórmula automovilística universitaria (FAU) [En línea] (Trabajo de titulación), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. 2009. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1331/1/65A00005.pdf>

**ASTM INTERNATIONAL.** "ASTM E8", *Normas ASTM* [en línea]. 2020. Disponible en: <https://la.astm.org/>

**BENEDYK, J. C.** "Aluminum alloys for lightweight automotive structures". *Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles* [en línea]. Elsevier, 2010, pp. 79–113. ISBN 9781845694630. Disponible en: doi:10.1533/9781845697822.1.79

**CATHERINE LOGREIRA, CATHERINE et al.** "Ensayo de tracción de probetas". *Universidad Tecnológica de Bolívar Programa de ingeniería civil* [en línea]. 2019, (Ecuador). Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/331310816\\_ENSAYO\\_DE\\_TRACCION\\_DE\\_PROBETAS](https://www.researchgate.net/publication/331310816_ENSAYO_DE_TRACCION_DE_PROBETAS)

**CEJA PÉREZ, LEONARDO et al.** Diseño, análisis numérico y manufactura del chasis de un vehículo mini baja SAE [En línea] (Trabajo de titulación), Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México D.F. 2008. Disponible en: <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/7869/1/TESINA-TEC-013.pdf>

**CEPEDA DELGADO, SERGIO IVAN.** Diseño conceptual y de detalle para un chasis de baja SAE para su posterior fabricación [En línea] (Trabajo de titulación), Universidad Santo Tomas de Aquino, Bogotá. 2019. pp. 58-65. [consultado el 12 de enero de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11634/23142>

**CERVERA RUIZ, MIGUEL., & BLANCO DIAZ, ELELENA.** "Resistencia de materiales". *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Barcelona* [en línea]. 2015, (España) 4(8). ISSN 2007-784X. Disponible en: [doi:10.29057/ess.v4i8.2361](https://doi.org/10.29057/ess.v4i8.2361)

**CHAMBA, EDWIN et al.** "Análisis del material del habitáculo de seguridad de un vehículo liviano por método multicriterio". *Enfoque UTE* [en línea]. 2020, 11(1), pp. 108–118. [consultado el 23 de enero de 2021]. ISSN 1390-6542. Disponible en: [doi:10.29019/enfoque.v11n1.492](https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n1.492)

**CHEN, HAO, YALI YANG., & LIANGJIE WANG.** "Vehicle Front Structure Energy Absorbing Optimization in Frontal Impact". *The Open Mechanical Engineering Journal* [en línea]. 2015, 9(1), pp. 168–172. [consultado el 5 de marzo de 2021]. ISSN 1874-155X. Disponible en: [doi:10.2174/1874155x01509010168](https://doi.org/10.2174/1874155x01509010168)

**CUELLAR YAÑEZ, MILTON SAEL et al.** "Análisis del proceso de diseño y fabricación del chasis tubular para Vehículo Fórmula SAE". *Memorias del XXIV congreso internacional anual de la somim* [en línea]. 2018, México. ISSN 2448-5551. Disponible en: [http://somim.org.mx/memorias/memorias2018/articulos/A1\\_81.pdf](http://somim.org.mx/memorias/memorias2018/articulos/A1_81.pdf)

**DIPAC.** "Perfiles estructurales". *Catalogo general de productos de acero* [en línea]. 2020, (Ecuador), Disponible en: <https://www.dipacmanta.com/Catalogos-descargas/catalogo-2020.pdf>

**FERREPRO.** *El Concepto de Soldabilidad en Aceros al Carbón* [blog]. México, Best Concept Group. 2017. Disponible en: <http://ferrepro.mx/el-concepto-de-soldabilidad-en-aceros-al-carbon/>

**FIERRO J, RENATO., & ANDRES ORDOÑEZ S.** *La Ingeniería Automotriz clave para el desarrollo sostenible de Ecuador* [en línea]. Quito: Editorial Universitaria Abya-Yala, 2018. ISBN 978-9978-10-327-2. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17060>

**FRANKLAND, THOMAS W.** *Trazado de plantillas para tubos*. México: Editorial Limusa S.A. De C.V., 2003. ISBN 9789681817206.

**GOICOLEA, JOSE M.** "Estructuras sometidas a impacto". *E.T.S. Ingenieros de Caminos, Universidad Politécnica Madrid* [en línea]. 2018. (Madrid), Disponible en: <http://w3.mecanica.upm.es/~goico/ead2000.pdf>

**GRAJALES QUINTERO, ALBERTO et al.** "Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación". *Luna Azul* [en línea]. 2013, (36), pp. 285–305. [consultado el 17 de febrero de 2021]. ISSN 1909-2474. Disponible en: [doi:10.17151/luaz.2013.36.14](https://doi.org/10.17151/luaz.2013.36.14)

**GROOVER, MIKELL P.** *Fundamentos de Manufactura Moderna* [En línea]. 3ª ed. México: Pearson Educación, 2015. ISBN 9789688808467.

**HIBBELER, R. C.** *Mecánica de Materiales*. Ciudad de México, México: Prentice Hall, 2016. ISBN 9789701701218.

**INEN.** "Vehículos Automotores, carrocerías de buses, requisitos". *Reglamento Técnico Ecuatoriano* [en línea]. 2009. (Quito) Disponible en: <https://n9.cl/vuy94>

**JARAMILLO, RIGOBERTO.** "Fundamentos de soldadura Suelda Mig Mag". *Ingemecánica* [en línea]. 2019. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn53.html>

**LÓPEZ VILLACÍS, GONZALO EDUARDO.** Estudio del comportamiento del acero A36 mediante ensayos de tracción para determinar fallas en elementos estructurales, mediante la norma ASTM E-8. [En línea] (Trabajo de titulación), Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. 2012. pp. 56-6. [consultado el 11 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/3035>

**MALDONADO-PÁEZ, FERNANDO E.** et al. "Caracterización del diseño de la suspensión inclinable para vehículos de movilidad personal". *Información tecnológica* [en línea]. 2020, (Ecuador), 31(3), pp. 87–102. [consultado el 23 de diciembre de 2020] ISSN 0718-0764. Disponible en: [doi:10.4067/s0718-07642020000300087](https://doi.org/10.4067/s0718-07642020000300087)

**MOTA GONZÁLEZ, IGNACIO.** Estudio mediante el MEF del comportamiento del chasis de un vehículo de calle [En línea] (Trabajo de titulación), Universidad Carlos III de Madrid, España. 2015. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10016/23573>

**NAVARRO CHAVEZ, CESAR LENIN.** *Epistemología y Metodología* [en línea]. México: Grupo Editorial Patria, 2014. [consultado el 29 de enero de 2021]. ISBN 978-607-438-864-0 [consultado el 29 de enero de 2021]. Disponible en: <https://editorialpatria.com.mx/pdf/files/9786074383188.pdf>

**NORTON, ROBERT L.** *Diseño de maquinaria* [en línea]. 2ª ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 2016. ISBN 9789701026557. Disponible en: <https://n9.cl/dtjq7>

**ÑECO CABERTA, RAUL.** Diseño y construcción de un vehículo todo terreno para competencia Baja SAE 2019 (Tesis de titulación), Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México. 2019. Disponible en: <http://cathi.uacj.mx/20.500.11961/10808>

**ROWE, RICHARD., & LARRY JEFFUS.** *Manual De Soldadura Gmaw Mig Mag* [en línea]. Estados Unidos: Editorial Paraninfo, 2008. ISBN 10: 8428329389. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books/about/Manual\\_de\\_soldadura\\_gmaw\\_MIG\\_MAG.html?id=lvltVXsi1-EC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Manual_de_soldadura_gmaw_MIG_MAG.html?id=lvltVXsi1-EC&redir_esc=y)

**SALAZAR-LOOR, RODGER et al.** "Métodos Multicriterio aplicados a la parte lateral de una estructura autoportante para vehículos livianos". *CienciAmérica* [en línea]. 2019, 8(2), 59. [consultado el 24 de febrero de 2021]. ISSN 1390-9592. Disponible en: [doi:10.33210/ca.v8i2.172](https://doi.org/10.33210/ca.v8i2.172)

**SECRETARIA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO - SEMPLADES.** "*Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida*", [en línea], 2017, (Quito).

**SOLIDWORKS CORPORATION.** "Introducción a SolidWorks". *Dassault Systemes* [en línea]. 2015, EE.UU. Disponible en: [https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS\\_Introduction\\_ES.pdf](https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS_Introduction_ES.pdf)

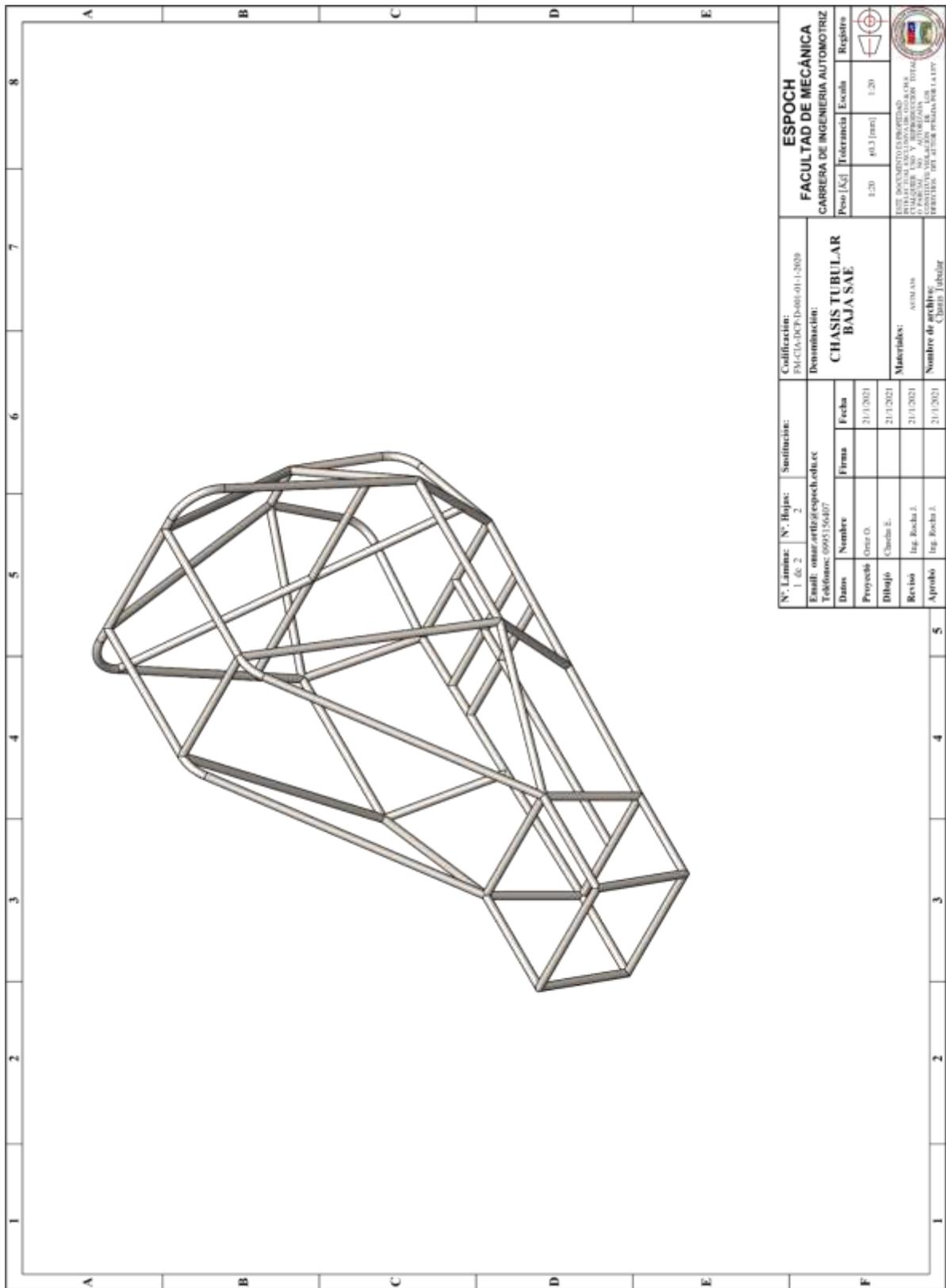
**THE BAJA SAE RULES COMMITTEE.** "Collegiate Design Series Baja SAE Rules". 2019. Disponible en: <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-230209>

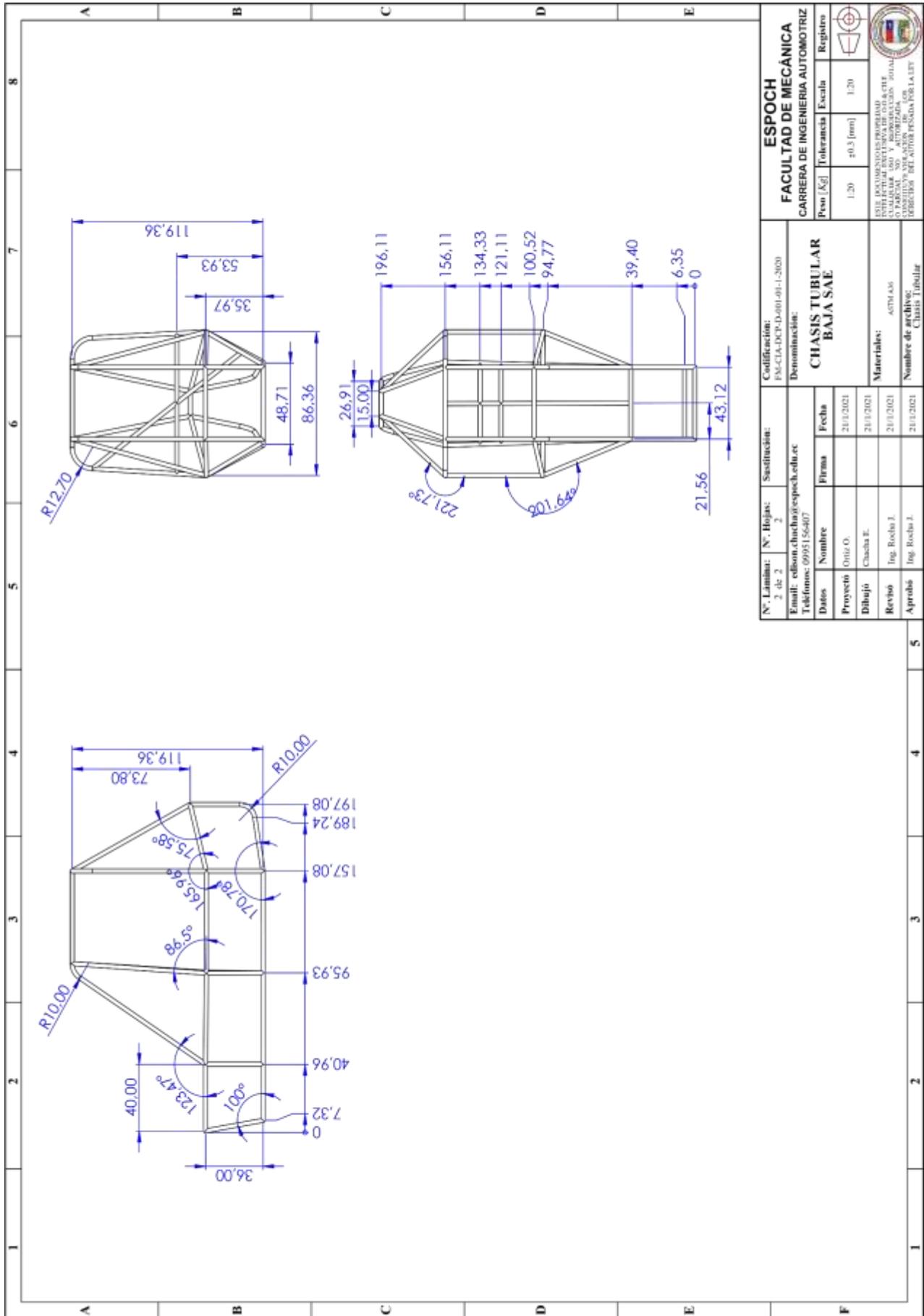
**VALENZUELA NÁJERA, RENE ALBERTO et al.** "Diseño de chasis para un monoplaza formula SAE". *Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez* [en línea]. 2013, (México) Disponible en: <https://n9.cl/vt6gs>

**VILLENA IZURIETA, NADIA PRISCILA.** "El Ecuador y el proceso de cambio de la matriz productiva: consideraciones para el desarrollo y equilibrio de la balanza comercial". *Economía Latinoamericana* [en línea]. 2015. (Ecuador). [consultado el 2 de febrero de 2021]. ISSN 1696-8352. Disponible en: <https://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2015/matriz-productiva.html>

# ANEXOS

## ANEXO A: Planos de construcción del diseño 1



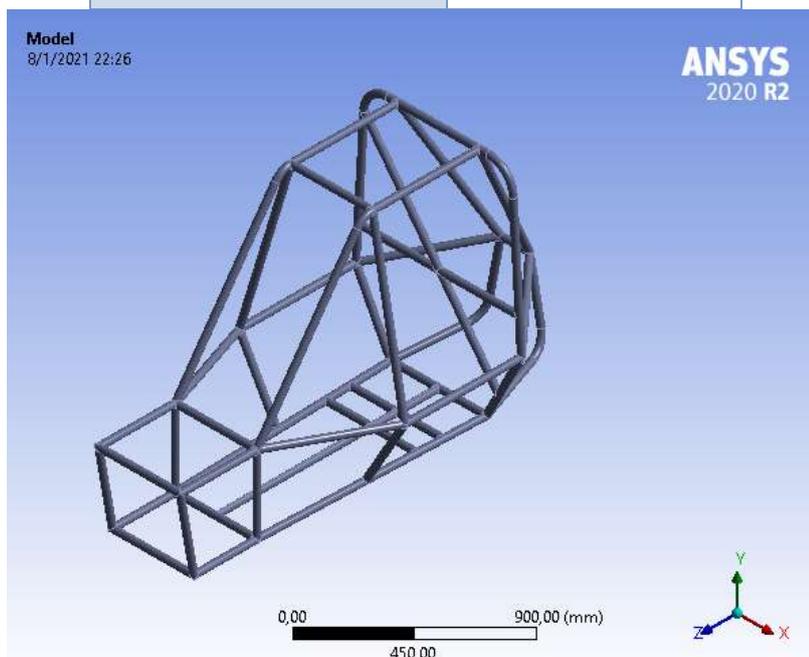


N. Lámina: 2 de 2		N. Hojas: 2		Sustitución:		Codificación: FM-CLA-DCT-D-001-01-1-2020	
Email: edison.chacha@espech.edu.ec		Teléfono: 0995156407		Denominación: CHASIS TUBULAR BAJA SAE		Facultad de Ingeniería Automotriz	
Proyecto: 0016 O.		Nombre: Chacha E.		Firma:		Escala: 1:20	
Dibujo:		Ing. Rocha J.		Fecha: 21/1/2021		Tolerancia: ±0.3 [mm]	
Revisó:		Ing. Rocha J.		Fecha: 21/1/2021		Registro:	
Aprobó:		Ing. Rocha J.		Fecha: 21/1/2021		Peso [Kg]: 1.20	
Materiales: ASTM A56		Número de archivo: Chasis Tubular		Este documento es propiedad intelectual exclusiva de OJ & CHE O.P.A.C. NO AUTORIZADA REPRODUCCIÓN NI DIFUSIÓN SIN AUTORIZACIÓN POR ESCRITO DEL AUTOR/PROFESOR/ASESOR.			

**ANEXO B: Informe de resultados de simulación del diseño seleccionado.**



First Saved	Friday, January 8, 2021
Last Saved	Friday, January 8, 2021
Product Version	2020 R2
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



## Units

**TABLE 1**

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

## Geometry

**TABLE 2**

**Model (A4) > Geometry**

Object Name	Geometry
-------------	----------

State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	C:\Users\ra3di\OneDrive - xKx\escritorio\escritorio 2\arenero\CONVERSION PARA ANALISIS\1.scdoc
Type	SpaceClaim
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	897,3 mm
Length Y	1227,7 mm
Length Z	1994,8 mm
<b>Properties</b>	
Volume	1,1539e+007 mm <sup>3</sup>
Mass	90,579 kg
Scale Factor Value	1,
<b>Statistics</b>	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	62939
Elements	31820
Mesh Metric	None
<b>Update Options</b>	
Assign Default Material	No
<b>Basic Geometry Options</b>	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	Yes
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
<b>Advanced Geometry Options</b>	

Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Clean Bodies On Import	No
Stitch Surfaces On Import	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**

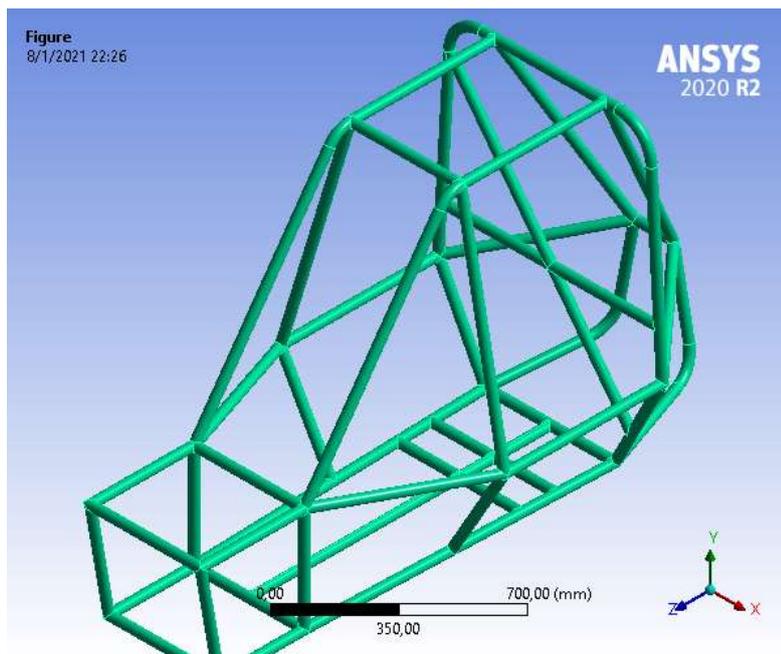
**Model (A4) > Geometry > Parts**

Object Name	1ESTRUCTURA(Default<As Machined>)
State	Meshed
<b>Graphics Properties</b>	
Visible	Yes
Transparency	1
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Treatment	None
<b>Material</b>	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
<b>Bounding Box</b>	
Length X	897,3 mm
Length Y	1227,7 mm

Length Z	1994,8 mm
<b>Properties</b>	
Volume	1,1539e+007 mm <sup>3</sup>
Mass	90,579 kg
Centroid X	633,5 mm
Centroid Y	1264,7 mm
Centroid Z	1797,3 mm
Moment of Inertia Ip1	4,0382e+007 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	3,3109e+007 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	1,7941e+007 kg·mm <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>	
Nodes	62939
Elements	31820
Mesh Metric	None
<b>CAD Attributes</b>	
PartTolerance:	0,00000001
Color:175.159.143	

**FIGURE 1**

**Model (A4) > Geometry > 1 > ESTRUCTURA(Default<As Machined>) > Figure**



**TABLE 4**

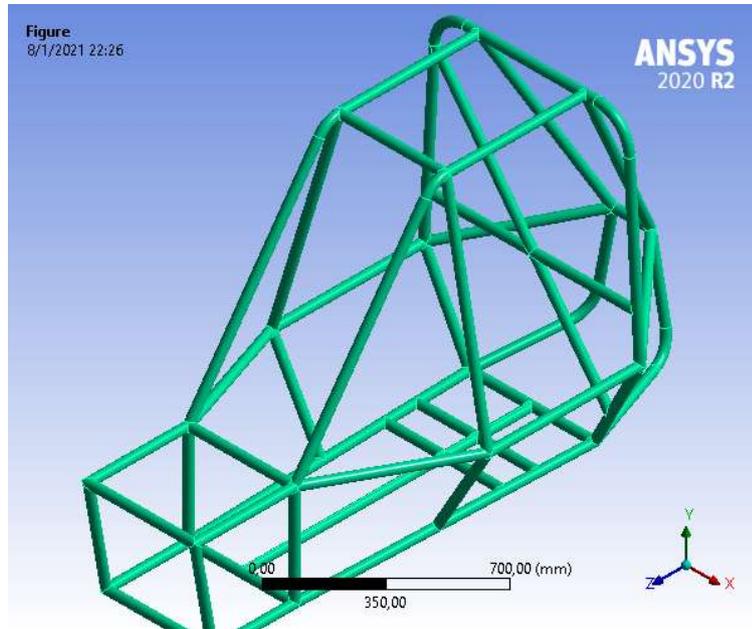
**Model (A4) > Materials**

Object Name	<i>Materials</i>
State	Fully Defined

Statistics	
Materials	1
Material Assignments	0

FIGURE 2

Model (A4) > Materials > Structural Steel > Figure



## Coordinate Systems

TABLE 5

Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>	<i>Origen</i>
State	Fully Defined	
<b>Definition</b>		
Type	Cartesian	
Coordinate System ID	0,	
Coordinate System		Program Controlled
APDL Name		
Suppressed		No
<b>Origin</b>		
Origin X	0, mm	634,8 mm
Origin Y	0, mm	1451,7 mm
Origin Z	0, mm	1950,7 mm
Define By		Global Coordinates
Location		Defined
<b>Directional Vectors</b>		

X Axis Data	[ 1, 0, 0, ]	
Y Axis Data	[ 0, 1, 0, ]	
Z Axis Data	[ 0, 0, 1, ]	
<b>Principal Axis</b>		
Axis		X
Define By		Fixed Vector
<b>Orientation About Principal Axis</b>		
Axis		Y
Define By		Fixed Vector
<b>Transformations</b>		
Base Configuration		Absolute
Transformed Configuration		[ 634,8 1451,7 1950,7 ]

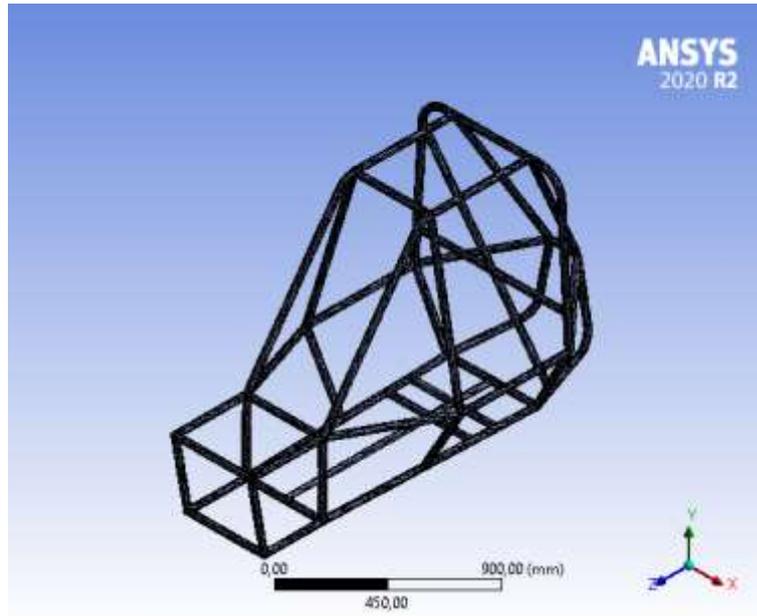
- **Mesh**

**TABLE 6**  
**Model (A4) > Mesh**

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
<b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
Element Size	Default
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	2508,3 mm
Average Surface Area	33128 mm <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	2,6213e-003 mm
<b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors

Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	No
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
<b>Statistics</b>	
Nodes	62939
Elements	31820

**FIGURE 3**  
**Model (A4) > Mesh > Figure**



## Static Structural (A5)

TABLE 7

Model (A4) > Analysis

Object Name	Static Structural (A5)
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 8

Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings

Object Name	Analysis Settings
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled

<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Quasi-Static Solution	Off
<b>Rotordynamics Controls</b>	
Coriolis Effect	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Combine Restart Files	Program Controlled
<b>Nonlinear Controls</b>	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Program Controlled
<b>Advanced</b>	
Inverse Option	No
Contact Split (DMP)	Off
<b>Output Controls</b>	
Stress	Yes

Surface Stress	No
Back Stress	No
Strain	Yes
Contact Data	Yes
Nonlinear Data	No
Nodal Forces	No
Volume and Energy	Yes
Euler Angles	Yes
General Miscellaneous	No
Contact Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Result File Compression	Program Controlled
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	C:\Users\ira3di\OneDrive - xKx\escritorio\escritorio 2\larenero\CONVERSION PARA ANALISIS\ analisis_choque_frontal_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Contact Summary	Program Controlled
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

**TABLE 9**

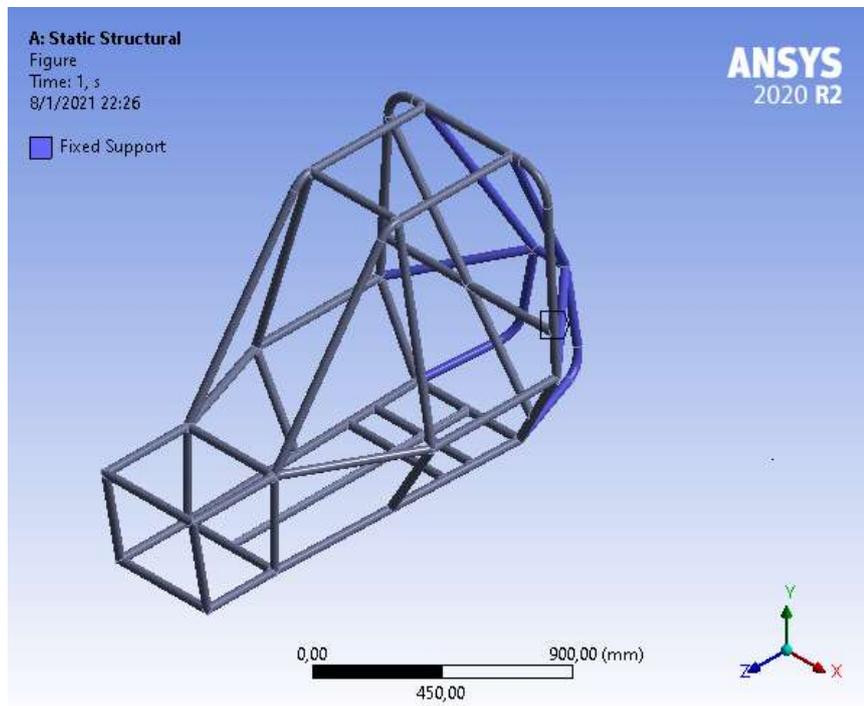
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads**

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Force</i>
State	Fully Defined	

Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	11 Faces	4 Faces
Definition		
Type	Fixed Support	Force
Suppressed	No	
Define By		Components
Applied By		Surface Effect
Coordinate System		Global Coordinate System
X Component		0, N (ramped)
Y Component		0, N (ramped)
Z Component		-20000 N (ramped)

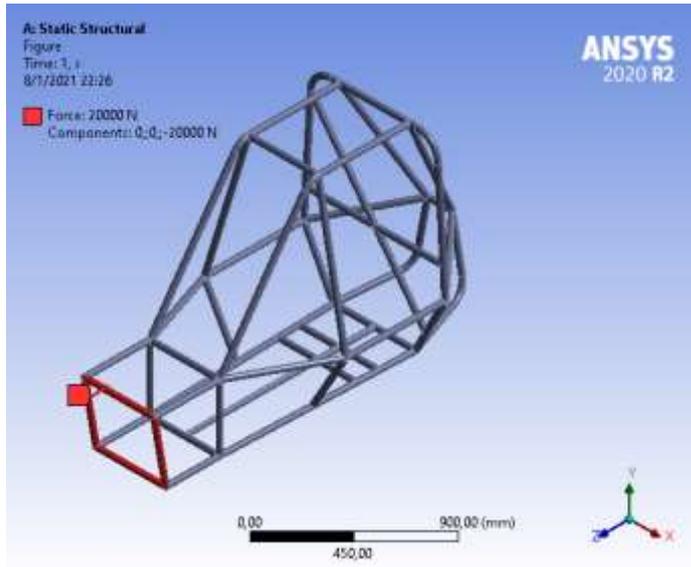
**FIGURE 4**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Fixed Support > Figure**



**FIGURE 6**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force > Figure**



**Solution (A6)**

**TABLE 10**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
<b>Information</b>	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	17, s
MAPDL Memory Used	744, MB
MAPDL Result File Size	21,125 MB
<b>Post Processing</b>	
Beam Section Results	No
On Demand Stress/Strain	No

**TABLE 11**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0

Update Interval	2,5 s
Display Points	All
<b>FE Connection Visibility</b>	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

**TABLE 12**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results**

Object Name	<i>Total Deformation</i>	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
<b>Definition</b>		
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
<b>Results</b>		
Minimum	0, mm	0, MPa
Maximum	0,64822 mm	63,71 MPa
Average	0,23049 mm	7,1021 MPa
Minimum Occurs On	1\ESTRUCTURA(Default<As Machined>)	
Maximum Occurs On	1\ESTRUCTURA(Default<As Machined>)	
<b>Information</b>		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	
<b>Integration Point Results</b>		

Display Option		Averaged
Average Across Bodies		No

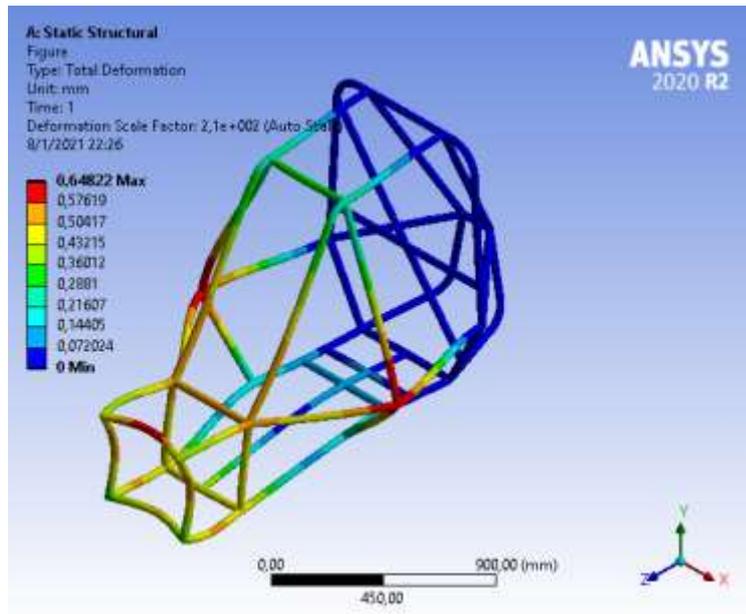
**TABLE 13**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Total Deformation**

Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]	Average [mm]
1,	0,	0,64822	0,23049

**FIGURE 8**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Total Deformation > Figure**



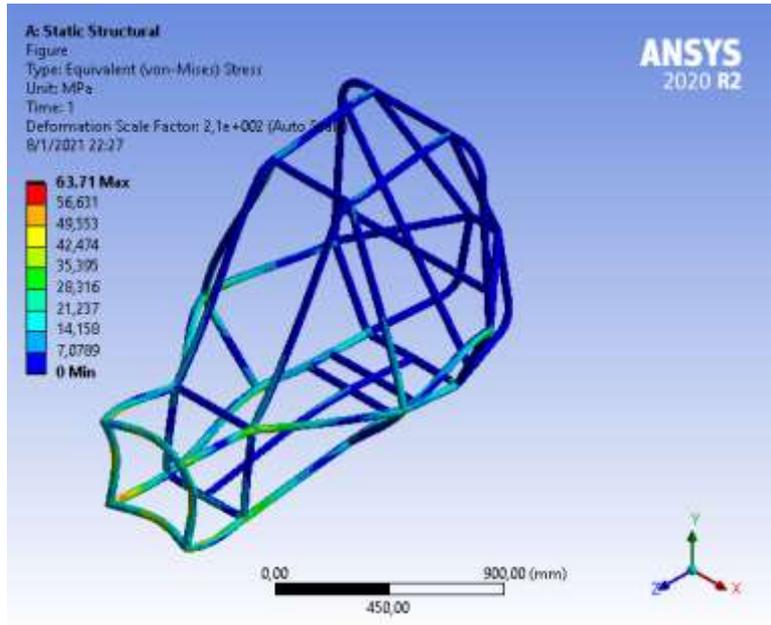
**TABLE 14**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Equivalent Stress**

Time [s]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]	Average [MPa]
1,	0,	63,71	7,1021

**FIGURE 10**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Equivalent Stress > Figure**



**TABLE 15**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Stress Safety Tools**

Object Name	<i>Stress Tool</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Theory	Max Equivalent Stress
Stress Limit Type	Tensile Yield Per Material

**TABLE 16**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Stress Tool > Results**

Object Name	<i>Safety Factor</i>
State	Solved
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
<b>Definition</b>	
Type	Safety Factor
By	Time
Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No
<b>Integration Point Results</b>	
Display Option	Averaged
Average Across Bodies	No

Results	
Minimum	3,924
Minimum Occurs On	1\ESTRUCTURA(Default<As Machined>)
Information	
Time	1, s
Load Step	1
Substep	1
Iteration Number	1

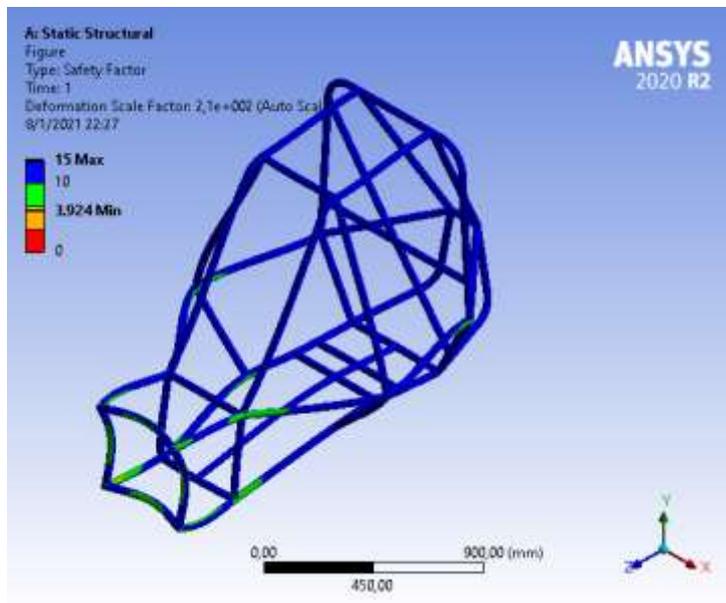
**TABLE 17**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Stress Tool > Safety Factor**

Time [s]	Minimum	Maximum	Average
1,	3,924	15,	14,376

**FIGURE 12**

**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Stress Tool > Safety Factor > Figure**



- **Material Data**
- **Structural Steel**

**TABLE 18**

**Structural Steel > Constants**

Density	7,85e-006 kg mm <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	4,34e+005 mJ kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Thermal Conductivity	6,05e-002 W mm <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>

Resistivity	1,7e-004 ohm mm
-------------	-----------------

**TABLE 19**

**Structural Steel > Color**

Red	Green	Blue
132,	139,	179,

**TABLE 20**

**Structural Steel > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength MPa
0,

**TABLE 21**

**Structural Steel > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength MPa
250,

**TABLE 22**

**Structural Steel > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength MPa
250,

**TABLE 23**

**Structural Steel > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength MPa
460,

**TABLE 24**

**Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22,

**TABLE 25**

**Structural Steel > S-N Curve**

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999,	10,	0,
2827,	20,	0,
1896,	50,	0,
1413,	100,	0,
1069,	200,	0,
441,	2000,	0,
262,	10000	0,
214,	20000	0,
138,	1,e+005	0,

114,	2,e+005	0,
86,2	1,e+006	0,

**TABLE 26**

**Structural Steel > Strain-Life Parameters**

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920,	-0,106	0,213	-0,47	1000,	0,2

**TABLE 27**

**Structural Steel > Isotropic Elasticity**

Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa	Temperature C
2,e+005	0,3	1,6667e+005	76923	

**TABLE 28**

**Structural Steel > Isotropic Relative Permeability**

Relative Permeability
10000