



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS LIVIANO PARA UN  
PROTOTIPO ELÉCTRICO MONOPLAZA**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:**

**BRYAN ALEXANDER MORETA PACHA**

**JUAN MARCELO PATACHE AVILÉS**

Riobamba-Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS LIVIANO PARA UN  
PROTOTIPO ELÉCTRICO MONOPLAZA**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:** BRYAN ALEXANDER MORETA PACHA

JUAN MARCELO PATAACHE AVILÉS

**DIRECTOR:** ING. JOHNNY MARCELO PANCHAS RAMOS

Riobamba-Ecuador

2022

**©2022, Bryan Alexander Moreta Pacha; Juan Marcelo Patache Avilés**

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

Nosotros, BRYAN ALEXANDER MORETA PACHA Y JUAN MARCELO PATACHE AVILÉS, declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y que los resultados de este son auténticos y originales. Los textos que constan en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 16 de marzo de 2022



---

**Bryan Alexander Moreta Pacha**

**180468325-6**



---

**Juan Marcelo Patache Avilés**

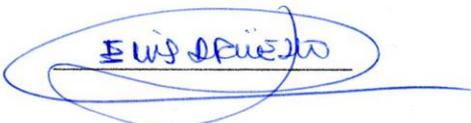
**060478264-9**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular, tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS LIVIANO PARA UN PROTOTIPO ELÉCTRICO MONOPLAZA**, realizado por los señores: **BRYAN ALEXANDER MORETA PACHA Y JUAN MARCELO PATACHE AVILÉS**, 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. Elvis Enrique Arguello <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-03-16
Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-03-16
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2022-03-16

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de Integración Curricular se lo dedico a Dios, a la Virgencita, a mis padres y mi hermana por ser el semblante fundamental para cumplir una etapa más en mi vida, además de precautelar mi bienestar y ser mi fortaleza para alcanzar un peldaño importante dentro de mi formación académica.

De igual manera a mi abuelita María Isabel Moreta y mi amigo incondicional durante esta etapa universitaria Edwin Piedra, que lamentablemente por motivos de salud y pandemia han partido de este mundo terrenal hacia una mejor vida.

A mis familiares y amigos que siempre han estado pendientes de mí, brindándome su apoyo fraterno en cualquier instante que lo he requerido, para que pueda conseguir mi objetivo universitario.

**Bryan Alexander Moreta Pacha**

El presente trabajo de titulación se lo dedico primeramente a Dios, a mis padres y hermanos, a mis abuelitos, a mi tío Luis que siempre estuvieron al pendiente durante todo mi proceso académico y que conjuntamente me vieron progresar de la manera que lo eh conseguido.

Después a todos mis familiares, profesores, amigos y compañeros que compartieron conmigo esta etapa académica que significa un logro importante dentro de mi vida.

**Juan Marcelo Patache Avilés**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, a la Virgencita, a mi madre Lourdes Paulina, a mi padre Segundo Isaías y mi hermana Erika Jamín, por ser mi principal sustento durante mi formación profesional, precautelando mi prosperidad y protección para que pueda cumplir mi objetivo académico, especialmente en los momentos más adversos que he atravesado.

Agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), especialmente a la Carrera Ingeniería Automotriz, por haberme brindado la apertura de formar parte de esta distinguida institución y nutrirme de una amplia gama de conocimientos que son indispensables en el campo laboral.

Al Ing. Johnny Pancha y al Ing. Edwin Pozo por lo orientación brindada durante el desarrollo del presente trabajo de Integración Curricular, de igual manera a mis familiares, amigos y demás personas que me han ofrecido su apoyo para llegar a estas instancias de formación académica.

**Bryan Alexander Moreta Pacha**

Primeramente, agradecer a Dios que siempre me supo guiar por el camino del bien iluminándome en mi proceso académico, a mis padres por su apoyo incondicional, a mis hermanos que siempre me apoyaron durante este proceso, a mis abuelitos que me fortalecieron con sus consejos y a mi tío Luis que fue como mi segundo papá que me ayudo en todo.

También agradecer a quienes conforman la carrera ingeniería automotriz, por su apoyo a nosotros los estudiantes, a mis profesores quienes fueron los que me nutrieron con sus conocimientos y su apoyo durante el duro proceso de la obtención de este logro.

De igual manera Al Ing. Johnny Pancha y al Ing. Edwin Pozo quienes nos brindaron su apoyo a desarrollar el presente trabajo de titulación y que nos satisface al ver lo conseguido, también agradecer a mis familiares y amigos por formar parte de este proceso.

**Juan Marcelo Patache Avilés**

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
RESUMEN.....	xix
SUMMARY.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1	Antecedentes.....	2
1.2	Planteamiento del problema.....	3
1.3	Justificación.....	3
1.3.1	<i>Justificación Teórica.....</i>	3
1.3.2	<i>Justificación Práctica.....</i>	4
1.3.3	<i>Justificación metodológica.....</i>	4
1.4	Objetivos.....	5
1.4.1	<i>Objetivo General.....</i>	5
1.4.2	<i>Objetivos Específicos.....</i>	5

### CAPÍTULO II

2.	REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1	Estado del arte.....	6
2.1.1	<i>Diseño y Manufactura de un Chasis para un Prototipo Eléctrico Monoplaza.....</i>	7

2.1.2	<i>Diseño y Construcción de un Prototipo Eléctrico Monoplaza Latinoamericano</i> ....	8
2.1.3	<i>Análisis Estático de un Prototipo Eléctrico</i> .....	9
2.1.4	<i>Diseño del chasis de un prototipo eléctrico monoplaza de uso urbano</i> .....	11
2.1.5	<i>Diseño de un chasis monoplaza destinado para sectores urbanos planos.</i> .....	14
2.2	<b>Bases teóricas</b> .....	16
2.2.1	<b>Bastidor</b> .....	16
2.2.1.1	<i>Tipos de Bastidores</i> .....	16
2.2.2	<b>Carrocería y Chasis Separados</b> .....	19
2.2.2.1	<i>El Bastidor</i> .....	20
2.2.2.2	<i>La Carrocería</i> .....	20
2.2.3	<b>Carrocería con Plataforma – Chasis</b> .....	21
2.2.3.1	<i>Atornillada a la Plataforma</i> .....	22
2.2.3.2	<i>Mediante Soldadura o Remaches</i> .....	22
2.2.4	<b>Carrocería Auto portante</b> .....	23
2.2.4.1	<i>Carrocería Autoportante con elementos desmontables</i> .....	24
2.2.5	<b>Torsión, compresión y flexión</b> .....	25
2.2.5.1	<i>Torsión</i> .....	25
2.2.5.2	<i>Flexión</i> .....	26
2.2.5.3	<i>Compresión</i> .....	26
2.2.6	<b>Diseño de elementos finitos</b> .....	27
2.2.6.1	<i>Diseño mediante software CAD</i> .....	27
2.2.6.2	<i>Simulación mediante software CAE</i> .....	28
2.2.7	<b>Centro de gravedad</b> .....	29
2.2.8	<b>Proceso de soldadura</b> .....	29
2.2.8.1	<i>Soldadura de tungsteno inert gas (TIG)</i> .....	29
2.3	<b>Marco legal</b> .....	30
2.3.1	<b>Normativa Aplicable</b> .....	30
2.3.1.1	<i>Diseño del Vehículo</i> .....	30
2.3.1.2	<i>Chasis/ Solidez del Monocasco</i> .....	32

2.3.1.3	<i>Aislamiento del Sistema de Propulsión y Energía</i> .....	34
2.3.1.5	<i>Dimensiones</i> .....	36

### CAPITULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	37
<b>3.1</b>	<b>Diagrama de etapas del proyecto</b> .....	37
<b>3.2</b>	<b>Metodología de investigación a realizar</b> .....	38
<b>3.2.1</b>	<b><i>Método Inductivo</i></b> .....	38
<b>3.2.2</b>	<b><i>Método Analítico</i></b> .....	38
<b>3.2.3</b>	<b><i>Método experimental</i></b> .....	38
<b>3.3</b>	<b>Desarrollo del proyecto</b> .....	39
<b>3.3.1</b>	<b><i>Cronograma (Planificación de actividades)</i></b> .....	39
<b>3.3.2</b>	<b><i>Recursos y Materiales</i></b> .....	40
<b>3.3.2.1</b>	<b><i>Presupuesto</i></b> .....	40
<b>3.3.2.2</b>	<b><i>Talento Humano</i></b> .....	42
<b>3.3.2.3</b>	<b><i>Equipos y Herramientas</i></b> .....	43
<b>3.3.3</b>	<b><i>Dimensionamiento del Chasis acorde al Piloto y otros Componentes</i></b> .....	46
<b>3.3.3.1</b>	<b><i>Cálculo del Peso y Altura del Piloto</i></b> .....	46
<b>3.3.3.2</b>	<b><i>Posicionamiento del piloto para el diseño del Chasis</i></b> .....	49
<b>3.3.3.3</b>	<b><i>Dimensiones y pesos presentes del Tren Motriz Eléctrico</i></b> .....	51
<b>3.3.3.4</b>	<b><i>Distribución de las Masas del Cuerpo Humano</i></b> .....	57
<b>3.3.4</b>	<b><i>Diseño mediante Software CAD</i></b> .....	58
<b>3.3.4.1</b>	<b><i>Altura de los Laterales</i></b> .....	59
<b>3.3.4.2</b>	<b><i>Radio de la Barra Antivuelco</i></b> .....	59
<b>3.3.4.3</b>	<b><i>Anchura Máxima</i></b> .....	60
<b>3.3.4.4</b>	<b><i>Longitud Parte Delantera del Chasis</i></b> .....	60
<b>3.3.4.5</b>	<b><i>Longitud Parte Posterior del Chasis</i></b> .....	61
<b>3.3.4.6</b>	<b><i>Forma Final del Bastidor</i></b> .....	62

<b>3.3.5</b>	<b><i>Selección del Material por Criterios Ponderados</i></b> .....	62
3.3.5.1	<i>Selección del Perfil</i> .....	62
3.3.5.2	<i>Selección de tamaño y espesor del tubo</i> .....	64
3.3.5.3	<i>Selección del Material</i> .....	65
<b>3.3.6</b>	<b><i>Análisis mediante software CAE</i></b> .....	72
3.3.6.1	<i>Diseño final</i> .....	72
3.3.6.2	<i>Asignación de cargas</i> .....	72
3.3.6.3	<i>Simulación del diseño para Deformación Total</i> .....	73
3.3.6.4	<i>Simulación del Diseño para Factor de Seguridad Estático</i> .....	75
3.3.6.5	<i>Simulación del Diseño para Factor de Seguridad por Fatiga</i> .....	78
<b>3.3.7</b>	<b><i>Proceso de manufactura</i></b> .....	81
3.3.7.1	<i>Planos</i> .....	81
3.3.7.2	<i>Tratamiento de los materiales</i> .....	82
3.3.7.3	<i>Doblado de tubo</i> .....	82
3.3.7.4	<i>Corte de material</i> .....	84
3.3.7.5	<i>Disponibilidad de los Perfiles para la Soldadura</i> .....	86
3.3.7.6	<i>Preparación de los Tubos Para Soldar</i> .....	88
3.3.7.7	<i>Visualización del Ensamble del Chasis</i> .....	89
3.3.7.8	<i>Proceso de Soldadura</i> .....	90

## **CAPÍTULO IV**

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	94
<b>4.1</b>	<b>Obtención de resultados</b> .....	94
<b>4.1.1</b>	<b><i>Resultados de simulación en software CAE</i></b> .....	94
4.1.1.1	<i>Análisis entre perfil de Acero de Bajo Carbono y Aluminio 6063 T5</i> .....	94
<b>4.1.2</b>	<b><i>Proceso de Comprobación de la Soldadura</i></b> .....	96
4.1.2.1.	<i>Procedimiento de líquidos penetrantes</i> .....	97
4.1.2.2.	<i>Verificación de la Soldadura</i> .....	99

<b>4.1.3</b>	<b><i>Resultados de Resistividad</i></b> .....	101
<b>4.2</b>	<b>Análisis de Resultados</b> .....	101
<b>4.2.1</b>	<b><i>Análisis de Soldadura</i></b> .....	102
<b>4.2.2</b>	<b><i>Análisis de Resistividad</i></b> .....	103
<b>4.3</b>	<b>Especificaciones Técnicas</b> .....	104
<b>4.3.1</b>	<b><i>Determinación de las distancias necesarias de seguridad</i></b> .....	105
 <b>CONCLUSIONES</b> .....		107
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		108
<b>GLOSARIO</b>		
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Resultados de simulación de parte inferior de chasis .....	13
<b>Tabla 2-2:</b> Resultados de simulación de parte superior de chasis .....	13
<b>Tabla 1-3:</b> Cronograma de actividades .....	39
<b>Tabla 2-3:</b> Costos directos estimados.....	40
<b>Tabla 3-3:</b> Costos indirectos estimados .....	41
<b>Tabla 4-3:</b> Costos totales estimados.....	41
<b>Tabla 5-3:</b> Tabla de descripciones de actividades.....	42
<b>Tabla 6-3:</b> Equipos utilizados en la construcción del chasis.....	43
<b>Tabla 7-3:</b> Herramientas utilizadas para la construcción del chasis.....	44
<b>Tabla 8-3:</b> Materiales utilizados para la construcción del chasis .....	45
<b>Tabla 9-3:</b> Coeficiente de confianza asociado al Nivel de Confianza.....	47
<b>Tabla 10-3:</b> Coeficiente de Confianza asociado al error .....	48
<b>Tabla 11-3:</b> Medidas realizadas para el Diseño del Chasis.....	49
<b>Tabla 12-3:</b> Medidas tomadas acorde a la posición del piloto .....	50
<b>Tabla 13-3:</b> Especificaciones del Motor Eléctrico .....	52
<b>Tabla 14-3:</b> Especificaciones de la Batería Polímero de Litio .....	54
<b>Tabla 15-3:</b> Especificaciones Driver Acelerador TDPRO YK31C.....	55
<b>Tabla 16-3:</b> Dimensionamiento del Motor y la Batería .....	56
<b>Tabla 17-3:</b> Porcentaje de Distribución del Centro de gravedad .....	57
<b>Tabla 18-3:</b> Peso de cada parte del Cuerpo Humano y Total en kg y N .....	58
<b>Tabla 19-3:</b> Selección de perfil para proceso de manufactura .....	63
<b>Tabla 20-3:</b> Perfiles normalizados presentes en el mercado .....	64
<b>Tabla 21-3:</b> Selección por criterios ponderados del tamaño de arista y espesor del tubo.....	65
<b>Tabla 22-3:</b> Propiedades Mecánicas de la Fibra de Carbono.....	67
<b>Tabla 23-3:</b> Propiedades Mecánicas del Acero de Bajo Carbono.....	68

<b>Tabla 24-3:</b> Propiedades mecánicas de los materiales preseleccionados para el Aluminio.....	68
<b>Tabla 25-3:</b> Matriz de decisión para la selección del Aluminio.....	69
<b>Tabla 27-3:</b> Características de materiales aptos para el diseño.....	71
<b>Tabla 28-3:</b> Deformación Total del Aluminio 6063 T5 y el Acero de Bajo Carbono .....	75
<b>Tabla 29-3:</b> Factor de Seguridad Estático del Aluminio 6063 T5 y el Acero de Bajo Carbono	77
<b>Tabla 30-3:</b> Resultados de análisis en software CAE .....	80
<b>Tabla 31-3:</b> Tabla de comparación de masa.....	81
<b>Tabla 32-3:</b> Tipos de Uniones o Nudos en Perfiles Cuadrados o Rectangulares.....	86
<b>Tabla 33-3:</b> Tabla de especificaciones de máquina de soldadura .....	90
<b>Tabla 1-4:</b> Resultados obtenidos entre perfil de Acero de Bajo Carbono y Aluminio 6063 T5	94
<b>Tabla 2-4:</b> Cantidad de soldaduras y soldaduras defectuosas .....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Prototipo Kumbolo Electric de SEMERU TEAM.....	7
<b>Figura 2-2:</b> Chasis del Equipo Semeru Team .....	7
<b>Figura 3-2:</b> Prototipo KON MK. II.....	8
<b>Figura 4-2:</b> Chasis del Prototipo MK. II.....	8
<b>Figura 5-2:</b> Prototipo Eléctrico .....	9
<b>Figura 6-2:</b> Dimensiones para el Diseño de Chasis .....	10
<b>Figura 7-2:</b> Análisis de Diseño mediante ANSYS.....	11
<b>Figura 8-2:</b> Dimensionamiento de prototipo eléctrico.....	12
<b>Figura 9-2:</b> Diseño de chasis en software .....	12
<b>Figura 10-2:</b> Simulación de parte inferior de chasis en software.....	13
<b>Figura 11-2:</b> Simulación de parte inferior de chasis en software.....	13
<b>Figura 12-2:</b> Posicionamiento del piloto.....	14
<b>Figura 13-2:</b> Diseño de chasis en software .....	15
<b>Figura 14-2:</b> Simulación de chasis en software .....	15
<b>Figura 15-2:</b> Batidor en Escalera o H .....	17
<b>Figura 16-2:</b> Bastidor de Columna (en X) .....	18
<b>Figura 17-2:</b> Bastidor Perimétrico .....	18
<b>Figura 18-2:</b> Bastidor Tubular .....	19
<b>Figura 19-2:</b> Carrocería y Chasis Separados.....	20
<b>Figura 20-2:</b> Bastidor .....	20
<b>Figura 21-2:</b> Chasis.....	21
<b>Figura 22-2:</b> Plataforma Portante formada por la soldadura.....	21
<b>Figura 23-2:</b> Automóvil con Carrocería atornillada a la Plataforma .....	22
<b>Figura 24-2:</b> Vehículo con Carrocería soldada a la Plataforma .....	22
<b>Figura 25-2:</b> Carrocería Autoportante.....	23

<b>Figura 26-2:</b> Subchasis delantero.....	24
<b>Figura 27-2:</b> Vehículo con Carrocería Monocasco.....	25
<b>Figura 28-2:</b> Torsión producida por un momento.....	25
<b>Figura 29-2:</b> Flexión de una viga.....	26
<b>Figura 30-2:</b> Viga expuesta a compresión .....	26
<b>Figura 31-2:</b> Discretización de un elemento para análisis .....	27
<b>Figura 32-2:</b> Diseño de prototipo de chasis .....	28
<b>Figura 33-2:</b> Simulación de esfuerzos mediante software CAE .....	28
<b>Figura 34-2:</b> Centro de gravedad de un cuerpo triangular .....	29
<b>Figura 35-2:</b> Proceso de soldadura TIG.....	30
<b>Figura 36-2:</b> Prototipo con 3 ruedas .....	31
<b>Figura 37-2:</b> Piso Sólido del Prototipo .....	32
<b>Figura 38-2:</b> Barra Antivuelco del Prototipo .....	33
<b>Figura 39-2:</b> Barra Antivuelco 50 mm alrededor del casco.....	33
<b>Figura 40-2:</b> Barra Antivuelco más allá de los hombros .....	34
<b>Figura 41-2:</b> Carga que debe soportar la Barra Antivuelco .....	34
<b>Figura 42-2:</b> Ubicación del Mamparo en el Prototipo .....	35
<b>Figura 43-2:</b> Mamparo para Protección en caso de Incendios.....	35
<b>Figura 1-3:</b> Brushed Speed motor WPHMOTO 48v 1000w .....	52
<b>Figura 2-3:</b> Dimensiones del motor .....	52
<b>Figura 3-3:</b> Batería Turnigy Graphene Panther .....	53
<b>Figura 4-3:</b> Dimensiones de la bacteria Turnigy Graphene Panther.....	54
<b>Figura 5-3:</b> Driver Acelerador TDPRO YK31C.....	55
<b>Figura 6-3:</b> Longitud de laterales de barra antivuelco .....	59
<b>Figura 7-3:</b> Radio de arco de barra antivuelco.....	60
<b>Figura 8-3:</b> Forma de piso para el chasis .....	60
<b>Figura 9-3:</b> Forma de piso de chasis y medición de espacio para piloto .....	61
<b>Figura 10-3:</b> Longitud parte posterior del chasis .....	61
<b>Figura 11-3:</b> Forma completa de chasis .....	62

<b>Figura 12-3:</b> Diseño final de chasis .....	72
<b>Figura 13-3:</b> Perfil de Aluminio 6063 T5 .....	82
<b>Figura 14-3:</b> Doblado de arco delantero .....	83
<b>Figura 15-3:</b> Doblado de la Barra Antivuelco.....	83
<b>Figura 16-3:</b> Doblado de los Laterales del Prototipo .....	84
<b>Figura 17-3:</b> Corte de la parte Delantera del Chasis .....	85
<b>Figura 18-3:</b> Cortes de la parte Posterior del Chasis.....	85
<b>Figura 19-3:</b> Limpieza de tubo.....	88
<b>Figura 20-3:</b> Limadura de tubo .....	89
<b>Figura 21-3:</b> Chasis ensamblado.....	89
<b>Figura 22-3:</b> Soldadora TIG.....	91
<b>Figura 23-3:</b> Soldadura de parte trasera .....	91
<b>Figura 24-3:</b> Espesor de tubo del aluminio .....	92
<b>Figura 25-3:</b> Distancia entre el material y la suelda .....	92
<b>Figura 1-4:</b> Líquidos penetrantes .....	97
<b>Figura 2-4:</b> Limpieza de superficie .....	97
<b>Figura 3-4:</b> Aplicación de líquido penetrante .....	98
<b>Figura 4-4:</b> Revelado de prueba de soldadura.....	98
<b>Figura 5-4:</b> Visualización de prueba de soldadura con grieta.....	99
<b>Figura 6-4:</b> Visualización de prueba de soldadura sin grieta .....	100
<b>Figura 7-4:</b> Prueba de resistencia real.....	101
<b>Figura 8-4:</b> Visualización de prueba de soldadura.....	102
<b>Figura 9-4:</b> Prueba de resistencia.....	103
<b>Figura 10-4:</b> Medición de barra antivuelco.....	106
<b>Figura 11-4:</b> Comparación hombro derecho barra antivuelco .....	106

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Gráfico de metodología de diseño de chasis .....	37
<b>Gráfico 2-3:</b> Densidad vs precio de la fibra de carbono.....	66
<b>Gráfico 3-3:</b> Densidad vs Precio del Acero de Bajo Carbono .....	67
<b>Gráfico 4-3:</b> Densidad vs Precio del Aluminio 6063 T5.....	70
<b>Gráfico 5-3:</b> Aplicación de cargas y soportes de bastidor.....	72
<b>Gráfico 6-3:</b> Carga en barra antivuelco.....	73
<b>Gráfico 7-3:</b> Deformación total.....	74
<b>Gráfico 8-3:</b> Deformación Total del Acero de Bajo Carbono.....	74
<b>Gráfico 9-3:</b> Factor de seguridad estático del Aluminio 6063 T5.....	76
<b>Gráfico 10-3:</b> Factor de Seguridad Estático del Acero Bajo Carbono .....	77
<b>Gráfico 11-3:</b> Análisis de factor de seguridad por fatiga del Aluminio 6063 T5.....	79
<b>Gráfico 12-3:</b> Factor de Seguridad Estático del Acero de Bajo Carbono .....	79
<b>Gráfico 1-4:</b> Deformación de barra antivuelco fuerza aplicada en el arco de la barra.....	104
<b>Gráfico 2-4:</b> Deformación de barra antivuelco fuerza aplicada en laterales .....	105

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo A:** Altura y Peso Promedio de los Estudiantes de Ingeniería Automotriz acorde al tamaño de la muestra

**Anexo B:** Vista General de la Estructura del Chasis

**Anexo C:** Cotas de la Vista Lateral de la Estructura del Chasis (cm)

**Anexo D:** Costa Vista Superior de la Estructura del Chasis (cm)

**Anexo E:** Cotas de la Vista Frontal de la Estructura del Chasis (cm)

## RESUMEN

Se ha planteado como objetivo diseñar y construir un chasis liviano para un vehículo monoplaza eléctrico mediante los softwares, diseño asistido por computadora (CAD)/ ingeniería asistida por computadora (CAE) para una adecuada optimización del peso. Para la construcción del chasis se desarrolló como primer paso el dimensionamiento que debe cumplir el piloto a través de un estudio estadístico para determinar la masa y altura del mismo. Una vez concluida esta fase, se procedió con la selección de forma, tamaño y espesor de perfil, tomando en cuenta la disponibilidad en el medio, las prestaciones mecánicas y la facilidad al momento de construir, obteniendo como la mejor opción un perfil cuadrado de  $1\frac{1}{4}$  pulgadas x 1.1 mm de espesor. Posteriormente se procedió con la selección de materiales y para ello se realizó la comparación de los mismos en diferentes fases del proceso, mediante matrices de decisión y simulaciones mediante software CAE, obteniendo como el material más óptimo para la manufacturación del chasis al aluminio 6063 T5, siendo 65% más liviano que el acero estructural y además cuenta con características mecánicas que complacen las necesidades de construcción. Finalmente, se realizó el proceso de manufactura del chasis, siendo fundamental por las buenas prestaciones que ofreció al momento de realizar pruebas reales. Para la verificación de la resistencia y prestaciones mecánicas, se realizó varios ensayos que determinaron la fiabilidad del chasis, por lo que cuenta con un factor de seguridad por fatiga de 3,065, resistiendo satisfactoriamente a las cargas fluctuantes aplicadas. Se concluye que el chasis fue diseñado y construido mediante software CAD /CAE teniendo una masa de 10.5 Kg, además de presentar una alta resistencia. Se recomienda que para ciertas eventualidades o pandeo se podría aumentar el espesor del perfil o a su vez reforzar la estructura con fibra de carbono.

**Palabras claves:** <PROTOTIPO>, <MONOPLAZA>, <DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)>, <INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE)>, <ENSAMBLAJE>, <MONOCASCO>, <ELECTRICO>.

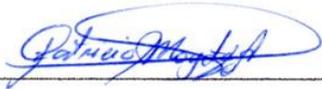
0804-DBRA-UTP-2022



## SUMMARY

This research aimed to design and build a lightweight chassis for an electric single-seater vehicle through software, Computer-aided design (CAD), and Computer-aided engineering (CAE) for adequate weight optimization. The dimensioning that the pilot must comply with was developed as a first step for the construction of the chassis, through a statistical study to determine its mass and height. Once this phase was completed, the shape, size and thickness of the profile were selected, taking into account available in the environment, mechanical performance, and constructability, obtaining a square profile of 1.25 inches x 1.1 mm thick was the best option. Subsequently, we proceeded with the selection of materials and for this, they were compared in different phases of the process. Through decision matrices and simulations using CAE software, obtaining aluminum 6063 TS as the most optimal material for the manufacture of the chassis. Being 65% lighter than structural steel and also has mechanical characteristics that meet construction needs. Finally, the chassis manufacturing process was carried out, which is essential for the good performance offered at the time of real tests. To verify the resistance and mechanical performance, several tests were carried out to determine the reliability of the chassis, which is why it has a fatigue safety factor of 3.065, satisfactorily resisting the fluctuating loads applied. It is concluded that the chassis was designed and built using CAD / CAE software having a mass of 10.5 Kg, in addition to presenting a high resistance. It is recommended that for certain eventualities or buckling, the thickness of the profile could be increased or, in turn, the structure reinforced with carbon fiber.

**Keywords:** <PROTOTYPE> <ELECTRIC SINGLE SEAT> <COMPUTER AID DESIGN (CAD)> <COMPUTER AID ENGINEERING (CAE)> < ASSEMBLY> < MONOCOQUE>.



---

Lcda. Patricia Pilar Moyota Amaguaya Mgs.  
C.C. 06036101-3

## INTRODUCCIÓN

El campo automotriz está en un constante crecimiento, esto debido a los avances tecnológicos que se están desarrollando, muestra de ello son los vehículos que ofrecen mejores capacidades para el confort de los usuarios. Actualmente el recambio generacional que se está produciendo es uno de los más radicales, por lo que se está cambiando la energía utilizada para mover un vehículo, es decir, se está implementando estrategias que reduzcan el impacto ambiental y mejoren la movilidad urbana

Esta innovación se enfoca hacia los vehículos eléctricos puesto que se busca reemplazar los motores de combustión interna, además de tratarse de un medio de transporte eficiente con el menor impacto ambiental. Es por ello que, dentro de sus requerimientos para una mejor movilidad, es una optimización adecuada del peso, por lo que es necesario desarrollar una estructura que sea resistente, ligera, además de precautelar el confort del piloto.

Acorde a esto se puede establecer la importancia de seguir desarrollando proyectos que permitan la generación de nuevas ideas hacia la transformación en el campo automotriz. En este caso nos enfocaremos en el diseño y construcción del chasis, debido a que se trata de uno de los componentes principales del prototipo monoplaza eléctrico, permitiéndonos a través de ella obtener una mayor seguridad, un peso reducido, una mejor aerodinámica, una apropiada distribución y soporte del peso total, etc.

Dentro del proceso de construcción del chasis se deben tomar en cuenta varias restricciones que serán analizadas, principalmente tomando en cuenta que se trata de una estructura sometida a distintos tipos de esfuerzos y agentes externos que podrían provocar un siniestro. Por otra parte, hay que enfocarse en un análisis de estudio previo para poder determinar el dimensionamiento adecuado del prototipo, es decir, tomando en cuenta componentes del tren de propulsión eléctrico y la ubicación en la que se debe encontrar el piloto.

Para realizar el diseño con las mejores prestaciones, se ha basado en las restricciones del análisis estructural y la reglamentación en la que se sujeta, posterior a ello diseñar en software CAD y finalmente entre el proceso de simulación en software CAE, validando la construcción del chasis.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes

El diseño y construcción del chasis liviano para el prototipo monoplaza eléctrico promueve la innovación, cuyo propósito es mejorar la eficiencia a través de altos estándares de construcción que tenga una alta resistencia y un menor peso.

El grupo Eco Kuntur, 2018, de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH, menciona que desarrollaron un prototipo monoplaza con un motor de combustión interna en el cual recorrió la mayor cantidad de kilómetros con un bajo nivel de combustible. Entre sus componentes principales era el chasis, fabricado con aluminio 6063-T5; la carrocería con fibra de carbono 3k bidireccional, entre otros. Acorde a estas características se puede constatar las optimizaciones para el mejoramiento del chasis y de esta forma también aplicarlos al monoplaza eléctrico (Grandes, y otros, 2019 pág. 5)

Según el grupo UDA E-TEAM de la Universidad del Azuay, 2019; realizaron su primer prototipo monoplaza eléctrico con un menor consumo de energía, materiales adecuados y componentes electrónicos que ofrecen la mejor movilidad. Estos prototipos eléctricos aún no se han desarrollado a gran escala a nivel nacional, siendo una de las principales razones para efectuar su implementación y realizar diversos mejoramientos. Estos proyectos son los pioneros para seguir desarrollando ideas y estrategias para mejorar la movilidad urbana y el cuidado del medio ambiente.

El campo automotriz está en un constante crecimiento tecnológico, por ello, se van generando nuevas ideas para la mejora energética. Tomando en cuenta diversas referencias y aspectos como: materiales, simulación de elementos finitos, análisis estructural, optimizaciones, entre otros; se ha enfocado en el diseño y construcción de un chasis liviano con alta resistencia, donde serán

ubicados los componentes adecuados para el prototipo como: tren motriz, baterías, carrocería, sistema de dirección, frenos, etc.; mismas que ayudarán a la dinámica del vehículo (peso, coeficientes de fricción, aerodinámica).

## **1.2 Planteamiento del problema**

En la actualidad, cada vez se necesita una mayor autonomía de los combustibles para la funcionalidad de los vehículos ya sean estos de combustión interna o por medio de un tren de propulsión eléctrico. Para ello se necesita disminuir el peso con el objetivo de obtener las mejores prestaciones, ya que al tener una mayor autonomía se puede tener una alta relación entre combustible y distancia recorrida.

Debido a lo mencionado anteriormente se ha visto en la necesidad de construir el chasis para un prototipo eléctrico monoplaza con un peso reducido, de esta forma se obtendrá un menor consumo de energía.

Cabe mencionar que uno de los requerimientos para mejorar la eficiencia energética es la forma de conducción, de esta manera se establece que se obtendrá un mayor kilometraje con un menor consumo (Grandes, y otros pág. 7).

## **1.3 Justificación**

### ***1.3.1 Justificación Teórica***

En la actualidad “se desarrollan vehículos con alta eficiencia energética, en donde, cada detalle de diseño y construcción es importante para obtener mayor kilometraje con menor consumo energético” (Cajamarca y Vásquez, 2016 pág. 10).

Debido a que en la actualidad se diseñan vehículos cada vez más eficientes optimizando el consumo energético, utilizando materiales mucho más ligeros que cumplan con los requerimientos de diseño (Grandes, y otros, 2019 pág. 12).

Además de que cada vez se necesita una eficiencia energética mayor para lograr que el vehículo tenga una mejor relación de distancia recorrida por gasto de energía y para ello se necesita que se aligeren los elementos que componen el vehículo.

### ***1.3.2 Justificación Práctica***

El diseño y construcción del prototipo será una oportunidad para emplear todo lo aprendido en las aulas de ingeniería automotriz, para el desarrollo de elementos como el bastidor, carrocería y dirección se empleó el método de elementos finitos para poder validar el diseño (Grandes, y otros, 2019 pág. 13).

La creación de valor impulsa la innovación exitosa, y con esto surge la necesidad de desarrollar productos más complejos cuya propuesta de valor está vinculada a la integración de componentes y subsistemas en un sistema completo, en lugar del conjunto de componentes individuales (Welo, Bjørset y Rølvåg, 2013 pág. 9).

### ***1.3.3 Justificación metodológica***

En la presente investigación, uno de los estándares que permiten una estructura sólida del chasis, es el que se encuentra orientado hacia la implementación de los estándares de diseño, para que permita una adecuada movilidad del prototipo.

Como ha sido mencionado anteriormente, la problemática radica en que se debe obtener la mayor eficiencia energética, es por ello, que se realizará consideraciones como: los materiales a utilizarse, los criterios de diseño según el piloto, componentes del tren motriz eléctrico, dimensionamiento del chasis, proceso de manufactura, entre otros.

Estos requerimientos deben ser ampliamente analizados, por lo tanto, se validará mediante criterios de selección, la utilización del software CAD para la modelación del chasis, pruebas de simulación mediante software CAE, determinación del peso y tamaño ideal que debe ocupar el piloto, entre otros aspectos, todo esto con el propósito de obtener un chasis con una optimización adecuada del peso.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo General***

- Diseñar y construir un chasis liviano para un vehículo monoplaza eléctrico mediante software CAD/CAE para una adecuada optimización del peso.

### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

- Recopilar información a través de revisión bibliografía para una adecuada fundamentación teórica.
- Diseñar un chasis liviano mediante software acorde a las especificaciones establecidas para una mejor optimización.
- Efectuar pruebas de simulación con el uso de programas evaluando su desempeño.
- Construir el chasis liviano bajo las especificaciones de diseño y simulación de software para un vehículo monoplaza eléctrico.
- Realizar pruebas de verificación del chasis liviano evidenciando su funcionalidad.

## **CAPÍTULO II**

### **2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **2.1 Estado del arte**

Los vehículos monoplazas han sido desarrollados e implementados a gran escala en los últimos años, se puede establecer que son utilizados principalmente en las competencias automovilísticas. De manera general su modo de operación se lo ha estado implementando mediante un motor de combustión o un tren de propulsión eléctrico.

Actualmente también se le ha dado otro tipo de servicio, ya sea de uso urbano para poder movilizarse en las ciudades, para personas con capacidades especiales e incluso en las nuevas tendencias tecnológicas como es la situación de los vehículos eléctricos.

En este caso se ha optado por la implementación de un monoplaza eléctrico, enfocado hacia la optimización energética mediante la reducción del peso y tamaño del chasis, sumándole a aquello el tipo de carrocería para que adquiriera una mejor aerodinámica.

Acorde a esto, se han desarrollado diversos tipos de estudios para el diseño y materiales de los prototipos. Con respecto al diseño enfocándose en tener una estructura resistente, las cargas correctamente distribuidas y el dimensionamiento apropiado, por otra parte, mediante el análisis de materiales se podrá elegir cual ofrece mejores prestaciones, siendo estas como la alta resistencia y el peso reducido, todo depende de la función a la cual este destinado.

Como se había mencionado anteriormente, estos prototipos pueden estar propuestos a diversas funcionalidades, es por ello que en este apartado se dará a conocer las diferentes estructuras de los prototipos monoplazas.

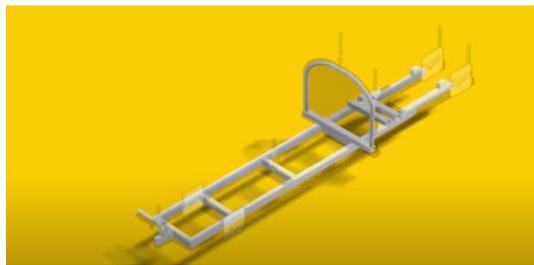
### 2.1.1 *Diseño y Manufactura de un Chasis para un Prototipo Eléctrico Monoplaza*

El prototipo estuvo a cargo de SEMERU TEAM, siendo diseñado con las mejores prestaciones para la competición Shell Eco Marathon Asia 2018.



**Figura 1-2:** Prototipo Kumbolo Electric de SEMERU TEAM

**Fuente:** (Semeru Team, 2017)



**Figura 2-2:** Chasis del Equipo Semeru Team

**Fuente:** (Semeru Team, 2017)

Semeru Team es un equipo de la Universidad Estatal de Malang en Indonesia en el cual han diseñado un prototipo que utiliza como tipo de energía a la batería eléctrica, por lo tanto, este diseño fue desarrollado bajo una metodología de modelado y simulación que le permita tener un mejor rendimiento.

El chasis para el prototipo eléctrico tiene una altura de 660mm, el ancho de 800mm, el largo de 2642mm y la distancia entre ejes de 565mm con el fin de que tenga una mayor estabilidad. En la parte de construcción se lo ha realizado a partir de una aleación de aluminio para que tenga un menor peso y una mayor eficiencia energética.

Mediante el software AutoDesk Inventor han obtenido los mejores resultados; en lo que se refiere al esfuerzo máximo de Von Mises tiene un valor de 215 MPa, un desplazamiento de 2,135mm y el factor mínimo de seguridad de 1,28, analizando de esta forma las altas prestaciones que ofrece para el prototipo. El equipo ha desarrollado el chasis largo y ancho ya que tiene el propósito de ofrecer una mayor seguridad al conductor en caso de alguna colisión o vuelco.

### ***2.1.2 Diseño y Construcción de un Prototipo Eléctrico Monoplaza Latinoamericano***

El prototipo ha sido realizado por KON Team MK. II de la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC) de Perú en el cual su diseño y construcción ofrecen una alta eficiencia energética.



**Figura 3-2:** Prototipo KON MK. II

Fuente: (TECNOLOGÍA, 2021)



**Figura 4-2:** Chasis del Prototipo MK. II

Fuente: (Universidad de Ingeniería y Tecnología , 2021).

El diseño y construcción del prototipo eléctrico ha sido realizado para su primera participación en el año 2021 en la competencia Shell Eco Marathon. Dentro de sus planificaciones para el desarrollo del prototipo se han enfocado en cinco puntos: chasis y aerodinámica; dirección, frenos y ruedas; diseño y ergonomía; tren de potencia y sistemas electrónicos.

En lo que se refiere al chasis y la aerodinámica del prototipo, hicieron uso del software para realizar varias simulaciones a la estructura del chasis, es decir, aplicaron todas cargas y los choques posibles que podría tener el prototipo sin perder aspectos como la ligereza y la resistividad. Se trata de un diseño simple ya que se enfocaban en reducir el número de elementos o piezas, pero al mismo tiempo asegurando el confort y la seguridad del piloto.

Las dimensiones el chasis son las siguientes: una longitud total de 3,2m, el ancho es de 96cm y tiene una altura máxima de 71cm. Consta de 3 divisiones principales dejando una zona arrugada de 25cm en caso de choques frontales y una distancia entre ejes de 1.6m que le garantiza una mejor estabilidad.

El material utilizado para la construcción es el aluminio ofreciéndole una alta rigidez y un peso liviano al prototipo. En la parte posterior tiene un espaldar que lo protege del sistema de propulsión y el compartimiento electrónico. Para medidas de seguridad se le ha instalado en el chasis 5 puntos estratégicos destinados para los cinturones, ofreciéndole mayor tranquilidad al piloto.

Cabe destacar que en su primera participación ganaron el primer puesto del Vehicle Design Award de la categoría prototipo y el segundo puesto en el Communications Award, por lo que se puede evidenciar que el diseño del prototipo ofrece una adecuada movilidad.

### **2.1.3 Análisis Estático de un Prototipo Eléctrico**

El siguiente análisis se enfoca en el estudio estático que interviene en un prototipo eléctrico (Evangelos, y otros, 2019 pág. 2).



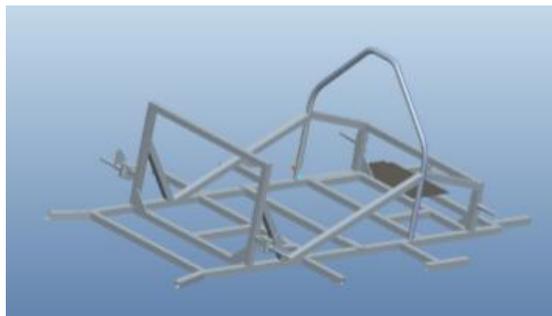
**Figura 5-2:** Prototipo Eléctrico

**Fuente:** (Evangelos, y otros, 2019)

El diseño y las simulaciones a través del análisis de elementos finitos se lo han realizado mediante métodos que sean eficientes y rentables, cumpliendo un papel fundamental al momento de diseñar el chasis del prototipo.

Antes de iniciar con el diseño del siguiente chasis lo que primero se realiza es calcular las cargas dinámicas exactas del prototipo, bajo las condiciones de tensión combinada. Este método tiene la ventaja de ser más preciso y por lo tanto facilita a los diseñadores para investigar la trayectoria y la amplitud de cargas.

Una vez estipulado estos parámetros se establece que el chasis adopta las siguientes medidas: 1,70m de largo; 0,730m de ancho y 0,740m de alto, de esta manera proporcionando un peso de 10,85kg. Está construido por secciones huecas de aluminio (30x30) mm 6082-T6 con un grosor de 1,5mm que se encuentran soldadas con alta precisión. En la parte frontal la base es de aluminio 6082-T6 y en la parte posterior está hecha de acero AISI 9000.

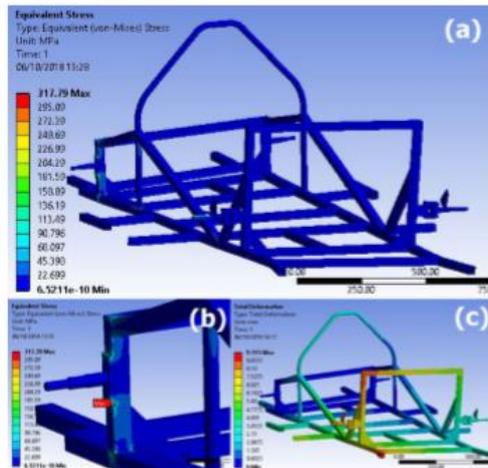


**Figura 6-2:** Dimensiones para el Diseño de Chasis

**Fuente:** (Evangelos, y otros, 2019)

El análisis estático fue realizado por software ANSYS en donde presenta un valor máximo de tensión de 317,79 MPa y una deformación de hasta 9,55mm por lo que los dos resultados son aceptables.

El valor de tensión es de 317,79MPa en el semieje trasero que está hecho de acero inoxidable con el límite elástico de 850 MPa, por otra parte, el marco espacial que es de aluminio presenta un límite elástico de 225MPa y presenta un estrés de 226,99 MPa



**Figura 7-2:** Análisis de Diseño mediante ANSYS

**Fuente:** (Evangelos, y otros, 2019)

Acorde a estos resultados se establece que el chasis es liviano por lo tanto soporta todas las cargas mecánicas aplicadas y la tensión máxima de Von Mises, respetando de esta forma el desplazamiento máximo aceptable.

Por medio de este método se evitan costos innecesarios ya que se puede diseñar y optimizar sin necesidad de recurrir a la construcción del mismo para poder verificar su eficacia, por lo tanto, se trata de un punto importante al momento de desarrollar la metodología del modelado de la estructura del chasis.

#### **2.1.4 Diseño del chasis de un prototipo eléctrico monoplaza de uso urbano**

El siguiente diseño de chasis del prototipo ha sido desarrollado en la ciudad de Guayaquil, el cual ha partido desde la forma que va adoptar la carrocería, es decir, que mediante este requerimiento se ha implementado la estructura final del mismo (Valle, 2018 pág. 17).

En relación al dimensionamiento, se han tomado como base las ordenanzas municipales de la respectiva ciudad, de tal forma que al momento de aparcarlo sea ubicado de forma transversal, siendo estas medidas las siguientes: 2400mm de largo, 1400mm de ancho y una altura de 1500mm.



**Figura 8-2:** Dimensionamiento de prototipo eléctrico

Fuente: (Valle, 2018)

Con respecto a esto se ha realizado el diseño en dos secciones, en la parte inferior tiene la particularidad de tener travesaños y largueros de perfil cuadrado de acero ASTM A36, por otra parte, en la sección superior consta de un perfil circular de acero ASTM A513 GRADO C.



**Figura 9-2:** Diseño de chasis en software

Fuente: (Valle, 2018)

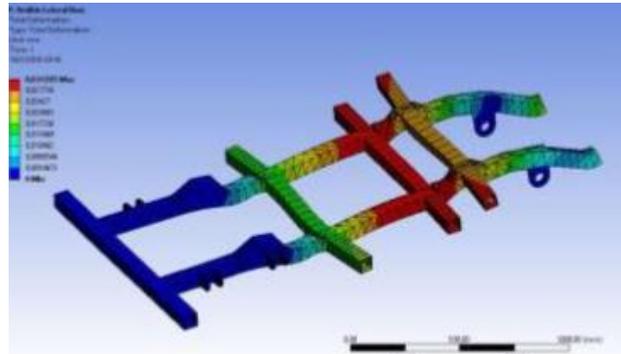
Con respecto a la simulación, ha sido analizada bajo las normas de homologación de estructuras de la RFEDA en el cual estipula que se debe fijar las cargas para la simulación, es por ello, que en la parte frontal, posterior y lateral se lo debe analizar como 3,5 veces del peso total, por otra parte, la carga de compresión debe ser de 7,5 veces del peso total (Valle, 2018 pág. 28).

Acorde a esto, se realizó el estudio respectivo de la parte inferior del chasis en el cual arrojaron los siguientes resultados:

**Tabla 1-2:** Resultados de simulación de parte inferior de chasis

Parte Estructural	Vertical	Frontal	Lateral
Esfuerzos (MPa)	14	6,2	9,4
Deformaciones (mm)	0,09	0,03	0,003

Fuente: (Valle, 2018)



**Figura 10-2:** Simulación de parte inferior de chasis en software

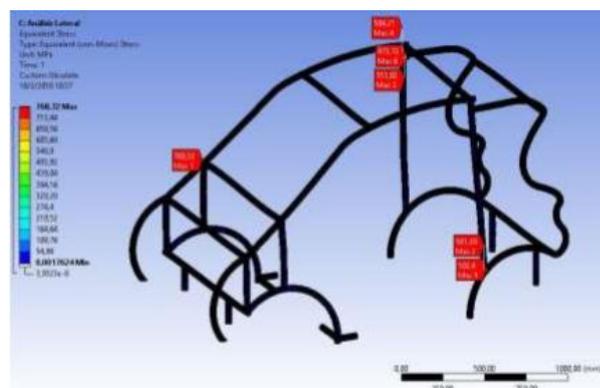
Fuente: (Valle, 2018)

Con respecto a la parte superior del chasis se han establecido los siguientes resultados:

**Tabla 2-2:** Resultados de simulación de parte superior de chasis

Parte Estructural	Vertical	Frontal	Lateral
Esfuerzos (MPa)	190	105	170
Deformaciones (mm)	2,4	1,3	5,8

Fuente: (Valle, 2018)



**Figura 11-2:** Simulación de parte superior de chasis en software

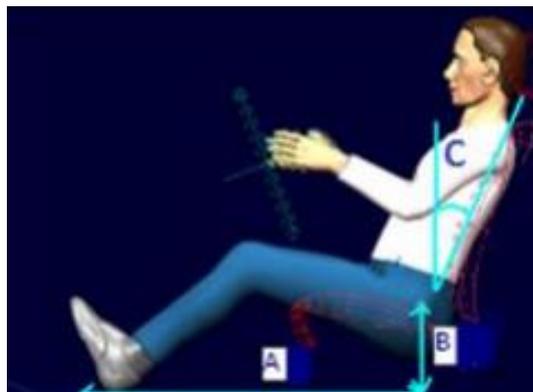
Fuente: (Valle, 2018)

Mediante estos resultados se establece que el diseño y el material implementado ofrece las mejores prestaciones, por otra parte, cabe mencionar que este prototipo está destinado para uso urbano, es por ello por lo que adquiere esta forma particular con su respectivo dimensionamiento.

### **2.1.5 Diseño de un chasis monoplaza destinado para sectores urbanos planos.**

Este prototipo surge de la necesidad de mejorar la movilidad urbana en terrenos planos y pavimentados en el departamento de Antioquía (Colombia), con la finalidad de mejorar el consumo energético del mismo.

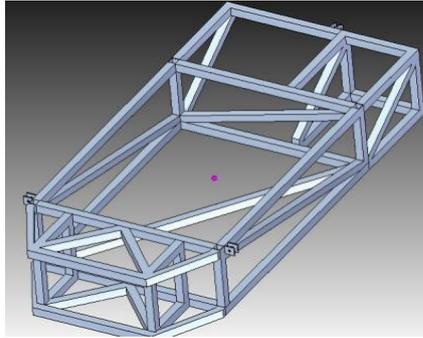
Con respecto al dimensionamiento de la cabina del prototipo se tomó en cuenta factores como la seguridad y el confort del piloto, es por ello que se ha establecido una ponderación promedio de diferentes modelos comerciales: longitud (de extremos de los pies a la cintura) de 1200mm, altura (desde la cintura hasta la cabeza) de 1000mm y el ancho (medida de la cadera) de 300mm (Peña, 2013 pág. 22).



**Figura 12-2:** Posicionamiento del piloto

Fuente: (Peña, 2013)

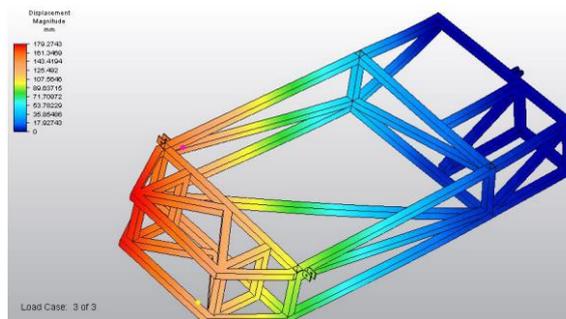
Para el proceso de manufactura se ha escogido un perfil cuadrado debido a que su proceso de construcción ofrece una mayor facilidad en comparación a un perfil circular. El material empleado es el acero ASTM A36 de bajo carbono ya que lo que se requiere es una mayor seguridad.



**Figura 13-2:** Diseño de chasis en software

**Fuente:** (Peña, 2013)

Para el análisis FEA se ha utilizado el software Autodesk Multiphysics 2013®, en el cual se ha incorporado condiciones de colisión a una velocidad de 72km/h de manera frontal hacia el chasis.



**Figura 14-2:** Simulación de chasis en software

**Fuente:** (Peña, 2013)

Acorde a los resultados obtenidos se establece que tiene un desplazamiento de 180mm, en cuanto a la deformación por unidad de volumen fue de 3794 N/mm<sup>2</sup>, finalmente se analiza que es capaz de soportar 101950 J en el impacto (Peña, 2013 pág. 25).

Cabe mencionar que con respecto a este análisis se necesita una disipación mínima de 34000J, por lo tanto, en comparación a los resultados obtenidos se establece que puede soportar hasta 3 veces la energía generada en el choque, ofreciendo una mayor seguridad al usuario.

De esta manera se puede visualizar otro prototipo monoplaza que va a ser destinado como uso urbano, es por ello que ahí radica la importancia de seguir impulsando estas propuestas con el objetivo de mejorar la movilidad urbana, a la vez de utilizar estrategias que puedan reducir el consumo energético y las emisiones contaminantes.

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Bastidor

El bastidor forma parte de un elemento importante en el campo automotriz, teniendo la funcionalidad de fijar los distintos elementos que conforman el automóvil como es el sistema de frenos, transmisión, suspensión, motor, carrocería, entre otros (Calvo, 2021 pág. 74) .

Acorde a las funciones que realiza se establece que está sometido a cargas que eventualmente provocan deformaciones e inestabilidades. Desde otro punto de vista también debe soportar el peso de los ocupantes y las cargas dinámicas e inerciales ocasionadas por el funcionamiento de los componentes del vehículo y al momento de estar en movimiento. Es por esto que de manera general debe tener las siguientes características:

- Resistencia a la flexión
- Capacidad de carga
- Resistencia a la torsión
- Indeformabilidad

#### 2.2.1.1 Tipos de Bastidores

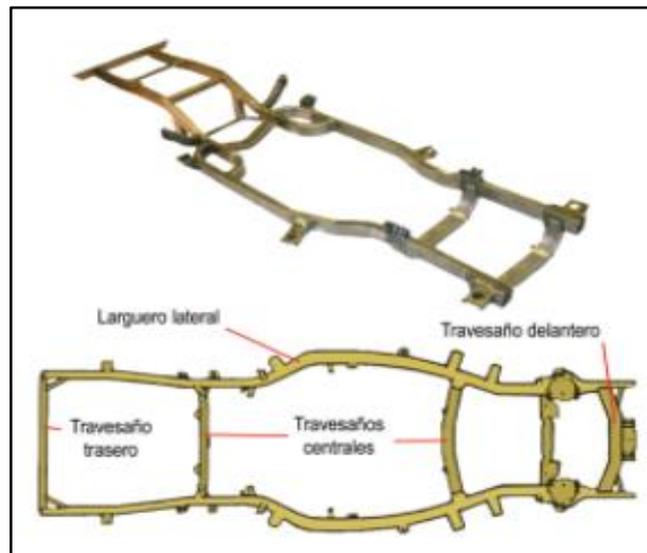
Los bastidores han sido diseñados acorde a las diferentes necesidades que va a requerir el vehículo ya sea con diferentes geometrías y formas para cumplir los mejores estándares de fabricación como una mayor rigidez, alta resistencia, distribución ideal de las cargas, etc. (Águeda, y otros, 2016 pág. 34). Algunos de los tipos de bastidores más usuales se presentan a continuación:

- En escalera (en H)

Está conformado por dos largueros laterales que están hechas de chapa laminada y soldada, cuentan con un perfil en U, en paralelos o no, unidos por travesaños o diagonales y en ciertos casos por los dos (Águeda, y otros, 2016 pág. 35).

Tienen varias ventajas como una alta durabilidad, los componentes mecánicos son accesibles más fácilmente, posee una alta resistencia en caso de accidentes, además son sencillos de diseñar y fabricar.

Es uno de los bastidores más antiguos que en su momento era uno de los más empleados, debido a las nuevas necesidades en la actualidad han sido utilizados para furgones ligeros, autobuses, todo terreno, camiones, etc., por su alta rigidez.



**Figura 15-2:** Batidor en Escalera o H

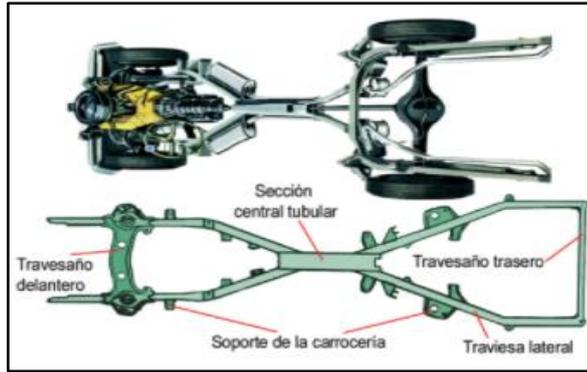
Fuente: (Águeda, y otros, 2016)

- De Columna (en X)

Denominado así por su geometría que es en forma de X debido a que el bastidor se estrecha por el centro. Este diseño le permite tener una alta rigidez y de esta manera disminuir los puntos de torsión elevada (Águeda, y otros, 2016 pág. 35).

En la parte estructural tiene un travesaño delantero robusto que le permite tener una correcta fijación con la suspensión delantera.

El bastidor de tubo central tiene una viga gruesa longitudinal con perfil cuadrado o redondo y que en los extremos cuenta con sendos en donde se ubican los demás componentes del vehículo. Tiene un mayor utilización en los automóviles de competición.



**Figura 16-2:** Bastidor de Columna (en X)

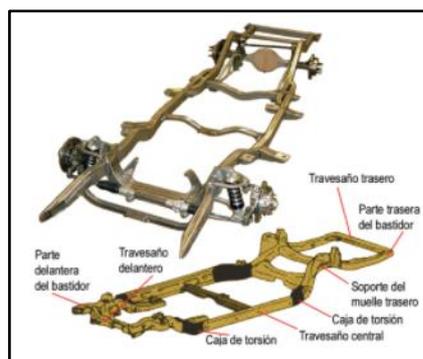
**Fuente:** (Águeda, y otros, 2016)

- Perimétrico

En este caso los largueros soportan la carrocería en la parte más ancha, ofreciendo una mayor resistencia y protección en el caso de existir un impacto lateral.

Este bastidor se caracteriza por tener un diseño escalonado, en el cual ofrece protección a las ruedas delanteras y traseras, con esto se consigue una mayor protección en el caso de un choque frontal (Águeda, y otros, 2016 pág. 36).

En la parte posterior se encuentran los travesaños que son los encargados de absorber los impactos en este lugar. El larguero longitudinal se caracteriza por estar muy próximo al cerramiento del piso por lo que se evitan posibles aplastamientos (Águeda, y otros, 2016 pág. 36).



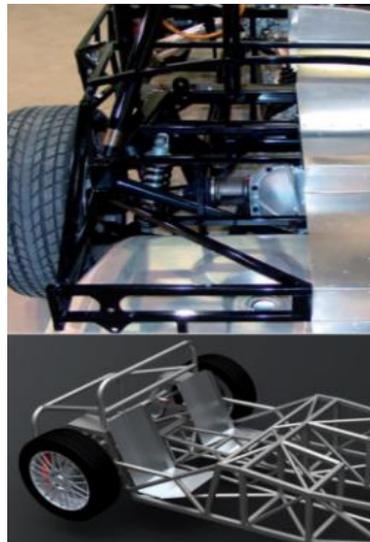
**Figura 17-2:** Bastidor Perimétrico

**Fuente:** (Águeda, y otros, 2016)

- Tubular

Este bastidor es una estructura de tipo celosía que surge de la necesidad de tener prestaciones más rígidas y livianas. Tiene un costo de implementación elevado por lo que se encuentra limitado su uso a vehículos de competición o prototipos en donde sus prestaciones requieren de una alta solidez con un peso ligero (Águeda, y otros, 2016 pág. 37).

Cabe destacar que en estos tipos de vehículos también tienen el enfoque en la carrocería para que tenga mejoras en la aerodinámica y la parte estética. Su producción en masa se encuentra ampliamente condicionada por los costos de fabricación. Al momento de elaborarlos se debe prestar atención en los diámetros tubulares y en la soldadura.



**Figura 18-2:** Bastidor Tubular

Fuente: (Águeda, y otros, 2016)

### 2.2.2 *Carrocería y Chasis Separados*

Es uno de los sistemas más antiguos empleados en los vehículos en donde su configuración es la unión de 2 estructuras distintas que son el bastidor y la carrocería (Águeda, y otros, 2016 pág. 34).



**Figura 19-2:** Carrocería y Chasis Separados

Fuente: (Águeda, y otros, 2016)

### 2.2.2.1 El Bastidor

Esta constituido por largueros de acero que se encuentra unidos por travesaños que pueden estar atornillados, soldados, remachados y están dispuestos transversal y diagonalmente. En el bastidor se alojan los componentes mecánicos y la carrocería por lo que se destaca su alta rigidez para soportar los esfuerzos dinámicos, de flexión y torsionales al momento de estar en marcha el vehículo (Águeda, y otros, 2016 pág. 38).



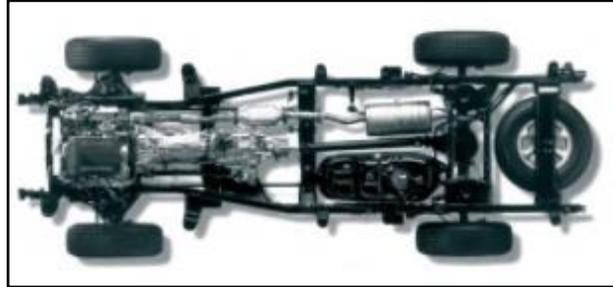
**Figura 20-2:** Bastidor

Fuente: (Águeda, y otros, 2016)

### 2.2.2.2 La Carrocería

Constituye prácticamente la envoltura del vehículo, para su montaje se debe atornillar al bastidor por medio de juntas de caucho y de esta manera se fijará adecuadamente (Águeda, y otros, 2016 pág. 39).

Al momento de ubicarle en el bastidor los componentes mecánicos como el sistemas de frenos, suspensión, etc., forman un solo conjunto denominado chasis. Este sistema de carrocería con chasis separado ofrece grandes ventajas como transportar cargas pesadas, soportar grandes esfuerzos, una alta resistencia, etc.



**Figura 21-2:** Chasis

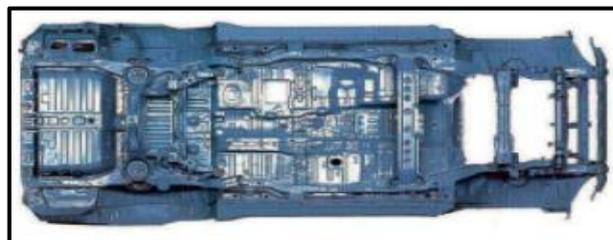
**Fuente:** (Águeda, y otros, 2016)

Una de las desventajas que presenta este sistema son los siguientes:

- El centro de gravedad es mayor, ocasionando al vehículo una mayor inestabilidad y aumenta el coeficiente aerodinámico.
- El peso del vehículo es elevado.
- Tiene un mayor coste de fabricación por los materiales que requiere.

### 2.2.3 Carrocería con Plataforma – Chasis

Es una plataforma portante constituido por un chasis ligero y unidos a diferentes chapas mediante soldadura por punto, formando un elemento rígido para fijar los elementos del automóvil al igual que la carrocería (Águeda, y otros, 2016 pág. 40).



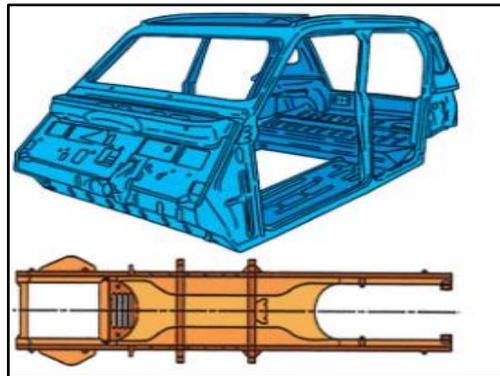
**Figura 22-2:** Plataforma Portante formada por la soldadura

**Fuente:** (Águeda, y otros, 2016)

Estas plataformas pueden unirse a la carrocería mediante 2 técnicas:

### 2.2.3.1 Atornillada a la Plataforma

La plataforma se caracteriza por ser un elemento sólido, permitiendo con esta técnica que la carrocería pueda ser desmontable como la faldilla de la calandra, las aletas delanteras y trasera, etc. (Águeda, y otros, 2016 pág. 41).

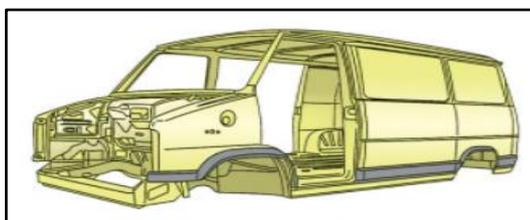


**Figura 23-2:** Automóvil con Carrocería atornillada a la Plataforma

Fuente: (Águeda, y otros, 2016)

### 2.2.3.2 Mediante Soldadura o Remaches

A través de esta técnica permite tener carrocerías de diferentes tipos por lo que la plataforma base se encontrará soldada y tiene una alta solidez. Es muy empleada en vehículos que van a soportar cargas elevadas como los furgones, furgonetas y todoterrenos (Águeda, y otros, 2016 pág. 41).

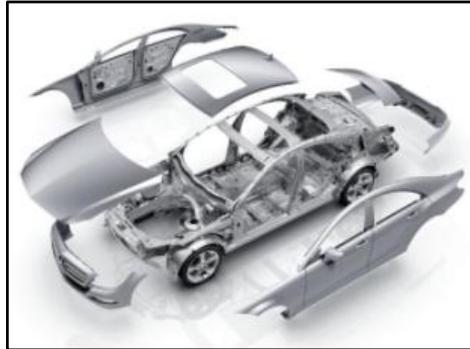


**Figura 24-2:** Vehículo con Carrocería soldada a la Plataforma

Fuente: (Águeda, y otros, 2016)

#### 2.2.4 Carrocería Auto portante

Es una de las configuraciones más empleadas por los fabricantes de vehículos actualmente, se trata de una caja metálica envolvente en donde está constituida por chapas metálicas de diferentes formas, espesores y diseños, permitiéndole soportar su propio peso y a los demás componentes del automóvil (Águeda, y otros, 2016 pág. 42).



**Figura 25-2:** Carrocería Autoportante

Fuente: (Águeda, y otros, 2016)

Este tipo de carrocería debe proporcionar lo siguiente:

- Resistencia dinámica de flexión y torsión cuando el vehículo está en movimiento
- Resistencia estática para soportar el peso de los elementos mecánicos, los ocupantes y en su propio peso.
- Una base de anclaje ideal.

Ofrece las siguientes ventajas:

- La facilidad de producción en serie lo que posibilita una mayor perfección de fabricación.
- El centro de gravedad es menor, ofreciendo mayor estabilidad.
- Su estructura es más ligera, sólida y estable.

Este tipo de carrocería puede ser de dos tipos (Águeda, y otros, 2016 pág. 43):

#### 2.2.4.1 Carrocería Autoportante con elementos desmontables

Este tipo de carrocería tiene la particularidad de ser desmontable las partes que por lo general están en un constante peligro de contacto como son las puertas, maletero, capó, etc. Las piezas no deben ser ubicadas en zonas críticas desde la perspectiva mecánica para que no pierda la rigidez. Esta estructura se caracteriza por reducir el número de vibraciones y ofrecer una mayor rigidez, además tiene un sub chasis en donde se ubica el motor, el sistema de suspensión y dirección. En caso de un choque ya sea frontal o lateral este puede ser cambiado por otro e incorporarle en el chasis. Por lo general suelen estar sujetos a la carrocería por medio de pernos (Águeda, y otros, 2016 pág. 43).



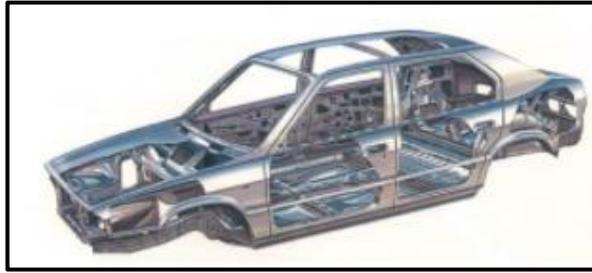
**Figura 26-2:** Subchasis delantero

Fuente: (Águeda, y otros, 2016)

#### 2.2.4.2 Carrocería Autoportante Unida por Soldadura (Monocasco)

Se trata de una carrocería en donde disminuye el número de piezas desmontables como son las puertas, capó, maletero, etc., con la finalidad de que sea más compacta. El suelo de la caja está sujeto con el monocasco ofreciendo una mayor resistencia a los componentes del vehículo. Tiene la función de sujetar los sistemas de suspensión, dirección, transmisión y las bases del motor (Águeda, y otros, 2016 pág. 44).

Esta estructura ofrece una mayor protección de choques frontales o laterales, lamentablemente cuando los puntos de la geometría de la carrocería cambian, suelen ser complicados de posicionarlos nuevamente (Águeda, y otros, 2016 pág. 44). Cuando se requiere realizar algún tipo de arreglo en la carrocería, también presenta dificultades ya que no es fácil desmontarlo.



**Figura 27-2:** Vehículo con Carrocería Monocasco

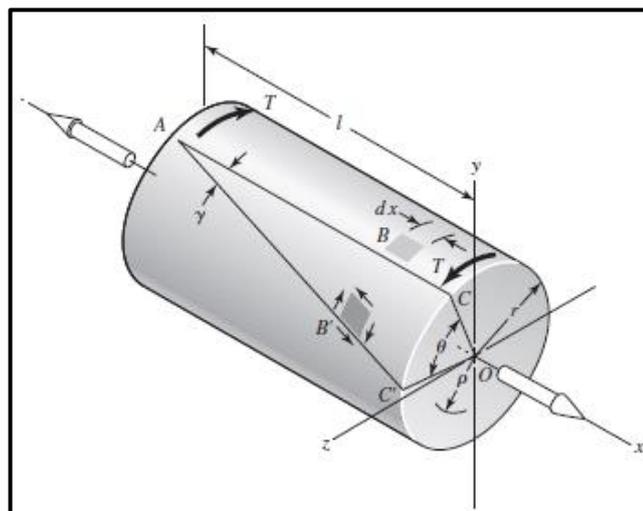
Fuente: (Águeda, y otros, 2016)

### 2.2.5 Torsión, compresión y flexión

Al comenzar la construcción de una estructura metálica se debe determinar los esfuerzos, para poder realizar un diseño óptimo y evitar pérdidas materiales. Los esfuerzos a los que están sometidos son:

#### 2.2.5.1 Torsión

Cualquier vector momento que sea colineal con un eje de un elemento mecánico se llama vector de par de torsión, porque el momento causa que el elemento se doblegue respecto a ese eje (Budynas y Nisbett ,2008 pág. 52).



**Figura 28-2:** Torsión producida por un momento

Fuente: (Budynas y Nisbett ,2008)

### 2.2.5.2 Flexión

La flexión es provocada por la acción de fuerzas en un cuerpo, por lo que esta tiende a doblarse, alargando de esta forma el cuerpo en un punto y acortando en el otro al mismo tiempo (Budynas y Nisbett, 2008 pág. 57).

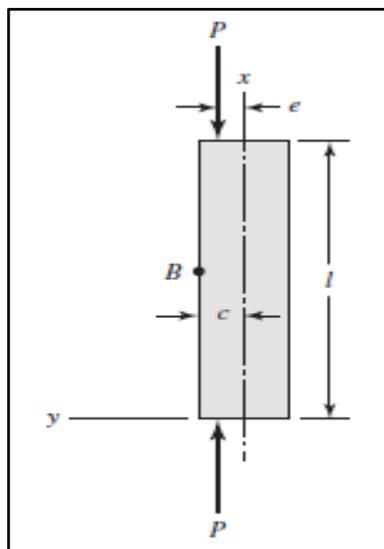


**Figura 29-2:** Flexión de una viga

Fuente: (Budynas y Nisbett ,2008)

### 2.2.5.3 Compresión

Difiere de manera significativa en comparación a los elementos sometidos a tensión o a torsión. Una barra o poste que está expuesto a fuerzas de compresión que cada vez serán mayores, generará flexión “pandeo” en el elemento y si sigue aumentando la fuerza generará la ruptura del cuerpo (Budynas y Nisbett, 2008 pág. 61).

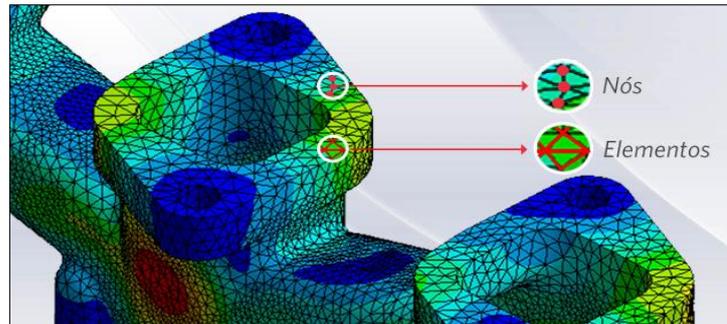


**Figura 30-2:** Viga expuesta a compresión

Fuente: (Budynas y Nisbett ,2008)

### 2.2.6 Diseño de elementos finitos

El método de análisis por elementos finitos es posible ya que al realizarse, se toma un elemento que esta de forma continua y es sometido a un modelo discreto aproximado (división en fracciones finitas), esta transformación es conocida como: “desratización del modelo”, esto se obtiene gracias a la interpolación de los valores de cada uno de los nodos presentes en el modelo, dando así una aproximación de cada uno de los valores de una función a partir de los valores conocidos en un número finitos de puntos (Rojas Perilla ,2018 pág. 22).



**Figura 31-2:** Discretización de un elemento para análisis

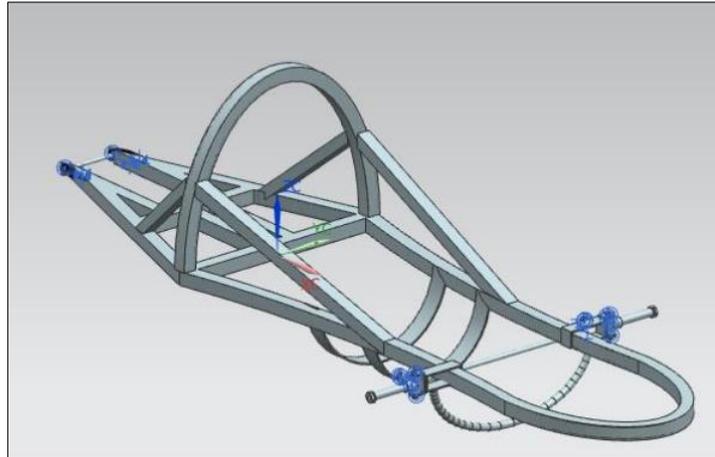
Fuente: (Valdez, 2006)

#### 2.2.6.1 Diseño mediante software CAD

Permite diseñar modelos tridimensionales (3D), que nos servirá para poder realizar vistas en dos dimensiones con dimensionamiento automático.

Mediante el uso de estos softwares, el proceso de manufactura se reduce, ya que, al tener una base de datos tridimensional, permitirá una adecuada elaboración de prototipos que facilitará posteriormente el proceso manufactura (estereolitografía), la exactitud es mayor.

Además de poder diseñar elementos a escala, se pueden realizar cálculos rápidos y exactos de algunas propiedades que nos ayudarán a dimensionar el prototipo o modelo que estemos creando.



**Figura 32-2:** Diseño de prototipo de chasis

**Fuente:** (Grandes y Totoy, 2018)

#### 2.2.6.2 Simulación mediante software CAE

Describe todas las aplicaciones de ingeniería relacionadas con la computadora. Con esta definición, el CAD puede considerarse como un subconjunto del CAE. Algunos paquetes de computadora realizan análisis de ingeniería específicos y/o tareas de simulación que ayudan al diseñador, pero no se consideran una herramienta para la creación del diseño como lo es el CAD.

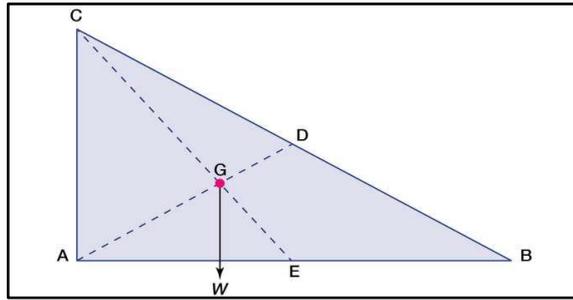


**Figura 33-2:** Simulación de esfuerzos mediante software CAE

**Fuente:** (Jaramillo, 2020)

### 2.2.7 Centro de gravedad

Es un punto imaginario en una estructura o elemento de materia donde, por cálculos, se puede pensar que se concentra el peso total del cuerpo. En ocasiones, el concepto es útil para diseñar estructuras estáticas o para predecir el comportamiento de un cuerpo en movimiento cuando la gravedad actúa sobre él (Britannica, 2021 pág. 43).



**Figura 34-2:** Centro de gravedad de un cuerpo triangular

Fuente: (Britannica, 2021)

### 2.2.8 Proceso de soldadura

El proceso de soldadura es muy importante al momento de realizar estructuras, es decir, se desarrolla con la aportación de calor que se genera gracias a la fricción de elementos estructurales.

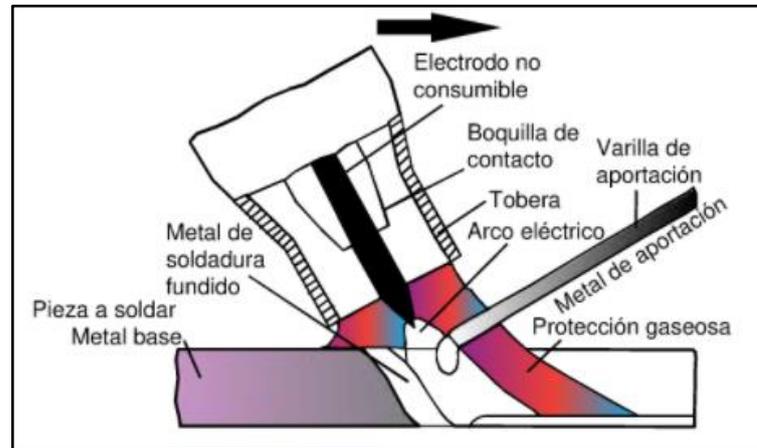
Existen diversos tipos de procedimientos que pueden llevarse a cabo ya sea a través del calor aportado por láser, ultrasonido o generado por la unión de dos polos eléctricos diferentes.

Además de esta aportación de calor en algunos casos se necesita de material aportante para que dos eslabones de una estructura puedan ser unidos con mayor facilidad y seguridad, de esta manera se puede conformar un solo cuerpo.

#### 2.2.8.1 Soldadura de tungsteno inert gas (TIG)

El proceso de soldadura GTAW por sus siglas en inglés Gas Tungsten Arc Welding, también conocido como TIG (Tungsten Inert Gas), es adecuada para ciertas aplicaciones, aunque puede provocar ciertas desventajas en otras condiciones de trabajo, todo depende de las necesidades que

se requiera. La GTAW usa un electrodo no consumible de Tungsteno para crear un arco y transferir calor al metal base que se está soldando. Al mismo tiempo, un gas inerte, generalmente Argón o una mezcla de Argón/Helio, protege el charco de soldadura de la atmósfera y contra la contaminación. (Rojas,2021 pág. 36)



**Figura 35-2:** Proceso de soldadura TIG

Fuente: (Cueto, 2017)

## 2.3 Marco legal

### 2.3.1 Normativa Aplicable

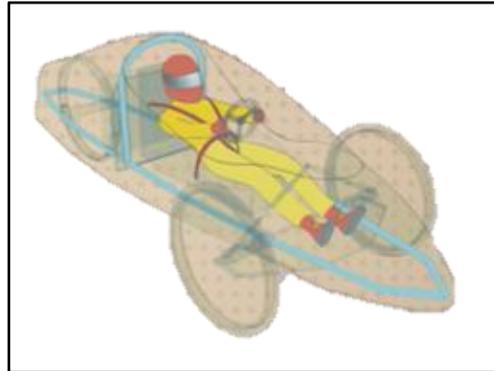
Para la elaboración del chasis liviano se ha tomado como referencia las reglamentaciones de la competencia Shell Eco-Marathon 2021, debido a que se perfila en la construcción de prototipos con el menor consumo energético por medio de un motor de combustión o un tren de propulsión eléctrico. Nuestro enfoque para la construcción del prototipo está ligado hacia ello, por lo tanto, se ha considerado esta normativa. A nivel general se enfoca en varios aspectos, pero en este caso alude al diseño y la construcción del chasis, es por ello que se han establecido consideraciones de alta relevancia (Shell Eco-marathon, 2021 pág. 78).

#### 2.3.1.1 Diseño del Vehículo

### Artículo 25

Acorde a este apartado engloba al diseño del vehículo (Shell Eco-marathon, 2021 pág. 79).

- a) Este apartado se enfoca en la seguridad que se debe proporcionar al conductor, los participantes, voluntarios y espectadores, por lo que es importante considerar este aspecto durante el diseño y la construcción del chasis.
- i. Los prototipos deben tener tres o cuatro ruedas que al momento de estar en movimiento deben encontrarse en un constante contacto con la carretera.

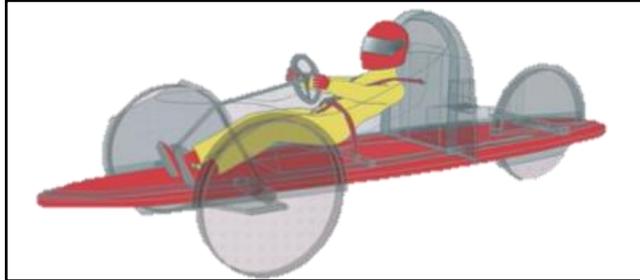


**Figura 36-2:** Prototipo con 3 ruedas

**Fuente:** (Shell, 2018)

- ii. Considerar que el prototipo debe tener una zona de deformación mínima de 100 mm entre la parte delantera del vehículo, cuerpo y pies del conductor.
- b) Esta prohíbo los apéndices aerodinámicos debido a que influyen en los cambios de forma por los factores de viento.
- c) Las carrocerías de los prototipos no deben tener apéndices externos que puedan causar daños a los pilotos, por lo tanto, no debe incluir partes afiladas. Los puntos puntiagudos deben tener 50mm de radio o estar recubierto con materiales deformables o espuma.
- d) Las ventanas del prototipo y los paneles de la carrocería deben ser rígidos por lo que no deben cambiar de forma por los factores del viento.
- e) En el interior del prototipo no debe existir ningún tipo de componente que pueda afectar al conductor en caso de una colisión.  
Las ventanas no deben romperse en fragmentos afilados por lo que pueden ser recubiertas de una película protectora, tomando en cuenta que no debe afectar la visibilidad del conductor.
- f) Los sistemas del compartimiento de energía (motor, tren de transmisión, batería, etc.) deben ser de fácil acceso y de manera rápida en el caso de una inspección.
- g) Las partes que conforman el tren de transmisión, tanque de combustible, el sistema de hidrogeno, etc., deben estar dentro de los límites de la cubierta del prototipo

- h) Todos los componentes del prototipo deben estar montados de manera segura. Los materiales elásticos no son permitidos para sujetar los objetos pesados.
- i) Todos los prototipos deben tener en su estructura un piso y marcos que sean sólidos para que el piloto evite contacto con el piso.



**Figura 37-2:** Piso Sólido del Prototipo

**Fuente:** (Shell, 2018)

- j) Los prototipos deben estar completamente cubiertos por lo que no es permitido estructuras que sean descapotables, de igual manera que tengan características similares a una bicicleta, triciclos o sillas de ruedas ya que están completamente prohibidos.
- k) Está prohibido el uso de asbesto y materiales que contengan este componente.

### *2.3.1.2 Chasis/ Solidez del Monocasco*

#### **Artículo 26**

En este artículo se enfoca en las consideraciones que debe tener el Chasis y la Solidez del Monocasco (Shell Eco-marathon, 2021 pág. 81).

- a) Se establece que el chasis debe ser el adecuado para que propicie la máxima seguridad al conductor en caso de una colisión frontal, lateral, posterior o de vuelco.
- b) Menciona que el chasis debe estar equipado con una barra antivuelco que se extienda 50 mm alrededor del casco del conductor.



**Figura 38-2:** Barra Antivuelco del Prototipo

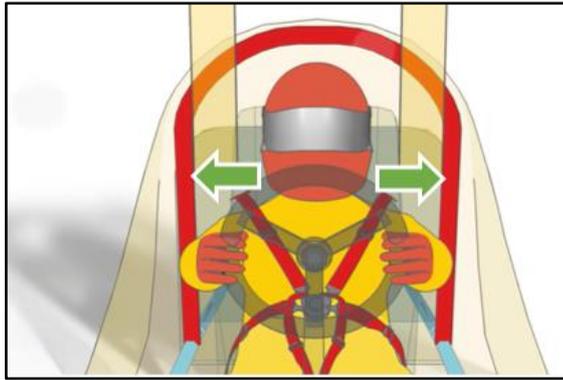
**Fuente:** (Shell, 2018)



**Figura 39-2:** Barra Antivuelco 50 mm alrededor del casco

**Fuente:** (Shell, 2018)

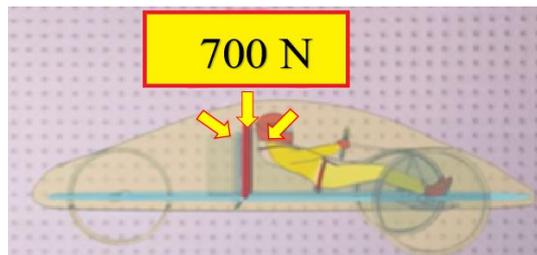
- Cabe mencionar que esta barra no debe afectar la visibilidad cuando el conductor se encuentre en la posición normal, en el caso de que tenga alguna dificultad, la barra establecida no será la adecuada.
  - Para poder verificar la eficacia de la barra antivuelco, la posición de la cabeza o el torso del piloto no deberá pasar esta barra, caso contrario no será aceptable por defectos en la visibilidad.
- c) El ancho de la barra antivuelco debe estar más allá de los hombros del piloto cuando se encuentre sentado en la posición normal. La barra antivuelco puede ser tubular o de panel, en el caso de ser tubular de preferencia que sea de metal.



**Figura 40-2:** Barra Antivuelco más allá de los hombros

Fuente: (Shell, 2018)

- d) La barra antivuelco debe soportar una carga estática de 700N aplicada en sentido vertical, horizontal o dirección perpendicular, y la misma no debe presentar algún tipo de deformación.



**Figura 41-2:** Carga que debe soportar la Barra Antivuelco

Fuente: (Shell, 2018)

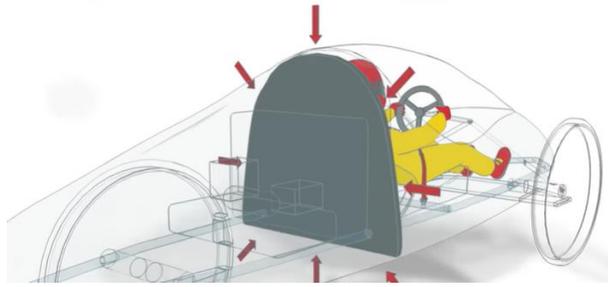
### 2.3.1.3 Aislamiento del Sistema de Propulsión y Energía

#### Artículo 27

Este artículo se enfoca en el aislamiento que debe existir entre el sistema de propulsión y energía con el piloto (Shell Eco-marathon, 2021 pág. 84)

- a) Un mamparo debe ser sólido para sellar y proteger al piloto de los sistemas de propulsión y almacenamiento de energía del prototipo.

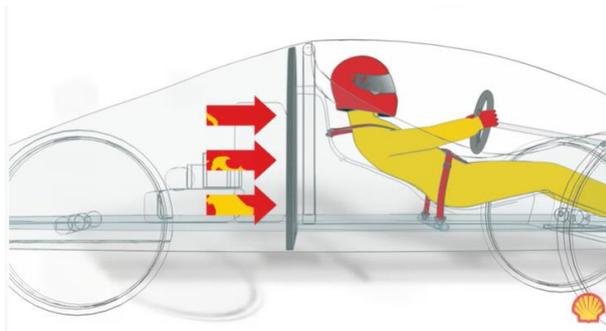
Un mamparo es una partición vertical que tiene la finalidad de separar el compartimiento del conductor con los sistemas de propulsión y energía (motores, pilas de combustibles, baterías, tanque de combustible, etc.).



**Figura 42-2:** Ubicación del Mamparo en el Prototipo

**Fuente:** (Shell, 2018)

Este mamparo es un mecanismo de seguridad que protege al piloto en el caso de haber fugas de combustible, incendios y otros inconvenientes, es por ello que los huecos que se lo realicen deben estar completamente sellados con láminas de metal o aluminio para evitar que le lleguen al conductor.



**Figura 43-2:** Mamparo para Protección en caso de Incendios

**Fuente:** (Shell, 2018)

- b) El mamparo debe proteger al piloto en caso de incendio en el compartimiento de energía.
- c) El mamparo debe impedir el ingreso fácil y manual del piloto al compartimiento de energía.
- d) Si se hace algún tipo de agujero en el mamparo ya sea para poder atravesar cables o alambres, estos deben estar correctamente sellados ya sea por una arandela u otro material protector para evitar daños o rozaduras. Para impedir cualquier problema es importante sellar los agujeros que se hagan en el mamparo.

#### *2.3.1.4 Posición del Conductor*

### **Artículo 33**

En este artículo menciona que por razones de seguridad la posición de conducción con la cabeza primera en el prototipo está prohibida. Es por ello que la posición adecuada que debe adoptar el piloto es con la barra antivuelco a 5cm alrededor del casco, tomando en cuenta al mismo tiempo la correcta visibilidad (Shell Eco-marathon, 2021 pág. 86).

#### *2.3.1.5 Dimensiones*

### **Artículo 39**

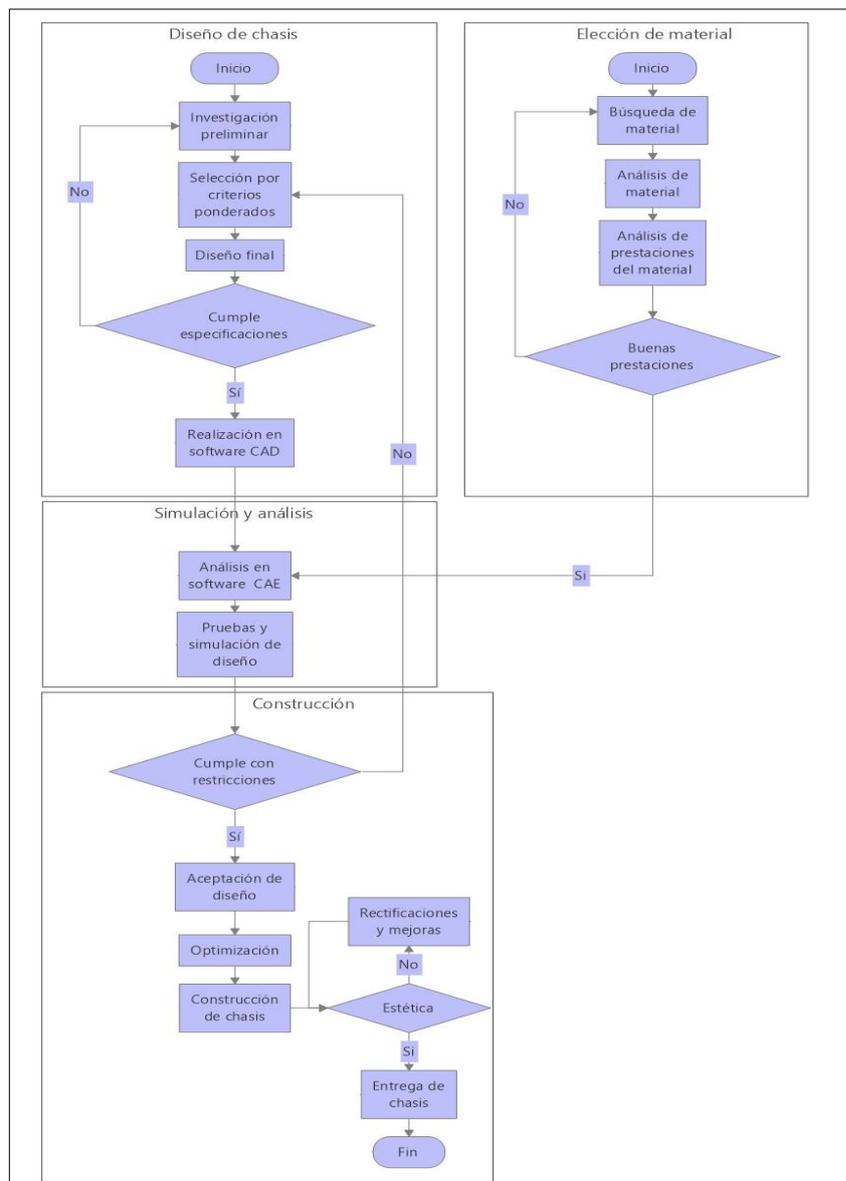
En este artículo se da a conocer las dimensiones que debe tener el chasis acorde al reglamento (Shell Eco-marathon, 2021 pág. 86).

- a) La altura máxima del prototipo debe ser inferior a 1000 mm.
- b) El ancho de vía del prototipo debe ser de al menos 500 mm, medidos entre los puntos medios donde los neumáticos de las ruedas exteriores tocan el suelo.
- c) La relación de altura dividida por el ancho de vía debe ser menor a 1,25.
- d) La distancia entre ejes del prototipo debe ser de al menos 1000 mm.
- e) La anchura máxima total del prototipo no debe superar los 1300 mm.
- f) La longitud total máxima no debe exceder los 3500 mm.
- g) El peso máximo del prototipo sin conductor es de 140 kg.
- h) Ninguna de las dimensiones anteriores debe lograrse mediante singularidades de diseño como pegado, apéndices o recortes.

## CAPITULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Diagrama de etapas del proyecto



**Gráfico 1-3:** Gráfico de metodología de diseño de chasis

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

## **3.2 Metodología de investigación a realizar**

### **3.2.1 *Método Inductivo***

Tiene la peculiaridad de iniciar con un estudio individual para obtener de esta forma conclusiones universales (Cegarra, 2012 pág. 42). Por medio de este método nos permite establecer que el diseño del chasis va a cumplir un papel fundamental al momento de construir el prototipo. Particularmente un apropiado esquema de su estructura debe estar distribuido correctamente con bajos niveles de deformaciones para proporcionar seguridad al piloto y un mejor centro de gravedad. Esto permite que el prototipo construido y culminado en su totalidad, obtenga las mejores prestaciones al momento de ponerlo en marcha, por lo que en términos generales ofrecerá una mejor autonomía, un menor consumo y una alta eficiencia energética.

### **3.2.2 *Método Analítico***

A través del siguiente método nos permite descomponer un determinado objeto de estudio en elementos individuales para realizar un análisis detallado (Navarro, 2014 pág. 12). Una vez obtenido el diseño del chasis desarrollado en el software CAD, entra en vigencia las pruebas de simulaciones para verificar su funcionalidad, por lo que al aplicar este método nos permite analizar los fenómenos físicos como las deformaciones, desplazamientos, tensiones, etc., que ocurren en los diferentes puntos de la estructura al momento de aplicar las cargas. Por medio de los estudios realizados permitirán desarrollar reestructuraciones para adecuadas optimizaciones, proporcionando el mejoramiento de la dinámica, aerodinámica y reducción de peso del prototipo monoplaza eléctrico (Cho, Byung-kwan, y otros. 2016 pág. 21).

### **3.2.3 *Método experimental***

Se trata de un método que requiere la utilización de laboratorios u otros centros de experimentación para poder comprobar y examinar los resultados obtenidos de un determinado estudio (Durand, 2011 pág. 8).

La mayoría de los esfuerzos se determina por medio de técnicas experimentales. Aunque se ha determinado el método del elemento finito, se establece que impide encontrar el esfuerzo máximo real.(Budynas & Nisbett , 2008 pág. 22).

Para poder determinar un prototipo de mayores prestaciones y un chasis que sea lo más liviano posible se debe experimentar con los distintos materiales de acuerdo con su densidad, a su resistencia y sus prestaciones al momento de realizar los diseños preliminares en software CAD para posteriormente realizar su simulación experimental en software CAE, lo que nos dará a conocer cuál es el diseño óptimo de acuerdo con las especificaciones requeridas.

### 3.3 Desarrollo del proyecto

#### 3.3.1 Cronograma (Planificación de actividades)

**Tabla 1-3:** Cronograma de actividades

<b>Nombre</b>	<b>Fecha de inicio</b>	<b>Fecha de fin</b>	<b>Duración (Días)</b>
<b>Inicio</b>	10/5/2021	10/5/2021	0
<b>Referencia bibliográfica</b>	10/5/2021	28/5/2021	15
<b>Toma de medidas de piloto promedio</b>	31/5/2021	4/6/2021	5
<b>Restricciones de diseño</b>	7/6/2021	11/6/2021	5
<b>Dimensiones y pesos de tren de propulsión</b>	14/6/2021	18/6/2021	5
<b>Creación de bocetos</b>	21/6/2021	25/6/2021	5
<b>Creación de diseños preliminares</b>	28/6/2021	2/7/2021	5
<b>Elección de diseño apropiado</b>	5/7/2021	9/7/2021	5
<b>Elección de materiales</b>	12/7/2021	16/7/2021	5
<b>Simulación estática de chasis</b>	19/7/2021	23/7/2021	5
<b>Pedido de material para la construcción de chasis</b>	26/7/2021	30/7/2021	5
<b>Construcción de chasis</b>	2/8/2021	13/8/2021	10
<b>Correcciones de construcción de chasis</b>	16/8/2021	20/8/2021	5
<b>Prueba y resultados de chasis</b>	23/8/2021	26/8/2021	4
<b>Presentación final</b>	27/8/2021	27/8/2021	1
<b>Fin</b>	30/8/2021	30/8/2021	0

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

### 3.3.2 Recursos y Materiales

#### 3.3.2.1 Presupuesto

- Costos Directos

Este tipo de costos tiene una relación estrecha con el producto que se esté ejecutando, por lo tanto, se refleja de manera directa e inmediata con el establecimiento del presupuesto para la elaboración y terminación de un proyecto (Perez, 2021 pág. 6). En este caso, por medio de ella facilita el gestionamiento de las actividades que se van a realizar ya sea en la adquisición de materiales, herramientas, equipos, entre otros.

**Tabla 2-3:** Costos directos estimados

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
1	Tubo cuadrado de aluminio de 1,25pulgX1,2mm	3	17,85 USD	53,55 USD
2	Hilo para soldar de la soldadura TIG (rollo)	1	50 USD	50 USD
3	Pernos 10mmX1.5 pulg	10	0,50 USD	5 USD
4	Aluminio compuesto 80X100mm	3	23 USD	69 USD
5	Disco de Corte	5	1,50 USD	7,50 USD
6	Disco Esmerilado	5	1,50 USD	7,50 USD
7	Sierra para Metal	5	1,50 USD	7,50 USD
8	Brocas metálicas	10	1,75 USD	17,50 USD
9	Brochas	10	1 USD	10 USD
10	Guantes de protección	20	0,50 USD	10 USD
11	Espátulas	5	1,75 USD	8,75 USD
12	Mano de Obra	2	403 USD	806 USD
			<b>TOTAL</b>	<b>1052,3 USD</b>

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

- Costos Indirectos

Estos costos son aquellos que se relacionan de forma tangencial con el proyecto que se esté realizando debido a que no se incorpora en su totalidad en el producto final (Perez, 2021 pág. 9). En la construcción del chasis no son asignados en los procedimientos de producción por lo que resulta difícil poder gestionar y cuantificar en el proyecto final, pero si forma parte del proceso de elaboración, aunque en menor medida.

**Tabla 3-3:** Costos indirectos estimados

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor	Valor
			Unitario (\$)	Total (\$)
1	Alquiler de Máquina de Soldar tipo TIG por hora	24	12,50 USD	300 USD
2	Alimentación	30	2 USD	60 USD
3	Transporte	-----	-----	51 USD
4	Impresiones	-----	-----	100 USD
			<b>TOTAL</b>	<b>511 USD</b>

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

- Costos Totales

Se establece como la sumatoria de los costos directos e indirectos.

**Tabla 4-3:** Costos totales estimados

Descripción	Valor (\$)
<b>Costos Directos</b>	1052,3 USD
<b>Costos Indirectos</b>	511 USD
<b>Total</b>	<b>1563,3 USD</b>

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

### 3.3.2.2 Talento Humano

Tomando en cuenta las actividades que se han realizado, se describe lo siguiente:

**Tabla 5-3:** Tabla de descripciones de actividades

	<b>Descripción</b>
<b>Estudiante 1</b> Bryan Alexander Moreta Pacha	<p>Se ha enfocado en los principios de diseño, tomando en cuenta diversos criterios como: condiciones de carga, dimensionamiento (altura, ancho, largo) del piloto, restricciones del prototipo, elementos del tren de propulsión (motor eléctrico, barrería, controladores, etc.).</p> <p>Acorde a estos requerimientos se tiene la fundamentación que se debe tomar en cuenta al momento de diseñar el chasis.</p> <p>En la parte constructiva se enfoca en los cortes de perfil del material acorde a las medias establecidas y también en la soldadura.</p>
<b>Estudiante 2</b> Juan Marcelo Patache Avilés	<p>Encargado del diseño y la simulación del prototipo una vez establecido los requerimientos necesarios. Se ha basado en diseños preliminares con el objetivo de realizar mejoramientos y estructuraciones para el modelo final. Por otro lado, aporta en la construcción, específicamente para doblar los tubos ya que el chasis adquiere ciertas curvas que mejoren la aerodinámica y de igual manera al momento de enfibrar la estructura.</p>
<b>Director de Tesis</b> Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos	<p>Se ha encargado de orientarnos en la revisión bibliográfica, es decir los parámetros necesarios que debemos considerar para el diseño del chasis. Por otra parte, también se enfoca en la dirección técnica, es decir, los mejoramientos y optimizaciones que debemos realizar para una adecuada estructura.</p>
<b>Miembro de Tesis</b> Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla	<p>Se ha encargado de la supervisión y el análisis de diseño del chasis en el software CAD y CAE. Esta temática es de vital importancia ya que nos ayuda a plasmar lo que va a ocurrir realmente en nuestro chasis. Entre los parámetros recomendados para la simulación es que debe ser sometido bajo</p>

---

critérios de cargas fluctuantes, la correcta ubicación de las cargas, las características del material que se va a utilizar, el tamaño de malla, entre otros. Se trata de un procedimiento que requiere un gasto computacional, pero es indispensable para disminuir el número de fallas y costos al momento de construirlo.

---

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

### 3.3.2.3 Equipos y Herramientas

Los equipos y materiales forman una parte importante en la manufactura del chasis, por lo tanto, en este apartado se dará a conocer de manera detallada cada una de ellas. Para conocer detalladamente el equipamiento implementado, se lo ha dividido en 3 secciones que son: equipos, materiales y herramientas.

- Equipos

Los equipos nos ofrecen una mayor facilidad al momento de manufacturar una estructura determinada, es decir, existen procedimientos que el hombre no puede ejecutarlo o realizarlo fácilmente. Acorde a estas disposiciones, nos permite tener mejores resultados con el menor tiempo de elaboración. Para el desarrollo del chasis se requieren de los siguientes equipos:

**Tabla 6-3:** Equipos utilizados en la construcción del chasis

EQUIPOS	ILUSTRACIÓN
<b>Soldadora TIG</b>	

---

**Dobladora**  
**Tubos**



---

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

- **Herramientas**

Se trata de un conjunto de instrumentos con la finalidad de que los procedimientos de trabajo sean más sencillos al momento de ser elaborados, con una adecuada implementación de la técnica y la fuerza necesaria. Es por ello que las herramientas facilitan el procedimiento de manufactura del chasis al momento de construirlo. A continuación, se da a conocer las herramientas necesarias para su respectivo desarrollo.

**Tabla 7-3:** Herramientas utilizadas para la construcción del chasis

<b>HERRAMIENTAS</b>	<b>ILUSTRACIÓN</b>
<b>Amoladora</b>	
<b>Martillo</b>	

---

**Flexómetro**



---

**Sierra**



---

**Desarmadores**



---

**Taladro**



---

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

- **Materiales**

Los materiales son una agrupación de elementos que pueden ser tratados y transformados para poder desarrollar un solo conjunto que puede ser de distinto tipo. En la construcción del chasis se ha implementado materiales que previamente han sido analizados para una adecuada elaboración estructural.

**Tabla 8-3:** Materiales utilizados para la construcción del chasis

<b>MATERIALES</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>	<b>ILUSTRACIÓN</b>
<b>Tubo Estructural Perfil Cuadrado</b>	Aluminio Natural con norma ISO	

---

**Pernos** y **Acero**  
**Tuercas**



---

**Planchas** **Aluminio Compuesto**



---

**Electrodos** **Rollo de Soldadura TIG**  
**(Aluminio)**



---

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

### 3.3.3 *Dimensionamiento del Chasis acorde al Piloto y otros Componentes*

#### 3.3.3.1 *Cálculo del Peso y Altura del Piloto*

Para realizar el diseño que va a tener el chasis también se debe considerar la altura y el peso del piloto, es por ello que se ha partido de una ponderación promedio de los estudiantes en la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH.

Primeramente, se ha partido de un método de selección, en este caso se enfoca en la muestra de probabilidad debido a que todos los elementos de la población tienen la posibilidad de formar parte de ella (Berenson, y otros, 1996 pág. 73). Posteriormente se debe hacer otro tipo de selección para determinar las condiciones especiales que debe tener un piloto, pero en este caso se debe considerar el dimensionamiento en cuanto al diseño del chasis.

Para establecer una altura y peso confiable, debemos basarnos en estudios estadísticos para que los datos sean los más exactos. En este caso se va a determinar por medio del cálculo del tamaño de la muestra, por lo tanto, acorde a los registros se establece que hay 692 estudiantes y se debe aplicar la siguiente fórmula (Torres, y otros, 2006 pág. 48):

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

n= Tamaño de la muestra

N= Tamaño de la población

$Z_{\alpha}^2$  = Nivel de confianza

p= probabilidad de éxito, o proporción esperada

q= (1- p) probabilidad de fracaso

d= Porcentaje de error

Para conocer los datos que intervienen en el cálculo se ha partido de un análisis previo, donde se muestran tablas referenciales para los distintos casos de estudio. Se inicia con el coeficiente de confianza que se establece mediante la siguiente tabla:

**Tabla 9-3:** Coeficiente de confianza asociado al Nivel de Confianza

Nivel de Confianza	Coeficiente de Confianza
90%	1,64
95%	1,96
95,50%	2,00
99%	2,58
99,70%	3

Fuente: (Vivanco, 2005)

El porcentaje de error se encuentra relacionado con el coeficiente de confianza, es por ello que se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 10-3:** Coeficiente de Confianza asociado al error

<b>Error <math>\alpha</math></b>	<b>Coeficiente de Confianza</b>
<b>0,10%</b>	1,64
<b>0,05%</b>	1,96
<b>0,045%</b>	2,00
<b>0,01%</b>	2,58
<b>0,00%</b>	3

Fuente: (Vivanco, 2005)

Mediante las tablas mostradas nos permiten conocer el coeficiente de confianza y el porcentaje de error para el análisis de estudio. Cabe mencionar que el porcentaje del nivel de confianza puede oscilar entre el 90% y 99,7% para calcular un tamaño de la muestra confiable, de igual manera para la probabilidad de éxito (p) se ha estimado un valor de 0,5 acorde a las recomendaciones de los estudios previamente analizados, finalmente el tamaño de la población es de 692 estudiantes.

Desarrollo:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

$$n = \frac{692 * 1,64^2 * 0,5 * (1 - 0,5)}{0,1^2 * (692 - 1) + 1,64^2 * 0,5 * (1 - 0,5)}$$

$$n = 61,3658 \approx 62$$

Acorde al cálculo realizado se puede apreciar un tamaño de la muestra de 61,3658 pero se ha tomado en cuenta su inmediato superior, el 62, por lo tanto, nos permite determinar la altura y el peso por medio de este valor referencial de la muestra con un alto rango de confiabilidad, ver Anexo A.

Con esto se establece que el diseño se debe realizar para una persona con una altura aproximada de 1,68m y una masa de 71,85kg. Esta altura nos permite delimitar el largo que va a tener nuestro chasis, tomando en cuenta también que no se debe superar el límite acorde a lo establecido en la reglamentación. Por otra parte, el peso nos ayudará a estimar las cargas que se debe aplicar al prototipo y realizar un estudio analítico de resistividad.

### 3.3.3.2 Posicionamiento del piloto para el diseño del Chasis

Una vez realizado los cálculos se establece que el piloto debe tener una altura de 1,68m, por lo tanto, debe ser ubicado en una posición acostada para poder realizar la medición respectiva.

**Tabla 11-3:** Medidas realizadas para el Diseño del Chasis

Descripción	Mediciones
<p>La cabeza con su respectivo casco debe estar apoyada con una ligera inclinación del cuello, esto se lo realiza para determinar la altura máxima que va a tener el prototipo.</p>	
<p>Acorde a la reglamentación, el mamparo debe estar a 5cm del casco del piloto.</p>	
<p>La posición de las manos debe estar ubicada de tal forma que el piloto no pierda la visibilidad al momento de conducir.</p>	

<p>El largo total se lo realiza desde el apoyo de la cabeza hasta la punta de los pies.</p>	
<p>La posición de las piernas también es determinante ya que debe tener una ligera inclinación y una apertura no muy pronunciada entre ellas para que sea localizada la dirección.</p>	
<p>El ancho se mide tomando como base la barra antivuelco ya que este se debe localizar más allá de los hombros.</p>	

Realizada por: Moreta, B., Patache, J. 2021

Una vez establecido la posición del piloto se ha determinado las mediciones que se muestran a continuación:

**Tabla 12-3:** Medidas tomadas acorde a la posición del piloto

Posición	Medidas (cm)
Alto (Hasta el borde del casco)	63
Alto (Adicionando los 5cm para el mamparo)	68
Largo	142
Ancho	60

Realizada por: Moreta, B., Patache, J. 2021

Estas son las medidas que se han realizado acorde la posición del piloto, por lo tanto, son fundamentales para establecer el dimensionamiento que va a tener el chasis. Estas mediciones también sirven para determinar un cierto espacio y localizar algunos elementos que forman parte del prototipo ya sea del tren de propulsión, la dirección, los frenos, entre otros.

### *3.3.3.3 Dimensiones y pesos presentes del Tren Motriz Eléctrico*

En este apartado se ha hecho énfasis en el tren motriz eléctrico, para lo cual nos basaremos en el análisis y estudio de una tesis realizada previamente en la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH.

Dentro de sus planes de estudio surge la necesidad de implementar un tren de propulsión eléctrico con el propósito de disminuir el consumo de energía de la batería ion litio y mejorar la autonomía del prototipo, así mismo desarrollar un esquema altamente eficiente que permita el ahorro de energía (Morocho, y otros, 2020 pág. 35).

- Componentes del Tren Motriz

Los componentes principales que forman parte del tren motriz eléctrico al momento de ser implementados en el prototipo son los siguientes:

- Motor eléctrico

Los motores eléctricos son elementos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica, esto lo realizan con el propósito de dar el funcionamiento a un determinado objeto (Gómez, 2020 pág. 61).

Para determinar el motor adecuado, se lo ha realizado por medio de un análisis de 3 motores en el cual, se ha tomado como referencia diversos criterios como la potencia, la eficiencia, la velocidad, el peso y el precio para establecer cuál es el mejor (Morocho, y otros, 2020 pág. 36). Acorde a esto y por medio del método analítico se ha seleccionado el motor que se muestra a continuación ya que cumple con los requerimientos que se necesitan.



**Figura 1-3:** Brushed Speed motor  
WPHMOTO 48v 1000w

**Fuente:** (Amazon, 2017)

Las especificaciones del motor son las siguientes:

**Tabla 13-3:** Especificaciones del Motor Eléctrico

Descripción	Valor
<b>Peso</b>	5,45 kg
<b>Velocidad Nominal</b>	3000-3360 RPM
<b>Tension Nominal</b>	48V DC
<b>Corriente Nominal</b>	26,7 A
<b>Corriente sin Carga</b>	≤ 2,8 A
<b>Eficiencia Máxima a 48V</b>	80%
<b>Potencia de Salida</b>	1000W – 1,4HP

**Fuente:** (Morocho, y otros, 2020).

De este modo se establece que el motor tiene un peso de 5,45 kg y con las dimensiones específicas que se muestran a continuación:



**Figura 2-3:** Dimensiones del motor

**Fuente:** (Morocho, y otros, 2020).

Por medio de las dimensiones y el peso del motor, se establece los parámetros que se va a necesitar al momento de diseñar el prototipo por medio del software CAD, cabe mencionar que deben ocupar un lugar ideal para que pueda desarrollar su funcionamiento de manera efectiva.

- Batería

La batería eléctrica se trata de un elemento constituido por celdas electroquímicas el cual tiene la funcionalidad de convertir la energía química en energía eléctrica, de este modo alimenta a los distintos componentes eléctricos de un sistema acorde a su peso y tamaño. Cabe mencionar que también permite el almacenamiento de electricidad para ser consumida posteriormente (Bridgewater, 2009 pág. 23).

Para la selección de la batería se ha optado por el análisis de 3, cada una con sus funcionalidades particulares. Los criterios que se han evaluado para elegir el mejor han sido el peso, el voltaje, la descarga constante y el precio, por lo tanto, el que cumple con estas características ha sido la batería Turnigy Graphene Panther (6000mAh, 6S 75C Lipo con XT90) (Morochó, y otros, 2020 pág. 38).



**Figura 3-3:** Batería Turnigy Graphene Panther

**Fuente:** (Amazon, 2018)

Las especificaciones de la batería se muestran a continuación:

**Tabla 14-3:** Especificaciones de la Batería Polímero de Litio

Descripción	Valor
<b>Peso</b>	1,140kg
<b>Composición de las celdas de la batería</b>	Polímero de Litio
<b>Voltaje</b>	22,2 voltios
<b>Descarga Constante</b>	75C
<b>Descarga Máxima (3s)</b>	150C
<b>Capacidad</b>	6000 mAh
<b>Recuento de celdas</b>	6

Fuente: (Morocho, y otros, 2020).

Las dimensiones que tiene la batería son las siguientes:



**Figura 4-3:** Dimensiones de la batería Turnigy Graphene Panther

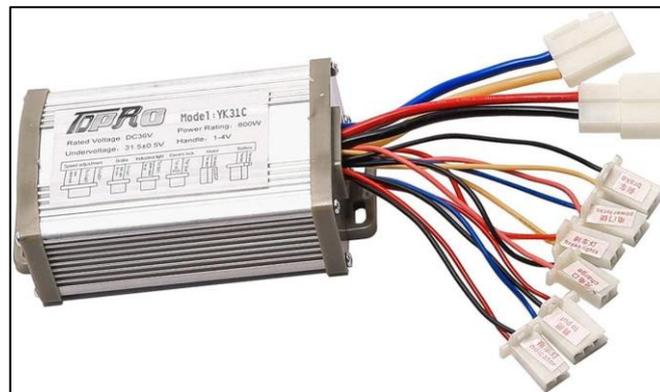
**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

Acorde a esto se puede establecer que el peso de la batería es de 1,140kg lo cual se considera liviano, cabe mencionar que en la competencia la batería debe tener un voltaje que oscile entre los 48-60v. El voltaje de la batería es de 22,2 V por lo que deben ser implementadas 2 de ellas y conectadas en serie para tener un voltaje de 44,4 V. Es por ello que se debe hacer énfasis en las dimensiones y el peso de las baterías, en este caso de dos, por lo tanto, se debe hacer el análisis con un peso de 75,75N.

- Controlador

Los controladores son equipos que son implementados en sistemas de accionamiento electromecánicos, con el propósito de controlar la velocidad que debe alcanzar un motor en su acción de giro. Para poder variar la velocidad del motor se debe modificar la frecuencia y el voltaje del mismo (Álvarez, 2000 pág. 49).

Para seleccionar el controlador ideal se ha hecho el análisis de 3 tipos de ellos, en el cual han tomado en cuenta los siguientes criterios: peso, tensión nominal, eficiencia, precio, de esta forma se establece que el controlador Driver Acelerador TDPRO YK31C es el que cumple con las expectativas.



**Figura 5-3:** Driver Acelerador TDPRO YK31C

Fuente: (Amazon, 2017)

Las especificaciones del controlador se muestran a continuación

**Tabla 15-3:** Especificaciones Driver Acelerador TDPRO YK31C

Descripcion	Valor
Tensión Nominal	24V CC
Motor de Partido	24V 500W
Protección bajo voltaje	20±0,5V
Eficacia de conversión	95%
Regulador de velocidad (acelerador)	1-4V

Fuente: (Morocho, y otros, 2020).

Se trata de un dispositivo relativamente pequeño por lo que no influye en gran proporción con el peso del chasis, pero su funcionalidad en la gestión electrónica es de vital importancia ya que interactúa con el motor eléctrico al momento de poner en marcha el prototipo.

La batería, el motor eléctrico y el controlador son los principales componentes que forman parte del tren de propulsión eléctrica por lo que es muy importante conocer las prestaciones que ofrece para dimensionar una distribución adecuada. Para la selección del motor eléctrico hubo ciertos criterios a tomar en cuenta ya que uno ofrecía mejores prestaciones, pero su funcionalidad con el controlador no era el adecuado, es por ello que se ha seleccionado otro, aunque no variaba mucho sus prestaciones, este se caracterizaba por tener un peso reducido, una alta funcionalidad y la facilidad de instalación.

Por otra parte, la batería tiene una eficiencia del 95% lo cual permite que sea eficaz para las exigencias del prototipo. Acorde a esto para especificar el dimensionamiento se establece lo siguiente:

**Tabla 16-3:** Dimensionamiento del Motor y la Batería

<b>Elemento</b>	<b>Dimensionamiento</b>		<b>Unidades</b>
<b>Motor Eléctrico</b>	Largo	17	cm
	Diámetro	15,2	cm
	Peso	5,45	kg
<b>Batería</b>	Largo	21,0058	cm
	Altura	12,192	cm
	Ancho	7,2898	cm
	Peso	1,14	kg

**Realizada por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

De esta forma se conoce las dimensiones en el cual se va a basar nuestro diseño del chasis, específicamente en la parte posterior del prototipo donde se localiza el sistema de propulsión. El análisis de este sistema se lo ha realizado para una pista de 0° y 2° de inclinación, aplicando 2 estrategias y con 4 ensayos. Para establecer la eficiencia global, se ha realizado el promedio de los 4 ensayos, arrojando un resultado del 90,87% el cual se considera ideal (Morochó, y otros, 2020 pág. 47). Estos parámetros son de vital importancia para el diseño y construcción del chasis.

### 3.3.3.4 Distribución de las Masas del Cuerpo Humano

Otro punto fundamental para realizar el análisis del chasis es la distribución de la masa del cuerpo humano, tomando en cuenta que se debe distribuir a lo largo de la estructura. Para poder realizar estos parámetros se ha tomado como referencia un estudio, que permite calcular el peso de cada parte del cuerpo humano, de igual manera obtener el centro de gravedad por medio de métodos directos (Chandler, y otros, 1975 pág. 78). Se trata de una investigación sustentable que ofrece resultados muy precisos, aunque también existen otros tipos de métodos como las simplificaciones geométricas, cálculos matemáticos del cuerpo humano, inmersión en tanques de agua, entre otros (Izquierdo, 2008 pág. 42).

En la siguiente tabla se puede obtener los valores referenciales para poder determinar el peso de cada parte del cuerpo humano ya sea para hombres o mujeres y se encuentran expresados en tanto por uno, se debe tomar en cuenta el peso total de la persona para el cálculo. Por otra parte, se muestran los valores con el cual se puede obtener el centro de gravedad, aquí se debe tomar en cuenta que se necesita la distancia de cada segmento.

**Tabla 17-3:** Porcentaje de Distribución del Centro de gravedad

<b>Parte del Cuerpo Humano</b>	<b>%Distancia de Centro de Gravedad</b>		<b>% Peso Hombre</b>	<b>%Peso Mujeres</b>
	<b>(Hombres)</b>	<b>(Mujeres)</b>		
<b>Cabeza</b>	0,5976	0,5894	0,0694	0,0668
<b>Tronco</b>	0,4486	0,4151	0,4346	0,4257
<b>Brazo</b>	0,5772	0,5754	0,0271	0,0255
<b>Antebrazo</b>	0,4574	0,4559	0,0162	0,0138
<b>Mano</b>	0,7900	0,7474	0,0061	0,0560
<b>Muslo</b>	0,4096	0,3612	0,1416	0,1478
<b>Pierna</b>	0,4459	0,4416	0,0433	0,0481
<b>Pie</b>	0,4415	0,4014	0,0137	0,0129

Fuente: (Izquierdo, 2008)

Por medio de esta tabla facilita el cálculo de cada segmento del cuerpo humano, considerándose altamente confiable para nuestro diseño. Una vez analizado estos valores se procede a calcular el peso de todas las partes, todo esto acorde al valor que previamente ya se ha calculado, en este caso para los 71,85 kg.

**Tabla 18-3:** Peso de cada parte del Cuerpo Humano y Total en kg y N

<b>Parte del Cuerpo Humano</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso Total de cada parte (kg)</b>	<b>Peso (N)</b>
<b>Cabeza</b>	4,986	1	4,986	48,91266
<b>Tronco</b>	31,226	1	31,226	306,32706
<b>Brazo</b>	1,947	2	3,894	38,20014
<b>Antebrazo</b>	1,164	2	2,328	22,83768
<b>Mano</b>	0,438	2	0,876	8,59356
<b>Muslo</b>	10,174	2	20,348	199,61388
<b>Pierna</b>	3,111	2	6,222	61,03782
<b>Pie</b>	0,984	2	1,968	19,30608
<b>TOTAL</b>			71,848	704,829

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

Una vez realizado el cálculo se puede observar el peso en kilogramos y en Newton de cada segmento. En este caso nos ha dado un peso total de 704,829N

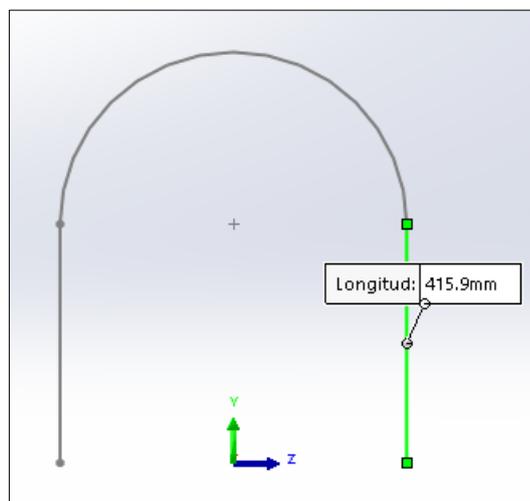
### **3.3.4 Diseño mediante Software CAD**

Para este punto se debe de tomar en cuenta todas las restricciones que se presentaron en la normativa aplicable que se encuentra dentro del marco legal para poder realizar el chasis de forma correcta, además de los requerimientos y el confort del piloto, así como el tren motriz que se desea implementar. De esta forma se establece la forma que va adquirir el chasis.

### 3.3.4.1 Altura de los Laterales

Dentro de la normativa del marco legal, uno de los laterales se enfoca en la barra antivuelco, que servirá como seguridad para el conductor durante el modo de operación del prototipo.

Como se puede observar en la Figura 6-3, se identifica una longitud de 415.9 mm de altura, que se lo ha realizado de tal forma que no sobrepase la altura máxima requerida por reglamentación, además tomando en cuenta el dimensionamiento del piloto acorde a su posicionamiento cuando se encuentre ubicado en una posición normal.

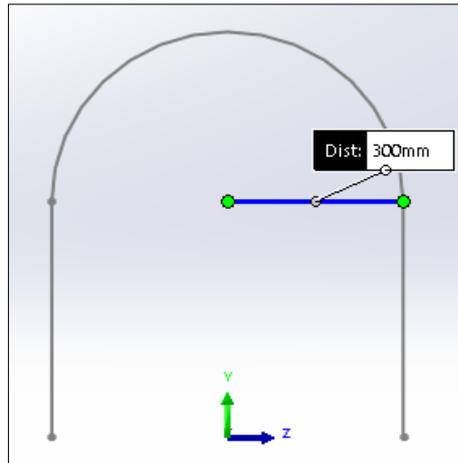


**Figura 6-3:** Longitud de laterales de barra antivuelco

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

### 3.3.4.2 Radio de la Barra Antivuelco

Al revisar la normativa nos indica que esta barra antivuelco debe poseer un arco que debe sobrepasar por 50 mm el borde del casco del piloto, en este caso tenemos que este radio es de 300 mm y los laterales de esta barra tienen una longitud de 415.9 mm que nos da un total de 715.9 mm que satisface la norma ya que al dimensionar los requerimientos del piloto tenemos que la altura máxima es de 680 mm, incluidos los 50 mm que nos especifica la normativa.

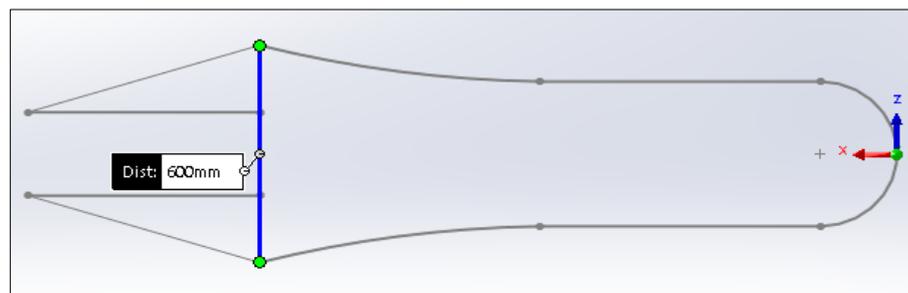


**Figura 7-3:** Radio de arco de barra antivuelco

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

### 3.3.4.3 Anchura Máxima

En el diseño propuesto en la Figura 8-3, adquiere esta forma debido a que se requiere optimizaciones en cuanto al peso, además tomando en cuenta que el modelo no sea rudimentario. Se obtiene una anchura máxima de 600mm, el cual cumple satisfactoriamente según el dimensionamiento establecido acorde al piloto (600mm) y la normativa aplicable (1300mm), precautelando la comodidad y el confort para el piloto.



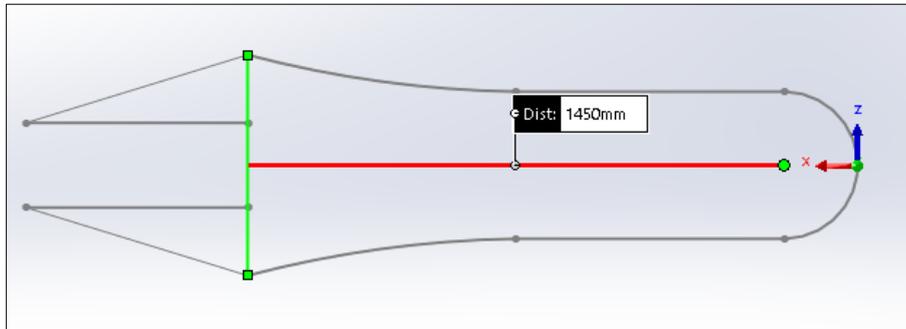
**Figura 8-3:** Forma de piso para el chasis

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

### 3.3.4.4 Longitud Parte Delantera del Chasis

En la Figura 9-3 se observa una longitud total de 1450mm en la parte delantera del chasis, cumpliendo satisfactoriamente acorde a lo establecido por el dimensionamiento según el piloto

(1420mm). Esta tipología adquirida nos ayuda a mejorar los espacios para que el prototipo tenga un menor peso y se adapte de manera adecuada al piloto.

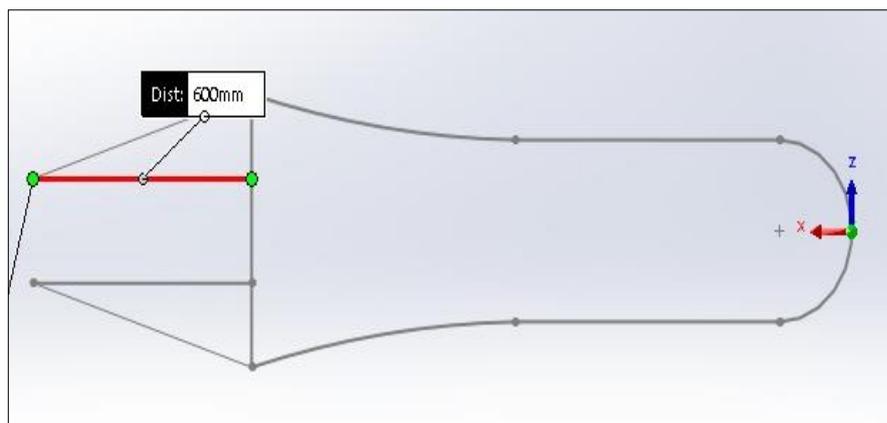


**Figura 9-3:** Forma de piso de chasis y medición de espacio para piloto

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

### 3.3.4.5 Longitud Parte Posterior del Chasis

En la Figura 10-3 se puede observar una longitud de 600mm en la parte posterior del chasis, cumpliendo satisfactoriamente con respecto al dimensionamiento según el tren motriz eléctrico. Esta sección ha sido sobredimensionada con el propósito de realizar las adecuaciones apropiadas al momento de implementar los elementos del tren de propulsión eléctrico, precautelando la normativa vigente, es decir, al realizar la sumatoria de la parte delantera y posterior del chasis se obtiene una longitud total de 2050mm, el cual se encuentra dentro de los parámetros de la normativa aplicable (3500mm).



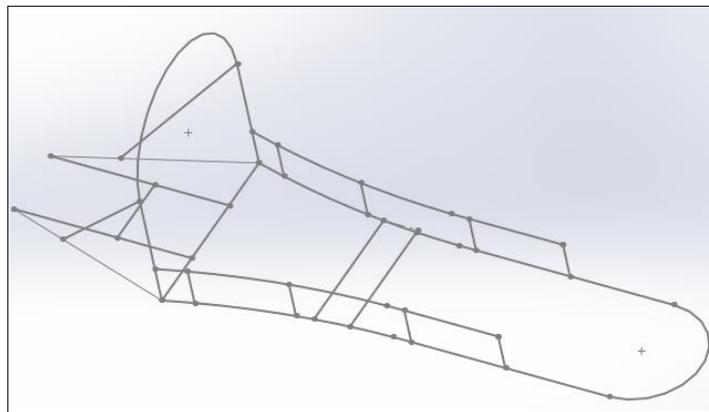
**Figura 10-3:** Longitud parte posterior del chasis

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

### 3.3.4.6 Forma Final del Bastidor

En la Figura 11-3 se puede apreciar la forma final del Bastidor, el cual posee apoyos delanteros y traseros que ayudarán al chasis en el momento que sufra un esfuerzo por fatiga. Esta particularidad nos facilitará para que no haya algún tipo de ruptura en cualquier elemento y posterior a esto se produzca algún fallo en el chasis.

Otra acotación a la forma escogida es en la parte delantera, debido a que los apoyos se los realizó de manera que no afecten a la visibilidad del piloto y sean los más seguros al momento de la conducción. Tiene un radio de curvatura en la parte frontal, el cual proporciona un espacio adicional para que sea ubicado la pedalera del sistema de freno.



**Figura 11-3:** Forma completa de chasis

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

### 3.3.5 Selección del Material por Criterios Ponderados

#### 3.3.5.1 Selección del Perfil

Para la realización del bastidor se ha seleccionado dos opciones que son las más utilizadas y fáciles de manufacturar elementos estructurales. Las opciones son las siguientes:

- Tubo redondo
- Tubo cuadrado

Para la selección de la forma de tubo más recomendada se tiene que tomar en cuenta los siguientes parámetros: proceso de manufactura, resistencia y acondicionamiento a futuros elementos externos.

Se ha elegido como prioridad el proceso de manufactura, particularmente porque que se necesita que el perfil elegido pueda adaptarse a la forma de la estructura diseñada y en lo posterior se pueda tener las condiciones necesarias para poder agregar elementos externos al chasis.

Acorde a esto, se ha basado en una matriz de decisión para poder seleccionar el que nos ofrece mejores prestaciones, tomando como base los siguientes parámetros:

- Excelente =10
- Bueno= 8
- Regular= 5
- Insuficiente= 1

Cabe mencionar que en todos los seleccionamientos por criterios ponderados se tomará el mismo principio para la escala de calificación.

En la siguiente tabla se realiza la elección mediante los criterios anteriormente mencionados, tomando como referencia la prioridad de cada uno de ellos y su contribución al desarrollo del chasis.

**Tabla 19-3:** Selección de perfil para proceso de manufactura

Ítem	Porcentaje de pertinencia	Perfil cuadrado	Perfil redondo
<b>Proceso de manufactura</b>	40%	8	8
<b>Propiedades mecánicas</b>	40%	10	8
<b>Acondicionamiento</b>	20%	10	5
<b>Total</b>	100% (10 Puntos)	9.2	7.4

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

Como se puede evidenciar acorde a los parámetros establecidos, el de mejores prestaciones es el perfil cuadrado ya que nos brinda una mayor facilidad en el proceso de manufactura y tiene una mejor adaptación para la implementación de nuevos elementos en el chasis.

### 3.3.5.2 Selección de tamaño y espesor del tubo

Para elegir el tamaño y espesor del tubo se ha realizado una preselección, tomando en cuenta cuales están presentes dentro del mercado ecuatoriano, es por ello que se ha escogido tres perfiles que son los más adecuados, haciendo énfasis en las propiedades de resistencia, la disponibilidad en el mercado y el peso.

**Tabla 20-3:** Perfiles normalizados presentes en el mercado

REFERENCIA	Lado B		Espesor(E)	Peso
	Milímetros	Pulgadas	mm	Kg/m
1014	44.40	1 3/4	1.90	0.875
1015	50.80	2	2.00	1.058
1017	38.10	1 1/2	2.40	0.929
**1244	22.20	7/8	1.20	0.298
*1285	25.40	1	1.60	0.488
1286	25.40	1	1.80	0.461
1373	31.73	1 1/4	1.80	0.584
1386	38.10	1 1/2	1.80	0.708
**1466	22.20	7/8	1.00	0.231
1714	25.40	1	1.30	0.340
1852	50.80	2	1.40	0.750
1854	31.75	1 1/4	1.10	0.366
*1855	25.40	1	1.30	0.412
2036	25.90	1.02	1.10	0.29
3073	63.50	2 1/2	2.50	1.653

Fuente: (CEDAL, 2019)

La primera selección se realizó mediante la disponibilidad en el mercado ecuatoriano, por lo que los tamaños de aristas más adecuados son los siguientes:

- De arista de 1 ½ pulgadas por 1.8 mm de espesor
- De arista de 1 ¼ pulgadas por 1.1 mm de espesor
- De arista de 7/8 de pulgada por 1 mm de espesor
- 

Después se realizó una selección por criterios ponderados, tomando en cuenta los lineamientos de adquisición, propiedades de resistencia, peso y costo.

**Tabla 21-3:** Selección por criterios ponderados del tamaño de arista y espesor del tubo

Ítem	Porcentaje de pertinencia	1 ½ x 1.8	1 ¼ x 1.10	7/8 x 1
Costo	15%	3	5	10
Adquisición	15%	5	10	3
Propiedades de resistencia	40%	10	5	3
Peso	30%	3	8	10
<b>Total</b>	100% (10 Puntos)	6.1	6,65	6,15

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

Al terminar esta selección se obtiene que la mejor opción es el tubo cuadrado de arista 1 ¼ de pulgadas por 1.10 mm de espesor

### 3.3.5.3 Selección del Material

Para poder determinar el material a utilizarse, se ha tomado en cuenta las restricciones como son la existencia en el mercado nacional, los diferentes perfiles que poseen los materiales y además la facilidad de poder realizar el prototipo con este material.

Es por ello que con respecto a la selección del material se debe tomar en cuenta criterios como la densidad, el costo y las características mecánicas que poseen. Acorde a esto se han considerado 3 materiales que son los siguientes:

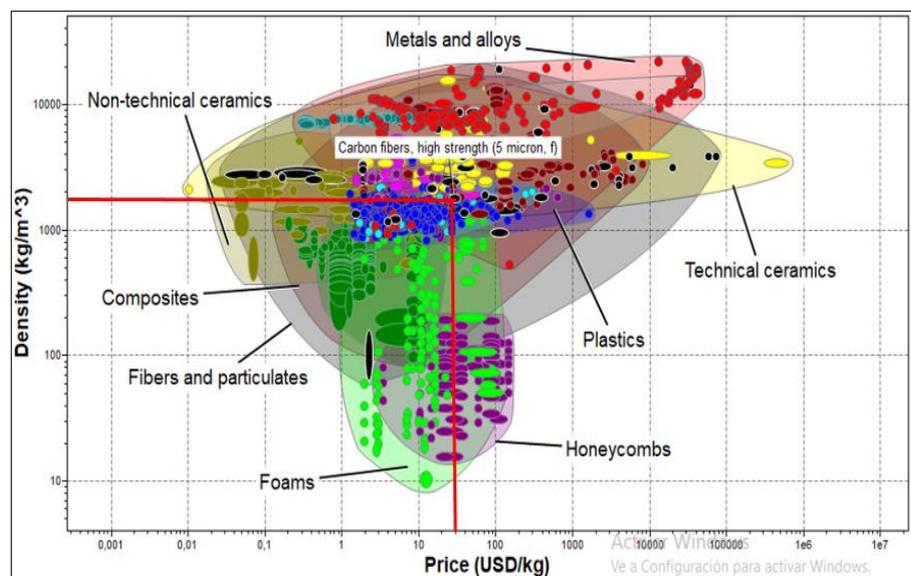
- Fibra de Carbono
- Acero de Bajo Carbono
- Aluminio

Una vez establecido los materiales que se van a analizar, es muy indispensable conocer las propiedades mecánicas y otras características importantes que cada uno posee para seleccionar la mejor alternativa.

En este caso, por medio de la utilización de un software confiable en cuanto al estudio de los materiales, facilitarán los datos que se requieren para el estudio de este.

- **Propiedades de la Fibra de Carbono**

A través del software, ha proporcionado los valores necesarios que se requieren para el respectivo análisis, como se puede observar en la Gráfico 2-3 donde nos muestra la relación entre la densidad y el precio del material.



**Gráfico 2-3:** Densidad vs precio de la fibra de carbono

Fuente: (CES EduPack, 2019)

Cabe mencionar que se ha utilizado el mismo principio para la obtención de otras propiedades como el límite elástico y la resistencia a la tracción, obteniendo los siguientes resultados:

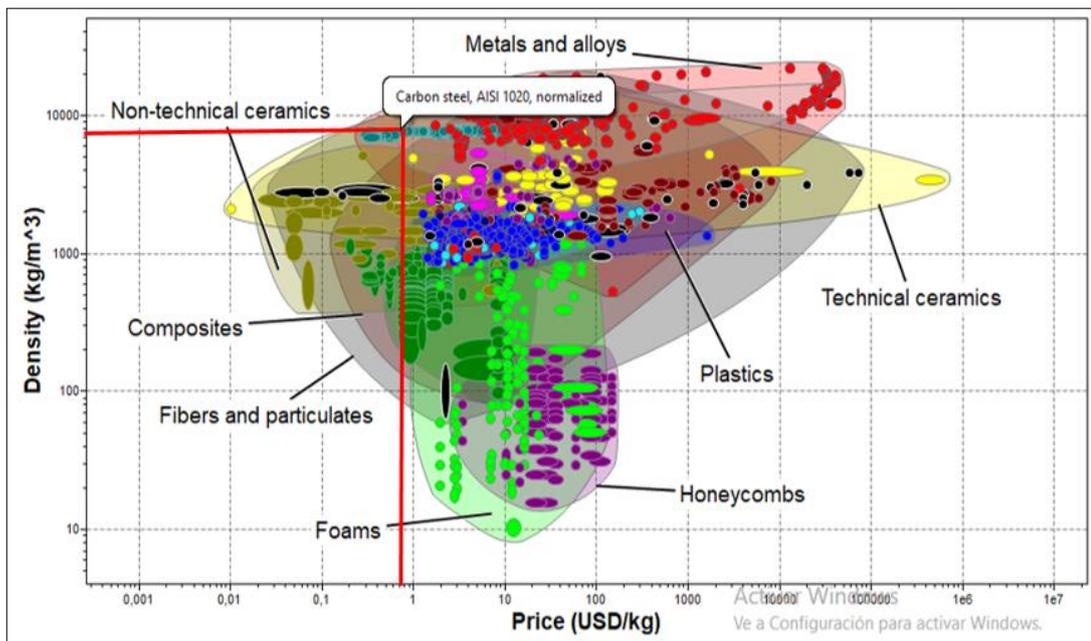
**Tabla 22-3:** Propiedades Mecánicas de la Fibra de Carbono

Material	Densidad	Costo	Límite de elasticidad	Límite de Tracción
Fibra de carbono	1820 kg/m <sup>3</sup>	29.35 USD/kg	3875 Mpa	4600 Mpa

Fuente: (CES EduPack, 2019)

- **Propiedades del Acero de Bajo Carbono**

En cuanto al acero de bajo carbono, se muestra a través de la Gráfico 3-3 la relación que existe entre la densidad y el precio del material.



**Gráfico 3-3:** Densidad vs Precio del Acero de Bajo Carbono

Fuente: (CES EduPack, 2019)

Por otra parte, también se ha obtenido las propiedades mecánicas que se requieren para su análisis, obteniendo los siguientes valores:

**Tabla 23-3:** Propiedades Mecánicas del Acero de Bajo Carbono

Material	Densidad	Costo	Límite de elasticidad	Límite de Tracción
Acero de bajo carbono	7850 kg/m <sup>3</sup>	0.765 USD/kg	330 Mpa	443 Mpa

Fuente: (CES EduPack, 2019)

- **Propiedades del Aluminio**

Para poder establecer las propiedades que ofrece el aluminio, se manejará 3 posibilidades para poder seleccionar el de mejores condiciones, siendo estos los siguientes:

- Aluminio 6063 T5
- Aluminio 6063 T6
- Aluminio 6063 T5 recubierto de fibra de carbono

Dentro de las 3 posibilidades que se manejan, se ha determinado las propiedades mecánicas que ofrecen, siendo estas las siguientes:

**Tabla 24-3:** Propiedades mecánicas de los materiales preseleccionados para el Aluminio

Material	Resistencia a la tracción (Mpa)	Límite elástico (Mpa)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )
Aluminio 6063 T5	210	185	2680
Aluminio 6063 T6	280	246	2720
Aluminio 6063 T5 recubierto de fibra de carbono	400	250	3000

Fuente: (CES EduPack, 2019)

Una vez establecido las características mecánicas, la disponibilidad que presenta, la facilidad de obtención y el costo, se debe realizar una matriz de decisión para poder determinar cuál es el mejor material dentro de los que se encuentran preseleccionados.

**Tabla 25-3:** Matriz de decisión para la selección del Aluminio

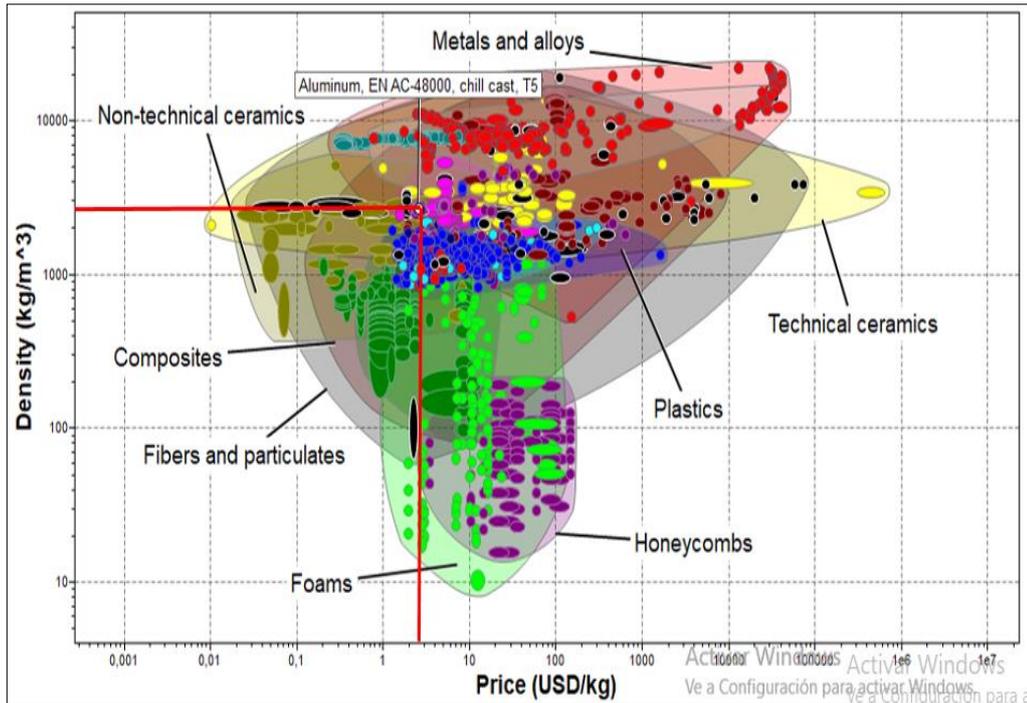
<b>Ítem</b>	<b>Porcentaje de pertinencia</b>	<b>Aluminio 6063 T5</b>	<b>Aluminio 6063 T6</b>	<b>Aluminio 6063 T5 recubierto de fibra de carbono</b>
<b>Costo</b>	25%	10	8	1
<b>Facilidad de adquisición</b>	15%	10	5	5
<b>Proceso de manufactura</b>	30%	5	5	5
<b>Propiedades Mecánicas</b>	30%	8	8	10
<b>Total</b>	100% (10 Puntos)	7,9	6,65	5,5

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

Por medio de este seleccionamiento se pudo conocer que el material adecuado para la construcción del chasis es el Aluminio 6063 T5, principalmente porque ofrece mayores facilidades de adquisición por su disponibilidad en el mercado, además que su costo es más accesible en comparación a los otros materiales.

Por otra parte, se puede analizar que el Aluminio 6063 T5 recubierto de fibra de carbono ofrece mejores prestaciones mecánicas, lamentablemente su costo, su adquisición y su proceso de manufactura establecen una alta complejidad para poder construir con este material.

A continuación, por medio del software se establecerá la densidad y el costo del material mejor opcionado, en este caso el Aluminio 6063 T5.



**Gráfico 4-3:** Densidad vs Precio del Aluminio 6063 T5

Fuente: (CES EduPack, 2019)

Agregando las propiedades mecánicas que ofrece el material, se establecen los siguientes resultados.

**Tabla 26-3:** Propiedades Mecánicas del Aluminio 6063 T5

Material	Densidad	Costo	Límite de elasticidad	Límite de Tracción
Aluminio 6063 T5	2700 kg/m <sup>3</sup>	2.55 USD/kg	185 Mpa	210 Mpa

Fuente: (CES EduPack, 2019)

- **Resultados Obtenidos de los Materiales**

En la Tabla 27-3, se dará a conocer las propiedades adquiridas de cada uno de los materiales preseleccionados.

**Tabla 27-3:** Características de materiales aptos para el diseño

<b>Material</b>	<b>Densidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Límite de elasticidad</b>	<b>Límite de Tracción</b>
<b>Fibra de carbono</b>	1820 kg/m <sup>3</sup>	29.35 USD/kg	3875 Mpa	4600 Mpa
<b>Acero de bajo carbono</b>	7850 kg/m <sup>3</sup>	0.765 USD/kg	330 Mpa	443 Mpa
<b>Aluminio 6063 T5</b>	2700 kg/m <sup>3</sup>	2.55 USD/kg	185 Mpa	210 Mpa

Fuente: (CES EduPack, 2019)

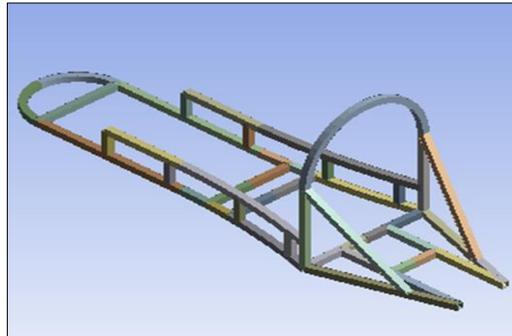
Se establece que la fibra de carbono es el que posee mejores propiedades mecánicas, por lo que la construcción con este material nos ofrece una amplia seguridad, lamentablemente su costo de adquisición es elevado, además tomando en cuenta que su proceso de manufactura requieren de alto cuidado, es por ello que se descarta la posibilidad de trabajar con este material.

Por otra parte, el Acero de Bajo Carbono y el Aluminio 6063 T5 no tienen las mismas condiciones mecánicas en comparación a la fibra de carbono, pero analizando las propiedades que poseen, se determina que igualmente ofrecen seguridad para la construcción. En relación con el costo de adquisición, los dos materiales son más accesibles en comparación a la fibra de carbono, por lo que es un detonante importante para trabajar con estos materiales.

En conclusión, el Acero de Bajo Carbono y el Aluminio 6063 T5 son los mejores opcionados para su implementación, consecuentemente para establecer el mejor material para su manufactura, se realizará un análisis mediante software CAE y de esta forma determinar el de mejores prestaciones.

### 3.3.6 Análisis mediante software CAE

#### 3.3.6.1 Diseño final



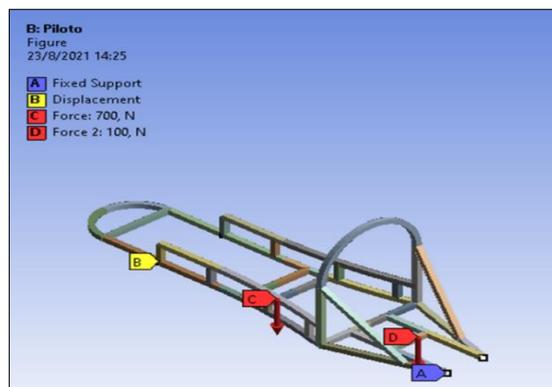
**Figura 12-3:** Diseño final de chasis

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

Después de estipular los distintos parámetros que se evaluaron para determinar la forma, el material, el tipo y el perfil del tubo, se puede observar en la Figura 12-3 el diseño final en software, para su posterior asignación de cargas y simulación

#### 3.3.6.2 Asignación de cargas

Una vez terminado el diseño en software CAD se procede a la asignación de cargas, que permite verificar si se encuentra dentro de los parámetros establecidos, para ello se validará por medio del análisis de elementos finitos con la ayuda de un software CAE, en donde se podrá conocer la deformación y factores de seguridad que nos darán la certeza de que el diseño sea óptimo.



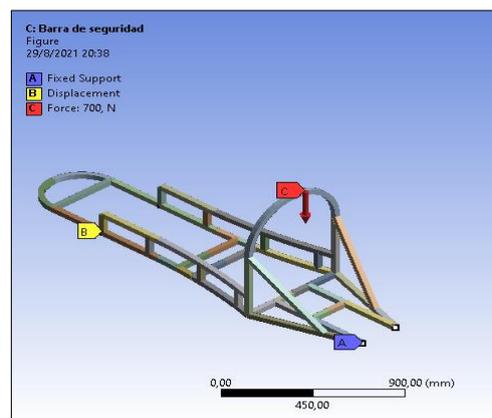
**Gráfico 5-3:** Aplicación de cargas y soportes de bastidor

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

Una vez obtenido las cargas que previamente han sido analizadas, se inició con la ubicación de una carga distribuida en el soporte del asiento ya que este será el lugar donde se va a concentrar toda la carga del peso del piloto, en este caso la fuerza C del Gráfico 5-3.

Por otra parte, se ubicó la carga de los elementos principales que forman parte del tren motriz eléctrico, siendo estos el motor, controlador y baterías, para lo cual han sido asignados mediante la fuerza D del mismo gráfico.

Obedeciendo a las reglamentaciones, ha sido asignado la fuerza que debe soportar la barra antivuelco, siendo uno de los elementos principales de protección para el piloto, por lo tanto, debe soportar una carga de 700N para verificar su funcionalidad, en este caso ha sido asignado mediante la fuerza C del Gráfico 6-3.



**Gráfico 6-3:** Carga en barra antivuelco

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

### 3.3.6.3 Simulación del diseño para Deformación Total

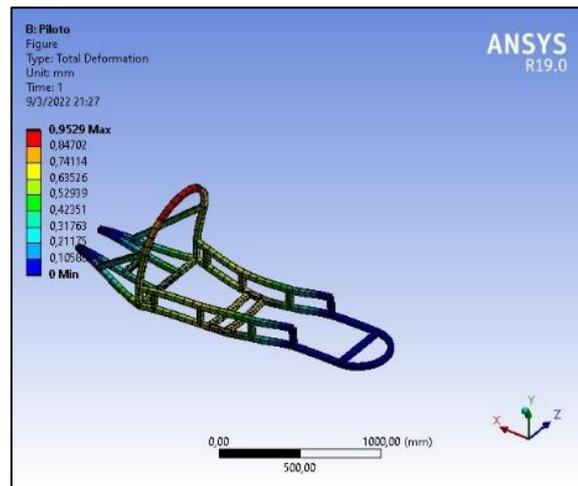
Una vez asignada todas las cargas en los puntos correspondientes, se inició con la prueba de simulación, en este caso haciendo énfasis en la prueba de deformación total, ya que por medio de ella se podrá determinar de manera general si el diseño es el adecuado.

Esta prueba será efectuada para el Aluminio 6063T5 y el Acero de Bajo Carbono, por lo que acorde a la normativa aplicable no debe sobrepasar los 100mm de deformación total.

Para este análisis, se debe aplicar todas las cargas que previamente han sido calculadas, es decir, el peso del piloto, el tren motriz eléctrico y de la barra antivuelco.

- **Aluminio 6063 T5**

En el Gráfico 7-3 se puede analizar la deformación total obtenida del Aluminio 6063 T5, por lo que se ha adquirido un valor de 0,953mm

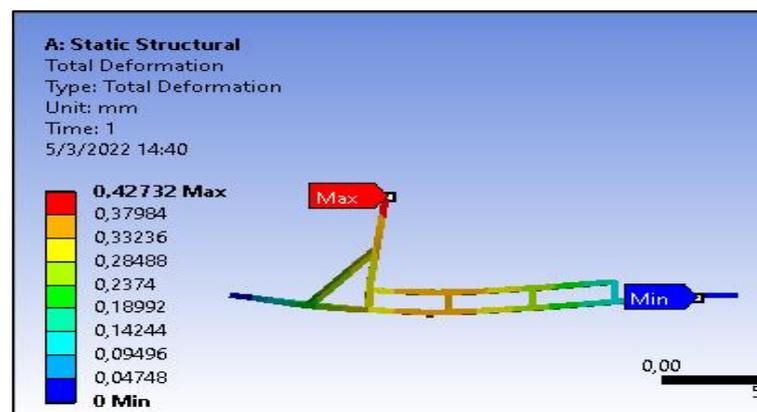


**Gráfico 7-3:** Deformación total

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

- **Acero de Bajo Carbono**

En el caso del Acero de Bajo Carbono se puede analizar a través del Gráfico 8-3, en donde la deformación total obtenida es de 0,427 mm.



**Gráfico 8-3:** Deformación Total del Acero de Bajo Carbono

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

- **Comparación de la Prueba de Deformación Total**

En la Tabla 28-3, se puede analizar los datos obtenidos con respecto a la deformación total de los materiales.

**Tabla 28-3:** Deformación Total del Aluminio 6063 T5 y el Acero de Bajo Carbono

Ítem	Aluminio 6063T5	Acero de Bajo Carbono
Deformación	0,953mm	0,427mm
Total		

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

Acorde a las pruebas de simulación efectuadas, se establece que no ha sufrido una deformación pronunciada o algún tipo de ruptura, por lo que ambos materiales ofrecen una alta resistividad. En el caso del Aluminio 6063 T5 es el que sufre una mayor deformación (0,953mm) en comparación al Acero de Bajo Carbono (0,427mm), pero cabe mencionar que estas elongaciones resultan despreciables, por lo que no representa algún factor de peligro.

Con respecto a la normativa aplicable, las dos deformaciones totales se encuentran dentro de los parámetros establecidos, debido a que lo máximo permitido por reglamentación es de 100mm. Bajo el criterio de otra normativa, en este caso el AISC 360, establece que la longitud total de la estructura dividida para 240 nos dará un valor referencial límite el cual no debe sobrepasar. En este caso la longitud máxima del chasis es de 2050mm y dividida para 240 nos da un valor de 8,54mm, es decir, nuestra estructura no debe sobrepasar ese valor.

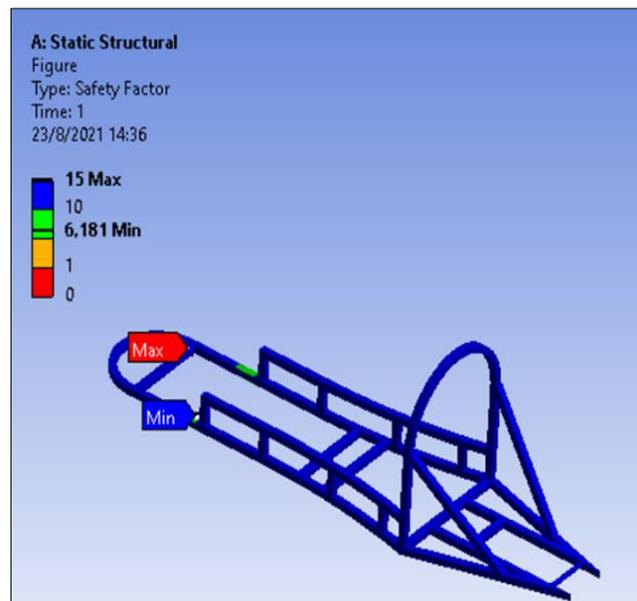
Como podemos analizar, en ningún caso de estudio de simulación por deformación total sobrepasan este valor, por lo tanto, en ambos casos resiste las cargas implementadas.

#### *3.3.6.4 Simulación del Diseño para Factor de Seguridad Estático*

Para determinar el factor de seguridad del chasis, se lo ha realizado bajo los criterios de análisis estático y por fatiga. En este caso se analizará bajo la consideración estática, el cual se caracteriza porque las fuerzas actúan de forma constante y no están sometidos bajo un criterio de lo que realmente le sucede a la estructura.

- **Aluminio 6063 T5**

Para determinar el factor de seguridad estático, igualmente han sido asignadas todas las cargas que se requieren para el análisis, es decir, el peso del piloto, del tren motriz eléctrico y de la barra antivuelco. En el Gráfico 9-3, se puede observar que se ha obtenido un valor de 6,181.

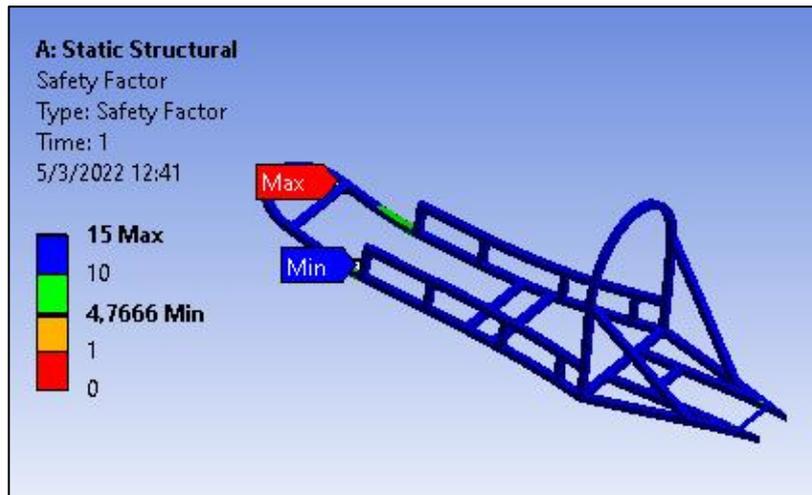


**Gráfico 9-3:** Factor de seguridad estático del Aluminio 6063 T5

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

- **Acero de Bajo Carbono**

En el caso del Acero de Bajo Carbono se ha aplicado el mismo principio, por lo que se ha obtenido un valor de 4,766 como se muestra en el Gráfico 10-3.



**Gráfico 10-3:** Factor de Seguridad Estático del Acero Bajo Carbono

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

- **Comparación entre Factores de Seguridad Estático**

Una vez obtenido los factores de seguridad estático, aplicando para el Aluminio 6063 T5 y el Acero de Bajo Carbono, se realizó una comparación analítica para establecer lo que ocurre en este tipo de estudio

En la tabla Tabla 29-3, se puede observar los factores de seguridad obtenidos para los dos materiales, en el cual se realizará la respectiva comparación de los mismos.

**Tabla 29-3:** Factor de Seguridad Estático del Aluminio 6063 T5 y el Acero de Bajo Carbono

Ítem	Aluminio 6063T5	Acero de Bajo Carbono
Factor de Seguridad Estático	6,181	4,766

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

El factor de seguridad es una medida relativa que relaciona la carga permisible de la estructura con el esfuerzo máximo real al que se expondrá. En este caso es asignado el material mediante el software CAE, siendo estos el Acero de Bajo Carbono y el Aluminio 6063 T5, el cual bajo las condiciones de cargas aplicadas se obtiene el esfuerzo máximo del diseño, siendo estos valores los que permiten el cálculo del factor de seguridad estático

Se considera un factor de seguridad aceptable si este es mayor a 1, pero en elementos estructurales expuestos a distintos esfuerzos se considera como factor de seguridad mínimo de 2. Acorde a esto se puede observar que en el Gráfico 9-3 correspondiente al Aluminio 6063 T5 se obtiene un factor de seguridad de 6,181, el cual se considera aceptable y cumple satisfactoriamente a lo mínimo establecido.

En el caso del Gráfico 10-3 correspondiente al Acero de Bajo Carbono se ha obtenido un factor de seguridad de 4,766; lo cual supera al valor mínimo aceptable de 2, cumpliendo adecuadamente a lo requerido.

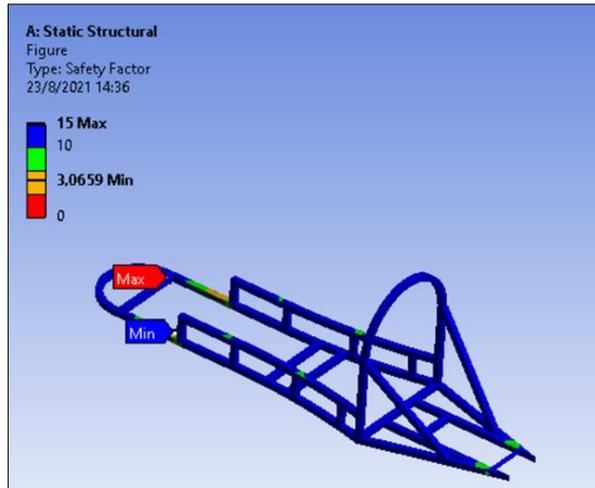
En este caso se puede analizar que los dos factores de seguridad cumplen favorablemente acorde a la normativa establecida, por otra parte, el Aluminio 6063 T5 supera ligeramente al Acero de Bajo Carbono, esto se debe principalmente porque se trata de un material maleable a diferencia del Acero que es más rígido.

#### *3.3.6.5 Simulación del Diseño para Factor de Seguridad por Fatiga*

En este caso se ha calculado el factor de seguridad por fatiga, en donde se caracteriza por la aplicación de cargas fluctuantes. Por medio de este análisis se puede obtener un factor de seguridad de lo que ocurre realmente en la estructura del chasis, por lo tanto, en este estudio se incluye todos los criterios que afectan al diseño.

- **Aluminio 6063 T5**

Para el factor de seguridad por fatiga se ha obtenido un valor de 3,065 como se muestra en el Gráfico 11-3.

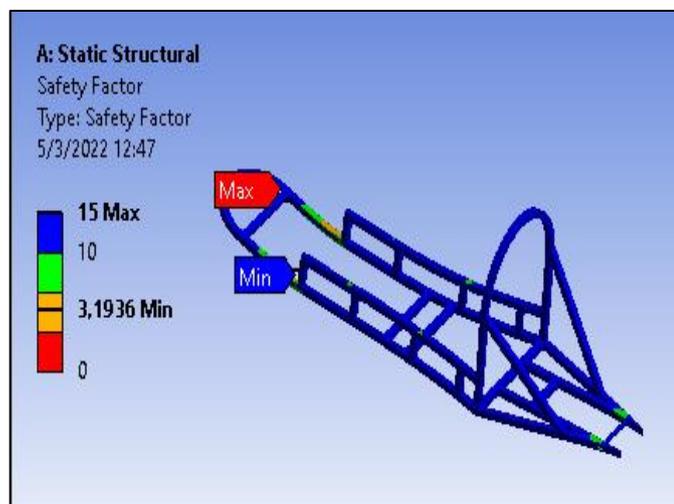


**Gráfico 11-3:** Análisis de factor de seguridad por fatiga del Aluminio 6063 T5

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

- **Acero de Bajo Carbono**

En el caso del Acero de Bajo Carbono se ha obtenido un factor de seguridad por fatiga de 3,193 como se muestra en el Gráfico 12-3.



**Gráfico 12-3:** Factor de Seguridad Estático del Acero de Bajo Carbono

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

- **Comparación de los Factores de Seguridad por Fatiga**

Con la obtención de los factores de seguridad por fatiga de los dos materiales, se procede a realizar una comparación de estos para establecer el de mejores prestaciones.

Para la facilidad de comprensión se puede organizar los datos en la siguiente Tabla 30-3:

**Tabla 30-3:** Resultados de análisis en software CAE

<b>Característica</b>	<b>Aluminio 6063 T5</b>	<b>Acero de Bajo Carbono</b>
<b>Factor de seguridad por fatiga</b>	3.066	3.193

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

Acorde a esto, el factor de seguridad relaciona las cargas presentes con la capacidad para soportar las mismas, pero en un número de ciclos y con una carga fluctuante. Al igual que el factor de seguridad por carga estática, el umbral mínimo es de 2 para estructuras mecánicas.

Como podemos observar en la Tabla 30-3, el factor de seguridad por fatiga en el caso del Aluminio 6063 T5 es de 3.066 el cual supera lo mínimo establecido de 2, por lo tanto, la estructura soportará las cargas fluctuantes. En el caso del Acero de Bajo Carbono, se obtiene un factor de 3,193, el cual se considera aceptable, por lo que cumple satisfactoriamente lo mínimo establecido. Como se puede analizar, las dos estructuras cumplen adecuadamente el umbral requerido, por lo que soportarán apropiadamente las cargas que han sido implementadas (peso del piloto, tren motriz eléctrico, barra antivuelco).

Cabe mencionar que el chasis se encuentra bajo un estudio de cargas fluctuantes, es decir, este factor nos permite determinar que la estructura está soportando adecuadamente los pesos y no se producirá algún esfuerzo por fatiga, además este estudio nos permite estipular lo que realmente ocurre en nuestra estructura.

Bajo estos parámetros los dos materiales son aceptables por su capacidad de soportar las cargas con respecto al estudio de cargas fluctuantes, pero se requiere la implementación de un solo material. Es por ello que se ha tomado en cuenta otro factor determinante que nos permitirá establecer el de mejores prestaciones, siendo este el peso total de la estructura. En la Tabla 31-3, se observa las masas de los dos materiales, obtenidos mediante el software CAE.

**Tabla 31-3:** Tabla de comparación de masa

Ítem	Aluminio 6063 T5	Acero de Bajo Carbono
Masa	5,35 kg	15,162kg

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

Como se puede analizar el peso del Aluminio 6063 T5 es de 5,35kg el cual es ampliamente ligero, en comparación al Acero de Bajo Carbono que tiene una masa de 15,162kg. Este es un factor determinante que nos permite establecer que el Aluminio 6063 T5 es el más apropiado para ser implementado, como se pudo analizar nos ofrece buenas prestaciones mecánicas, además que ha cumplido satisfactoriamente cada una de las pruebas establecidas, por otra parte, su peso es casi 3 veces menor en comparación al Acero de Bajo Carbono. En conclusión, se establece que el Aluminio 6063 T5 es el mejor ocionado para su proceso de manufactura.

### **3.3.7 Proceso de manufactura**

Una vez obtenido el diseño final con sus respectivas pruebas de simulación mediante software CAD y CAE, entra en vigencia la construcción del chasis. Para la ejecución del mismo se ha iniciado con la cotización de los materiales y de esta forma elegir el mercado que ofrece mejores prestaciones.

Como se trata de una estructura que implica un material especial como es el Aluminio 6063 T5, se debe adquirir las mejores técnicas de construcción para su elaboración. Entre los procedimientos que requiere una mayor atención es la soldadura TIG ya que contempla un cierto grado de complejidad para no dañar el material y el acabo sea el adecuado.

#### **3.3.7.1 Planos**

Una vez establecido el diseño final se debe realizar los planos respectivos para que la construcción sea realizada con mayor facilidad. En los planos propuestos se ha tomado en consideración 3 vistas (lateral, frontal, superior), sumándole a ellas la vista isométrica para tener una perspectiva general del chasis. Las cotas han sido ubicadas en una vista adecuada de tal forma que, al

momento de construir, sea visible de manera clara y no cause algún tipo de confusión. Para una mejor visualización se puede apreciar en los anexos A, B, C y D.

### 3.3.7.2 *Tratamiento de los materiales*

Previamente mediante un análisis de estudio se ha considerado el material que se va a utilizar, en este caso el aluminio 6063 T5, por lo que se ha tomado en consideración el mercado disponible para su adquisición. Una vez obtenido el material, se ha iniciado con el tratamiento respectivo que se debe seguir para adoptar la forma ideal del chasis.



**Figura 13-3:** Perfil de Aluminio 6063 T5

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J.  
2021

### 3.3.7.3 *Doblado de tubo*

El diseño del chasis implica ciertas curvas, permitiendo que sea más aerodinámico y de igual forma que no sea muy rudimentario. Se ha optado por realizar una sola pieza en la base del chasis ya que con esto se disminuirá el riesgo de que haya algún tipo de deformación por fatiga a causa de los esfuerzos a la que va a estar sometido, es decir, un menor número de cortes en la base disminuirá el riesgo de algún tipo de ruptura.

- Doblado delantero del chasis

Esta particularidad del diseño nos ha encaminado a realizar primeramente la parte delantera del chasis, específicamente donde van a ser ubicados los pies del piloto ya que el radio de curvatura del mismo es pequeño, por lo tanto, tiene una mayor complejidad al momento de doblar el tubo.



**Figura 14-3:** Doblado de arco delantero

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

- Doblado de la barra antivuelco

Por otra parte, se encuentra la barra antivuelco, a pesar de que su radio de curvatura es mayor, de igual forma implica un cierto grado de dificultad. Cabe mencionar que la barra antivuelco es uno de los componentes principales del chasis ya que sirve para proteger al piloto de algún tipo de accidente.



**Figura 15-3:** Doblado de la Barra Antivuelco

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

- Doblado de laterales

Otro de los elementos que están sometidos a un proceso de doblado son los laterales, por lo que tiene la particularidad de no ser muy pronunciados, facilitando su ejecución. Estos laterales han sido diseñados con esta particularidad para que no exista algún tipo de dificultad al momento de que el piloto ingrese al prototipo, además de ganar más espacio para la comodidad del mismo.



**Figura 16-3:** Doblado de los Laterales del Prototipo

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

#### 3.3.7.4 Corte de material

Una vez realizado el doblaje del perfil que incluye la barra antivuelco, la parte delantera del chasis y los laterales se debe continuar con los cortes para el resto de los componentes. En este caso es indispensable la utilización de una amoladora con su respectivo disco de corte para que nos permita una cisura más exacta del material, a diferencia de realizar de manera manual con una sierra, este procedimiento implica ciertas imperfecciones y un mal acabado.

Cabe mencionar que la perfección es indispensable en este apartado ya que todo está ligado a un dimensionamiento (piloto, componentes del prototipo) y un análisis de estudio que previamente han sido desarrollados mediante software CAD y CAE, por lo tanto, demanda de una alta exactitud.

- Corte de la parte delantera del chasis

Para realizar los cortes del material que forman parte de la estructura se ha iniciado con el segmento delantero, debido a que en esta sección es donde se va a alojar el piloto, además que presenta particularidades específicas del diseño.



**Figura 17-3:** Corte de la parte Delantera del Chasis

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

- Corte de la parte posterior del chasis

La parte posterior del diseño tiene ciertos ángulos de inclinación en el cual deben estar unidos los perfiles. En esta sección se va a localizar el tren motriz eléctrico, de igual forma los apoyos que van a sostener la barra antivuelco, por lo tanto, el corte implementado se ha realizado de tal forma que se acoplen correctamente los perfiles, siguiendo los planos previamente realizados.



**Figura 18-3:** Cortes de la parte Posterior del Chasis

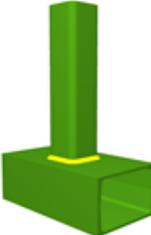
Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

### 3.3.7.5 Disponibilidad de los Perfiles para la Soldadura

A nivel general existen diferentes tipos de perfiles para tubos, siendo estos los rectangulares, cuadrados, circulares, angulares, tipo G, entre otros. En este caso se ha utilizado un perfil cuadrado de 1<sup>1/4</sup> de pulgada, por lo que el procedimiento se realizará de una manera más sencilla ya que los cortes son rectos e implica una menor complejidad, a diferencia de un perfil circular que requiere de un corte especial denominado boca de pescado para que pueda acoplarse al otro tubo.

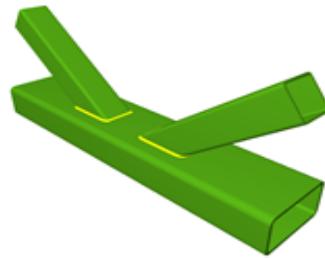
Existen diferentes tipos de uniones en el cual pueden estar dispuestos los perfiles, siendo estos en tipo K, X, T, N, Y, DT, DY, KK, KT, TT, XX, en total se registran 45 tipologías y se encuentran en función de la barra del cordón que pueden ser RHS, CHS e incluso perfiles abiertos tipo I, H o U. Una vez establecido estos requerimientos se da a conocer los diferentes tipos de uniones o nudos que se requieren en un perfil rectangular o cuadrado (Velasco, y otros, 2016 pág. 56).

**Tabla 32-3:** Tipos de Uniones o Nudos en Perfiles Cuadrados o Rectangulares

Descripción	Ilustración
Nudo en T	
Nudo en X	

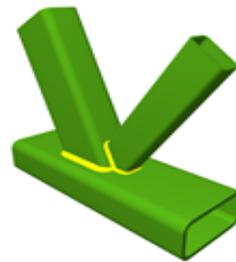
---

**Nudo en K con espaciamento**



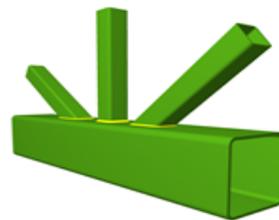
---

**Nudo en K con Solapamiento**



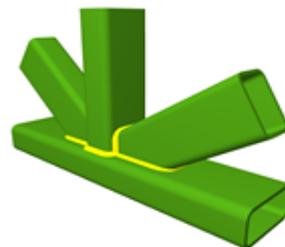
---

**Nudo KT con espaciamento**



---

**Nudo KT con solapamiento**



### 3.3.7.6 Preparación de los Tubos Para Soldar

- Limpieza de impurezas

Luego de haber realizado los procesos de doblado y corte del perfil cuadrado, se procede con la preparación de los tubos que están dispuestos a soldarse. Primeramente, esto se lo realiza limpiando el perfil, debido a que se encuentra con ciertas impurezas que puedan afectar al proceso de soldadura, siendo estos: grasas, polvo u otros tipos de desperfectos.



**Figura 19-3:** Limpieza de tubo

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

- Proceso de Limadura

Cabe mencionar que estos perfiles de aluminio cuentan con un revestimiento protector, es decir, se encuentran recubiertas con una capa protectora que le ayudan a evitar la corrosión del mismo. Es por ello que al momento de soldar se debe realizar un proceso de limadura, en este caso mediante la amoladora y un disco esmerilado para que el material se pueda soldar fácilmente.



**Figura 20-3:** Limadura de tubo

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

### 3.3.7.7 Visualización del Ensamble del Chasis

Este procedimiento consiste en unir los perfiles para obtener una visualización general del chasis. Cabe mencionar que esto nos ayuda a visualizar ciertos desperfectos que pueda tener la estructura, ya sean estos un mal proceso de corte, doblado, e incluso una mala medición, por lo tanto, nos sirve para poder rectificar estas discrepancias.



**Figura 21-3:** Chasis ensamblado

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

### 3.3.7.8 Proceso de Soldadura

Anteriormente ya se ha especificado que el tipo de soldadura a emplearse es la TIG, principalmente porque nos ofrece diversas ventajas en comparación a otro tipo de soldadura. Entre los principales requerimientos que se ha tomado en cuenta, es el tipo de material con el que se va a trabajar, enfocándose que el espesor es relativamente delgado, todo esto para que el prototipo sea liviano. Se destaca porque no tiene dificultad para trabajar con espesores delgados, lo que mejora los procesos de producción del mismo (Alonso, 2017 pág. 45). En este caso, para obtener un acabado ideal del chasis, se ha tomado en cuenta que este tipo de soldadura no produce salpicadura, además de que los cordones son más resistentes principalmente porque el gas protector impide que haya un contacto entre el oxígeno y el baño de fusión.

- Especificaciones de la soldadora TIG

Para realizar un adecuado proceso de soldadura se ha utilizado la maquina TIG Miller Syncrowave 250 DX, el cual ofrece las prestaciones necesarias para el chasis. Para comprender de mejor manera se ha establecido la siguiente tabla con los siguientes requerimientos:

**Tabla 33-3:** Tabla de especificaciones de máquina de soldadura

<b>Especificación</b>	<b>Descripción</b>
<b>Procesos</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• TIG de (GTAW)</li><li>• STICK (SMAW)</li></ul>
<b>Capacidad</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Acero al carbón: espesores desde 0.3 mm hasta ½” (0.3 mm – 12.7 mm).</li><li>• Aluminio: espesores desde 0.4 mm hasta 3/8” (0.4 mm – 9.5 mm).</li></ul>
<b>Alimentación Eléctrica</b>	200 – 575 V
<b>Peso</b>	172kg
<b>Rango de Amperaje</b>	3 – 310 A
<b>Máximo voltaje de circuito abierto</b>	80VCC
<b>Tipo de Corriente</b>	AC/DC

Fuente: (Codinter, 2021)



**Figura 22-3:** Soldadora TIG

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

- Proceso de Soldadura

Una vez efectuado los cortes y doblados de la estructura del chasis se inician con el proceso de soldadura, tomando en cuenta que el espesor es muy delgado y el material presenta ciertas características especiales. Se debe tener un amplio campo de visualización y estar en una posición adecuada, consecuentemente se inicia con el procedimiento, asegurándose de que el cordón realizado propicie la correcta unificación del material, además de precautelar la parte estética del mismo. Es por ello que se ha trabajado con un voltaje de 15 V y un amperaje de 125 A, por otra parte, los cordones de soldadura fueron ubicadas en una posición plana de 30 mm x 3 de espesor.

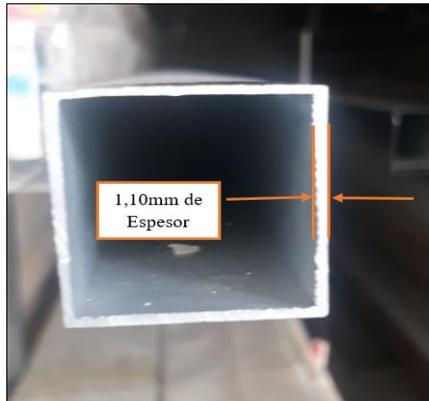


**Figura 23-3:** Soldadura de parte trasera

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

Para una mejor comprensión del procedimiento implementado se ha establecido lo siguiente:

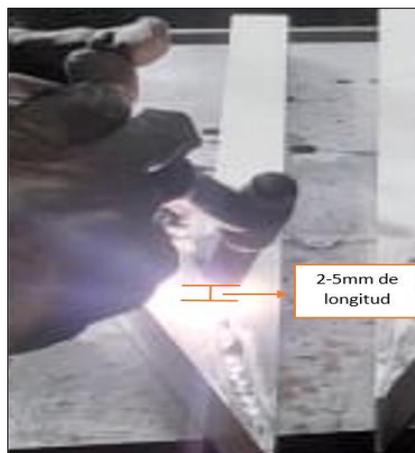
- Este tipo de soldadura trabaja con espesores desde 0,4mm y tomando en cuenta que se ha trabajado con un perfil de 1, 10mm de espesor, se considera que facilita notoriamente su procedimiento.



**Figura 24-3:** Espesor de tubo del aluminio

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

- Como es característico de la soldadora TIG, se trabaja con un electrodo de tungsteno y un gas inerte, en este caso con argón. Durante el proceso también se hace uso de una punta de varilla de aportación para un mejor acabado.
- La longitud de arco depende de cada operador, en este caso se ha mantenido entre los 2 y 5mm de longitud.

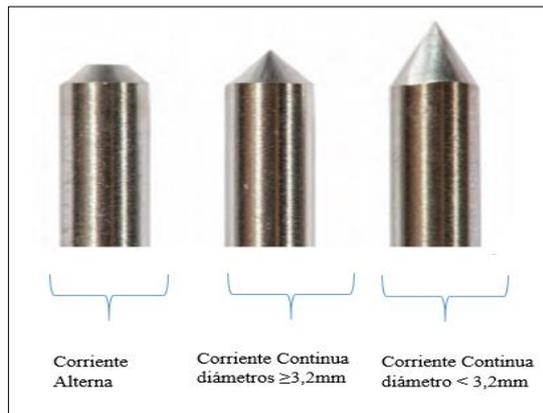


**Figura 25-3:** Distancia entre el material y la suelta

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

- Para el seleccionamiento de la corriente ideal se ha considerado la alterna, ya que es ideal para trabajar con el bronce, magnesio, aluminio y sus aleaciones, por lo tanto, se ha elegido este tipo de corriente. No se ha hecho uso de la corriente continua ya que esta se trabaja para aceros inoxidable, aceros al carbón, níquel, titanio, entre otros.

- Es importante limpiar la superficie para soldar, esto se lo realiza con el objetivo de remover las capas de revestimiento.
- Como se trabaja con corriente alterna, el cordón solamente necesita de un pequeño biselado, debido a que en el extremo del electrodo se produce un redondeo cuando se inicia la soldadura. A diferencia de cuando se trabaja con corriente continua, donde el electrodo se necesita que este afilada.



**Figura 26-3:** Biselado de material de aporte de soldadura

**Fuente:** (Alonso, 2017)

- Finalmente, una vez seguido todos estos requerimientos de soldadura, el chasis se ha realizado satisfactoriamente.



**Figura 27-3:** Ensamble final

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1 Obtención de resultados

Una vez realizado los distintos procedimientos en el diseño y construcción del chasis para el prototipo monoplaça eléctrico, se han establecido una serie de resultados en el cual nos denotan la validación del diseño.

##### 4.1.1 Resultados de simulación en software CAE

**Tabla 1-4:** Resultados obtenidos entre perfil de Acero de Bajo Carbono y Aluminio 6063 T5

<b>Especificaciones</b>	<b>Acero de Bajo Carbono</b>	<b>Aluminio 6063 T5</b>
<b>Deformación Total</b>	0,427mm	0,953mm
<b>Factor de Seguridad Estático</b>	4,766	6,181
<b>Factor de Seguridad por Fatiga</b>	3,193	3,065

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

##### 4.1.1.1 Análisis entre perfil de Acero de Bajo Carbono y Aluminio 6063 T5

- **Deformación Total**

En el software utilizado para el análisis CAE, se ha tomado en consideración las cargas como: el peso del piloto, la batería, el motor eléctrico, los controladores, la carga de 700N en la barra

antivuelco y los apoyos específicos que se requieren, en donde se establece por medio del análisis de elementos finitos, que se ha obtenido una deformación total de 0,427mm para el Acero de Bajo Carbono en comparación al Aluminio 6063 T5, el cual se obtuvo un valor de 0,953mm.

Se ha establecido que las dos deformaciones son admisibles, debido a que cumplen satisfactoriamente a lo estipulado en la normativa aplicable, por lo que menciona que la elongación total no debe pasar los 100mm, en este caso ninguna estructura rompe este criterio, fundamentando de esta manera que son materiales que ofrecen buenas propiedades mecánicas.

Conforme a lo estipulado en otra normativa, siendo esta el AISC 360, el cual establece que la deformación total obtenida es admisible, cuando la longitud máxima de la estructura se divide para 240 en cargas combinadas y no supera dicho valor.

En este caso, el chasis tiene una longitud total de 2050mm, por lo que a este valor se lo divide para 240 y obtenemos una deformación admisible hasta 8,541mm, por lo tanto, ninguna de las dos estructuras sobrepasa el límite estipulado y aprueban satisfactoriamente esta normativa.

Cabe mencionar que el Acero de Bajo Carbono posee una menor deformación total en comparación al Aluminio 6063 T5, principalmente a que se trata de un material que ofrece una mayor resistencia, sin embargo, la diferencia entre los dos valores no es notoria. De manera general las elongaciones obtenidas son despreciables y han cumplido satisfactoriamente el análisis de estudio bajo la normativa aplicable.

- **Factor de Seguridad Estático**

En el caso del Acero de Bajo Carbono se tiene un factor de seguridad estático de 4,766 y en el aluminio se obtiene un valor de 6,181; es decir, ambos factores cumplen satisfactoriamente con respecto al umbral mínimo de 2 (Beer, y otros, 2009 pág. 78).

Cabe mencionar que en este tipo de estudio las cargas actúan de manera constante, es decir, el estudio no está sometido bajo criterios de cargas fluctuantes. En este caso el que presenta un mejor factor de seguridad es el Aluminio 6063 T5, superando al valor obtenido en el acero estructural y brindándonos una mayor seguridad.

En este caso el Aluminio 6063 T5 nos ofrece una mayor seguridad, esto se debe a que se trata de un material maleable en comparación al Acero de Bajo Carbono que es más rígido.

- **Factor de Seguridad por Fatiga**

Para el factor de seguridad por fatiga en el caso del Acero de Bajo Carbono, se ha obtenido un valor de 3,193 y para el Aluminio 6063 T5 un factor de 3,065, por lo tanto, se considera aceptable debido a que superan el valor mínimo de 2 (Beer, y otros, 2009 pág. 81).

Para la validación del chasis se ha enfocado en el análisis mediante cargas fluctuantes, es decir, habrá momentos en el que la carga estará presente y otras en las que no actuarán, por lo tanto, esta reiteración continua es lo que se denomina como ciclos. Bajo estos criterios se puede conocer lo que está sucediendo realmente en nuestro chasis, considerando incluso que se pueden implementar otros tipos de cargas.

Esto se debe principalmente porque actúan otros factores que afectan al diseño, en este caso el tipo de material, la manufacturación, las condiciones de servicio, entre otros. Es por ello que mediante el software CAE se pudo delimitar estos parámetros. Se puede analizar que el Acero de Bajo Carbono muestra un mejor factor de seguridad, sin embargo, no supera notoriamente al Aluminio 6063 T5.

Los dos factores de seguridad aprueban satisfactoriamente las normativas aplicables, por lo que se establece que ofrecen buenas propiedades mecánicas para la construcción, sin embargo, existen otros criterios como los costos, el peso, la disponibilidad en el mercado, entre otros factores que se ha tomado como prioridad el Aluminio 6063 T5.

#### ***4.1.2 Proceso de Comprobación de la Soldadura***

Otro de los aspectos fundamentales que se deben analizar para una adecuada estructuración del chasis, es el procedimiento de soldadura, por lo tanto, para su verificación se utilizó el análisis por medio de líquidos penetrantes. Existen diversos métodos para poder aplicar líquidos penetrantes y estos pueden estar disponibles en forma de aerosol, brocha e incluso por inmersión. En este caso se han utilizado los que están dispuestos en aerosoles y son los siguientes:

- Limpiador base solvente
- Líquido penetrante
- Agente revelador



**Figura 1-4:** Líquidos penetrantes

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

#### *4.1.2.1. Procedimiento de líquidos penetrantes*

Se trata de una técnica que no implica un factor de riesgo para la estructura analizada y además los costos de implementación no son elevados. Estos ensayos no son destructivos y sirven para verificar las imperfecciones o discontinuidades en sólidos no porosos. Generalmente este tipo de problemas ocurren cuando existen vetas, roturas, grietas a causa de la fatiga del material, entre otros (Cembrero, 2005 pág. 59). Para iniciar con el análisis de líquidos penetrantes, se realiza el siguiente procedimiento:

- Primero se empieza a limpiar la zona que se desea realizar el análisis, en este caso todos los cordones de soldadura que forman parte del chasis. Tomar en cuenta que el perfil cuenta con un revestimiento de protección, por lo tanto, deben ser limpiados adecuadamente. Posteriormente se utiliza un limpiador base solvente y se trata de un líquido que permite eliminar todas las impurezas impregnadas en el material.



**Figura 2-4:** Limpieza de superficie

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

- Posteriormente se debe aplicar el líquido penetrante, esto se lo ha realizado sobre todos los cordones de soldadura del chasis. Se debe dejar pasar un cierto tiempo para que el líquido interactue con el material, en nuestro caso se lo aplicó para 10 minutos.



**Figura 3-4:** Aplicación de líquido penetrante

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

- Una vez aplicado el líquido penetrante, debe ser retirado mediante el limpiador base solvente, para lo cual se debe realizar un procedimiento minucioso de limpieza.
- Posteriormente el líquido penetrante debe ser limpiado del cordón de soldadura y se debe aplicar el agente revelador, tomando en cuenta que el envase debe ser correctamente agitado porque las partículas sólidas se concentran en la base.



**Figura 4-4:** Revelado de prueba de soldadura

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

El agente revelador debe ser aplicado a una distancia aproximada de 30cm, asegurándose de que este correctamente ubicado en el cordón. Se debe dejar actuar este solvente alrededor de 10 minutos para que interactue adecuadamente con el líquido penetrante.

#### 4.1.2.2. Verificación de la Soldadura

Una vez realizado el procedimiento adecuado para la aplicación de líquidos penetrantes, se procede a la verificación de la calidad de soldadura mediante la Norma ASTM-E-65-95 que es el método de prueba estándar para examen de líquidos penetrantes.

- Análisis de Grieta en la Soldadura

Después de 10 minutos de revelado, las indicaciones se examinan visualmente para verificar la calidad del cordón de soldadura. Cabe mencionar que este método se caracteriza por tener una amplia sensibilidad para la detección de fisuras.



**Figura 5-4:** Visualización de prueba de soldadura con grieta

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

Como se puede apreciar en la imagen, se ha detectado una grieta en el cordón de soldadura, lo cual es un determinante a tomar en cuenta. En este análisis se puede observar que no se trata de una grieta que implique un mayor factor de riesgo, pero son indicadores que nos ayudan a delimitar la calidad de soldadura que ha sido implementada.

- Análisis de Soldadura sin Discontinuidad en el Cordón



**Figura 6-4:** Visualización de prueba de soldadura sin grieta

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

En este caso se puede visualizar que el cordón de soldadura se encuentra correctamente elaborado y no presenta algún tipo de discontinuidad, por lo tanto, se establece que no va a estar implicado en algún tipo de peligrosidad al momento de estar en su funcionalidad.

**Tabla 2-4:** Cantidad de soldaduras y soldaduras defectuosas

	<b>Soldaduras totales</b>	<b>Soldaduras defectuosas</b>
<b>Cantidad</b>	114	3
<b>Porcentaje</b>	100 %	2.63 %

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

De todas las soldaduras que se realizó en el chasis el porcentaje de defectuosas es 2.63 % que al ser evaluadas por el criterio de la norma API-1104 que es la norma en donde se apoya la norma ASTM-E-65-95 para evaluar si una soldadura está realizada de buena forma se puede ver que por criterios de concavidad la soldadura está en buen estado así posea filtración.

### 4.1.3 Resultados de Resistividad

Mediante esta prueba se comprobó la resistencia en el chasis, en este caso aplicando el peso del piloto, por lo que esta carga es la más representativa para verificar su funcionalidad.



**Figura 7-4:** Prueba de resistencia real

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

Para esta prueba se han utilizado dos apoyos tanto en la parte delantera como en la posterior. Al momento de realizar esta prueba de verificación, el chasis no sufrió algún tipo de desperfecto o ruptura, por lo que se puede establecer que el diseño es el adecuado.

Como se puede observar la mayor parte del peso del piloto se concentra a la altura de la cadera, es por ello que en esa sección han sido implementadas dos travesaños con el propósito de contrarrestar estos esfuerzos.

El campo de visualización es amplio, es decir, el piloto no tiene algún tipo de interferencia que obstaculice su visibilidad. Cabe mencionar que en base a esta postura se ubicará la dirección del piloto, por lo tanto, no causará este tipo de problemas.

## 4.2 Análisis de Resultados

Una vez obtenido los resultados mediante elementos finitos, soldadura y pruebas de resistencia, se realiza un análisis minucioso de lo adquirido.

#### 4.2.1 *Análisis de Soldadura*

Una vez realizado el procedimiento adecuado para la aplicación de líquidos penetrantes, se procede a la verificación de la calidad de soldadura.



**Figura 8-4:** Visualización de prueba de soldadura

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

Después de 10 minutos de revelado, las indicaciones se examinan visualmente para verificar la calidad del cordón de soldadura. Cabe mencionar que este método se caracteriza por tener una amplia sensibilidad para la detección de fisuras.

De esta forma se establece que en todo el chasis existen 114 cordones de soldadura de los cuales 3 son los que presentan algún tipo de fallo, tomando en cuenta que se trata de fisuras leves que no afectan notoriamente al diseño.

De manera general no se ha presentado un mayor número discontinuidades en la soldadura, por lo tanto, se puede estipular que la estructura del chasis es el adecuado y puede ser utilizada de forma segura.

Otro de los puntos fundamentales a tomarse en cuenta es que la superficie debe ser limpiada correctamente, con el objetivo de remover el revestimiento protector del aluminio. Se trata de un procedimiento de bajo costo, es por ello que se ha optado por su implementación

#### 4.2.2 *Análisis de Resistividad*

En el análisis de la resistividad del chasis, se ha obtenido lo que se ha planteado en cuanto al diseño y simulación.



**Figura 9-4:** Prueba de resistencia

Realizado por: Moreta, B., Patache, J. 2021

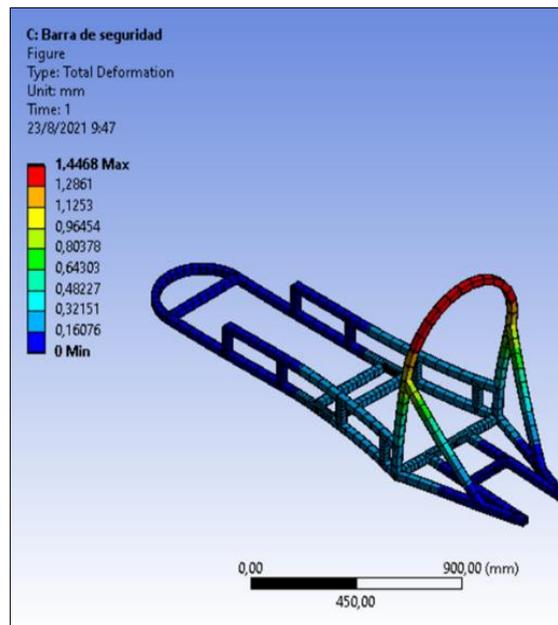
Durante el proceso de manufactura intervienen muchos criterios que afectan a lo que se ha planteado inicialmente mediante software, es decir, la parte de construcción demanda mucho el producto final, entre ellos los perfiles mal cortados, los doblados mal elaborados, los malos cordones de soldadura, entre otros aspectos. Tomando en cuenta estas discrepancias, el proceso de elaboración ha sido desarrollada de manera precisa y correcta, de forma que al momento de realizar las pruebas de resistividad no haya inconformidades.

Se pudo analizar que el chasis resiste con normalidad el peso del piloto, tomando en cuenta que tiene un perfil de 1,10mm de espesor, además de que su peso no sobre pasa los 20kg. Se puede observar que los laterales cumplen un rol fundamental además de ofrecer resistencia al chasis ya que, al adquirir la misma forma de la base y una altura mínima, le permite al piloto ingresar y salir con facilidad del prototipo, tomando en cuenta que debe demorarse 10 segundos acorde a la reglamentación.

En relación al dimensionamiento, se puede analizar que el chasis no se encuentra con un tamaño superior o inferior, es decir, el piloto está ubicado correctamente sin presentar incomodidades. Desde la barra antivuelco para adelante tiene una curvatura hacia adentro, como se puede visualizar, se va reduciendo el espacio a la vez que el piloto no pierde la comodidad. El objetivo planteado era conseguir un diseño que ofrezca una alta resistividad con el menor peso posible y mediante los análisis previamente elaborados se ha conseguido ofrecer las mejores prestaciones.

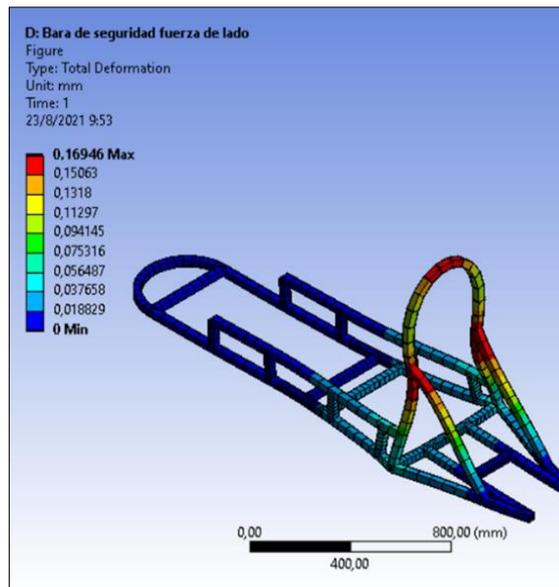
### 4.3 Especificaciones Técnicas

Para las especificaciones técnicas, se establece que en el artículo 26, literal d, del reglamento de la normativa aplicable, nos indica que por seguridad la barra antivuelco debe soportar una fuerza de 700 N específicamente en el arco del mismo y de igual forma una fuerza de 700 N al comprimir la barra antivuelco.



**Gráfico 1-4:** Deformación de barra antivuelco fuerza aplicada en el arco de la barra

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021



**Gráfico 2-4:** Deformación de barra antivuelco fuerza aplicada en laterales

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

Una vez determinada las deformaciones con la correcta aplicación de las fuerzas en los elementos indicados, se estableció que cumple con la reglamentación de la normativa aplicable, por lo tanto, ofrece la seguridad necesaria para el piloto.

#### 4.3.1 *Determinación de las distancias necesarias de seguridad*

Para esta prueba se analizó con una persona que cumple con el dimensionamiento calculado (peso, altura) y se midió las distancias que están estipuladas en la reglamentación establecida, en este caso en el artículo 26, literales b y c donde se especifican que la barra antivuelco debe estar separada a 50 mm alrededor del casco del conductor, además que la barra debe estar alejada de los hombros del conductor.



**Figura 10-4:** Medición de barra antivuelco

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

Se determinó que la distancia está por encima del límite ya que mide 66 mm y por consiguiente se establece que cumple con exactitud esta condición de diseño.



**Figura 11-4:** Comparación hombro derecho barra antivuelco

**Realizado por:** Moreta, B., Patache, J. 2021

Una vez realizada las pruebas de verificación, se establece que se cumple con el artículo 26, literal C, donde se estipula que los hombros deben estar a una distancia prudencial de la barra antivuelco por seguridad.

## CONCLUSIONES

La oportuna y acertada revisión bibliográfica nos permitió comprender el proceso que se debe realizar al momento de diseñar y construir el chasis, en base a las especificaciones técnicas requeridas, además de analizar el material adecuado para la obtención de una estructura solvente de acuerdo con los objetivos planteados.

Los parámetros y criterios de diseño se determinaron para que el prototipo sea optimizado no solo en cuestiones de peso, sino también de eficiencia energética, por lo tanto, esto nos permitió construir el chasis con un peso 15.8 kg que puede soportar el peso de una persona promedio.

Esto se llevó a cabo gracias al modelado y aplicación de software CAE/CAD especializados en método de elementos finitos. Se tuvo cuidado en el chasis y se seleccionó cuidadosamente la forma que nos brindaba las mejores prestaciones, siempre con vistas a la competencia. Las deformaciones totales en todos los análisis fueron satisfactorias y complacen los requerimientos. Se ha hecho uso de un análisis estadístico capaz de determinar las características promedio de los estudiantes que forman parte de la carrera de ingeniería automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, para realizar optimizaciones en el chasis y se adapte a las características promedio del análisis estadístico.

El Chasis fue construido en aluminio 6063-T5 y soldado con soldadura especial tipo TIG, para lo cual se ha basado en una matriz de decisión. El aluminio ofreció una mayor accesibilidad en el mercado, a diferencia de la fibra de carbono que presentó ciertas eventualidades, sin embargo, las prestaciones mecánicas que nos brindó una vez finalizado el proceso de construcción superaron nuestras expectativas.

## **RECOMENDACIONES**

Hacer énfasis en el manejo de una mayor variedad de perfiles y materiales disponibles en el mercado a nivel nacional e internacional, estableciendo más alternativas para la construcción.

Para competiciones de carácter internacional, realizar un seccionamiento adecuado en el chasis, de tal forma que permita una mejor movilidad de la estructura, por lo que debe ser considerado para posteriores fabricaciones.

En el proceso de montaje de los demás elementos del prototipo, considerar las dimensiones apropiadas que requieren, con el propósito de que exista un acople seguro y adecuado de los mismos.

Para evitar alguna eventualidad de pandeo en la estructura, se puede aumentar el espesor del tubo, precautelando la normativa aplicable acerca del límite de peso que debe adquirir el prototipo o a su vez, recubrir el chasis con fibra de carbono.

## GLOSARIO

**Fatiga:** Daño que se produce en los elementos mecánicos cuando están sometidos a cargas combinadas.

**Monoplaza:** Vehículo de competición que consta de una sola plaza destinada para el piloto.

**Revestimiento:** capa de protección que recubre una superficie de un material determinado.

**Limadura:** fragmentos pequeños que se desprenden por pulir o limar un metal.

**CAD:** iniciales que significa diseño asistido por computadora.

**CAE:** iniciales que corresponde a diseño a ingeniería asistida por computadora

**Inmersión:** introducción completa de un cuerpo a un líquido

**Aerodinámica:** estudia la fuerza que ejerce un gas relativo sobre un cuerpo inmerso en él.

**Travesaño:** pieza alargada disponible horizontalmente, es decir, dispuesta de un lado a otro.

**Larguero:** elemento de alta rigidez, generalmente se trata una viga dispuesta longitudinalmente en un bastidor o una estructura.

**Autonomía:** en la automoción hace referencia la distancia que puede recorrer un vehículo eléctrico en una sola carga de la batería.

**Ensamblaje:** unificación de varios elementos para formar una sola estructura.

**Isométrico:** representación visual de un objeto en 3 dimensiones, en la que los 3 ejes ortogonales principales al desprenderse forman ángulos de 120 grados.

**Barra antivuelco:** marco de seguridad que sirve de protección para los ocupantes, especialmente en caso de vuelcos.

**Fisuras:** roturas que se presentan en los materiales a causa de los esfuerzos internos o externos que supera la capacidad del mismo.

**Plano:** Es una representación gráfica realizado con medio técnico de una superficie sin realizar una proyección.

**Pandeo:** Es la curva o flexión que se produce en la mitad de una viga o de un muro debido a la compresión.

**Soldadura TIG:** Es una soldadura especial que en sus siglas en ingles significa tungsten inert gas que hace referencia al tipo de soldadura mediante un electrodo de tungsteno siendo el material de aporte y bajo la protección de un gas inerte que evita el contacto del aire con el baño de fusión.

**Prototipo:** Se emplea para nombrar al primer dispositivo que se desarrolla de algo y que sirve como modelo para la fabricación de los siguientes o como muestra.

**Criterio de Von Mises:** Es un criterio de resistencia estática, aplicado a materiales dúctiles.

**Flexión:** Hace referencia a la deformación que experimenta un elemento estructural alargado en dirección perpendicular a su eje longitudinal

**Torsión:** Es la sollicitación que se presenta cuando se aplica un momento sobre el eje longitudinal de un elemento constructivo o prisma mecánico.

**Descapotable:** Que tiene capota o techo que se puede plegar o retirar.

**Monocasco:** Casco o armazón de una embarcación, o de vehículos, que está formado por una sola pieza.

**Tren Motriz:** Es un conjunto de componente que genera la energía y movimiento de un vehículo.

## BIBLIOGRAFÍA

**ÁGUEDA, Eduardo, y otros.** *Estructuras del vehículo*. Madrid : Ediciones Paraninfo, S.A., 2016.

**AKINOLA, Adeniyi.** *Eco-marathon Car Driving Pattern and Miles Per Gallon*. 2016.

**Alonso, Carlos.** *Soldadura TIG de aluminio y aleaciones*. Madrid : Ediciones Paraninfo, S.A., 2017.

**Álvarez, Manuel.** *Convertidores de frecuencia, controladores de motores y SSR*. Barcelona : Marcombo, 2000.

**Amazon.** [En línea] 2017. <https://www.amazon.com/WPHMOTO-Brushed-Electric-Sprocket-Scooter/dp/B078Q4NT79>.

**Amazon.** [En línea] 2018. <https://www.amazon.com/-/es/Turnigy-Graphene-Panther-Bater%C3%ADa-6000/dp/B07M915N4G>.

**Amazon.** [En línea] 25 de Septiembre de 2017. <https://www.amazon.com/-/es/controlador-velocidad-acelerador-el%C3%A9ctrico-bicicleta/dp/B075WRV59K?th=1>.

**Autopista.es.** [En línea] 23 de Mayo de 2014. [https://www.autopista.es/noticias-motor/shell-eco-marathon-los-prototipos-que-menos-consumen\\_133467\\_102.html](https://www.autopista.es/noticias-motor/shell-eco-marathon-los-prototipos-que-menos-consumen_133467_102.html).

**Berenson, Mark y Levine, David.** *Estadística básica en administración: conceptos y aplicaciones*. México : Pearson Educación, 1996.

**Bridgewater, Allan.** *Energías alternativas. Handbook*. Madrid : Editorial Paraninfo, 2009.

**BUDYNAS, Richard & NISBETT, Keith.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Vol. 9na. 2008. pp. 0–117.

**Cajamarca, Paúl & Vásquez Christian.** *Diseño y construcción de la carrocería para el prototipo de competencia Shell Eco-Marathon* [en línea]. Proyecto de fin carrera. Universidad del Azuay, Cuenca, 2016. [Consulta: 20 de mayo de 2021]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6258/1/12456.pdf>

**CALVO, J y MIRAVETE, Antonio.** *Mecánica del automóvil (actualizada)*. Barcelona : Reverte, 2021.

**Central de Repuesto TR.** [En línea] 2016. <http://centralderepuestostr.com/bastidor/>.

**Enciclopedia Británica.** centro de gravedad, Definición y hechos. [en línea] 2021. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/centre-of-gravity> [Consultado el 08 de junio de 2021].

**Energía Renovable.** [En línea] 20 de Junio de 2021. <https://www.energias-renovables.com/movilidad/20190710>.

**EVANGELOS, Ch, GEORGIOS, E y Sofoklis, S.** *Electric Car Chassis for Shell Eco Marathon Competition: Design, Modelling and Finite Element Analysis.* s.l. : MPDI, 2019.

**Gómez, Iván.** *Mantenimiento electromecánico de motores eléctricos.* Madrid : Ediciones Paraninfo, S.A., 2020.

**Grandes, José & Totoy Paúl.** Diseño y construcción de un vehículo con motor de combustión interna mediante el análisis cae para la competencia Shell Eco-Marathon [en línea]. Proyecto de fin carrera. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2018. [Consulta: 22 de mayo de 2021]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13827/1/65T00345.pdf>

**Izquierdo, Mikel.** *Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte / Biomechanics and Neuromuscular Bases of Physical Activity and Sport.* Madrid : Ed. Médica Panamericana, 2008.

**Make The Future.** [En línea] 2020. <https://www.makethefuture.shell/en-gb/shell-eco-marathon>.

**Morocho, Jaime y Rivera, Jose.** DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL TREN DE PROPULSIÓN ELÉCTRICO PARA LA COMPETENCIA ECO SHELL MARATHON. [En línea] 2020. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13825/1/65T00343.pdf>.

**ROJAS PERILLA, Johan Sebastian.** Diseño y análisis por elementos finitos de una prótesis transtibial. *Universidad Libre.* 2018. P. 93.

**Semeru Team.** *Kumbolo Electric Vehicle for Shell Eco-Marathon Asia 2018 [ video ].* Youtube : s.n., 3 de Octubre de 2017.

**Shell Eco-marathon.** [En línea] 2021. [https://base.makethefuture.shell/en\\_gb/service/api/home/shell-eco-marathon/global-rules/\\_jcr\\_content/root/content/document\\_listing/items/download.stream/1598906823204/311003400ef3284afdeb403265a7b6001dfb9b7b/shell-eco-marathon-2021-official-rules-chapter-](https://base.makethefuture.shell/en_gb/service/api/home/shell-eco-marathon/global-rules/_jcr_content/root/content/document_listing/items/download.stream/1598906823204/311003400ef3284afdeb403265a7b6001dfb9b7b/shell-eco-marathon-2021-official-rules-chapter-)

**Shell.** *Tech Tips - Roll Bars & Safety Belts | Shell Eco-marathon [ video ].* Youtube : s.n., 2018.

**Shell.** *Tech Tips - Vehicle Design - Shell Eco-marathon [ video ].* Youtube : s.n., 27 de Junio de 2018.

**Shell Eco-marathon Americas.** [En línea] 2019. <https://www.makethefuture.shell/en-gb/shell-eco-marathon/virtual-programme/sem-americas>.

**Shell Eco-marathon Asia.** [En línea] 2019. [https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon/asia/results-and-awards/\\_jcr\\_content/par/tabbedcontent\\_1237208993/tab\\_1168403873/textimage.stream/1557301339084/2a3b92869a72773346cd2a9fc8f22e341943f4ef/prototypes-final-on-track-awards-shell-eco-mara](https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon/asia/results-and-awards/_jcr_content/par/tabbedcontent_1237208993/tab_1168403873/textimage.stream/1557301339084/2a3b92869a72773346cd2a9fc8f22e341943f4ef/prototypes-final-on-track-awards-shell-eco-mara).

**TECNOLOGÍA.** *Universitarios UTEC ganan competencia con diseño de prototipo de vehículo eléctrico.* [En línea] 14 de Abril de 2021. <https://gestion.pe/tecnologia/universitarios-utec-ganan-competencia-con-diseno-de-vehiculo-electrico-noticia/?ref=gesr>.

**Tintaya, Eliseo.** Como extraer muestra finita. [En línea] 21 de Agosto de 2015. <https://es.slideshare.net/eliseotintaya/como-extraer-muestra-finita>.

**Torres, Mariela, Paz, Karim y Galarza, Federico.** *Tamaño de una muestra para una investigación de mercado.* s.l. : Boletín Electrónico, 2006. Vol. 2.

**Universidad de Ingeniería y Tecnología - UTEC.** *Conoce el primer vehículo eléctrico diseñado por estudiantes de UTEC [ video ].* Youtube : s.n., 2021.

**Velasco, Emilio, Sánchez, Miguel y Peral, Ramón.** *XXI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica: Libro de Artículos.* Elche : Universidad Miguel Hernández, 2016.

**Vivanco, Manuel.** *Muestreo Estadístico. Diseño Y Aplicaciones.* Santiago de Chile : Editorial Universitaria, 2005.

**Welo, Torgeir, Bjørset, Oluf & Rølvåg, Terje.** Lean Systems Engineering (LSE): Hands-on Experiences in Applying LSE to a Student Eco-Car Build Project, 2013. *ScienceDirect* [ en línea]. Trondheim: no.10 [Consulta: 24 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.01.052>

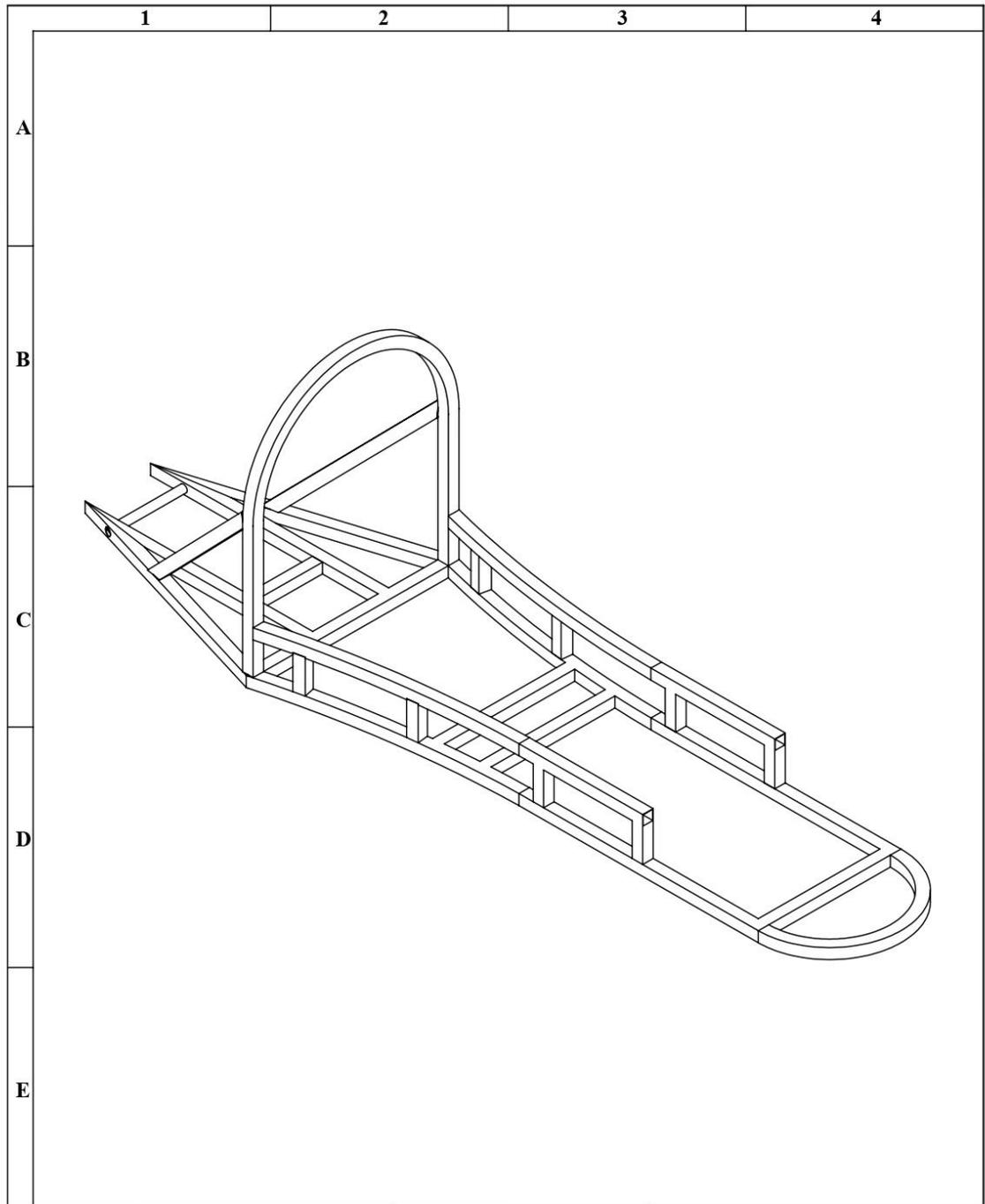
## ANEXOS

**Anexo A:** Altura y Peso Promedio de los Estudiantes de Ingeniería Automotriz acorde al tamaño de la muestra

Ítem	Estatura (m)	Peso (kg)
1	1,69	72
2	1,70	80
3	1,72	70
4	1,65	65
5	1,72	75
6	1,75	65
7	1,70	78
8	1,50	50
9	1,70	75
10	1,76	95
11	1,65	70
12	1,60	60
13	1,65	75
14	1,71	85
15	1,73	65
16	1,75	85
17	1,60	62
18	1,49	60
19	1,72	79
20	1,78	82
21	1,67	65
22	1,74	79
23	1,68	72,72
24	1,60	51
25	1,70	70
26	1,75	80
27	1,70	56
28	1,67	90
29	1,75	85
30	1,78	76
31	1,66	52
32	1,68	80
33	1,70	69
34	1,70	60
35	1,68	65
36	1,73	75

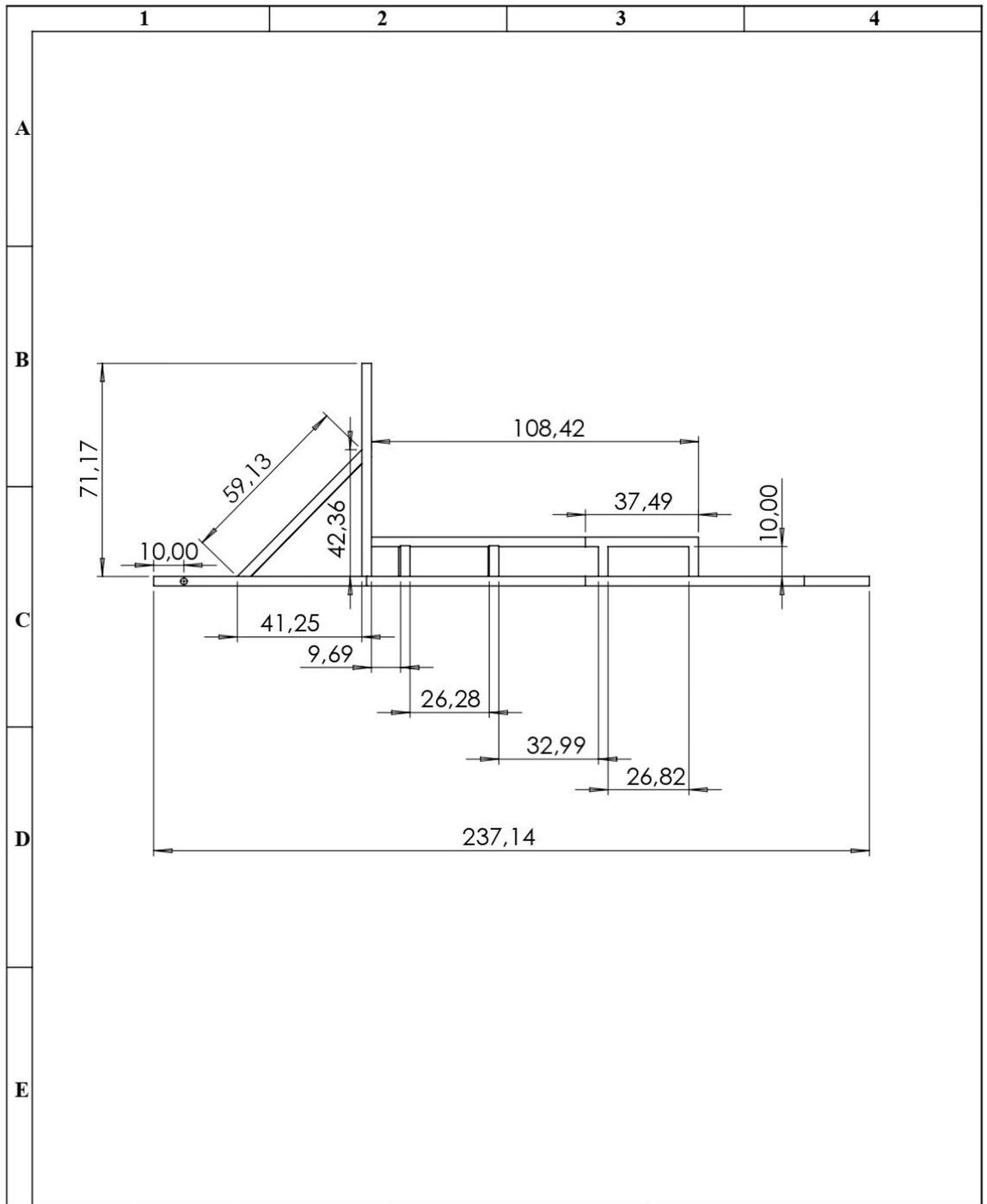
37	1,58	60
38	1,69	52
39	1,70	82
40	1,70	61
41	1,82	88
42	1,67	67
43	1,60	85
44	1,65	64
45	1,56	60
46	1,61	64
47	1,70	100
48	1,76	90
49	1,75	82
50	1,63	70
51	1,60	73
52	1,68	87
53	1,65	70
54	1,75	65
55	1,57	55,33
56	1,78	85
57	1,81	100
58	1,62	60
59	1,68	70
60	1,57	55
61	1,60	58
62	1,71	78
<b>Promedio</b>	<b>1,680645161</b>	<b>71,85564516</b>

**Anexo B: Vista General de la Estructura del Chasis**



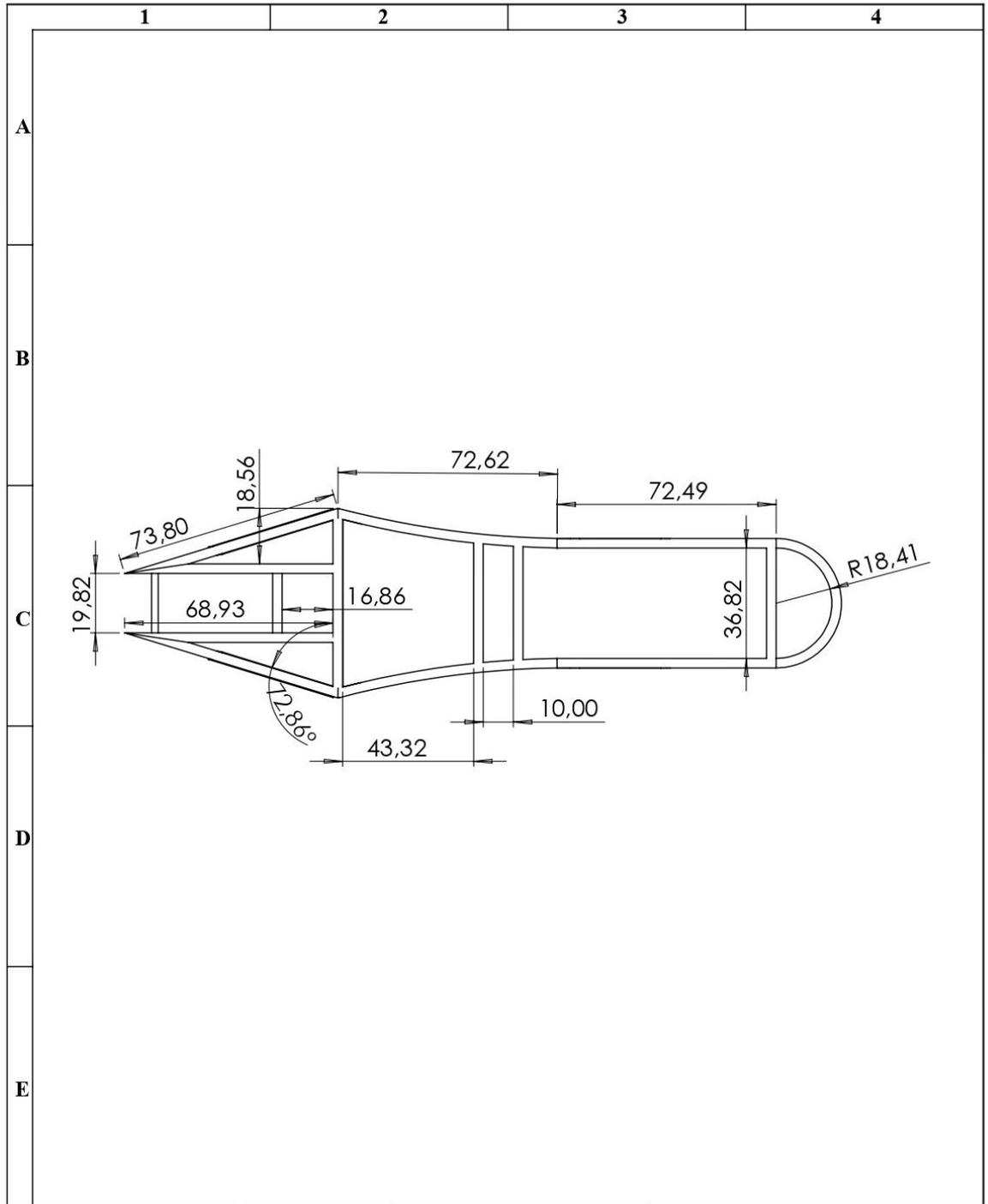
N°. Lámina: 1 de 4		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIA-IC-10-2021		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
Email: Teléfonos:						<b>Vista Isométrica</b> <b>Chasis</b>		Peso [Kg]		Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha		5,224			±0.03 [cm]	1:11			
Proyectó	Bryan Moreta		2021/10/27		Materiales: Aluminio 6063 T5		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE B.M. Y.M.P. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó	Marcelo Patache		2021/10/27									
Revisó					Nombre de archivo: Estructura Chasis							
Aprobó												

**Anexo C: Cotas de la Vista Lateral de la Estructura del Chasis (cm)**



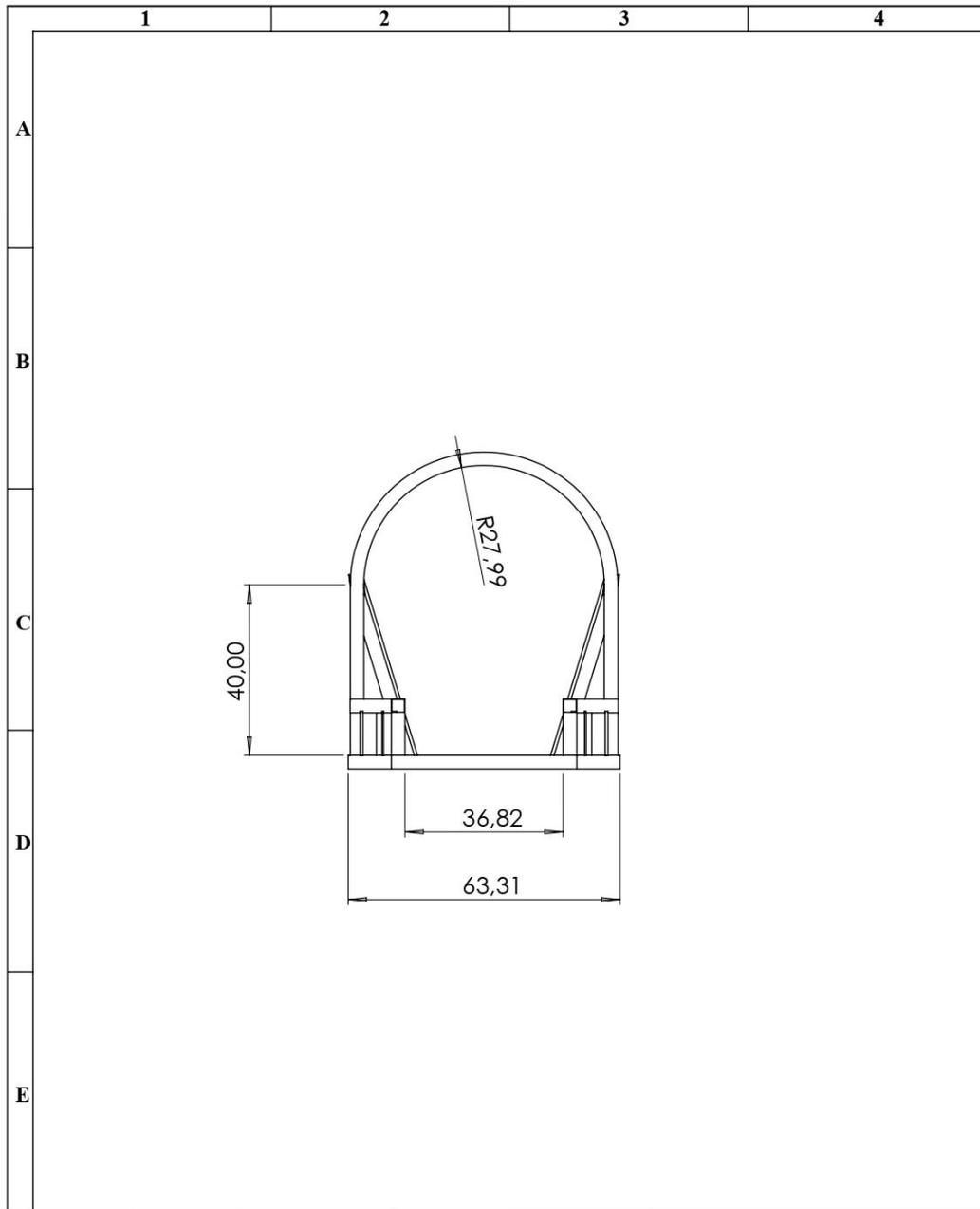
N°. Lámina: 2 de 4		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIA-IC-10-2021		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
Email:						Denominación:						Peso [Kg]	Tolerancia
Teléfonos:						<b>Vista Lateral</b> <b>Chasis</b>		5,224	±0.03 [cm]	1:17			
Datos	Nombre	Firma	Fecha					Materiales:		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE B.M. Y M.P. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Proyectó	Bryan Moreta		2021/10/27					Aluminio 6063 T5					
Dibujó	Marcelo Patache		2021/10/27			Nombre de archivo:							
Revisó						Estructura Chasis							
Aprobó													

**Anexo D: Costa Vista Superior de la Estructura del Chasis (cm)**



N°. Lámina: 3 de 4		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIA-IC-10-2021		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
Email: Teléfonos:						<b>Vista Superior</b> <b>Chasis</b>					
Datos		Nombre		Firma							
Proyectó		Bryan Moreta				2021/10/27		5,224	±0.03 [cm]	1:17	
Dibujó		Marcelo Patache				2021/10/27		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE B.M. Y.M.P. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Revisó											
Aprobó											

**Anexo E: Cotas de la Vista Frontal de la Estructura del Chasis (cm)**



N°. Lámina: 4 de 4		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIA-IC-10-2021		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
Email: Teléfonos:						<b>Vista Frontal</b> <b>Chasis</b>		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma				Fecha		5,224		±0.03 [cm]		1:12	
Proyectó		Bryan Moreta				2021/10/27		Materiales: Aluminio 6063 T5		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE B.M. Y M.P. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó		Marcelo Patache				2021/10/27									
Revisó								Nombre de archivo: Estructura Chasis							
Aprobó															