



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

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

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y  
CARROCERÍA DE UN PROTOTIPO DE VEHICULO  
IMPULSADO POR ENERGÍA SOLAR PARA LA  
COMPETENCIA EN EL WORLD SOLAR CHALLENGE”**

**RÍOS JÁTIVA JAIRO RICARDO  
RODRÍGUEZ RAMÓN YONDER JAMIL**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN** **TIPO: PROPUESTAS TECNOLÓGICAS**

Previa a la obtención del Título de:

## **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**Riobamba–Ecuador  
2017**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL  
TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2016-12-05

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

**RÍOS JÁTIVA JAIRO RICARDO**

---

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y CARROCERÍA DE UN  
PROTOTIPO DE VEHÍCULO IMPULSADO POR ENERGÍA SOLAR PARA  
LA COMPETENCIA EN EL WORLD SOLAR CHALLENGE”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo  
**DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano  
**ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL  
TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2016-12-05

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

RODRÍGUEZ RAMÓN YONDER JAMIL

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y CARROCERÍA DE UN  
PROTOTIPO DE VEHÍCULO IMPULSADO POR ENERGÍA SOLAR PARA  
LA COMPETENCIA EN EL WORLD SOLAR CHALLENGE”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo  
**DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano  
**ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE: RÍOS JÁTIVA JAIRO RICARDO**

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y CARROCERÍA DE UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO IMPULSADO POR ENERGÍA SOLAR PARA LA COMPETENCIA EN EL WORLD SOLAR CHALLENGE”**

**Fecha de Examinación: 2017-10-05**

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano <b>ASESOR</b>			

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

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

---

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

---

Ing. José Francisco Pérez Fiallos  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE: RODRÍGUEZ RAMÓN YONDER JAMIL**

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN  
DEL BASTIDOR Y CARROCERÍA DE UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO  
IMPULSADO POR ENERGÍA SOLAR PARA LA COMPETENCIA EN EL  
WORLD SOLAR CHALLENGE”**

**Fecha de Examinación: 2017-10-05**

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano <b>ASESOR</b>			

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

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

---

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

---

Ing. José Francisco Pérez Fiallos  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Nosotros, RÍOS JÁTIVA JAIRO RICARDO y RODRÍGUEZ RAMÓN YONDER JAMIL, egresados de la Carrera de INGENIERÍA AUTOMOTRIZ de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, autores del trabajo de titulación denominado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y CARROCERÍA DE UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO IMPULSADO POR ENERGÍA SOLAR PARA LA COMPETENCIA EN EL WORLD SOLAR CHALLENGE**”, nos responsabilizamos en su totalidad del contenido en su parte intelectual y técnica, y me someto a cualquier disposición legal en caso de no cumplir con este precepto.

---

**Ríos Játiva Jairo Ricardo**

Cédula de Identidad: 100373620-2

---

**Rodríguez Ramón Yonder Jamil**

Cédula de Identidad: 110475255-3

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Ríos Játiva Jairo Ricardo y Rodríguez Ramón Yonder Jamil, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Ríos Játiva Jairo Ricardo**

Cédula de Identidad: 100373620-2

---

**Rodríguez Ramón Yonder Jamil**

Cédula de Identidad: 060381476-5

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación dedico con todo amor y cariño a mis amados padres, Marco Vinicio Ríos Zurita y Mercedes Alicia Játiva Ormaza, por todo el esfuerzo y sacrificio que hicieron para que mi sueño de tener mi profesión se cumpliera, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre estuvieron ahí para brindarme su apoyo incondicional.

A mi amada esposa Diana Bustamante, tu apoyo a sido fundamental, has estado conmigo incluso en los momentos más turbulentos, este camino que he recorrido no ha sido fácil, pero estuviste ahí hasta donde tus alcances lo permitían, te lo agradezco muchísimo mi amor por estar siempre a mi lado.

Y sobre todo dedico este trabajo y esfuerzo que he realizado a mis hijos Gael y Jhair, por ser fuente de inspiración y motivación para poder superarme y darles un futuro mejor

Todos mis familiares que de una u otro forma hicieron que este sueño se haga posible, mis hermanos, María Fernanda Ríos y su esposo William Vázquez, Marco Andrés Ríos y Juliana Salome Ríos, a todos ellos gracias por poner un granito de arena en este proyecto.

A mis profesores y amigos que sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas, y a todas aquellas personas que estuvieron en estos años a mi lado apoyándome.

**Ríos Játiva Jairo Ricardo**



El presente trabajo de titulación quiero dedicarle primero a Dios por brindarme la oportunidad de vivir grandes sueños, por la fortaleza y salud para poder cumplir con todas mis metas planteadas hasta hoy.

Con mucho amor dedicarle todo este logro a mi familia, quienes apostaron el todo por mis sueños: A mi madre Luz María Ramón, pilar fundamental de mi vida y amor incondicional; mi padre Guillermo Rodríguez, fortaleza, enseñanza y apoyo; mi hermano Luis Rodríguez un verdadero amigo, concejero y padre para mí; mi hermana María Rodríguez por hacerme ver la vida diferente mi confidente y confidente.

Con todo el cariño, amor y orgullo dedico este trabajo y sacrificio, a mi compañera de vida y amiga: esposa mía eres dedicación, entrega, respaldo y apoyo.

A James Alejandro Rodríguez Aguiar mi hijo, motor que mueve mi vida, mi vida: por ser el que llena mis días de alegría y mucho amor.

**Rodríguez Ramón Yonder Jamil**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente doy gracias a Dios, por darme salud y sabiduría para concluir con mis estudios y así obtener mi título como ingeniero en mecánica automotriz

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil para la sociedad.

Gracias a mis tutores el Ing. Bolívar Cuical y el Ing. Luis Buenaño, gracias por compartir sus conocimientos y sobre todo la paciencia, dedicación, motivación y criterio ya que con su apoyo se hizo más fácil finalizar este trabajo.

Gracias a mi estimado amigo y compañero de trabajo Yonder Rodríguez, por su colaboración, por apoyar con sus conocimientos, y que a pesar de los obstáculos que se presentaron, logramos concluir de una manera satisfactoria nuestro trabajo de titulación.

**Ríos Játiva Jairo Ricardo**

Agradezco a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por darme la oportunidad de pertenecer a tan gloriosa escuela.

A mis padres Luz Ramón y Guillermo Rodríguez por der la base fundamental de mi vida, por su gran apoyo económico y moral, por inculcar en mí grandes valores, como el respeto, la responsabilidad, honestidad y lealtad hacia mis sueños.

A mi esposa y amiga Maritza Aguiar por siempre estar a mi lado en las buenas y malas, por brindarme su amor, estima y entrega, por apoyarme en la culminación de mis estudios.

A mis hermanos: Luis y María Rodríguez Ramón, Por sus consejos, motivación y aliento, para que pueda culminar con esta etapa de mi vida.

Gracias totales.

**Rodríguez Ramón Yonder Jamil**

# CONTENIDO

Pág.

## 1. MARCO REFERENCIAL

1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Planteamiento del problema.....	2
1.3	Justificación .....	2
1.3.1	<i>Justificación teórica.....</i>	2
1.3.2	<i>Justificación metodológica. ....</i>	3
1.3.3	<i>Justificación práctica.....</i>	4
1.4	Objetivos.....	4
1.4.1	<i>Objetivo general.. ....</i>	4
1.4.2	<i>Objetivos específicos: .....</i>	4

## 2. MARCO TEÓRICO

2.1	Energía solar .....	6
2.2	Carrera Solar Atacama.....	7
2.2.1	<i>Categorías.....</i>	7
2.2.2	<i>Reglamentación. ....</i>	8
2.2.3	<i>Equipos participantes de la Carrera Solar Atacama. ....</i>	9
2.3	Vehículo solar .....	10
2.3.1	<i>Componentes de un vehículo Solar.....</i>	11
2.3.2	<i>Funcionamiento de un vehículo solar.....</i>	11
2.4	Bastidor .....	12
2.4.1	<i>Tipos de bastidores. ....</i>	13
2.4.2	<i>Materiales para la construcción del bastidor.....</i>	14
2.5	Carrocería.....	15
2.5.1	<i>Clasificación de las carrocerías. ....</i>	16
2.5.2	<i>Materiales para la construcción de la carrocería.....</i>	18
2.6	Cargas de diseño .....	19
2.7	Cálculo del centro de masa .....	21
2.8	Tracción, Compresión y Flexión .....	21
2.8.1	<i>Tracción. ....</i>	21
2.8.2	<i>Compresión. ....</i>	22
2.8.3	<i>Flexión. ....</i>	22
2.9	Calculo aerodinámico. ....	22
2.9.1	<i>Número de Reynolds. ....</i>	22
2.9.2	<i>Número de match. ....</i>	23
2.9.3	<i>Coefficiente de Sustentación. ....</i>	24
2.9.4	<i>Carga aerodinámica. ....</i>	25
2.9.5	<i>Resistencia aerodinámica. ....</i>	25
2.9.6	<i>Coefficiente de arrastre. ....</i>	26
2.9.7	<i>Fineza.....</i>	27
2.10	Sistemas CAD-CAM-CAE .....	27
2.11	ANSYS .....	28

<b>3.</b>	<b>DISEÑO DEL BASTIDOR Y CARROCERIA</b>	
3.1	Parámetros de diseño del bastidor .....	30
3.2	Variables de diseño del bastidor .....	30
3.2.1	<i>Peso</i> .....	30
3.2.2	<i>Dimensiones</i> .....	30
3.2.3	<i>Espacio y ergonomía</i> . ....	31
3.2.4	<i>Seguridad del ocupante</i> . ....	31
3.2.5	<i>Rigidez</i> . ....	32
3.3	Diseño del bastidor asistido por software .....	32
3.3.1	<i>Selección del material</i> .....	36
3.3.2	<i>Cálculos del bastidor</i> .....	39
3.3.3	<i>Análisis estático</i> . ....	45
3.3.4	<i>Análisis dinámico</i> .....	50
3.4	Parámetros de diseño de la carrocería.....	53
3.5	Variables de diseño .....	54
3.5.1	<i>Peso</i> .....	54
3.5.2	<i>Aerodinámica del vehículo</i> . ....	54
3.6	Material para la carrocería .....	54
3.6.1	<i>Especificaciones técnicas de la fibra de vidrio</i> . ....	55
3.7	Diseño CAD de la carrocería .....	56
3.8	Análisis aerodinámico.....	56
3.8.1	<i>Energía cinética de turbulencia</i> .....	60
3.8.2	<i>Tasa de disipación de la turbulencia</i> .....	60
3.8.3	<i>Presión</i> .....	61
3.9	Cálculos Aerodinámicos .....	62
3.9.1	<i>Numero de Reynolds</i> .....	62
3.9.2	<i>Número de Match</i> .....	62
3.9.3	<i>Fineza</i> .....	62
3.9.4	<i>Coefficiente de sustentación</i> .....	63
3.9.5	<i>Coefficiente de arrastre</i> .....	63
<b>4.</b>	<b>CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y CARROCERIA</b>	
4.1	Pruebas del material del bastidor.....	64
4.2	Ensayo de resistencia a la tracción. ....	64
4.3	Ensayo de resistencia a la compresión.....	67
4.4	Análisis de los resultados.....	67
4.5	Construcción del bastidor .....	70
4.5.1	<i>Soldadura</i> .....	73
4.6	Construcción de la carrocería .....	74
4.7	Construcción del molde o matriz .....	74
4.7.1	<i>Trazado en el triplex</i> . ....	75
4.7.2	<i>Corte del triplex</i> . ....	75
4.7.3	<i>Ensamble de los elementos</i> . ....	75
4.7.4	<i>Bordes de la carrocería</i> . ....	76
4.8	Construcción de la carrocería empleando fibra de vidrio .....	76
4.8.1	<i>Materiales para la construcción de la carrocería</i> . ....	76
4.8.2	<i>Aplicación de cera</i> . ....	80
4.8.3	<i>Distribución del desmoldante en la superficie</i> . ....	80
4.8.4	<i>Aplicación de capa fina de Yielcold</i> . ....	81

4.8.5	<i>Aplicación de la resina poliéster.</i> .....	81
4.8.6	<i>Colocación de la fibra de vidrio.</i> .....	81
4.8.7	<i>Masillado de la superficie.</i> .....	82
4.8.8	<i>Proceso de pulido.</i> .....	83
4.8.9	<i>Proceso de pintado.</i> .....	83
4.8.10	<i>Pulido y acabado final.</i> .....	84

## **5. PRESUPUESTO**

5.1	Costos directos .....	85
5.2	Costos indirectos .....	86
5.3	Costos totales .....	86

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1	Conclusiones .....	87
6.2	Recomendaciones .....	89

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## **PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-2.</b> Equipos participantes CSA16.....	9
<b>Tabla 1-3.</b> Alternativas de selección .....	36
<b>Tabla 2-3.</b> Criterios de Valorización, Peso Específico .....	37
<b>Tabla 3-3.</b> Propiedades mecánicas del aluminio .....	37
<b>Tabla 4-3.</b> Propiedades mecánicas del acero ASTM A 500 .....	37
<b>Tabla 5-3.</b> Tabla de ponderación para criterios de valorización .....	38
<b>Tabla 6-3.</b> Ponderación de los criterios de valorización .....	38
<b>Tabla 7-3.</b> Propiedades mecánicas del Aluminio 6061-T6.....	39
<b>Tabla 8-3.</b> Parámetros para el análisis aerodinámico.....	57
<b>Tabla 9-3.</b> Parámetros para realizar el análisis aerodinámico.....	58
<b>Tabla 1-4.</b> Resultados, ensayos de tracción .....	68
<b>Tabla 2-4.</b> Resultados, ensayos de compresión .....	69
<b>Tabla 3-4.</b> Resultado del ensayo a compresión.....	70
<b>Tabla 1-5.</b> Costos directos para la fabricación del bastidor y la carrocería .....	85
<b>Tabla 2-5.</b> Costos indirectos para la fabricación del bastidor y la carrocería .....	86
<b>Tabla 3-5.</b> Costo total de fabricación del bastidor y la carrocería .....	86

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
<b>Figura 1-2.</b> Aprovechamiento de la Energía Solar Térmica .....	6
<b>Figura 2-2.</b> Aprovechamiento de la Energía Fotovoltaica.....	7
<b>Figura 3-2.</b> Barras estructurales antivuelco .....	9
<b>Figura 4-2.</b> Iron Trike .....	10
<b>Figura 5-2.</b> Antünekul 2.....	11
<b>Figura 6-2.</b> Funcionamiento de un vehículo solar .....	12
<b>Figura 7-2.</b> Bastidor .....	13
<b>Figura 8-2.</b> Bastidor tubular.....	13
<b>Figura 9-2.</b> Carrocería y Chasis .....	16
<b>Figura 10-2.</b> Carrocería con chasis independiente.....	16
<b>Figura 11-2.</b> Elementos exteriores de la carrocería .....	17
<b>Figura 12-2.</b> Elementos interiores de la carrocería .....	18
<b>Figura 13-2.</b> Carrocería con fibra de vidrio .....	19
<b>Figura 14-2.</b> Cargas Aerodinámicas .....	20
<b>Figura 15-2.</b> Elemento sometido a tracción .....	21
<b>Figura 16-2.</b> Elemento sometido a compresión .....	22
<b>Figura 17-2.</b> Elemento sometido a flexión .....	22
<b>Figura 18-2.</b> Fuerza de sustentación .....	24
<b>Figura 19-2.</b> Carga aerodinámica .....	25
<b>Figura 20-2.</b> Comportamiento de un fluido frente a un objeto a gran velocidad.....	26
<b>Figura 21-2.</b> Modelo de vehículo hecho en un programa CAD .....	27
<b>Figura 22-2.</b> CAE, Ingeniería Asistida por Computadora .....	28
<b>Figura 23-2.</b> ANSYS .....	28
<b>Figura 1-3.</b> Parámetros ergonómicos para el diseño de la cabina del vehículo .....	31
<b>Figura 2-3.</b> Boceto inicial del bastidor .....	32
<b>Figura 3-3.</b> Bosquejo de la base del bastidor .....	33
<b>Figura 4-3.</b> Bosquejo barra antivuelco frontal .....	33
<b>Figura 5-3.</b> Bosquejo barra antivuelco posterior .....	33
<b>Figura 6-3.</b> Bosquejo barras antivuelco .....	34
<b>Figura 7-3.</b> Vista frontal, diseño ergonómico de la cabina.....	34
<b>Figura 8-3.</b> Vista Lateral, diseño ergonómico de la cabina .....	35
<b>Figura 9-3.</b> Vista lateral de la cabina .....	35
<b>Figura 10-3.</b> Vista frontal de la cabina .....	35
<b>Figura 11-3.</b> Boceto en 3D.....	36
<b>Figura 12-3.</b> Alternativas de selección .....	37
<b>Figura 13-3.</b> Aluminio 6061-T6 .....	38
<b>Figura 14-3.</b> Estructura del bastidor .....	39
<b>Figura 15-3.</b> Distancia entre ejes al centro de masa .....	40
<b>Figura 16-3.</b> Fuerza centrífuga .....	43
<b>Figura 17-3.</b> Componentes de la fuerza centrífuga.....	44

<b>Figura 18-3.</b> Mallado de la estructura.....	45
<b>Figura 19-3.</b> Fuerzas aplicadas en los arcos principal y secundario.....	47
<b>Figura 20-3.</b> Resultados del análisis de los arcos principal y secundario.....	47
<b>Figura 21-3.</b> Aplicación de la fuerza en X.....	48
<b>Figura 22-3.</b> Resultado análisis fuerza axial en X.....	48
<b>Figura 23-3.</b> Aplicación de la fuerza en X.....	49
<b>Figura 24-3.</b> Resultado análisis fuerza axial en Y.....	49
<b>Figura 25-3.</b> Factor de Seguridad.....	50
<b>Figura 26-3.</b> Análisis dinámico, velocidad 50 Km/h.....	51
<b>Figura 27-3.</b> Resultado de la deformación máxima.....	51
<b>Figura 28-3.</b> Resultado del esfuerzo máximo.....	52
<b>Figura 29-3.</b> Análisis dinámico, velocidad 50 Km/h.....	52
<b>Figura 30-3.</b> Resultado de la deformación máxima.....	53
<b>Figura 31-3.</b> Resultado del esfuerzo máximo.....	53
<b>Figura 32-3.</b> Modelado de la carrocería.....	56
<b>Figura 33-3.</b> Túnel de Viento.....	57
<b>Figura 34-3.</b> Mallado.....	58
<b>Figura 35-3.</b> Métrica del mallado.....	58
<b>Figura 36-3.</b> Animación de partículas de viento, vista frontal.....	59
<b>Figura 37-3.</b> Animación de partículas de viento, vista lateral.....	59
<b>Figura 38-3.</b> Animación de partículas de viento,.....	59
<b>Figura 39-3.</b> Energía cinética de turbulencia.....	60
<b>Figura 40-3.</b> Tasa de disipación de la turbulencia.....	61
<b>Figura 44-3.</b> Análisis de la presión de aire sobre la carrocería.....	61
<b>Figura 1-4.</b> Ubicación de tapones para muestra de ensayo de tracción en muestras.....	65
<b>Figura 2-4.</b> Máquina universal.....	66
<b>Figura 3-4.</b> Probeta para el ensayo de tracción.....	66
<b>Figura 4-4.</b> Probeta de ensayo a límite de ruptura.....	66
<b>Figura 5-4.</b> Probeta para el ensayo de compresión.....	67
<b>Figura 6-4.</b> Prueba de resistencia a compresión.....	67
<b>Figura 7-4.</b> Proceso de soldadura de la base.....	70
<b>Figura 8-4.</b> Construcción de la base.....	71
<b>Figura 9-4.</b> Construcción de las protecciones laterales.....	71
<b>Figura 10-4.</b> Construcción de la cabina.....	71
<b>Figura 11-4.</b> Construcción barras antivuelco.....	72
<b>Figura 12-4.</b> Construcción del Bastidor, Vista 1.....	72
<b>Figura 13-4.</b> Construcción del Bastidor, Vista 2.....	72
<b>Figura 14-4.</b> Construcción del Bastidor, Vista 3.....	73
<b>Figura 15-4.</b> Aplicación del proceso de soldadura TIG.....	73
<b>Figura 16-4.</b> Cordones de soldadura aplicados al bastidor.....	74
<b>Figura 17-4.</b> Proceso de construcción de la matriz.....	74
<b>Figura 18-4.</b> Trazado en el triplex.....	75
<b>Figura 19-4.</b> Recortes de las formas a tomar del fondo plano.....	75
<b>Figura 20-4.</b> Ensamble de los elementos.....	75



<b>Figura 21-4.</b> Bordes de la carrocería.....	76
<b>Figura 22-4.</b> Proceso de construcción de la carrocería .....	76
<b>Figura 23-4.</b> Fibra de vidrio tipo E .....	77
<b>Figura 24-4.</b> Yielcold.....	77
<b>Figura 25-4.</b> Catalizador .....	78
<b>Figura 26-4.</b> Desmoldante .....	78
<b>Figura 27-4.</b> Cera .....	78
<b>Figura 28-4.</b> Cobalto.....	79
<b>Figura 29-4.</b> Resina poliéster.....	80
<b>Figura 30-4.</b> Aplicación de la cera.....	80
<b>Figura 31-4.</b> Distribución homogénea del desmoldante .....	80
<b>Figura 32-4.</b> Aplicación de Yielcold .....	81
<b>Figura 33-4.</b> Aplicación de resina poliéster .....	81
<b>Figura 34-4.</b> Aplicación de la fibra de vidrio .....	82
<b>Figura 35-4.</b> Masillado en las superficies .....	82
<b>Figura 36-4.</b> Pulido .....	83
<b>Figura 37-4.</b> Fondo gris .....	83
<b>Figura 38-4.</b> Aplicación de pintura.....	84
<b>Figura 39-4.</b> Resultado final .....	84

## LISTA DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
<b>Gráfico 1-2.</b> Componentes de un vehículo solar.....	11
<b>Gráfico 1-3.</b> Centro de Masa.....	40
<b>Gráfico 2-3.</b> Métrica del mallado.....	46
<b>Gráfico 3-3.</b> Resultado del factor de seguridad .....	50
<b>Gráfico 1-4.</b> Proceso de construcción de la matriz .....	74
<b>Gráfico 2-4.</b> Proceso de construcción de la carrocería .....	76

## **LISTA DE ANEXOS**

- A.** PROPIEDADES DE LA FIBRA DE VIDRIO TIPO E
- B.** PERFILERÍA DE ALUMINIO
- C.** REGLAMENTO CSA; DIAGRAMAS REFERENCIALES DE CONFIGURACIÓN BÁSICA DE BARRAS ANTIVUELCO

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación es diseñar y construir el bastidor y la carrocería de un vehículo solar de competencia, para lo cual, se aplica la siguiente metodología: Analizar y recopilar información del reglamento de la Carrera Solar de Atacama. Diseñar el bastidor y la carrocería mediante softwares CAD y CAE. Construir el bastidor y la carrocería mediante la selección adecuada de los materiales. El análisis del reglamento se realiza para determinar las características del vehículo solar, como: dimensiones, espacios, y seguridad. Los softwares que se aplican para el diseño de los elementos son Solidworks y Ansys; el modelado CAD se realiza en el Solidworks, Ansys se utiliza para simular el comportamiento del bastidor y la carrocería ante esfuerzos estáticos, dinámicos y aerodinámicos. En la selección de los materiales se determinó, mediante ensayos destructivos, que el Aluminio 6061 T6 es el material adecuado para la construcción del bastidor; en cuanto a la carrocería se determina que la fibra de vidrio es el material adecuado para su construcción. El resultado obtenido fue un vehículo que cumple con los requerimientos del reglamento de la competencia solar y con los parámetros de diseño establecidos en el presente trabajo de titulación, entre los cuales se puede citar los siguientes: peso, dimensiones, espacio y ergonomía, seguridad, rigidez y aerodinámica del vehículo. Por consiguiente se obtuvo en el análisis estático, dinámico y aerodinámico realizado en el Ansys y también de los ensayos de tracción y compresión aplicados. En conclusión, el diseño y la construcción del bastidor y la carrocería se realizaron sin ningún inconveniente y se obtuvo un vehículo ligero, rígido y aerodinámico. Finalmente, se recomienda dar continuidad a la construcción del vehículo solar mediante el desarrollo de otros trabajos de titulación, como por ejemplo: Diseño y Construcción de la suspensión del vehículo en base al Aluminio 6061-T6.

**PALABRAS CLAVE:** <CHASIS (BASTIDOR)>, <CARROCERÍA>, <ANÁLISIS ESTÁTICO>, <ANÁLISIS DINÁMICO>, <ANÁLISIS AERODINÁMICO>, <VEHÍCULO SOLAR>, <ENSAYOS DESTRUCTIVOS>

## ABSTRAC

In this research, the proposal is based on with the objective of designing and constructing the frame and body of a solar vehicle of competence; for this the following methodology is applied as an analysis and compilation of Regulations Solar and Atacama Race. Design the frame and body using CAD (Computer Aided Drawing) and FES (Finite Element Simulation) software. Build the frame and bodywork by selecting the right materials. The analysis about Regulation is made to determine the characteristics of solar vehicle, such as: dimensions, spaces, and safety. The software is applied for the design of elements like: Solidworks and Ansys; CAD model is made in the Solidworks and Ansys is used to simulate the behavior frame and the bodywork before static and aerodynamic efforts. In the selection materials, it was determined by destructive tests that the 6061 Aluminum T6 is the suitable material for construction of frame: the construction is determined that the fiberglass is the material suitable for its construction. The result obtained was a vehicle that meets the requirements of regulations of solar competition and with the design parameters established in the present titling work, among which we can mention the following: weight, dimensions, space and ergonomics, safety, speed and aerodynamics of vehicle. Therefore, it was obtained in the static, dynamic and aerodynamic analysis performed in the Ansys and also in the tests of applied tensile and compression. In conclusion, the design and construction of frame and body were realized without any inconvenience and a light, rigid and aerodynamic vehicle. Finally, it is recommended to give continuity to the construction of the solar vehicle through development of titration works, such as: Design and Construction suspension of the vehicle based on aluminum 6061-T6.

KEY WORDS: <CHASSIS (BASTIDOR)>, <BODYWORK>, <STATIC ANALYSIS>, <DYNAMIC ANALYSIS>, <AERODYNAMIC ANALYSIS>, < SOLAR VEHICLE>, <DESTRUCTIVE TESTS>.

## INTRODUCCIÓN

La energía solar es ecológicamente ventajosa en relación con cualquier otra fuente de energía, pues es renovable y puede generar calor y electricidad. Existen diversas formas de aprovechar los rayos del sol para generar energía, como, por ejemplo, la fotovoltaica (que transforma los rayos en electricidad mediante el uso de paneles solares) la cual es aplicable en la construcción de vehículos solares, los cuales participan en competencias como la Carrera Solar de Atacama.

La Carrera Solar Atacama (CSA) es una competición de vehículos solares que se realiza en Chile y atrae a equipos de todo el mundo que están conformados por grupos de estudiantes y docentes de las universidades más prestigiosas, los cuales se enfrentan al reto de innovar y promocionar ideas para el uso y aprovechamiento de la energía solar, estas ideas son plasmadas en el diseño y construcción de vehículos solares que formarán parte de la competición.

A nivel nacional, ninguna universidad representa al país en dicha competencia y se supone que la causa principal de este problema es el déficit de conocimiento que existe en los estudiantes sobre ese tema. La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en particular la carrera de Ingeniería Automotriz, preocupada por esta situación, pretende impulsar a los estudiantes a investigar y desarrollar su conocimiento en la aplicación de la energía solar en el ámbito automotriz, por lo cual, se ha planteado el presente trabajo de titulación.

Además con la ejecución del trabajo se pretende: a) Desarrollar la creatividad e innovación en futuros profesionales de la ingeniería automotriz. b) Posibilitar la transferencia de conocimientos, sobre la aplicación de la energía solar en el ámbito automotriz, a los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Automotriz. c) Motivar y contar con el apoyo de los estudiantes y docentes para que, por medio de otros trabajos de titulación, se pueda concluir con la construcción del prototipo. d) Viabilizar su participación en competencias de vehículos solares.

## **CAPÍTULO I**

### **1. MARCO REFERENCIAL**

#### **1.1 Antecedentes**

La Carrera Solar de Atacama (CSA) es la primera competencia de vehículos solares en Latinoamérica y se lleva a cabo en el desierto más seco del mundo, con los más altos niveles de radiación, a lo largo de una impresionante geografía. El lanzamiento oficial de la primera carrera solar en América Latina se realizó en octubre de 2009 en el Salón del Automóvil bajo el mando de Leandro Valencia, director general de la ONG La Ruta Solar. (CSA, 2017)

El 30 de septiembre de 2011, once equipos divididos en las categorías Híbrido y Evolución, desafiaron el desierto más árido y seco del mundo. 1060 kilómetros de viaje tuvieron como ganador el Equipo Antakari, para la Categoría Evolución, y el Equipo de Minería de Los Andes, para la categoría híbrida. (CSA, 2017)

En la segunda versión de la Carrera Solar de Atacama, cuatro días de competencia permitieron que Antakari, el equipo comandado por la Universidad de La Serena, y Minera Los Pelambres, ratificaran la condición de ganador en la Categoría de Evolución 2012; Y el primer lugar en la categoría híbrida fue el equipo de ACAPOMIL, de la Academia Politécnica Nacional. (CSA, 2017)

En 2014, en la tercera versión del "Rallye Ecológico Chileno" no todos los competidores pudieron terminar los 1400 KM de largo, y una competición dura coronó al campeón mundial de dos tiempos, Tokai de Japón, y en la categoría híbrida, Geminis Eco Racing Team de Chile. (CSA, 2017)

En 2016 la realización de la cuarta versión del Rally Ecológico de Latinoamérica recorrió 2.300 kilómetros, pasó por tres regiones del país, e incorporó por primera vez en la ruta la Región que lleva su nombre: Atacama. La próxima versión de la Carrera Solar de Atacama, se realizará en el 2018 y será la más larga y dura de todas las carreras de autos solares chilenos que se haya celebrado, a 2500 kilómetros de Santiago a Arica, la ciudad más al norte de Chile.

## **1.2 Planteamiento del problema**

A nivel mundial, muchas universidades que participan en la Carrera Solar de Atacama se enfrentan al reto de innovar y promocionar ideas para el uso y aprovechamiento de la energía solar, estas ideas son plasmadas en el diseño y construcción de vehículos solares que formarán parte de la competición.

A nivel nacional, ninguna universidad representa al país en dicha competencia y se supone que la causa principal de este problema es el déficit de conocimiento que existe en los estudiantes sobre el uso y aprovechamiento de la energía solar en el ámbito automotriz.

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en particular la carrera de Ingeniería Automotriz, preocupada por esta situación, pretende impulsar a los estudiantes a investigar y desarrollar su conocimiento en la aplicación de la energía solar en el ámbito automotriz y el presente trabajo de titulación denominado “Diseño y construcción del bastidor y carrocería de un prototipo de vehículo impulsado por energía solar para la competencia en el World Solar Challenge” es el punto de partida.

Además con la ejecución del mismo se pretende: a) Desarrollar la creatividad e innovación en futuros profesionales de la ingeniería automotriz. b) Posibilitar la transferencia de conocimientos, sobre la aplicación de la energía solar en el ámbito automotriz, a los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Automotriz. c) Motivar y contar con el apoyo de los estudiantes y docentes para que, por medio de otros trabajos de titulación, se pueda concluir con la construcción del prototipo. d) Viabilizar su participación en competencias de vehículos solares y así demostrar que en la Espoch y en el país existe talento capaz de diseñar, construir e innovar vehículos solares.

## **1.3 Justificación**

**1.3.1 Justificación teórica.** El trabajo de titulación propuesto busca, mediante la aplicación de la teoría y los conceptos básicos del ámbito automotriz, el uso y aprovechamiento de la energía solar y el manejo de softwares de diseño y simulación, diseñar y construir el bastidor y la carrocería de un prototipo de vehículo solar para competir en la Carrera Solar de Atacama.



Cabe recalcar que el desarrollo del presente trabajo de titulación le permitirá al investigador contrastar diferentes conceptos, de los conceptos mencionados anteriormente, en una realidad concreta: en el prototipo de un vehículo Solar de competencia.

Además, se espera que el presente trabajo de titulación sea un aporte teórico para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Automotriz, en cuanto al diseño y construcción del bastidor y carrocería para un vehículo solar de competencia se refiere.

**1.3.2** *Justificación metodológica.* Para lograr los objetivos planteados en el presente trabajo de titulación, se acude al empleo de diferentes técnicas de investigación. Para emplear las técnicas adecuadas primero es preciso tener en claro cuáles serán nuestras variables de interés, en este caso la variable principal la constituye el diseño y construcción del bastidor y carrocería; con ello se puede establecer los aspectos relacionados que se tienen que abordar para la elaboración del presente trabajo de titulación.

A partir de lo establecido en el párrafo anterior se va a dividir el desarrollo del trabajo en categorías principales, como se detalla a continuación: a) Analizar el reglamento y características de los componentes mecánicos del vehículo solar. b) Diseñar el chasis del vehículo solar. c) Diseñar la carrocería del vehículo solar. d) Seleccionar los materiales adecuados. e) Construir el bastidor y la carrocería.

Una vez definidos los ítems principales, que se integrarán para dar forma al presente trabajo, se establecerán el enfoque, la modalidad y los niveles del estudio correspondiente.

El diseño del bastidor y la carrocería considerará el enfoque cuantitativo por cuanto se trabajarán con datos numéricos referentes a peso, longitudes, rigidez e hipotéticamente la distribución de masa, entre otros.

Por otro lado, en cuanto a la modalidad del estudio, se recopilará información del reglamento de la Carrera Solar de Atacama, fuentes digitales y bibliográficas, para sustentar el desarrollo del trabajo.

El proyecto demanda de un estudio de carácter exploratorio, porque se parte de un conocimiento teórico que no ha tenido la oportunidad de ser llevado a la práctica. Además se ubica como de carácter descriptivo porque se estudiarán los parámetros de interés teniendo en cuenta que se tiene que escoger un diseño entre algunas alternativas y finalmente todo el trabajo debe llegar a su punto culminante gracias a la construcción del bastidor y la carrocería.

**1.3.3** *Justificación práctica.* La ejecución del presente trabajo de titulación, diseño y construcción del bastidor y la carrocería para el prototipo de un vehículo solar de competencia, aportará al conocimiento de los estudiantes en cuanto al uso y aprovechamiento de la energía solar en el ámbito automotriz.

A su vez, este trabajo, es el punto de partida para impulsar a los estudiantes de la carrera de ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para investigar y desarrollar su conocimiento sobre la aplicación de la energía solar en los vehículos.

Además el trabajo de titulación que se plantea está orientado servir de guía para otros entes o individuos que deseen realizar un trabajo similar.

## **1.4** **Objetivos**

**1.4.1** *Objetivo general.* Diseñar y construir el bastidor y la carrocería de un prototipo de vehículo impulsado por energía solar para la competencia en el World Solar Challenge.

**1.4.2** *Objetivos específicos:*

- Analizar el reglamento de la Carrera Solar de Atacama, y recopilar información sobre las características que debe poseer el vehículo solar, que formará parte de la Escuela de Ingeniería Automotriz.
- Diseñar el bastidor y la carrocería del vehículo solar mediante la aplicación de softwares CAD y CAE, para simular el comportamiento estático, dinámico y aerodinámico del vehículo con el fin de cumplir los parámetros de diseño establecidos.

- Construir el bastidor y la carrocería, mediante la selección adecuada de materiales, buscando reducir el peso total del vehículo y cumplir con todas las especificaciones requeridas.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Energía solar

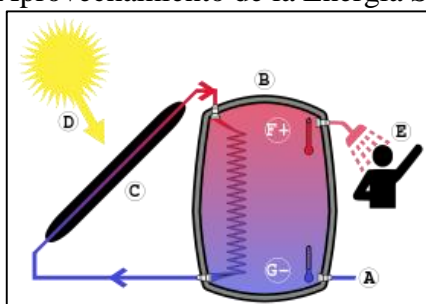
La energía solar es la energía contenida en la radiación solar que es transformada mediante los correspondientes dispositivos, en forma térmica o eléctrica, para su consumo posterior donde se necesite. Además es una de las energías más limpias ya que al ser utilizada no produce contaminación ni efectos adversos al ambiente, como el ruido y emisiones tóxicas.

Existen dos vías principales para el aprovechamiento de la radiación solar:

- Energía Solar Térmica
- Energía Solar Fotovoltaica

El aprovechamiento de la Energía Solar Térmica consiste en utilizar la radiación del sol para calentar un fluido que, en función de su temperatura, se emplea para producir agua caliente e incluso vapor.

Figura 1-2. Aprovechamiento de la Energía Solar Térmica



Fuente: (Inkwibbna, 2009)

El aprovechamiento de la Energía Solar Fotovoltaica se realiza a través de la transformación directa de la energía solar en energía eléctrica mediante el llamado efecto fotovoltaico. Esta transformación se lleva a cabo mediante "células solares que están fabricadas con materiales semiconductores (por ejemplo, silicio) que generan electricidad cuando incide sobre ellos la radiación solar. (Energía Nuclear, 2015)

Figura 2-2. Aprovechamiento de la Energía Fotovoltaica



Fuente: (World Solar Challenge, 2013)

## 2.2 Carrera Solar Atacama

Carrera Solar Atacama es una competencia de vehículos solares que se realiza en Chile, en la cual, se reúnen equipos provenientes de todo el mundo con sus respectivos vehículos solares para recorrer el Desierto de Atacama. La carrera se realiza con el fin de generar innovación e investigación en tecnologías fotovoltaicas, aportar al desarrollo de la movilidad eléctrica y a la formación de emprendedores conscientes sobre la importancia de las energías renovables como impulsoras de una sociedad más sustentable.

La próxima versión de Carrera Solar Atacama 2018, será la más larga y más dura de todas las carreras de coches solares chilenos que se celebra, con 2500 km de Santiago a Arica, la ciudad más al norte de Chile.

**2.2.1 Categorías.** La carrera Solar Atacama está compuesta por las siguientes categorías:

- Evolución
- Híbrido
- Otras categorías

**2.2.1.1 Categoría Evolución.** Los vehículos de esta categoría son impulsados exclusivamente por energía solar. Se caracterizan por presentar un diseño completamente aerodinámico y emplear componentes de última tecnología. Los equipos Evolución

buscan llevar la eficiencia de los vehículos solares hasta niveles nunca antes vistos, alcanzando grandes velocidades. El vehículo consta de 4 ruedas para 1 ocupante cuyo diseño apunta a la eficiencia, incluyendo algunas prestaciones que lo acercan a un vehículo convencional. Su habitáculo se encuentra más centrado y provee mayor ergonomía para el ocupante. (Carrera Solar Atacama)

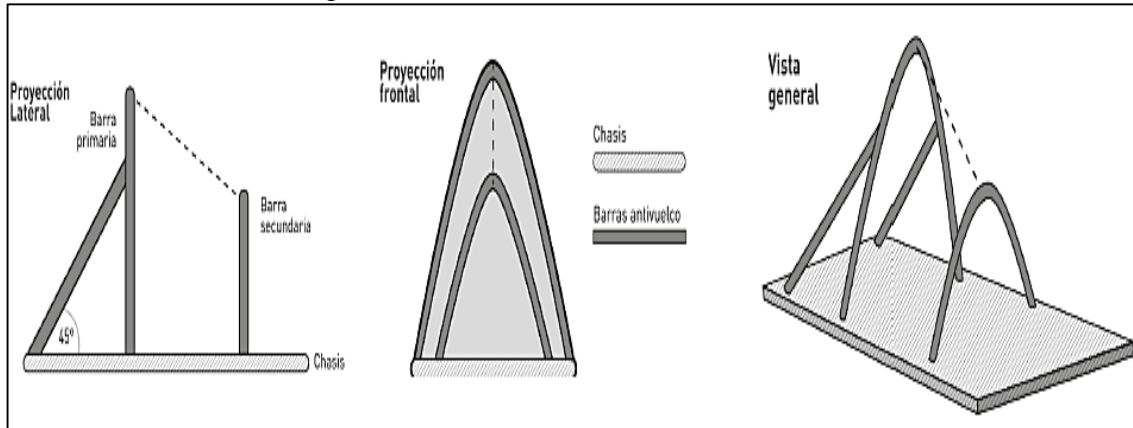
**2.2.2 Reglamentación.** La Carrera Solar de Atacama dispone de un reglamento en el cual se establecen las bases generales y técnicas de la competencia, las mismas que se encuentran disponibles en la siguiente página Carrera Solar Atacama.

Los requerimientos citados a continuación pertenecen a las bases generales de la competencia, y pueden ser aplicables en el diseño y construcción de la carrocería.

- El peso de cada uno de los ocupantes y pasajeros debe ser de al menos 80 [kg], incluyendo su vestimenta, casco y protecciones corporales.
- Los vehículos de la categoría Evolución deberán mantener una velocidad promedio mínima de 50 [km/h].
- La velocidad máxima permitida será de 100 [km/h] en todo momento, excepto donde la señalética de tránsito indique un límite menor. Los equipos cuyos vehículos excedan estos límites serán penalizados.
- **Espacios en Carrocería:**
  - Todos los vehículos participantes del evento deberán disponer de un área de 0,7 [m] de ancho y 0,2 [m] de alto en ambos costados de su carrocería, para uso exclusivo de la Organización.
- **Dimensiones:** El vehículo en movimiento no puede medir más de 4,5 [m] de largo, 1,8 [m] de ancho y 1,8 [m] de alto.
- **Barras antivuelco:** Los vehículos deben incorporar barras estructurales antivuelco en su chasis para prevenir el daño directo a la cabina del ocupante y deformaciones graves en caso de colisión o volcamiento. Deben estar hechas de tubos metálicos

de suficiente resistencia a la tracción, como para proteger al ocupante de una fuerza de 4 veces el peso del vehículo.

Figura 3-2. Barras estructurales antivuelco



Fuente: (Carrera Solar Atacama)

- El vehículo debe ser capaz de detenerse en 12,5 [m] desde una velocidad inicial de 35 [km/h] y en 25 [m] desde una velocidad inicial de 50 [km/h].

**2.2.3 Equipos participantes de la Carrera Solar Atacama.** En la última versión de la Carrera Solar Atacama CSA16 participaron equipos provenientes de las mejores universidades de Chile, Bolivia, Colombia, India, Italia, Perú y Venezuela.

Tabla 1-2. Equipos participantes CSA16

Nº	Equipo	Institución	País	Categoría
1	Alt Katari	Universidad Pública de El Alto	BOLIVIA	Evolución
2	Antakari	Universidad de La Serena	CHILE	Evolución
3	Das-U de C	Universidad de Concepción	CHILE	Evolución
4	DTU-SOLARIS	Delhi Technological University	INDIA	Evolución
5	ESUS	Universidad de Santiago	CHILE	Evolución
6	Onda Solare	Universidad de Bolonia	ITALIA	Evolución
7	USB Solar	Universidad Simón Bolívar	VENEZUELA	Evolución

Fuente: (CASTRO, 2015)

La Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), en representación del Ecuador, participó en una ocasión en la Carrera Solar Atacama CSA 14 con el vehículo híbrido “Iron Trike”.

Figura 4-2. Iron Trike



Fuente: (EL UNIVERSO, 2014)

La universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se enfoca, por medio de diferentes trabajos de titulación, en el diseño y construcción de una Tricicleta Solar que participará en la Carrera Solar Atacama. (Ríos , y otros, 2017)

### 2.3 Vehículo solar

Un vehículo solar es un vehículo propulsado por un motor eléctrico alimentado por energía solar obtenida de paneles solares situados en la superficie del automóvil.

Las celdas fotovoltaicas de sus paneles transforman la energía del sol en electricidad y es utilizada directamente por el motor o bien se almacena en baterías.

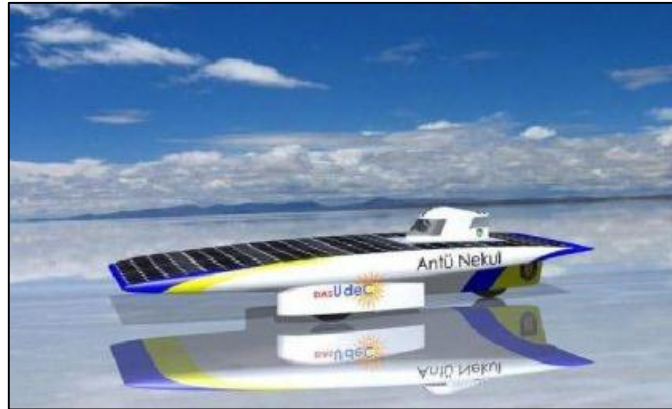
Los automóviles solares compiten en carreras como la Carrera Solar de Atacama donde participan equipos de universitarios y profesionales de empresas como General Motors y Honda. (Canaltic, 2017)

Los vehículos que participan en la Carrera Solar de Atacama se caracterizan por su bajo peso, como por ejemplo:

- El vehículo boliviano *Inti II* pesa aproximadamente 100 kilos. (Smartica, 2016)
- El vehículo boliviano *Alt-Katari MRC2* pesa aproximadamente 120 kilos. (Smartica, 2016)
- El vehículo chileno *Antinekul 2* pesa aproximadamente 219 kilos. (Solar, 2015)



Figura 5-2. Antünekul 2



Fuente: (MPZERO Y Antünekul 2, 2017)

**2.3.1** *Componentes de un vehículo Solar.* Los componentes de un vehículo solar, básicamente, son los siguientes:

Gráfico 1-2. Componentes de un vehículo solar



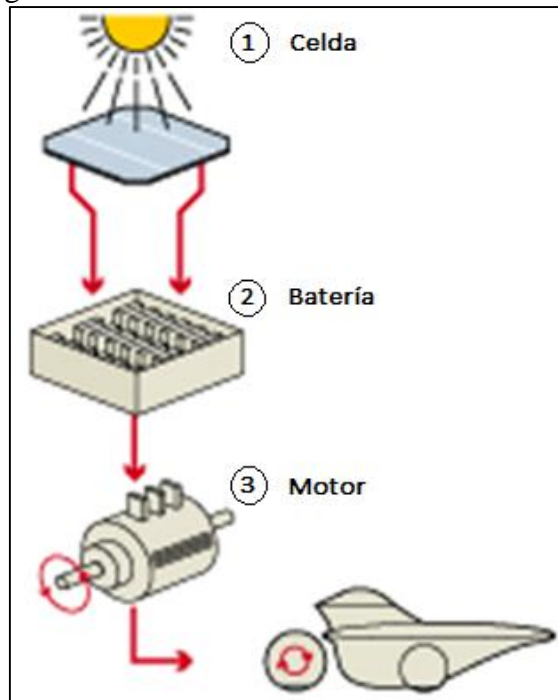
Fuente: Autores

**2.3.2** *Funcionamiento de un vehículo solar*

- La Energía Solar se convierte en electricidad por medio de las celdas fotovoltaicas de los paneles solares, ya que estas tienen la propiedad de producir electrones al absorber fotones de luz. Cuando estos electrones son capturados el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

- La electricidad producida es almacenada en baterías.
- Un controlador recibe la energía de las baterías y mueve un motor eléctrico que por medio de la transmisión mueve las ruedas. El piloto dentro de la cabina tiene los elementos básicos que hay en cualquier Otro auto, como son, volante, acelerador y freno. LO único que no tiene es un "clutch" o embrague, ya que un auto solar no necesita caja de velocidades.

Figura 6-2. Funcionamiento de un vehículo solar



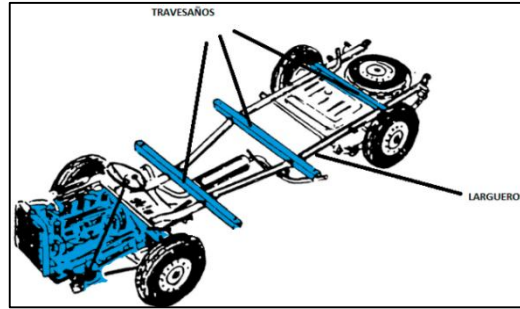
Fuente: (EL UNIVERSAL, 2012)

## 2.4 Bastidor

El bastidor es una estructura rígida en la que se fijan de una forma u otra los distintos elementos y grupos mecánicos que componen el automóvil: motor, grupos de transmisión, carrocerías, etc. El bastidor soporta el peso de todos los elementos del vehículo y el de los ocupantes, además soporta las cargas dinámicas originadas por el funcionamiento de distintos elementos y por el propio movimiento del vehículo.

Un bastidor en su forma fundamental está constituido por dos piezas largas, situadas a cada lado del eje longitudinal del vehículo, llamadas largueros, unidas por medio de otras más cortas, en número variable denominadas travesaños.

Figura 7-2. Bastidor



Fuente: (TODOMECANICA, 2016)

**2.4.1** *Tipos de bastidores.* Los bastidores suelen diseñarse con diferentes formas y geometría, en función de diversas solicitaciones como resistencia, distribución especial de carga, flexiones y torsiones elevadas, etc. Entre los principales tipos de bastidores tenemos:

- Bastidor en Escalera
- Bastidor plataforma
- Bastidor Tubular
- Bastidor Columnar
- Bastidor Autoportante

**2.4.1.1** *Bastidor tubular.* Son estructuras tipo celosía, dando lugar a un conjunto muy rígido y ligero. Este diseño se emplea sobre todo en vehículos de competición, en los que la carrocería exterior tiene una misión estética y aerodinámica. Tienen un elevado coste de fabricación. Creados por necesidad de obtener estructuras ligeras. Podemos encontrarlos en coches deportivos, coches de competición 4x4, buggies y motos. (Muñoz, 2015)

Figura 8-2. Bastidor tubular



Fuente: (Muñoz, 2015)

**2.4.2** *Materiales para la construcción del bastidor.* La ventaja competitiva que se puede lograr con el uso de materiales de gran resistencia y con un bajo peso por unidad de volumen es de gran ayuda para minimizar el peso total del vehículo solar, el cual es un parámetro de gran importancia en el diseño del vehículo solar ya que representa la carga misma que debe mover el vehículo por lo que es de gran ayuda la optimización del mismo. Gracias al avance de la ciencia y tecnología hoy en día se cuenta con una variedad de materiales polímeros, metálicos, o compuestos que permiten optimizar el peso. (Siguenza, y otros, 2012)

A continuación se describe los diferentes tipos de materiales que pueden ser utilizados en la construcción de un bastidor:

- **Titanio:** Elementos fabricados de titanio son usados exitosamente en proyectos de ingeniería tiene muchas otras aplicaciones inclusive en el campo de la salud, por sus altas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión. La desventaja que presenta el titanio es su elevado costo y la dificultad que envuelve su soldadura. (Siguenza, y otros, 2012)
- **Aluminio:** Un bastidor fabricado en aluminio es ligeramente más pesado que uno fabricado en titanio, este es mucho menos costoso y se lo puede conseguir en una amplia gama de perfiles estructurales con varios espesores y además es más fácil de soldar que el titanio. La desventaja que presenta es que pueden aparecer grietas en la soldadura por lo que se requiere de una inspección regular dependiendo de la aplicación de carga a la estructura. (Siguenza, y otros, 2012)
- **Acero:** El acero es ampliamente usado en la construcción de estructuras metálica y varios proyectos de ingeniería debido a su alta soldabilidad, gran resistencia, rigidez, bajo costo y la facilidad que existe de encontrarlo en el mercado en varias formas estructurales y en diferentes espesores, pero la principal desventaja frente al aluminio es su peso ya que es aproximadamente tres veces mayor, y además la corrosión que presenta con el tiempo; lo que no lo hace muy competitivo para ser usado en la estructura del chasis del vehículo solar. (Siguenza, y otros, 2012)

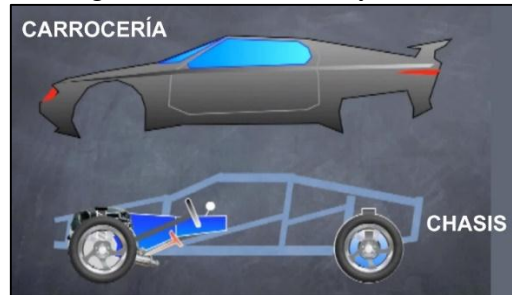
Los principales componentes que ayudan a mejorar las propiedades de los aceros son: (Bermeo, y otros, 2014)

- Carbono: Este influye en el comportamiento del acero, al aumentar el porcentaje adecuado de carbono, mejora la resistencia mecánica, la templabilidad y disminuye la ductilidad.
- Azufre: Aumenta la maquinabilidad, ya que forma inclusiones llamadas sulfuros de magnesio, discontinuidades en la matriz metálica que favorecen la formación de viruta corta.
- Fósforo: Mejora la resistencia mecánica, reduce la ductilidad de la ferrita, se tiene mejor brillantez y acabado. Este elemento, en cantidades pequeñas, varía las propiedades mecánicas del acero.
- Molibdeno: Formador de carburos, reduce el crecimiento del grano, mejora la resistencia al desgaste y la capacidad de conservar la dureza a temperaturas altas.
- Cobalto: Aumenta la dureza, y asociado con el níquel o el cromo, forman aceros de bajo coeficiente de dilatación, aumenta la velocidad de enfriamiento, en los aceros trabajados en caliente y rápidos incrementa la disipación de calor.
- Manganeso: En cantidades mayores al 1% es el principal elemento que aumenta la dureza en aceros al carbono de alta resistencia. Mejora la resistencia a la tracción, al desgaste, es de fácil soldabilidad y mecanizado.

## **2.5 Carrocería**

La carrocería es una de las estructuras más importantes en los vehículos de competición ya que es responsable de la seguridad del piloto y también del avance del monoplaza, tiene como función ser una de las bases para la construcción del prototipo, el cual requiere exigencias estructurales, de seguridad y aerodinámicas. La rigidez del material que se necesita debe ser la máxima posible para así ser poco influenciado por vibraciones, flexión y torsión. (Bayas, y otros, 2015)

Figura 9-2. Carrocería y Chasis



Fuente: (MOTOR SHOW LIMA, 2017)

**2.5.1 Clasificación de las carrocerías.** Se puede clasificar las carrocerías de la siguiente manera: (Puente, 2012)

- **Carrocería con chasis independiente:** Los armazones, o bastidor propiamente dicho, están constituidos por dos vigas longitudinales o largueros de longitud variable, unidos entre sí por travesaños dispuestos transversalmente o en diagonal.

Figura 10-2. Carrocería con chasis independiente



Fuente: (Puente, 2012)

- **Carrocería autoportante:** Está formada por un gran número de piezas de chapa, unidas entre sí mediante puntos de soldadura por resistencia eléctrica y al arco. Ciertas piezas, como puertas, portones, capós y aletas delanteras van unidas con tornillos.

Características principales: (Puente, 2012)

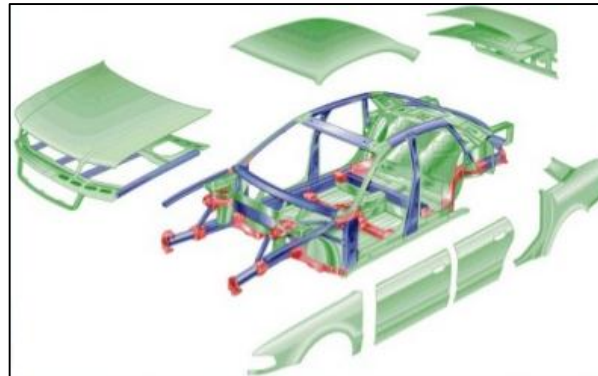
- Soporta todos los conjuntos mecánicos y se autoporta.
- Los elementos atornillados participan en menor medida en la distribución de esfuerzos.
- Las piezas que deben soportar los mayores esfuerzos se construyen en chapas de mayor grosor.

- Son estructuras más ligeras, pero a la vez más rígidas, estables y flexibles.
- Son más económicas y precisas, debido al alto grado de automatización existente en su fabricación, lo que permite su tirada en grandes series.
- Presentan mayor facilidad de reparación por el hecho de llevar atornilladas las piezas que, por lo general, resultan dañadas con mayor frecuencia.
- Esto permite que se puedan sustituir o desmontar fácilmente y en menos tiempo. Además, pueden pintarse independientemente, evitando tiempos adicionales de enmascarado del vehículo.

Los elementos exteriores que conforman la carrocería exterior son perfectamente visibles sin desmontar ningún accesorio o pieza.

Se pueden dividir en elementos con una función primordialmente estética, cuya misión es cerrar huecos y determinar la línea externa de la carrocería, y elementos estructurales, como los pilares y los estribos, cuya función es soportar cargas y distribuir los esfuerzos. (Puente, 2012)

Figura 11-2. Elementos exteriores de la carrocería

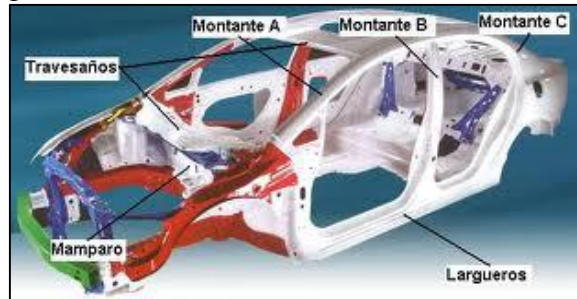


Fuente: (Sánchez, 2016)

Los elementos interiores de la carrocería suelen quedar ocultos por las piezas exteriores, accesorios, tapizados y guarnecidos que recubren o revisten la carrocería.

La mayor parte de estas piezas son elementos estructurales, que soportan los esfuerzos estáticos, generados por el peso del vehículo y de la carga, y los dinámicos, generados por el movimiento (aceleraciones, frenadas, trazado de curvas, etc.)

Figura 12-2. Elementos interiores de la carrocería



Fuente: (Puente, 2012)

**2.5.2** *Materiales para la construcción de la carrocería.* El acero es el material por excelencia utilizado para la construcción de las carrocerías de los automóviles, pero bajo la denominación de acero hay diferentes calidades con características muy particulares que propician su utilización según la aplicación.

Si bien durante la década de los 90 se produjo un incremento de la utilización del acero en la construcción de vehículos, en los últimos años, se ha producido un pequeño descenso, dando paso a otros materiales, especialmente a los plásticos y al aluminio.

En la actualidad otro elemento que se está usando para la construcción de vehículos, principalmente de competencia, es la fibra de vidrio por las características que posee, entre las cuales podemos citar:

- Gran resistencia a productos que deterioran como las gasolinas, grasa y aceites.
- Buenas propiedades como aislante eléctrico.
- Excelente aptitud para el conformado (moldeado), lo que facilita diseños más atrevidos y aerodinámicos.
- Notable reducción de peso.
- Nula capacidad corrosiva.
- Alta inalterabilidad a los cambios de temperatura.
- Alto límite elástico.
- Perfecta aptitud para el reciclaje y reaprovechamiento de las piezas.
- Reparación óptima.
- Excelente adherencia a la matriz.
- Excelente resistencia mecánica específica (resistencia a la tracción/densidad).
- Resistencia a la humedad.



Figura 13-2. Carrocería con fibra de vidrio



Fuente: (Cunalata, y otros, 2014)

## 2.6 Cargas de diseño

La tarea más importante y difícil que debe enfrentar un diseñador de estructuras es la estimación de cualquier carga que recibirá una estructura durante su vida útil. No debe omitirse la consideración de cualquier carga que pueda llegar a presentarse. Después de que se han estimado las cargas es necesario investigar las combinaciones más desfavorables que pueden ocurrir en un momento dado.

A continuación se da una breve introducción a los tipos de cargas de diseño de estructuras: (Vivas, y otros, 2014)

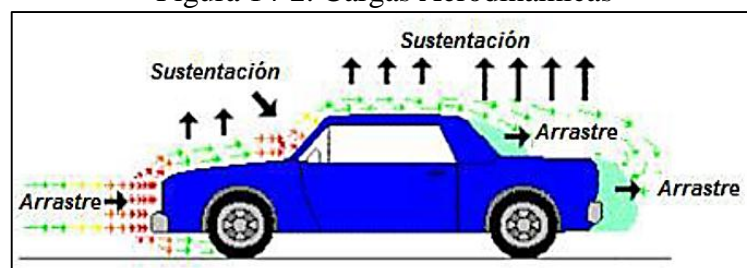
- **Carga Viva:** Corresponde a la carga por ocupación y se la considerará como distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales de la carrocería. Las cargas vivas son aquellas que pueden cambiar de lugar y magnitud. Dicho simplemente, todas las cargas que no son muertas, son vivas. Las cargas que se mueven bajo su propio impulso como camiones, gente, etc. se denominan cargas móviles y aquellas que pueden ser remplazadas, muebles, accesorios se denominan cargas móviles.
- **Carga muerta.-** Corresponde al peso total del chasis en condiciones operativas, lo que incluye todos los componentes estructurales y no estructurales permanentes; es decir, la carrocería terminada con todos sus accesorios. Las cargas muertas son cargas de magnitud constante que permanecen fijas a un mismo lugar. Éstas son el peso propio de la estructura y otras cargas permanentemente unidas a ellas.

Para diseñar una estructura es necesario estimar los pesos o cargas muertas de sus componentes. Las dimensiones y pesos exactos de las partes no se conocen hasta

que se hace el análisis estructural y se selecciona los miembros de la estructura. Los pesos determinados de acuerdo con el diseño, deben compararse con los pesos estimados.

- **Carga de frenado.-** Corresponde a la fuerza producida por el frenado del vehículo.
- **Carga de aceleración brusca.-** Corresponde a la fuerza producida por la aceleración brusca del vehículo. Se calcula con el mismo criterio de la carga de frenado pero en sentido contrario.
- **Carga por Resistencia del Aire frontal.-** Corresponde a la fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del vehículo en un plano perpendicular a su eje longitudinal.
- **Carga de impacto.-** Corresponde a la fuerza producida en una situación desafortunada que pueda tener el piloto al producirse una colisión, siendo la fuerza de impacto la más significativa y de cuidado que debe tener el proyectista para el diseño de la estructura. La fuerza de impacto es la establece de tres formas:
  - Impacto Frontal se asume un incremento de la masa del vehículo de 8 g
  - Impacto Lateral se asume un incremento de la masa del vehículo de 4 g
  - Impacto Superior se asume un incremento de la masa del vehículo de 2 g
- **Cargas Aerodinámicas:** La aerodinámica es la rama de la mecánica de fluidos que estudia las acciones que aparecen sobre los cuerpos sólidos cuando existe un movimiento relativo entre estos y el fluido gaseoso que lo rodea. Las componentes de la fuerza aerodinámica se dividen en arrastre y sustentación.

Figura 14-2. Cargas Aerodinámicas



Fuente: (Vivas, y otros, 2014)

El arrastre es una fuerza vectorial que tiene una magnitud y una dirección que actúa en dirección opuesta al movimiento del vehículo, puede venir de las siguientes fuentes.

## 2.7 Cálculo del centro de masa

La posición del centro de masas del vehículo se calcula con la siguiente expresión:

$$\vec{r}_{CM} = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{\sum m_i} \quad (1)$$

Esta es una ecuación vectorial, cada una de las componentes de la posición del centro de masas vendrá dada por:

$$X_{CM} = \frac{\sum m_i X_i}{\sum m_i} \quad Y_{CM} = \frac{\sum m_i Y_i}{\sum m_i} \quad Z_{CM} = \frac{\sum m_i Z_i}{\sum m_i}$$

## 2.8 Tracción, Compresión y Flexión

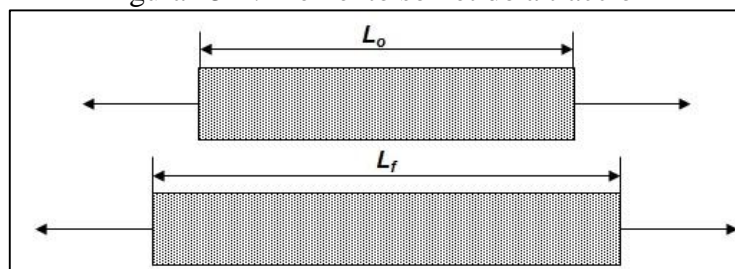
Al construir una estructura se necesita tanto un diseño adecuado como unos elementos que sean capaces de soportar las fuerzas y acciones a las que va a estar sometido.

Los tipos de esfuerzos que deben soportar los diferentes elementos de las estructuras son:

**2.8.1 Tracción.** Es aquel que tiende a estirar el miembro y romper el material. Donde las fuerzas que actúan sobre el mismo tienen la misma dirección, magnitud y sentidos opuestos hacia fuera del material.

$$\sigma = \frac{\text{Fuerza perpendicular al área transversal del elemento}}{\text{Área transversal del elemento}} = (+) \frac{T}{A_T} \quad (2)$$

Figura 15-2. Elemento sometido a tracción

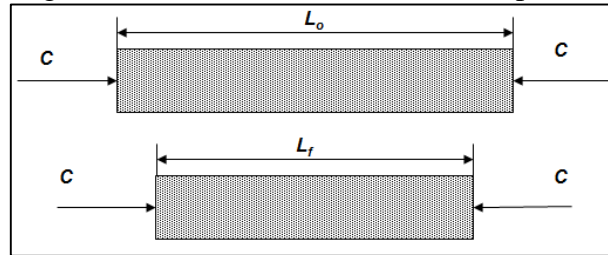


Fuente: (Villalba, 2017)

**2.8.2 Compresión.** Es aquel que tiende a estirar el miembro y romper el material. Donde las fuerzas que actúan sobre el mismo tienen la misma dirección, magnitud y sentidos opuestos hacia fuera del material.

$$\sigma = \frac{\text{Fuerza perpendicular al área transversal del elemento}}{\text{Área transversal del elemento}} = (-) \frac{C}{A_T} \quad (3)$$

Figura 16-2. Elemento sometido a compresión



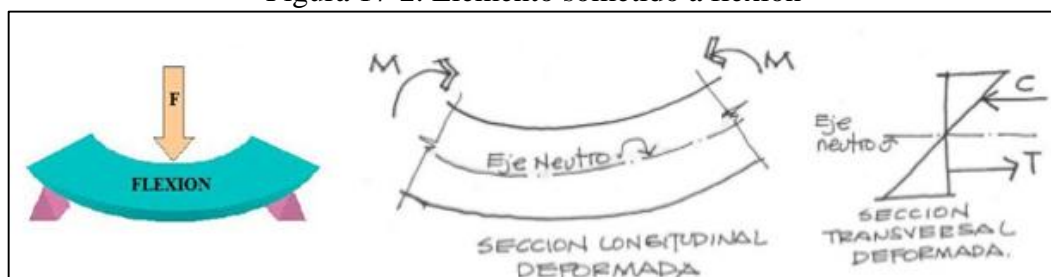
Fuente: (Villalba, 2017)

**2.8.3 Flexión.** Las fuerzas externas actúan sobre el cuerpo tratando de “doblarlo”, alargando unas fibras internas y acortando otras.

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} \quad (4)$$

- $M =$  Momento flexionante
- $c =$  distancia de la fibra mas alejada al eje neutro
- $I =$  Momento de inercia

Figura 17-2. Elemento sometido a flexión



Fuente: (Lisvancelis, 2011)

## 2.9 Cálculo aerodinámico.

**2.9.1 Número de Reynolds.** “El comportamiento de un fluido, en particular en lo que se refiere a las pérdidas de energía, depende de que el flujo sea laminar o

turbulento”. (MOTT, 2006 pág. 230). “El número de Reynolds es un número adimensional que relaciona las propiedades físicas de los fluidos, su velocidad y la geometría del ducto por el que fluye”. (Número Reynolds, 2008).

Para aplicaciones en el campo automotriz o la parte dinámica del automóvil se emplea la siguiente expresión simplificada.

$$Re = 67,778 * v * l \quad (5)$$

Dónde:

$v$  = Velocidad del auto [m/s]

$l$  = Longitud de ancho del auto [m]

El resultado del número de Reynolds es adimensional y se deberá comparar con los parámetros que a continuación se mencionan para corroborar si el flujo es laminar, transitorio o turbulento.

$$0 \leq Re \leq 2000 \quad \text{Flujo es laminar}$$

$$2000 \leq Re \leq 4000 \quad \text{Flujo es Transitorio}$$

$$Re \geq 4000 \quad \text{Flujo es Turbulento}$$

**2.9.2** *Número de mach.* Es la relación entre la velocidad local de flujo con la velocidad local del sonido dentro del fluido es adimensional. Este número mach es muy dependiente de la temperatura, es comúnmente utilizado con relevación en la parte aeronáutica para corroborar el comportamiento del fluido.

$$M = \frac{V}{V_s} \quad (6)$$

$$V_s = \sqrt{(K * R * T)}$$

Dónde:

$M$  = Número de Mach

$V$  = Velocidad del móvil [m/s]

$V_s$  = Velocidad de transmisión del sonido [m/s]

$K$  = Constante = 1,4

$R$  = Constante de los gases = 287 [J/ kg \* K]

$T$  = Temperatura del lugar de estudio. [K]

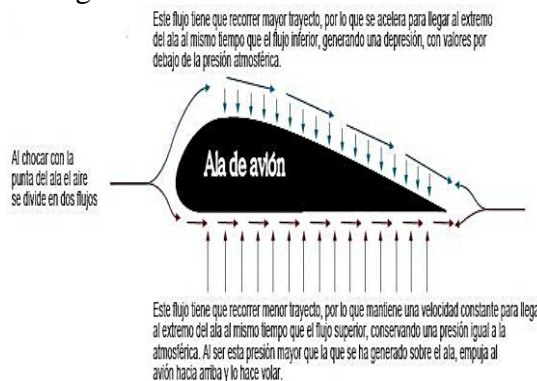
Dentro de la mecánica de flujo el número mach se relaciona con los gases para comprobar si este es compresible o incompresible.

$Mach \leq 0,3$  Fluido incompresible

$Mach \geq 0,3$  Fluido compresible

**2.9.3** *Coefficiente de Sustentación.* Todos los elementos que estén en contacto o estén relacionados con el aire se ven muy involucrados con los coeficientes aerodinámicos, estos coeficientes son parámetros que analizan y determinan el comportamiento del vehículo u objeto que se vaya analizar.

Figura 18-2. Fuerza de sustentación



Fuente: Motor 2000.net

Se definen con respecto un área en peculiaridad del sólido a ser estudiado, para la facilitación del cálculo nos ayudamos de una fórmula:

$$C_L = \frac{2F_L}{\rho v^2 A} \quad (7)$$

Dónde:

$F_L$  = Resistencia aerodinámica [kg]

$C_L$  = Coeficiente de resistencia aerodinámica

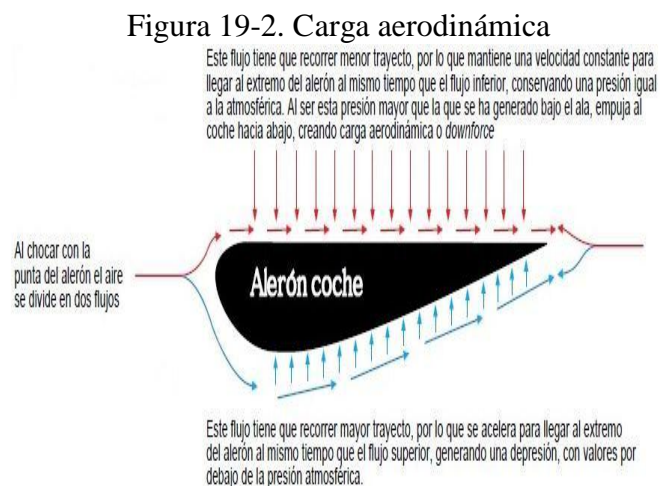
$p$  = Densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>]

$v$  = velocidad del fluido [m/s]

$A$  = Área frontal del vehículo [m<sup>2</sup>]

Con la ecuación 10 se calculará la capacidad de penetración aerodinámica, mientras más baja sea la cifra mayor será la capacidad de penetración.

**2.9.4 Carga aerodinámica.** Es conocida también como sustentación negativa básicamente se basa en utilizar el aire para que el vehículo pueda mantenerse pegado al piso, lo cual se puede conseguir con la ayuda de una presión del aire. Esto se consigue con la presión baja de aire en la parte inferior y una cantidad elevada de presión de aire en la parte superior, esta fuerza influye en su estabilidad se mide desde la parte central de un coche en el centro de la distancia entre ejes. (ESPE, 2015 pág. 31)



Fuente: Motor 2000.net

$$F_L = \frac{1}{2} * p * V^2 * A * C_L$$

$p$  = Densidad del aire [kg/cm<sup>3</sup>]

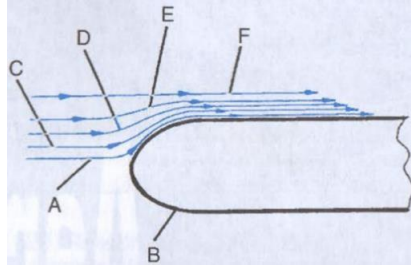
$V$  = velocidad del fluido [m/s]

$A$  = Área frontal del vehículo [m<sup>2</sup>]

$C_L$  = Coeficiente de resistencia aerodinámica

**2.9.5 Resistencia aerodinámica.** Se considera como la fuerza que actúa contrariamente y de forma paralela al objeto provocando resistencia cuando el dicho objeto circula a una velocidad determinada.

Figura 20-2. Comportamiento de un fluido frente a un objeto a gran velocidad



Fuente: PAZ Arias. Motocicletas 32 a edición p.644

En la Figura anterior se puede observar que actúa un fluido laminar, la fricción o rozamiento básicamente depende de tres factores importantes como es la resistencia la forma del objeto y la resistencia inducida. La resistencia aerodinámica viene dado por:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_x \quad (8)$$

Dónde:

$F_d$  = Resistencia aerodinámica total [kg]

$\rho$  = Densidad del fluido [kg/m<sup>3</sup>]

$v$  = Velocidad del fluido [m/s]

$A$  = Área perpendicular al movimiento del fluido [m<sup>2</sup>]

$C_x$  = Coeficiente de resistencia o arrastre

**2.9.6** *Coeficiente de arrastre.* Es un numero adimensional, dentro de la mecánica de fluido este se considera como la resistencia del objeto dentro de un fluido ya sean estos líquidos a gases. El coeficiente de arrastre se lo asocia mediante la siguiente expresión.

$$C_x = \frac{2F_d}{\rho v^2 A} \quad (9)$$

Dónde:

$C_x$  = Coeficiente de resistencia o arrastre

$F_d$  = Resistencia aerodinámica total [kg]

$\rho$  = Densidad del fluido [kg/m<sup>3</sup>]

$v$  = Velocidad del fluido [m/s<sup>2</sup>]

$A$  = Área perpendicular al movimiento del fluido [m<sup>2</sup>]



**2.9.7** *Fineza.* La fineza o eficiencia aerodinámica es la relación entre el coeficiente de sustentación y el coeficiente de resistencia, determina el valor de la eficiencia aerodinámica, su cálculo se realiza con la fórmula que se muestra a continuación.

$$f = \frac{F_L}{F_d} = \frac{C_L}{C_x} \quad (10)$$

Dónde:

f = Fineza

FL = Carga aerodinámica [kg]

Fd = Fuerza de arrastre o resistencia [kg]

CL = Coeficiente de sustentación

CX = Coeficiente de resistencia

## 2.10 Sistemas CAD-CAM-CAE

- **CAD/ Diseño asistido por computador:** El computador, al que se le incorpora un programa de CAD, le permite crear, manipular y representar productos en dos y tres dimensiones, con el CAD el modelo puede aparecer en la pantalla como una imagen realista, en movimiento y observable desde distintos puntos de vista. (Cunalata, y otros, 2014)

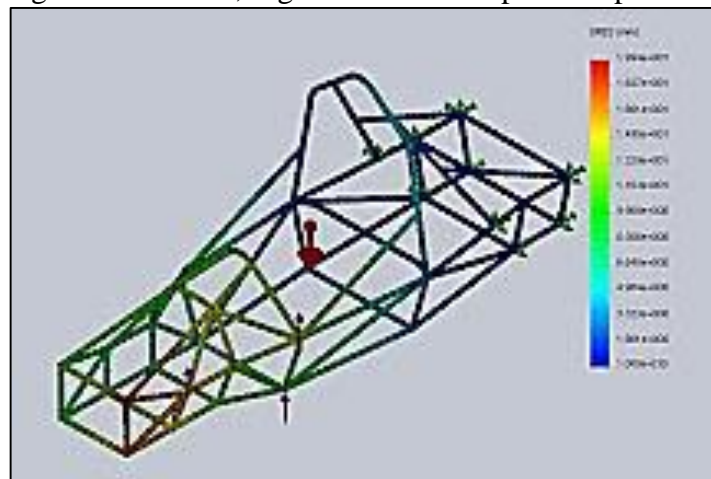
Figura 21-2. Modelo de vehículo hecho en un programa CAD



Fuente: (Cunalata, y otros, 2014)

- **CAM/ Manufactura asistidos por computadora:** A partir de la información de la geometría de la pieza, la tecnología del CAM permite generar programas de NC para maquinado sin necesidad de desarrollar el programa con códigos de lenguaje de programación NC anteriormente mencionado y partiendo del diseño de la pieza, se puede desarrollar el proceso de manufactura incluyendo la simulación del maquinado, de esta manera obtener prototipos, los cuales se utilizan básicamente para verificar la bondad de las superficies creadas cuando éstas son críticas. (Cunalata, y otros, 2014)
- **CAE / Ingeniería asistida por computadora:** Es un proceso integrado que incluye todas las funciones de la ingeniería que van desde el diseño propiamente dicho hasta la fabricación. (Cunalata, y otros, 2014)

Figura 22-2. CAE, Ingeniería Asistida por Computadora



Fuente: (Cunalata, y otros, 2014)

## 2.11 ANSYS

Figura 23-2. ANSYS



Fuente: (elmaizprieto, 2015)

Es un software completo de simulación de ingeniería (CAE), es una herramienta de cálculo por elementos finitos orientado al diseño que permite solucionar varios problemas; como estudios mecánicos, que incluye análisis de estructuras dinámicas y estáticas, aerodinámicas y entre otras opciones, obteniendo resultados con una alta exactitud y fiabilidad. Los productos y conocimiento de las aplicaciones de ANSYS ayudarán a entender y optimizar el rendimiento del producto diseñado mucho antes de que un prototipo se haya construido.

## CAPITULO III

### 3. DISEÑO DEL BASTIDOR Y CARROCERIA

#### 3.1 Parámetros de diseño del bastidor

El bastidor del vehículo es una estructura rígida en la que se fijan los distintos elementos y grupos mecánicos que componen el vehículo solar: motor, grupos de transmisión, carrocerías, ruedas, etc. Por tal motivo, el bastidor, debe poseer ciertas características que le permitan soportar el peso de todos los elementos; además de soportar las sobrecargas de uso, lo que incluye no solo el peso de la carga y de los ocupantes del vehículo, sino también las cargas dinámicas originadas por el funcionamiento de distintos elementos y por el propio movimiento del vehículo.

#### 3.2 Variables de diseño del bastidor

Considerando los criterios mencionados en el apartado anterior se establece que las variables para el diseño del bastidor son:

**3.2.1 *Peso.*** El vehículo solar debe construirse con materiales muy ligeros y resistentes, considerando que, cuanto menor sea el peso, respetando la resistencia (esfuerzos) y la rigidez, mejor se aprovechará la potencia del motor. Por tal motivo, se considera que el tipo de bastidor ideal para el vehículo es el tubular, el cual, está constituido por una red de tubos finos soldados entre sí que adoptan la forma de una jaula.

El diseño y construcción del vehículo solar se está realizando con la elaboración de diferentes trabajos de titulación. En el trabajo denominado “Diseño del sistema de potencia de un prototipo de vehículo mediante el uso de energía solar para la competencia de vehículos World Solar Challenge”, del autor Jhonny Armijos, se estableció que la masa del vehículo solar debe ser de 200 kg aproximadamente.

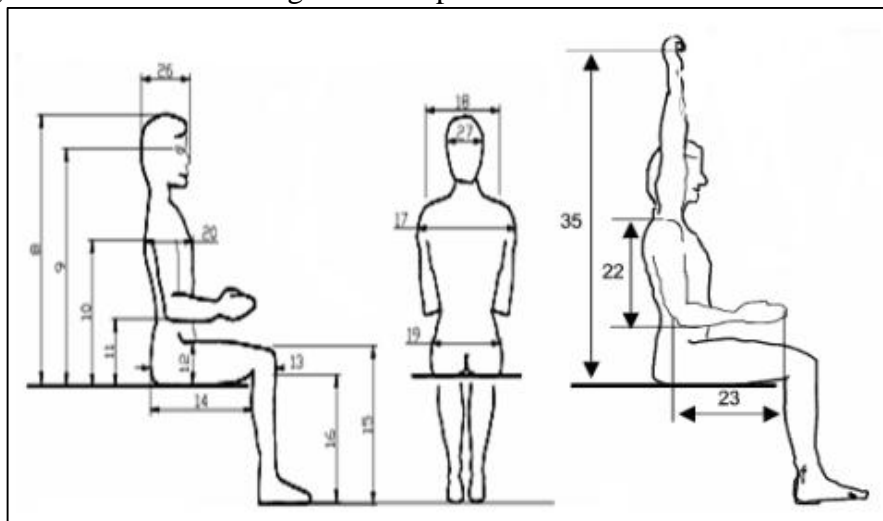
**3.2.2 *Dimensiones.*** Las medidas y proporciones de un vehículo afectan de forma radical a su comportamiento. El hecho de que un vehículo sea corto, ancho y bajo no es ni casualidad ni cuestión de imagen.

El bastidor debe ajustarse a las dimensiones establecidas en la normativa de la competencia de la Carrera Solar de Atacama, la cual establece que: el vehículo no puede medir más de 4,5 [m] de largo, 1,8 [m] de ancho y 1,8 [m] de alto.

**3.2.3** *Espacio y ergonomía.* En cuanto a las necesidades de espacio y ergonomía se deberán tener en cuenta los siguientes criterios:

- En el diseño de la estructura, se debe dejar suficiente espacio para poder colocar los elementos que debe soportar el bastidor.
- Debe considerarse la facilidad de acceso para el mantenimiento de los elementos.
- El ocupante debe poder entrar con comodidad en el coche con el casco puesto. La estructura no debe interferir con el conductor en los movimientos que éste realice para la conducción.
- Para determinar el diseño de la cabina del vehículo se debe considerar la posición del ocupante sentado con sus respectivos parámetros ergonómicos.

Figura 1-3. Parámetros ergonómicos para el diseño de la cabina del vehículo



Fuente: Autores

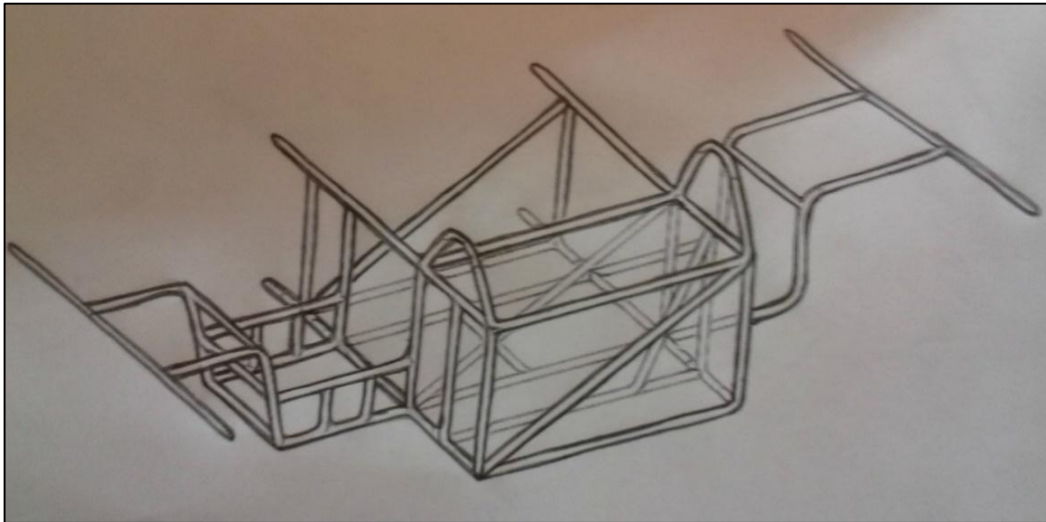
**3.2.4** *Seguridad del ocupante.* La seguridad pasiva de un vehículo consiste en un conjunto de elementos que reducen al mínimo los daños que se pueden producir cuando el accidente es inevitable. La trompa y la cola del vehículo deben arrugarse para evitar que la cabina se afecte por el impacto. Si el choque es lateral, las paredes de la estructura y las barras de protección deben deformarse sin permitir el bloqueo de las puertas, para dejar libre la salida de los ocupantes.

**3.2.5 Rigidez.** La rigidez es la propiedad de una estructura a que no se doble ni flexione bajo una fuerza aplicada. En términos simples, quiere decir que determinado objeto sea capaz de soportar una o más fuerzas sin deformarse.

### 3.3 Diseño del bastidor asistido por software

Antes de modelar el bastidor en el software se representó la idea inicial de la que parte este proyecto, con un dibujo a mano alzada con proyección trimétrica de un bastidor básico de categoría Evolución para la Carrera Solar de Atacama.

Figura 2-3. Boceto inicial del bastidor



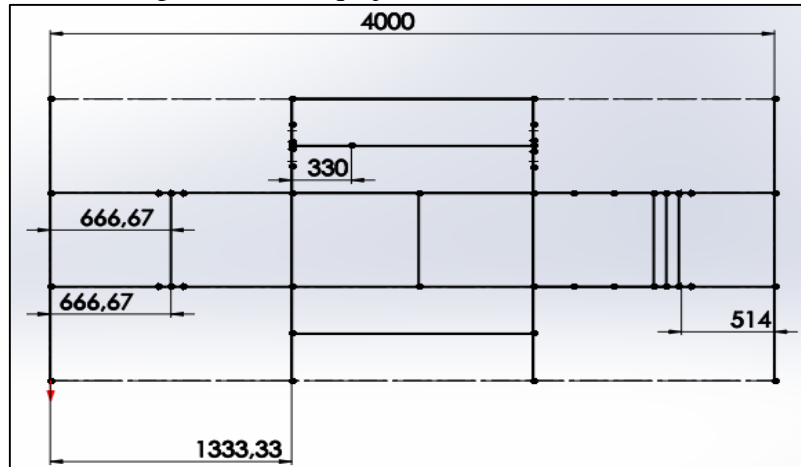
Fuente: Autores

Partiendo del boceto inicial del bastidor y conociendo los requerimientos definidos en el reglamento de la Carrera Solar de Atacama, se comienza dando geometría a los planos 2D que definirán el modelo del vehículo utilizando el programa de diseño asistido SolidWorks.

- **Base del Batidor**

La primer estructura que se definió y que da soporte a las demás estructuras del bastidor y vehículo en general, es la base, considerando la distancia que debe existir entre ejes, las medidas del piloto, el espacio para la cabina, dimensiones del motor, panel solar y baterías, como lo muestra la siguiente figura.

Figura 3-3. Bosquejo de la base del bastidor

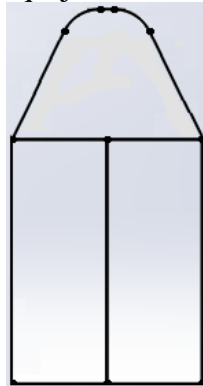


Fuente: Autores

- **Barras antivuelco**

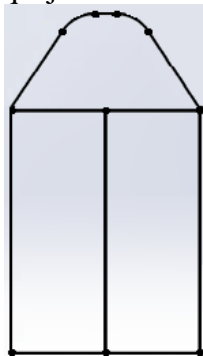
El diseño de las barras estructurales antivuelco se realizó para prevenir el daño directo a la cabina del ocupante y deformaciones graves en caso de colisión o volcamiento.

Figura 4-3. Bosquejo barra antivuelco frontal



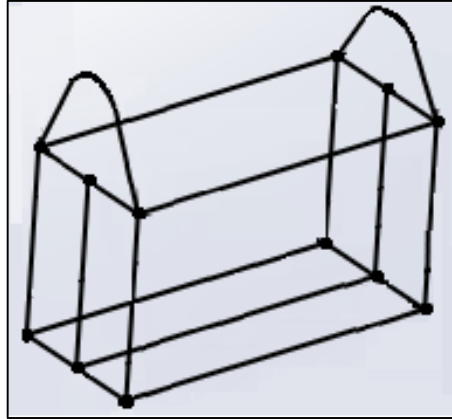
Fuente: Autores

Figura 5-3. Bosquejo barra antivuelco posterior



Fuente: Autores

Figura 6-3. Bosquejo barras antivuelco



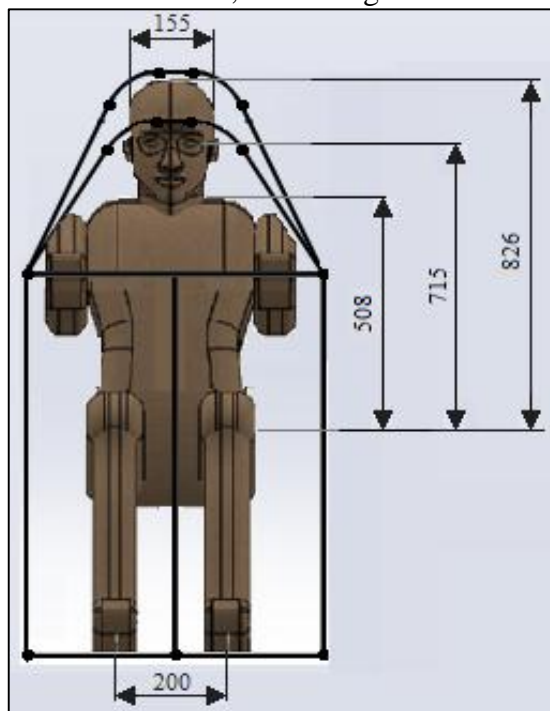
Fuente: Autores

Las medidas de las barras antivuelco se especifican más adelante en el diseño de la cabina.

- **Cabina**

El diseño de la cabina se realiza en base a los parámetros ergonómicos del hombre percentil 50 como se puede observar en las figuras 27 y 28. Además para ofrecer mayor seguridad al ocupante, la estructura debe poseer protecciones laterales; las mismas que deben poseer por lo menos tres miembros tubulares situados en cada lado del conductor.

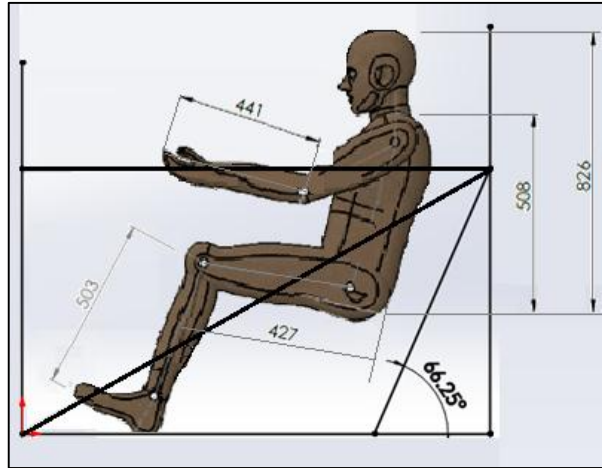
Figura 7-3. Vista frontal, diseño ergonómico de la cabina



Fuente: Autores



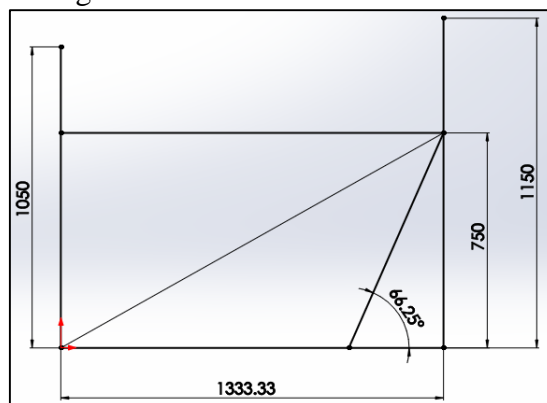
Figura 8-3. Vista Lateral, diseño ergonómico de la cabina



Fuente: Autores

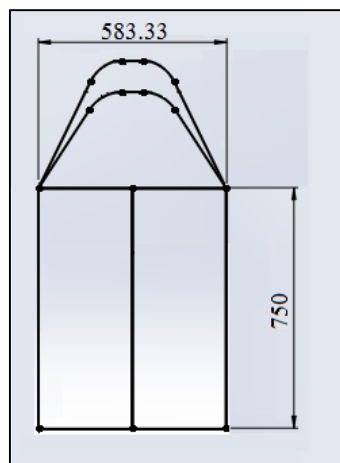
En base a estos parámetros se estableció las medidas de la cabina, como se muestra en las siguientes figuras:

Figura 9-3. Vista lateral de la cabina



Fuente: Autores

Figura 10-3. Vista frontal de la cabina



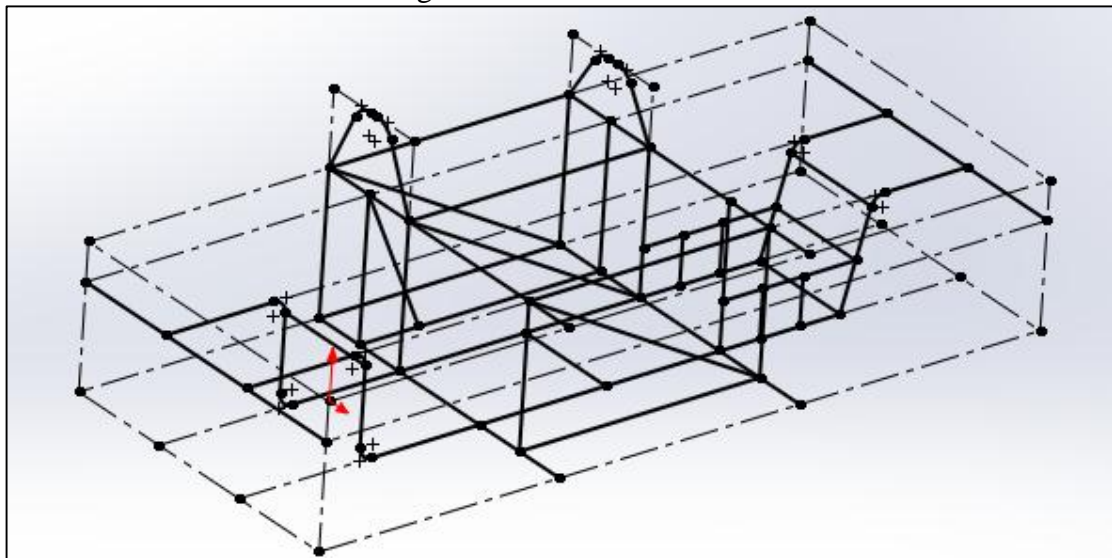
Fuente: Autores

- **Resto de las estructuras**

Una vez definidas las estructuras principales del bastidor se relaciona la geometría utilizando otros planos y la herramienta de “Croquis 3D” con el fin de diseñar el resto de la estructura; donde se debe instalar el motor, el panel solar, la suspensión, las baterías, entre otros elementos.

El resultado del diseño se muestra en la siguiente figura.

Figura 11-3. Boceto en 3D



Fuente: Autores

**3.3.1 Selección del material.** Una vez establecido el diseño, se selecciona el material de los tubos del bastidor para lo cual, se sigue el siguiente procedimiento:

- **Formular alternativas de selección.**

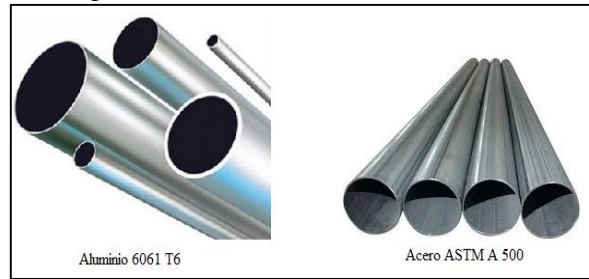
En la siguiente tabla se puede apreciar las alternativas que se consideró para la selección del material más adecuado:

Tabla 1-3. Alternativas de selección

<b>Materiales</b>	<b>Alternativas</b>
Aluminio 6061-T6	A
Acero ASTM A 500	B

Fuente: Autores

Figura 12-3. Alternativas de selección



Fuente: Autores

- **Establecer criterios de valorización de las alternativas.**

Las alternativas de selección se establecieron en base a los criterios de valorización que se detallan a continuación:

- **Peso Específico:** El vehículo solar debe construirse con materiales muy ligeros y resistentes, considerando que, cuanto menor sea el peso, respetando la resistencia (esfuerzos) y la rigidez, mejor se aprovechará la potencia del motor.

Tabla 2-3. Criterios de Valorización, Peso Específico

Alternativas	Material	Peso específico $\frac{Kg}{m^3}$
A	Aluminio	2 580
B	Acero	7 800

Fuente: <https://goo.gl/qkbAmi>

- **Propiedades mecánicas:** Son las características inherentes, que permiten diferenciar un material de otro, las cuales están relacionadas con las fuerzas exteriores que se ejercen sobre ellos.

Tabla 3-3. Propiedades mecánicas del aluminio

Propiedad	Valor	Unidad
Límite de tracción	310	MPa
Límite Elástico	275	MPa

Fuente: Autores

Tabla 4-3. Propiedades mecánicas del acero ASTM A 500

Propiedad	Valor	Unidad
Límite de tracción	310	MPa
Límite Elástico	230	MPa

Fuente: <https://goo.gl/i99vc2>

- **Ponderar y comparar los criterios de valorización de las alternativas.**

La evaluación de los criterios de valoración para las alternativas se debe realizar por medio de la siguiente tabla de ponderación.

Tabla 5-3. Tabla de ponderación para criterios de valorización

Niveles	Inaceptable	Malo	Aceptable	Bueno	Excelente
Ponderación	1	2	3	4	5

Fuente: Autores

El resultado de la ponderación de los criterios de valorización se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 6-3. Ponderación de los criterios de valorización

Alternativas	Criterios de valorización		PONDERACIÓN
	Peso Específico	Propiedades mecánicas	
A	5	5	<b>10</b>
B	3	4	<b>7</b>

Fuente: Autores

- **Seleccionar la alternativa más adecuada.**

En base al resultado obtenido en la ponderación de las alternativas se determinó que la alternativa A es la más adecuada, ya que obtuvo la mayor puntuación en la ponderación. La alternativa A corresponde al Aluminio 6061-T6, por lo tanto el bastidor será construido con este material.

Figura 13-3. Aluminio 6061-T6



Fuente: (Mirach Metallurgy, 2012)

Las propiedades mecánicas del Aluminio 6061-T6 se detallan en la siguiente tabla:

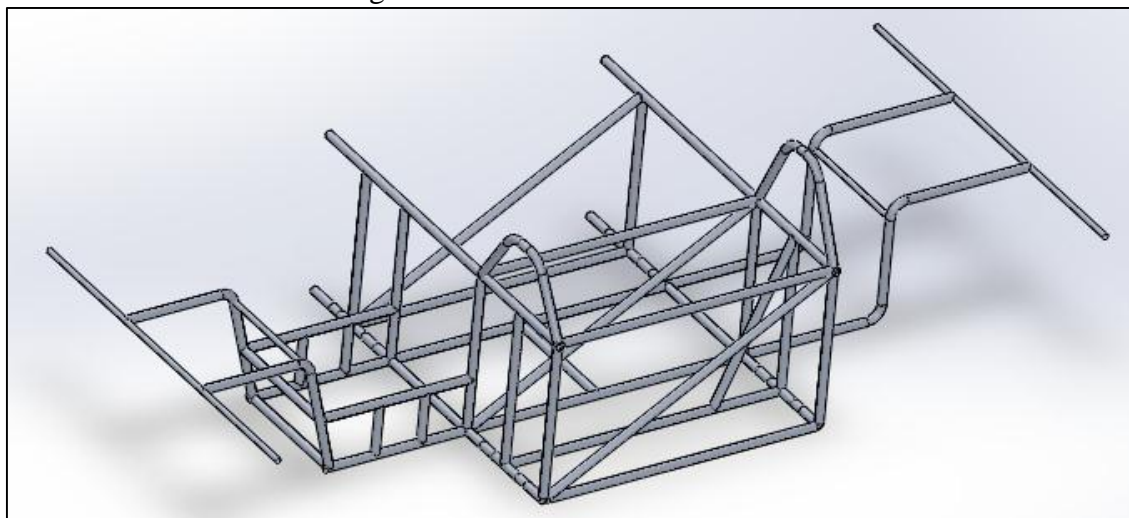
Tabla 7-3. Propiedades mecánicas del Aluminio 6061-T6

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	6,900 000 067x10 <sup>10</sup>	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0,33	N/D
Módulo Cortante	2,600 000 013x10 <sup>10</sup>	N/m <sup>2</sup>
Densidad de masa	2700	Kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	310 000 002,1	N/m <sup>2</sup>
Límite de compresión en X		N/m <sup>2</sup>
Limite elástico	275 000 000,9	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	2,4x10 <sup>-5</sup>	k
Conductividad térmica	166,9	W/(m.K)

Fuente: Autores

Se configura el Aluminio 6061-T6 en el diseño CAD del bastidor, para posteriormente realizar un análisis en la estructura y así determinar si el material seleccionado es el adecuado. El resultado del diseño se muestra en la siguiente figura.

Figura 14-3. Estructura del bastidor



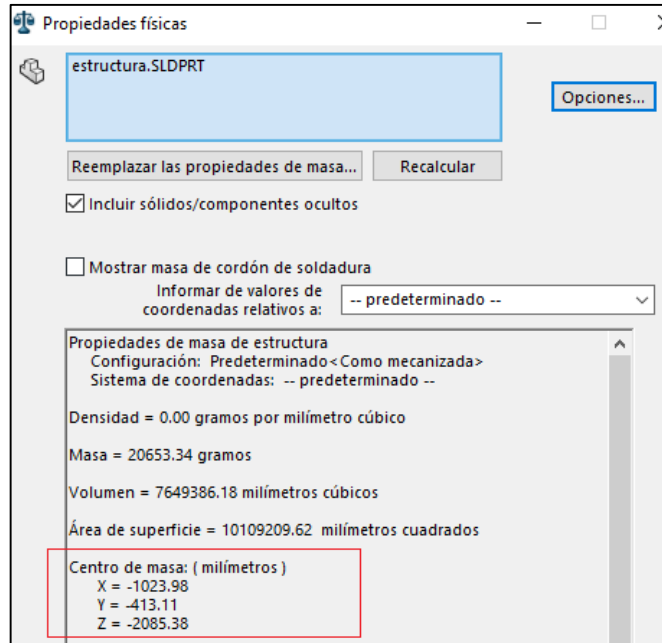
Fuente: Autores

### 3.3.2 Cálculos del bastidor

- **Centro de masa**

Para realizar los cálculos del bastidor es necesario conocer las propiedades físicas de la estructura, en particular el centro de masa. Lo cual se determina en el software *Solidworks*, el resultado se muestra a continuación:

Gráfico 1-3. Centro de Masa

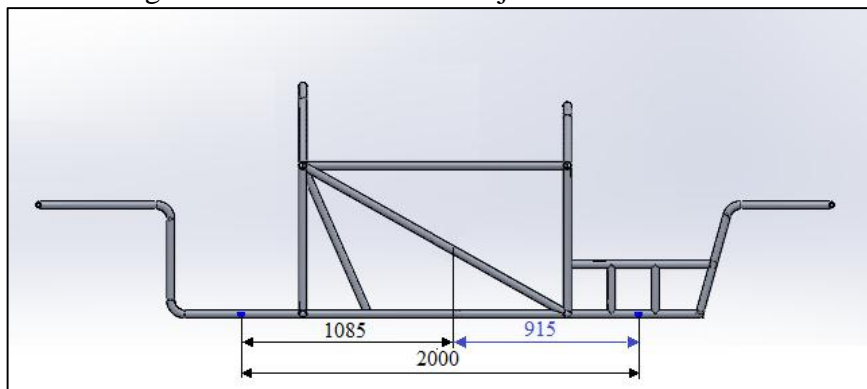


Fuente: Autores

- **Batalla**

La batalla es la distancia entre los ejes delantero y trasero del vehículo. El cálculo de la batalla se determina con respecto al centro de masa, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 15-3. Distancia entre ejes al centro de masa



Fuente: Autores

$$B = l_1 + l_2$$

$$B = (1085 + 915)\text{mm}$$

$$B = 2000 \text{ mm}$$

$$\mathbf{B = 2 m}$$

- **Masas totales delanteras y posteriores**

La masa total del vehículo debe ser aproximadamente de 200 Kg. Para determinar las masas en el eje delantero y posterior, debemos tomar en cuenta la distancia del centro de masa a los ejes como se muestra en la Figura 36.

- **Masa en el eje delantero**

$$M^d = \frac{m \cdot l_1}{B}$$

$$M^d = \frac{(200kg) \cdot (1085 \text{ mm})}{2000 \text{ mm}}$$

$$M^d = 108,5 \text{ kg}$$

El resultado obtenido define la masa total que soporta el eje delantero

- **Masa en el eje posterior**

$$M^p = \frac{m \cdot l_2}{B}$$

$$M^p = \frac{(200kg) \cdot (915 \text{ mm})}{2000 \text{ m}}$$

$$M^p = 91,5 \text{ kg}$$

Del cálculo se obtiene la masa total soportada por el eje trasero

- **Cálculo de transferencia de masas, en el momento de una frenada.**

Si el vehículo solar se mueve a una velocidad constante o se encuentra estático, la aceleración es nula, por lo tanto la distribución de pesos del vehículo es constante. En teoría se puede determinar el porcentaje de pesos para cada uno de los ejes en estático, como se detalla a continuación:

– Peso en el eje delantero =  $\frac{M^d}{P} * 100 = \frac{108.5 \text{ kg}}{200 \text{ kg}} * 100 = 54,25 \%$

– Peso en el eje posterior =  $\frac{M^p}{P} * 100 = \frac{91.5 \text{ kg}}{200 \text{ kg}} * 100 = 45,75 \%$

Dónde:  $M^d$  es el peso soportado en el eje delantero,  $M^p$  peso soportado en el eje posterior,  $P$  es el peso del vehículo. Con los resultados obtenidos, verificamos que se cumple lo ideal en el reparto de pesos entre los dos ejes ( $54,25/45,75 \approx 50/50$ ).

Cuando se produce una desaceleración en el vehículo, la fuerza efectiva en cada neumático se ve modificada; la fuerza aplicada en el eje delantero aumentará y la fuerza aplicada en el eje posterior disminuirá.

La desaceleración del vehículo se calcula según lo establecido en el reglamento de la Carrera Solar de Atacama, que indica: el vehículo debe ser capaz de detenerse en 25 [m] desde una velocidad inicial de 50 [km/h] (13.88 [m/s]).

$$v_f^2 = v_o^2 - 2ax$$

$$0 = 13,88^2 - 2a(25)$$

$$a = \frac{13,88^2}{2(25)}$$

$$a = 3,85 \text{ m/s}^2$$

Con estos antecedentes se calcula la transferencia de carga del eje posterior al eje delantero como se detalla a continuación:

$$TP = \left(\frac{a_v}{g}\right) * \left(\frac{h}{L}\right) * P$$

$$TP = \left(\frac{3,85 \text{ m/s}^2}{9,8 \frac{m}{s^2}}\right) * \left(\frac{(0,413 + 0,15) m}{2 m}\right) * (200Kg) * (9,8 \frac{m}{s^2})$$

$$TP = 216,76 N$$

Dónde:  $TP$  es la transferencia de peso,  $a_v$  es la desaceleración,  $g$  es la gravedad,  $h$  es la altura del centro de masa al suelo ( $0.413m + \text{radio del neumático } 0.150m$ ).

A continuación se determina la distribución exacta de las fuerzas ejercidas en cada uno de los ejes de la siguiente manera:

$$P = P + TP$$



$$P_{a,d} = P_a + TP = (108,5 \text{ kg}) * \left(9,8 \frac{m}{s^2}\right) + 216,76 \text{ N} = \mathbf{1\ 280,06 \text{ N}}$$

$$P_{t,d} = P_t - TP = (91,5 \text{ kg}) * \left(9,8 \frac{m}{s^2}\right) - 216,76 \text{ N} = \mathbf{679,94 \text{ N}}$$

Dónde:  $P_{a,d}$  es el peso en el eje delantero durante la desaceleración y  $P_{t,d}$  es el peso en el eje posterior durante la desaceleración.

Se comprueba si el peso total es el mismo, como se detalla a continuación:

$$P = P_{a,d} + P_{t,d}$$

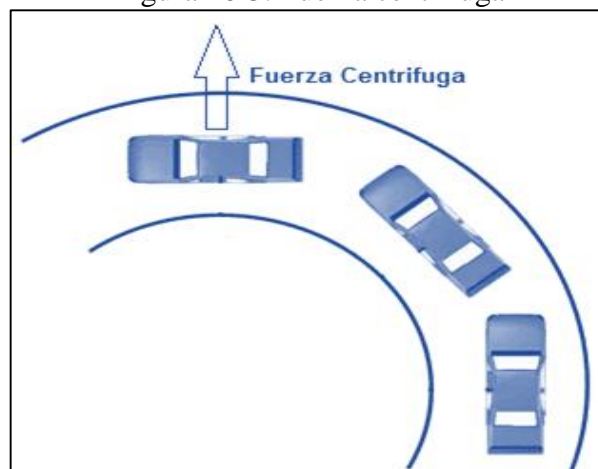
$$1\ 280,06 + 679,94 = 1\ 960 \text{ N}$$

$$\frac{1\ 960 \text{ N}}{9,8 \frac{m}{s^2}} = 200 \text{ kg}$$

- **Cálculo de la fuerza que actúa en una curva.**

La fuerza que actúa en una curva es la fuerza centrífuga, la cual, está formada por sus componentes rectangulares  $x$ ,  $y$ . La fuerza es perpendicular a la trayectoria que el vehículo se desplaza y la velocidad promedio que posee el mismo debe ser de 50 Km/h o 13,8 m/s.

Figura 16-3. Fuerza centrífuga



Fuente: Autores

La fuerza centrífuga se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_{cf} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Dónde:

- $F_{cf}$  = Fuerza centrífuga.
- $m$  = masa del vehículo
- $v$  = velocidad promedio del vehículo.
- $r$  = radio de curvatura.

Los datos para el cálculo son los siguientes:

$$v = 13,8 \frac{m}{s}$$

$$m = 200 \text{ kg}$$

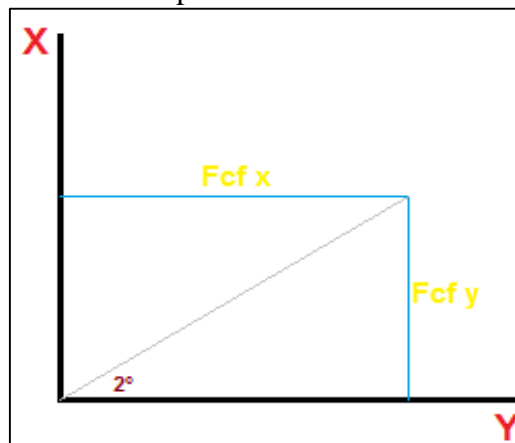
$$r = 9 \text{ m}$$

Los datos se reemplazan en la ecuación y se determina el valor de la fuerza centrífuga

$$F_{cf} = \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{200 \text{ kg} * (13,8 \text{ m/s})^2}{9 \text{ m}} = 4 \text{ 232 N}$$

A continuación se calcula las componentes rectangulares de la fuerza centrífuga

Figura 17-3. Componentes de la fuerza centrífuga



Fuente: Autores

$$F_{cfx} = F_{cf} * \cos 2^\circ$$

$$F_{cfx} = 4 \text{ 232 N} * \cos 2^\circ$$

$$F_{cfx} = 4\,229,4\text{ N}$$

$$F_{cfy} = F_{cf} * \text{sen}2^\circ$$

$$F_{cfy} = 4\,232\text{ N} * \text{sen}2^\circ$$

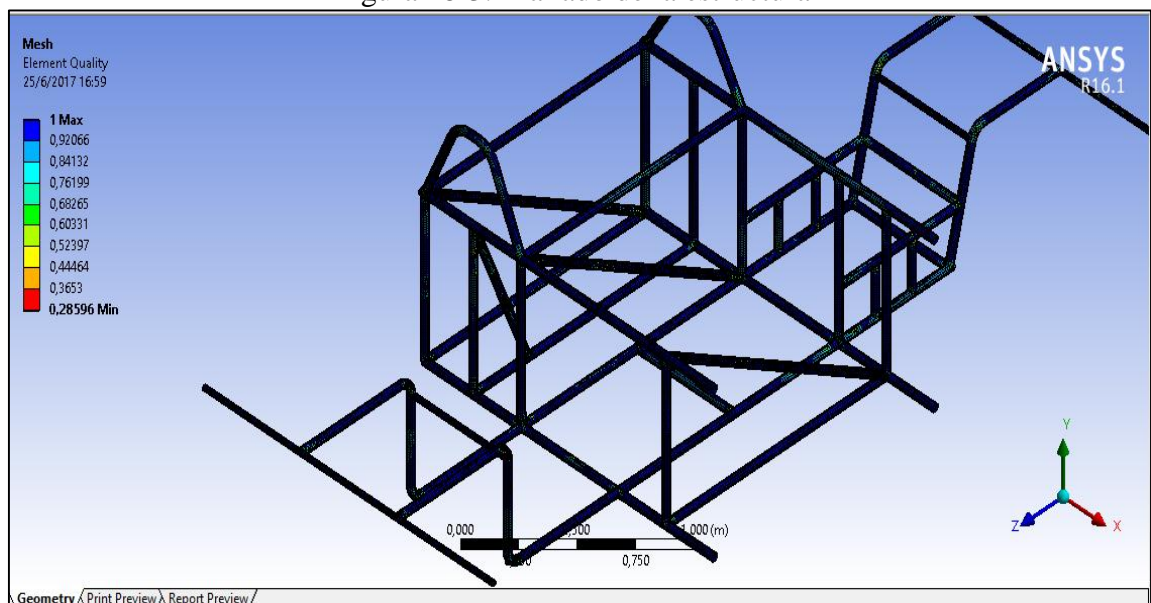
$$F_{cfy} = 147,7\text{ N}$$

Para las componentes de la fuerza centrífuga se tomó un ángulo de  $2^\circ$  como la inclinación del prototipo al tomar una curva, es lo que el sistema de suspensión inclina al vehículo.

**3.3.3 Análisis estático.** El análisis estático es muy importante ya que permite simular el comportamiento del bastidor bajo cargas estáticas, como lo son: pesos de ocupante, motor, baterías, entre otros. Además sirve para determinar las deformaciones máximas y el factor de seguridad de la estructura.

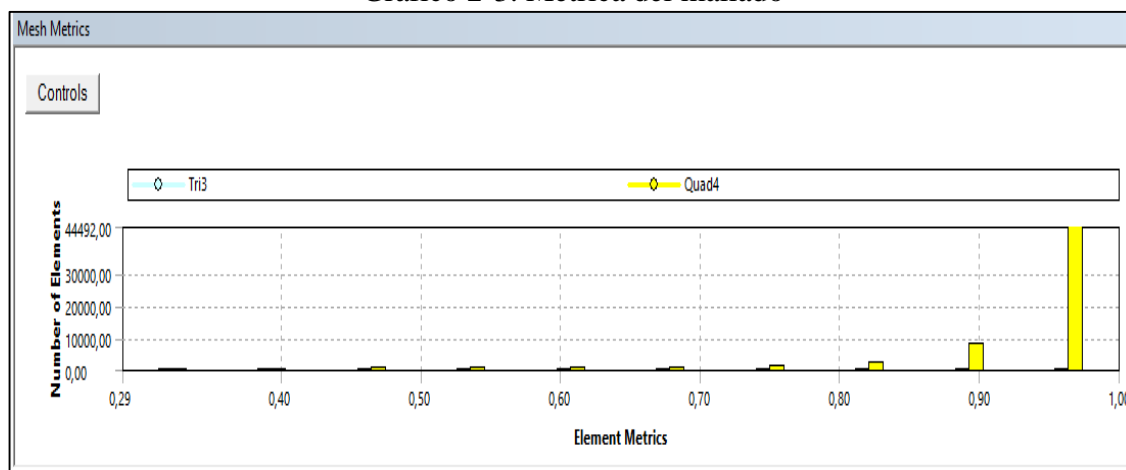
Una vez terminado el diseño CAD del bastidor, se realiza el análisis en el software CAE (Ansys) utilizando la herramienta de *análisis estructural*, para lo cual, se debe efectuar un mallado en la estructura; en esta parte del proceso el software realiza una inspección detallada de toda la estructura con el fin de determinar si existe alguna falla en el diseño del bastidor que ocasione inconvenientes en la simulación.

Figura 18-3. Mallado de la estructura



Fuente: Autores

Gráfico 2-3. Métrica del mallado



Fuente: Autores

Una vez culminado el mallado del bastidor se debe ingresar en el software las cargas a las que estará sometida la estructura. Por último se debe ejecutar la simulación del análisis estructural e interpretar los resultados obtenidos.

**3.3.3.1** *Análisis en el Arco Principal (Barra primaria) y Arco secundario (barra secundaria).* Se analiza la deformación total que sufren los arcos, principal y secundario, con el fin de determinar el límite máximo que la estructura se va a deformar al aplicar las siguientes cargas:

- Fuerza punto A

$$X=0$$

$$Y=0$$

$$Z=-7\ 840\text{N}$$

- Fuerza punto B

$$X=0$$

$$Y=0$$

$$Z=7\ 840\text{N}$$

En la figura se muestra la aplicación de las fuerzas en los arcos principal y secundario.

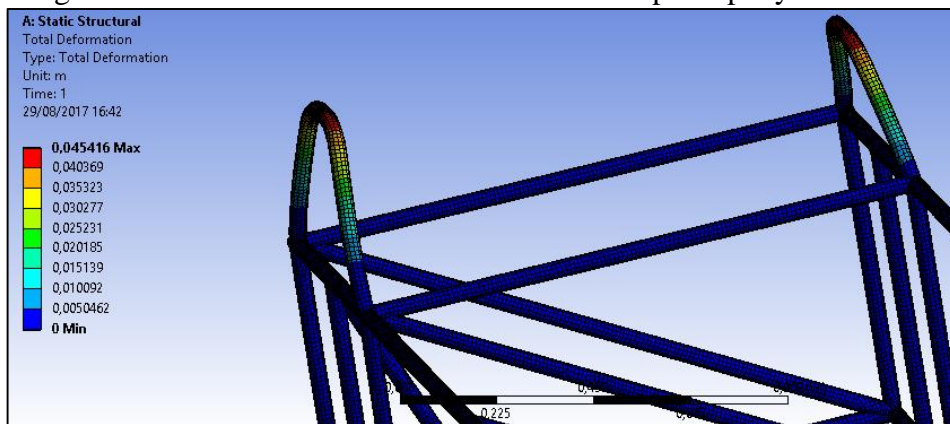
Figura 19-3. Fuerzas aplicadas en los arcos principal y secundario



Fuente: Autores

Una vez aplicadas las fuerzas en los arcos se realiza el análisis en el software, el resultado que se obtiene se muestra en la figura. La deformación máxima que se puede producir en la estructura es de  $0,045416\text{ m}$ ; lo cual indica que el valor de la deformación es despreciable, mínima o insignificante; por tal motivo el material seleccionado para la estructura es el adecuado.

Figura 20-3. Resultados del análisis de los arcos principal y secundario



Fuente: Autores

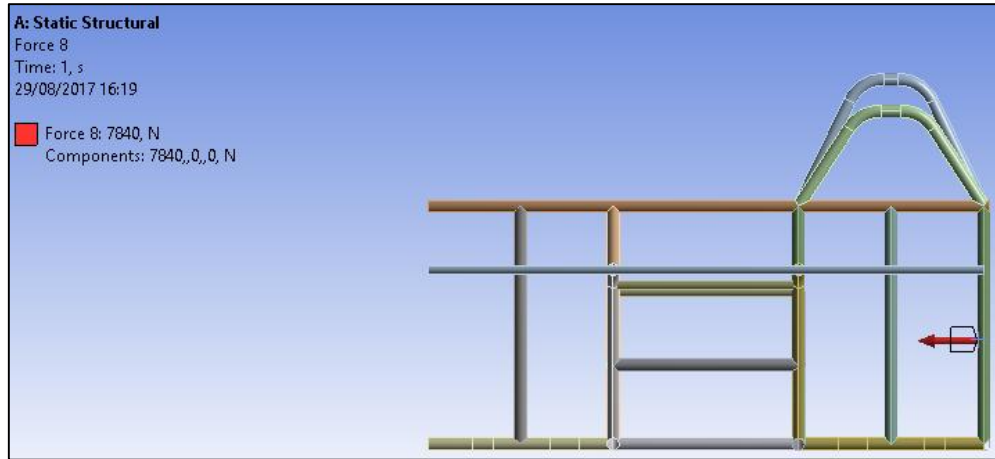
**3.3.3.2** *Análisis axial, fuerza en X.* A continuación se analiza la deformación de la estructura, cuando se aplica una fuerza axial en el eje X igual a  $7\ 840\text{ N}$ , el valor de la fuerza es cuatro veces mayor al peso del vehículo y se determinó en base al reglamento de la carrera solar de Atacama.

La fuerza aplicada es la siguiente:

- $X=7840\text{N}$

- Y=0
- Z=0

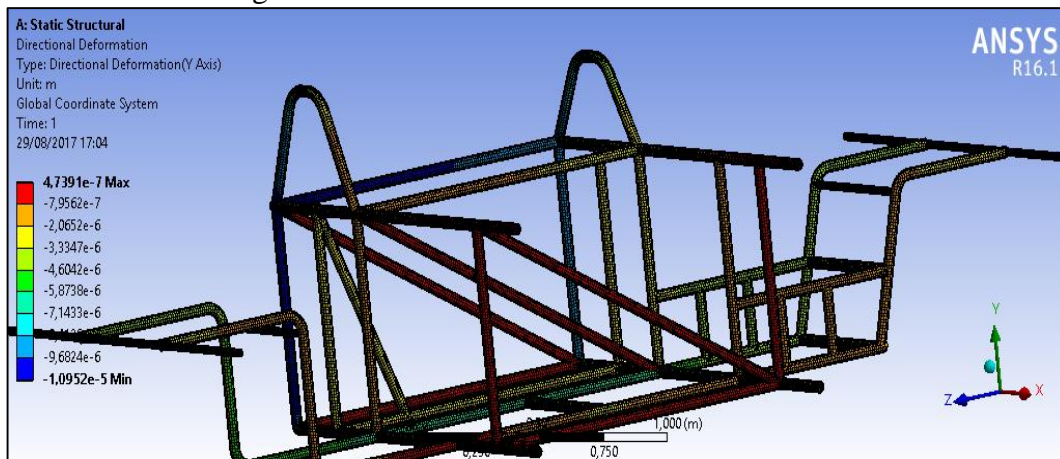
Figura 21-3. Aplicación de la fuerza en X



Fuente: Autores

Una vez aplicada la fuerza axial en el eje X se realiza el análisis en el software, el resultado que se obtiene se muestra en la figura. La deformación máxima que se puede producir en la estructura es de  $4.7391 \times 10^{-7} m$  en las zonas pintadas de rojo, lo cual, indica que el valor de la deformación es despreciable, mínima o insignificante; por tal motivo se ratifica que el material seleccionado para la estructura es el adecuado.

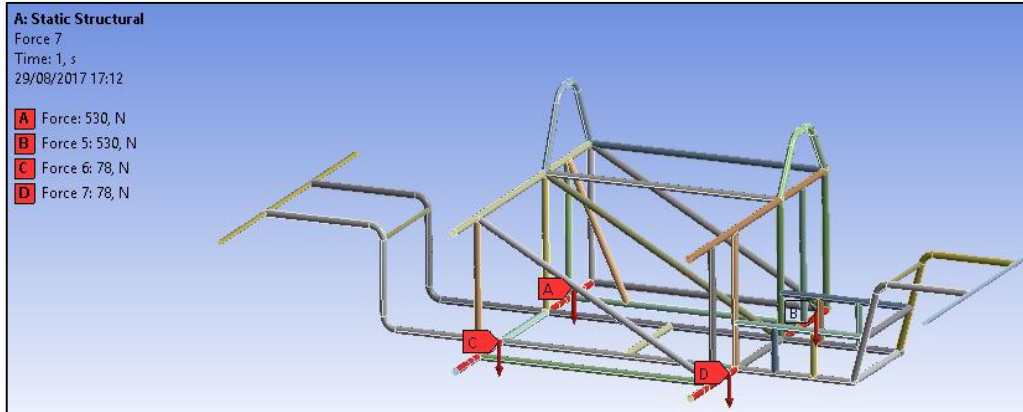
Figura 22-3. Resultado análisis fuerza axial en X



Fuente: Autores

**3.3.3.3** *Análisis axial, fuerza en Y.* A continuación se analiza la deformación de la estructura, cuando se aplica una carga axial en el eje Y, la carga es distribuida en los cuatro soportes del vehículo como se muestra en la figura.

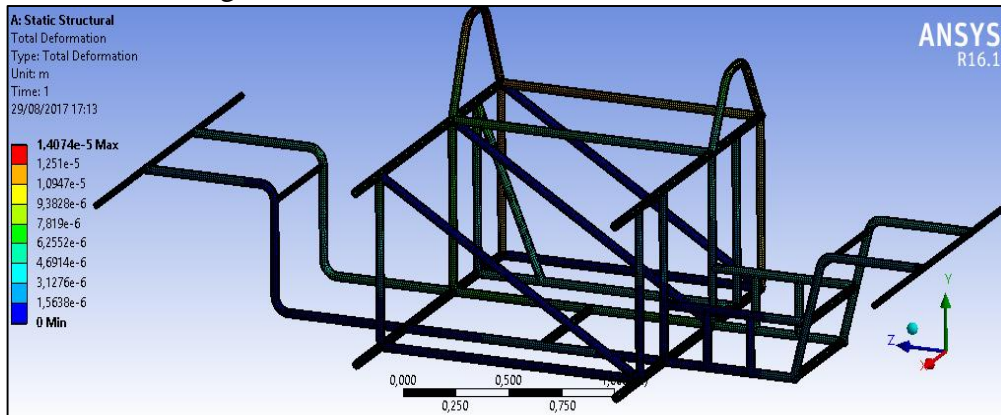
Figura 23-3. Aplicación de la fuerza en X



Fuente: Autores

El resultado que se obtiene en el análisis axial de la fuerza en Y se muestra en la figura. La deformación máxima que se puede producir en la estructura es de  $1.4074 \times 10^{-5} \text{ m}$  en las zonas pintadas de rojo, lo cual, indica que el valor de la deformación es despreciable, mínima o insignificante; por tal motivo se ratifica que el material seleccionado para la estructura es el adecuado.

Figura 24-3. Resultado análisis fuerza axial en Y

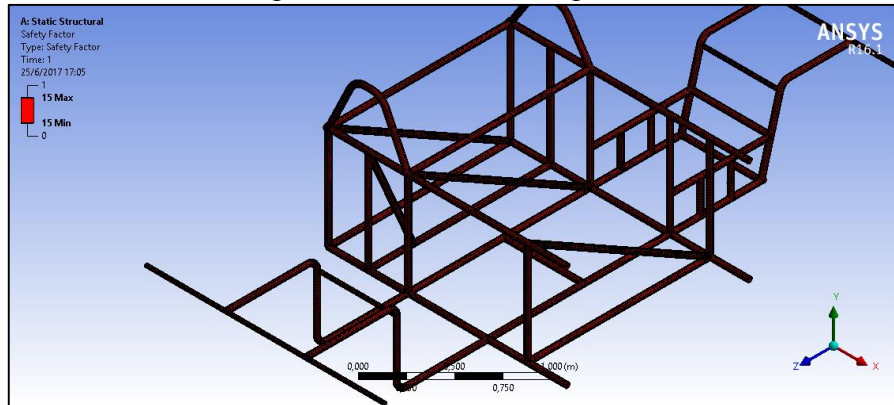


Fuente: Autores

**3.3.3.4 Factor de seguridad.** Para evitar una falla estructural, las cargas que una estructura es capaz de soportar deben ser mayores a las cargas a las que se va a someter, es decir, la resistencia real de una estructura debe ser mayor que la resistencia requerida. La relación de la resistencia real entre la resistencia requerida se conoce como factor de seguridad y debe ser mayor que 1,0 para evitar fallas.

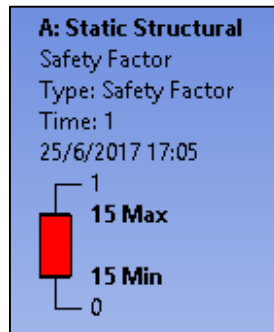
Para culminar el análisis estático en el software Ansys se determina el factor de seguridad como se indica en la siguiente figura.

Figura 25-3. Factor de Seguridad



Fuente: Autores

Gráfico 3-3. Resultado del factor de seguridad



Fuente: Autores

El factor de seguridad de la estructura es igual a 15, lo cual indica que el diseño es muy seguro.

**3.3.4** *Análisis dinámico.* Una vez determinado, en el análisis estático, que el factor de seguridad de la estructura es confiable; se realiza el análisis dinámico del vehículo en el software Ansys, el cual, sirve para determinar la deformación y el esfuerzo máximo en el momento de un impacto.

El análisis dinámico es de suma importancia ya que simula el choque del bastidor contra una pared y se realiza con el fin de apreciar la deformación máxima y el esfuerzo máximo que sufrirá el bastidor.

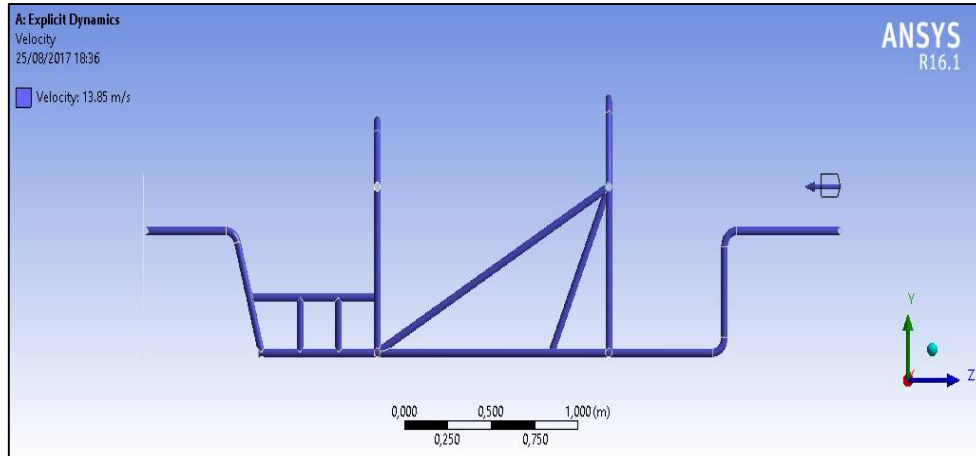
En el análisis se simula el impacto del vehículo a distintas velocidades; primero se analiza el impacto a una velocidad de 50 Km/h (velocidad promedio de un vehículo de competición CSA) y luego a una velocidad de 100 Km/h. Los resultados obtenidos se detallan a continuación:



- **Análisis dinámico a 50 Km/h**

En primer lugar se configura en el software la velocidad de 50 km/h, posteriormente se realiza el análisis.

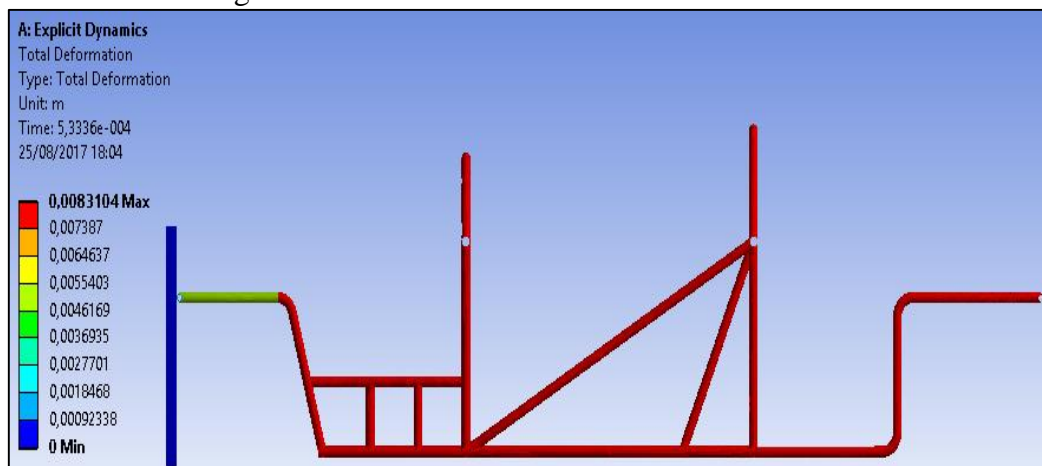
Figura 26-3. Análisis dinámico, velocidad 50 Km/h



Fuente: Autores

La deformación máxima que puede sufrir el vehículo a una velocidad de 50 Km/h es de 0,0083 m a lo largo del bastidor, como se muestra en la figura.

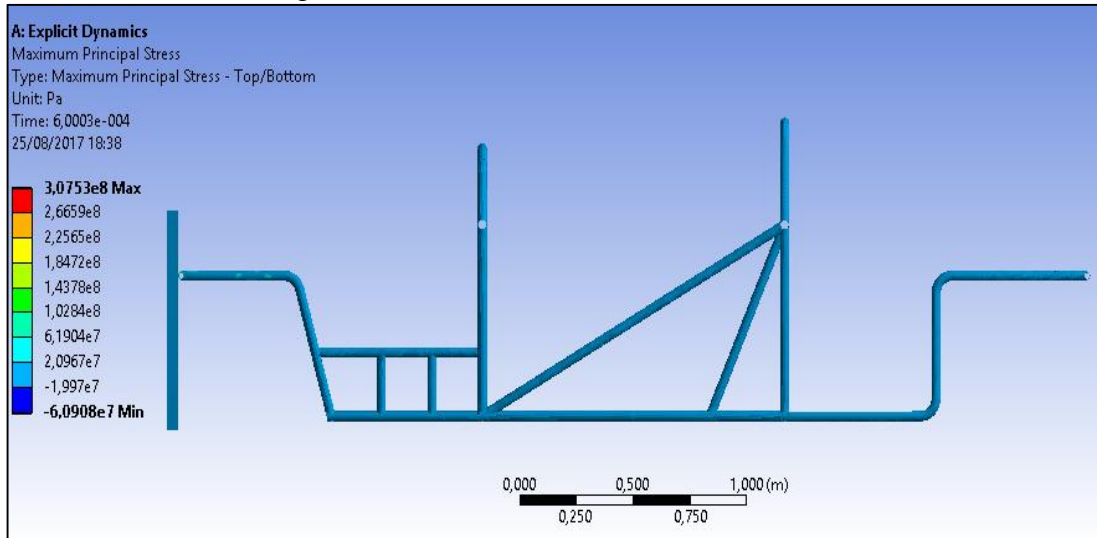
Figura 27-3. Resultado de la deformación máxima



Fuente: Autores

El esfuerzo máximo que puede sufrir el bastidor es de  $3,0753 \times 10^8 Pa$  (Figura 31-3), este valor sobrepasa el límite de fluencia del material empleado en la construcción, por lo cual, se concluye que en un accidente el bastidor pasa de una zona elástica a una zona plástica.

Figura 28-3. Resultado del esfuerzo máximo

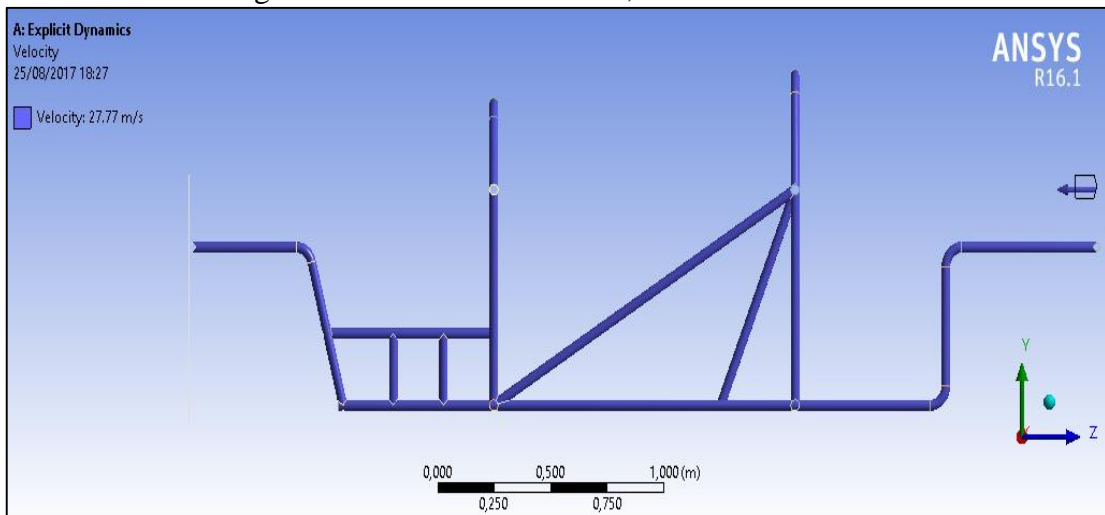


Fuente: Autores

- **Análisis dinámico a 100 Km/h**

En primer lugar se configura en el software la velocidad de 100 km/h, posteriormente se realiza el análisis.

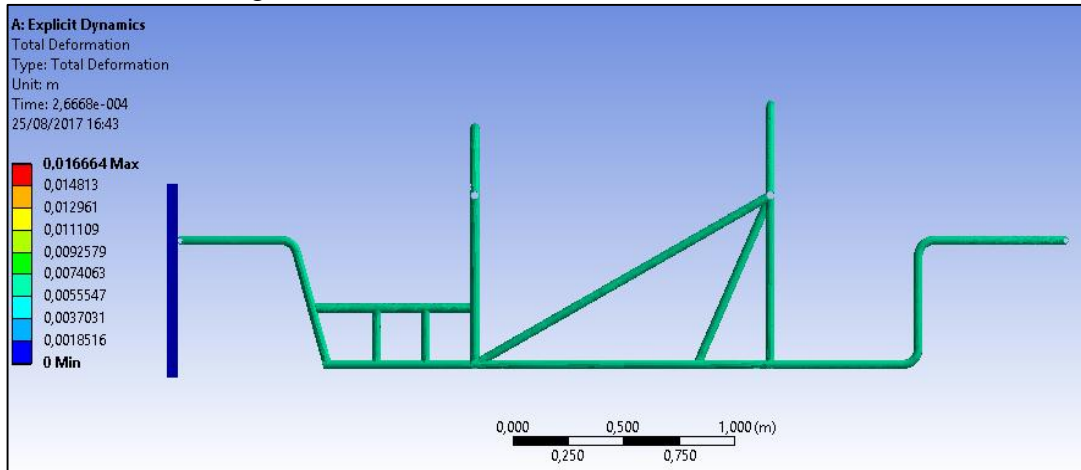
Figura 29-3. Análisis dinámico, velocidad 50 Km/h



Fuente: Autores

La deformación máxima que puede sufrir el vehículo a una velocidad de 100 Km/h es de 0,017 m a lo largo del bastidor, como se muestra en la figura.

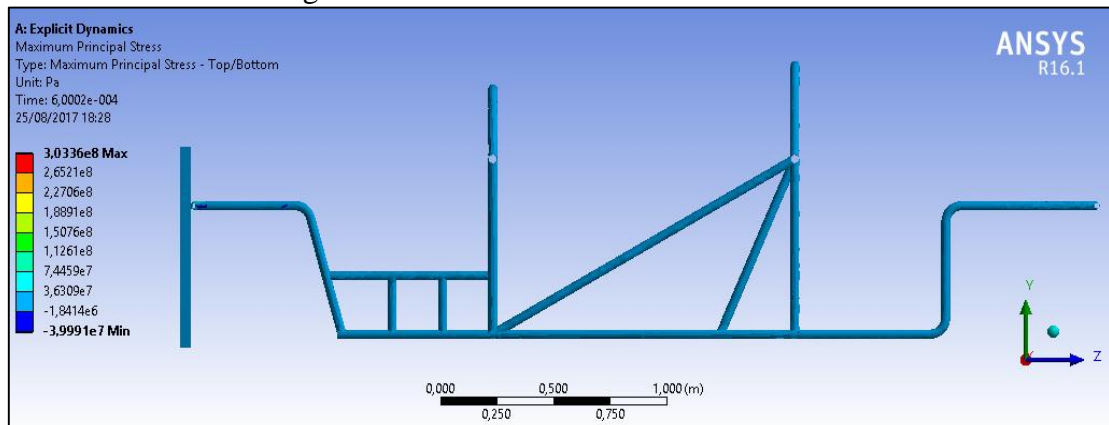
Figura 30-3. Resultado de la deformación máxima



Fuente: Autores

El esfuerzo máximo que puede sufrir el bastidor es de  $3,033 \times 10^8 \text{ Pa}$  (Figura), este valor sobrepasa el límite de fluencia del material empleado en la construcción, por lo cual, se concluye que en un accidente el bastidor pasa de una zona elástica a una zona plástica.

Figura 31-3. Resultado del esfuerzo máximo



Fuente: Autores

### 3.4 Parámetros de diseño de la carrocería

La carrocería es la estructura del vehículo que se apoya sobre el bastidor y que alberga en su interior al conductor, los pasajeros y la carga; en el vehículo solar la carrocería tiene exclusivamente la misión estética y aerodinámica.

Se consideran tres funciones principales que debe cumplir la carrocería.

- Proteger a los ocupantes.

- Dotar al vehículo de un aspecto aerodinámico.
- Brindar una apariencia estética.

### **3.5 Variables de diseño**

Considerando los criterios mencionados en el apartado anterior se establece que las variables principales para el diseño del bastidor son: Peso y Aerodinámica del vehículo.

**3.5.1** *Peso.* Al igual que el bastidor la carrocería debe construirse con materiales muy ligeros y resistentes, considerando que, cuanto menor sea el peso, respetando la resistencia (esfuerzos) y la rigidez, mejor se aprovechará la potencia del motor.

**3.5.2** *Aerodinámica del vehículo.* Se denomina resistencia aerodinámica, o simplemente resistencia, a la fuerza que sufre un cuerpo al moverse a través del aire, y en particular a la componente de esa fuerza en la dirección de la velocidad relativa del cuerpo respecto del medio. La resistencia es siempre de sentido opuesto al de dicha velocidad, por lo que habitualmente se dice de ella que, de forma análoga a la de fricción, es la fuerza que se opone al avance de un cuerpo a través del aire.

La mayor o menor facilidad con la que el automóvil vence esta resistencia viene determinada por el producto de dos factores: la forma de la carrocería y su superficie. No podemos olvidar la velocidad ya que un auto que va muy lento prácticamente no tiene para que luchar contra el viento.

Para obtener un diseño aerodinámico en el vehículo solar, el primer paso en el diseño es reducir la sección transversal frontal (tamaño del vehículo, visto desde el frente). Se puede lograr una mínima sección transversal frontal, por lo que el vehículo debe estar lo más cerca del suelo posible, manteniendo bajo el capó y el techo, pero manteniendo el alto necesario para que se pueda acomodar perfectamente la cabeza del conductor.

### **3.6 Material para la carrocería**

La fibra de vidrio por las características y ventajas que brinda es el material que se está utilizando actualmente en la construcción de carrocerías para vehículos de competencia. Las principales características de la fibra de vidrio se citan a continuación:

- Excelente resistencia mecánica específica (resistencia a la tracción/densidad).
- Resistencia a la humedad (debe sin embargo evitar la humedad antes de la laminación porque perjudica la unión con la resina).
- Gran resistencia a productos que deterioran como las gasolinas, grasa y aceites.
- Buenas propiedades como aislante eléctrico.
- Excelente aptitud para el conformado (moldeado), lo que facilita diseños más atrevidos y aerodinámicos.
- Nula capacidad corrosiva.
- Alta inalterabilidad a los cambios de temperatura.
- Alto límite elástico.
- Perfecta aptitud para el reciclaje y reaprovechamiento de las piezas.
- Reparación óptima.
- Incombustibilidad es por naturaleza. No propaga la llama ni origina con el calor humos o toxicidad.
- Notable reducción del peso del vehículo.

**3.6.1** *Especificaciones técnicas de la fibra de vidrio.* Las propiedades mecánicas de la fibra de vidrio son:

- Tenacidad (N/tex): 1,30
- Fuerza a la tracción (MPa): 3 400
- Elongación hasta rotura (%): 4,5

Las propiedades térmicas de la fibra de vidrio son:

- Conductividad Térmica (W/m °K): 1
- Resistencia termomecánica: 100% después de 100 h a 200 °C

Las propiedades eléctricas de la fibra de vidrio son:

- Resistividad (ohm x cm): 10<sup>14</sup> - 10<sup>15</sup>
- Factor de disipación dieléctrica: 0,001 0 – 0,001 8 a 10<sup>6</sup> Hz

Las propiedades químicas de la fibra de vidrio son:

- Absorción de humedad a 20°C y 60% de humedad relativa (%): 0,1
- Resistencia a los disolventes: alta
- Resistencia a la intemperie y los rayos UV: alta
- Resistencia a microorganismos: alta

### 3.7 Diseño CAD de la carrocería

El modelado de la carrocería se realizó en el software Solidworks, para lo cual se siguió el siguiente procedimiento:

- Selección de plano 2D y creación de boceto.
- Modelado geométrico de la base de la carrocería (ancho y largo).
- Extrusión con medida de altura establecida para la carrocería.
- Desbaste del modelo principal, (ángulos de inclinación, redondeado y chaflán).
- Obtención del modelado final de la carrocería.

En la siguiente figura se observa el modelado final de la carrocería para el vehículo de competencia.

Figura 32-3. Modelado de la carrocería



Fuente: Autores

### 3.8 Análisis aerodinámico

El diseño de la carrocería es de suma importancia ya que cuestiones como las prestaciones, la estabilidad, la adherencia al suelo y el consumo de combustible dependen

de la forma de la carrocería y de su aerodinámica que se encarga de estudiar los fenómenos que se originan cuando existe movimiento relativo entre un sólido (el vehículo) y el fluido gaseoso que lo rodea, para lo cual, es importante considerar los parámetros de la tabla.

Tabla 8-3. Parámetros para el análisis aerodinámico

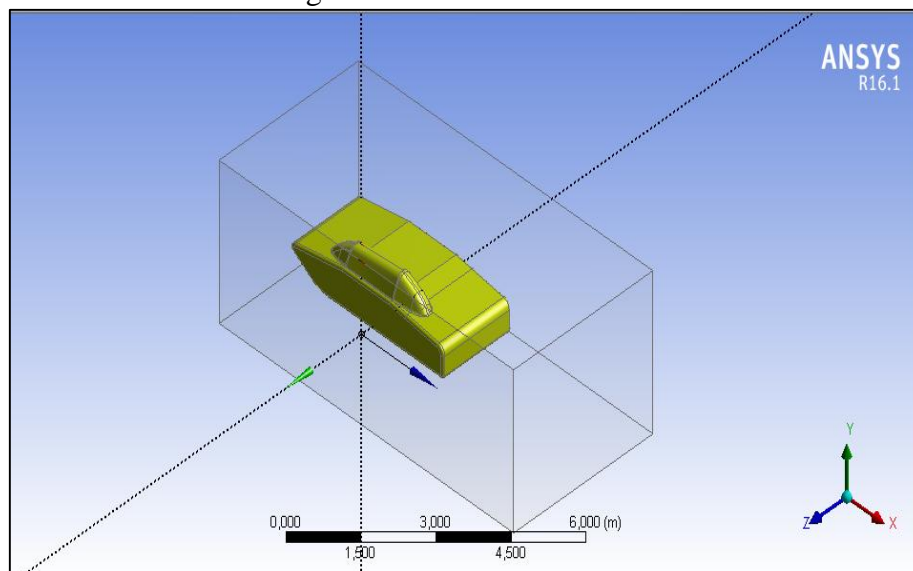
Parámetros	Valor	Fuente
Velocidad del Vehículo	13.88 m/s a 27.77 m/s	Reglamento CSA
Velocidad del viento	70.13 m/s	Simulación en Ansys
Tipo de Acabado del vehículo	Liso	Autor

Fuente: Autor

Para realizar el análisis aerodinámico del vehículo se empleará el software CAE Ansys, en el cual se debe cargar el modelado de la carrocería.

Posteriormente se construye el túnel de viento en el cual se va a realizar el análisis aerodinámico, el resultado se muestra en la figura.

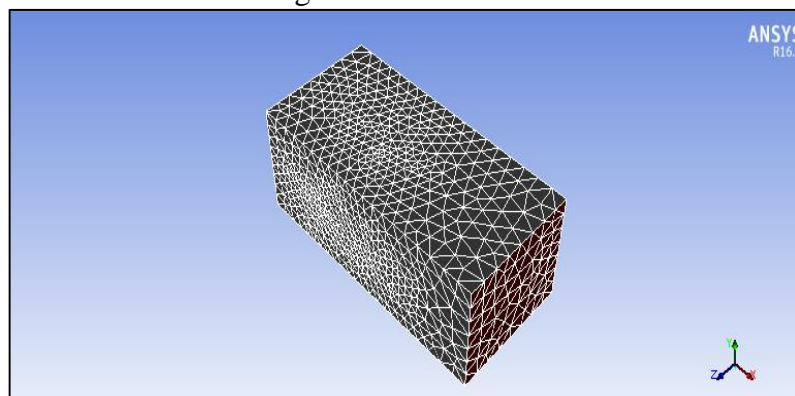
Figura 33-3. Túnel de Viento



Fuente: Autores

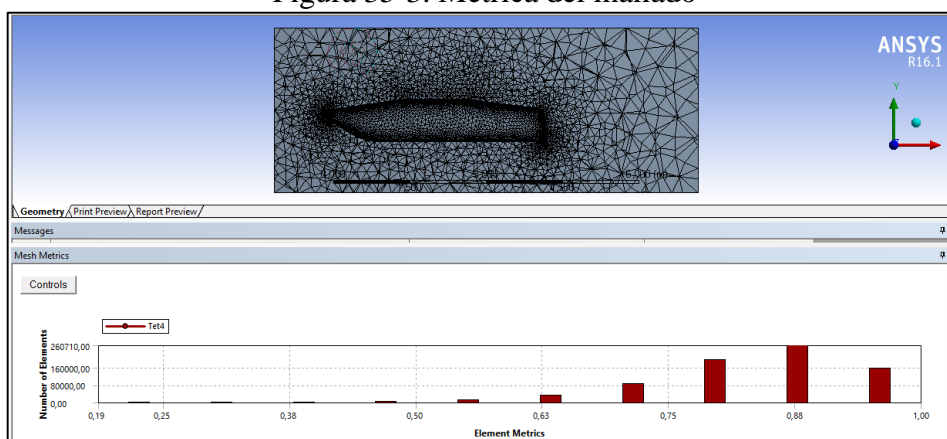
Como ANSYS trabaja con un análisis de elementos finitos, en primer lugar, es necesario realizar el mallado de los componentes, como se detalla en las siguientes figuras.

Figura 34-3. Mallado



Fuente: Autores

Figura 35-3. Métrica del mallado



Fuente: Autores

Una vez culminado el mallado de la carrocería se debe configurar en el software los parámetros necesarios para realizar el análisis aerodinámico que se detallan en la tabla. Por último se debe ejecutar la simulación del análisis e interpretar los resultados obtenidos.

Tabla 9-3. Parámetros para realizar el análisis aerodinámico

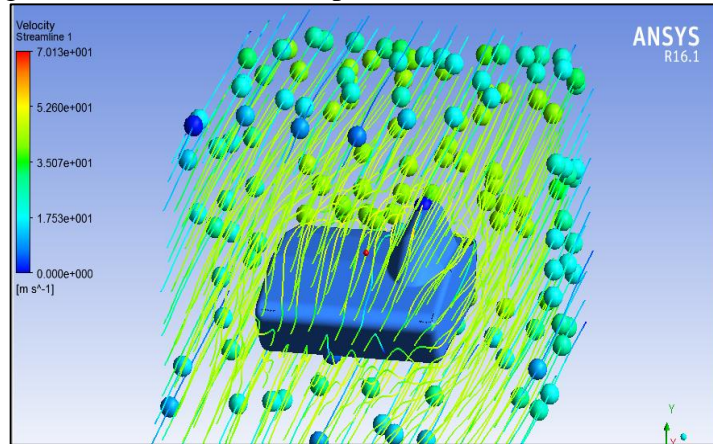
Condiciones de entrada		Datos de entrada para la simulación	
Tipo de malla	Fina	Presión de referencia	1 atm
Nodos	10 308	Temperatura del fluido	350 K
Elementos	6 441	Modelo de turbulencia	K-épsilon
Tipo de elemento	Triangular	Condiciones de entrada	1 136 520 Pa
Malla máxima	0,99	Velocidad	27,77 m/s
Malla promedio	0,505	Presión condiciones de salida	1 136 520 Pa
Malla mínima	$2,1 \times 10^{-2}$	Número de iteraciones	120

Fuente: Autores



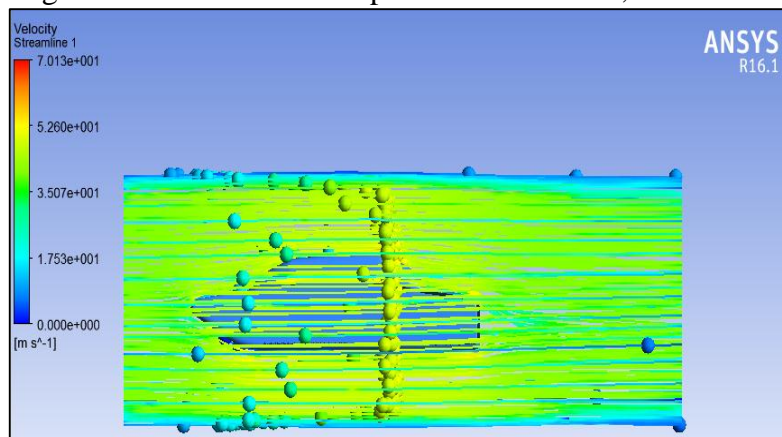
En las figuras se puede obtener una animación de partículas de viento, acerca del recorrido del mismo.

Figura 36-3. Animación de partículas de viento, vista frontal



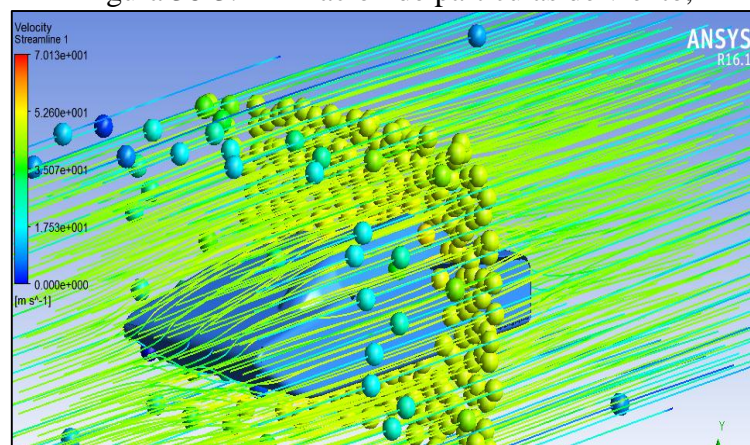
Fuente: Autores

Figura 37-3. Animación de partículas de viento, vista lateral



Fuente: Autores

Figura 38-3. Animación de partículas de viento,



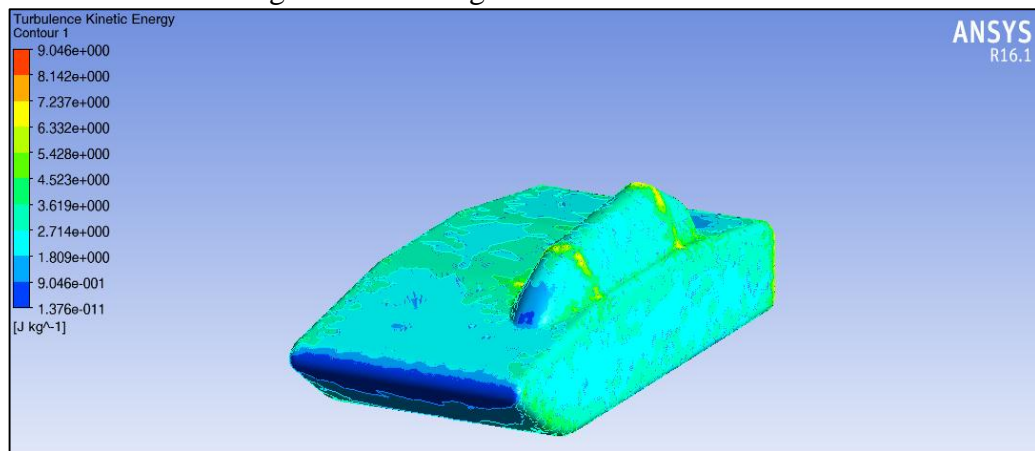
Fuente: Autores

**3.8.1** *Energía cinética de turbulencia.* La energía cinética de turbulencia (TKE) es la energía cinética media por unidad de masa asociada con remolinos en el flujo turbulento.

Para el coche, es la pérdida de energía cinética del flujo medio con el fin de continuar remolinos que se forman debido a la diferencia de presión.

En la siguiente figura se puede observar el análisis de la energía cinética de turbulencia.

Figura 39-3. Energía cinética de turbulencia



Fuente: Autores

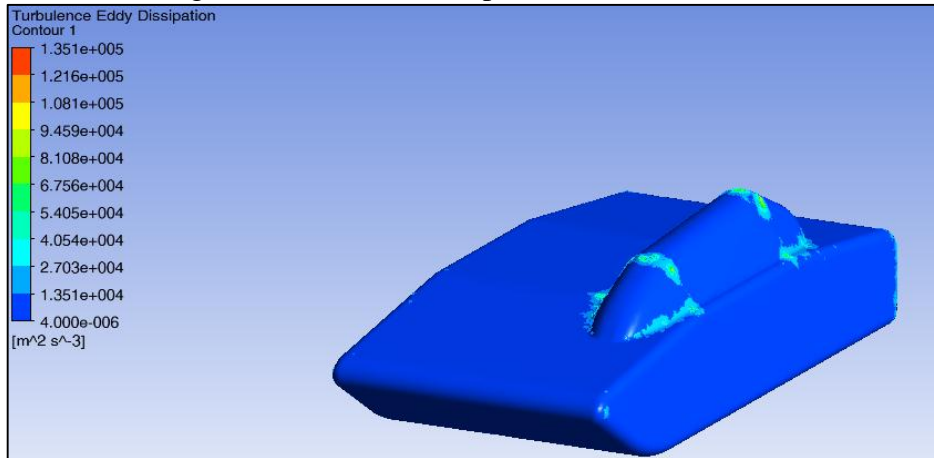
**Resultado:** En la figura *Análisis de la energía cinética de turbulencia*, se puede apreciar en qué zonas del vehículo existe mayor flujo de aire; *el valor máximo es de 9.046 J/kg y el valor mínimo es de 1.37x10<sup>-11</sup> J/kg.*

**Conclusión:** El valor máximo de la energía cinética de turbulencia se produce en la cabina del piloto, específicamente, en las barras antivuelco frontal y posterior; tal valor, indica que el aire tiene un buen flujo y no presenta una oposición considerable al movimiento, por ende, la pérdida de energía cinética del vehículo es insignificante.

**3.8.2** *Tasa de disipación de la turbulencia.* Disipación de la turbulencia, es la velocidad a la que la energía cinética de la turbulencia se convierte en energía térmica interna.

En la figura se puede observar el análisis de la tasa de disipación de la turbulencia.

Figura 40-3. Tasa de disipación de la turbulencia



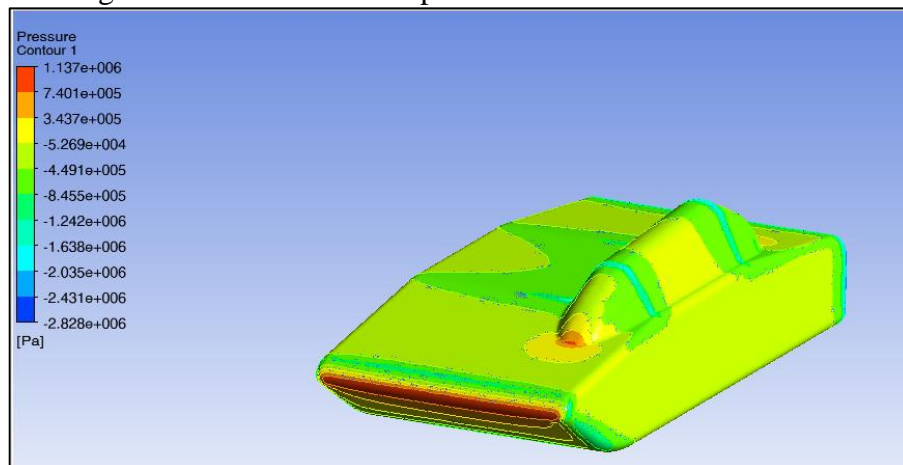
Fuente: Autores

**Resultado:** En la figura *Análisis, Tasa de disipación de la turbulencia*, se puede apreciar que la mayor tasa de disipación se produce en las zonas del vehículo pintadas de celeste, las cuales representan un *valor máximo de disipación de  $1.35 \times 10^5$  J/kg*.

**Conclusión:** Es evidente que la mayor tasa de disipación se produce en las zonas del vehículo donde la energía cinética de turbulencia es mayor.

**3.8.3 Presión.** Para tener una idea de la presión que ejerce el viento sobre la carrocería, se realiza el análisis que se muestra en la siguiente figura.

Figura 41-3. Análisis de la presión de aire sobre la carrocería



Fuente: Autores

**Resultado:** En la figura *Análisis de la presión*, se puede apreciar que la presión máxima se produce en las zonas del vehículo pintadas de rojo y es igual a  $1.137 \times 10^6$  Pa; la presión mínima es de  $-2.828 \times 10^6$  Pa.

**Conclusión:** El valor de la presión máxima, que se produce en la parte delantera del vehículo, no ejerce una oposición relevante al movimiento ni deforma el material del vehículo debido a las propiedades mecánicas que posee, las cuales, se especificaron anteriormente.

### 3.9 Cálculos Aerodinámicos

#### 3.9.1 Numero de Reynolds

$$R_e = 67,778 * v * l$$

$$R_e = 67,778 * 27.77 \frac{m}{s} * 1,75 m$$

$$R_e = 1 647,5$$

$$0 \leq 3 293.8 \leq 2 000 \text{ **Flujo Laminar**}$$

#### 3.9.2 Número de Mach

$$M = \frac{V}{V_s}$$

$$V_s = \sqrt{K * R * T}$$

$$M = \frac{V}{\sqrt{K * R * T}}$$

$$M = \frac{13.89}{\sqrt{1,4 * 287 * 350}}$$

$$M = 0,037$$

$$0,037 \leq 0.3 \text{ **Fluido incompresible**}$$

#### 3.9.3 Fineza

Tabla 10-3. Resultado Ansys, Contorno de fuerzas en XyY

Fuerzas en X (F <sub>d</sub> )	Fuerzas en Y (F <sub>L</sub> )
F <sub>x</sub> máximo = 1.84x10 <sup>-2</sup> F <sub>x</sub> mínimo = -7.57x10 <sup>-3</sup>	F <sub>x</sub> máximo = 7.63x10 <sup>-4</sup> F <sub>x</sub> mínimo = -3.43x10 <sup>-4</sup>

Fuente: Autores

$$f = \frac{F_L}{F_d} = \frac{C_L}{C_d}$$

$$f = \frac{7,63 \times 10^{-4}}{1,84 \times 10^{-2}}$$

$$f = 4,2 \times 10^{-2}$$

### 3.9.4 *Coefficiente de sustentación*

$$C_L = \frac{2F_L}{\rho v^2 A}$$
$$C_L = \frac{2(7,63 \times 10^{-4})}{1,225(70.13^2)(1.31)}$$
$$C_L = 1.93 \times 10^{-7}$$

### 3.9.5 *Coefficiente de arrastre*

$$C_L = \frac{2F_D}{\rho v^2 A}$$
$$C_L = \frac{2(1.84 \times 10^{-2})}{1,225(70.13^2)(1.31)}$$
$$C_L = 1.93 \times 10^{-5}$$

## CAPÍTULO IV

### 4. CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y CARROCERIA

#### 4.1 Pruebas del material del bastidor.

Estas pruebas se realizan con el propósito de determinar las propiedades físicas y mecánicas del material que se usará en la construcción del bastidor y verificar si cumplen con las características adecuadas.

Las pruebas del material consisten en aplicar ensayos destructivos (pueden ser de tracción, flexión y compresión), los cuales, son pruebas que deforman al material de forma permanente con el fin de conocer su resistencia ante determinados esfuerzos.

Se aplica ensayos destructivos por las ventajas que se detallan a continuación:

- Admite reconocer de forma precisa las propiedades mecánicas de la unión adhesiva del material
- Existen una variedad de estándares sobre la ejecución de ensayos destructivos.
- Los equipos utilizados en los ensayos destructivos son más económicos en comparación de los equipos a utilizar en un ensayo no destructivo.
- Permite identificar el fallo o ruptura que se puede producir durante su vida en uso, esto se lo logra sometiendo el material a un envejecimiento acelerado.
- Los ensayos en su totalidad tiene un costo parcialmente barato.

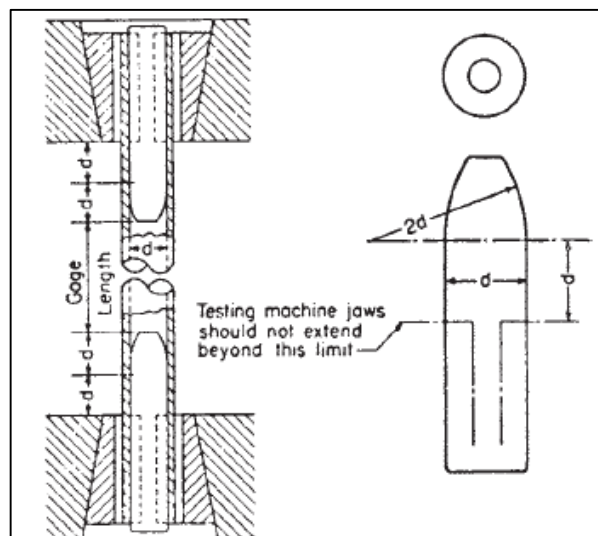
#### 4.2 Ensayo de resistencia a la tracción.

El ensayo de resistencia a la tracción es el más utilizado en la construcción de estructuras o máquinas, porque nos permite verificar si el material adquirido es el adecuado para realizar la construcción del bastidor.

El ensayo se aplica en base a la norma ASTM A370, la cual, nos da algunas especificaciones para la preparación de la probeta:

- Se deben utilizar tapones de acero en los extremos de la probeta los cuales deben estar ceñidos o apretados. Para la realización de los tapones se utilizó acero de transmisión.
- El tamaño de los tapones debe ser el suficiente para permitir que las mordazas de la maquina puedan agarrar las probetas sin que se produzca un aplastamiento. Aparte de la medida de dos veces diámetro interior de la probeta.

Figura 1-4. Ubicación de tapones para muestra de ensayo de tracción en muestras tubulares



Fuente: Norma ASTM A370

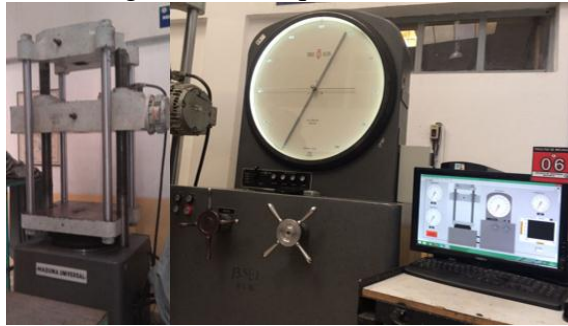
Para realizar el ensayo se utiliza la Máquina Universal que se encuentra en el laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Mecánica.

Cabe recalcar, que se denomina máquina universal a una máquina semejante a una prensa con la que es posible medir las propiedades mecánicas de un material sometiéndolo a ensayos de tracción y compresión.

La presión se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o un sistema hidráulico.

La longitud de la probeta para realizar el ensayo de tracción es de 60 cm ya que se tuvo en cuenta que el espacio utilizado para el agarre de las mordazas de la Máquina Universal es de 17cm de cada extremo.

Figura 2-4. Máquina universal



Fuente: Autores

Figura 3-4. Probeta para el ensayo de tracción



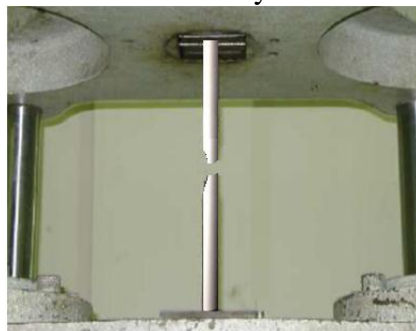
Fuente: Autores

En la máquina universal se realiza tres pruebas, de la sección de tubo circular para posteriormente sacar un promedio de los datos arrojados. Una vez listas las probetas, se las coloca en la máquina para realizar el ensayo de resistencia a tracción.

Durante el ensayo las probetas se van alargando paulatinamente a una velocidad lenta de 1Kg/s, determinándose al mismo tiempo los esfuerzos en kilogramos que nos arroja la máquina universal.

Posteriormente se tiene la probeta que ha llegado a su límite de ruptura, lo cual nos da el resultado final del ensayo, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4-4. Probeta de ensayo a límite de ruptura



Fuente: Autores



### 4.3 Ensayo de resistencia a la compresión

La longitud de la probeta para realizar el ensayo de compresión deberá ser 1,5 veces el diámetro exterior del tubo, según la Norma INEN 135 como se puede observar en la siguiente figura.

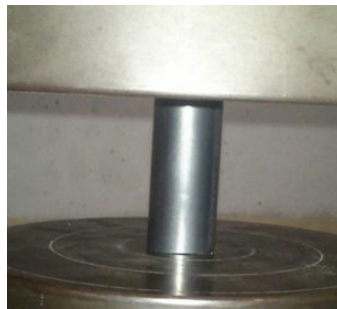
Figura 5-4. Probeta para el ensayo de compresión



Fuente: Autores

En la máquina universal se realiza tres pruebas, de la sección de tubo circular para posteriormente sacar un promedio de los datos arrojados. Las probetas, se las coloca en la máquina para realizar el ensayo de resistencia a compresión, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 6-4. Prueba de resistencia a compresión



Fuente: Autores

### 4.4 Análisis de los resultados

Una vez realizado el ensayo de resistencia a la tracción, se recoge los datos y se procede a calcular y verificar si estos están dentro del rango mínimo que exige el reglamento de la Carrera Solar de Atacama.

El espesor de la probeta es de 2 mm, el diámetro exterior es de 32 mm; según la norma ASTM A370, el área de la sección circular está dada por la fórmula:

$$A = 3,1416t(D - t)$$

Dónde:

A = Área de sección transversal, in<sup>2</sup>.

D = Diámetro exterior, in.

t = Espesor de pared del tubo, in.

$$A = 3,1416 * 2(32 - 2)mm.$$

$$A = 188,496 mm^2$$

$$A = 188,496 mm^2 * \frac{1m^2}{(1000mm)^2}$$

$$A = 0,000 188 m^2$$

Con el fin de obtener un dato confiable, acerca de las propiedades del material, se aplica tres ensayos de tracción y tres ensayos de compresión.

Los resultados obtenidos en los ensayos de tracción se detallan en la tabla:

Tabla 1-4. Resultados, ensayos de tracción

Número de Ensayo	Kg
Ensayo 1	5 900
Ensayo 2	6 000
Ensayo 3	5 800
<b>Promedio</b>	<b>5 900</b>

Fuente: Autor

$$F = \frac{(5\ 900 + 6\ 000 + 5\ 800)kg}{3} * (9,81 m/s^2)$$

$$F = \frac{17\ 700 kg}{3} * (9,81 m/s^2)$$

$$F = 5\ 900 kg * (9,81 m/s^2)$$

$$F = 57\ 789 N$$

Posteriormente se calcula el límite de fluencia en MPa con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{57\,789\text{ N}}{0,000\,188\text{ m}^2}$$

$$P = 307\,388\,287,9\text{ Pa}$$

$$P = 307\text{ MPa}$$

Los resultados obtenidos en los ensayos de compresión se detallan en la tabla:

Tabla 2-4. Resultados, ensayos de compresión

Número de Ensayo	Kg
Ensayo 1	6 550
Ensayo 2	6 600
Ensayo 3	6 500
<b>Promedio</b>	<b>6 550</b>

Fuente: Autor

$$F = \frac{(6\,550 + 6\,600 + 6\,500)\text{kg}}{3} * (9,81\text{ m/s}^2)$$

$$F = \frac{19\,650\text{ kg}}{3} * (9,81\text{ m/s}^2)$$

$$F = 6\,550\text{ kg} * (9,81\text{ m/s}^2)$$

$$F = 64\,255,5\text{ N}$$

A continuación se calcula la resistencia del material al ensayo de compresión.

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{64\,255,5\text{ N}}{0,000\,188\text{ m}^2}$$

$$P = 341\,784\,574,5\text{ Pa}$$

$$P = 342\text{ MPa}$$

Tabla 3-4. Resultado del ensayo a compresión.

Límite de fluencia del aluminio 6061-T6	307 MPa.
Resistencia al ensayo de compresión	342 MPa.

Fuente: Autores

Cuando el esfuerzo que se aplica en el material es superior al límite de fluencia de 307 MPa indica que la deformación del material es plástica, es decir, el material se ha deformado de forma permanente.

#### 4.5 Construcción del bastidor

Una vez cumplidos los parámetros de construcción y los lineamientos establecidos en el reglamento de la Carrera Solar de Atacama, en cuanto a criterios de espacio y dimensiones, simulaciones de carga (análisis estático y dinámico), y fase pruebas del material a utilizar (ensayos destructivos) se procede a construir el bastidor con tubos circulares de Aluminio 6061-T6.

La construcción del bastidor se realizó en base al plano acotado del vehículo, el cual se puede observar en el Anexo A, el plano se encuentra a escala y sirve como guía para realizar los cortes, uniones y biselados del bastidor.

- **Base del Batidor**

La fase inicial de la construcción del bastidor fue la construcción de la base, ya que está da soporte a las demás estructuras. Para construir la base, en primer lugar, se realizó el corte de los travesaños y largueros según las medidas especificadas en el plano del Anexo. Una vez cortados los elementos que formarán parte de la base se procede a unirlos mediante el proceso de soldadura. El resultado obtenido se muestra en la siguiente figura.

Figura 7-4. Proceso de soldadura de la base



Fuente: Autores

Figura 8-4. Construcción de la base



Fuente: Autores

- **Cabina**

Una vez construida la base del vehículo se construye la cabina del piloto, para lo cual, se elabora las barras estructurales antivuelco que sirven prevenir el daño directo a la cabina del ocupante y deformaciones graves en caso de colisión o volcamiento. Además se construye las protecciones laterales de la cabina; las medidas de estos elementos se especifican en el plano del Anexo A.

Una vez construidos todos los elementos de la cabina se los une mediante soldadura. El resultado obtenido se muestra en las siguientes figuras

Figura 9-4. Construcción de las protecciones laterales



Fuente: Autores

Figura 10-4. Construcción de la cabina



Fuente: Autores

Figura 11-4. Construcción barras antivuelco



Fuente: Autores

- **Resto de las estructuras**

Una vez construidos los elementos principales del bastidor se construye el resto de la estructura; donde se debe instalar el motor, el panel solar, la suspensión, las baterías, etc. Las dimensiones se especifican en el plano del Anexo A.

Finalmente, se construye el piso del vehículo en planchas de aluminio y se coloca en la base del bastidor. De igual manera la unión del resto de los elementos se realizó mediante un proceso de soldadura, el resultado obtenido en la construcción del bastidor se muestra en las siguientes figuras.

Figura 12-4. Construcción del Bastidor, Vista 1



Fuente: Autores

Figura 13-4. Construcción del Bastidor, Vista 2



Fuente: Autores

Figura 14-4. Construcción del Bastidor, Vista 3



Fuente: Autores

**4.5.1 Soldadura.** La suelda que se utilizó para unir todos los elementos de la estructura del bastidor fue la suelda TIG por sus siglas en inglés (Tugsten Inert Gas), la cual, se trata de un proceso de soldadura por arco eléctrico, que utiliza el intenso calor generado entre un electrodo de tungsteno y la pieza a soldar, bajo la protección de un gas inerte que evita el contacto del aire con el baño de fusión y con el electrodo, que se encuentran a alta temperatura.

Se utiliza gas (argón) de protección cuyo objetivo es desplazar el aire, que elimina la posibilidad de contaminación de la soldadura por el oxígeno y nitrógeno presente en la atmósfera. La característica más importante que ofrece este proceso es entregar alta calidad de soldadura en todos los metales, incluyendo aquellos difíciles de soldar como es el aluminio, como también para soldar metales de espesores delgados como los perfiles seleccionados.

Figura 15-4. Aplicación del proceso de soldadura TIG



Fuente: Autores

El proceso de soldadura TIG se puede aplicar fácilmente de forma horizontal o vertical, lo cual constituye una de sus principales ventajas, ya que en las intersecciones de los elementos se puede llegar mejor a las uniones.

Para un vehículo de competencia es indispensable que la estructura sea lo más rígida como sea posible sin dejar de tomar en cuenta que, para llegar a ser más rígida se necesitara más material estructural, lo cual sería un punto en desventaja al aumento de peso del chasis, las uniones deben estar perfectamente soldadas caso contrario poco a poco con vibraciones y esfuerzos sometidos, el bastidor llegará a ser inservible.

Figura 16-4. Cordones de soldadura aplicados al bastidor



Fuente: Autores

#### 4.6 Construcción de la carrocería

La construcción de la carrocería se da inicio con la elaboración de un molde o matriz de madera triplex para posteriormente darle forma a la misma con la fibra de vidrio. A continuación se detalla el proceso de construcción.

#### 4.7 Construcción del molde o matriz

El molde o matriz de madera triplex que posee las medidas especificadas en los planos de los Anexos A y B, el triplex se utilizó para evitar pandeos y deformaciones al momento de realizar el proceso de estratificación manual.

Gráfico 1-4. Proceso de construcción de la matriz



Fuente: Autores



**4.7.1** *Trazado en el triplex.* En lo posible el trazo deber ser realizado con las medidas exactas con el fin de evitar inconformidades al momento de elaborar el ensamble de la matriz y por tanto evitar sobredimensionamientos al momento de construir la carrocería.

Figura 17-4. Trazado en el triplex



Fuente: Autores

**4.7.2** *Corte del triplex.* Una vez realizado el trazo adecuado de todas las zonas de acuerdo a las medidas especificadas en el plano del Anexo A se procede a cortar cuidadosamente sin sobrepasar los límites marcados.

Figura 18-4. Recortes de las formas a tomar del fondo plano



Fuente: Autores

**4.7.3** *Ensamble de los elementos.* Culminado el trazado y corte de todos los elementos, se procede a unirlos al bastidor dando forma a la carrocería, la unión se realiza por medio de remaches como se muestra en la siguiente figura.

Figura 19-4. Ensamble de los elementos



Fuente: Autores

**4.7.4** *Bordes de la carrocería.* Para dar forma a los bordes redondeados de la carrocería se utiliza tubo PVC, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 20-4. Bordes de la carrocería

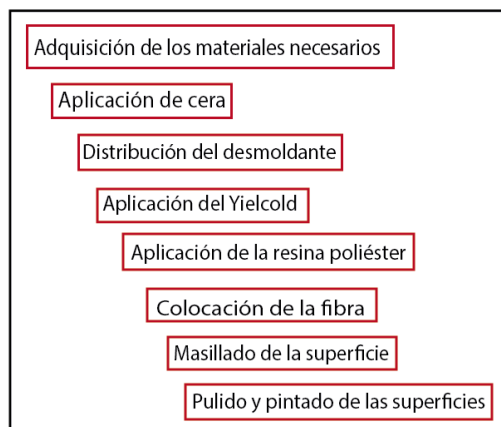


Fuente: Autores

#### **4.8 Construcción de la carrocería empleando fibra de vidrio**

Para llevar a cabo la construcción de la carrocería se deberá tomar en cuenta el acabado de la superficie, en la cual no debe existir rugosidad para lo cual se colocara en toda la superficie una capa de yielcold que dejara con un acabado superficial más liso. El proceso de construcción se detalla en la siguiente figura:

Gráfico 2-4. Proceso de construcción de la carrocería

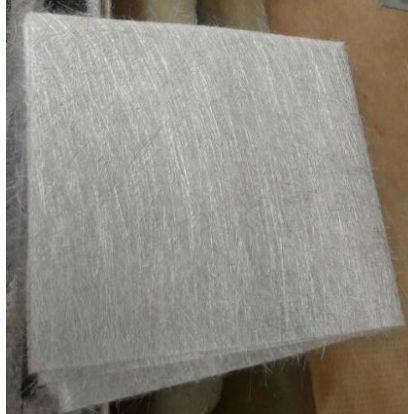


Fuente: Autores

**4.8.1** *Materiales para la construcción de la carrocería.* Los materiales se detallan a continuación:

- **Fibra de vidrio tipo E.** Fibra mineral elaborada a partir de sílice, cal, alúmina y magnesita. A estas materias se les añaden óxidos diversos y se trituran finamente consiguiendo una masa homogénea, que más tarde se introducen en un horno a 1.550°C. La fibra Tipo E: es el tipo de fibra más empleado, se caracteriza por sus propiedades dieléctricas, representa el 90% de refuerzo para composites. Las características de esta fibra se detallan en el Anexo C.

Figura 21-4. Fibra de vidrio tipo E



Fuente: Autores

- **Yielcold.** Es una mezcla formada por talco chino, resina poliéster, dióxido de titanio, peróxido y cobalto. Este material se usa para dar el acabado final con el fin de evitar imperfecciones o defectos en las zonas donde se requiere que no existe ninguna rugosidad.

Figura 22-4. Yielcold



Fuente: Autores

- **Catalizador.** Se utiliza para acelerar el tiempo de secado o curado, es usado especialmente con resinas poliéster y tintas.

Figura 23-4. Catalizador



Fuente: Autores

- **Cera y desmoldante.** Estos materiales se utilizan para evitar que la resina se pegue a la matriz con el fin de prevenir imperfecciones al momento de separar la matriz. Algunas ceras contiene grasas que cortan la película separadora haciendo que se quede pegado al molde por lo cual este tipo de ceras no son recomendable para el uso en este tipo de procesos.

Figura 24-4. Desmoldante



Fuente: Autores

Figura 25-4. Cera



Fuente: Autores

- **Cobalto.** Este material se utiliza como acelerante, es decir, sirve para disminuir el tiempo de secado de la resina poliéster.

Técnicamente, a lo mencionado anteriormente, se lo conoce como el curado de la resina

Figura 26-4. Cobalto



Fuente: Autores

- **Resina poliéster.** La resina generalmente se encuentra en estado líquido a temperatura ambiente pero puede ser llevada a estado sólido mediante la adición de acelerante (cobalto) y catalizador (MEK).

El proceso de transformación de estado líquido a sólido se llama curado.

Los factores que intervienen en el proceso de curado son los siguientes:

- Algunas resinas no curan a temperatura menor a 16 ° C tampoco sobrepasar la temperatura ambiente es decir los 27°C.
- Debe tener una humedad relativa entre 40 a 50%
- No exceder con la exposición al sol.
- El espesor que tiene el laminado.
- El tipo de resina que se está utilizando.

Los parámetros mencionados anteriormente se deben tomar en cuenta al momento de realizar el curado. Además, se debe revisar su fecha de elaboración ya que si este sobrepasa su límite de uso afectará la calidad y la viscosidad de la resina lo cual afecta en el curado.

Figura 27-4. Resina poliéster



Fuente: Autores

**4.8.2** *Aplicación de cera.* Se debe colocar una capa ligera y uniforme de cera, sobre el molde, utilizando un paño o guaipe. Una vez seca la primera capa de cera se procede a colocar una segunda teniendo mucho cuidado en no levantar la primera, así se deberá aplicar por lo menos cinco veces para que se mantenga encerado durante el proceso.

Figura 28-4. Aplicación de la cera



Fuente: Autores

**4.8.3** *Distribución del desmoldante en la superficie.* El desmoldante debe aplicarse una vez que la capa de cera esté distribuida sobre toda la superficie del molde; además debe aplicarse cuando la cera se encuentre totalmente seca. La aplicación del desmoldante se realiza con un paño mojado la cual evitara que el molde se pegue con la matriz.

Figura 29-4. Distribución homogénea del desmoldante



Fuente: Autores

**4.8.4** *Aplicación de capa fina de Yielcold.* Después de colocar la cera y el desmoldante se debe cubrir (de forma homogénea) la superficie del molde con una capa de Yielcold, para lo cual, se utiliza una brocha. Posterior a esto, se debe secar la capa de yielcold, lo cual, tarda entre 20 a 25 minutos. Este proceso se realiza con el objetivo de garantizar el acabado superficial y por ende eliminar rugosidades evitando así turbulencias.

Figura 30-4. Aplicación de Yielcold



Fuente: Autores

**4.8.5** *Aplicación de la resina poliéster.* Una vez aplicada la capa de yielcold, se procede a cubrir el molde con una capa de resina poliéster de forma que quede homogénea en toda la superficie, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 31-4. Aplicación de resina poliéster



Fuente: Autores

**4.8.6** *Colocación de la fibra de vidrio.* Primero, se corta la fibra de vidrio en rectángulos pequeños para facilitar su manipulación, para lo cual, es necesario utilizar

equipos de protección personal, tales como, mascarillas, guantes y gafas de seguridad, de tal forma que las partículas pequeñas de la fibra no afecten al organismo.

A continuación, se coloca la primera capa de fibra de vidrio y se cubre toda la superficie con resina poliéster, para lo cual, se utiliza una brocha; con esto se deberá en lo posible eliminar burbujas de aire producidos al momento de colocar la fibra. Finalizada la aplicación de la primera capa de fibra de vidrio, se debe colocar una segunda capa pero está vez las láminas de la fibra se deben colocar en dirección contraria a la primera, es decir, que quede cruzada; esto se realiza con el fin de obtener una mayor resistencia a los esfuerzos. Luego, se debe cubrir toda la superficie con resina como se indicó anteriormente. Cuando se haya cubierto de resina toda toda la superficie se deberá dejar 24 horas para su respectivo secado o curado.

Figura 32-4. Aplicación de la fibra de vidrio



Fuente: Autores

**4.8.7** *Masillado de la superficie.* El masillado se aplica con el fin de obtener una superficie más regular ya que existen zonas porosas e irregulares que se producen por la separación de la fibra, lo cual se corrige con la aplicación del masillado.

Figura 33-4. Masillado en las superficies



Fuente: Autores



**4.8.8** *Proceso de pulido.* El pulido y lijado se realiza, cuando el masillado esté completamente seco, con el fin de obtener una superficie homogénea y regular. Para lo cual se emplea una pulidora y lija gruesa número 60, 80 y una lija de agua para darle un mejor acabado.

Figura 34-4. Pulido



Fuente: Autores

**4.8.9** *Proceso de pintado.* Antes de pintar la superficie se debe limpiar todas las impurezas, suciedades, polvos, etc. ya que si no se realiza esto, la pintura no podrá adherirse adecuadamente. A continuación se aplica un fondo de color gris en la superficie, lo cual, sirve como base para que la siguiente capa de pintura pueda adherirse mejor.

Figura 35-4. Fondo gris



Fuente: Autores

Finalmente se prepara la pintura con la cual se va a pintar la carrocería, para lo cual, se deberá tomar en cuenta que la mezcla que se realice con el tinner sea equilibrada, es decir, que no debe ser muy espesa ni muy diluida lo cual implicara en la adhesión a la superficie y por ende en la calidad del acabado superficial de la carrocería.

Una vez finalizada la preparación de la pintura se procede a su aplicación con la ayuda de una pistola de aire. La aplicación de la pintura debe ser uniforme, lo cual, se consigue

realizando movimientos paralelos a la superficie a pintar a una distancia de 30 cm de la punta de la pistola a la carrocería.

La pintura no se debe aplicar más de 8 segundos sobre un mismo punto, debido a que ocasionaría escurrimientos. Teniendo en cuenta tres movimientos consecutivos en la misma área donde se aplicó la pintura, se consideró la primera capa, siendo tres de éstas las que se aplicaron.

Figura 36-4. Aplicación de pintura



Fuente: Autores

**4.8.10 Pulido y acabado final.** Finalmente se aplica un proceso de pulido con el fin de eliminar las imperfecciones de la pintura como: pelusas, ojos de pescado, entre otros. Cabe recalcar que cuando se pinta una carrocería, las capas nunca quedan lisas, de manera que al aplicar el proceso de pulido, se corrige las imperfecciones, y se obtiene una superficie uniforme.

Figura 37-4. Resultado final



Fuente: Autores

## CAPITULO V

### 5. PRESUPUESTO

Para la implementación de la propuesta tecnológica se consideraron las mejores ofertas de los dispositivos a instalar, sin dejar de lado la calidad, eficiencia y tecnología. Los costos directos corresponden a los elementos que influyen directamente en la instalación, y los costos indirectos a los asignados a materiales y recursos secundarios.

#### 5.1 Costos directos

Los costos directos de fabricación abarcan el costo de todos los materiales cuantificables y medibles empleados; esto determinara el costo de la materia prima y la mano de obra

Tabla 1-5. Costos directos para la fabricación del bastidor y la carrocería

COSTOS DIRECTOS			
Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo total [USD]
12	Tubos	35,00\$	420,00
2	Rollos de fibra de vidrio 375x 47kg	150,00\$	300,00
8	Lija de agua #150	0,40\$	3,20
8	Lija de agua #180	0,40\$	3,20
4Lt	Disolvente de laca	2,00\$	4,00
4	MDF 214x260x3mm MASISA	20,00\$	80,00
8Lt	Alcohol desmoldante	5,00\$	40,00
3Gal	Pintura	15,00\$	45,00
100kg	Resina poliéster palatal 1 tambor x 100kg	3,60\$	360,00
1kg	Secante de cobalto	30,00\$	30,00
1	Mek peróxido 4kg	25,00\$	25,00
3	Tinte cristalan 20439 negro 3 envases	32,00\$	96,00
1	Fibra de vidrio woven roving 800 1rollo x 55kg	200,00	200,00
Total			1 606,40

Fuente: Autor

## 5.2 Costos indirectos

Engloban los gastos indirectos para la elaboración del presente trabajo de titulación, los cuales no son cuantificable ni medibles de una manera directa por lo cual se realiza una aproximación de los valores.

Tabla 2-5. Costos indirectos para la fabricación del bastidor y la carrocería

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total [USD]</b>
1	Impresiones	100,00\$	100,00
1	Empastado	20,00\$	20,00
1	Manual del fabricante del chasis y carrocería vehículo solar	20,00\$	20,00
1	Otros gastos	500,00\$	500,00
Total			640,00

Fuente: Autor

## 5.3 Costos totales

El costo total de fabricación de bastidor y la carrocería es igual a la suma de costos directos e indirectos.

Tabla 3-5. Costo total de fabricación del bastidor y la carrocería

<b>COSTO FINAL</b>	
<b>Costos directos</b>	1606,40
<b>Costos indirectos</b>	640,00
<b>Total</b>	2246,40

Fuente: Autores

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

Se recopiló toda la información necesaria, mediante el análisis del reglamento de la Carrera Solar de Atacama, para determinar los parámetros de diseño y construcción del bastidor y la carrocería, tales como: peso, dimensiones, espacio, ergonomía, seguridad, rigidez y aerodinámica.

Se diseñó el bastidor y la carrocería del vehículo solar mediante la aplicación de softwares, CAD (Solidworks) y CAE (Ansys), con el fin de entender y optimizar el rendimiento de los elementos diseñados antes de que sean construidos; en el Solidworks se realizó el modelado de los elementos y en el Ansys se analizó y simuló el comportamiento estático, dinámico y aerodinámico.

En el análisis estático del bastidor se determinó que el factor de seguridad de la estructura es igual a 15, con lo cual, se garantiza la construcción utilizando Aluminio 6061-T6. En el análisis dinámico se determinó que el esfuerzo máximo que puede sufrir el bastidor es de  $3.0753 \times 10^8$  Pa, este valor sobrepasa el límite de fluencia del material empleado en la construcción, por lo cual, se concluye que en un accidente el bastidor pasa de una zona elástica a una zona plástica.

En el análisis aerodinámico se determinó que la presión máxima que ejerce el viento sobre la carrocería es igual  $1.137 \times 10^6$  Pa, lo cual, no ejerce una oposición relevante al movimiento del vehículo debido a su forma y propiedades del material, es decir, es un diseño aerodinámico.

Se construyó el bastidor y la carrocería mediante la selección adecuada de materiales; para la construcción del bastidor se utilizó Aluminio 6061-T6, el cual, fue sometido a ensayos destructivos con el fin de determinar que las propiedades del material son las adecuadas. Para la construcción de la carrocería se utilizó fibra de vidrio con lo cual se redujo el peso total del vehículo; el proceso de manufactura que se utilizó fue el método

de estratificación manual debido a que es una técnica simple, antigua, menos costosa y de fácil obtención de materiales compuestos.

## **6.2 Recomendaciones**

Antes de ejecutar el trabajo de titulación se debe comprender y analizar muy detenidamente las reglas vigentes que rigen a la Carrera Solar de Atacama para así cumplir con cada uno de los ítems citados respecto a las características de los vehículos de competencia.

En el proceso de construcción del bastidor y carrocería se debe usar equipos de protección personal como son guantes, lentes de seguridad, máscara para soldar, etc. ya que se trabaja con materiales nocivos para la salud, principalmente, al momento de manipular materiales compuestos con el fin de evitar posibles quemaduras por sustancias químicas como la resina y sus aditivos que se le adiciona ya que estos pueden causar dolor de cabeza, infecciones respiratorias, visuales y de la piel.

Finalmente, se recomienda dar continuidad a la construcción del vehículo solar mediante el desarrollo de otros trabajos de titulación, como por ejemplo: Diseño y Construcción de la suspensión del vehículo en base al Aluminio 6061-T6.

## BIBLIOGRAFÍA

**OSCAR.** Ingeniería del Automóvil. [En línea] 2009. [Consulta: 8 de febrero de 2017.] Disponible en: <https://motorycompeticion.wordpress.com/descargas/>.

**TALLER VIRTUAL.** *Actualidad motor.* [En línea] 2008. [Consulta: 8 de marzo de 2017.] Disponible en: <https://motorycompeticion.wordpress.com/descargas/>.  
<https://www.actualidadmotor.com/partes-constitutivas-de-los-sistemas-de-transmision/>.

**VILLAHERMOSA, Enrique.** *Tecnoblogueando Tecnología Industrial.* [En línea] 2013. [Consulta: 20 de abril de 2017.] Disponible en: <http://tecnoblogueando.blogspot.com/2013/04/caja-de-cambios-de-unamotocicleta.html>.

**BAYAS, Christian & ROSERO, Diego. 2015.** *Diseño y construcción de una carrocería de un vehículo de competencia Fórmula SAE en fibra de vidrio, para la escuela de Ingeniería Automotriz.* (Tesis).(Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Mecánica. Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba: Ecuador, 2015. pp. 44-47. [Consulta: 28 de abril de 2017.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789567589>

**BERMEO, Luis & CARRIÓN, Rubén. 2014.** *Diseño y construcción de un chasis tubular de un vehículo monoplace para la competencia en la fórmula SAE.* (Tesis).(Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Mecánica. Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba: Ecuador, 2014. pp. 34-44. [Consulta: 18 de febrero de 2017.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456459567589>

**CANALTIC.** Energías Renovables. [En línea] 2017. [Consulta: 18 de enero de 2017.] Disponible en: [http://canaltic.com/blog/html/exe/energias/vehiculos\\_solares.html](http://canaltic.com/blog/html/exe/energias/vehiculos_solares.html).

**CSA. 2017.** Carrera Solar Atacama. [En línea] 2017. [Consulta: 18 de marzo de 2017.] Disponible en: <http://www.carrerasolar.com/race/>.

**CUNALATA, Wilfrido.** *Diseño y construcción del bastidor y carrocería, de un vehículo eléctrico biplaza plegable, usando software CAD-CAE y manufactura Ecuatoriana.* (Tesis).(Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Mecánica. Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba: Ecuador, 2014. pp. 24-33. [Consulta: 8 de febrero de 2017.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/1234578968567589>

**ENERGÍA NUCLEAR.** *Energías Renovables.* [En línea]2017. [Consulta: 18 de marzo de 2017.] Disponible en:[https://energia-nuclear.net/energias\\_renovables.html](https://energia-nuclear.net/energias_renovables.html).

**MUÑOZ, Sergio.** *Amovibles.* [En línea] 2015. [Consulta: 3 de marzo de 2017.] Disponible en:<http://amoviblesuag.blogspot.com/2015/>.

**PUENTE, Lara.** *Tipos de carrocería, componentes principales de las carrocerías autoportantes.* [En línea] 2012. [Consulta: 1 de marzo de 2017.] Disponible en: <http://puentelara.blogspot.com/2012/10/tipos-de-carroceria-componentes.html>.



**SMARTICA.** *Bolivia participa en el rally ecológico.* [En línea] 2016. [Consulta: 26 de marzo de 2017.] Disponible en:<http://www.lostiempos.com/tendencias/medio-ambiente/20160420/bolivia-participa-rally-ecologico>.

**EQUIPO SOLAR.** *Antinekul 2.* [En línea] 2015. [Consulta: 23 de marzo de 2017.] Disponible en:<http://www.autosolarudec.cl/autos.html>.

**TODOMECANICA.** *El Bastidor de un Vehículo.* [En línea] 2016. [Consulta: 18 de abril de 2017.] Disponible en:<http://www.todomecanica.com/blog/241-el-bastidor-de-un-vehiculo.html>.