



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CARROCERÍA EN
FIBRA DE CARBONO Y RESINAS TERMOESTABLES
MEDIANTE EL USO DE SOFTWARE CAD/CAE PARA UN
VEHÍCULO SOLAR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ”**

CRIOLLO YANCHAPANTA, LENIN JOSE;

PAREDES ZUMBANA, DAVID LEONARDO

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2019

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-05-03

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

LENIN JOSE CRIOLLO YANCHAPANTA

Titulado:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CARROCERÍA EN FIBRA DE
CARBONO Y RESINAS TERMOESTABLES MEDIANTE EL USO DE
SOFTWARE CAD/CAE PARA UN VEHÍCULO SOLAR DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

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

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano
DIRECTOR

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-05-03

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

DAVID LEONARDO PAREDES ZUMBANA

Titulado:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CARROCERÍA EN FIBRA DE
CARBONO Y RESINAS TERMOESTABLES MEDIANTE EL USO DE
SOFTWARE CAD/CAE PARA UN VEHÍCULO SOLAR DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño MSc.

DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano

DIRECTOR

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo

MIEMBRO

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CRIOLLO YANCHAPANTA LENIN JOSE

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CARROCERÍA EN FIBRA DE CARBONO Y RESINAS TERMOESTABLES MEDIANTE EL USO DE SOFTWARE CAD/CAE PARA UN VEHÍCULO SOLAR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Fecha de Examinación: 24 de Enero de 2019

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

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

* 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

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: PAREDES ZUMBANA DAVID LEONARDO

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CARROCERÍA EN FIBRA DE CARBONO Y RESINAS TERMOESTABLES MEDIANTE EL USO DE SOFTWARE CAD/CAE PARA UN VEHÍCULO SOLAR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Fecha de Examinación: 24 de Enero de 2019

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

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

* 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

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de titulación denominado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CARROCERÍA EN FIBRA DE CARBONO Y RESINAS TERMOESTABLES MEDIANTE EL USO DE SOFTWARE CAD/CAE PARA UN VEHÍCULO SOLAR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”** que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Criollo Yanchapanta Lenin Jose

Cédula de Identidad: 180376188-9

Paredes Zumbana David Leonardo

Cédula de Identidad: 180463396-2

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Criollo Yanchapanta Lenin Jose y Paredes Zumbana David Leonardo, declaramos bajo juramento que el presente trabajo es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos usados en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados. Por lo tanto nos responsabilizamos en su totalidad del contenido a cualquier disposición legal en caso de no cumplir con este precepto.

Criollo Yanchapanta Lenin Jose

Cédula de Identidad: 180376188-9

Paredes Zumbana David Leonardo

Cédula de Identidad: 180463396-2

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación les dedico a mis amados padres, María de Lourdes Yanchapanta Cóndor y Jorge Oswaldo Criollo Moreta por el inmenso esfuerzo y sacrificio que hicieron durante mi formación como persona y como profesional. En aquellos momentos difíciles me dieron su apoyo físico y moral para salir adelante ante cualquier adversidad, por sus consejos y guiarme en el camino de la sencillez y la humildad enseñándome valores de respeto, honestidad, honradez y gratitud hacia los demás. A mí querido hermano Alex Criollo que alegra mi vida con su carisma; Ser un ejemplo personal y profesional para él durante su proceso de crecimiento y aprendizaje.

Criollo Yanchapanta Lenin Jose

El presente trabajo de titulación le dedico a mi amada y querida madre, Anita Isabel Zumbana Rodríguez quien ha sido el pilar fundamental de mi vida, mi guía, mi apoyo, mi ejemplo, por el esfuerzo, sacrificio y el apoyo incondicional que me brindo durante mi formación como persona y como profesional. Quien con sus consejos me llevo por el camino del bien, ante toda adversidad con su amor y cariño hemos llegado a cumplir nuestro objetivo gracias madre. A mis adorados y amados hermanos Christian y Melanie quienes son mi motor para seguir adelante, por estar presentes en las adversidades y salir adelante siempre juntos.

Paredes Zumbana David Leonardo

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada quiero agradecer a Dios, por brindarme sus bendiciones y darme la salud y la fortaleza para culminar este proyecto y poder cumplir mi objetivo de ser un profesional.

Agradezco el apoyo incondicional de mis padres quienes gracias a sus palabras me dieron las fuerzas necesarias para llegar a ser lo que soy, a mi hermano que con sus travesuras alegraba aquellos momentos tristes, a mis familiares que también me brindaron su apoyo para que cumpla con la meta que me fije y a todos los amigos que aportaron con sus buenos deseos para alcanzar mi objetivo profesional.

Agradeciendo a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, especialmente a la Escuela de Ingeniería Automotriz y a todos sus docentes quienes me impartieron parte de sus conocimientos para llegar a ser un profesional útil a la sociedad. A mis tutores Ing. Bolívar Cuaical y el Ing. Luis Buenaño por la guía infinita brindada para culminar la última etapa de nuestra formación estudiantil.

Criollo Yanchapanta Lenin Jose

Primero doy gracias a Dios por brindarme sus bendiciones otorgarme salud, fortaleza y sabiduría para poder culminar el presente trabajo de titulación y poder cumplir el objetivo de ser profesional.

Agradezco el esfuerzo y apoyo incondicional de mi señora madre quien con sus consejos, supo guiarme, agradezco su valentía y sus ganas de verme crecer y ahora poder ser profesional gracias madre por su infinito cariño, a mis hermanos por tener paciencia y saber comprender en momentos difíciles.

Agradeciendo a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, especialmente a la Escuela de Ingeniería Automotriz y a todos sus docentes quienes supieron impartir parte de sus conocimientos para poder llegar a ser un profesional. A mis tutores Ing. Bolívar Cuaical y el Ing. Luis Buenaño por la guía brindada para culminar la última etapa de formación estudiantil.

Paredes Zumbana David Leonardo

TABLA DECONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

Pág.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

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

CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO

2.1	Historia de la carrocería.....	5
2.2	Carrocería.....	6
2.3	Tipos de carrocerías.....	6
2.3.1	Carrocería y chasis separados.....	7

2.3.2	Carrocería con plataforma-chasis.....	7
2.3.3	Carrocería Autoportante.....	8
2.4	Vehículo solar.....	8
2.4.1	Funcionamiento del vehículo solar.....	9
2.5	Carrera Solar Atacama 2018.....	10
2.6	Reglamentación Técnica.....	11
2.6.1	Categorías.....	11
2.6.2	Dimensiones Del Vehículo Solar.....	11
2.6.3	Espacios libres en carrocería.....	11
2.6.4	Lastre.....	12
2.7	World Solar Challenge.....	12
2.8	Aerodinámica.....	13
2.8.1	Resistencia Aerodinámica.....	13
2.8.2	Fuerza de Sustentación.....	14
2.8.3	Fuerza de Sustentación Negativa.....	15
2.8.4	Eficiencia aerodinámica.....	16
2.8.5	Potencia absorbida por la resistencia.....	16
2.9	Numero de Reynolds.....	17
2.10	Número de Mach.....	18
2.11	Tracción, Flexión e Impacto.....	18
2.11.1	Tracción.....	18
2.11.2	Flexión.....	19
2.11.3	Impacto.....	19
2.12	Fibra de Carbono.....	19
2.12.1	Tela de Fibra de Carbono.....	20

2.12.2	Propiedades de la Fibra de Carbono.....	22
2.13	Resina Epoxi para materiales compuestos.....	23

CAPÍTULO III

3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA	
3.1	Condiciones para el rediseño del bastidor.....	24
3.2	Variantes que influyen en el diseño del bastidor.....	24
3.2.1	Rigidez.....	24
3.2.2	Seguridad.....	24
3.2.3	Dimensiones.....	24
3.2.4	Peso.....	24
3.3	Modificación del bastidor del vehículo solar.....	25
3.4	Análisis estático del bastidor.....	25
3.4.1	Impacto frontal.....	27
3.4.2	Impacto Lateral.....	28
3.4.3	Factor de seguridad.....	29
3.5	Análisis dinámico de la estructura.....	29
3.6	Criterios para el diseño de la carrocería.....	33
3.7	Variantes que influyen en el diseño de la carrocería.....	33
3.7.1	Rigidez.....	33
3.7.2	Peso.....	33
3.7.3	Dimensión de un vehículo solar.....	34
3.7.4	Aerodinámica en la carrocería.....	34
3.7.5	Impacto sobre la carrocería.....	34

3.7.6	Durabilidad.....	34
3.8	Diseño 3D de la carrocería asistido por SolidWorks.....	34
3.9	Análisis aerodinámico de la carrocería.....	35
3.10	Obtención de los coeficientes c_d y c_l	40
3.11	Velocidad del viento sobre la carrocería.....	41
3.11.1	Energía cinética de turbulencia.....	42
3.11.2	Presión.....	43
3.12	Cálculos aerodinámicos.....	44
3.12.1	Numero de Reynolds.....	44
3.12.2	Número de mach.....	44
3.12.3	Cálculo de la resistencia aerodinámica.....	45
3.12.4	Cálculo de la fuerza de sustentación.....	45
3.12.5	Cálculo de la eficiencia aerodinámica o fineza.....	45
3.12.6	Cálculo de la potencia absorbida por la resistencia.....	45
3.13	Construcción de la carrocería.....	46
3.13.1	Caracterización del material de la carrocería.....	46
3.13.2	Ensayo de tracción.....	46
3.13.3	Ensayo de flexión.....	48
3.13.4	Ensayo de impacto.....	50
3.13.5	Construcción de la carrocería.....	52
3.14	Elaboración de la matriz.....	53
3.14.1	Matriz del costado exterior del vehículo.....	53
3.14.2	Matriz del costado interior del vehículo.....	54
3.14.3	Matriz del recubrimiento frontal de los neumáticos del vehículo.....	54
3.14.4	Matriz del recubrimiento posterior de los neumáticos del vehículo.....	55

3.15	Fabricación de la carrocería en fibra de carbono.....	55
3.15.1	Materiales para la elaboración de la carrocería.....	56
3.15.2	Aplicación del desmoldante.....	57
3.15.3	Aplicación de la resina y la fibra de carbono.....	58
3.15.4	Acabado y pulido de la carrocería.....	60
3.16	Pruebas de la carrocería.....	60
3.16.1	Pruebas de la fibra de carbono.....	60
3.16.2	Pruebas aerodinámicas del vehículo.....	62

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE COSTO Y PRESUPUESTO

4.1	Costos directos.....	65
4.2	Costos indirectos.....	66
4.3	Costos totales.....	66

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.....	67
Recomendaciones.....	68

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-1: Condiciones para el mallado.....	38
Tabla 2-3: Resultados del mallado de las geometrías.....	39
Tabla 3-3: Parámetros iniciales del análisis aerodinámico.....	40
Tabla 4-3: Datos del túnel de viento a diferentes velocidades.....	63
Tabla 5-4: Costos directos para la construcción de la carrocería.....	65
Tabla 6-4: Costos indirectos para la construcción de la carrocería.....	66
Tabla 7-4: Costo total de la construcción de la carrocería.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Evolución De La Carrocería.....	5
Figura 2-2: Elementos de una carrocería.....	6
Figura 3-2: Carrocería y chasis separados.....	7
Figura 4-2: Bastidor.....	7
Figura 5-2: Carrocería con plataforma-chasis.....	8
Figura 6-2: Carrocería Autoportante.....	8
Figura 7-2: BP Quiet Achiever.....	9
Figura 8-2: Funcionamiento de los vehículos solares.....	10
Figura 9-2: Ruta CSA2018.....	10
Figura 10-2: Ruta World Solar Challenger.....	12
Figura 11-2: Flujo Aerodinámico.....	13
Figura 12-2.- Coeficiente de resistencia aerodinámica.....	14
Figura 13-2.- Fuerza de Sustentación.....	15
Figura 14-2.- Flujo de aire a baja velocidad y alta presión.....	15
Figura 15-2.- Ángulo de ataque.....	16
Figura 16-2: Transición del flujo de aire.....	17
Figura 17-2: Elaboración de la Fibra de Carbono.....	19
Figura 18-2: Poliacrilonitrilo (PAN).....	20
Figura 19-2: Tejido Plano.....	20
Figura 20-2: Tejido Sarga.....	21
Figura 21-2: Tejido Raso.....	21

Figura 22-2:	Tejido Unidireccional.....	22
Figura 23-2:	Resina Epoxi.....	23
Figura 24-3:	Bastidor original.....	25
Figura 25-3:	Bastidor Rediseñado.....	25
Figura 26-3:	Mallado del Bastidor.....	26
Figura 27-3:	Mesh Metrics.....	26
Figura 28-3:	Fuerza en el eje x.....	27
Figura 29-3:	Deformación total.....	27
Figura 30-3:	Fuerza lateral distribuida.....	28
Figura 31-3:	Deformación total.....	28
Figura 32-3:	Factor de seguridad.....	29
Figura 33-3:	Velocidad de 50 km/h.....	30
Figura 34-3:	Deformación máxima.....	30
Figura 35-3:	Esfuerzo máximo principal.....	31
Figura 36-3:	Velocidad de 100km/h.....	31
Figura 37-3:	Deformación máxima.....	32
Figura 38-3:	Esfuerzo máximo principal.....	32
Figura 39-3:	Diseño final de la carrocería.....	35
Figura 40-3:	Túnel de viento.....	36
Figura 41-3:	Mallado del túnel de viento.....	36
Figura 42-3:	Mallado del túnel y del vehículo solar.....	37
Figura 43-3:	Mallado del vehículo solar.....	37
Figura 44-3:	Métrica del mallado.....	37
Figura 45-3:	Coeficiente de sustentacion.....	40
Figura 46-3:	Coeficiente de arrastre.....	41

Figura 47-3:	Velocidad en el frente de la carrocería.....	41
Figura 48-3:	Velocidad del viento vista lateral de la carrocería.....	41
Figura 49-3:	Velocidad del viento por debajo del vehículo.....	42
Figura 50-3:	Energía cinética de turbulencia.....	42
Figura 51-3:	Turbulencia formada en la carrocería.....	43
Figura 52-3:	Presión en el aérea frontal del vehículo.....	43
Figura 53-3:	Presiones sobre el vehículo.....	44
Figura 54-3:	Probeta de Tracción.....	46
Figura 55-3:	Maquina de ensayo universal.....	47
Figura 56-3:	Resultado de los ensayos de tracción.....	48
Figura 57-3:	Probetas de tracción.....	48
Figura 58-3:	Probeta de flexión.....	49
Figura 59-3:	Resultados de las probetas.....	50
Figura 60-3:	Probetas del ensayo de flexión.....	50
Figura 61-3:	Probeta para ensayo de impacto.....	50
Figura 62-3:	Máquina de ensayo de impacto charpy.....	51
Figura 63-3:	Probetas de ensayo de impacto.....	52
Figura 64-3:	Remoción de la fibra de vidrio lateral.....	52
Figura 65-3:	Remoción de la fibra de vidrio frontal.....	52
Figura 66-3:	Remoción total del exceso de fibra de vidrio.....	53
Figura 67-3:	Plantilla del costado del vehículo.....	53
Figura 68-3:	Trazado sobre la tabla triplex.....	53
Figura 69-3:	Matriz del recubrimiento interno del vehículo.....	54
Figura 70-3:	Esqueleto del molde de las llantas frontales.....	54
Figura 71-3:	Molde terminado.....	55

Figura 72-3:	Molde neumáticos posteriores.....	55
Figura 73-3:	Molde de los costados del vehículo.....	55
Figura 74-3:	Catalizador de resina epoxi.....	56
Figura 75-3:	Desmoldante.....	57
Figura 76-3:	Aplicación del desmoldante.....	57
Figura 77-3:	Aplicación de la resina sobre el tejido.....	58
Figura 78-3:	Colocación de la primera capa de fibra.....	58
Figura 79-3:	Recubrimiento total de fibra y de resina.....	59
Figura 80-3:	Recubrimientos internos.....	59
Figura 81-3:	Recubrimientos de las llantas frontales.....	59
Figura 82-3:	Recubrimiento de las llantas posteriores.....	60
Figura 83-3:	Carrocería completada.....	60
Figura 84-3:	Muestra tomada de la carrocería.....	61
Figura 85-3:	Muestra cortada para los ensayos.....	61
Figura 86-3:	Muestra en el ensayo de tracción.....	61
Figura 87-3:	Muestra en el ensayo de flexión.....	62
Figura 88-3:	Impresión del modelo en 3D.....	62
Figura 89-3:	Datos de la resistencia de aire.....	63
Figura 90-3:	Velocidad máxima del túnel de viento.....	63

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1-3: Gráfica de ensayo de tracción.....	47
Gráfico 2-3: Gráfica de resultados de ensayo de flexión.....	49
Gráfico 3-3: Gráfica de ensayo de impacto.....	51

ÍNDICE DE ABREVIACIONES

CAD	Diseño asistido por computadora
CAM	Manufactura asistido por computadora
CAE	Ingeniería asistida por computadora
ASTM	Sociedad americana de pruebas y materiales
INEN	Instituto ecuatoriano de normalización

RESUMEN

Se diseñó e implementó una carrocería en fibra de carbono y resinas termoestables para un vehículo solar de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH; Se parte de la investigación y análisis de los reglamentos necesarios para la competencia de vehículos solares en la World Solar Challenge (Australia) y para la Carrera Solar de Atacama (chile), en aspectos como la selección de los materiales, los parámetros de construcción, las dimensiones del vehículo y la seguridad. Se diseñó la carrocería en Solidworks 2017. La simulación de los esfuerzos estáticos, dinámicos y aerodinámicos se lo realizó con el software Ansys Workbench 18,2. La selección de la fibra de carbono se determinó mediante la caracterización del material, la fibra de carbono 3K Twill es un tejido apropiado para la construcción de la carrocería gracias a las grandes ventajas que proporciona este tipo de fibra al reforzar la estructura y añadiendo un peso mínimo. Se obtuvo una carrocería que cumple con los requerimientos de las competencias de los vehículos solares y con los parámetros establecidos para el diseño e implementación de la presente propuesta tecnológica, entre las cuales podemos mencionar las siguientes: rigidez, reducción de peso, mejora del diseño estructural, de la carrocería, y la aerodinámica del vehículo; El valor c_d es de 0.25035 que indica que el vehículo presenta poca resistencia al aire. En conclusión, el diseño e implementación de la carrocería no presento muchos inconvenientes y se obtuvo una carrocería rígida, ligera y aerodinámica. Finalmente, se recomienda continuar la construcción del vehículo solar con la realización de otros trabajos de titulación, como por ejemplo: diseño e implementación del sistema de suspensión, implementación de motores eléctricos, paneles fotovoltaicos etc.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA >, <CARROCERÍA>, <ANÁLISIS DINÁMICO>, <ANÁLISIS ESTÁTICO>, <ANÁLISIS AERODINÁMICO>, <CARACTERIZACIÓN (ENSAYOS) >, <MOTOR ELÉCTRICO>, <PANELES FOTOVOLTAICOS>.

ABSTRACT

It was designed and implemented a car body in carbon fibre and thermosetting resins for a solar vehicle of the Automotive Engineering at the ESPOCH; it starts from the investigation and the necessary rules analysis for the solar vehicles competition in the World Solar Challenge (Australia) and for the Solar Race of Atacama (Chile), in aspects like the material selection, the construction parameters, the vehicle dimensions, and the security. The car body was designed in SolidWorks 2017. The static, dynamic and aerodynamic efforts simulation was made with the software Ansys Workbench 18, 2. The carbon fibre selection was determined through the material characterization, the carbon fibre 3K Twill is a suitable fabric for the car body construction thanks to the great advantages that this sort of fibre gives, reinforcing the structure and adding a minimum weight. It was gotten a car body that supply the requirements of the competencies of the solar vehicles and with the established parameters for the present technological proposal design and implementation, among which we can mention the following: rigidity, weight reduction, car body structural design improvement and the aerodynamic of the vehicle. The c_d value is of 0.25035 which shows that the vehicle presents little resistance to the air. In conclusion, the car body design and implementation did not present too much inconvenience, and a rigid, light, and aerodynamic car body was gotten. Finally, it is recommended to continue with the solar vehicle construction with other titillation works realisation, like for example: suspension system design and implementation, electric motors implementation, photovoltaic panels, etc.

KEY WORDS: < TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <CAR BODY>, <DYNAMIC ANALYSIS>, <STATIC ANALYSIS>, <AERODYNAMIC ANALYSIS>, <CHARACTERIZATION (TESTS)>, <ELECTRIC MOTOR>, < PHOTOVOLTAIC PANELS>.

INTRODUCCIÓN

El proyecto se centra en diseñar una carrocería en fibra de carbono para un vehículo solar con la utilización de programas de diseño computacional CAD/CAE, La utilización de la fibra de carbono ha crecido en el campo de la industria automotriz, es un elemento que tiene muchas ventajas gracias a las propiedades mecánicas que posee, por esta razón su uso se va haciendo más común en los vehículos, este material ha desplazado a otros materiales como el aluminio y el acero ya que la resistencia de la fibra de carbono es tres veces mayor a la del acero y la densidad es 4.5 veces menor, teniendo una gran aceptación a nivel mundial. Al mezclar la fibra de carbono con la resina hace que esta unión tenga una alta resistencia a la tracción y al impacto, y al mismo tiempo le da una gran ligereza, podemos destacar que posee una gran resiliencia (capacidad de absorción de impactos) y una gran resistencia a la fatiga (resistencia a romperse por esfuerzos repetitivos). La carrera Solar de Atacama y World Solar Challenge son competencias en las que participan prototipos de vehículos impulsados con energía solar y el peso es una limitante de estos vehículos, de ahí la realización de la carrocería en materiales compuestos ya que son más ligeros dando un peso mínimo al vehículo mejorando sus prestaciones. El tipo de metodología corresponde a la investigación, para un trabajo orientado a la discusión del conocimiento para sustentar una propuesta de solución a un problema relacionado con la formulación del diseño y construcción de una carrocería para un vehículo solar. La utilización de materiales tradicionales en la construcción de partes automotrices es un problema ya que dichos componentes son muy pesados lo que genera que un vehículo consuma más energía y su rendimiento se limite. Debido a esta problemática se tiene la necesidad de mejorar el rendimiento y la eficiencia de los vehículos, con la implementación de partes elaboradas en materiales compuestos en este caso la fibra de carbono, que hace que el vehículo reduzca su peso mejorando sus prestaciones.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

La carrocería es el habitáculo donde los ocupantes están alojados, y se encuentra sobre el chasis. Desde el año 1980 los vehículos de turismo empezaron a utilizar el sistema monocasco o autoportante que consiste en que la carrocería y el bastidor son uno solo, donde van alojado los demás conjuntos. (CEAC, 2003)

Un vehículo solar es un coche que consta con motores eléctricos que reciben energía de las células fotovoltaicas conocidas comúnmente como paneles o celadas solares instaladas en la superficie superior del vehículo y que son las encargadas de transformar la luz del sol en electricidad la cual es almacenada en baterías, estos vehículos compiten en carreras como la World Solar Challenge y la Carrera Solar de Atacama. (Viso, 2017)

La fibra de carbono reduce el peso y al mismo tiempo aumenta la rigidez de cualquier estructura o piezas. Esta fibra es un material compuesto por átomos de carbono que forman fibras extremadamente delgadas, de 5 a 10 micrones, que es mucho menor al diámetro de un cabello humano.

Cuando se trenzan estas fibras se originan hilos muy ligeros y resistentes, estos hilos después se unen con unos cientos más para formar telas de fibra de carbono que es el material para realizar piezas de cualquier tipo y para cualquier aplicación.

Esta tela necesita de un proceso más elaborado, se le añade una serie de resinas termoestables, y mediante un proceso de vacío se elimina el aire compactando la resina y la tela al molde que se hizo previamente, con esto se le da un acabado superficial liso, al secarse se obtiene una pieza lo suficientemente rígida y ligera, al retirarle del molde se lo culmina limpiando impurezas y limando los bordes mejorado su aspecto. (Lausin, 2015).

La carrera de la Word Solar Challenge se la realizó por primera vez en el año de 1987, y se lo hace cada dos años en Australia, en esta competición participan jóvenes

ingenieros de universidades que muestran sus vehículos que se mueven con energía limpia, inagotable y accesible del mundo, en este caso el sol. (Garcia, 2015)

Esta carrera se inicia en Darwin al norte del país y culmina al sur en Adelaide, dispone de un tramo de 3000km, las especificaciones para cada prototipo son de un máximo de 5 metros cuadrados en paneles solares y un energía almacenada de 5 kilovatios hora, la World Solar Challenge consta de tres categorías que compiten a la par; Challenger Class, Cruiser Class y Adventure Class, cada una de estas categorías tienen muchos retos, en la primera categoría participan vehículos diseñados para un solo ocupante y el objetivo es la de mejorar el tiempo en cada etapa, la clase Cruiser fue introducida para premiar los vehículos más prácticos de conducir.

Esta carrera se la realizó para incentivar en el desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones para un futuro en la que la energía solar sea la principal fuente, juntar a jóvenes ingenieros para motivarlos e inspirarse entre sí, es uno de los objetivos principales de la World Solar Challenge. (Garcia, 2015)

La Carrera Solar de Atacama (CSA; Chile) es una competencia donde participan vehículos solares de Latinoamérica, se lo realiza en el desierto más árido del mundo con un nivel alto de radiación.

La quinta edición de la CSA será la carrera más larga comparada con ediciones anteriores ya que en esta ocasión consta con 2500 km de trayectoria desde Santiago hasta Arica. Las categorías que van a participar en esta edición son las Cruiser (más de un ocupante), la categoría Challenger monoplaza y la categoría híbrida (biplaza y monoplaza). (CSA18, 2017)

1.2 Planteamiento del problema

Debido a las características de la fibra de vidrio comparada con la fibra de carbono, la fibra de vidrio tiene una gran desventaja en aplicaciones automotrices ya que es más frágil que la fibra de carbono. La fibra de vidrio al ser frágil necesita de varias capas para conseguir una resistencia aceptable, por esta razón el peso en una estructura tiende a elevarse, y la fibra de carbono al utilizarse de la misma forma es más resistente y su peso es inferior a la fibra de vidrio.

De tal forma una estructura al ser reforzada con fibra de carbono su peso no se ve alterado por consiguiente el resultado final es una estructura con alta resistencia y ligereza.

Para un vehículo que se mueve con energías alternativas el uso de materiales comunes en carrocerías no es favorable porque limita su velocidad y potencia, debido a esto surge la iniciativa de diseñar una carrocería en fibra de carbono y resinas termoestables ya que sus propiedades son superiores al acero y al aluminio que son materiales que se usan comúnmente en el campo automotriz.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación teórica

World Solar Challenge es una competencia en la participan estudiantes universitarios de distintas partes del mundo, con vehículos que se movilizan con energía obtenida de la radiación del sol. Este proyecto se centra en diseñar una carrocería en fibra de carbono para un vehículo solar por medio de la utilización de programas de diseño computacional CAD/CAE, la cual ayudará a determinar las resistencias a las que está sometida una carrocería.

La utilización de la fibra de carbono ha ido en aumento en el campo de la industria automotriz, es un elemento que tiene muchas ventajas gracias a las propiedades mecánicas que posee, por esta razón su uso se va haciendo más común en los vehículos, este material ha desplazado a otros materiales como el aluminio y el acero ya que la resistencia de la fibra de carbono es tres veces mayor a la del acero y la densidad es 4.5 veces menor, teniendo una gran aceptación a nivel mundial. (Garzon, 2013)

1.3.2 Justificación metodológica

En la descripción metodológica se iniciará con la investigación bibliográfica documental de la carrera World Solar Challenge.

La investigación utilizará ésta modalidad, y se acudirá a fuentes bibliográficas de primer nivel obtenidas en documentos válidos y confiables, que complementaran la construcción de la carrocería de un prototipo solar con los requerimientos de las

competencias. Una de las herramientas metodológicas que ayudarán con la construcción de la carrocería es la experimentación, finalizando con los ensayos de la fibra de carbono para obtener finalmente una carrocería que posee gran resistencia y ligereza dándole al vehículo un peso mínimo el cual no afectara su rendimiento, autonomía.

1.3.3 Justificación práctica

Al mezclar la fibra de carbono con la resina hace que esta unión tenga una alta resistencia a la tracción y al impacto, y al mismo tiempo le da una gran ligereza, podemos destacar que posee una gran resiliencia (capacidad de absorción de impactos) y una gran resistencia a la fatiga (resistencia a romperse por esfuerzos repetitivos). (Garzon, 2013)

La presente propuesta tecnológica pretende mejorar el comportamiento de un vehículo solar de la Escuela de Ingeniería Automotriz para las competencias en las que participe, rediseñando su estructura y cambiando el material de la carrocería por uno más liviano, obteniendo así un vehículo más eficiente. Con esta propuesta se pretende impulsar a los futuros ingenieros la investigación y el desarrollo sobre la aplicación de materiales compuestos en los vehículos solares.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Diseñar e implementar una carrocería en fibra de carbono y resinas termoestables mediante el uso de software CAD/CAE para reducir el peso, mejorar la aerodinámica y resistencia estructural de un vehículo solar.

1.4.2 Objetivo específicos:

- Realizar el diseño CAD mediante el uso de Solidworks de la carrocería para un vehículo solar.
- Realizar el análisis aerodinámico mediante Métodos de Elementos Finitos (MEF), utilizando el software ANSYS.
- Realizar la construcción de la carrocería mediante el uso de fibra de carbono y resinas termoestables para un vehículo solar.
- Implementar la carrocería de fibra de carbono y resinas termoestables en el vehículo solar.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO

2.1 Historia de la carrocería

El nacimiento del automóvil se remonta hasta el 23 de Octubre de 1769, en el cual se realiza la primera prueba por Nicolás José Cugnot sobre un carronato que constaba de un motor a vapor. Los primeros vehículos se consideraron como tal a los carruajes impulsados por tracción animal con una plataforma reforzada. (Casado, 2009)

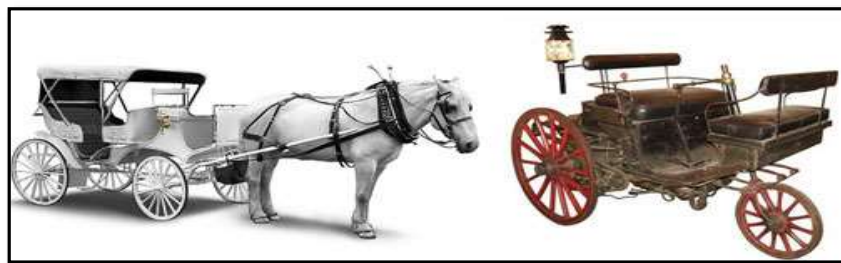


Figura 1-2: Evolución De La Carrocería

Fuente: (Elchapista, 2018)

La carrocería específicamente se le denomina al conjunto de elementos que conforman el perfil de la estructura del vehículo, en dicha estructura se monta el habitáculo, sitio de alojamiento de los pasajeros, el diseño de estas carrocerías se configuraba para una zona de carga y un sitio de montaje de los elementos mecánicos del vehículo.

Con la evolución de la industria automotriz las primeras innovaciones se puntualizaron en la construcción de una nueva estructura denominada portante, esta constaba de una plataforma o bastidor en la cual se unían tanto la carrocería, motor y otros elementos mecánicos.

Una de las características de esta evolución fue la de utilizar el acero para reemplazar piezas que se lo hacían en madera esto para aumentar la rigidez y la resistencia de la carrocería.

En el año de 1927 se presentan las primeras prensas de embutición con las cuales se empiezan a fabricar piezas con geometrías más complejas con radios de curvaturas

pequeñas, obteniendo una estructura completamente en acero y en 1934 se consigue fabricar de manera comercial los primeros automóviles autoportantes la cual tenía una carrocería elaborada totalmente con chapas de acero sin ningún elemento que contenga madera. (Casado, 2009)

2.2 Carrocería

Se considera a una carrocería el elemento o conjunto de elementos que conforman el perfil de la estructura exterior del vehículo y con las variaciones de medidas de sus líneas llega a alcanzar una belleza estética significativa, destacando la rigidez y la capacidad de absorber esfuerzos golpes y vibraciones. (Casado, 2009)

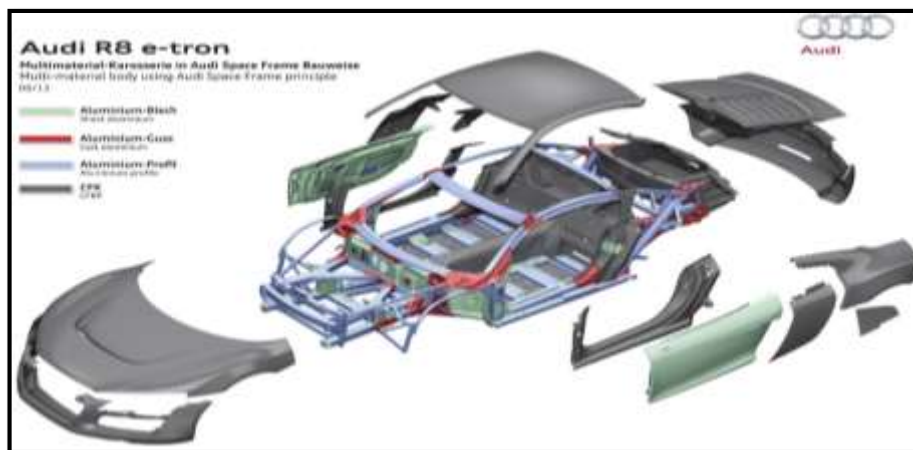


Figura 2-2: Elementos de una carrocería

Fuente: (Caricos, 2018)

2.3 Tipos de carrocerías

Las características de la carrocería como la resistencia y el peso dependen únicamente de las diversas configuraciones que pueden tener; existen tres tipos de configuraciones:

- Carrocería y chasis separados.
- Carrocería con plataforma-chasis.
- Carrocería autoportante.

2.3.1 Carrocería y chasis separados

Es uno de los sistemas más antiguos que se utilizaron en la fabricación de vehículos y en la actualidad solo se utiliza en la fabricación de vehículos para uso industrial como camiones, buses y vehículos todo terreno. Esta conformación tiene dos estructuras distintas como son: bastidor y carrocería. (Casado, 2009)



Figura 3-2: Carrocería y chasis separados

Fuente: (Diario, 2009)

El bastidor se constituye de un armazón de vigas o largueros de acero unidas por medio de travesaños soldados, remachados o atornillados, colocados transversalmente. Dicho elemento posee una gran resistencia y rigidez, formando la base sobre el cual se colocan los elementos mecánicos y la carrocería; Este elemento absorbe los esfuerzos de flexión y torsión producidos por el motor y la marcha del vehículo. (Casado, 2009)

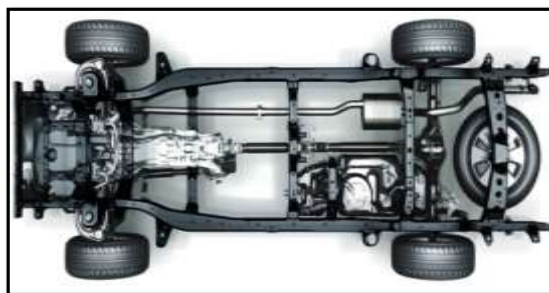


Figura 4-2: Bastidor

Fuente: (Premier, 2015)

2.3.2 Carrocería con plataforma-chasis

Esta plataforma está conformada por un chasis con un peso reducido, constituido por juntas de soldadura por puntos, de diversas chapas que en conjunto constituyen una base muy resistente y al mismo tiempo sirve de soporte de los órganos mecánicos y de la carrocería. (Casado, 2009)



Figura 5-2: Carrocería con plataforma-chasis

Fuente: (Dalmau, 2013)

2.3.3 Carrocería Autoportante

Tipo de estructura más usada en la construcción de automóviles, es una estructura metálica conformada por la unión de elementos de chapa de distintas formas y con diversos espesores, se podría decir que es una caja muy resistente que a su vez alberga a los elementos mecánicos que se coloquen sobre ella.

Las ventajas que poseen este tipo de configuración son las siguientes: (Casado, 2009)

- Otorgan al automóvil gran estabilidad, ligereza y rigidez.
- Permiten la fabricación en serie.
- Su centro de gravedad se encuentra más bajo permitiendo una mejor estabilidad del vehículo.
- Debido a su alto grado de automatización permite tener una configuración mucho más económica.



Figura 6-2: Carrocería Autoportante

Fuente: (Callirgos, 2012)

2.4 Vehículo solar

El primer vehículo solar “BP Quiet Achiever” tuvo su origen en el año 1982 creado por Hans Tholstrup, y el piloto de carreras Larry Perkins, con el propósito de indicar al

mundo el uso de una energía alternativa a la energía producida por los combustibles fósiles. (Almarza, 2017)



Figura 7-2: BP Quiet Achiever

Fuente: (Almarza, 2017)

Un vehículo solar es un proyecto donde se centra la investigación el desarrollo, la aerodinámica, fotoceldas, electrónica, motores, llantas y baterías, estos a su vez son aplicados en vehículos eléctricos para hacerlos más competitivos con relación a los vehículos de combustión interna con lo cual se puede llegar a la aceptación en el mercado.

El propósito de alcanzar grandes cantidades de trabajo empleando muy poca potencia se lo define como eficiencia. Esto se consigue a que un vehículo solar se construye con materias primas súper ligeras y con alta resistencia como la fibra de carbono y el kevlar, obteniendo una reducción en el peso de una estructura con una resistencia de alto grado cumpliendo con las normas de seguridad y también se reduce las pérdidas mecánicas por fricción en rodamientos. (Almarza, 2017)

2.4.1 Funcionamiento del vehículo solar

La energía solar se transforma en electricidad mediante celdas fotovoltaicas, esta electricidad es acumulada en baterías; un controlador acoge la energía de las baterías y energiza un motor eléctrico que a su vez mueve las ruedas.

Dentro del vehículo se puede encontrar todos los elementos básicos que se encuentran en otros vehículos, como son el volante, freno y acelerador lo que no se encuentra incorporado es un embrague debido a que un vehículo solar es movido por energía del sol y no por un motor de combustión. (Almarza, 2017)



Figura 8-2: Funcionamiento de los vehículos solares

Fuente: (Carvallo, 2014)

2.5 Carrera Solar Atacama 2018

La Carrera Solar Atacama se lo realiza en Chile donde participan vehículos solares de todo el mundo. Donde se recorre el desierto de Atacama ya que sus niveles de radiación solar son los más altos que se encuentran en el planeta. La versión 2018 de esta competencia tendrá un desafío mayor la cual es el aumento del recorrido desde La ciudad Santiago hasta la ciudad de Arica con una distancia de recorrido de más de 2500 Km realizando paradas estratégicas en las ciudades que componen la ruta de la carrera. (CarreraSolarAtacama2018, 2017)



Figura 9-2: Ruta CSA2018

Fuente: (Phineal, 2018)

Esta competencia tiene un gran reto para los diferentes equipos que participan en las distintas categorías de los vehículos donde tienen que demostrar la innovación, eficiencia energética, desarrollo de movilidad eléctrica y el buen uso de sus recursos. El reto de cada participante donde el trabajo en equipo, la disciplina y la perseverancia es

lo que se colocara a prueba en todo el recorrido de la carrera. La finalidad de esta carrera es la de generar un ambiente de colaboración entre estudiantes y profesionales para lograr obtener una sociedad más sustentable. (CarreraSolarAtacama2018, 2017)

2.6 Reglamentación Técnica

La carrera dispone de un reglamento estableciendo las bases generales y técnicas de la competición, toda la reglamentación se encuentra detallada en la página web de la Carrera Solar Atacama.

Para la realización del actual reglamento se consideró las bases de la competencia australiana de vehículos solares “WORLD SOLAR CHALLENGE”, además se tomó en cuenta la ley de tránsito chilena en sus decretos 22 del 04/01/2010 y 104 del 16/04/2010.

2.6.1 Categorías

Para esta edición la carrera solar contara con tres clases de vehículos solares:

- **Challenger:** el diseño de este vehículo debe contar con cuatro ruedas y para un ocupante.
- **Cruiser:** el diseño de este vehículo debe contar con cuatro ruedas y para más de un ocupante.
- **Adventure:** diseñado para competir en eventos anteriores a la Carrera Solar Atacama que no satisfacen con las actuales regulaciones de las categorías challenger y cruiser, esta categoría no es competitiva.

2.6.2 Dimensiones Del Vehículo Solar

- La longitud del vehículo debe tener 5000 mm, una anchura máxima de 2200 mm y la altura desde el suelo (neumáticos) hasta la parte más elevada del vehículo debe tener 1600 mm.

2.6.3 Espacios libres en carrocería

- El área para uso exclusivo de la organización será de 200 mm de alto y 500 mm de ancho en los costados de la carrocería. Este espacio será utilizado por la

organización ya sea en la presentación de vehículos, clasificatorias, carrera y premiación y no puede ser alterado por los miembros del equipo.

- En la carrocería del vehículo que participa llevara adherido un número que lo identifique de 0.20 m por 0.15 m el cual será otorgado por la organización.
- Para identificar la procedencia de los equipos deberán colocar la bandera nacional de su país junto al parabrisas con una dimensión de 70 mm por 40 mm.

2.6.4 Lastre

- El peso designado por la organización por cada ocupante es de al menos 80 kg en cual va incluido su vestimenta, casco y protección corporal.
- Si en caso el ocupante tenga un peso menos de lo establecido se le proporcionara un lastre el cual le permitirá llegar a la cifra total.
- La ubicación que se le dé al lastre debe ser accesible a los observadores y debe estar bien sujeto a la estructura del vehículo de tal forma no debe presentar ningún riesgo para el piloto, si el uso del lastre se hace necesario el piloto lo utilizará mientras se encuentre en el vehículo.

2.7 World Solar Challenge

Esta carrera se la realiza en Australia desde la ciudad de Darwin en el norte hasta la ciudad de Adelaide en el sur del país con un recorrido de 3000 Km, en esta competencia existen tres categorías como son la clase Challenger en cual la velocidad es el punto fundamental de los equipos, la clase Cruiser premia vehículos más prácticos de conducir y la clase Adventure. (Magazine, 2017)



Figura 10-2: Ruta World Solar Challenger

Fuente: (Kazmierski, 2017)

La reglamentación de esta carrera fue tomada como base para la Carrera Solar Atacama ya que son competencias que tienen el mismo fin para estudiantes de ingeniería, las cuales fueron mostradas en el punto 2.6 del presente documento.

2.8 Aerodinámica

Se define como la ciencia que estudia el comportamiento que realiza el aire alrededor de los cuerpos en movimiento, en el campo automotriz se puede decir que es el estudio de la influencia que tiene el aire en el vehículo según las formas que tenga la carrocería. Todo tipo de vehículo al desplazarse tiene muchos tipos de fuerzas de arrastre, una de ellas es la resistencia producida por los neumáticos contra el asfalto y una de las más conocidas es la resistencia del viento ejercido sobre la carrocería. Un arrastre exagerado provocado por mal diseño que no permite que el aire circule correctamente, influye en el rendimiento del vehículo y produce un exceso de consumo de combustible. (Altamirano, 2013)



Figura 11-2: Flujo Aerodinámico

Fuente: (Temple, 2013)

2.8.1 Resistencia Aerodinámica

La resistencia aerodinámica Drag (**D**) en inglés, es la fuerza que se opone a la trayectoria de un vehículo que genera el aire al rodearlo. (Gillespie, 1992)

$$D = \frac{1}{2} * v^2 * A * C_d * \delta \quad (1)$$

Dónde:

- **D** = Resistencia aerodinámica total (N)
- v^2 = velocidad relativa del vehículo respecto al aire (m/s); Si el viento se encuentra en contra de la velocidad del vehículo se le sumara la velocidad del

viento, y si el viento está a en la misma dirección de la velocidad del vehículo se le restara la velocidad del aire.

- **A** = Área frontal del Vehículo proyectada en la misma dirección del movimiento (m^2); Para calcular el área frontal un método sencillo seria con una imagen frontal del vehículo y mediante un programa de edición calcular su superficie colocando las medidas del automóvil, como el ancho de vía, altura, etc.
- **Cd** = Coeficiente de resistencia aerodinámica; este coeficiente depende de la forma que posee el vehículo y según el diseño el coeficiente varía, la disminución del Cd es lo más complicado al diseñar un vehículo. (García, 2016)

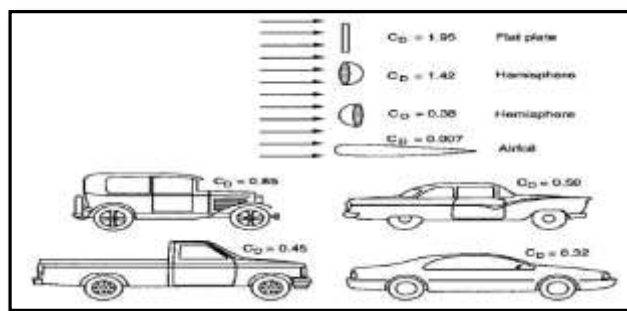


Figura 12-2.- Coeficiente de resistencia aerodinámica

Fuente: (Gillespie, 1992)

- δ = Densidad del aire (kg/m^3); La altura es un factor que incide en la densidad es decir que a mayor altura habrá una menor densidad, y esto afecta a la sustentación, la tracción y a la resistencia, etc. Un ejemplo seria que al nivel del mar la densidad será de $1.3 kg/m^3$ y una altura de 2200 m la densidad seria de $1 kg/m^3$. (García, 2016)

Dependiendo de la altura el valor de la densidad variara, para los cálculos se tomara la altura de la ciudad de Riobamba con una densidad de $0.9723kg/m^3$ (Melones, 2015)

2.8.2 Fuerza de Sustentación

Por la diferencia de presión que hay en la parte superior e inferior del vehículo cuando el mismo se está desplazando a velocidades elevadas tiende a subir o a bajar por los efectos producidos por los flujos de aire denominados sustentación positiva el vehículo se eleva y la sustentación negativa (carga aerodinámica) el vehículo se mantiene firme en el asfalto. (Gillespie, 1992)

$$L_A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot C_L \cdot A \quad (2)$$

Donde:

- L_A = Fuerza de sustentación (N)
- C_L = Coeficiente de sustentación
- A = Área Frontal (m^2)

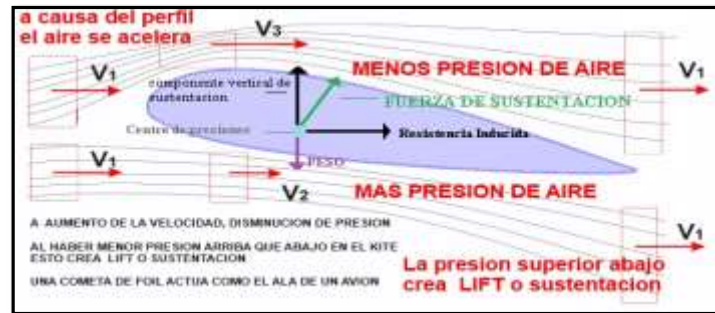


Figura 13-2.- Fuerza de Sustentación

Fuente: (Mallorca, 2017)

2.8.3 Fuerza de Sustentación Negativa

Esta sustentación negativa tiene el mismo principio que la sustentación positiva con la diferencia de que el aire al pasar por el alerón por la parte inferior posee mayor velocidad que el aire que pasa sobre el alerón, generando un gradiente de presiones en sentido descendente lo que provoca que el vehículo sea empujado hacia el suelo. (MomentoGP, 2017).

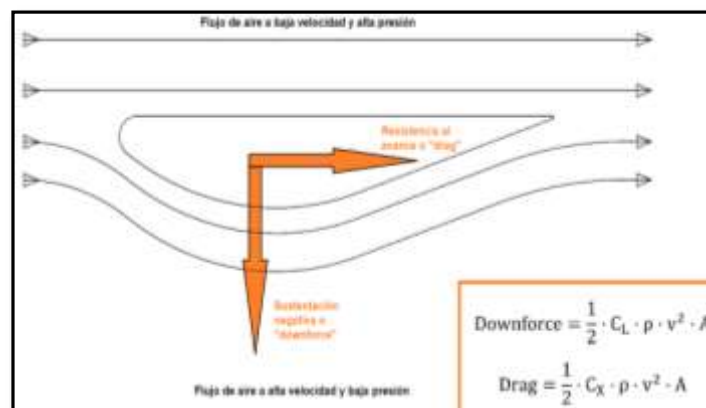


Figura 14-2.- Flujo de aire a baja velocidad y alta presión

Fuente: (MomentoGP, 2017)

El coeficiente C_L dependerá del diseño que tiene su superficie de sustentación y el ángulo de ataque α .

$$C_L = 2\pi * \text{sen}(\alpha) \quad (3)$$

Donde:

El ángulo ataque representado por α es el ángulo que forma la placa entre la línea de cuerda y la velocidad relativa producido por el fluido actuante sobre el perfil. (Magallon Orozco, 2014)

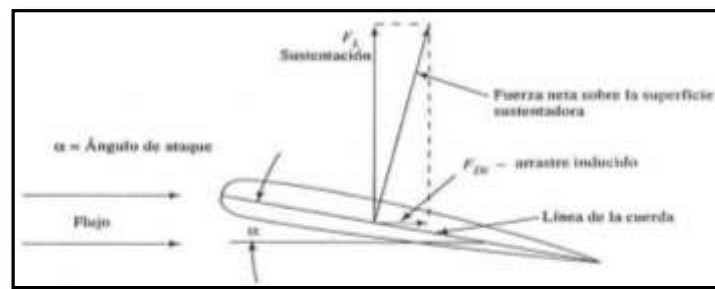


Figura 15-2.- Ángulo de ataque

Fuente: (Magallon Orozco, 2014)

2.8.4 Eficiencia aerodinámica

La eficiencia aerodinámica se le conoce también como fineza, es la relación entre el coeficiente de sustentación (c_l) y el coeficiente de resistencia aerodinámica (c_d), gracias a esta eficiencia se puede conseguir mayor agarre con la menor resistencia posible al paso de un fluido sobre una superficie. (Fernández, 2016)

$$E.A(\text{fineza}) = c_l/c_d \quad (4)$$

2.8.5 Potencia absorbida por la resistencia

La resistencia aerodinámica producida por un objeto se evidencia en una fuerza opositora al movimiento, al reducir dicha resistencia habrá un gasto energético del objeto conocido como caballos de vapor absorbidos por la resistencia, es la relación directa entre la velocidad punta y potencia máxima de un motor. (McBeath, 2005)

$$\text{potencia absorbidos por la resistencia} = (c_d * A * v^3)/1225 \quad (5)$$

Donde:

- v^3 = velocidad relativa del vehículo respecto al aire (m/s)
- A = Área frontal del Vehículo (m^2)
- Cd = Coeficiente de resistencia aerodinámica
- Potencia absorbida por la resistencia en (CV)

2.9 Número de Reynolds

Se define por número de Reynolds al cual se le utiliza para identificar el movimiento de determinado fluido, permite identificar si un flujo es laminar o turbulento que está definido por la siguiente ecuación. (Cimbala, 2006)

$$Re = \frac{V \cdot l}{\nu} \quad (6)$$

Donde:

V .- velocidad del auto (m/s)

l .- longitud del cuerpo (m)

ν .- Viscosidad cinemática del fluido (m^2/s) a una temperatura de 20 °C la viscosidad cinemática del aire es $1.516 \times 10^{-5} m^2/s$.

Para determinar si el fluido es laminar, transitorio o turbulento se acogerá las siguientes condiciones:

$Re \leq 1 \times 10^5$ Flujo es laminar

$10^5 \leq Re \leq 3 \times 10^6$ Flujo es Transitorio

$Re \geq 3 \times 10^6$ Flujo es Turbulento

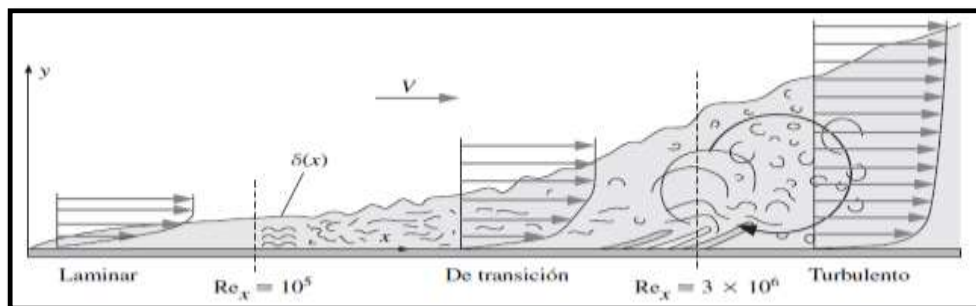


Figura 16-2: Transición del flujo de aire

Fuente: (Cimbala, 2006)

2.10 Número de Mach

En la aerodinámica el número de Mach es un término importante especialmente en flujos unidimensionales que se encuentran en análisis de flujo compresible, relaciona la velocidad local del flujo y la velocidad local del sonido. (Justino González López, 2017)

$$Ma = V/c \quad (7)$$

$$c = \sqrt{K * R * T} \quad (8)$$

Donde:

- **Ma** = número de Mach
- **V** = Velocidad del objeto (m/s)
- **c** = Velocidad del sonido en el medio en que se mueve el objeto (m/s)
- **K** = Constante de valor 1.4
- **R** = Constante de los Gases de valor 287 (J/kg *K)
- **T** = Temperatura del medio local (K)

El número de Mach es utilizado en el campo de la aviación en el cual se detalla la velocidad a la que se mueven estos vehículos y para reducir el cálculo en la rama de Mecánica de Fluidos, permitiendo identificar si los flujos son incompresibles o compresibles, el número de Mach menor a 0.3 es incompresible, y al ser mayor el flujo se le considerara como compresible. (Justino González López, 2017)

2.11 Tracción, Flexión e Impacto

2.11.1 Tracción

Mediante este ensayo se puede describir cómo se comportan los materiales al ser sometidos a cargas de alargamiento axial, los datos obtenidos se emplean para obtener el límite elástico, alargamiento, módulo elástico, reducción del área, resistencia a la tracción, punto de fluencia y otras propiedades de la tracción. Para los ensayos de tracción de fibras de carbono se utiliza la norma ASTM D3039. (Gharagozlou, 2012)

2.11.2 Flexión

Este tipo de ensayo es de gran importancia en el proceso de caracterización ya que el material sometido al ensayo emite una valiosa información que nos indica su comportamiento en condiciones reales. Principalmente en materiales compuestos utilizados en la industria aeroespacial, automotriz y energéticas. Para los ensayos de flexión de fibras de carbono se utiliza la norma ASTM D7264. (Gharagozlou, 2012)

2.11.3 Impacto

Por medio de este ensayo nos permite demostrar la resistencia del plástico a la rotura cuando es impactado por un péndulo con un martillo de tamaño adecuado. Este tipo de ensayo no es instrumentalizado y se lo emplea para determinar la cantidad de energía que se debe aplicar para romper la probeta de acuerdo a diferentes parámetros en función del tipo de material y del entalle practicado. Para los ensayos de flexión de fibras de carbono se utiliza la norma ASTM D6110. (Gharagozlou, 2012)

2.12 Fibra de Carbono

Su manufactura data del año 1965 en EE.UU en la industria de la aeronáutica, surge por la obligación de buscar materiales muchos más ligeros que los se tenía en ese momento. La fibra de carbono se consigue por la descomposición térmica progresiva por pirólisis o carbonización de un hilo iniciador, combinado por fibras orgánicas en condiciones ambientales supervisadas.

Al variar las características de la elaboración va aumentando la temperatura y el tiempo con la que se da origen a diferentes tipos de fibras las cuales son: fibras preoxidadas, fibras de carbono y fibras de grafito. (González, 1997)



Figura 17-2: Elaboración de la Fibra de Carbono

Fuente: (First, 2016)

La fibra de carbono como material compuesto no metálico del tipo polimérico enlazado por varias fibras de 5-10 um(micras) de diámetro, formado esencialmente de átomos de carbono, millones de fibras de carbono se encuentran entrelazados para formar un hilo el cual es utilizado para formar un tejido en una tela.

Al combinar fibra de carbono con otro material usualmente resina termoestable del tipo epoxi con el cual se solidifica por un agente endurecedor lo que permite unir las fibras, conservándolas y transfiriendo las cargas por todo el material. (al, 2016)

Las fibras de carbono se obtienen de dos fuentes: el poliacrilonitrilo (PAN) y la brea, que reciben el nombre de precursores. (Smith, 2006)

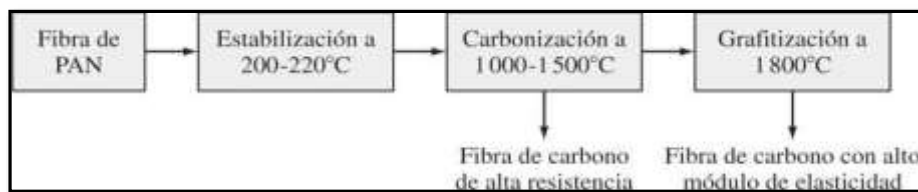


Figura 18-2: Poliacrilonitrilo (PAN)

Fuente: (Smith, 2006)

2.12.1 Tela de Fibra de Carbono

A este tipo de telas se le conoce como armadura, que quiere decir, la distribución entre los hilos en la superficie de tejidos y así se puede obtener una gran variedad en tejidos sintéticos. A continuación se describe brevemente las características y las diferentes configuraciones que pueden tener las telas de fibra de carbono. (González, 1997)

- Tejido Plano.- En esta configuración el hilo pasa alternativamente por encima y por debajo, brinda estabilidad, espesor constante y poca deformación facilita la penetración de la resina. En los dos ejes del plano presenta una resistencia uniforme.

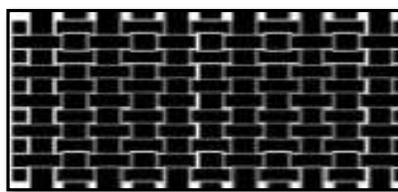


Figura 19-2: Tejido Plano

Fuente: (Diaestefano, 2017)

- Sarga.- La configuración del entrecruzamiento es por encima o por debajo de varias pasadas del hilo provocando una diagonal característica de este tejido, las propiedades que presenta son la flexibilidad y resistencia. Son utilizados para trabajar con formas difíciles pero no son tan estables.



Figura 20-2: Tejido Sarga

Fuente: (Castro, 2010)

- Tejido Raso.- Los cruces de los hilos no tienen ningún rozamiento entre ellos ubicando los puntos de ligamento dispersos regularmente en la superficie. Se caracteriza por ser un tejido más flexible, tiene mejor adaptación a las curvas, mayor resistencia pero es menos estable. Su mayor dificultad es la extracción del aire y corre el peligro de deformación de la estructura al momento de impregnación de la fibra.



Figura 21-2: Tejido Raso

Fuente: (Emelyanov, 2018)

- Tejido Unidireccional.- Esta configuración se presenta en cualquier tipo de armadura que se describió con anterioridad, la cantidad de hilo es mayor en una dirección que en la otra, presenta resistencia en una sola dirección que sería una desventaja.



Figura 22-2: Tejido Unidireccional

Fuente: (P., 2018)

2.12.2 Propiedades de la Fibra de Carbono

La fibra de carbono tiene muchas propiedades funcionales por ser un compuesto ligero, y con igual resistencia, libre de corrosión, se puede adaptar a las diferentes formas y al uso en diferentes sectores de la industria. (Paez, 2015)

Propiedades físicas.

- Densidad de 1.79 g/cm^3
- Conductor eléctrico y tiene baja conductividad térmica
- Brillo Superficial (según el proceso de manufactura)
- Esfuerzo de tracción de 4440 Mpa

Propiedades químicas

- Gran resistencia a la corrosión
- Dilatación térmica nulo
- Resistencia a altas temperaturas, por lo que conserva su forma (a elevadas temperaturas de $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ – $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ presenta un aumento en sus prestaciones)

Propiedades mecánicas

- Módulo de elasticidad elevado
- Tiene sensibilidad a la abrasión
- Baja densidad
- Gran resistencia al impacto
- Buena resistencia a la fatiga
- Bajo alargamiento a la rotura 1.80%

2.13 Resina Epoxi para materiales compuestos

Es el componente básico al momento de utilizar fibra de carbono, la resina epoxi a temperaturas de 180°C tienen un desempeño elevado, presenta excelente adherencia a muchos sustratos, mínima concentración en la polimerización y es resistente a los ataques de corrosión y agentes químicos.

Protege contra condiciones ambientales y agentes mecánicos que causan daños, otra de las propiedades es la transferencia de tensión en esfuerzos de tracción. (Barrera, 2014)

Las resinas termoestables que se usan esencialmente en la industria son la resina de poliéster, las epoxy y las fenólicas, el sistema epoxico es elaborado de dos componentes los cuales son una resina epoxica liquida tipo bisfenol y un aducto amónico como endurecedor, dichos componentes brindan buena penetración en superficies de concreto y una excelente humectación en fibra de carbono utilizado para la elaboración de piezas automotrices. (González, 1997)



Figura 23-2: Resina Epoxi

Fuente: (Sadira, 2007)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA

3.1 Condiciones para el rediseño del bastidor

El bastidor es quien soporta el peso de todos los elementos mecánicos, electrónicos, carrocería etc.

Se rediseñará el bastidor utilizando softwares de diseño para conseguir una mejor estética del vehículo, una reducción del peso, y una mejora en la carrocería optimizando los coeficientes de resistencia y sustentación, al paso del aire lo que hará que el vehículo tenga perdidas mínimas en consumo de energía.

3.2 Variantes que influyen en el diseño del bastidor

Para la realización del diseño del bastidor se tomaron en cuenta las variantes que se detallaran a continuación:

3.2.1 Rigidez

Capacidad de un material a soportar esfuerzos de flexión y tracción. La estructura deberá ser capaz de resistir impactos frontales y laterales con una deformación mínima.

3.2.2 Seguridad

El diseño de la estructura debe centrarse en la seguridad del piloto a posibles impactos ya sean frontales o laterales, la estructura debe sufrir una deformación mínima la cual permita mantener la integridad física del piloto y proteger los elementos internos del vehículo.

3.2.3 Dimensiones

El diseño del vehículo se realizará sin afectar por completo el diseño anterior, ya que las dimensiones están acordes a lo que la carrera dispone en el reglamento.

3.2.4 Peso

El rediseño se centrará en tratar de reducir un poco más el peso del vehículo sin afectar los parámetros previamente mencionados.

3.3 Modificación del bastidor del vehículo solar

Se modificó el diseño del bastidor del tema “diseño y construcción del bastidor y carrocería de un prototipo de vehículo impulsado por energía solar para la competencia en el world solar challenge” de los autores Ríos Ricardo y Rodríguez Yonder.

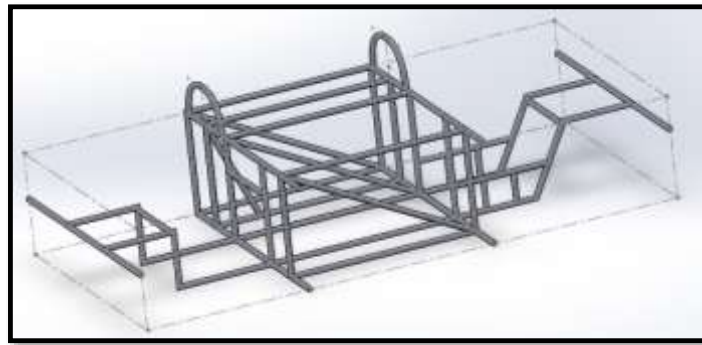


Figura 24-3: Bastidor original

Fuente: Autores

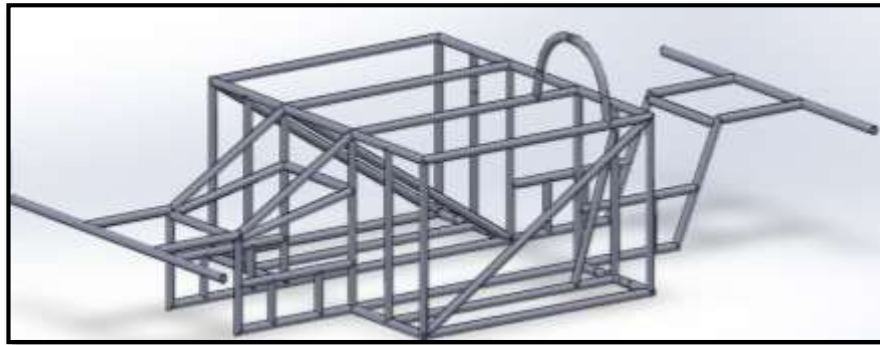


Figura 25-3: Bastidor Rediseñado

Fuente: Autores

3.4 Análisis estático del bastidor

- Análisis estático

Mediante este estudio se observará cómo se comportará el bastidor cuando esté sometido a diferentes cargas estáticas, además para determinar el factor de seguridad y las deformaciones del bastidor. Según la reglamentación de la

Carrera Solar de Atacama se realizaron los ensayos con las fuerzas que debe soportar el habitáculo a posibles impactos que se pueden producir sobre el prototipo.

- Según el reglamento de la carrera el bastidor debe soportar una carga de 5g en un impacto frontal y lateral.
- Mallado de la estructura

Con ayuda del software ANSYS se procederá a realizar el mallado del bastidor, mediante este proceso el software analizará si la estructura tiene fallas en el diseño que podrían ocasionar problemas en la simulación.



Figura 26-3: Mallado del Bastidor

Fuente: Autores

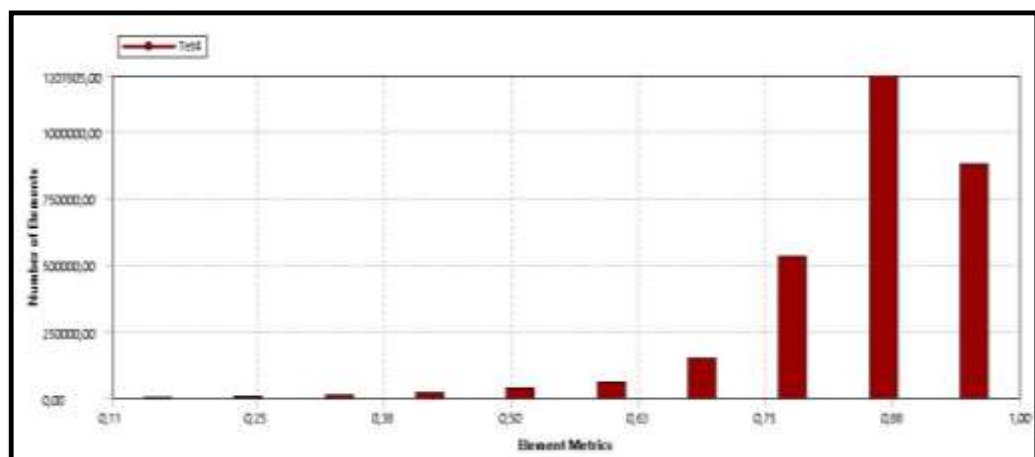


Figura 27-3: Mesh Metrics

Fuente: Autores

Finalizado el mallado del bastidor se procederá con los cálculos indicados en el reglamento de la carrera con su simulación respectiva para observar el comportamiento de la estructura del vehículo.

3.4.1 Impacto frontal

Para este ensayo se simulará un impacto frontal contra el bastidor con una fuerza de 9800N, este valor se obtuvo de la multiplicación de la masa del vehículo que es de 200kg por 5 veces la gravedad (5g), este valor viene estipulado en el reglamento de la Carrera Solar Atacama.

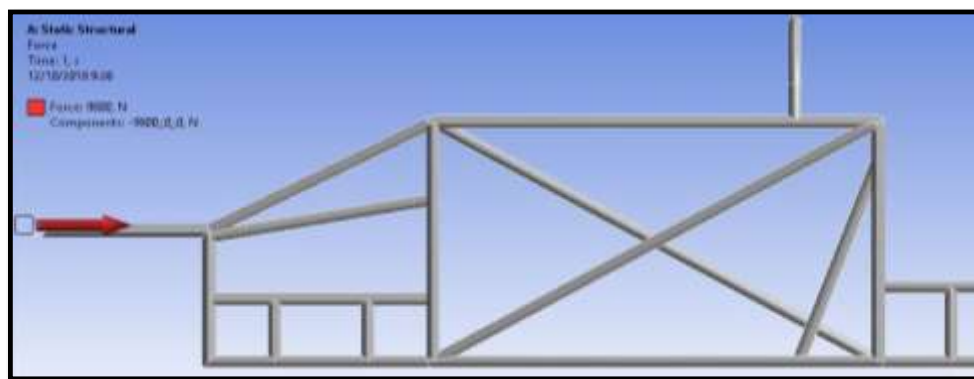


Figura 28-3: Fuerza en el eje x

Fuente: Autores

Aplicada la fuerza en la estructura se procederá con el análisis, el resultado obtenido se muestra en la figura 34-3. Según la simulación se produce una deformación máxima de 35.9 mm en las zonas de color rojo, y la deformación mínima es de 3.9 mm en las zonas de color azul.

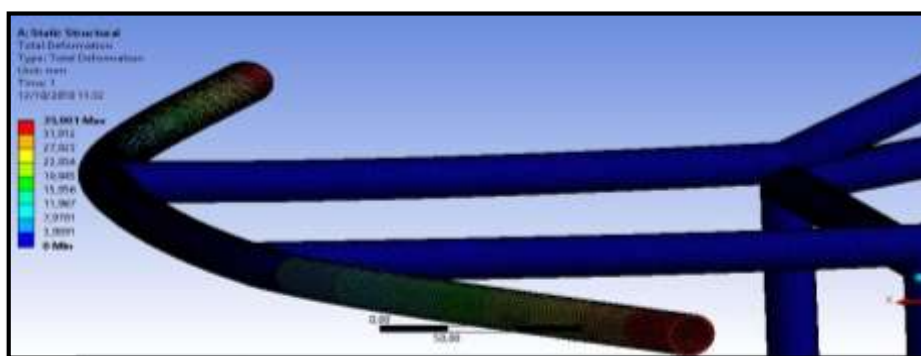


Figura 29-3: Deformación total

Fuente: Autores

Gracias a la simulación se puede mencionar que el habitáculo de la estructura sufrirá una deformación mínima la cual no afectara al piloto, cumpliendo con los requerimientos del reglamento que dice que el habitáculo debe deformarse 25 mm como máximo y la deformación máxima se produce en la parte frontal no en el habitáculo.

Por medio de los resultados se concluye que el material seleccionado es adecuado para la construcción del bastidor.

3.4.2 Impacto Lateral

Para este ensayo se simulará un impacto lateral contra el bastidor con una fuerza de 9800N, la cual será distribuida en el marco lateral del habitáculo como se muestra en la figura.

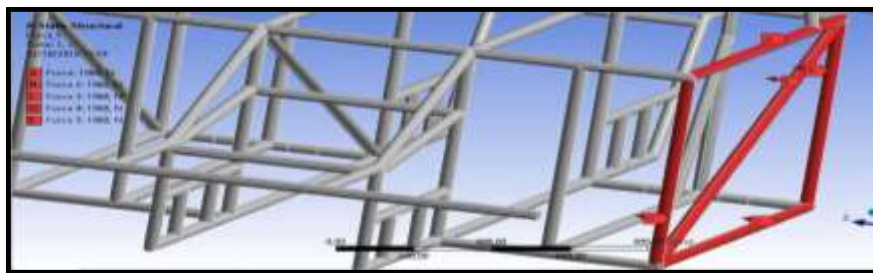


Figura 30-3: Fuerza lateral distribuida.

Fuente: Autores

Aplicada la fuerza en el marco de la estructura se procederá con el análisis, el resultado obtenido se muestra en la figura 36-3. Según la simulación se produce una deformación máxima de 5.48 mm en las zonas de color rojo, y la deformación mínima es de 0mm en las zonas de color azul.

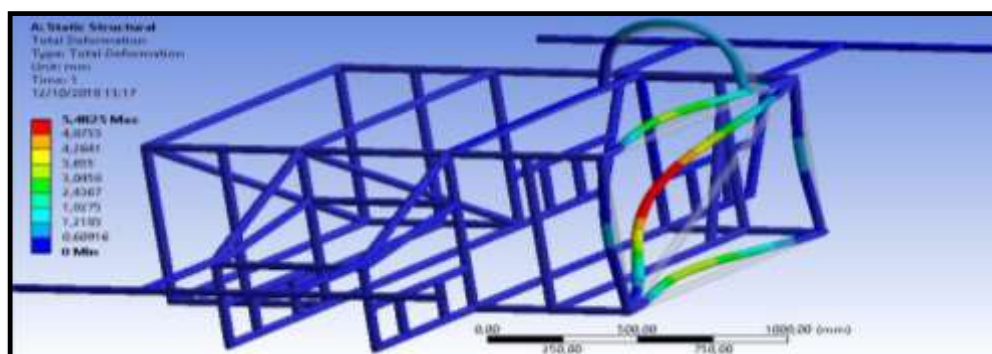


Figura 31-3: Deformación total

Fuente: Autores

Por medio de la simulación se puede mencionar que el habitáculo de la estructura sufre una deformación mínima la cual no afectara al piloto, cumpliendo con los requerimientos del reglamento que dice que la deformación máxima que puede deformarse es de 25 mm y los resultados indica una deformación 5.48 mm, verificando la validez del rediseño de la estructura del vehículo solar.

3.4.3 Factor de seguridad

Se obtuvo un factor de seguridad de 15 como valor máximo y 15 como valor mínimo lo cual nos indica que el diseño de la estructura es adecuada ante posibles colisiones, haciendo factible la construcción de la estructura.

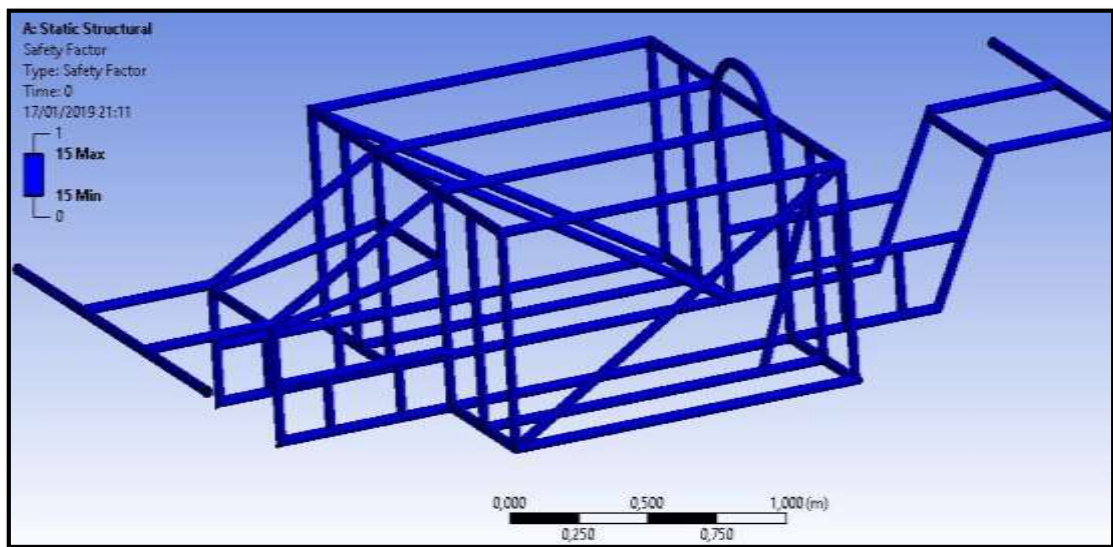


Figura 32-3: Factor de seguridad

Fuente: Autores

3.5 Análisis dinámico de la estructura

Mediante este se someterá a la estructura a un impacto a diferentes velocidades para determinar la deformación máxima y mínima que sufrirá la estructura en una colisión, según el reglamento de la Carrera Solar Atacama se debe realizar los ensayos a 50 km/h que es la velocidad mínima estipulada en el reglamento y a 100 km/h.

- Análisis dinámico a 50 Km

Para el análisis se deberá colocar la velocidad en dirección del muro como se muestra en la figura38-3.

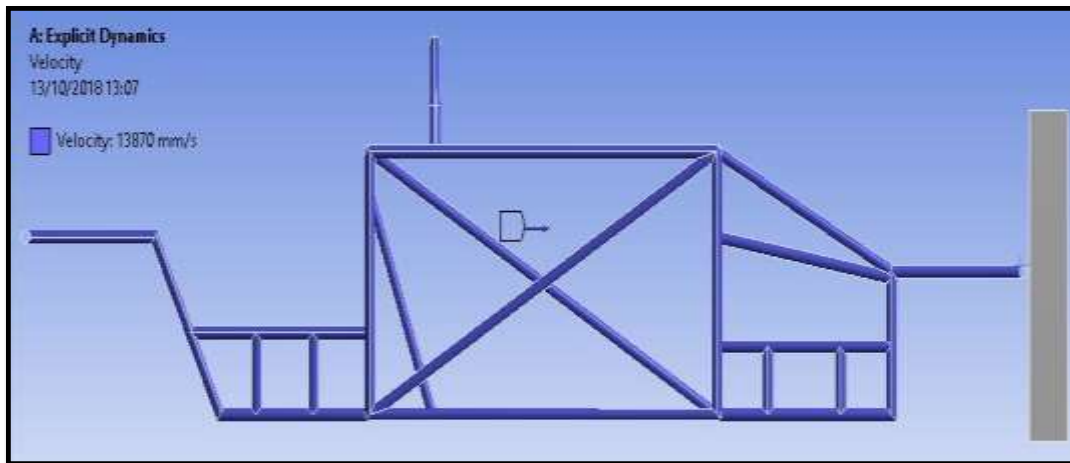


Figura 33-3: Velocidad de 50 km/h

Fuente: Autores

Después del análisis se puede observar en la figura que la deformación máxima que sufrirá la estructura es de 14.32 mm.

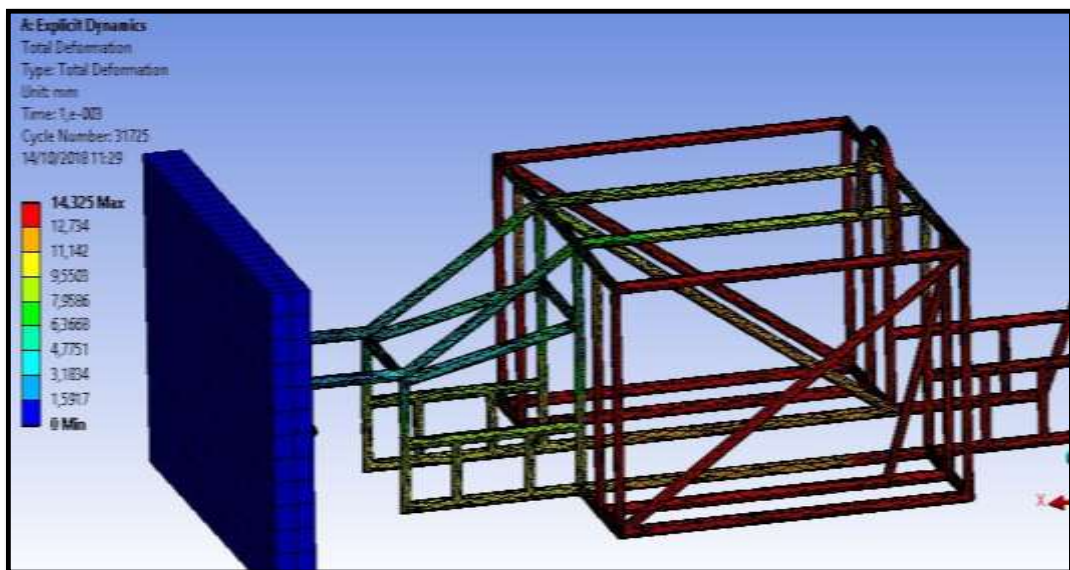


Figura 34-3: Deformación máxima

Fuente: Autores

Después del análisis se puede observar que el esfuerzo máximo que sufrirá la estructura es de $5.2817 \times 10^8 \text{ Pa}$, el valor obtenido indica que el material sobrepasa el límite de fluencia, lo cual indica que el material de la estructura pasa de la zona elástica a la zona plástica, que quiere decir que la estructura después de la colisión no retornara a su forma original.

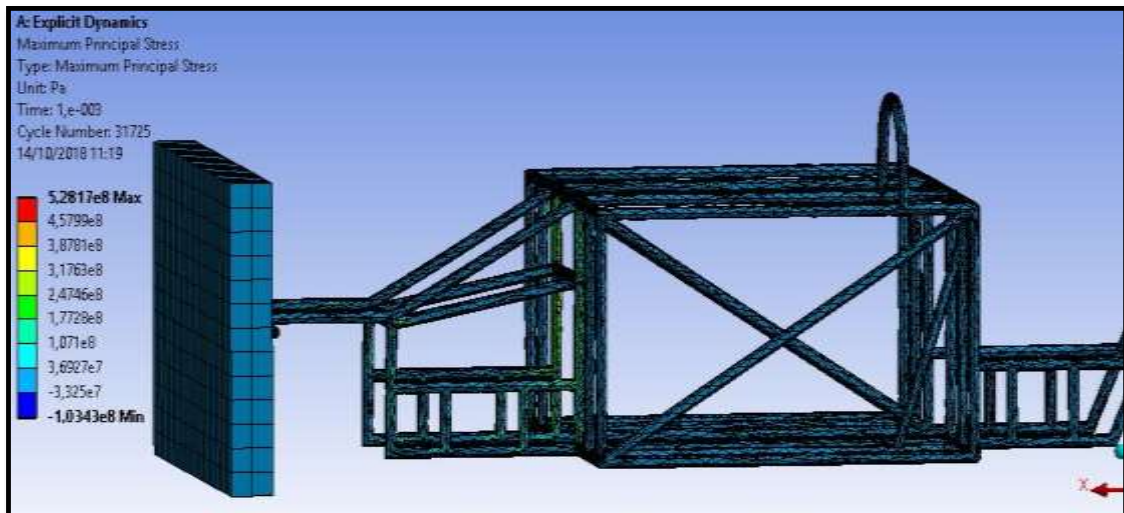


Figura 35-3: Esfuerzo máximo principal

Fuente: Autores

Los resultados de la simulación indican que el bastidor soportará una colisión frontal a 50 km, el habitáculo sufre una deformación mínima que no afecta al piloto, la deformación más pronunciada se da en la parte frontal donde la estructura absorbe el impacto deformándose considerablemente, y en ésta parte el material quedara deformado no regresara a su forma original.

- Análisis dinámico a 100 Km

Para el análisis se deberá colocar la velocidad en dirección del muro como se muestra en la figura 41-3.

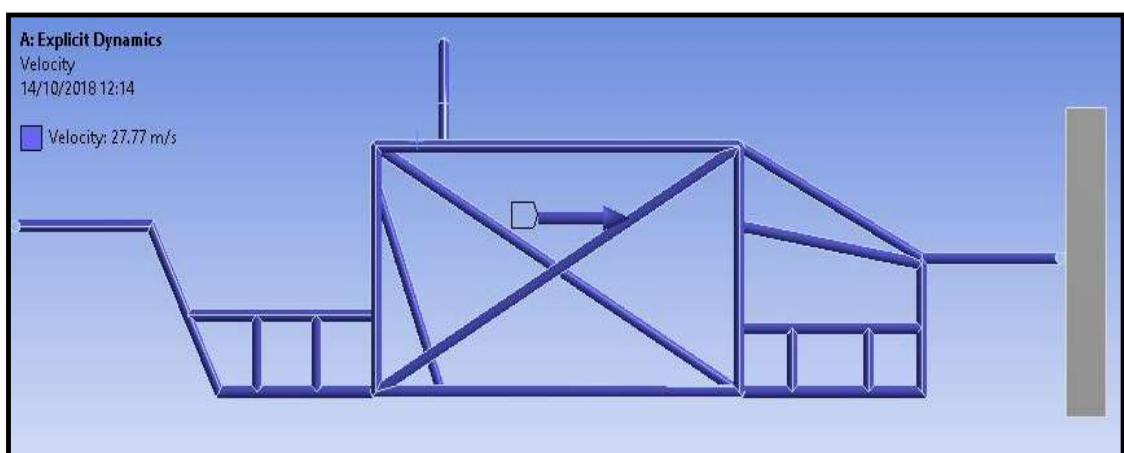


Figura 36-3: Velocidad de 100km/h

Fuente: Autores

Después del análisis se puede observar en la figura 42-3 que la deformación máxima que sufrirá la estructura es de 28.677 mm.

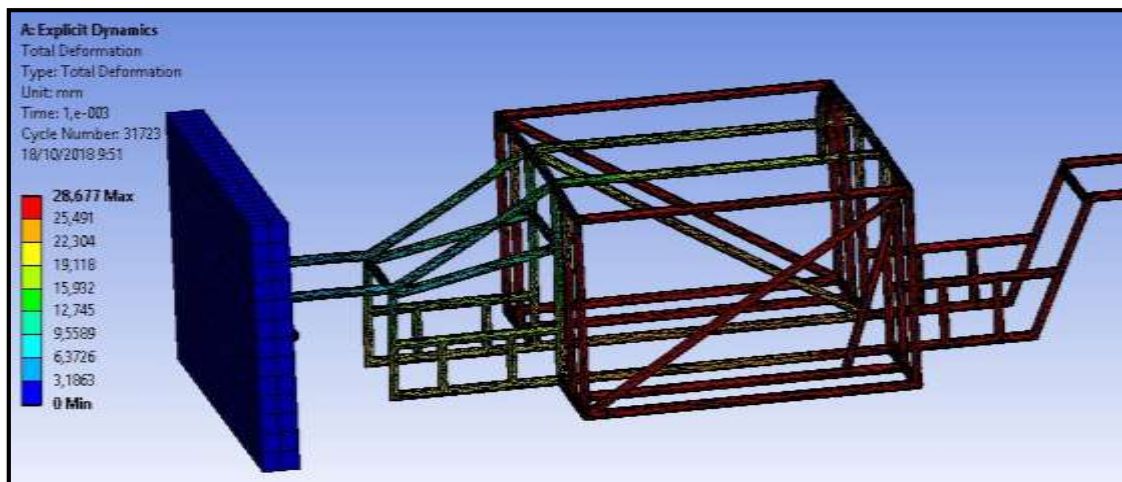


Figura 37-3: Deformación máxima

Fuente: Autores

Después del análisis se puede observar que el esfuerzo máximo que sufrirá la estructura es de $1.0489 \times 10^9 \text{ Pa}$. El valor obtenido indica que el material sobrepasa el límite de fluencia, lo cual indica que el material de la estructura pasa de la zona elástica a la zona plástica, que quiere decir que la estructura después de la colisión no retornara a su forma original.

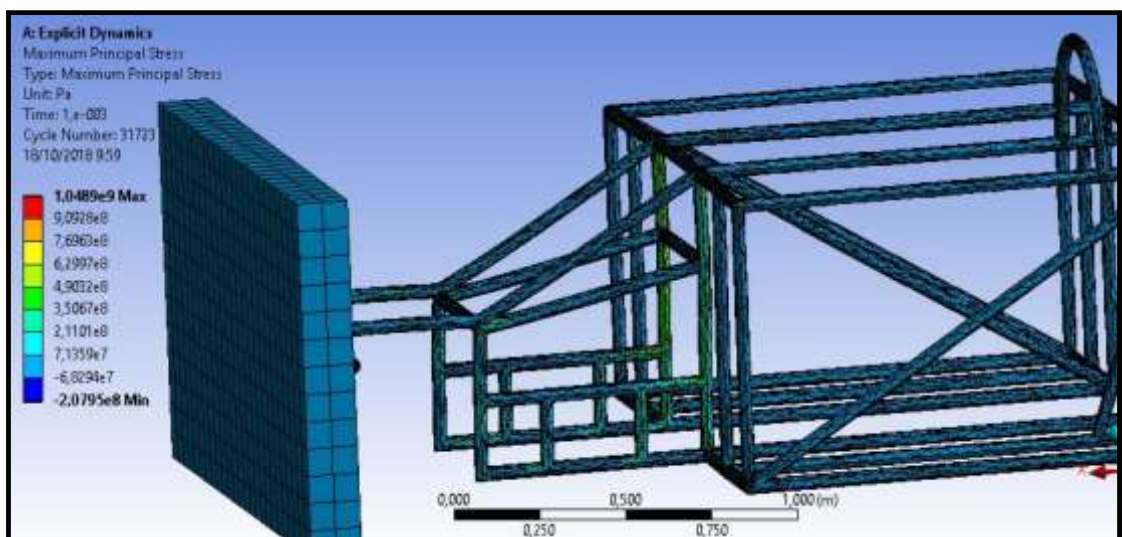


Figura 38-3: Esfuerzo máximo principal

Fuente: Autores

Como se mencionó en los resultados a 50 Km la parte frontal del vehículo es quien absorberá el impacto y en esta zona el material quedara deformado, el habitáculo no sufrirá una deformación considerable lo cual mantendrá al piloto seguro ante un impacto.

3.6 Criterios para el diseño de la carrocería

La carrocería es una estructura que está apoyada sobre el bastidor y su función principal es la acoger en su interior al conductor, elementos mecánicos, elementos eléctricos, que conforman un vehículo solar.

Razón por la cual las características de una carrocería deben ser las más adecuadas para este tipo de prototipos que le permitan desempeñarse de mejor manera a las condiciones que será sometida, como por ejemplo resistencia al aire, y posibles impactos que puede sufrir en su trayectoria.

3.7 Variantes que influyen en el diseño de la carrocería

Para la realización del diseño de la carrocería se tomaron en cuenta las variantes que se detallaran a continuación:

3.7.1 Rigidez

Es un punto muy importante ya que al aumentar el mismo se aumenta la seguridad y el confort y la durabilidad de la carrocería, un alto grado de rigidez permite disminuir el ruido en el interior además contribuye a mejorar el comportamiento dinámico.

Sin embargo una carrocería que presenta una excesiva rigidez hará que en un impacto las fuerzas que soporte el conductor sea mayor.

3.7.2 Peso

Es una de las variantes más importantes e indispensables en el diseño y construcción de la carrocería de un vehículo solar ya que el mismo influye en el desempeño del vehículo, por la cual se debe emplear materiales muy ligeros y la vez resistentes para aprovechar casi en su totalidad la potencia de los motores eléctricos y no forzarlos por un peso excesivo. Uno de los materiales que se está empleando en la industria

automotriz con gran acogida es la fibra de carbono por sus grandes ventajas que posee ante otros materiales por esta razón la fibra de carbono es un material ideal para la elaboración de carrocerías.

3.7.3 Dimensión de un vehículo solar

Dependiendo de las diferentes piezas que conforman la carrocería, su ubicación, tamaño, altura libre sobre el suelo, el tipo de carrocería, el tipo de tracción, medidas interiores y exteriores influirán en su diseño.

3.7.4 Aerodinámica en la carrocería

Con un diseño y con el material adecuado se busca disminuir la resistencia aerodinámica, de manera que los esfuerzos a los que se va a someter la carrocería se reduzcan y se minimicen las posibilidades de fallo en los puntos de soldadura y de grietas presentes en el bastidor al obtener un bajo coeficiente aerodinámico se puede obtener una reducción en el consumo de combustible y de energía.

3.7.5 Impacto sobre la carrocería

Una carrocería se debe diseñar de forma que cuando presente sobre ella un choque la deformación que se produzca de manera adecuada y se transforme la máxima cantidad de energía cinética en trabajo de deformación.

3.7.6 Durabilidad

Para garantizar una duración adecuada de la carrocería se toma mayor responsabilidad en la construcción sólida y estable, se mejora la protección contra la corrosión, y se emplea materiales con mayor perdurabilidad.

3.8 Diseño 3D de la carrocería asistido por SolidWorks

Antes de realizar el diseño de la carrocería se investigó varios diseños que se adapten a la forma del bastidor.

Para la selección del diseño final del proyecto se escogió la carrocería que presento menos resistencia al paso del aire la cual se mostrará en el siguiente apartado previamente realizado las operaciones que se deban realizar en el software solidworks hasta obtener el diseño más aerodinámico posible.

- Croquis de la carrocería

Una vez obtenido el bastidor del vehículo se realizó el croquis de la carrocería, cubriendo por completo el chasis, y realizando las operaciones necesarias como por ejemplo extrusiones, cortes, redondeos etc.

Hasta obtener el diseño que se adapte de mejor manera con las especificaciones que requieren las competencias de vehículos solares, se escogió el diseño que se muestra en la figura porque fue su geometría que presento mejor comportamiento en los ensayos aerodinámicos que se mostraran en los apartados siguientes del capítulo 4.

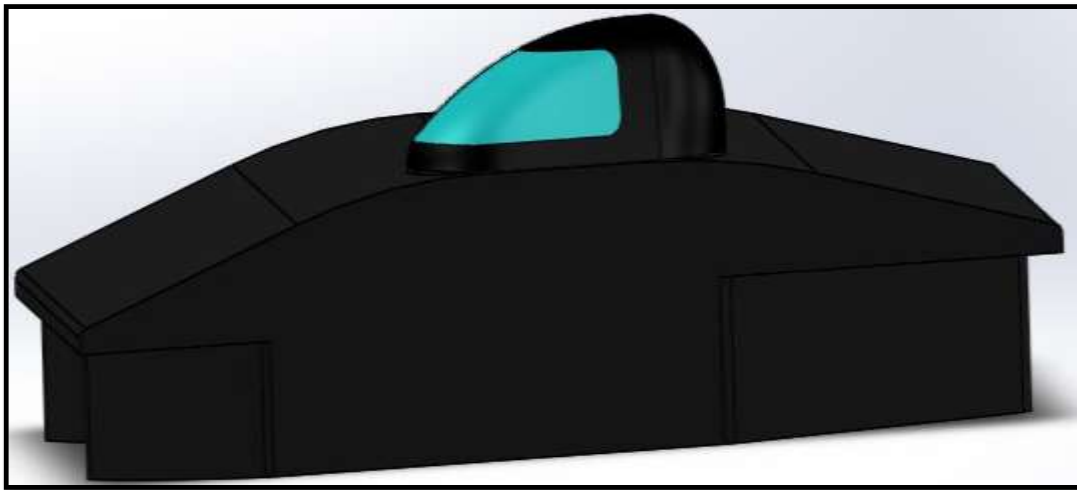


Figura 39-3: Diseño final de la carrocería

Fuente: Autores

3.9 Análisis aerodinámico de la carrocería

En este tipo de competencias el vehículo que tenga una aerodinámica muy buena tendrá mayor ventaja a comparación de los demás competidores.

Con este estudio podremos conocer por un lado la resistencia al paso del aire que opondrá el vehículo conocido como arrastre o drag, y por otro lado la sustentación o lift, que nos indica cuánto el vehículo se pega al suelo y si despegar del mismo a este efecto se le conoce como carga aerodinámica o downforce.

Para comenzar a realizar los estudios aerodinámicos en el software Ansys deberemos cargar el diseño de la carrocería previamente realizado en Solidworks, ya una vez

cargado la carrocería construiremos el túnel de viento como se muestra en la figura, donde se simulará el comportamiento del vehículo al paso del aire.

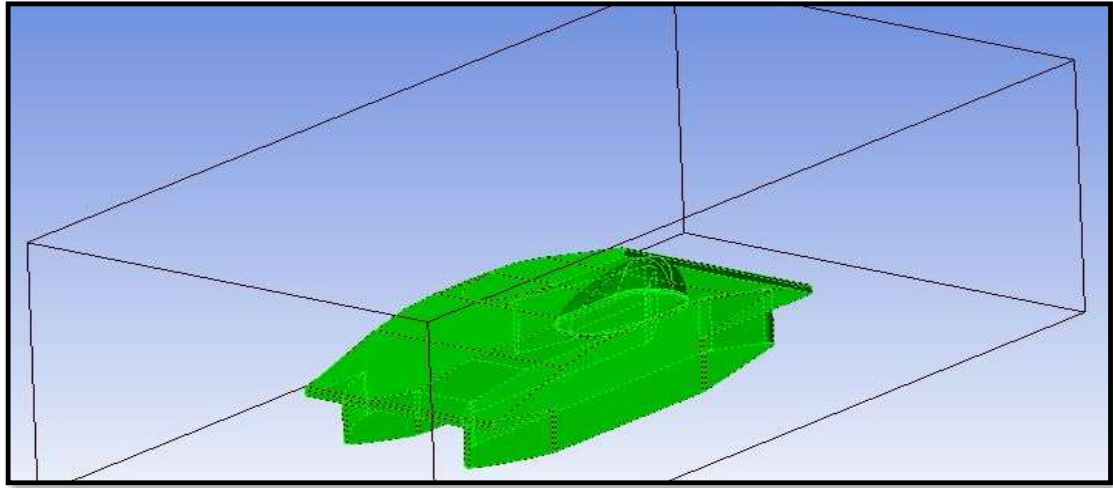


Figura 40-3: Túnel de viento

Fuente: Autores

A continuación se realizará el mallado de ambos componentes.

En la figura se puede observar que la calidad del mallado tiene como máximo 1, que son las zonas de color azul por lo que al realizar los cálculos los resultados serán muy cercanos a la realidad.

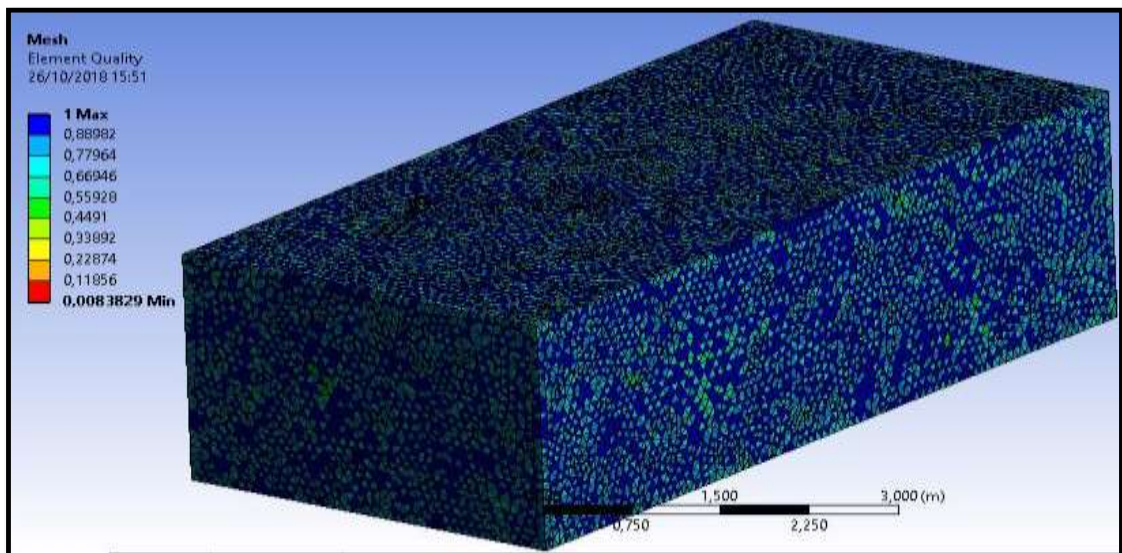


Figura 41-3: Mallado del túnel de viento

Fuente: Autores

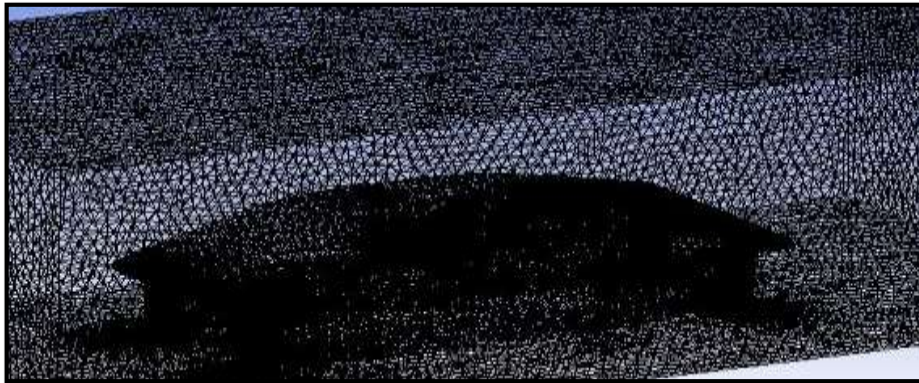


Figura 42-3: Mallado del túnel y del vehículo solar

Fuente: Autores

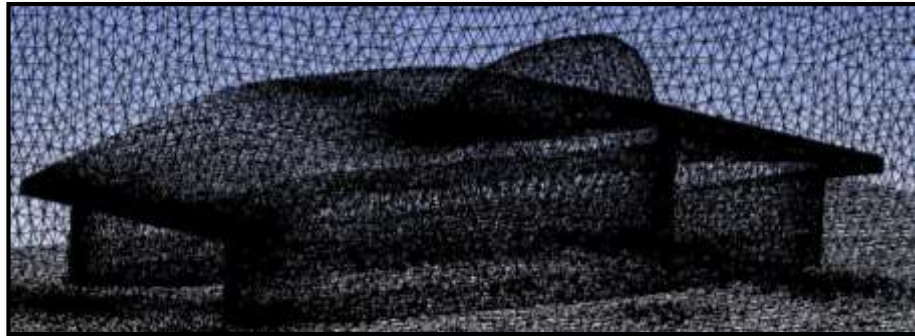


Figura 43-3: Mallado del vehículo solar

Fuente: Autores

Para verificar que el mallado está correctamente se procede a ver la gráfica del mesh metric, un mallado se considera aceptable cuando el valor sobrepasa a 0.8 en nuestro caso es de 0.88 casi cercano a 1 que es el valor máximo de un mallado.

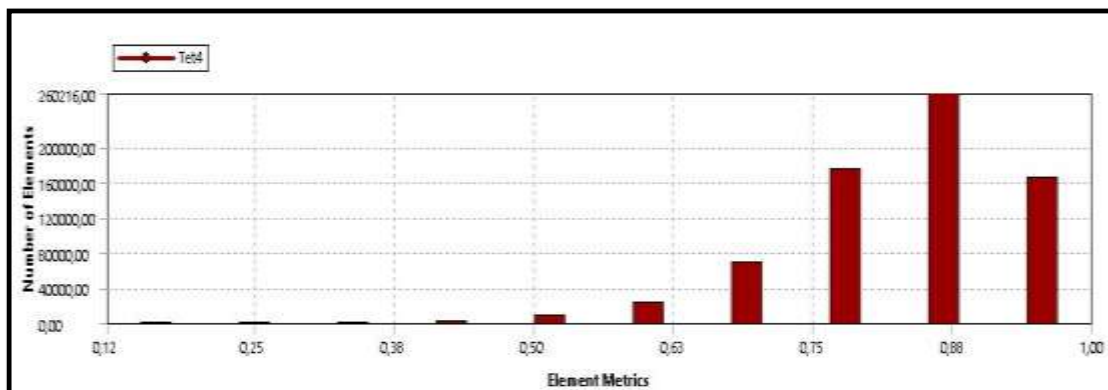


Figura 44-3: Métrica del mallado

Fuente: Autores

Tabla 1-1: Condiciones para el mallado

Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Relevance	100
Export Format	Standard
Element Midside Nodes	Dropped
Sizing	
Size Function	Curvature
Relevance Center	Fine
Initial Size Seed	Active Assembly
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
Curvature Normal Angle	Default (12,0 °)
Min Size	Default (9,076e-004 m)
Max Face Size	Default (9,076e-002 m)
Max Tet Size	Default (0,181520 m)
Growth Rate	Default (1,10)
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeature Size	Default (4,538e-004 m)
Minimum Edge Length	1,0701e-002 m
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Target Skewness	Default (0.900000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
Min	8,3829e-003
Max	1,
Average	0,84719
Standard Deviation	9,3429e-002
Inflation	
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
Assembly Meshing	
Method	None
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	No
Pinch Tolerance	Default (8,1684e-004 m)
Statistics	
Nodes	528040
Elements	2971482

Realizado por: Lenin Criollo y David Paredes 2018

Fuente: Autores

Tabla 2-3: Resultados del mallado de las geometrías

Object Name	<i>Solid</i>
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	0,1
Definition	
Suppressed	No
Coordinate System	Default Coordinate System
Behavior	None
Reference Frame	Lagrangian
Material	
Fluid/Solid	Defined By Geometry (Fluid)
Bounding Box	
Length X	7,91 m
Length Y	2,365 m
Length Z	3,77 m
Properties	
Volume	66,602 m ³
Centroid X	-0,8733 m
Centroid Y	0,59611 m
Centroid Z	3,9111 m
Statistics	
Nodes	528040
Elements	2971482
Mesh Metric	Element Quality
Min	8,38292219380956E-03
Max	0,999999774646392
Average	0,847186800505774
Standard Deviation	9,34289119385221E-02

Realizado por: Lenin Criollo y David Paredes 2018

Fuente: Autores

Finalizado el mallado de la carrocería y del túnel de viento se procederá a configurar el setup del software que son los parámetros que se necesitan para calcular los coeficientes de sustentación (c_l) y de arrastre (c_d) según se muestra en la tabla.

Tabla 3-3: Parámetros iniciales del análisis aerodinámico

Datos de entrada	
Presión de referencia	1 atm
Temperatura del fluido	293 °K
Modelo de turbulencia	K-épsilon
Velocidad	27.77 m/s

Realizado por: Lenin Criollo y David Paredes 2018

Fuente: Autores

3.10 Obtención de los coeficientes c_d y c_l

- Coeficiente de sustentación (c_l)

Una vez finalizado la configuración del setup se procederá a calcular los respectivos coeficientes, en este caso el coeficiente de sustentación (c_l) como se muestra en la figura 45-3, con un valor de -9.0736×10^{-02} lo cual indica que el vehículo estará pegado al piso en todo su recorrido.

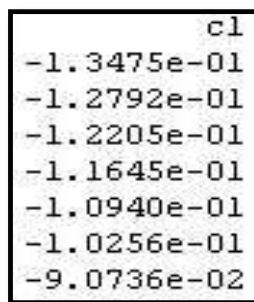


Figura 45-3: Coeficiente de sustentación

Fuente: Autores

- Coeficiente de arrastre (c_d)

Además se obtuvo el valor del coeficiente de arrastre (c_d) de 2.5035×10^{-01} lo que indica que el vehículo es aerodinámico ya que la resistencia al aire es mínima con lo cual el vehículo no tendrá pérdidas de velocidad, potencia y torque de los motores eléctricos.

cd
2.5932e-01
2.5881e-01
2.5714e-01
2.5737e-01
2.5446e-01
2.5466e-01
2.5035e-01

Figura 46-3: Coeficiente de arrastre

Fuente: Autores

3.11 Velocidad del viento sobre la carrocería

En las figuras 47-3, 48-3 y 49-3 se muestra el comportamiento del viento sobre la carrocería del vehículo solar, visualizando el movimiento de las partículas del viento.

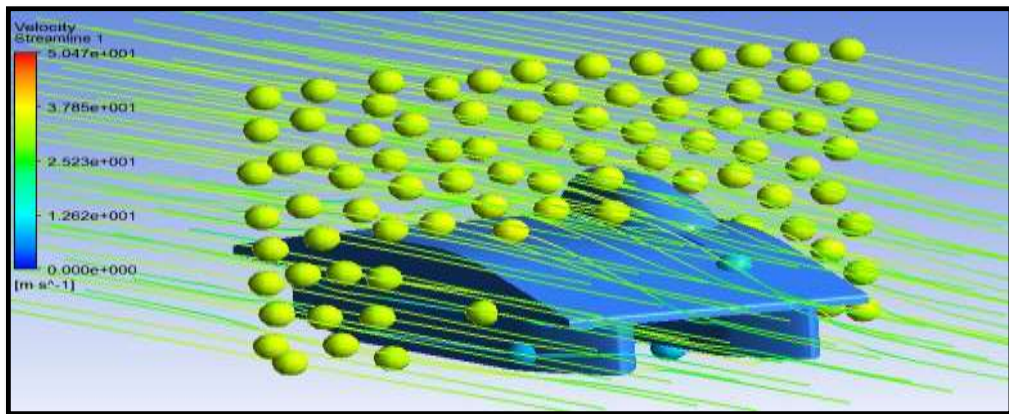


Figura 47-3: Velocidad en el frente de la carrocería

Fuente: Autores

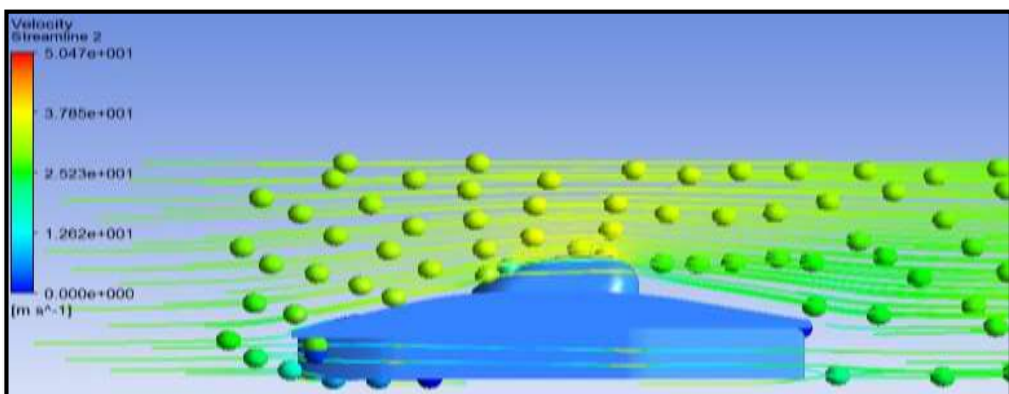


Figura 48-3: Velocidad del viento vista lateral de la carrocería

Fuente: Autores

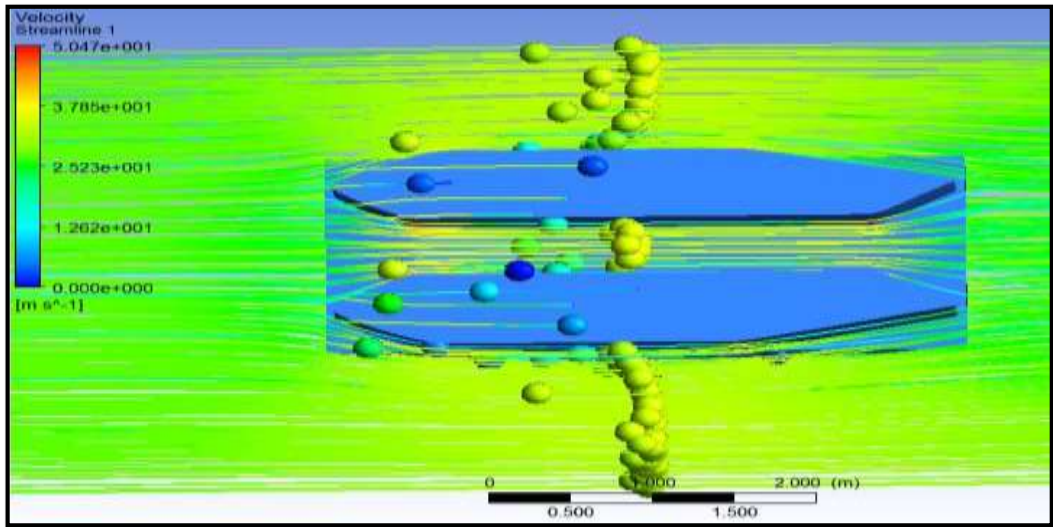


Figura 49-3: Velocidad del viento por debajo del vehículo

Fuente: Autores

3.11.1 Energía cinética de turbulencia

Flujo turbulento es aquel en que la velocidad y presión en cada punto fluctúan muy irregularmente, formándose así remolinos. Las partículas que sufren cambios por la forma del objeto invaden la trayectoria de las partículas adyacentes, generando una mezcla y una trayectoria aleatoria donde se forman las irregularidades o los remolinos.

El aire lento tiene una mayor presión y el aire rápido tiene menor presión. Por tal razón el diseño de la carrocería se centró en la velocidad del viento que pasa por la parte superior del vehículo para que la presión ejercida debajo sea menor generando una sustentación negativa manteniendo al vehículo pegado al piso.

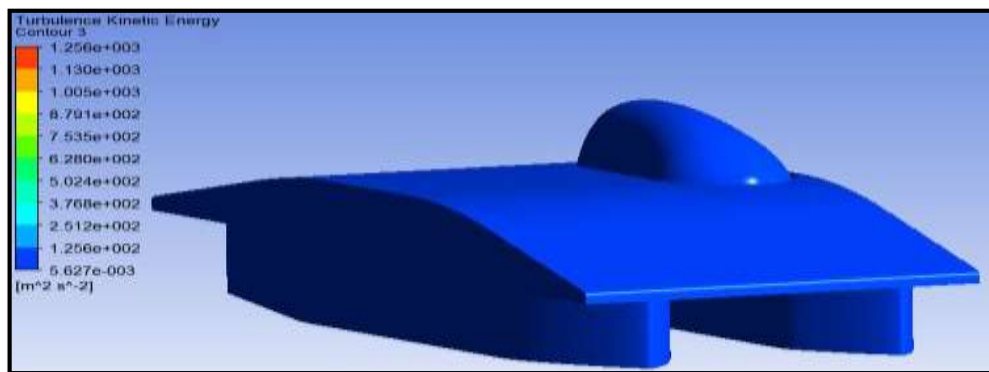


Figura 50-3: Energía cinética de turbulencia

Fuente: Autores

El vehículo tiene una energía cinética de turbulencia mínima de $5.627 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}^2$ con una presión mínima en la parte inferior lo que hace que el vehículo se mantenga en el piso a una velocidad de 100 km/h y gracias a su diseño la turbulencia que produce es depreciable como se muestra en la figura 51-3.

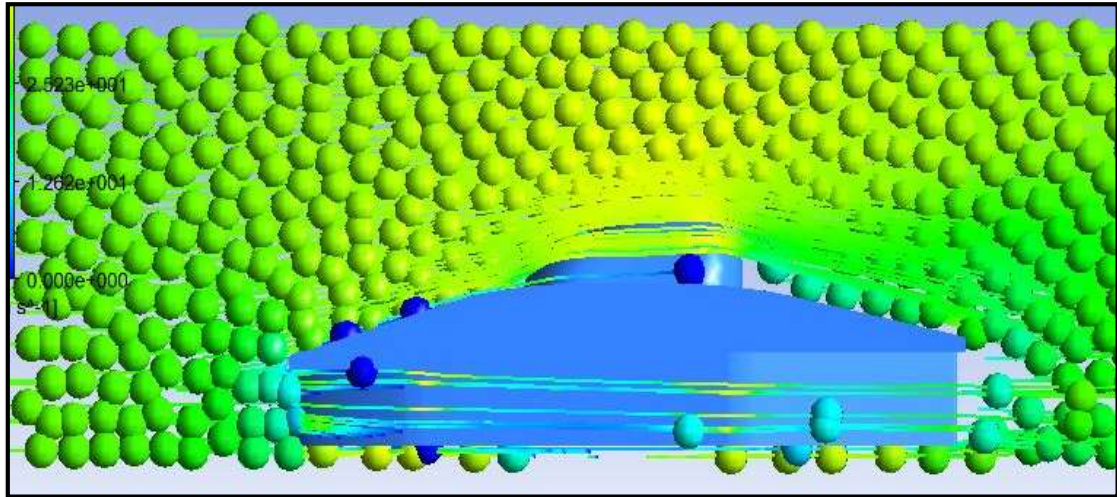


Figura 51-3: Turbulencia formada en la carrocería

Fuente: Autores

3.11.2 Presión

La resistencia que opone el vehículo se muestra en la figura, esta oposición genera una presión en la carrocería donde haya una mayor área de contacto frontal con la dirección del movimiento del aire.

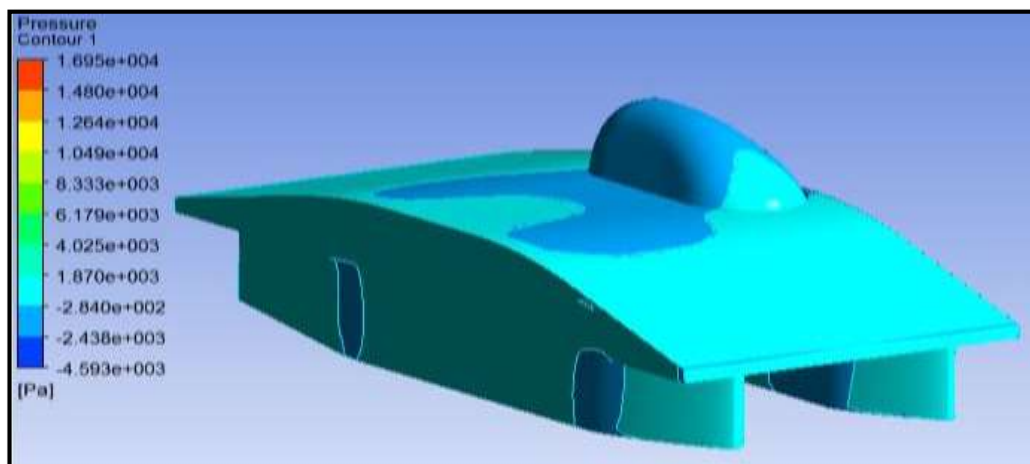


Figura 52-3: Presión en el aérea frontal del vehículo

Fuente: Autores

La presión máxima tiene un valor de $1.695 \times 10^4 Pa$ y una presión mínima de $-4.593 \times 10^3 Pa$.

La presión que se está ejerciendo sobre la carrocería es relevante porque no tiene zonas pintadas de rojo, y el material con el que se construyó la carrocería no sufrirá deformación debido a sus propiedades mecánicas que se mencionaron anteriormente.

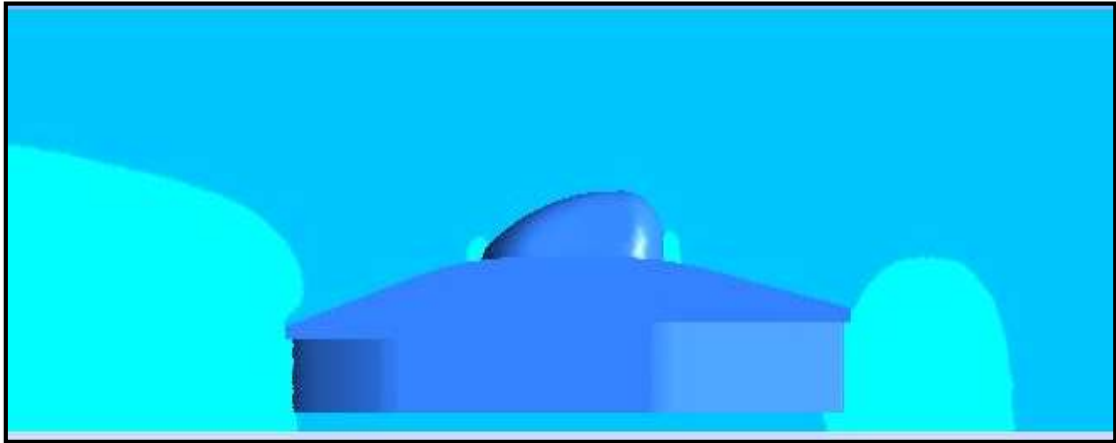


Figura 53-3: Presiones sobre el vehículo

Fuente: Autores

3.12 Cálculos aerodinámicos

3.12.1 Numero de Reynolds

$$Re = \frac{V * l}{\nu}$$

$$Re = (27.77 \text{ m/s} * 3.95\text{m}) / (1.516 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})$$

$$Re = 7.2355 \times 10^6 \text{ Flujo Turbulento}$$

3.12.2 Número de mach

$$M = V/c$$

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

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

$$M = 27.77 / \sqrt{1.4 * 287 * 280}$$

$$M = 0.0827$$

$$0.0827 \leq 0.3 \text{ *Fluido incompresible*}$$

3.12.3 Cálculo de la resistencia aerodinámica.

$$D = \frac{1}{2} * v^2 * A * C_d * \delta$$

$$D = \frac{1}{2} * (27.77 \text{ m/s})^2 * 1.4 \text{ m}^2 * 0.25035 * 0.9723 \text{ kg/m}^3$$

$$D = 131.4 \text{ N}$$

3.12.4 Cálculo de la fuerza de sustentación

$$L_A = \frac{1}{2} * \delta * v^2 * A * C_L$$

$$L_A = \frac{1}{2} * 0.9723 \text{ kg/m}^3 * (27.77 \text{ m/s})^2 * 1.4 \text{ m}^2 * -0.090736$$

$$L_A = -47.62 \text{ N}$$

3.12.5 Cálculo de la eficiencia aerodinámica o fineza

$$E.A(\text{fineza}) = cl/cd$$

$$E.A(\text{fineza}) = 0.090736 / 0.25035$$

$$E.A(\text{fineza}) = 0.3624$$

3.12.6 Cálculo de la potencia absorbida por la resistencia

$$\text{potencia absorbidos por la resistencia} = (cd * A * v^3) / 1225$$

$$\text{potencia absorbidos por la resistencia} = \frac{0.25035 * 1.4 * 27.77^3}{1225}$$

$$\text{potencia absorbidos por la resistencia} = 6.12 \text{ CV}$$

3.13 Construcción de la carrocería

3.13.1 Caracterización del material de la carrocería

La caracterización del material se realiza para conocer las propiedades mecánicas y físicas que el material posee y el cual será usado para su construcción.

Para la realización de los ensayos se tuvo el apoyo del centro de fomento carrocerero de la ciudad de Ambato, quienes cuentan con los instrumentos de medición para materiales compuestos.

3.13.2 Ensayo de tracción

Como se menciona en el capítulo 2 apartado 2.11.1 este ensayo mostrará el comportamiento de la fibra de carbono cuando se somete a una carga de alargamiento axial, para este ensayo se realizaron 5 probetas con las características y dimensiones que pide la norma ASTM D3039.

La norma dice que para el ensayo de tracción la probeta debe tener un ancho de 25mm, una longitud de 250mm, un espesor de 2.5mm, para el agarre se colocó lija # 100, con una longitud de 56mm en los extremos de la probeta.

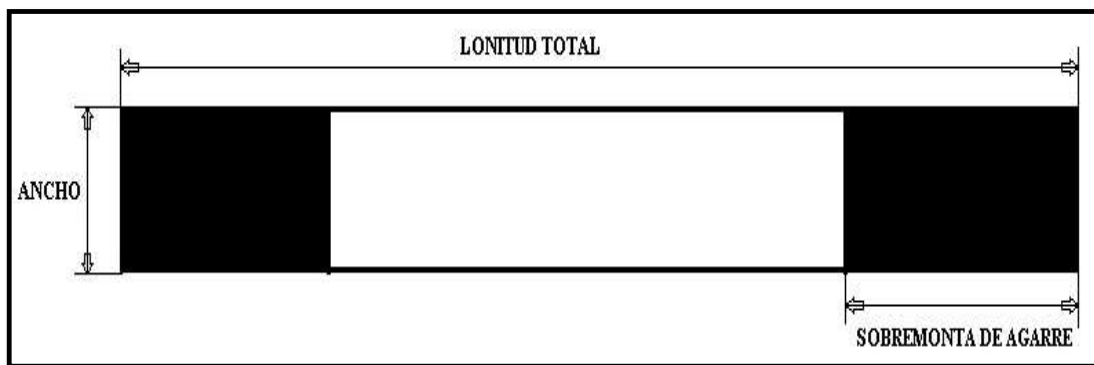


Figura 54-3: Probeta de Tracción

Fuente: Autores

La probeta se coloca en la máquina de ensayo universal, Metro test 50kN con velocidad de ensayo de 10mm/min, que se encuentra el centro de fomento carrocerero de la ciudad de Ambato.



Figura 55-3: Maquina de ensayo universal

Fuente: Autores

Después de haber realizado el ensayo de tracción sobre todas las probetas, los resultados indican que las probetas son uniformes ya que se rompen casi en el mismo rango de rotura de 280MPa a 350MPa, el promedio del grupo de ensayo está en 300MPa, lo que indica que el proceso de elaboración es muy eficiente ya que la fibra de carbono supera un poco al acero estructural normal.

Cabe recalcar que los ensayos se realizaron en condiciones normales de ambiente lo cual los resultados de un material compuesto varían con las especificaciones que da el fabricante ya que sus laboratorios son más sofisticados en los cuales pueden controlar los cambios de temperatura, humedad etc.

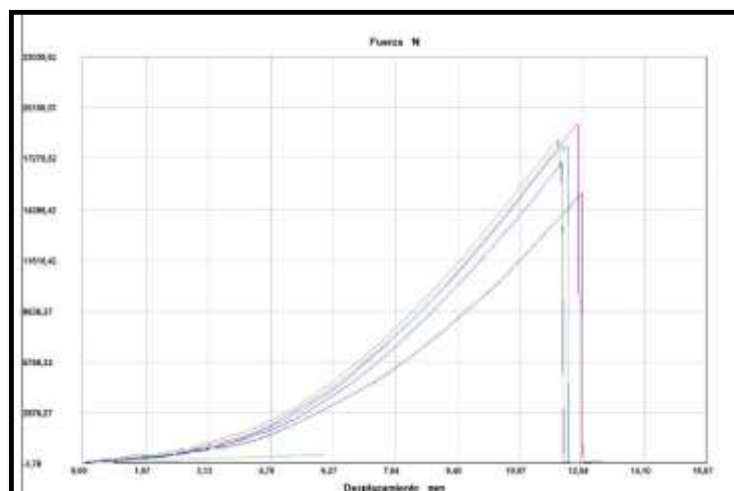


Gráfico 1: Gráfica de ensayo de tracción

Fuente: Autores

Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	19197,18	298,20	19141,96	303,54	4,72	302,66
2	18043,80	173,56	18043,80	311,98	3,00	311,98
3	15355,22	153,05	15355,22	254,62	2,54	254,62
4	16988,25	175,14	16988,25	289,99	2,99	289,99
5	18283,63	187,76	18283,63	325,33	3,34	325,33
Media	17573,616	197,542	17562,572	297,092	3,317	296,917
Desv. Std	1468,425	57,629	1453,291	26,994	0,832	26,944
Coef. V.	0,084	0,292	0,083	0,091	0,251	0,091
+3 Sigma	21978,891	370,428	21922,445	378,073	5,813	377,750

Figura 56-3: Resultado de los ensayos de tracción

Fuente: Autores



Figura 57-3: Probetas de tracción

Fuente: Autores

3.13.3 Ensayo de flexión

Como se indica en el apartado 2.11.2 este ensayo es muy importante en la caracterización de la fibra de carbono ya que se podrá observar cual es el comportamiento del material cuando se le somete una fuerza vertical en la máquina de ensayos. Para este ensayo se realizaron 5 probetas con las características y dimensiones que dicta la norma ASTM D7264.

La norma dice que para el ensayo de flexión la probeta deberá tener un ancho de 13mm, una longitud de 180mm, y un espesor de 4mm.

La probeta se coloca en la máquina de ensayo universal, Metro test 50kN con velocidad de ensayo de 10mm/min, que se encuentra el centro de fomento carrocerero.

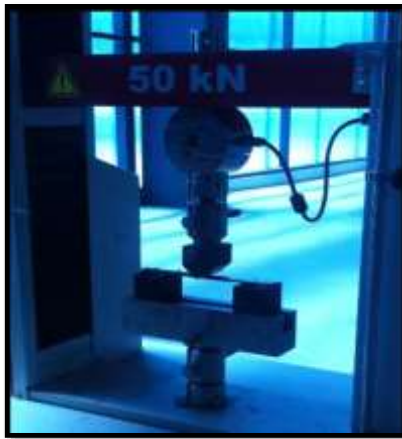


Figura 58-3: Probeta de flexión

Fuente: Autores

Después de haber realizado el ensayo de flexión sobre todas las probetas, los resultados indican que las probetas tienen uniformidad ya que se rompen en el mismo rango de rotura de 300N a 350N, el promedio del grupo de ensayo está en 330MPa, lo que indica que el proceso de elaboración es muy eficiente.

Como se mencionó anteriormente los ensayos se realizaron en condiciones normales de ambiente lo cual los resultados del material compuesto varían con las especificaciones que da el fabricante.

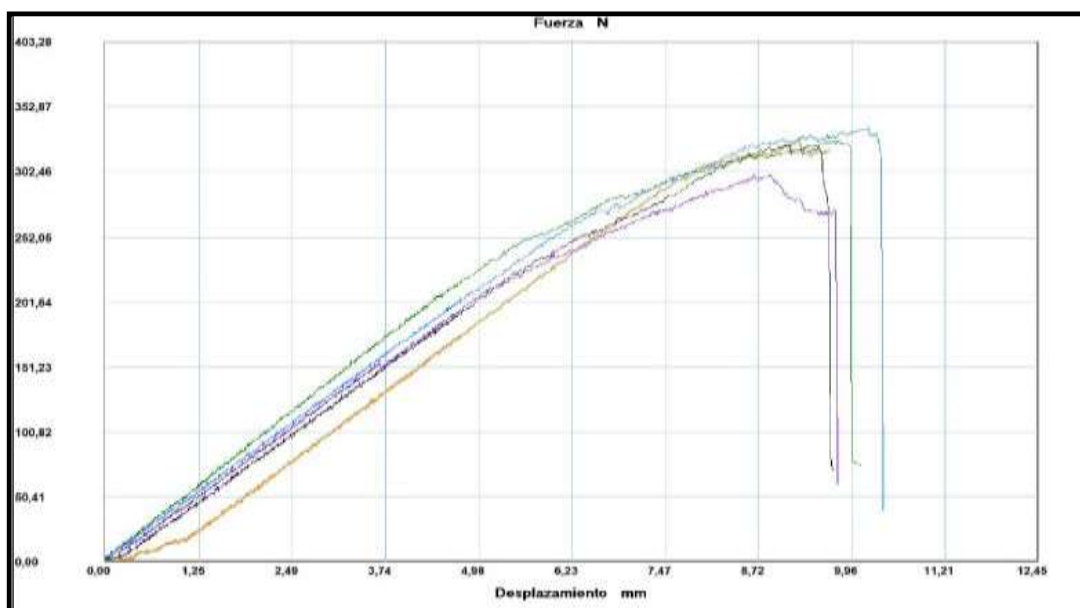


Gráfico 2-3: Gráfica de resultados de ensayo de flexión

Fuente: Autores

Probeta	FMax N
1	328,18
2	326,61
3	299,78
4	336,07
5	323,45
Media	322,818
Desv. Std	13,692
Coef. V.	0,042
+3 Sigma	363,894

Figura 59-3: Resultados de las probetas

Fuente: Autores

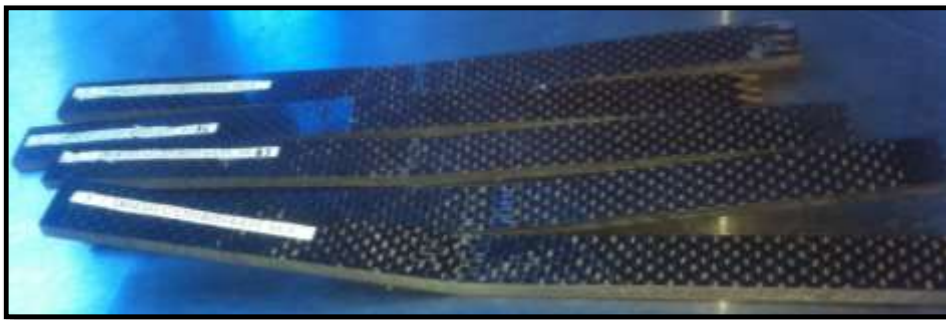


Figura 60-3: Probetas del ensayo de flexión

Fuente: Autores

3.13.4 Ensayo de impacto

Como se menciona en el apartado 2.11.3, este ensayo nos permite demostrar la resistencia del plástico a la rotura cuando es impactado por un péndulo con un martillo de tamaño adecuado. Para los ensayos de impacto de fibras de carbono se utiliza la norma ASTM D6110.

La norma dice que la probeta debe tener un ancho de 13mm, una altura de 3mm, y una longitud de 127mm con un entalle de 2mm en el centro de la probeta tal como se muestra en la figura.

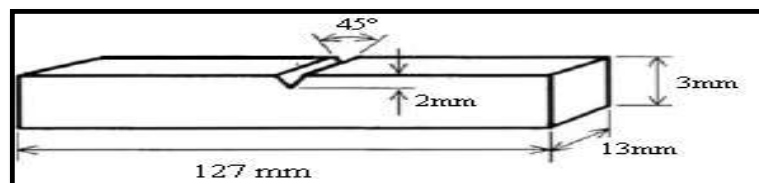


Figura 61-3: Probeta para ensayo de impacto

Fuente: Autores

La probeta se coloca en la máquina de ensayo de impacto charpy modelo IC-25/IA serie 1986M002, que se encuentra el centro de fomento carrocerero.

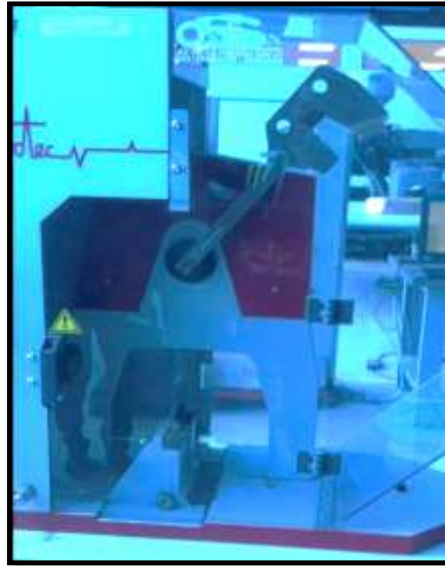


Figura 62-3: Máquina de ensayo de impacto charpy

Fuente: Autores

Después de haber realizado el ensayo de impacto sobre todas las probetas, los resultados indican que las probetas tienen una energía de ruptura (J) uniforme ya que se rompen en un rango de 0.87 J a 2.84 J, el promedio del grupo de ensayo está en 1.41 J, las resistencias de las probetas de la 4 en adelante sufrieron variaciones por la interferencia producida por los dispositivos móviles.

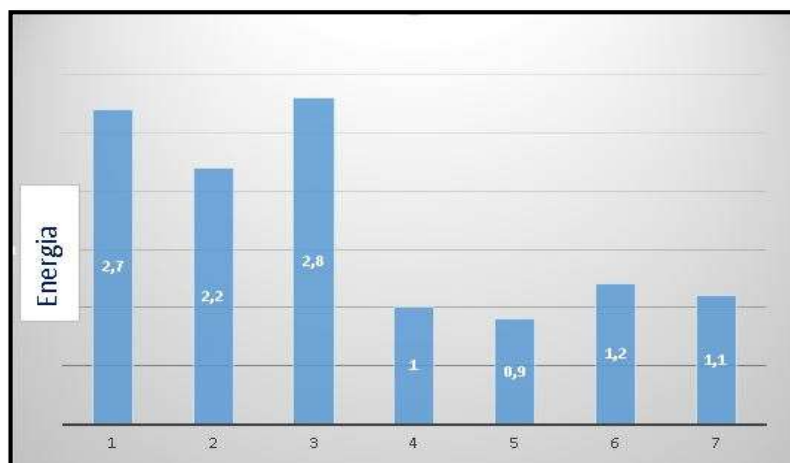


Grafico 3-3: Gráfica de ensayo de impacto

Fuente: Autores

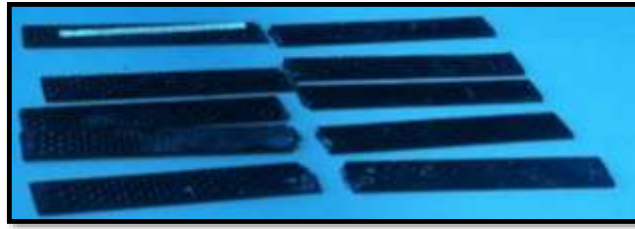


Figura 63-3: Probetas de ensayo de impacto

Fuente: Autores

Mediante los ensayos de las probetas de fibra de carbono en el centro de fomento carrocerero se comprobó que el procedimiento para elaborar compuestos en fibra de carbono es aceptable ya que los resultados de los ensayos indican que las probetas se comportan casi igual a un acero estructural, superándolo por un porcentaje mínimo.

3.13.5 Construcción de la carrocería

Antes de la construcción de la carrocería en fibra de carbono se procedió a retirar la fibra de vidrio, para realizar las plantillas del nuevo diseño.



Figura 64-3: Remoción de la fibra de vidrio lateral

Fuente: Autores



Figura 65-3: Remoción de la fibra de vidrio frontal

Fuente: Autores



Figura 66-3: Remoción total del exceso de fibra de vidrio

Fuente: Autores

3.14 Elaboración de la matriz

3.14.1 Matriz del costado exterior del vehículo

Para la realización de la matriz de las piezas de la carrocería se procedió a realizar primero las plantillas en papel con el diseño de los costados del vehículo, las cuales pasaran a una tabla triplex que será la matriz para la fibra de carbono.



Figura 67-3: Plantilla del costado del vehículo

Fuente: Autores

Una vez obtenido la plantilla se procedió a trazarlo sobre la tabla triplex para después cortarlo con la forma que tiene el costado del vehículo.



Figura 68-3: Trazado sobre la tabla triplex

Fuente: Autores

Una vez dibujada la plantilla sobre la triplex se procedió a cortar la tabla teniendo cuidado de no cortar fuera de los límites dibujados anteriormente ya que se puede dañar el diseño y al montar la fibra puede producirse fallas en el acabado final.

3.14.2 Matriz del costado interior del vehículo

Para realizar la matriz del costado interior del vehículo se procedió de la misma manera como se hizo en el costado exterior. Una vez obtenido la plantilla se procederá a trazarlo sobre la tabla triplex para después cortarlo con la forma que tiene el costado del vehículo.

Una vez dibujada la plantilla sobre la triplex se procederá a cortar la tabla teniendo cuidado de no cortar fuera de los límites dibujados anteriormente ya que se puede dañar el diseño y al montar la fibra puede producirse fallas en el acabado final.



Figura 69-3: Matriz del recubrimiento interno del vehículo

Fuente: Autores

3.14.3 Matriz del recubrimiento frontal de los neumáticos del vehículo

Para realizar la matriz del recubrimiento de los neumáticos frontales se realizó un esqueleto con alambre de cobre con recubrimiento plástico para darle la forma del diseño realizado en el software.



Figura 70-3: Esqueleto del molde de las llantas frontales

Fuente: Autores

Una vez obtenido el esqueleto se le añadirá triplex para darle forma final del molde.

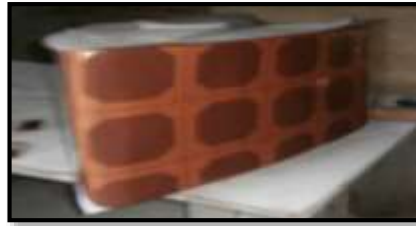


Figura 71-3: Molde terminado

Fuente: Autores

3.14.4 Matriz del recubrimiento posterior de los neumáticos del vehículo

Para la realización de los recubrimientos posteriores del vehículo se realizará el mismo procedimiento como el de los neumáticos frontales.



Figura 72-3: Molde neumáticos posteriores

Fuente: Autores

3.15 Fabricación de la carrocería en fibra de carbono

Para la elaboración de las partes de la carrocería se deberá tener en cuenta el acabado superficial de las matrices, ya que un material compuesto copia la superficie donde será montada, las matrices fueron lijadas hasta obtener una superficie lisa para posteriormente aplicar vinil sobre la triplex dándole un acabado de vidrio liso.



Figura 73-3: Molde de los costados del vehículo.

Fuente: Autores

3.15.1 Materiales para la elaboración de la carrocería

Para la elaboración de la carrocería se emplearon distintos materiales que se detallarán a continuación.

- **Tejido de Fibra de carbono 3K Twill.**

Este tejido es muy popular en la industria de automóviles, aplicaciones marinas, aeroespaciales y deportivas, ya que este tipo de tejido ofrece una mayor adaptación en geometrías complejas y una ligera ventaja en la humectación de la resina.

Este tejido puede reforzar cualquier proyecto añadiéndole un peso mínimo, con solo tres capas, son comúnmente utilizadas para la producir diferentes tipos de piezas no estructurales.

- **Catalizador.**

Se utiliza el catalizador para acelerar el tiempo de curado, el catalizador al ser mezclado con la resina epoxica se produce una reacción química por lo que pasa de un estado líquido ha solido.



Figura 74-3: Catalizador de resina epoxi

Fuente: Autores

- **Desmoldante.**

El desmoldante minimiza el riesgo de adherencia entre la matriz y la resina, además facilita el desprendimiento de la pieza de la matriz.



Figura 75-3: Desmoldante

Fuente: Autores

- **Resina epoxica.**

Esta resina se usa en refuerzos estructurales, piezas que soporten altas temperaturas, sellamiento de superficies porosas, refuerzo de piezas sometidas a esfuerzos mecánicos. Se deberá mezclar la resina con el catalizador con agitación controlada con el objetivo de no introducir aire en la mezcla, el tiempo de mesclado es de 2 a 3 minutos.

3.15.2 Aplicación del desmoldante

Primeramente se limpió la superficie de la matriz para dejarla libre de impurezas y restos de polvo que afecten el acabado final de la pieza. Se colocó el desmoldante sobre la superficie de la matriz verificando que cubra toda la superficie donde va a ser aplicada la resina y la fibra de carbono.



Figura 76-3: Aplicación del desmoldante

Fuente: Autores

3.15.3 Aplicación de la resina y la fibra de carbono

Una vez mezclado la resina en las proporciones indicadas por el fabricante se procedió a esparcir la resina sobre toda la superficie de la matriz verificando que cubra toda la matriz eliminando las burbujas de aire que se puedan producir.



Figura 77-3: Aplicación de la resina sobre el tejido

Fuente: Autores

Ya esparcida la resina sobre la superficie de la matriz se procede a colocar la primera capa de fibra de carbono teniendo cuidado en deshilar el tejido.



Figura 78-3: Colocación de la primera capa de fibra

Fuente: Autores

Después de colocar la primera capa de fibra de carbono se colocó otra capa más de resina sobre la primera capa de fibra de carbono, con ayuda de un rodillo se aplastara la primera capa de fibra de carbono para eliminar las burbujas que se pueden formar.



Figura 79-3: Recubrimiento total de fibra y de resina

Fuente: Autores

El proceso se repitió para cada capa que se aplicó sobre el proyecto.

El mismo proceso se realizó para las demás piezas que componen la carrocería del vehículo solar.



Figura 80-3: Recubrimientos internos

Fuente: Autores



Figura 81-3: Recubrimientos de las llantas frontales

Fuente: Autores



Figura 82-3: Recubrimiento de las llantas posteriores

Fuente: Autores

3.15.4 Acabado y pulido de la carrocería

Una vez finalizado el ensamblaje de todos los elementos de la carrocería se procedió a pulir para darles un mejor acabado, finalizado el pulido aplicamos pintura.



Figura 83-3: Carrocería completada

Fuente: Autores

3.16 Pruebas de la carrocería

3.16.1 Pruebas de la fibra de carbono

Finalizado el proceso de construcción de la carrocería se procedió con la caracterización de la fibra de carbono.

La caracterización del proyecto se detalla en el capítulo 4 apartado 1, 2, 3. Mediante estos ensayos se corroboró que el procedimiento utilizado en la elaboración de las probetas fue eficiente ya que los resultados indicaron que la fibra de carbono superó al acero A36 en los ensayos de tracción, flexión e impacto.

Gracias a la caracterización se puede mencionar que la carrocería del vehículo solar cumple los requerimientos de los materiales compuestos.

Se tomó una muestra de los costados laterales internos de la carrocería y se realizaron los ensayos de tracción y flexión.



Figura 84-3: Muestra tomada de la carrocería

Fuente: Autores



Figura 85-3: Muestra cortada para los ensayos

Fuente: Autores



Figura 86-3: Muestra en el ensayo de tracción

Fuente: Autores

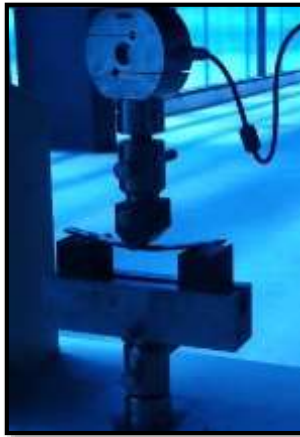


Figura 87-3: Muestra en el ensayo de flexión

Fuente: Autores

Realizados los ensayos de las muestras se ratifica que el procedimiento para la construcción de las partes que conforman la carrocería es eficiente, en el ensayo de flexión la probeta falla a una fuerza de 250 N y la probeta de tracción falla a una carga de 290 Mpa.

3.16.2 Pruebas aerodinámicas del vehículo

Se realizó las pruebas del vehículo solar imprimiendo un modelo a escala, que se colocó en un túnel de viento que se encuentra en el laboratorio de aerodinámica de la escuela de Ingeniería Automotriz para realizar los ensayos aerodinámicos.

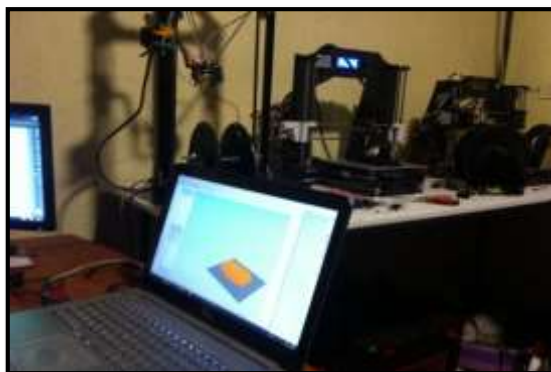


Figura 88-3: Impresión del modelo en 3D

Fuente: Autores

Los resultados arrojados por el túnel de viento corroboran las simulaciones que se realizaron en Ansys, los datos se obtuvieron a distintas velocidades en un rango de 56 a

60 (km/h), y se tomó el dato de la velocidad más alta ya que tiene mayor resistencia al paso del aire.



Figura 89-3: Datos de la resistencia de aire

Fuente: Autores



Figura 90-3: Velocidad máxima del túnel de viento

Fuente: Autores

Tabla 4-3: Datos del túnel de viento a diferentes velocidades.

Datos del túnel de viento	
Velocidad (km/h)	Resistencia del aire (N)
56	0.080
57	0.119
58	0.160
59	0.200
60	0.239

Realizado por: Lenin Criollo y David Paredes 2018

Fuente: Autores

Para comparar los datos obtenidos en el túnel de viento con la simulación en ansys se realizó el siguiente cálculo, con el cd del modelo a escala con valor de 0.00068123 y el cl con valor de -0.0001788, a una velocidad de 16.666 m/s (60km/h).

$$D = \frac{1}{2} * v^2 * A * C_d * \delta$$

$$D = \frac{1}{2} * (16.666\text{m/s})^2 * 0.003630\text{m}^2 * 0.00068123 * 0.9723 \text{ kg/m}^3$$

$$D = 0.009 \text{ N}$$

$$L_A = \frac{1}{2} * \delta * v^2 * A * C_L$$

$$L_A = \frac{1}{2} * 0.9723 \text{ kg/m}^3 * (16.666\text{m/s})^2 * 0.003630\text{m}^2 * -0.0001788$$

$$L_A = -0.0024\text{N}$$

El dato de la resistencia del aire (D) en el túnel de viento es de 0.239 que se le divide por la escala del modelo que es de 1 a 27, dando un valor de 0.0088 que es cercano al valor que se obtiene en la simulación, el resultado del túnel de viento varia por las condiciones de la densidad del fluido con la que fue programada.

El dato de la carga del aire (D) en el túnel de viento es de 0.05 que se le divide por la escala del modelo que es de 1 a 27, dando un valor de 0.0018 que es cercano al valor que se obtiene en la simulación, el resultado del túnel de viento varia por lo mencionado anteriormente.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE COSTO Y PRESUPUESTO

Para la realización del proyecto se analizó todas las propuestas de materiales para su elaboración, verificando la calidad de los mismos. Los costos directos corresponderán a los materiales que influyeron en la construcción. Los costos indirectos se les asignaran a los materiales y recursos secundarios.

4.1 Costos directos

Son los gastos relacionados con la materia prima para la construcción del proyecto. Con la cual se podrá determinar el costo de la materia prima y también de la mano de obra.

Tabla 5-4: Costos directos para la construcción de la carrocería

COSTOS DIRECTOS			
Cantidad	Descripción	Costo Unitario	Costo Total [USD]
20m	Fibra de carbono	80,00\$	1600,00
20kg	Resina epoxica y catalizador	60,00\$	1200,00
8	Spray desmoldante	20,00\$	160,00
10	Lija de agua #1500	0,40\$	4,00
10	Lija de agua #600	0,35\$	3,50
10	Lija de agua #400	0,30\$	3,00
10	Lija de agua #200	0,30\$	3,00
4	MDF ----- Masisa	20,00\$	80,00
6	Tarro de masilla plástica	6,00\$	36,00
2	Spray de poliuretano	6,00\$	12,00
5	Disco de corte	3,25\$	16,25
2Lt	Pintura	3,00	6,00
TOTAL			3123,75

Realizado por: Lenin Criollo y David Paredes 2018

Fuente: Autores

4.2 Costos indirectos

Abarcan los gastos indirectos los cuales se utilizan para la elaboración del trabajo de titulación este tipo de gastos no son cuantificables ni medibles por tal razón se realiza una aproximación de los valores a utilizar.

Tabla 6-4: Costos indirectos para la construcción de la carrocería

COSTOS INDIRECTOS			
Cantidad	Descripción	Costo Unitario	Costo Total [USD]
1	Impresiones	80,00\$	80,00
1	Empastado	60,00\$	60,00
1	Otros gastos	200,00\$	200,00
TOTAL			340,00

Realizado por: Lenin Criollo y David Paredes 2018

Fuente: Autores

4.3 Costos totales

El costo total de la construcción de la carrocería del vehículo solar es igual a la suma de los costos directos y los costos indirectos.

Tabla 7-4: Costo total de la construcción de la carrocería

COSTO TOTAL DEL PROYECTO DE TITULACION	
Costos Directos	3123,75
Costos Indirectos	340,00
TOTAL	3463,75

Realizado por: Lenin Criollo y David Paredes 2018

Fuente: Autores

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se redujo el peso de la carrocería comparado con el modelo anterior en un 36%.

El diseño de la carrocería se realizó en función de los requerimientos de la carrera solar atacama.

Se obtuvo un coeficiente de arrastre (Cd) de 0.25035 que indica que el vehículo no presenta mucha resistencia al paso del aire, el coeficiente de sustentación (Cl) con un valor de -0.090736 que indica que el prototipo a una velocidad de 100km/h se mantendrá pegado al piso.

Mediante los ensayos de tracción, flexión e impacto se afirmó que el procedimiento de manufactura fue eficiente ya que el material supero al acero estructural, la carrocería del prototipo presenta una alta rigidez la cual ayudara a proteger al piloto y a los elementos internos del vehículo solar, además de esto los elementos de la carrocería son muy ligeros.

Gracias a las propiedades que poseen la fibra de carbono y la resina, las partes que conforman la carrocería tendrán una mayor durabilidad, para darle un mejor acabado se aplicó el método de vacío.

Recomendaciones

Para realizar el trabajo de titulación se debe investigar y comprender cada ítem que se encuentra en los requerimientos del reglamento, para cuando se finalice el trabajo de titulación todo este acorde a las especificaciones de las competencias de vehículos solares.

Antes de comenzar el desarrollo de la carrocería se debe tomar en cuenta la seguridad personal, al trabajar con materiales compuestos se debe usar guantes ya que la resina puede pegarse en la piel produciendo quemaduras, una mascarilla con filtro ya que el catalizador emana humos tóxicos que pueden afectar a la persona con mareos o dolores muy fuertes de cabeza.

Además es importante usar la mascarilla, guantes y ropa usada en la manipulación de la tela de fibra de carbono ya que se desprenden pequeñas partículas de la misma que se adhieren a la piel de ahí el uso de guantes y ropa usada, porque dichas partículas son imperceptibles al ojo humano, si se llega a respirar en grandes cantidades puede producir problemas respiratorios a largo plazo

Una vez finalizado el proceso de curado de las piezas se debe usar guantes y lentes porque al retirar de la matriz se puede romper partes de la fibra produciendo pinchazos muy dolorosos o saltar pedazos al ojo que pueden producir lesiones serias.

Al trabajar con resina epoxica se recomienda trabajar en un lugar fresco donde la temperatura no aumente rápidamente para que la resina no se seque y para que su manipulación sea más cómodo.

Para finalizar se recomienda con la continuidad del vehículo solar con el desarrollo de más trabajos de titulación que complementen este proyecto como por ejemplo: diseño y construcción del sistema de dirección, diseño y construcción del sistema de frenos del vehículo solar, etc.

BIBLIOGRAFIA

Callirgos, Francisco Leal. *Tipos de Carrocerias*. [en línea]. 2012. [Consulta 22 de Abril de 2018]. Disponible en : <http://eafflealsua12.blogspot.com/2012/10/tipos-de-carrocerias.html>.

Caricos. *Audi R8 e-tron*. [en línea]. 2108. [Consulta 19 de Abril de 2018]. Disponible en: http://www.caricos.com/cars/a/audi/2013_audi_r8_e-tron/images/40.html.

Carvallo, Mauricio. *Ruta Motor* . [en línea]. 2014. [Consulta 27 de Abril de 2018]. Disponible en: <http://www.rutamotor.com/desde-el-13-al-17-de-noviembre-lanzada-la-carrera-solar-atacama-en-antofagasta/>.

Casado, Eduardo. *Carroceria, Elementos Amovibles*. Madrid : Paraninfo, S.A. 2009. pp. 2-21.

Castro, Resinas. *Castro Composites*. [en línea] [Consulta 18 de Mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.castrocompositesshop.com/en/fibras-de-refuerzo/1601-tejido-de-carbono-12k-sarga-22-de-600-gm2.html>.

CEAC. *Manual CEAC del automovil*. Barcelona-España. CEA, S.A. 2003. pp. 15-16.

Cimbala, Yunus A; et al. *Mecanica de fluidos fundamentos y aplicaciones*. Mexico D.F : Interamericana Editores, S.A. DE C.V. 2006. pp. 512-583.

Carrera Solar Atacama 2018. *Reglamentacion tecnica*. [en línea]. 2017. [Consulta 1 de Mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.carrerasolar.com/es/inicio/>.

Dalmau, Joan. *Plataformas*. [en línea]. 2013. [Consulta 19 de Abril de 2018]. Disponible en: <https://www.coches.net/noticias/plataformas-la-solucion-de-moda>.

El Diario. *Cuide bien el chasis del auto*. [en línea]. 2009. [Consulta 19 de Abril de 2018]. Disponible en: <http://eldiario.com.co/anteriores/17-09-2009/cuide-bien-el-chasis-del-auto090912.html>.

Diestefano, Michael. *La fibra de carbono y su uso en el mundo automotriz*. [en línea]. 2017. [Consulta 18 de Mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.motoryracing.com/pruebas/noticias/la-fibra-de-carbono-y-su-uso-en-el-mundo-automotriz/>

Elchapista. *Chapa y pintura elchapista*. [en línea]. 2018. [Consulta 19 de Abril de 2018]. Disponible en: http://www.elchapista.com/carrocerias_historia.html.

Emelyanov, Denis. *Armadura de tela de carbono*. [en línea]. 2018. [Consulta 18 de Mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.joom.com/es/products/1511947637975168095-80-1-26193-660492941>.

Fernández, Alejandro Rodríguez. *Cálculo, diseño y simulación de una avioneta con Catia V5.* [en línea]. 2016. [Consulta 20 de Abril de 2018]. Disponible en: <http://arfingenieria.com/ingenieria/calculo-diseno-simulacion-avioneta-catia.html>.

First, Certified. *Fibra de carbono para la personalización de superdeportivos.* [en línea]. 2016. [Consulta 18 de Mayo de 2018]. Disponible en: <http://blog.certifiedfirst.es/2016/07/fibra-de-carbono-para-la-operacion-bikini-y-personalizacion-de-los-super-deportivos/>.

Garcia, Ana. *Australia celebra el World Solar Challenge, la carrera donde los autos se mueven con energía solar.* [en línea]. 2015. [Consulta 11 de Marzo de 2018]. Disponible en: <http://motorbit.com/australia-celebra-el-world-solar-challenge-la-carrera-donde-los-autos-se-mueven-con-energia-solar/?pais=>.

García, Calixto. *Aerodinámica y Resistencia.* [en línea]. 2016. [Consulta 2 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.zonagravedad.com/modules.php?name=News&file=article&sid=776>.

Garzon, Jeronimo. *¿Qué es y cómo se usa la fibra de carbono en la Formula 1?.* [en línea]. 2013. [Consulta 18 de Marzo de 2018]. Disponible en: <http://virutasf1.com/2013/09/viru-que-es-y-como-se-usa-la-fibra-de-carbono-en-la-formula-1/>.

Gharagozlou, Yahya. *Propiedades de traccion, flexion e impacto de materiales compuestos-plasticos reforzados con fibras.* [en línea].2012. [Consulta 16 de Mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.instron.es/es-es/testing-solutions/by-material/composites/flexure/iso-14125>.

Gillespie, Thomas D. *Fundamentals of Vehicle Dynamics.* s.l. Estados Unidos. Society of Automotive Engineers. Inc. 1992. pp. 97-103.

González, Carmen Perez. *Propuesta de un soporte basado en fibra de carbono y resinas termoestables.* Madrid. Universidad Complutense de Madrid. 1997. pp. 11-49.

Jorge P. *Tela de fibra de carbono.* [en línea]. 2018. [Consulta 22 de febrero de 2018]. Disponible en: <https://www.fibradecarbono.es/articulos/tela-fibra-de-carbono/>

Justino González López; et al. *Mecánica de fluidos Teoría con aplicaciones y modelado.* Ciudad de México. Grupo Editorial Patria. 2017. pp. 172-173.

Kazmierski, Jack. *Bridgestone Sponsors Solar Challenge.* [en línea]. 2017. [Consulta 1 de Mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.autosphere.ca/tirenews/tires-news/2017/02/07/bridgestone-solar-challenge/>.

Moncayo Theurer, M. et al. *Las Fibras de Carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras.* Merida. Universidad Autónoma de Yucatán. 2016. pp. 58-60.

Lausin, Eduardo. *Fibra de carbono, qué es, futuro y aplicación en el automóvil.* [en línea]. 2015. [Consulta 22 de febrero de 2018]. Disponible en: <https://www.actualidadmotor.com/fibra-de-carbono/>.

Magallon Orozco, Eduardo. *Comparación De Herramientas de Diseños Para Álabes de Aerofeneradores Eólicos de Baja Velocidad de Viento.* Pachuca de Soto. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. 2014. pp. 34-35.

Magazine, TyN. *World Solar Challenge, una carrera con propulsión solar.* [en línea]. 2017. [Consulta 1 de Mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.tynmagazine.com/world-solar-challenge-una-carrera-con-propulsion-solar/>.

Mallorca, Kitesurfing Club. *Por que vuela una cometa .* [en línea]. 2017. [Consulta 4 de Mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.edmkpollensa.com/es/por-que-vuela-una-cometa/>.

McBeath, Simon. *Aerodinámica del automóvil de competición.* Barcelona. CEAC. 2005. pp. 37- 38.

Melones, Raúl. *Altitud, temperatura y humedad en el bote de la pelota.* [en línea]. 2015. [Consulta 2 de Mayo de 2018]. Disponible en: <http://blog.tenis.decathlon.es/altitud-temperatura-y-humedad-en-el-bote-de-la-pelota/>.

MomentoGP. *La influencia de la carga aerodinámica en el paso por curva.* [en línea]. 2017. [Consulta 4 de Mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.momentogp.com/la-influencia-de-la-carga-aerodinamica-en-el-paso-por-curva/>.

Oscar Almarza. *BP Solar trek, el padre de los coches electricos con paneles solares.* [en línea]. 2017. [Consulta 19 de Abril de 2018]. Disponible en: <https://urbantecno.com/motor/bp-solar-trek-coche-electrico>

Phineal. *Phinet-carrerasolar.* [en línea]. 2018. [Consulta 1 de Mayo de 2018]. Disponible en: <http://phineal.com/wp-content/uploads/2014/11/phinet-carrerasolar.jpg>.

Premier, Grupo. *Hilux, la pick up más ligera de todos los tiempos.* [en línea]. 2015. [Consulta 19 de Abril de 2018]. Disponible en: <http://bloggrupopremier.com/hilux-la-pick-up-mas-ligera-de-todos-los-tiempos/>.

Sadira. *Resinas Epoxis .* [en línea]. 2007. [Consulta 25 de Mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.sadira.com/producto.aspx?id=5&idproducto=6>.

Smith, William F. *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales.* cuarta . Mexico. The McGraw-Hill Companies. 2006. pp. 750-752.

Temple, Steve. *Super Chevy.* [en línea]. 2013. [Consulta 2 de Mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.superchevy.com/features/1309-2014-corvette-c7-stingray-like-a-knife/#/>.

Viso, Esteban. *Qué son los coches solares y cómo funcionan.* [en línea]. 2017. [Consulta 20 de Febrero de 2018]. Disponible en: <https://tecvolucion.com/que-son-los-coches-solares-y-como-funcionan/>.

